

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**CARLA FERNANDA GENARO
MARIANA DOS SANTOS DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE E MELHORAMENTO DA ADESIVIDADE DO
AGREGADO GRANÍTICO AO LIGANTE BETUMINOSO
EM MISTURAS ASFÁLTICAS**

**PONTA GROSSA
2017**

**CARLA FERNANDA GENARO
MARIANA DOS SANTOS DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE E MELHORAMENTO DA ADESIVIDADE DO
AGREGADO GRANÍTICO AO LIGANTE BETUMINOSO
EM MISTURAS ASFÁLTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Professor Doutor Thiago Gilberto do Prado

**PONTA GROSSA
2017**



TERMO DE APROVAÇÃO

**Análise e Melhoramento da Adesividade do Agregado Granítico ao Ligante
Betuminoso em Misturas Asfálticas**

por

Carla Fernanda Genaro

Mariana dos Santos do Nascimento

Monografia apresentada no dia 01 de junho de 2017 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. As candidatas foram arguidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Luciano Fernandes
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Lilian Gouveia
(UEPG)

Prof. Dr. Thiago Gilberto do Prado
(UTFPR)
Orientador

Prof^a. Dr^a. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Química.

Dedicamos este trabalho a nossa família,
que sempre esteve ao nosso lado.

“Quando você nasceu, você chorou e o mundo se regozijou. Viva sua vida de tal maneira que, quando você morrer o mundo chore e você se regozije. ”
(Tribo indígena desconhecida norteamericana)

AGRADECIMENTOS

Claramente palavras não trarão o peso da gratificação que sentimos por todas as pessoas que fizeram parte e tornaram possível essa realização. Desde já pedimos desculpas às pessoas não citadas, mas certas da compreensão de todos que estão em nossos pensamentos, pois fizeram parte em algum momento importante de nossas vidas.

Agradecemos ao Professor Doutor Thiago Gilberto do Prado pela experiência e conhecimento compartilhado que certamente nos guiou para nosso objetivo. Ao corpo docente do curso de Engenharia Química e nossos colegas de graduação.

Agradeço aos meus pais, Carlos e Virginia, que me deram a oportunidade de cursar esta Universidade e me apoiarem durante todo o caminho desta grande jornada. Agradeço ao meu irmão, Caio, por estar sempre ao meu lado em todas as situações da minha vida e por me ajudar nos momentos de dificuldade. Agradeço, também, às minhas amigas, Beatriz, Carol, Gabriela, Manoela, Marjorie e Najla que me deram seus ombros e ouvidos nos momentos mais conturbados. E, por último, mas não menos importante, agradeço ao meu namorado, Mahâni, por ser meu companheiro, me incentivar e me apoiar em todas as horas.

Por Carla Fernanda Genaro.

À Deus por todas as batalhas e glórias vividas até aqui, aos meus pais, Jaime e Maria, que são os principais agentes de todas as ações necessárias para que tudo que eu almejei se tornasse realidade. Agradeço ao meu amor, Diego, pelas horas dedicadas a me ouvir e me impulsionar sempre em direção ao meu objetivo. Agradeço também aos meus amigos, todos aqueles que dividiram comigo os momentos de medo, estudo e saudades de casa e também os de alegrias e conquistas, todos foram parte essencial e inesquecível em todo esse processo.

Por Mariana dos Santos do Nascimento.

RESUMO

GENARO, C. F.; NASCIMENTO, M. S. **Análise e Melhoramento da Adesividade do Agregado Granítico ao Ligante Betuminoso em Misturas Asfálticas**. 2017. 44 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Este trabalho tem como objetivo contribuir nos estudos de análise e melhoramento de problemas relacionados à adesividade do ligante asfáltico ao agregado granítico. O ponto principal consiste em realizar ensaios que analisam a qualidade da adesividade de misturas asfálticas, visto que grande parte dos problemas de infraestrutura no Brasil é devido à fadiga do pavimento asfáltico, já que a adesividade, em certas misturas asfálticas, não apresenta resultado satisfatório. O principal beneficiado desta aplicação trata-se da população brasileira que depende em grande parte do transporte rodoviário tanto para locomoção como para abastecimento e transporte de cargas em geral. Ao longo de um estudo exploratório e de análise por meio de ensaios baseados no método de ensaio do DNER 078/94, o trabalho conduz para uma conclusão sobre aditivos melhoradores de adesividade, indicando a porcentagem de descobrimento do agregado com o ligante em amostras de mistura asfáltica. Como resultado, analisou-se o melhoramento da adesividade em algumas amostras que continham diferentes aditivos melhoradores desta propriedade e também se constatou adesividade satisfatória nas misturas com alguns aditivos de diferentes fabricantes.

Palavras-chave: Misturas asfálticas. Adesividade. Agregado granítico.

ABSTRACT

GENARO, C. F.; NASCIMENTO, M. S. **Analysis and Improvement of Adhesion of the Granite Aggregate to the Bituminous Binder in Asphalt Mixtures.** 2017. 44 sheets. Thesis (Bachelor's Degree in Chemical Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2017.

This final course assignment aims to contribute in the studies of analysis and improvement of problems related to the adhesion of the asphalt binder to the granite aggregate. The main point is to carry out tests that analyze the quality of adhesion of asphalt mixtures, since most of the infrastructure problems in Brazil are due to the fatigue of the asphalt pavement, since the adhesion in certain asphalt mixtures does not present satisfactory results. The main beneficiary of this application is the Brazilian population that relies heavily on road transport both for locomotion and for general cargo supply and transportation. Throughout an exploratory and analysis study by means of assays based on the DNER 078/94 test method, the work leads to a conclusion on adhesion improvers additives, indicating the percentage of discovery of the aggregate with the binder in samples of asphalt mixture. As a result, the improvement of the adhesiveness in some samples containing different adhesion improvers additives was analyzed and satisfactory adhesiveness was also found in the mixtures with additives from different industries.

Keywords: Asphalt mixtures. Adhesion. Granite aggregate.

LISTA DE ABREVIATURAS

g – gramas

kg – quilogramas

km – quilômetros

mm – milímetros

LISTA DE SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AETT - Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres

AOMA - Aditivos Orgânicos Melhoradores de Adesividade

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

ASTM - American Society for Testing and Materials

CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo

CFA - Conselho Federal de Administração

CNT- Confederação Nacional do Transporte

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FRN - Fundo Rodoviário Nacional

ME - Método de Ensaio

NBR - Norma Brasileira

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de produção do asfalto em um estágio.....	17
Figura 2: Amostra 1 após ensaio	26
Figura 3: Amostra 3 após ensaio	27
Figura 4: Amostra 3 após ensaio	28
Figura 5: Amostra 4 após ensaio	29
Figura 6: Amostra 5 após ensaio	30
Figura 7: Amostra 6 após ensaio	31
Figura 8: Amostra 7 após ensaio	32
Figura 9: Amostra 8 após ensaio	33
Figura 10: Amostra 9 após ensaio	34
Figura 11: Amostra 10 após ensaio	36
Figura 12: Amostra 11 após ensaio	37
Figura 13: Amostra 12 após ensaio	38
Figura 14: Amostra 13 após ensaio	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado dos ensaios de adesividade	25
Tabela 2: Resultado dos ensaios de adesividade, seguindo o traço do projeto da mistura	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	ASFALTO	15
1.2	CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)	16
1.3	AGREGADO	18
1.4	ADESIVIDADE	19
1.5	ADITIVOS MELHORADORES DE ADESIVIDADE	20
1.6	ENSAIOS DE ADESIVIDADE	21
1.7	ORGANIZAÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO	21
2	MATERIAIS E MÉTODOS	23
2.1	LOCAL DA PESQUISA	23
2.2	MÉTODOS	23
2.2.1	<i>Aparelhagem e Materiais</i>	23
2.2.2	<i>Execução do Ensaio</i>	24
2.2.3	<i>Resultado</i>	24
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1	RESULTADO DOS ENSAIOS DE ADESIVIDADE	25
3.2	RESULTADO DOS ENSAIOS DE ADESIVIDADE, SEGUNDO O TRAÇO DO PROJETO DA MISTURA	35
4	CONCLUSÃO	40
4.1	CONCLUSÃO	40
4.2	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	40
4.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O transporte é um dos indicadores do grau de desenvolvimento, da qualidade de vida e do bem-estar de uma população, sendo um setor essencial para um país e a sua população (POSSAMAI, 2006). No Brasil, o transporte rodoviário é o mais utilizado para transportar os produtos fabricados em seu território (DENATRAN, 2016).

Segundo dados do Ministério do Transporte (2008), o transporte rodoviário corresponde a 60% (sessenta por cento) do fluxo total de bens e serviços transportados no país; considera-se um índice alto comparando com outros países de grande extensão, como os Estados Unidos, em que o transporte rodoviário corresponde a 26% (vinte e seis por cento) de participação em cargas transportadas, e na Austrália, 24% (vinte e quatro por cento) destas (CFA, 2013).

Contrariando expectativas, a condição das estradas do Brasil não melhorou do ano de 2011 para o ano de 2012 (CFA, 2013), e permanece até hoje como uma situação precária e sem muitos investimentos. Contribui com o baixo investimento em ampliação e manutenção de rodovias no Brasil, a extinção do Fundo Rodoviário Nacional (FRN), que ocorreu em 1988 (AZEVEDO *et al.*, 2012).

Para que a situação da má infraestrutura de estradas não se agrave, atividades de manutenção e de melhoria devem ser realizadas constantemente para que a qualidade se conserve e pequenos defeitos não tomem maiores proporções. De acordo com o Programa de Investimentos em Logística do Brasil, espera-se que no período de 2015 a 2018, 7.413 km de ampliação sejam concedidos em 17 rodovias no país. Segundo dados da pesquisa de rodovias de 2015 da Confederação Nacional do Transporte (CNT),

O Brasil possui 213.299 km de rodovias pavimentadas em todo seu território, os quais são 66.712 km de rodovias federais, 119.691 km de rodovias estaduais e 26.826 km de rodovias municipais.

O pavimento está em situação mais crítica (totalmente destruído) em 0,5% das estradas, em 39,8% há desgaste, apresentaram trinca ou remendos em 19,9%, e buracos ou desníveis em 4,4% da extensão, estes problemas ocorrem em suma devido à qualidade da mistura dos agregados ao ligante na mistura asfáltica (CNT, 2015).

Este cenário preocupa muito a população brasileira, pois mostra que o Brasil está na direção contrária em que deveria seguir na construção de uma infraestrutura

rodoviária necessária ao seu crescimento, em termo mundial, já que o setor rodoviário ocupa a maior parte dos tipos de transporte no Brasil. Sendo assim, todo o país sente os problemas causados pela infraestrutura deficiente de transporte, os quais se acentuam referindo-se às regiões centro-oeste, norte e nordeste (CFA, 2013).

Neste mesmo contexto, as rodovias são a principal forma de transporte de produtos, e mesmo com o crescimento de outras opções de transporte, tendem a continuar exercendo um papel de extrema importância. Conseqüentemente, aumentar a qualidade das estradas brasileiras é garantir a redução de custos e facilitar a circulação de produtos no território brasileiro (CFA, 2013).

O investimento em autoestradas é algo fundamental para um país com proporções continentais como o Brasil: para integração nacional, para acentuar a mobilidade da população e do capital, para garantir segurança das pessoas e do transporte e até mesmo para defesa nacional (MARTINS *et al.*, 2013).

Algumas propriedades do agregado mineral granítico que compõe as misturas asfálticas usinadas são relevantes em relação ao desempenho do revestimento asfáltico, dentre elas, a adesividade ao ligante betuminoso.

A compreensão da estrutura mineral e química do agregado, e dos efeitos de mistura ligados a adesividade deste, é de grande importância na qualidade da pavimentação asfáltica.

Verificar-se-á com ensaios de adesividade, se o material está adequado às normas e especificações do órgão nacional (DNIT) e do órgão estadual (DER) para produção de uma mistura asfáltica de melhor qualidade e responder assim a problemática de como melhorar a adesividade do agregado granítico em relação ao ligante asfáltico. A hipótese levantada é de que isso será corrigido com o uso de aditivos orgânicos melhoradores de adesividade, a base de amins e poliaminas, que pela polaridade promovem essa ligação melhorada entre o agregado e o ligante asfáltico.

1.1 ASFALTO

Revestimento, capa de rolamento ou asfalto é a primeira camada a partir da superfície, tratando-se de pavimento, impermeável, que recebe diretamente as ações do tráfego e é destinada a melhorar tanto a superfície de rolamento, quanto as condições de conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais. Esta é,

portanto, a camada mais nobre do pavimento, pois necessita de grande poder de resistência, alta durabilidade e ser a mais confortável possível, ou seja, com menos ondulações (BRONDANI e PINHEIRO, 2010).

O uso do asfalto em pavimentação tem enorme importância por ser um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem e é utilizado como principal forma de revestimento na maioria dos países do mundo. Cerca de 95% das estradas pavimentadas no Brasil são de revestimento asfáltico, como também em grande parte das ruas (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A obtenção do asfalto a partir da destilação do petróleo iniciou-se, nos Estados Unidos, em 1902, e sua utilização mais intensa, em serviços de pavimentação, começou em 1909 (BOTARO, 2006).

Usa-se prioritariamente o asfalto em pavimentação porque ele age como um ligante e proporciona intensa união dos agregados e flexibilidade controlável. Pode ser utilizado com ou sem aditivos e aquecido ou emulsionado. Resiste à ação da maioria dos ácidos, álcalis e sais, sendo impermeável, durável e resistente (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O asfalto pode ser separado em componentes, são eles:

[...] asfaltenos e maltenos. Os asfaltenos são definidos como uma fração de coloração preta, que são insolúveis no n-heptano. Já os maltenos são constituídos de compostos saturados, compostos aromáticos e resinas, que são solúveis no n-heptano. A relação entre a composição de asfaltenos, maltenos e outros constituintes tem um efeito significativo nas propriedades viscoelásticas dos asfaltos e, conseqüentemente, no desempenho das pastas que pavimentam as estradas (MORALES *et al.*, 2003).

O asfalto é composto de agregados, cimento asfáltico de petróleo e, em casos de má adesividade contém, também, aditivos melhoradores de adesividade.

1.2 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), o asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável à água e pouco reativo. A cor varia entre castanha escura ou preta, e a composição se dá conforme a origem do respectivo petróleo bruto e processos realizados nele (PEREIRA, 2009).

Segundo Bernucci *et al.* (2008), o refino de petróleo é o conjunto de processos de separação de seus constituintes. Existem diferentes processos de refino de petróleo que produzem os ligantes asfálticos. Um deles é o da destilação direta, que pode ser realizada em um ou dois estágios.

Quando o petróleo é de base asfáltica, designado por petróleo pesado, isto é, tem muito asfalto, proporcionalmente a outras frações ou petróleos, é necessário apenas um estágio de destilação a vácuo e este processo produz um CAP de consistência adequada para a pavimentação (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O CAP utilizado no presente trabalho é advindo de petróleo de base asfáltica, ou seja, passou apenas por um estágio de destilação. A figura a seguir esquematiza o processo de obtenção do CAP.

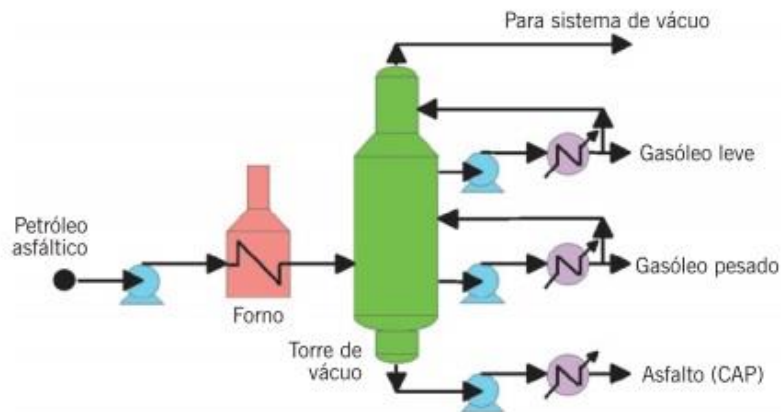


Figura 1: Esquema de produção do asfalto em um estágio (Tonial e Bastos, 1995 apud Bernucci *et al.*, 2008).

O CAP pode ser definido também como um material muito flexível, aglutinante e termosensível que possui alta resistência à ação de sais, álcalis e ácidos inorgânicos (PETROBRAS DISTRIBUIDORA, 2012). A denominação CAP é utilizada para designar esse produto:

Semissólido a temperaturas baixas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas, e que se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O CAP tem características adesivas que fazem com que os agregados se envolvam e tornem-se mais resistentes e fundamentalmente mais resistentes à água, e por isso é utilizado como ligante nas misturas asfálticas (PEREIRA, 2009).

1.3 AGREGADO

O agregado encontra-se aglutinado ao ligante asfáltico nos pavimentos, e assim é definido como “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto” (ABNT, 2005). O agregado compõe 85% em volume das misturas asfálticas, sendo essencialmente relevante no modo como se comporta a mistura, principalmente em relação ao efeito da água (PEREIRA, 2009).

As características que os agregados devem ter para serem aplicados na pavimentação e suportar, sem fraturarem-se, às pressões exercidas pelos veículos e também resistir às ações dos agentes de intemperismo, sem se alterarem, são limpeza, dureza, resistência, durabilidade, ter partículas livres de substâncias ou camadas de argilas, de materiais finos em quantidades que poderiam afetar a hidratação e a ligação com a massa asfáltica e, também, uma boa adesividade ao ligante, ou seja, uma alta absorção de CAP pelo agregado (GIACCIO *et al.*, 1992).

A influência principal na adesividade entre os ligantes betuminosos e o agregado está na adsorção química promovida pela atração que os átomos da superfície da rede cristalina de minerais em que se dispõem os átomos das partículas dos agregados, exercem sobre átomos de gases, líquidos ou sólidos que estejam em contato (ATKINS e JONES, 2012, p. 182-191) (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os agregados minerais podem ser classificados em naturais ou artificiais. Os naturais advêm de alterações das rochas por intemperismo ou produzidas por algum processo físico, como britagem, lavagem, etc.; já os artificiais advêm de matéria prima produzida artificialmente por transformações físicas e químicas do material natural (BRONDANI, 2010). Eles também podem ser classificados em relação ao tamanho, o agregado pode ser definido como graúdo, se ficar retido na peneira número 10 (maior que 3/8” ou 9,5mm), ou agregado miúdo, se passar na peneira número 10 e ficar retido na peneira número 200 (maior que 0,075mm). Tem também, o material de enchimento, ou fíleres, em que 65% das partículas é passante na peneira número 200, ou seja, é menor que 0,075mm (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os agregados não são encontrados nos tamanhos desejados para cada fim específico, como a pavimentação. Para isso, existem processos para adequar o agregado ao seu uso, como a separação por meio de peneiramento, lavagem do

material, mistura de dois ou mais tamanhos de agregados e britagem com peneiramento (BRONDANI, 2010).

Os agregados são obtidos por fraturamento artificial de três tipos principais de rochas, ígneas, sedimentares e metamórficas (BRONDANI, 2010). O agregado analisado nesta pesquisa, o granito, é uma rocha ígnea intrusiva.

Rochas ígneas ou magmáticas são aquelas que se formaram por arrefecimento de massas em fusão ígnea provenientes das regiões profundas da terra. O seu componente principal é em geral a sílica e são constituídas por matéria cristalina e/ou amorfa de acordo com a velocidade de arrefecimento. Quimicamente são as rochas mais reativas (COUTINHO, 1999).

Há dois tipos de agregados, os básicos, eletropositivos ou hidrofóbicos e os ácidos, eletronegativos ou hidrofílicos. Os agregados de rochas classificadas como ácidas costumam apresentar problemas de adesividade, que é caso do granito, enquanto que os de rochas classificadas como básicas costumam apresentar melhor adesividade ao ligante asfáltico (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

1.4 ADESIVIDADE

A adesividade é um fenômeno complexo e muito difícil de ser avaliado. Atua como uma força intermolecular, por meio da atração entre superfícies, unindo corpos desconhecidos (ATKINS e JONES, 2012, p. 171-179). A adesividade pode ser usada para referir a quantidade de energia que é necessária para quebrar a ligação entre o CAP e o agregado (PEREIRA, 2009). Há agregados com maior facilidade e outros com menor facilidade de se ligar ao cimento asfáltico de petróleo.

A definição formal de adesividade se dá pela norma DNER-ME 78/94 como:

Adesividade é a propriedade que tem o agregado a ser aderido por material betuminoso. É verificada pelo não deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura agregado-ligante é submetida, a 40°C, à ação de água destilada, durante 72 horas (DENATRAN, 2016).

A adesividade pode ser melhorada se o agregado estiver limpo, livre de materiais nocivos, como argila, matéria orgânica e outros materiais deletérios. E a adesividade também pode ser melhorada se o agregado estiver livre de finos plásticos, que podem causar tanto o enrijecimento do CAP, como a repulsão, quando em contato com a água, do agregado com o ligante asfáltico. Podendo assim, diminuir

a vida útil do pavimento devido ao trincamento por fadiga (D.O. RIO DE JANEIRO, 2010).

A principal causa da má adesividade do agregado com o ligante nem sempre é a presença de materiais indesejáveis e nocivos, mas sim a composição química do agregado (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

Quando a água entra em contato com a película do ligante asfáltico e a superfície do agregado e separa ou descola ambos, considera-se não recomendada para uso em misturas asfálticas. Agregados silicosos, como o quartzito e alguns granitos, são exemplos desse caso e requerem maior estudo quanto à sua adesividade ao ligante asfáltico (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Existem dois tipos de adesividade, a ativa e a passiva. A adesividade ativa é a desenvolvida quando o ligante cobre a partícula de agregado, é a condição essencial para que o ligante envolva a superfície do agregado. Já a adesividade passiva é a resistência ao deslocamento da película de ligante da superfície, já envolvida, do agregado (BRONDANI, 2010).

Para a solução do problema da má adesividade se usam fíleres ativos, como cal, pó calcário, cimento Portland ou até mesmo cinzas residuais de caldeiras; ou aditivos melhoradores de adesividade, podendo ser dopes, aditivos orgânicos, entre outros.

1.5 ADITIVOS MELHORADORES DE ADESIVIDADE

Os aditivos melhoradores de adesividade, ou “dopes”, promovem a afinidade físico-química na película do ligante asfáltico com a superfície do agregado, corrigindo a aderência e a adesividade insatisfatórias entre agregados e ligantes (BRASQUÍMICA, 2015).

Existem alguns tipos de aditivos ou fíleres que auxiliam na qualidade da adesividade ao ligante como já citado no tópico anterior. Este estudo foca-se nos aditivos orgânicos melhoradores de adesividade (AOMA).

A composição ativa do aditivo orgânico está baseada na síntese de amidoaminas e poliaminas graxas de alto peso molecular. A sua adição é realizada em pequenas quantidades diretamente ao ligante asfáltico e age modificando a sua natureza físico-química (PEREIRA, 2016).

Os AOMAs possuem em sua composição característica um grupo polar (moléculas de amina são responsáveis por esse grupo), que se liga quimicamente à superfície do agregado e outro grupo apolar (cadeias de hidrocarboneto) que desloca a água da superfície do agregado, interagindo com o cimento asfáltico, ligando adesivamente ambos os materiais, portanto quanto maior o tamanho da cadeia, mais forte é a atração com o agregado pelo lado polar da molécula e mais forte é a atração com o CAP pelo lado apolar da molécula (ATKINS e JONES, 2012, p. 101-104) (PEREIRA, 2016). Atingindo, assim, uma adesividade do agregado ao ligante asfáltico satisfatória.

1.6 ENSAIOS DE ADESIVIDADE

Existem alguns tipos de ensaios que podem avaliar a adesividade do agregado ao ligante asfáltico: um dos tipos é aquele que avalia, visualmente, o recobrimento do agregado por ligante asfáltico, que podem ser DNER-ME 78/94 e ABNT-NBR 12583/92 para agregados graúdos e DNER-ME-79/94 para agregados miúdos, em que a mistura não compactada é imersa em água e, então, avalia-se visualmente sua adesividade; outro tipo é aquele que avalia o desempenho de algumas propriedades mecânicas das misturas com presença de água, sendo um exemplo, a norma ASTM D 1075 a resistência à compressão simples (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Existem também outros ensaios que podem determinar a existência de materiais nocivos à mistura asfáltica, como o DNER-ME-54/97 de equivalente em areia, o ensaio do azul de metileno, sendo este realizado por meio do método ABNT NBR 15617/08, e o ensaio de dano por umidade induzida, ou Lottman Modificado, correspondente aos métodos ASTM D 4867/04 ou AASHTO T 283.

1.7 ORGANIZAÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em quatro tópicos, sendo eles: introdução, materiais e métodos, resultados e discussão e conclusão.

O objetivo geral deste trabalho é contribuir na solução de problemas relacionados à adesividade do ligante asfáltico ao agregado granítico, possibilitando assim, uma cobertura asfáltica de melhor qualidade, e conseqüente maior durabilidade, reduzindo custos de manutenção.

Para isto foi analisado e avaliado o efeito da adesividade do agregado, retirado do solo na região de Carambeí (-24.956695; -50.1706657), ao ligante asfáltico, e coletados e comparados os dados obtidos pelos ensaios de caracterização da adesividade do agregado granítico ao ligante asfáltico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCAL DA PESQUISA

Os ensaios foram realizados nos Laboratório de Química Orgânica, Química Analítica e de Operações Unitárias do Departamento de Engenharia Química, localizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

2.2 MÉTODOS

O método de ensaio utilizado nesta pesquisa foi baseado na ME 78/94 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Esta norma prescreve o método para a verificação da adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso.

2.2.1 *Aparelhagem e Materiais*

A aparelhagem necessária para este ensaio é:

- Peneiras de aberturas de 19 mm e 12,5 mm (séries ASTM $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ ", respectivamente), inclusive tampa e fundo;
- Chapa aquecedora;
- Estufa capaz de manter a temperatura em torno de 40°C, 60°C, 100°C e 120°C;
- Balança com capacidade de 10 kg, sensível a 0,1 g;
- Balança analítica com capacidade de 210 g, sensível a 0,001 g;
- Espátula de aço inoxidável, com lâmina de aproximadamente 20 cm de comprimento;
- Béquer de vidro, com capacidade de 500 ml;
- Placa de vidro de superfície lisa;
- Termômetro de 0°C a 200°C, graduado em 1°C;
- Agregado (granito);
- CAP 50/70;
- Aditivos melhoradores de adesividade: A, B, C e D (diferentes fabricantes);
- Cinzas de cavaco de eucalipto.

Para uma melhor organização do trabalho, foram utilizadas letras que acompanham as porcentagens nas tabelas, presentes nos resultados. Elas se referem

à: X= Cinzas de cavaco de eucalipto; A= fabricante 1; B= fabricante 2; C= fabricante 3; D= fabricante 4.

2.2.2 Execução do Ensaio

A amostra de agregado utilizada foi obtida do material que passa na peneira de 19 mm (série ASTM ¾”) e ficou retido na peneira de 12,5 mm (série ASTM ½”). A seguir, a amostra foi lavada e colocada em um frasco com água destilada, durante 1 minuto. Logo após, levada à estufa a 120°C por 2 horas.

Pesou-se 500 g (± 1 g) da amostra de agregado previamente preparada e aqueceu-se a 100°C.

As amostras do ligante de cimento asfáltico de petróleo foram aplicadas a 120°C.

Adicionou-se, sobre a amostra de agregados previamente aquecida, 17,5 g ($\pm 0,5$ g) do ligante betuminoso, adicionou-se, também, a porcentagem de dope (recomendada por suas respectivas fichas técnicas de cada fabricante) sobre a massa do ligante e, com uma espátula, procedeu-se à mistura até completo envolvimento da amostra.

A amostra de agregados envolvida pelo ligante e o aditivo foi colocada sobre uma placa de vidro de superfície lisa, a fim de que a mistura esfriasse. Em seguida, a amostra foi colocada no béquer de vidro e totalmente recoberta com água destilada. O recipiente foi colocado na estufa a 40°C durante 72 horas.

Foram feitas 13 amostras com diferentes porcentagens de aditivos.

2.2.3 Resultado

O resultado é considerado satisfatório se, ao fim de 72 horas, não houve nenhum deslocamento da película betuminosa e insatisfatório, quando houver total ou parcial deslocamento da película betuminosa neste mesmo tempo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADO DOS ENSAIOS DE ADESIVIDADE

Após a realização do ensaio DNER-ME 78/94 com diversas amostras de CAP 50/70 (essa proporção diz respeito ao ensaio de penetração do cimento asfáltico de petróleo – não realizado nesta pesquisa) com porcentagens diferentes de variados aditivos e de cinza de cavaco de eucalipto, que atua como fíler na mistura (ambas as porcentagens em relação à massa do CAP) pôde-se obter os resultados que são apresentados abaixo.

As porcentagens de quantidade dos aditivos, não são escolhidas aleatoriamente. Cada aditivo tem um projeto técnico que deve ser seguido, em que consta a quantidade a ser utilizada na mistura asfáltica, por este motivo foram usadas as proporções apresentadas no presente trabalho, que seguem: A entre 0,1% e 0,4%; B e C entre 0,5% e 1% e D entre 0,3% e 0,6%.

A tabela a seguir apresenta o resultado em relação à adesividade observada em cada mistura.

Tabela 1: Resultado dos ensaios de adesividade.

N° da amostra	Asfalto	Cinzas	Aditivo	% de descobrimento	Adesividade
1	CAP 50/70	-	0,2% A	≈ 4%	Insatisfatório
2	CAP 50/70	-	0,3% A	≈ 0%	Satisfatório
3	CAP 50/70	-	0,4% A	≈ 0%	Satisfatório
4	CAP 50/70	-	1% B	≈ 0%	Satisfatório
5	CAP 50/70	-	1% C	≈ 40%	Insatisfatório
6	CAP 50/70	2% X	-	≈ 80%	Insatisfatório
7	CAP 50/70	4% X	0,6% D	≈ 50%	Insatisfatório
8	CAP 50/70	6% X	0,6% D	≈ 30%	Insatisfatório
9	CAP 50/70	8% X	0,6% D	≈ 10%	Insatisfatório

Fonte: Os autores.

A seguir, fotos das amostras após 72 horas de imersão em água destilada à 40°C.



Figura 2: Amostra 1 após ensaio.

A marcação vermelha na figura acima mostra a parte descoberta da amostra, que mesmo pequena, já representa um resultado insatisfatório para adesividade. Portanto, com essa quantidade do aditivo A de 0,2%, a mistura não apresenta boa adesividade, podendo ser aumentada a quantidade do aditivo.



Figura 3: Amostra 2 após ensaio.

A figura acima não apresenta nenhuma parte descoberta do agregado. Portanto o aditivo A, com a quantidade de 0,3%, apresenta adesividade satisfatória. Assim, podemos concluir que uma quantidade maior de aditivo A também apresentará uma boa adesividade.



Figura 4: Amostra 3 após ensaio.

A figura acima também não apresenta nenhuma porcentagem de descobrimento do agregado. Então, o aditivo A, em quantidades de 0,3% e 0,4% em relação à mistura, apresenta adesividade satisfatória.



Figura 5: Amostra 4 após ensaio.

O aditivo B com a quantidade de 1% apresenta adesividade satisfatória, podendo ser observada essa constatação na figura acima. Esse aditivo é citado novamente mais adiante.



Figura 6: Amostra 5 após ensaio.

Na figura acima, podem ser notadas algumas áreas do agregado descobertas. A foto não mostra outros descobrimentos, mas no momento do experimento foi constatado que o aditivo C apresenta em torno de 40% de descobrimento do ligante ao agregado.



Figura 7: Amostra 6 após ensaio.

A amostra 6, que contém o aditivo D e cinzas de cavaco de eucalipto utilizadas como fíler, mostra várias partes descobertas, o que demonstra que o aditivo D não foi eficiente como melhorador de adesividade e que as cinzas não foram efetivas em seu papel como fíler na mistura.



Figura 8: Amostra 7 após ensaio.

A amostra 7, que contém o mesmo aditivo da amostra anterior, também não apresenta boa adesividade, mas consegue-se notar melhora em relação à amostra 6. Portanto, o aumento da quantidade de cinzas de 2% para 4% proporciona uma correção, mesmo que pequena, na adesividade.



Figura 9: Amostra 8 após ensaio.

Novamente, nota-se que, com uma quantidade maior de cinzas, 6%, há melhora na adesividade. Mas por ser o mesmo aditivo D, ainda não há adesividade satisfatória.



Figura 10: Amostra 9 após ensaio.

Na amostra 9, também não há total recobrimento do agregado. Mas com uma porcentagem maior de cinzas, 8%, a adesividade é melhorada, porém ainda não satisfatória, o que descarta a possibilidade do uso de cinzas como fíler para esta mistura, já que a norma possibilita no máximo 8% de fíler na mistura (DER/PR, 2005). O uso das cinzas estava associado apenas a este aditivo, D, pois era o aditivo utilizado na usina de pavimentação da empresa de onde foi retirado o agregado, que, sozinho, não estava sendo eficaz para este ensaio de adesividade.

3.2 RESULTADO DOS ENSAIOS DE ADESIVIDADE, SEGUINDO O TRAÇO DO PROJETO DA MISTURA

Para um maior esclarecimento dos efeitos de mistura, foram realizados outros ensaios, apenas com os aditivos que obtiveram resultado satisfatório (aditivos A e B), baseados no método DNER-ME 78/94, porém, seguindo o traço do projeto do agregado da mistura asfáltica, ou seja, seguindo os parâmetros reais de aplicação, assim como é feito nos canteiros de obras. Então, o traço do projeto seguido foi em composição, de 16% de agregado $\frac{3}{4}$ " (abertura da malha da peneira), 30% de agregado $\frac{1}{2}$ " e 53% de pó de pedra. Com 5,1% de CAP em relação à massa do agregado. Esta mistura era a utilizada pela empresa de onde foi retirado o agregado.

Tabela 2: Resultado dos ensaios de adesividade, seguindo o traço do projeto da mistura.

N° da amostra	Asfalto	Local de retirada do agregado	Aditivos	% de descobrimento	Adesividade
10	CAP 50/70	Agregado retirado dos silos de armazenamento	0,4% A	≈ 2%	Insatisfatório
11	CAP 50/70	Agregado retirado diretamente das peneiras na linha de produção	0,4% A	≈ 0%	Satisfatório
12	CAP 50/70	Agregado retirado diretamente das peneiras na linha de produção	0,5% B	≈ 0%	Satisfatório
13	CAP 50/70	Agregado retirado diretamente das peneiras na linha de produção	1% B	≈ 0%	Satisfatório

Fonte: Os autores.

A seguir, fotos das amostras após 72 horas de imersão em água destilada à 40°C, seguindo o traço do projeto da mistura.



Figura 11: Amostra 10 após ensaio.

A amostra 10 contém o aditivo A e agregados que foram retirados dos silos de armazenamento, e apresenta alguns pontos de descobrimento, podendo ter sido causado por algum erro no experimento realizado.



Figura 12: Amostra 11 após ensaio.

A amostra 11, com uso de 0,4% do aditivo A apresenta adesividade satisfatória, podendo ser aplicada em misturas asfálticas e utilizada na pavimentação de ruas e estradas.



Figura 13: Amostra 12 após ensaio.

A amostra 12 e a amostra 13 (a seguir) apresentam, ambas, adesividade satisfatória. Porém com uma diferença na quantidade de aditivo B presente. A amostra 12 contém menor quantidade, 0,5%; já a amostra 13 contém 1%. Assim, considera-se que a mistura mais viável em termos de economia (comparando as proporções do aditivo B), tanto de material quanto financeira, é a mistura da amostra 12.



Figura 14: Amostra 13 após ensaio.

Observa-se que apenas os aditivos A e B obtiveram resultado satisfatório, com quantidade de 0,3 e 0,4% do aditivo A e 0,5% e 1% do aditivo B, em relação à massa do CAP.

Os outros aditivos podem não ter apresentado adesividade satisfatória por se tratar de agregado granítico, em específico, sendo o granito muito ácido e, portanto, hidrofílico.

4 CONCLUSÃO

4.1 CONCLUSÃO

Conclui-se que esse resultado satisfatório da adesividade com os aditivos A e B se deve ao fato de que esses aditivos apresentam em sua composição características que facilitam a ligação do agregado com o CAP, dificultando a ação da água quando em contato com a mistura.

Um exemplo de tais características seria o tamanho das cadeias moleculares presentes nesses aditivos, pois quanto maior o tamanho da cadeia, mais forte é a atração com o agregado pelo lado polar da molécula e mais forte é a atração com o CAP pelo lado apolar da molécula (ATKINS e JONES, 2012, p. 101-104, PEREIRA, 2016); já que o agregado tem característica apolar e o CAP, polar.

Como principal contribuição deste trabalho, pode-se apontar a obtenção de informações sobre quais aditivos promoveram resultados satisfatórios em relação à adesividade de um agregado granítico ao ligante asfáltico, para aplicação na indústria de pavimentações.

4.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A principal barreira enfrentada para a pesquisa e exploração sobre a adesividade de um agregado ao ligante asfáltico, foi a falta de informações e especificações sobre os aditivos utilizado na pesquisa. Isto se deve à proteção do conhecimento dos fabricantes, porém dificulta a caracterização de suas respectivas composições e propriedades.

4.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por meio dos conhecimentos obtidos no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, entende-se a importância dos estudos relacionados à adesividade, sendo essa uma das propriedades que mais possui influência na durabilidade e vida útil da pavimentação em estradas e ruas.

Portanto, constata-se necessário o avanço das pesquisas nessa área, afim de que os conhecimentos obtidos na teoria, por meio de revisão bibliográfica, e na prática, por meio dos ensaios, sejam aplicados em situações reais.

Com o desenvolvimento de estudos na área de pavimentação asfáltica, novos produtos e tecnologias poderiam ser desenvolvidos com o objetivo de proporcionar aumento da vida útil das misturas asfálticas, diminuindo os custos de manutenção e etc., melhorando assim, a infraestrutura das estradas de todo o país.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P., JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. p. 101-104, 171-179, 182-191.

AZEVEDO, G. H. I. *et al.*. Uso de análise envoltória de dados para mensurar eficiência temporal de rodovias federais concessionadas. **J. Transp. Lit.**, Manaus, v. 6, n. 1, p. 37-56, Mar. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312012000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 set. 2016.

BALDO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008.

BOTARO, V. R., CASTRO, S. I. R., JUNIOR, F. R., CERANTOLA, A. E. Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina organossolve. **R. Esc. Minas**. Ouro Preto, v. 59. n.1, jan./mar. 2006.

BRASQUÍMICA. **Produtos**. Disponível em: <http://www.brasquimica.com.br/produtos/prg_pro.cfm?cod=8>. Acesso em: 11 set. 2016.

BRONDANI, V., PINHEIRO, R. **Materiais para Infraestrutura de Transportes**. 2010.

CFA - Conselho Federal de Administração. **Plano Brasil de Infraestrutura Logística: uma abordagem sistêmica**. Brasília – DF, 2013.

COUTINHO, J. S. **Materiais de Construção I: Agregados para Argamassas e Betões**. 1999.

D. O. RIO DE JANEIRO. 12 jul. 2010. **Diário Oficial do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ. Ano XXIV, n.77, 2010.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota de veículos**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 05 ago. 2016.

DER/PR – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **Pavimentação: concreto asfáltico usinado à quente**. Curitiba, 2005.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 078/94: Agregado graúdo: adesividade a ligante betuminoso**. Rio de Janeiro, 1994.

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

GIACCIO, et al. High strength concretes incorporating different course aggregates, **ACI Materials Journal**, v. 89, n. 3, pp. 292 - 246, 1992.

MARTINS, F., SOARES, V., CAMMARATA, F. **Infraestrutura Rodoviária no Brasil: uma proposta para desenvolvê-la.** São Paulo, 2013.

MORALES, M. G., PARTAL, P., NAVARRO, F. J., et al. Viscous properties and microstructure of recycled eva modified betumen. **Fuel**, v. 83, p.31-38, 2004.

NBR 9.935: Agregados. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 12583: Agregado Graúdo – Verificação da Adesividade a Ligante Betuminoso. Rio de Janeiro, 1992.

PEREIRA, F. J. Q. **Estudo da Sensibilidade à Água de Misturas Betuminosas.** 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2009.

PEREIRA, G. S. Aditivos Orgânicos Melhoradores de Adesividade. **Boletim Técnico SINICESP.** São Paulo, n. 8, jul. 2016. Disponível em: <<http://www.sinicesp.com.br/materias/2012/bt08a.htm>> Acesso em: 30 ago. 2016.

PETROBRÁS DISTRIBUIDORA. **Cimentos asfálticos de petróleo (CAPs).** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.br.com.br/pc/produtos-e-servicos/para-pavimentacao/cimentos-asfalticos-de-petroleo/!ut/p/z1/IZDLDoIwEEW_xS_oDFisy5E0hYppUCrYjWFlmii6MH6_XZkAPnB2k5w752aYYw1zXfvwp_bur117DvvBJUcFhUlzR62U4UAlt0utU1QZZ3UfMJILIIJkLyqMYIvMTcnDhyGYIn8BQqYpUGawxDz4lf4zPwbc93o1c31FcCKQJIVCrQEeqPgTevOiXZHhhM49DSciXVOIIPsNAoJZAYKo0IiwA3a7WGs8Lmn2RMnhjZE/> Acesso em: 10 set. 2016.

POSSAMAI, R. P. **Avaliação de Eficiência Técnica em Concessionárias de Rodovias Utilizando Análise Envoltória de Dados.** 2006. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RESENDE, M. R.; BERNUCCI, BARIANNI L.L.; QUINTANILHA, J. A. Classificação híbrida: pixel a pixel e baseada em objetos para o monitoramento da condição da superfície dos pavimentos rodoviários. **Bol. Ciênc. Geod**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 397-420, set. 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702012000300004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 29 ago. 2016.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação.** São Paulo: Ed. Pini, 2010. p. 746.

SIMÃO, V. **Programa de Investimentos em Logística**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Brasília – DF. 2015. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/apresentacoes/2016/seminarios-carta-capital-1.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2016.