

INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus Rio Verde

ENGENHARIA CIVIL

**ASFALTO DRENANTE: PROPORÇÕES
GRANULOMÉTRICAS E APLICABILIDADE**

MARIANA APARECIDA DE OLIVEIRA GOUVEIA

Rio Verde - GO

Junho, 2019.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA CIVIL

**ASFALTO DRENANTE: PROPORÇÕES
GRANULOMÉTRICAS E APLICABILIDADE**

MARIANA APARECIDA DE OLIVEIRA GOUVEIA

Trabalho de curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista
Teixeira

Rio Verde - GO

Junho, 2019.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Ga Gouveia, Mariana Aparecida de Olivera
Asfalto Drenante: Proporções Granulométricas e
Aplicabilidade / Mariana Aparecida de Olivera
Gouveia; orientador Marconi Batista Teixeira. -- Rio
Verde, 2019.
68 p.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Asfalto poroso. 2. Pavimentação permeável. 3.
Pavimentação rígida. 4. Concreto poroso. 5. Drenagem
urbana. I. Teixeira, Marconi Batista, orient. II.
Título.

MARIANA APARECIDA DE OLIVEIRA GOUVEIA

**ASFALTO DRENANTE: PROPORÇÕES GRANULOMÉTRICAS E
APLICABILIDADE**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 14 de junho de 2019,
pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Bruna Oliveira Campos
Prof.^a M.^a Bruna Oliveira Campos

IF Goiano Campus Rio Verde

Gilmar Fernando de Melo Júnior
Eng.^o Civil. Gilmar Fernando de Melo Júnior
IF Goiano Campus Rio Verde

Marconi Batista Teixeira
Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
IF Goiano Campus Rio Verde

Rio Verde – GO

Junho, 2019



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Mariana Aparecida de Oliveira Gouveia
Matrícula: 2014102200840643
Título do Trabalho: Asfalto Drenante: Proporções Granulométricas e Aplicabilidade

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 16 / 08 / 2019.

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

_____ Rio Verde, 14 / 08 / 2019.
Local Data

Mariana Aparecida de O. Gouveia
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Marconi Batista Teixeira
Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

“Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas”

Antoine de Saint – Exupéry

Agradeço a Deus por me tornar responsável, permitindo assim, que seja possível alcançar e cativar minhas metas, objetivos, e aqueles me rodeiam.

Agradeço-o ainda mais por ter me dado uma família maravilhosa, que me ama sem limites. Ao meu pai Heleno, minha mãe Lásara, minha irmã linda Luciana, ao meu anjo de 4 patas Chulézinho, e ao atual pestinha da casa, meu querido dog Benjamim. Sou grata por tudo que fazem por mim, e por nossa família. Também agradeço a todo o apoio da família Oliveira família Gouveia, família Cabral e Pastoral Familiar, porque fazem parte de quem eu sou.

Sou muito grata a todos os profissionais que estiveram comigo para a formação deste trabalho. Obrigada Marconi, Bruna Campos, Ronan e Thomas Ananias!

Agradeço a Deus por ter me dado amigos que fizeram que esses anos de graduação fossem mais fáceis de serem superados. Em especial, agradeço a Nathália Macedo, por estar comigo em todos os momentos de felicidade e de desespero da faculdade.

O meu muito obrigada para o João Paulo, o Luís Guilherme e a Rebeca, porquê foram essenciais em ajudar-me a conseguir obter os dados dessa pesquisa nos computadores e a organizá-los.

Também sou muito grata aos meus amigos que sempre me escutam. Obrigado Bruna, Heitor e Isis.

Obrigada também a todos da Associação Acadêmica Atlética Vigarista, todos os anos à frente como diretora de eventos foram sensacionais, obrigada por fazerem parte dessa equipe comigo. Agradeço também a todos que estiveram comigo na organização do IARV.

A todos que estiveram comigo na graduação, nos projetos acadêmicos e de vida: Denise, Gabriel Castro, Ana Clara, Gilmar, Júlia, Adrielly, Carol Urias, Juliana, Maykow, Nathália Teodoro, Franciene, Marcos, Laura, Caru, Raiza, Natalia, Ana Carolina, Cassia, Eduardo, Lucas Barbosa, Jéssika, Inácio, Igor, Neilson, Venilton, Lívia, Alisson, Diovana, Geovana Alievi, Gleyciane, Caetano, Styven, Jefferson, Luanna, Bruna Carolina, Monara, Pedro e todos que não citei mas estiveram presente, muito obrigada!

E agradeço ainda mais, pelo melhor professor do IF Goiano, ao pai de todos, pai Marconi! Obrigada por acreditar nessa pesquisa quando eu já não mais acreditava. Obrigada por ajudar a passar por todos obstáculos que apareceram durante os experimentos. E muito, muito obrigada por ter entrado na minha ideia de economizar para fazer o bem e doar a cesta básica. Você inspira a todos nós que somos alunos a sermos ótimos profissionais, amar o que fazemos, e nos inspira a sermos pessoas melhores com toda bondade e preocupação que demonstra ter para com todos.

E mais uma vez, obrigada ao Adm. Heleno Gouveia! Te amo muito Pai! Sem você eu não teria conseguido fazer essa pesquisa.

RESUMO

GOUVEIA, Mariana Aparecida de Oliveira. **Asfalto Drenante: Proporções Granulométricas e Aplicabilidade**. 2019. 60p. Monografia (Curso de Bacharelado de Engenharia Civil). Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2019. Orientador: Marconi Batista Teixeira.

O processo de êxodo rural, o surgimento de vias pavimentadas, calçadas, e a diminuição das áreas permeáveis das cidades, foram os principais causadores para os problemas de drenagem urbana. Uma solução para este problema pode ser o asfalto poroso, o qual permite a percolação da água através de seus vazios. Contudo, por ser uma tecnologia nova, não se tem muitos estudos e avanços nessa área, consequentemente o seu uso é limitado a vias de pequenos tráfegos. O presente trabalho objetivou-se em fazer testes para formulação de traços da pavimentação permeável, tanto rígida quanto flexível, a fim de aperfeiçoar um traço para camada de capeamento que apresente características permeáveis e se enquadre dentro dos parâmetros mínimos de resistência exigidos pelo Manual de Pavimentos Rígidos – DNIT e pela especificação de serviço de pavimentos flexíveis: NBR DNIT 031/2004 – ES. Os traços dimensionados tinham como propósito promover remodelamento granulométrico com diferentes níveis de finos com variações medidas em pontos percentuais de 5%, 10%, 15% e 20% em relação ao valor total de agregado da mistura. Foi possível fazer análises estatísticas do pavimento rígido, o qual o “Traço – 15%” apresentou dados satisfatórios atingindo 4,5 MPa em torção ultrapassando o mínimo exigido por norma de 4,4 MPa. Todos os traços rígidos obtiveram coeficiente de permeabilidade mínimo de 10^{-3} m/s. Quanto aos traços do pavimento flexível não apresentaram estabilidade suficiente para iniciar as análises estatísticas.

Palavras chave: asfalto poroso, pavimentação permeável, pavimentação rígida, concreto poroso, drenagem urbana.

ABSTRACT

GOUVEIA, Mariana Aparecida de Oliveira. Federal Institute Goiano, Rio Verde – Go. 2019. **Drainage Asphalt: Granulometric Proportions And Applicability**. 2019. 60 p. Advisor: Marconi Batista Teixeira.

The process of rural growth, the emergence of paved roads, sidewalks and the reduction of permeable areas of cities were the main factors responsible for urban drainage problems. A solution to this problem can be made by an individual, which allows percolation of the water through its voids. Finally, a new technology, does not have many studies and advances in this area, consequently, its use is limited to small traffics. The present work aimed to make tests for the formulation of permeable paving traces, both rigid and flexible, in order to perform a tracing for the cape layer that present the permeable and continuous characteristics within the minimum resistance parameters required by the Manual of Pavements. Rigid - DNIT and for the attribution of services of flexible pavements: NBR DNIT 031/2004 - ES. The dimensioned traces were recommended to promote the granulometric remodeling with different levels of fines with sets of measures in percentage points of 5%, 10%, 15% and 20% in relation to the total aggregate value of the mixture. 80.0% according to the performance index, the return to the satisfaction index reached 4.5% and the travel time by 4.4 MPa. All rigid traces of minimum permeability coefficient of 10^{-3} m / s. To the traces of flexible flooring does not enough to start analytic analytics.

Keywords: pervious asphalt, permeable paving, rigid paving, porous concrete, urban drainage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume de Concreto Para a Moldagem dos Corpos de Prova Asfalto Flexível	38
Tabela 2 – Quantidade Materiais Por Corpo de Prova de Asfalto Flexível.....	39
Tabela 3 - Testes 1.....	40
Tabela 4 - Testes 2.....	41
Tabela 5 - Volume de Concreto Para a Moldagem dos Corpos de Prova Pavimento Rígido.....	42
Tabela 6 - Dados Pavimento Rígido.....	42
Tabela 7 - Quantitativo Corpos de Prova Pavimento Rígido.....	42
Tabela 8 - Quantitativo Traços Concreto Poroso Pavimento Rígido.....	43
Tabela 9 - Curva Granulométrica Agregado Graúdo.....	51
Tabela 10 - Curva Granulométrica Agregado Miúdo.....	51
Tabela 11 - Resistência Pavimento Rígido Traço Referência CII - 7 dias.....	55
Tabela 12 - Resistência Pavimento Rígido Traço Referência CII - 28 dias.....	55
Tabela 13 - Resistência Pavimento Rígido Traço 5% - 7 dias.....	55
Tabela 14 - Resistência Pavimento Rígido Traço 5% - 28 dias.....	55
Tabela 15 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 7 dias.....	56
Tabela 16 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 28 dias.....	56
Tabela 17 - Resistência Pavimento Rígido Traço 15% - 7 dias.....	56
Tabela 18 - Resistência Pavimento Rígido Traço 15% - 28 dias.....	56
Tabela 19 - Resistência Pavimento Rígido Traço 20% (Referência CPV) - 7 dias.....	57
Tabela 20 - Resistência Pavimento Rígido Traço 20% (Referência CPV) - 28 dias.....	57
Tabela 21 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 2 - 7 dias.....	57
Tabela 22 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 2 - 28 dias.....	57
Tabela 23 - Evolução Resistência à Tração.....	59
Tabela 24 - Comparativo Referência Concreto CII.....	60
Tabela 25 - Comparativo Referência Concreto CPV (traço 20%).....	61
Tabela 26 - Coeficiente de Permeabilidade.....	61
Tabela 27 - Resultados Gerais.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção transversal do pavimento.	18
Figura 2 – Separador de amostra agregado graúdo.	26
Figura 3 – Agitador mecânico.	27
Figura 4 – Separação massa retida agregado graúdo.	27
Figura 5 – Separação massa retida agregado miúdo.	28
Figura 6 – Pesagem agregado úmido.	29
Figura 7 – Preparação pesagem superfície saturada seca (úmido).	29
Figura 8 – Balança para pesagem submersa.	30
Figura 9 – Aparatos pesagem submersa.....	30
Figura 10 – Formas prismáticas de compensado naval.	32
Figura 11 – Corpo de prova com segregação.	32
Figura 12 – Molde corpo de prova asfalto.	33
Figura 13 – Tolerância quanto à granulometria e cimento asfáltico.....	34
Figura 14 – Processo de aquecimento CAP e Brita.....	36
Figura 15 – Pesagem materiais – CAP aquecido.	36
Figura 16 – Homogeneização mistura asfáltica.	37
Figura 17 – Compactação mistura asfáltica.	37
Figura 18 – Corpo de prova estável e instável.	38
Figura 19 – Primeiro teste de dosagem.	40
Figura 20 – Segundo teste de dosagem.	41
Figura 21 – Metodologia em série.	44
Figura 22 – Materiais para dosagem traço concreto permeável.	45
Figura 23 – Exemplificação rotação betoneira.....	45
Figura 24 – Consistência do concreto.	45
Figura 25 – Cura do concreto.	46
Figura 26 – Resultado final concreto.	46
Figura 27 – Rompimento corpo de prova.	48
Figura 28 – Permeâmetro.	49
Figura 29 – Materiais ensaio permeabilidade.....	50
Figura 30 – Curva Granulométrica Agregado Graúdo..	52
Figura 31 – Curva Granulométrica Agregado Miúdo.....	52
Figura 32 – Pavimento flexível aos 7 dias.....	53

Figura 33 – Desenvolvimento Resistência à Tração.....	58
Figura 34 – Comparativo finos x resistência a tração.....	59
Figura 35 – Evolução Resistência à Tração Entre As Idades de 7 a 28 dias.....	60
Figura 36 – Comparativo Geral – Finos, Resistência à Tração, Permeabilidade.....	63
Figura 37 – Comparativo geral – Finos, permeabilidade.....	63

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS OU SÍMBOLOS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas ADP – Asfalto diluído;
- EAP – Emulsões asfálticas;
- AMP – Asfaltos modificados por polímeros;
- AMB – Asfaltos modificados por pneus;
- CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo;
- CP – Corpo de prova;
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes;
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem;
- NR – Norma Regulamentadora;
- NBR – Norma Brasileira Regulamentadora;
- UNH – *University Of New Hampshire*;
- Superpave – *Superior Performance Asphalt Pavements* (Pavimentos Asfálticos de Desempenho Superior);
- # – malha da peneira, espessura;
- n° – Número;
- % – pontos percentuais;
- °C – Graus Celsius;
- γ_{sat} – massa específica do agregado na condição seca;
- ρ_{abs} – Densidade absoluta;
- σ_R – resistência à tração em MPa;
- π – 3,14 (pi);
- f_{ck} – Resistência à compressão do concreto ;
- f_{ctm} – Resistência média a tração do concreto;
- a_1 – Área interna bureta;
- t – Tempo;
- m^2 – Área corpo de prova;
- h_1 – Carga hidráulica instantânea t1;
- h_2 – Carga hidráulica instantânea t2;
- a.C – Antes de Cristo;
- cm^3 – Centímetro cúbico;
- h – Hora;
- g – Grama;

kg – Kilograma;
kN – Kilo Newton;
kgf – Kilograma força;
m – Metro;
mm – Milímetros;
ml – Mili litro;
m² – Metro quadrado;
s – Segundos;
MPa – Mega Pascal;
a/c – Água / cimento;
c/ag – Cimento / agregado;
F – Força;
D – Diâmetro ;
H – Altura;
K – Constante de permeabilidade;
i – Gradiente hidráulico;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Urbanização, Drenagem Urbana e os Impactos Ambientais Negativos.....	15
2.2 Contexto Histórico.....	16
2.3 Estrutura do Pavimento	17
2.4 Composição dos Pavimentos.....	19
2.4.1 Pavimento Flexível (Asfalto)	19
2.4.2 Pavimento rígido.....	21
2.5 Pavimento Permeável Como Solução dos Impactos Negativos da Drenagem Urbana e Aquaplanagem	22
2.6 Ensaio Permeabilidade.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS.	25
3.1 Caracterização dos materiais	25
3.2 Moldagem dos corpos de prova	31
3.3 Dosagem Pré Mistura à Quente (Asfalto Flexível)	34
3.4 Dosagem Concreto – Pavimento Rígido	39
3.5 Ensaio de Resistência à Compressão Diametral e Tração	47
3.6 Análise permeabilidade	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Análise Granulométrica Agregado Graúdo e Agregado Miúdo	51
4.2 Densidade Agregado Graúdo, Agregado Miúdo e Aglomerante	53
4.3 Pavimento flexível	53
4.4 Pavimento rígido – Influência Aditivo, Relação Água/Cimento e Relação Cimento/Agregado	54
4.5 Pavimento rígido – Resistência a Compressão Diametral e Torção	55
4.6 Ensaio de permeabilidade	61
4.7 Comparativos gerais.....	62
5. CONCLUSÕES.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	66

1. INTRODUÇÃO

A urbanização que caracteriza-se pela ocupação dos espaços rurais pelos urbanos, substitui parte do verde da vegetação pelo cinza das alvenarias, ruas e calçadas, aumentando assim, a área impermeabilizada. Ademais, a maioria das cidades não foram planejadas, nem estruturadas para seguirem o processo de formação das comunidades, em consequência do crescimento desordenado da população. Sendo assim, muitas cidades não possuem sistema de drenagem eficiente, que acompanhe as necessidades dos habitantes. A falta de drenagem é um agravante a mobilidade, a enchentes, doenças decorrentes da mesma, à áreas de alagamentos e deslizamentos de terra que acarreta a contaminação de corpos d'água, e outros fatores.

Os sistemas tradicionais de drenagem urbana captam as águas das chuvas e as conduzem a corpos d'água ou sistemas coletores. Os sistemas podem ser ineficientes por diversos fatores, a saber: o custo de instalação e manutenção desse sistema, a falta de estudo das mudanças climáticas, o aumento das áreas impermeáveis que colaboram para a diminuição das áreas de escoamento da água. (MARUYAMA & FRANCO, 2016).

Um dos principais motivos da diminuição das áreas permeáveis nas cidades deve-se a implantação de ruas e rodovias. A partir do desenvolvimento automobilístico na década de 1910, para garantir maior conforto e rapidez na logística de viagens e no traslado de pessoas e materiais, começaram a desenvolver-se técnicas construtivas de estradas com o uso de asfalto e cimento Portland como materiais de construção.

A falta de drenagem é um agravante a mobilidade, a áreas de alagamentos e deslizamentos de terra, é agente facilitador de enchentes e da proliferação de doenças de veículo hídrico o que possibilita a contaminação de corpos d'água, e outros fatores.

Uma nova tecnologia pode solucionar este problema, o asfalto drenante que possibilita a passagem da água facilitando a percolação do fluido no solo promovendo a drenagem urbana, recarga do lençol freático, e a diminuição dos ruídos causados pelo atrito pneu/asfalto. Entretanto, o asfalto drenante, por ser uma estrutura porosa, apresenta menor resistência mecânica que uma estrutura maciça, limitando o seu uso a pequenas faixas de rodovias, principalmente em locais passíveis de aquaplanagem devido a drenagem deficiente.

Diante do exposto, objetiva-se desenvolver um traço em que o asfalto, tanto rígido quanto flexível, comporte-se como drenante e com resistência de um asfalto convencional, sem vazios. Desse modo, permite-se a aplicação do asfalto drenante em locais específicos de rodovias com tráfego intenso para solucionar problemas decorrentes de falhas nos drenos como, por exemplo, a aquaplanagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Urbanização, Drenagem Urbana e os Impactos Ambientais Negativos

Entende-se por sistema de drenagem do pavimento de uma rodovia os dispositivos cuja finalidade sejam conduzir, ou desviar a água de sua plataforma. (DNIT, 2006). Os principais dispositivos de drenagem de um pavimento listados no Manual da Pavimentação do DNIT são: as sarjetas de corte, meio fio e/ou banquetas de aterros, drenos profundos e camada drenante. Os demais elementos de drenagem tais como valetas de proteção, pé-de-aterro, caixas coletoras, descidas de águas, bueiros de grade e bueiros fundo de grota são dispositivos encontrados em rodovias

A urbanização crescente e desordenada, o aumento das áreas impermeáveis em todo mundo, no final do século XX no Brasil, colaborou com o aumento dos níveis de inundações, com a deficiência no sistema de drenagem urbana, com as falhas na mobilidade urbana e com infraestrutura comprometida e etc.(ALESSI; KOKOT e GOMES, 2006).

As causas decorrentes do mau escoamento superficial da água, são devidas a projetos e planejamento inadequados de drenagem urbana, falta de disciplina na ocupação urbana, aumento das áreas impermeáveis das cidades, representadas pelas áreas de passeio (calçadas), ruas, rodovias, estacionamentos e telhados e, conseqüente aumento da capacidade do escoamento da drenagem por condutos e canais. (ALESSI; KOKOT e GOMES, 2006;TUCCI, 1997, 2003).

Devido à falha na drenagem urbana, há impactos ambientais negativos que é fator facilitador de enchentes, o que prejudica toda a população. A qualidade da água dos mananciais fica comprometida com o aumento da poluição, pois, quando chove, a poluição do ar e das ruas precipita-se junto com a água, o que eleva a quantidade de resíduos sólidos presentes nas águas, provocando contaminação dos mananciais pelo esgoto, afetando, assim, o plano diretor das cidades e conseqüente surgimento de doenças. (TUCCI, 2013).

A resolução nº 001/86 do CONAMA traz em seu artigo 1º a definição de impacto ambiental sendo: qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente resultante das atividades humana que afetam indiretamente ou diretamente a biota; a qualidade dos recursos ambientais; a saúde, segurança e bem-estar da população e as atividades sociais e econômicas.

O impacto ambiental pode ser tanto positivo quanto negativo, por isso a importância de

diferenciar quando trará um benefício ou prejuízo ao meio ambiente, biota ou população. Quando o impacto é negativo também é denominado como dano ambiental.

2.2 Contexto Histórico

O processo de pavimentação e criação de estradas associa-se ao desenvolvimento cultural e de evolução da civilização do homem. Um dos primeiros registros que se tem de uma estrada pavimentada data-se de aproximadamente 2600-2400 a.C no Egito, decorrente da construção das pirâmides. Embora não fossem construídas da mesma forma que conhecemos hoje, as estradas foram planejadas para suportar a capacidade exigida e tivessem cobertura úmida de água, azeite ou musgo para diminuir os atritos dos trenós que eram usados nos transportes de cargas com as matérias primas das obras. (BERNUCCI *et al.*,2010).

O asfalto com material betuminoso, popularmente conhecido como piche, tem registros tão antigos quanto o das pirâmides. Cerca de 500 a.C há relatos bíblicos do livro de Gênesis que descrevem a utilização do mesmo com função impermeabilizante na Arca de Noé. Um dos caminhos mais importantes foi o da Estrada da Seda, que teve grande influência histórica sobre as rotas de comércio entre a China, Índia, Ásia e Ocidente. A estrada foi essencial para o comércio não só da seda, mas também do ouro, marfim, animais e plantas exóticas. (BERNUCCI *et al.*,2010).

Pavimentos flexíveis são caracterizados pela deformação elástica que ocorre em todas as camadas quando submetidas a um carregamento, e há a distribuição da carga em parcelas equivalentes entre as camadas. Os pavimentos rígidos tem como característica um revestimento com elevada rigidez em relação às camadas inferiores, assim, absorve quase que em totalidade as tensões do carregamento aplicado sob o pavimento (DNIT, 2006).

O processo de execução dos pavimentos flexíveis mais usuais são usinados a quente e são chamados de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente). O processo consiste na imprimação do solo, seguida de uma pintura de ligação, lançamento do CBUQ, representado pelo ligante asfáltico e seguida compressão e compactação do pavimento. Os pavimentos rígidos são elaborados conforme o processo de um concreto convencional e comumente são dispostos em placas e unidos por uma junta de dilatação. (BIANCHI; BRITO; CASTRO, 2008).

Atualmente, os asfaltos flexíveis mais antigos podem ser encontrados na França, nos Estados Unidos e na Inglaterra, e datam-se dos anos de 1802, 1838, 1869, respectivamente.

(ARAÚJO e RIBEIRO,2010).

Como alternativa ao pavimento flexível, os ingleses começaram a construção dos pavimentos rígidos de concreto em 1854. (SENÇO, 1997). Após esse período, antes da Segunda Guerra Mundial, o pavimento de concreto disseminou na Alemanha e nos Estados unidos sendo preferência nas autoestradas. O primeiro asfalto rígido nos E.U.A. data-se de 1891 e funciona hoje como calçada para pedestres. (SILVA e CARNEIRO,2014).

2.3 Estrutura do Pavimento

Pavimento é uma estrutura construída sob a terraplanagem cuja finalidade é de resistir e distribuir às camadas inferiores (subleito, base e sub-base) os esforços verticais oriundos do tráfego, resistir aos esforços horizontais e de desgastes, oferecer as condições de rolamento quanto a comodidade aos seus usuários, e oferecer condições de durabilidade de rolamento. (DNIT, 2006).

Isto posto, pode-se definir segundo o Manual de pavimentação do DNIT (2006) os elementos constituintes do pavimento. São eles:

- Subleito: terreno de fundação do pavimento;
- Leito: superfície obtida através da terraplanagem estruturada ao seu greide e perfil transversal;
- Greide do leito: perfil longitudinal do leito;
- Regularização: não constitui uma camada do pavimento, porém quando necessário deve ser aplicada para regularização do terreno. Pode-se definir como a camada posta sobre o leito, com função de conformá-lo transversal e longitudinalmente de acordo com as especificações. A regularização pode ser reduzida apenas em um corte do leito implantado ou em uma sobreposição a este, de camada com espessura variável;
- Reforço do subleito: camada de espessura constante disposta, quando houver, acima da camada de regularização, com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, e concomitantemente melhor que os materiais utilizados no subleito;
- Sub-base: camada complementar à base quando por definições técnicas não for indicado construir a base acima da camada de regularização;
- Base – camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego. Acima desta camada se constrói a camada de revestimento, também denominada de capeamento;

- Revestimento: camada que recebe diretamente a ação do rolamento de veículos e que deve promover a comodidade e segurança aos seus usuários e resistir ao desgaste decorrente do atrito entre pneu/pavimento e às intempéries.

O objeto alvo de estudo é a camada de revestimento – capeamento. A Figura 1 vem ilustrar as camadas do pavimento.

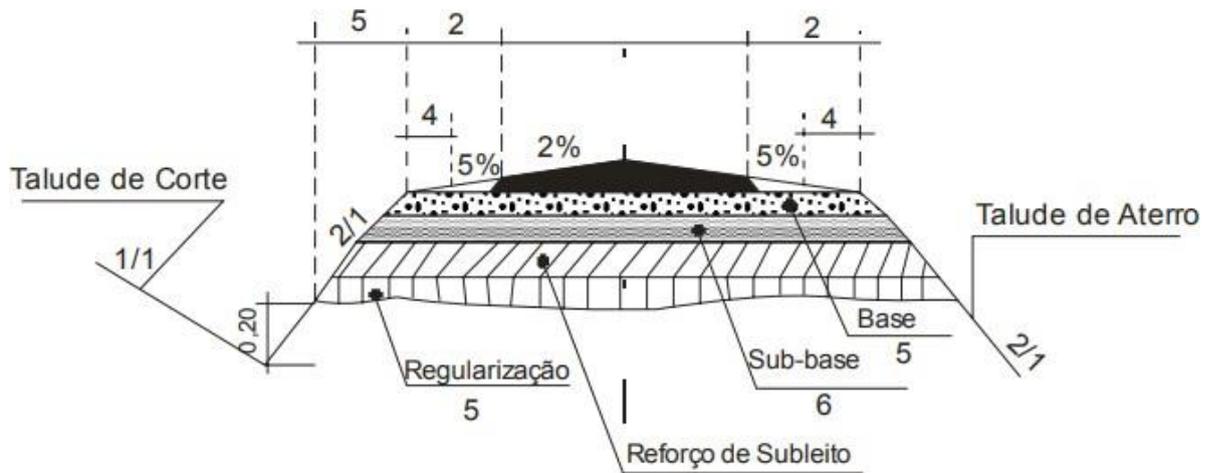


Figura 1 – Seção transversal do pavimento.

Fonte: Manual de pavimentação - DNIT, 2006.

Diante da definição das camadas do pavimento, a Petrobrás (2015) apresenta cinco requisitos nos quais os asfaltos devem obedecer para sua utilização eficiente em pavimentações, são elas:

- Consistência e dureza: qualidade de resistir a carga sem deformar-se, é o que caracteriza o tipo de asfalto e permite a avaliação quanto a sua manipulação e método de aplicação em determinada pavimentação.
- Ductibilidade: o material tem que apresentar a capacidade de se reduzir a fios, se alongar, sem se romper quando tracionado por cargas em grandes velocidades.
- Termoplasticidade e viscoelasticidade: permite o manuseio a quente para a execução do pavimento, e quando resfriado retorna as suas propriedades viscoelásticas. A elasticidade do asfalto lhe garante resistência a aplicação de cargas rápidas, enquanto a viscosidade lhe confere resistência a aplicação de cargas por períodos longos.
- Suscetibilidade térmica: capacidade de suportar a variações de temperatura sem à perda de suas características. É necessário que se conheça a qual temperatura o cimento

asfáltico se torna mole e fluido, para que evite o surgimento de fissuras consequente de sua alta consistência em temperaturas baixas e a deformações permanentes a temperaturas altas.

- Durabilidade: avalia a perda de consistência, ductibilidade, termoplasticidade, massa causada pelas intempéries.

2.4 Composição dos Pavimentos

Os pavimentos podem ser classificados em três categorias: pavimento flexível, semirrígido e rígido. Será abordado com mais afinco posteriormente apenas os objetos de estudo. Por definição, podemos descrever os pavimentos como:

- Flexível: pavimento o qual todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas mediante aos esforços aplicados. Neste caso a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.
- Semirrígido: pavimento caracterizado por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias.
- Rígido: pavimento em que o revestimento tem elevada rigidez em relação às camadas inferiores. Neste caso as camadas inferiores absorvem quase que em sua totalidade as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Após o objeto acima referido, daqui por diante quando exposto o termo pavimento rígido ou flexível, será referindo a camada mais superficial, isto é, o revestimento flexível asfáltico ou revestimento rígido de concreto, visto que as camadas subsequentes são idênticas nos dois tipos de pavimento.

2.4.1 Pavimento Flexível (Asfalto)

Pavimento asfáltico, também chamado de pavimento flexível, é o resultado da mistura entre agregados e o ligante asfáltico (betume, piche e CAP), e são constituídos por quatro principais camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico é a camada superior que tem por objetivo resistir diretamente às cargas, representadas pelas intempéries e ações do tráfego. Além de oferecer condições confortáveis e seguras para o rolamento o revestimento deve transmitir as cargas de forma atenuada às camadas inferiores. (BERNUCCI *et al.*,2010).

Define-se asfalto como um derivado do petróleo com propriedades adesivas,

impermeabilizantes, viscosas e de cor escura, e que é popularmente denominado como o conjunto de materiais aplicados na pavimentação. (PETROBRÁS, 2015). Segundo a Norma DNIT 031/2006 – ES, o asfalto tem em sua constituição:

1. Agregado: material inerte com função de enchimento.
 - a) Agregado graúdo: material inerte com função de enchimento.
 - b) Agregado miúdo: pó de brita, escória, seixo rolado preferencialmente britado.
2. Material de enchimento (fíler): materiais minerais finamente divididos, como: Cimento Portland, cinza volante, pós-calcários, cal extinta;
3. Ligante asfáltico: material betuminoso, derivado do petróleo comumente conhecido como piche, que tem a função de aglutinar as britas para uma estrutura sólida;
4. Melhorador de adesividade: Quando não há uma boa interação entre o ligante asfáltico e os agregados graúdos e miúdos emprega-se um melhorador de adesividade.

Dentre os tipos de ligantes asfálticos, o que são encontrados no mercado brasileiro e listados por Bernucci *et al.* (2010) e PETROBRÁS (2015) são: Cimento asfáltico de petróleo (CAP), asfalto diluído (ADP), emulsões asfálticas (EAP), asfaltos modificados por polímeros (AMP) – ou por borracha de pneus (AMB).

CAPs são constituídos por hidrocarbonetos (90 a 95%), e de oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais, que são os chamados heteroátomos (5 a 10%). O cimento asfáltico de petróleo é proveniente do processo de destilação do petróleo nas quais as frações leves (diesel, querosene e gasolina) são separadas por vaporização, fracionamento e condensação a vapor e destilado a vácuo.

Asfaltos diluídos são misturas de CAPs com solventes voláteis que evaporam depois da aplicação com objetivo de aumentar a fluidez do CAP.

Emulsões asfálticas (EAP) são o resultado da dispersão estável de dois ou mais líquidos imiscíveis. O EAP é formado pela mistura de asfalto e água. A emulsão óleo (asfalto) apresenta na fase óleo uma viscosidade elevada e os materiais não se misturam com a água, sendo assim, tem-se a necessidade da aplicação de outro componente para deixar a emulsão estável. Na aplicação da emulsão sobre as britas do leito da pavimentação, o CAP deposita-se nas rochas causando a ruptura da emulsão, separando-se da água e tendo como produto final uma camada de cimento asfáltico rígido. (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Asfalto borracha (AMB): a borracha proveniente de pneus é finamente triturada e

adicionada ao cimento asfáltico de petróleo quente, produzindo um ligante modificado. O pó de pneu representa cerca de 20% da massa do ligante e menos do que 1,5% da massa total da mistura.

Asfaltos modificados por polímeros (AMP): são polímeros modificadores das propriedades dos asfaltos, que contribuem para aumentar o desempenho do ligante. Os mais comuns são a gilsonita, asfaltina, cal, cimento, sílica, fibras de vidro, fibras de celulose, enxofre elementar e polímeros.

Durante a fabricação é necessário tomar cuidado com a temperatura do composto, para que o mesmo não perca suas propriedades causando o envelhecimento do mesmo, ou vindo a causar danos como trincas e fissuras e danos à pavimentação.

Existem dois métodos para garantir os requisitos de qualidade na determinação da dosagem do asfalto, são eles: método Marshall e Superpave. No Brasil, o método de dosagem mais aplicado é o denominado método Marshall, no qual avalia a variação do teor de ligante asfáltico de acordo com a dosagem, e relaciona a energia de compactação, tipo de mistura, temperatura e a finalidade da via na qual o pavimento será submetido. No Superpave – *Superior Performance Asphalt Pavements* (Pavimentos Asfálticos de Desempenho Superior) é a metodologia que avalia o teor de ligante através de procedimentos de compactação giratória, diferentemente do Marshall que avalia pela compactação de impacto. (BERNUCCI *et al.*, 2010; DNIT, 2018).

2.4.2 Pavimento Rígido

Os principais materiais usados na composição dos pavimentos rígidos são o cimento Portland, agregados graúdos e miúdos, água, aditivos e materiais selantes de junta (DNIT,2004).

O Cimento Portland é composto de clínquer e adições que variam de cimento para outro. Essas adições podem ser cinzas, escórias, materiais pozolânicos entre outros. Cada adição irá interferir de forma específica no concreto, trazendo benefícios diversos conforme sua composição.

O aditivo se faz necessário quando é preciso reforçar determinadas características no concreto tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Os aditivos são incorporados ao concreto e podem ter efeitos de melhora na trabalhabilidade, redução da permeabilidade, aceleração ou retardamento do tempo de pega, diminuição do calor de hidratação, aceleração do desenvolvimento da resistência nas idades iniciais.

Os superplastificantes são aditivos redutores de água de elevado desempenho. São aditivos que possuem baixo teor de impurezas e por isso, mesmo em dosagens elevadas, não exibem efeitos colaterais prejudiciais. A utilização do superplastificante pode resultar em um concreto com elevadíssimos índices de trabalhabilidade ou de altíssima resistência. (NEVILLE, 2016).

O traço do concreto pode ser calculado empiricamente ou por meio de métodos científicos como o ABCP. Todavia, independentemente do método é necessário sempre saber as razões dos componentes do concreto, normalmente essas razões são expressas por dois pontos e separadas por vírgula. Para produzir o concreto é necessário ter as relações entre água e cimento (a/c); relação cimento/agregado (a/agr), tanto miúdo quanto graúdo; relação cimento/aditivo (c/adt).

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2004) existem vários tipos de pavimento rígido. Dentre eles estão:

- Pavimento de concreto simples: pavimento de concreto Portland o qual o próprio concreto combate as tensões solicitantes. Não contém nenhum tipo de armadura distribuídas.
- Pavimento tipo Whitetopping: pavimento de concreto sobreposto a um pavimento flexível existente. Neste caso o pavimento flexível atua como sub-base para o revestimento de concreto. Há o uso de armaduras distribuídas para a transmissão das tensões solicitantes.
- Pavimentação estruturalmente armada: pavimento armado cuja armadura tem finalidade estrutural de combater tensões de tração na flexão gerada nas placas.
- Pavimento em concreto rolado: pavimento de concreto com baixa relação água/cimento. Utilizado em locais de pouco tráfego, independente do peso, e também na execução de sub-bases.
- Pavimentação com peças em concreto pré-moldado: pavimento constituído de peças pré-moldadas, justapostas com ou sem juntas de articulações e rejuntadas com asfalto.

2.5 Pavimento Permeável Como Solução dos Impactos Negativos da Drenagem Urbana e Aquaplanagem

Um controle sustentável para problemas de drenagem urbana apresentados por Tucci (2003) são as áreas de infiltrações destinadas a receber as águas de áreas impermeáveis, recuperando assim a capacidade de recargas das bacias pela infiltração por meio do uso de

pavimentos permeáveis.

Um pavimento permeável ou estrutura-reservatório é aquele que permite a passagem de fluidos, tal como a água da chuva, e que suporta o tráfego de veículos, animais, pessoas ou objetos, e pode ter função de reter a água de forma provisória devido à porosidade dos materiais e promover a drenagem pela infiltração do solo no subleito, sempre que possível. (SUZUKI *et al*, 2014).

Em condições adequadas o asfalto poroso pode substituir as medidas tradicionais do gerenciamento das águas pluviais. Outras vantagens que ele pode oferecer segundo a UNH (*University of New Hampshire*) *Stormwater Center apud Porous asphalt pavement for Stormwater Management*, são:

- Tratamento da água (qualidade);
- Recarga das águas subterrâneas localizadas em aquíferos subjacentes;
- Possibilita a redução da infraestrutura de águas pluviais, tais como: tubulações, cascas de captação, pontes de contenção e retenção;
- Mantém a tração (atrito) carro/pneu enquanto molhado;
- Redução dos ruídos causados pelo atrito entre pneu/carro;
- Vida útil do pavimento estendido devido a uma base bem drenada.

Todavia, por tratar-se de uma tecnologia verde, isto é, que promova a preservação ambiental, e ser uma tecnologia nova, ainda há algumas limitações quanto a sua aplicabilidade. Algumas delas são citadas no *Manual de Connecticut* (2004) *apud* Maruyama e Franco (2016), são elas:

- Não recomendável para tráfego pesado e intenso, que exceda 500 viagens/dia;
- Há necessidade de manutenção periódica de limpeza do pavimento para que não haja a colmatação de sedimentos;
- Solo da sub-base deve ser suficientemente permeável;
- Dependendo das condições da superfície há riscos de contaminação do lençol freático;
- Aplicação para pequenas áreas de drenagem.

A camada superior dos pavimentos drenantes, seja de asfalto ou concreto, é construída de forma semelhante ao dos convencionais, entretanto na mistura dos agregados é retirada uma fração da areia fina da mistura. Sendo assim, o custo dos tipos de asfaltos é parecido, podendo

ser mensurável em R\$ 230,00 por m² se tratando do asfalto poroso, e de R\$ 195,00 por m² quanto ao asfalto comum. (ARAÚJO; TUCCI e GOLDENFUM,2010;VIRGILIIS, 2009).

O asfalto poroso chega a filtrar 1 litro de água em 26 segundos, chegando a absorver uma chuva de 39,5 mm de água em 1 hora. Reduz o tempo de frenagem e conseqüentemente o comprimento percorrido durante essa ação e diminui os ruídos causados pelos pneus em 3,0 decibéis, isso é possível por consequência de sua porosidade, o que o torna mais áspero e aumenta o atrito dos carros. (VIRGILIIS, 2009; *Porous Asphalt Pavement for Stormwater Management*).

2.6 Ensaio Permeabilidade

A água se move a todo instante. Na atmosfera, o principal movimento da água se dá no ciclo hidrológico. O vapor de água, água na fase gasosa, se transforma em líquido pelas chuvas e condições favoráveis de temperatura e pressão se solidifica formando granizo ou neve, e então, evapora novamente reiniciando mais um ciclo.

No solo e na planta, os principais movimentos dar-se-ão na fase em que a água se encontra em estado líquido. Sempre que há movimentação do fluido existe uma diferença de potencial hidráulico. Esse movimento sempre ocorre de forma decrescente do potencial, ou seja, a água sempre irá percolar ao ponto de maior para o de menor potencial. Darcy (1856) foi o primeiro a quantificar e estabelecer formas de equacionar esse movimento da água em materiais porosos saturados. (REICHARDT e TIMM, 2004).

Através Equação de Darcy, que será abordada em materiais e métodos, pode-se mensurar o coeficiente de permeabilidade (k). Neithalath (2003) desenvolveu uma metodologia mediante um permeâmetro modificado. Dessa forma, ao utilizarmos o permeâmetro é possível fazer o estudo da permeabilidade de um solo, pavimento ou material permeável.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico será descrito todos os processos realizados para a execução do pavimento flexível e pavimento rígido. Para isto, foram utilizadas referências normativas para nortear os procedimentos. Além do Manual de pavimentação e Manual de pavimentos rígidos do DNIT (2006,2004), dentre as normas pertinentes pode-se listar [1]:

- DNER - ME 043/95 – Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall;
- DNER - ME 054/97– Equivalência de Areia;
- DNER - ME 083/98- Agregados - Análise Granulométrica;
- DNIT - ME 136/18 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio;
- DNER - ME 194/98 – Determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco Chapman;
- DNER - ME 195/97 – Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo;
- DNER – ME 196/98 – Agregados - determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo.
- DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- DNER – ES 386/99 – Pavimentação – pré misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito;
- DNIT – PRO 120/97 – Coleta de amostras de agregados;
- DNER – PRO 199/96 – Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório;
- DNIT 178/18 – PRO – Pavimentação asfáltica – Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos;
- ABNT NBR 5738/15 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;

3.1 Caracterização dos Materiais

Para a caracterização dos agregados foram realizados ensaios granulométricos e de determinação da densidade.

- **Análise granulométrica**

Todas as amostras utilizadas foram coletadas e reduzidas conforme indica as diretrizes das normas de procedimento DNIT – PRO 199/96 e DNIT 178/18 – PRO.

A amostra de campo foi considerada como todo o material disponível para a realização do experimento. As análises e estocagens dos materiais foram realizadas nos laboratórios do prédio da Engenharia Civil do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Para a redução da amostra foi utilizado o método de quartear com separador de amostras identificado na Figura 2.



Figura 2 – Separador de amostra agregado graúdo.

Após feita a redução do agregado graúdo foi seca em estufa à temperatura $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por um período de 24 h e resfriada em temperatura ambiente. Determinada a massa da amostra deu-se seguimento ao ensaio levando-o ao agitador mecânico, demonstrado na figura 6, na série de peneiras indicadas na norma DNER – ME 035/98. Em sequência foi determinada a massa do material retido em cada uma das peneiras. O procedimento realizado tanto para o agregado graúdo (brita) quanto agregado miúdo (areia) foram idênticos. Os processos descritos estão ilustrados nas Figuras 3, 4, e 5 a seguir.



Figura 3 – Agitador mecânico.

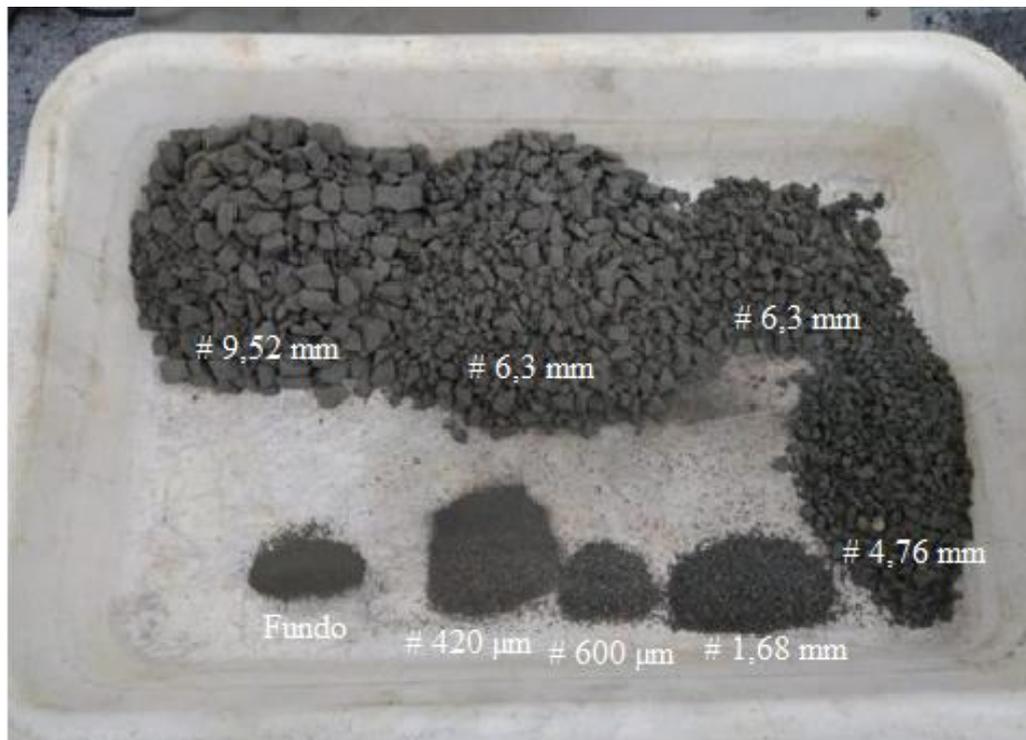


Figura 4 – Separação massa retida agregado graúdo.



Figura 5 – Separação massa retida agregado miúdo.

Para retirada de maiores impurezas e pedregulhos da areia toda a amostra utilizada nos procedimentos posteriores foi peneirado e o material passante nas duas primeiras peneiras foram descartados.

- **Massa específica**

Feito a análise granulométrica para determinar o percentual de cada agregado no experimento. Para agregado graúdo foi realizada as instruções na norma DNER – ME 195/97 e para o agregado miúdo DNER – ME 196/98.

Retirada uma nova amostra do material o agregado graúdo passou pelo processo de lavagem sob a peneira # 4,8 mm, e o mesmo foi pesado na situação seca, úmido, e submerso para fazer o cálculo da massa específica. Os dados obtidos da pesagem da brita nas situações acima mencionadas estão ilustrados nas Figuras 6, 7, 8, e 9 os dados aferidos foram:

- Peso seco: 1028 g;
- Peso úmido: 1086,33 g;
- Peso submerso: 1317,27 g.



Figura 6 – Pesagem agregado úmido.



Figura 7 – Preparação pesagem superfície saturada seca (úmido).



Figura 8 – Balança para pesagem submersa.



Figura 9 – Aparatos pesagem submersa.

Aplicando a fórmula de massa específica na condição seca temos:

$$\gamma_{sat} = \frac{A}{B-C} \quad (1)$$

Onde:

γ_{sat} = massa específica do agregado na condição seca, em kg/dm³ ou g/cm³;

A = massa do agregado seco, em kg ou g;

B = massa do agregado na condição saturada superfície seca, em kg ou em g; C = leitura correspondente do agregado imerso em água, em kg ou g.

A massa específica do agregado miúdo foi determinada tanto na parte fina da brita passante na peneira # 4,5mm quanto para a areia. As amostras foram padronizadas em 500 g e secas em estufa conforme solicita a norma e foi utilizado o vaso Chapman para a determinação da densidade.

Adicionou-se a quantidade de 200ml água no frasco de Chapman. Após fazer a mistura dos componentes o frasco é agitado e em seguida colocado em repouso até haver a sedimentação dos elementos. Quando concluída a sedimentação verificou-se a diferença do volume indicado no caso. A densidade absoluta será determinada pela equação IV a seguir.

$$\rho_{abs} = \frac{500}{\text{Diferença de volume} - 200} \quad (2)$$

Onde:

500 é o peso da amostra inicial representado em gramas;

200 é o peso da água representado em gramas;

ρ_{abs} = Densidade absoluta.

Para a parte de brita foi marcado o volume 380 ml quando ocorreu a completa sedimentação, e para a areia 392,5 ml.

3.2 Moldagem dos Corpos de Prova

Para a moldagem dos corpos de prova (CP) de concreto foi utilizado compactação manual nos tipos de pavimento. Para os ensaios de resistência à compressão diametral foi modelado CP's cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. Para os ensaios de permeabilidade utilizou-se corpos de provas cilíndricos de 10 cm de diâmetro e altura de 10 cm.

No início do experimento foi rodado na betoneira o traço calculado com volume suficiente para preencher 3 corpos de provas prismáticos feitos de compensado naval com

medidas de 15cm x 15 cm x 50 cm. No entanto, o primeiro traço apresentou segregação em todos os corpos de prova, sendo assim quando desformou os CP haviam duas fases no mesmo elemento, uma fase aparentemente cheia de vazios e permeável e outra completamente preenchida de concreto. Todos os as formas dos corpos de prova de concreto foram untadas com óleo vegetal para o auxílio na desforma com a idade de 1 dia. As figuras 10 e 11 ilustram o tamanho dos CP's e segregação que ocorreram na primeira tentativa de rodar o concreto.



Figura 10 – Formas prismáticas de compensado naval.



Figura 11 – Corpo de prova com segregação.

Após detectado a falha de segregação, foi feito testes para corrigir o traço. Para esses testes foi realizado CP's cilíndricos com diâmetro de 80 mm e altura de 150 mm.

Para compactação manual dos corpos de prova foram cumpridas as orientações segundo a NBR 5738/25. Para os corpos de prova cilíndricos foram utilizadas 2 camadas para adensamento com 12 golpes por camada. Para os corpos de prova prismáticos também foi realizado em duas camadas, porém, com 75 golpes cada camada.

O pavimento rígido possui uma particularidade de ter a obrigatoriedade de ser adensado nas duas faces. Como temos em sua composição material betuminoso que se adere a superfície do molde foi preciso confeccionar todo o material utilizado para a fabricação e moldagem.

O pavimento asfáltico tem um índice alto de compactação, por isso, o volume estimado para preenchimento do molde foi considerando a altura de 8 cm. Ao final dos 75 golpes em cada face do asfalto o corpo de prova apresentou altura aproximada de 6 cm. A compactação foi realizada com o compactador de Proctor, que possui massa de 4540 g em queda livre a uma altura padrão de 45,7 cm.

Para que o molde pudesse facilitar o processo de compactação em cada face, o mesmo foi projetado com um anel que se encaixava à um fundo com base removível de material metálico. O material escolhido foi o mesmo utilizado para a fabricação de calhas, pois apresentou ser mais econômico, leve, de fácil aquisição e com melhor trabalhabilidade. Para facilitar a desforma na idade de 2 dias todos os corpos de provas eram untados com gasolina. A seguir, na Figura 12 observa-se todas as nuances do corpo de prova projetado para o experimento. O fundo possui diâmetro externo de 120 mm, interno de 100 mm, altura de 60mm, e o anel de encaixe diâmetro e altura de 100mm.

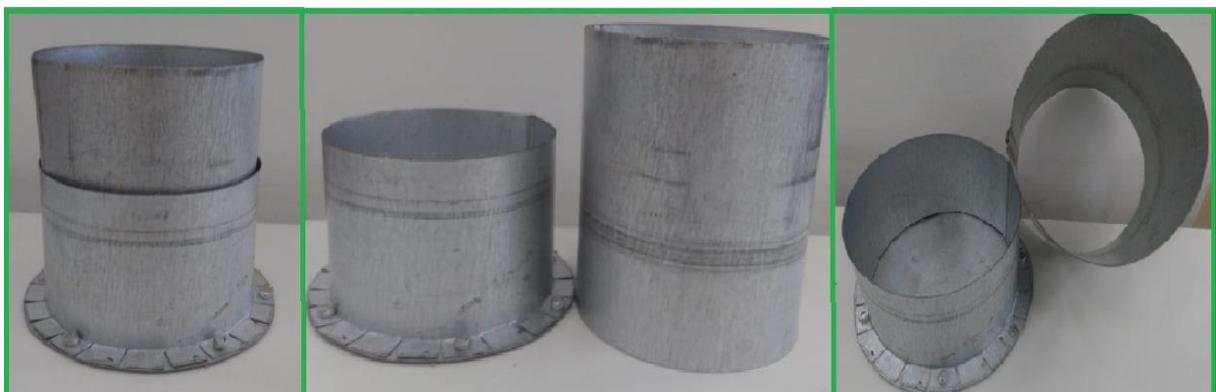


Figura 12 – Molde corpo de prova asfalto.

3.3 Dosagem Pré Mistura à Quente (Asfalto Flexível)

Quando trabalha-se o revestimento betuminoso por mistura, o agregado deve ser envolvido com o destilado do betume antes da compressão/compactação. Há dois tipos de processos construtivos que são denominados de pré mistura a frio e pré mistura a quente. (DNIT, 2004)

Pré mistura a frio é quando os tipos de agregados são misturados com o ligante e o espalhamento do composto é feito à temperatura ambiente. Pré mistura a quente é quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes. A pré mistura a quente atinge índices melhores de resistência e é mais usual na malha rodoviária brasileira.

No que se refere a controle de produção e execução do concreto asfáltico, a norma DNIT 031/2006 recomenda a realização do ensaio Marshall, que determina a quantidade ótima de ligante que deve ser utilizada para que o pavimento asfáltico não sofra desagregação prematura da mistura por falta de ligante, para que não seja muito deformável e escorregadio pelo excesso do mesmo (GRECO, 2004). Por isso, todos os ensaios e métodos foram realizados para que o dimensionamento permitisse que fosse possível mensurar parâmetros para análises comparativas de diversos traços determinados através do método de dosagem de Marshall.

Agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (fíler) e cimento asfáltico de petróleo são os materiais constituintes da pé-mistura a quente do asfalto. A composição do pré-mistura a quente deve satisfazer os seguintes requisitos de tolerância quanto à granulometria e percentuais de cimento asfáltico (CAP) da Figura 13.

Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso (faixas)					Tolerância na curva de projeto (%)
ABNT	Abertura, mm	I	II	III	IV	V	
3/4"	19,0	-	-	-	-	100	-
1/2"	12,5	100	100	100	100	70-100	± 7
3/8"	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	50-80	± 7
Nº 4	4,8	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30	± 5
Nº 10	2,0	12-20	5-20	10-18	10-22	10-22	± 5
Nº 40	0,42	8-14	-	6-12	6-13	6-13	± 5
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-	± 3
Nº 200	0,075	3-5	0-4	3-6	3-6	3-6	± 2
Ligante polimerizado solúvel no tricloroetileno, %		4,0 - 6,0					± 0,3

As faixas I e II são recomendadas para espessuras de camadas de 3,0cm, e as III, IV e V, para espessuras de até 4,0 cm.

Figura 13 – Tolerância quanto à granulometria e cimento asfáltico.

Fonte: DNER – ES 386/99.

O Cimento Asfáltico de Petróleo foi doado pela empresa GPAsfalto empresa referência em asfalto na cidade de Rio Verde. O CAP utilizado é o CAP50/70.

Para que se tenha uma estrutura permeável é necessário retirar os finos da camada. Por isso, tanto para o concreto rígido quanto o flexível foram utilizados a granulometria de agregado graúdo passante na peneira de malha #12mm e retida na peneira de # 3mm. Para cada traço seria adicionado um teor de finos para analisar a influência na resistência e permeabilidade do pavimento.

Todavia, quando feito o primeiro teste que continha 5% de finos, após 48 horas no momento de desforma do CP, a amostra se encontrava muito aderida ao molde, sendo necessária aquecê-la em estufa durante 30 s a uma temperatura aproximada de 105 °C. Feito a desforma com muitíssimo cuidado o corpo de prova foi deixado acima de uma mesa plana sob papel alumínio. Passado 2 horas o corpo de prova começou a ruir.

Diante do apresentado acima, foram realizados então testes de corpos de prova com diferentes teores de CAP e com a quantidade de finos estática em 5% para análise de um índice ótimo de ligante. O traço inicial foi formulado com 5%, e os outros dois testes receberam a quantidade de 3,5% e 7% de CAP em relação a massa total de agregado.

Os corpos de prova continuaram sendo fabricados da mesma forma que na primeira tentativa. Os agregados eram aquecidos à aproximadamente 10°C acima da temperatura do CAP que se encontrava a 145°C e eram dispostos em um vasilhame metálico. Formava-se uma cama de agregado para receber o ligante asfáltico, e logo em seguida a mistura era homogeneizada para que todas as partículas de agregado recebessem a cobertura de uma camada do ligante. Esse processo de mistura levava aproximadamente 45 s.

Feito a homogeneização a mistura era transferida a golpes vigorosos ao molde e compactada com 75 golpes nas duas faces com o compactador Proctor. O processo em narrativa é exposto nas Figuras 14 à 17.



Figura 14 – Processo de aquecimento CAP e Brita.



Figura 15 – Pesagem materiais – CAP aquecido.



Figura 16 – Homogeneização mistura asfáltica.



Figura 17 – Compactação mistura asfáltica.

Mesmo após esses testes o pavimento ainda não se desgrudava facilmente do molde, mesmo que o recipiente metálico recebesse uma camada de óleo ou gasolina. E também, todos ruíam após 1 ou 2 horas depois da desforma como mostrado na Figura 18.



Figura 18 – Corpo de prova estável e instável.

Ao receber uma análise para a solução do possível problema por um profissional competente da empresa GPAsfalto da cidade de Rio Verde, foi determinado um novo traço com: 4,5 % de ligante asfáltico; 22,5% de brita 1; 22,5% de brita 0; 50% de pó de brita, com o CAP aquecido à 165°C e o agregado a 175°C. Ao fim do novo procedimento teste, o pavimento não se encontrava permeável, porém é um pavimento de boa qualidade como o pavimento asfáltico convencional.

O volume calculado e descrição dos traços utilizados podem ser averiguados através da Tabela 1 e 2.

Tabela 1 - Volume de Concreto Para a Moldagem dos Corpos de Prova Asfalto Flexível

Corpo de prova	Dimensão	Volume Asfalto	Quantidade	Total
Cilíndrico	0,10 x 0,8 m	0,0016	8	0,0126
VOLUME TOTAL DE CONCRETO				0,0126
Volume total com acréscimo de 5% (perdas)				0,0132

Tabela 2 - Quantidade Materiais Por Corpo de Prova de Asfalto Flexível

Traço	Quantidade	Agregado		CAP (g)
		Graúdo (kg)	Miúdo (g)	
Traço CAP 3,5%	1	1,0500	52,5000	47,2500
Traço CAP 4,5%	1	0,4883	525,0000	45,5963
Traço CAP 5%	1	1,0500	52,5000	55,1250
Traço CAP 7%	1	1,0500	52,5000	77,1750
Total	4	3,6383	682,5000	225,1463

Era necessário 1 kg de agregado para preencher o volume total do cilindro, e só foi realizado um CP por vez, assim como recomendava as diretrizes normativas citadas.

3.4 Dosagem Concreto – Pavimento Rígido

Segundo a NBR 12655 (2001) a dosagem empírica do concreto pode ser realizada quando há um consumo mínimo de 300 kg de cimento por metro cúbico. A dosagem realizada para este trabalho seguiu dados encontrados na revisão bibliográfica. A partir de um norte definido foi realizado testes para determinar o traço ideal para os materiais disponíveis para as análises experimentais.

Em um estudo de variações de relações água/cimento (a/c), Lian e Zhuge (2010) concluíram que para uma relação a/c maior que 0,34 a resistência tende a diminuir e a permeabilidade aumentar. Os melhores resultados entre resistência e permeabilidade foram obtidos com a relação na razão de 0,32. Por esse motivo, foi fixado a relação água/cimento neste valor.

Existe tendência de uma maior resistência do concreto quando há a relação entre 1:3 e 1:4 entre cimento/agregado. Um consumo maior de cimento irá abranger melhor as partículas finas existentes no concreto, isto implica que um maior consumo de cimento irá trazer ganhos em resistência no composto. Sendo assim, foi pré-determinado o consumo de 1 kg de cimento a cada 3 kg de agregado. Essa razão foi confirmada posteriormente pelos testes do traço. (LIAN e ZHUGE, 2010)

O aditivo Superplastificante H-50 da marca ADITIBRAS foi adicionado a mistura para diminuir a relação água/cimento e possibilitar um ganho de resistência e trabalhabilidade do concreto para possibilitar a utilização de um teor de água cimento menor do que se comparado a um mesmo concreto com mesma tabalhabilidade.

Inicialmente o aditivo foi fixado conforme instruções do fabricante. Entretanto, quando realizado o primeiro traço os corpos de prova apresentaram duas faces. Por isso, foi realizado

testes para melhorar a qualidade do concreto e achar um teor ideal para a relação água/cimento, cimento/agregado e consumo de aditivo.

A separação dos testes foi feita com giz de cera, material recomendado para marcação de pavimentos asfálticos por ser resistente ao fogo, água, e de fácil identificação visualização. A cera era derretida com o auxílio do isqueiro, e a assim que ocorria o processo de fusão, a cera derretia e pingava nos corpos de prova marcando-os com a cor estabelecida previamente.

Os primeiros testes variaram a relação água/cimento, para avaliar a influência da água na mistura; a relação água cimento (A/C), para avaliar a influência do consumo de cimento da mistura, e em um dos traços não se adicionou o aditivo, para avaliar o efeito que o aditivo estava causando no concreto. A Tabela 3 esquematiza os primeiros testes. A Figura 19 mostra demonstra os corpos de prova resultado dos metodologia dos testes.

Tabela 3 - Testes 1

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Cor	Amarelo	Verde	Laranja	Branco
C:Ag	01:03	01:03	01:04	01:04
A/C	0,3200	0,3200	0,3200	0,3400
Adt	0,0040	-	0,0040	0,0040



Figura 19 – Primeiro teste de dosagem.

Os testes mostraram que o aditivo era essencial a mistura, pois trazia coesão, liga, e deixava a mistura mais fluida melhorando assim, a trabalhabilidade. Os concretos com relação 1:3 de cimento/agregado se apresentaram com os poros mais fechados. Foi adotado a relação 1:3 como a relação ótima para o experimento pois, quando elevada a relação água/cimento a segregação dos materiais aumentou.

A partir desses resultados percebeu-se que o corpo de prova com 0 aditivo não havia segregado e com o 0,4% de aditivo havia uma camada de cerca de 1 cm de concreto não permeável. Havia assim, um intervalo entre 0% à 0,4% para o aditivo. Então, realizou-se uma segunda bateria de testes para achar o teor de aditivo que traria os benefícios desejados sem ocasionar a separação da massa de concreto dos agregados. A Tabela 4 esboça os traços do segundo teste, e a Figura 20 nos apresenta os resultados.

Tabela 4 - Testes 2

	Teste 5	Teste 6	Teste 7
Cor	Preta	Marrom	Azul
C:Ag	01:03	01:03	01:04
A/C	0,3200	0,3200	0,3200
Adt	0,0010	0,0020	0,0030



Figura 20 – Segundo teste de dosagem.

O traço com 0,1% de aditivo em relação a massa de cimento apresentou liga melhor do que se comparado ao sem aditivo. A maior mudança ocorreu entre os índices de 0,2% e 0,3%.

Com o teor de 0,3% já havia uma fina camada de segregação. O intervalo entre 0,002 e 0,003 é o intervalo ideal. Empiricamente adotou-se o valor de 0,0023 para ser utilizado em todos os traços a seguir.

Tendo definido as novas medidas para o traço, foi o momento de calcular o volume total que seria utilizado, e o consumo de cada componente do concreto. As Tabelas 5, 6, 7 e 8 trazem os dados quantitativos do pavimento rígido.

Tabela 5 - Volume de Concreto Para a Moldagem dos Corpos de Prova Pavimento Rígido

Corpo de prova	Dimensão	Volume concreto	Quantidade	Total
Cilíndrico	0,10 x 0,20 m	0,0016	50	0,0785
VOLUME TOTAL DE CONCRETO				0,0785
Volume total com acréscimo de 15%				0,0903

Tabela 6 - Dados Pavimento Rígido

RELAÇÃO A/C	0,3200
RELAÇÃO CIMENTO / AGREGADO	01:03
CONSUMO CIMENTO (kg/m ³)	428,0000
CONSUMO AGREGADO (kg/m ³)	1284,0000
CONSUMO ÁGUA (kg/m ³)	136,9600
CONSUMO ADITIVO (kg/m ³) - 0,4% massa cimento	0,9844

Tabela 7 - Quantitativo Corpos de Prova Pavimento Rígido

QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA POR ENSAIO

Traço	Resistência	
	Compressão Diametral	Permeabilidade**
	*	
REFERÊNCIA	8	2
Traço 5%	8	2
Traço 10%	8	2
Traço 15%	8	2
Traço 20%	8	2
Total	40	10
TOTAL DE CORPOS DE PROVA		50

* - ensaio realizado aos 7 e 28 dias.

** - ensaio realizado aos 28 dias.

Tabela 8 - Quantitativo Traços Concreto Poroso Pavimento Rígido

QUANTIDADE DE MATERIAIS					
Total (kg)	Agregado		Cimento (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)
	Graúdo (kg)	Miúdo (kg)			
81,9828	77,8837	4,0991	27,3276	8,7448	0,1093
25,5138	24,2381	1,2357	8,5046	2,7215	0,0196
25,5138	22,9624	2,5514	8,5046	2,7215	0,0196
25,5138	21,6867	3,8271	8,5046	2,7215	0,0196
25,5138	20,4111	5,1028	8,5046	2,7215	0,0196
184,0381	167,1820	16,8161	61,3460	19,6307	0,1876

Para o primeiro traço referência denominado de “traço referência CPII” foi utilizado o cimento CP-II 32 com fck de 32Mpa, para o segundo traço referência, denominado inicialmente de “traço 20%” e posteriormente “traço referência CPV” foi utilizado o cimento CP-V com Fck de 32 Mpa e para os demais traços com diferentes teores de finos usou-se o mesmo cimento utilizado no traço referência CPV, para promover análise com dois diferentes tipos de cimento e também análise entre a influência de finos na resistência de concretos de mesmo tipo de cimento com diferentes índices de finos.

Todo o processo de produção do concreto seguido foi adaptado à metodologia proposta por Schaefer, Suleiman e Kevern (2006). Pesado todos os materiais nas proporções determinadas, a adaptação do processo consiste em:

- Preparar todos os equipamentos previamente, protegendo o local de possíveis danos causados pela produção do experimento;
- Umedecer a betoneira antes de iniciar o amassamento do concreto. Adicionar água no maquinário e deixar bater por alguns minutos, depois a água deve ser descartada e o equipamento estava apto para receber o novo concreto,
- Cada vez que se adicionar algum material, rotacionar a betoneira para evitar de que os agregados se agarrem a parede da betoneira;
- Adicionar todo o agregado graúdo e miúdo com mais 5% do peso total do cimento;
- Misturar por 1 minuto;
- Com a betoneira ainda em movimento adicionar 50% da água total aos componentes na betoneira;
- Misturar por mais 1 minuto;
- Adicionar 25% do restante da água;

- Misturar por 3 minutos;
- Deixar a betoneira em repouso por 3 minutos. Neste momento, caso houvesse massa grudada das bordas ou nas pás da betoneira era feito o descolamento para que essa massa que até então estava segregada da mistura não modificasse o traço calculado;
- Misturar por 1 minuto;
- Adicionar os 25% finais de água com a o aditivo incorporado ao fluido;
- Misturar por 1 minuto.

Ao término desse processo havia o preenchimento rápido das formas com o concreto recém-fabricado. Era preciso moldar rapidamente, pois o aditivo proporcionava a liga, e trabalhabilidade, porém acelerava o processo de endurecimento do concreto. As Figuras 21 à 24 demonstram desde o processo de fabricação ao resultado final.



Figura 21 – Metodologia em série.



Figura 22 – Materiais para dosagem traço concreto permeável.



Figura 23 – Exemplificação rotação betoneira.



Figura 24 – Consistência do concreto.

A cura do concreto adotada foi a cura úmida. Mantinha-se a umidade no concreto através de sacos plásticos, a água que evaporava se liquefazia e ficava na superfície plástica, sendo absorvida novamente pelo concreto. Os concretos foram umedecidos apenas no dia de fabricação e no dia de desforma. Após esse processo foram colocados nos sacos plásticos na sala de cura do laboratório de concreto e argamassa do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde. Os corpos de prova ainda foram cobertos com um pano umedecido para amenizar os efeitos de retração. A cura é demonstrada na Figura 25 e 26 a seguir.



Figura 25 – Cura do concreto.



Figura 26 – Resultado final concreto.

3.5 Ensaios de Resistência à Compressão Diametral e Tração

A resistência dos pavimentos é medida através do rompimento das amostras. Realizou o ensaio de compressão diametral conforme descrito na norma do DNIT 136/18. O ensaio foi realizado na idade de 7 e 28 dias do corpo de prova.

A prensa utilizada foi a Prensa Universal da série da EMIC. O ensaio consiste em colocar o corpo de prova na posição vertical, de forma que a prensa aplique uma carga constante sobre a posição diametral do CP. O ensaio pode variar em um período de 0 a 120 s, e há uma aplicação constante de um carregamento com intensidade de 20kN/s.

O procedimento deve ser repetido no mínimo em 3 vezes. Através da norma de método de ensaio DNIT 136/2018 - ME que podemos mensurar essas grandezas. A partir dos dados obtidos faz-se média dos resultados e dá-se aplicabilidade a fórmula (3) para conversão da resistência a compressão diametral para resistência a torção.

$$\sigma_R = \frac{2.F}{\pi.D.H} \quad (3)$$

Onde:

σ_R = resistência à tração em MPa;

F = carga de ruptura em N;

D = diâmetro corpo de prova em mm;

H = altura do corpo de prova em mm.

O ensaio nos dá parâmetros de força (N), tensão (MPa), e deformação (mm). A fórmula permite transformar a resistência a compressão diametral em torção. Tração é definida como razão entre a força aplicada sobre um corpo na direção perpendicular à sua superfície sobre a área deste corpo. É dessa forma que o carregamento aplicado sobre o revestimento do pavimento rígido se distribui as outras camadas do pavimento. A tensão também é definida sobre uma unidade de força aplicada sobre a área. Neste caso, a tensão representa a compressão diametral, isto é, uma unidade de força que está sendo aplicada na direção radial/diametral do corpo de prova.

A Figura 27 apresenta um registro do momento de realização do ensaio.



Figura 27 – Rompimento corpo de prova.

3.6 Análise Permeabilidade

O permeâmetro utilizado é o permeâmetro de carga variável. Constituído de materiais comuns da construção civil.

Um tubo com diâmetro de 10 cm é utilizado para armazenar e monitorar o nível da água (bureta). O tubo de armazenamento do fluido é conectado ao tubo de PVC que irá revestir o objeto de análise. O tubo em PVC possui 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Conectado a ele é conectado uma caixa sifonada que funciona como uma curva que direciona a água a uma válvula de 5 cm de diâmetro. Após passado a válvula a água irá para o dreno, que está situado a 1 cm acima do ponto mais alto do corpo de prova, e assim a água é drenada.

Para a realização do ensaio é preciso preparar os corpos de prova passando plástico filme ao seu redor. Para vedar as juntas das conexões, todas foram seladas com silicone com largura sendo o dobro da profundidade da fenda conforme solicita o fabricante. É necessário medir o tempo em que o fluido leva para atingir uma cota, isso pode ser realizado com o auxílio de um

cronômetro. A água durante o ensaio deve ser adicionada pelo dreno, assim, quando atingir a cota mais alta do dreno, tem-se a certeza de que o corpo de prova está completamente submerso e saturado. As Figuras 28 e 29 ilustram os equipamentos e materiais utilizados.

Conforme a NBR 16416 (2015) o concreto para ser utilizado com fins drenantes deve obter o mínimo coeficiente de permeabilidade de 10^{-3} m/s e resistência de 2,0 Mpa.

Aplicando a Lei de Darcy neste experimento, chegamos à equação 4. Através dela é possível mensurar o coeficiente de permeabilidade (k). Segue a equação:

$$K = \frac{a_1.H}{A_2.\Delta t} \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (4)$$

Onde:

a_1 = área interna bureta (m^2)

H = altura corpo de prova (m)

Δt = tempo (s)

A_2 = área corpo de prova (m^2)

h_1 = carga hidráulica instante t_1 ;

h_2 = carga hidráulica instante t_2 ;

K = constante de permeabilidade (m/s);

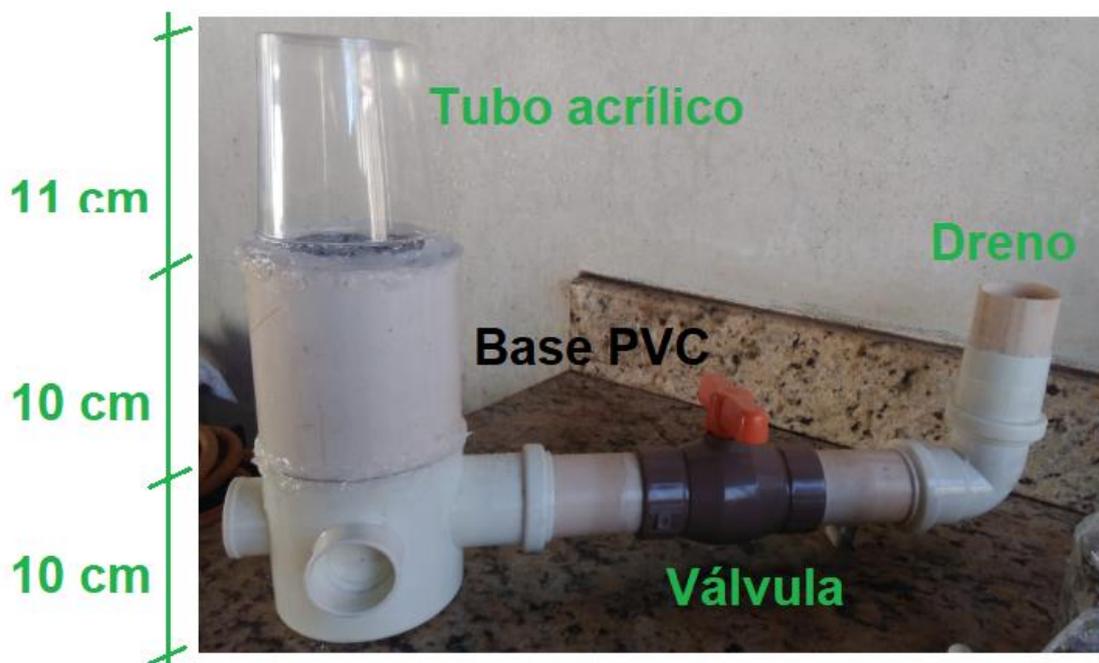


Figura 28 – Permeâmetro.



Figura 29 – Materiais ensaio permeabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico encontram-se os resultados decorrentes do ensaio de compressão diametral, tração e permeabilidade.

4.1 Análise Granulométrica Agregado Graúdo e Agregado Miúdo

Os dados obtidos estão expressos nas Tabelas 9 e 10, representados nas Figuras 30 e 31.

Tabela 9 - Curva Granulométrica Agregado Graúdo

#	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	Fração Retida	% Massa Retida	Fração Passante	% Passante
19 mm	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000%	1,0000	100,0000%
12 mm	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000%	0,0000	100,0000%
9,52 mm	0,5500	0,5500	0,4264	42,6357%	0,5736	57,3643%
6,3 mm	0,4800	1,0300	0,3721	37,2093%	0,2016	20,1550%
4,76 mm	0,1000	1,1300	0,0775	7,7519%	0,1240	12,4031%
1,68 mm	0,1300	1,2600	0,1008	10,0775%	0,0233	2,3256%
600 µm	0,0100	1,2700	0,0078	0,7752%	0,0155	1,5504%
420 µm	0,0100	1,2800	0,0078	0,7752%	0,0078	0,7752%
Fundo	0,0100	1,2900	0,0078	0,7752%	0,0000	0,0000%
Σ		7,8100	1,0000	100,0000%	1,9457364	

Tabela 10 - Curva Granulométrica Agregado Miúdo

#	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (g)	Fração retida	% Massa Retida	Fração Passante	% Passante
1,18 cm	31,8000	31,8000	0,0318	3,1800%	0,9682	96,8200%
600 µm	47,8000	79,6000	0,0478	4,7800%	0,9204	92,0400%
420 µm	310,2800	389,8800	0,3103	31,0280%	0,6101	61,0120%
150 µm	588,2900	978,1700	0,5883	58,8290%	0,0218	2,1830%
75µm	20,6700	998,8400	0,0207	2,0670%	0,0012	0,1160%
Fundo	1,1600	1000,0000	0,0012	0,1160%	0,0000	0,0000%
Σ	1000,0000	3478,2900	1,0000	100,0000%	2,5217	

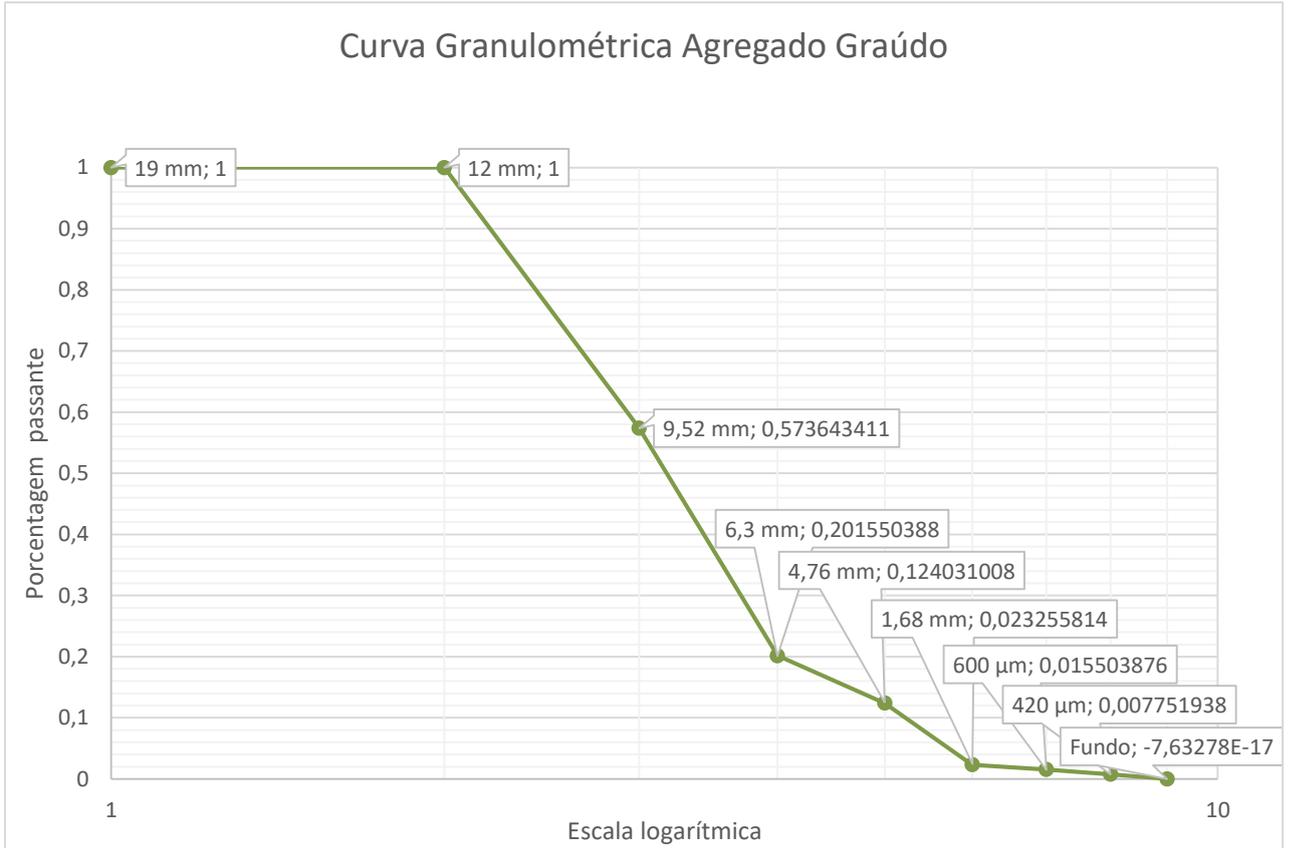


Figura 30 – Curva Granulométrica Agregado Graúdo.

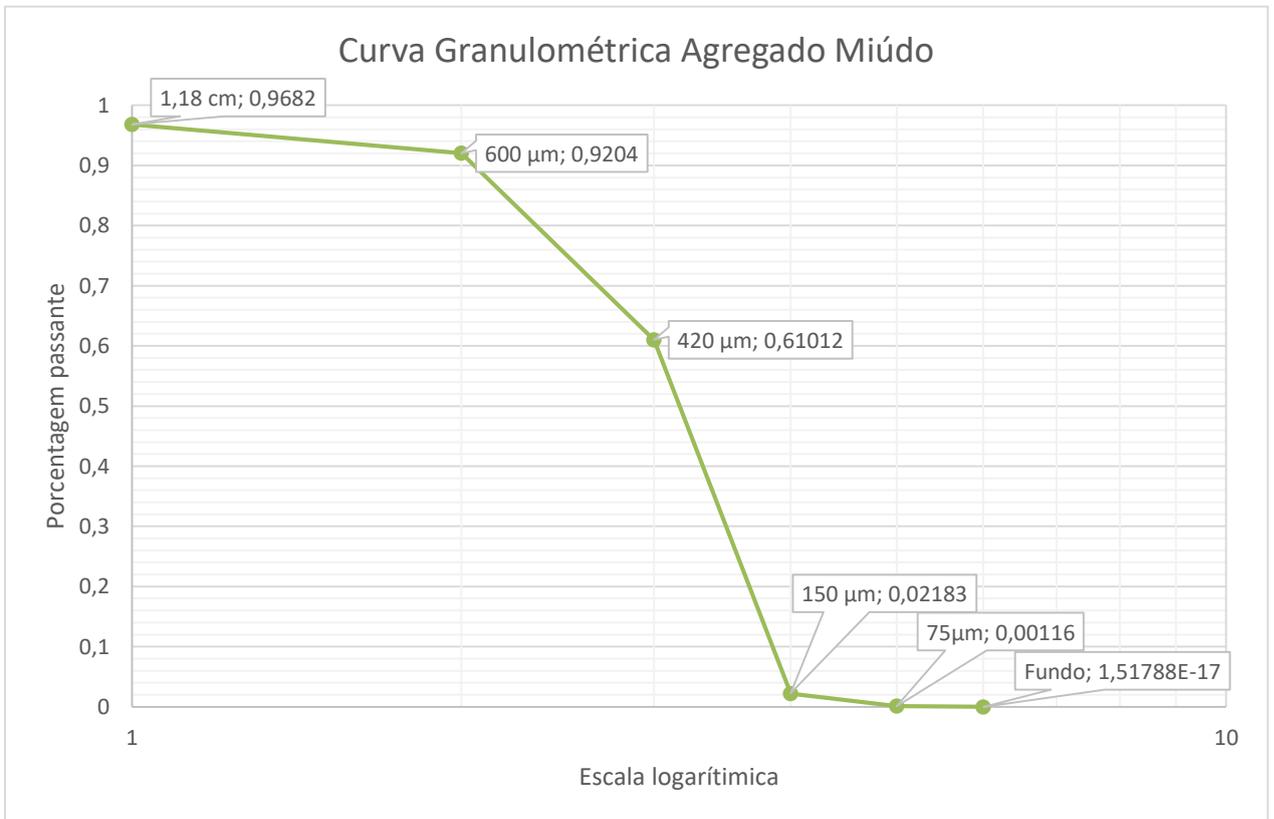


Figura 31 – Curva Granulométrica Agregado Miúdo.

4.2 Densidade Agregado Graúdo, Agregado Miúdo e Aglomerante

Fazendo a aplicação da fórmula (1) demonstrada em materiais e métodos encontra-se o valor da massa específica do agregado graúdo de $2,20 \text{ g/cm}^3$.

Para a densidade do agregado miúdo aplica-se os valores na equação 2 e encontra-se que a densidade do agregado miúdo da brita de $2,7 \text{ g/cm}^3$ e da areia de $2,60 \text{ g/cm}^3$.

A densidade adotada do aglomerante, isto é, do cimento foi a indicada pelo fabricante na embalagem definida numericamente como $3,1 \text{ g/cm}^3$.

4.3 Pavimento Flexível

O pavimento flexível não se apresentou estável para realização de nenhuma análise quantitativa. Porém, visivelmente notava-se que os traços com 3, 5 e 7% de ligante asfáltico em relação ao agregado eram permeáveis. Os corpos de prova foram submetidos a água em diferentes idades e realmente estavam cumprindo o objetivo permitir a passagem de fluídos.

Cerca de duas horas após desenformados os corpos de prova começavam a se desestabilizar. Os componentes da mistura perdiam o formato do circular iam se desmoronando e se acumulavam na base da amostra tomando a aparência que remete-se à um cone. Ao sete dias a amostra já não tinha mais forma definida conforme mostra a Figura 32.



Figura 32 – Pavimento flexível aos 7 dias.

O teste realizado com 4,5% de finos em relação total a amostra não era permeável. Porém, se manteve estável e apresentava características visuais iguais a de um pavimento comum. O pó de brita e a temperatura da mistura interferiu na estabilidade, e os finos influenciou o coeficiente de permeabilidade.

4.4 Pavimento Rígido – Influência Aditivo, Relação Água/Cimento e Relação Cimento/Agregado

O aditivo superplastificante é agente facilitador do fenômeno da segregação, isto é, separação da massa de concreto do agregado e da formação de “bolsões” de massa na superfície, também acelera o processo de pega e endurecimento do concreto. E quanto maior o índice de aditivo superplastificante usado, maior era a perda de material.

No entanto o aditivo torna-se indispensável para a liga do concreto. Sem o aditivo os corpos de prova não eram trabalháveis e tinham aspecto mais poroso e os componentes da mistura não se aglutinavam. O aditivo superplastificante auxiliou na formação da massa da mistura que não apresentou poros na escala macroscópica. Entretanto, o concreto permeável constituiu-se de uma estrutura porosa composta por agregados graúdos envoltos por pasta de cimento.

O traço dos testes com 0 teor de aditivo apresenta ser ótimo, porém os outros testes demonstraram que o aditivo melhora consideravelmente os aspectos de resistência e trabalhabilidade do pavimento.

A adição do aditivo superplastificante na mistura permite que se reduza o fator água/cimento se comparado ao concreto convencional. A redução de água auxilia no ganho de resistência. A faixa de aditivo superplastificante em relação a massa de cimento com maiores mudanças nos aspectos dos corpos de prova foi no intervalo de 0,2% e 0,3%, por isso apresenta ser o intervalo ideal, em que tem-se os maiores benefícios que o aditivo superplastificante pode nos proporcionar sem o ônus que o mesmo causa. Com 0,1% de aditivo já haviam mudanças consideráveis na qualidade da massa. O teor de 0,023 do superplastificante em relação a massa de cimento foi adotado empiricamente por interpolação dos dados do intervalo ideal.

Em um consumo menor de cimento (relação cimento/agregado 1:4) a segregação foi mais elevada e também aparentava ser mais permeável. Porém, por revisão bibliográfica sabe-se que um consumo maior de cimento melhora a resistência do concreto. Por essa razão que o traço com relação cimento/agregado de 1:3 foi adotada.

4.5 Pavimento Rígido – Resistência a Compressão Diametral e Tração.

As Tabelas de 11 à 22 apresentam valores de força e tensões obtidas pelo ensaio de resistência à compressão diametral. A partir dos dados foi feita a média da força. Com a média da força fez-se o cálculo para obter a tração equivalente a tensão diametral em que o corpo de prova suportava.

A ruptura ocorre na força máxima em que o concreto resiste. As tabelas a seguir apresentam dados dos corpos de prova na idade de 7 e 28 dias respectivamente.

Tabela 11 - Resistência Pavimento Rígido Traço Referência CII - 7 dias

Identificação	Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço REFERÊNCIA	124,6840	6,2340	3,8714
Altura (cm) 20	125,3000	6,2650	
Diâmetro (cm) 10	114,7020	5,7350	
Média	121,5620	6,0780	

Tabela 12 - Resistência Pavimento Rígido Traço Referência CII - 28 dias

Identificação	Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço REFERÊNCIA	162,1930	8,1100	5,0429
Altura (cm) 20	161,5570	8,0780	
Diâmetro (cm) 10	151,2870	7,5640	
Média	158,3457	7,9173	

Tabela 13 - Resistência Pavimento Rígido Traço 5% - 7 dias

Identificação	Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço 5%	99,3540	4,9680	3,2322
Altura (cm) 20	101,4980	5,0750	
Diâmetro (cm) 10	103,6220	5,1810	
Média	101,4913	5,0747	

Tabela 14 - Resistência Pavimento Rígido Traço 5% - 28 dias

Identificação	Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço 5%	133,6500	6,6800	3,3892
Altura (cm) 20	93,9260	4,6960	
Diâmetro (cm) 10	91,6900	4,5840	
Média	106,4220	5,3200	

Tabela 15 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 7 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	10%	110,0230	5,5010	3,5510
Altura (cm)	20	109,7770	5,4890	
Diâmetro (cm)	10	114,7020	5,7350	
	Média	111,5007	5,5750	

Tabela 16 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 28 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	10%	106,3500	5,3180	3,4762
Altura (cm)	20	109,8000	5,4900	
Diâmetro (cm)	10	111,3100	5,5650	
	Média	109,1533	5,4577	

O traço com 0,1 pontos percentuais de finos, denominado como “Traço 10%” aos 28 dias apresentou queda de 2,10% da resistência se comparado ao valor alcançado aos 7 dias. Este fato pode ocorrer no concreto permeável devido a compactação manual, processo de cura, velocidade do ensaio, e também por suas características físicas. Em sua composição o concreto é uma mistura homogênea, no sentido que forma uma massa apenas. Entretanto, nos aspectos físicos, os vazios podem se concentrar em determinado local. Fato este que pode deixar o concreto mais frágil e suscetível a queda de resistência devido a seus vazios.

Por esta razão, o traço com 10% de finos foi repetido. Os novos dados receberam a nomenclatura de “Traço 10% - 2”. Continuando os resultados de resistência, temos os seguintes valores:

Tabela 17 - Resistência Pavimento Rígido Traço 15% - 7 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	15%	137,0500	6,8520	4,2902
Altura (cm)	20	142,7000	7,1370	
Diâmetro (cm)	10	124,3900	6,2190	
	Média	134,7133	6,7360	

Tabela 18 - Resistência Pavimento Rígido Traço 15% - 28 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	15%	R\$ 137,0880	R\$ 6,8540	R\$ 4,5036
Altura (cm)	20	R\$ 142,1970	R\$ 7,1100	
Diâmetro (cm)	10	R\$ 144,9550	R\$ 7,2570	
	Média	R\$ 141,4133	R\$ 7,0737	

Tabela 19 - Resistência Pavimento Rígido Traço 20% (Referência CPV) - 7 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	20%	132,1330	6,7070	3,7473
Altura (cm)	20	113,2550	5,6630	
Diâmetro (cm)	10	107,6120	5,3810	
	Média	117,6667	5,9170	

Tabela 20 - Resistência Pavimento Rígido Traço 20% (Referência CPV) - 28 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	20%	177,2850	8,8640	5,0309
Altura (cm)	20	148,9280	7,9460	
Diâmetro (cm)	10	147,6970	7,3850	
	Média	157,9700	8,0650	

Tabela 21 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 2 - 7 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	10%	126,0390	6,3020	4,0515
Altura (cm)	20	134,8000	6,7400	
Diâmetro (cm)	10	120,8170	6,3020	
	Média	127,2187	6,4480	

Tabela 22 - Resistência Pavimento Rígido Traço 10% - 2 - 28 dias

Identificação		Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tração (MPa)
Traço	10%	125,6280	6,2810	4,1355
Altura (cm)	20	138,3810	6,9190	
Diâmetro (cm)	10	125,5560	6,2780	
	Média	129,8550	6,4927	

A Figura 33, mostra todos os resultados e o desenvolvimento da resistência a tração do concreto, o quanto ele ganhou ou em termos quantitativos de resistência com a idade de 7 e 28 dias.

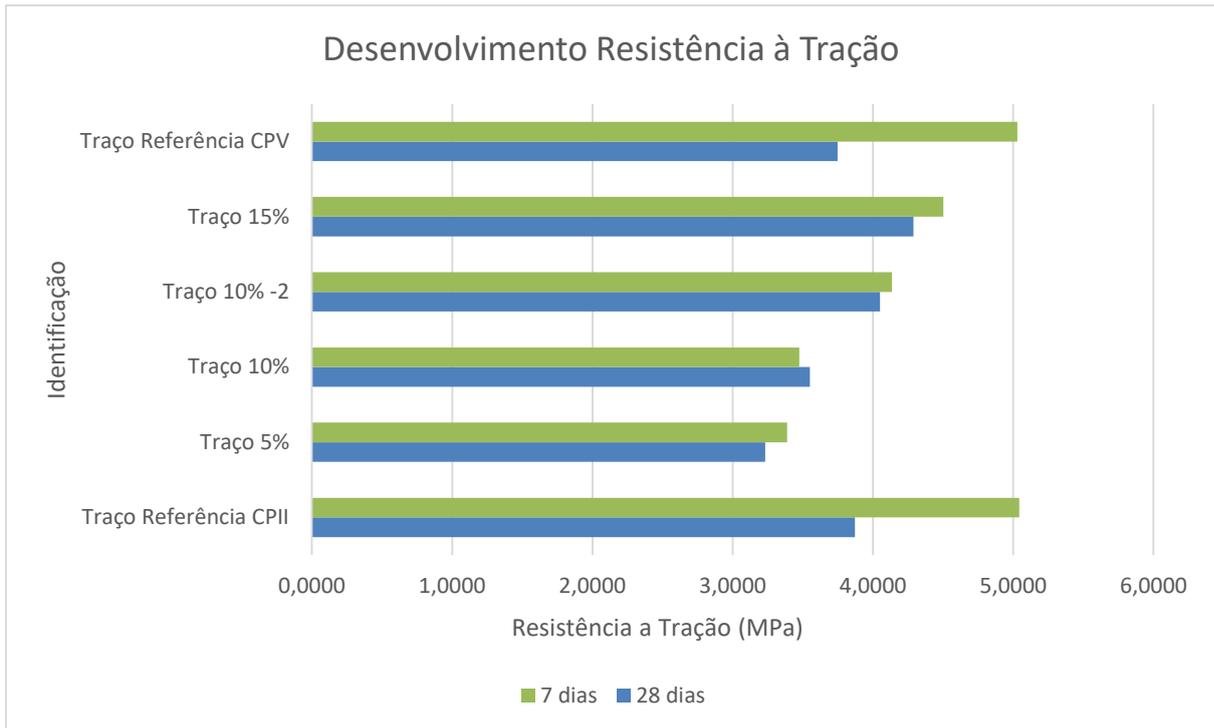


Figura 33 – Desenvolvimento Resistência à Tração.

Nota-se através da Figura 33 o desempenho do concreto alcançado em relação a resistência. A partir dos resultados observa-se que o concreto com o traço de 20% de finos se comportou semelhante ao traço referência do concreto do pavimento rígido feito do cimento do tipo comum CPII. Por este motivo, adotar-se-á o traço com 20% de finos como o novo referência do concreto do pavimento rígido feito do cimento tipo comum CPV, pois possui mesma relação água/cimento, cimento/agregado, cimento/aditivo e o mesmo tipo de concreto utilizado nos traços com 5, 10 e 15% de finos. Este novo parâmetro possibilitará fazer o comparativo de concretos dos pavimentos de mesmo tipo de cimento, e com um tipo destoante.

Os traços com 5, 10 e 15% não apresentaram não tiveram crescimento expressivo se comparados ao traço referência e com o traço de 20% de finos. Apenas os traços com 5, 10 e 15% únicos concretos que apresentaram ter características permeáveis. Os concretos referidos possuem pouco ganho na resistência por conta dos seus vazios macroscópicos, que são possíveis de se enxergar sem uso de lentes, e estes vazios que possibilitam a percolação de fluidos. Os vazios são partes do concreto em que não resiste a esforços, por isso afetam o desenvolvimento da resistência a tração do concreto. Todos os concretos possuem vazios a níveis microscópicos. Porém, o traço 20% não possui vazios macroscópicos se portando como um concreto convencional.

De todos os concretos analisados apenas o traço referência e os com índices de 15% e

20% de finos (Traço Referência CPV) estão aptos a resistência mínima recomendada pelo Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT de 4,5 MPa para serem utilizados como revestimento nas rodovias.

A Figura 34 demonstra o desempenho dos concretos do pavimento rígido na idade de 28 dias. Através do gráfico expresso na figura verifica-se que a resistência à tração aos 28 dias apresenta características que acompanham a quantidade de finos, de forma crescente, quanto maior a quantidade de finos no pavimento rígido poroso, maior a resistência à tração expressa em Mpa que o mesmo atinge.

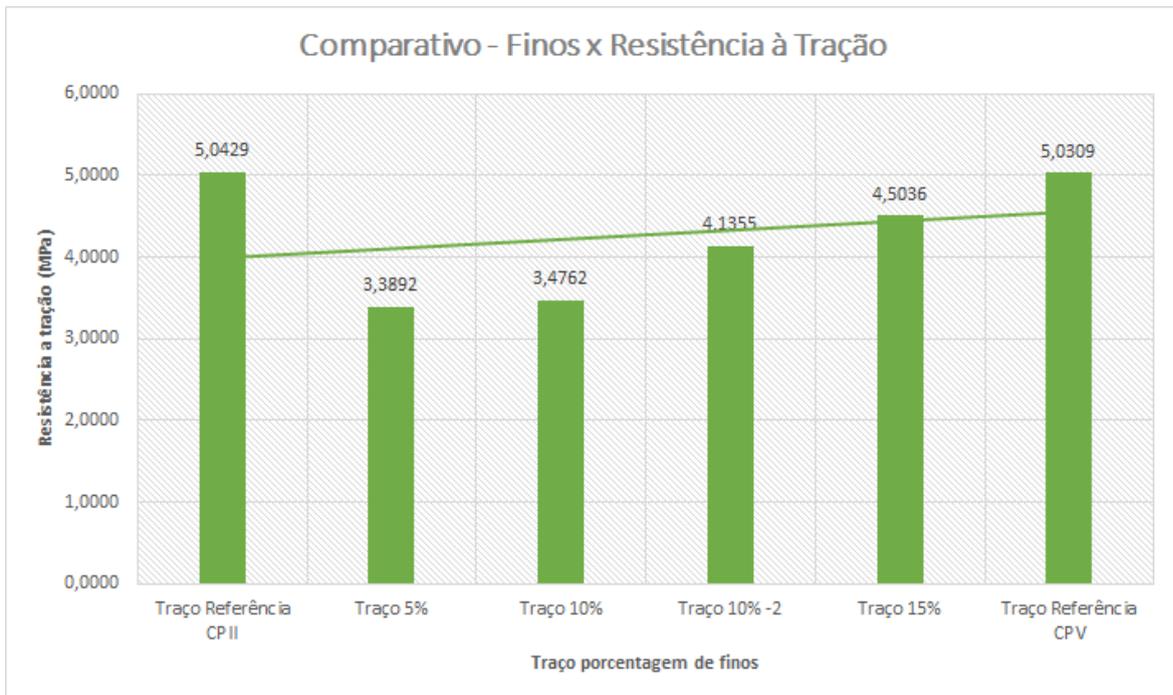


Figura 34 – Comparativo finos x resistência a tração.

Em seguida, na Tabela 23, há um comparativo percentual de aumento ou decréscimo a resistência à tração em relação a resistência em MPa alcançada na idade de 7 dias para a resistência à tração atingida na idade de 28 dias.

Tabela 23 - Evolução Resistência à Tração

	Tração (MPa)		Desenvolvimento (%) *
	7 dias	28 dias	Tração
Traço Referência CII	3,8714	5,0429	30,2592%
Traço 5%	3,2322	3,3892	4,8582%
Traço 10%	3,5510	3,4762	-2,1052%
Traço 10% -2	4,0515	4,1355	2,0723%
Traço 15%	4,2902	4,5036	4,9735%
Traço 20%	3,7473	5,0309	34,2521%

* = o sinal negativo (-) representa decréscimo da resistência aos 28 dias se comparado com a idade de 7 dias.

Os dados da tabela a anterior expõe que se tratando de pavimento rígido no referido traço estudado, o concreto do pavimento rígido de referência feito a partir do cimento comum tipo CPV teve melhor desempenho se comparado ao concreto do pavimento rígido de referência feito a partir do cimento comum tipo CII, pois apresentou um crescimento de 34% de sua resistência medidos em MPa de 7 para os 28 dias, enquanto o cimento CII teve um crescimento de apenas 30% em sua resistência de 7 para os 28 dias de idade. Pode-se analisar a evolução da resistência à tração visualmente por intermédio da Figura 35.

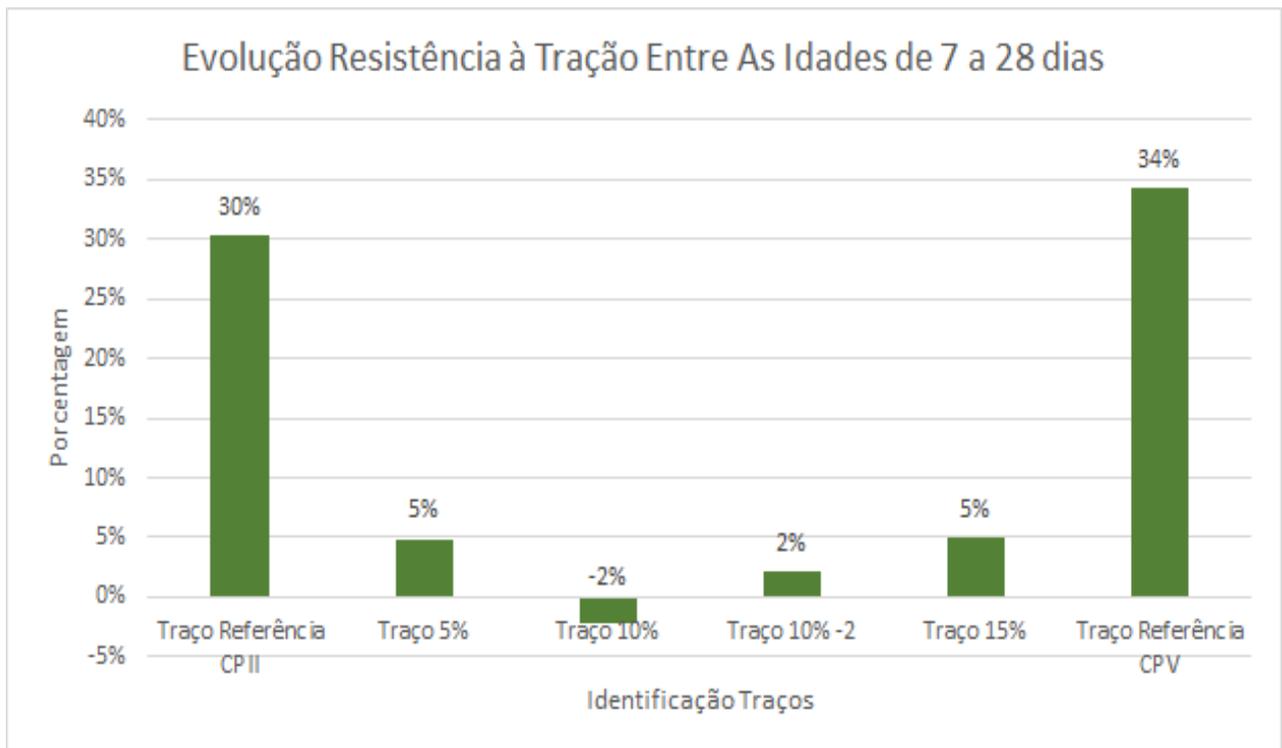


Figura 35 – Evolução Resistência à Tração Entre As Idades de 7 a 28 dias.

Contudo, ao fazer-se comparação em relação ao referência, a maior resistência à tração atingida foi de 5,0427 Mpa aos 28 dias no concreto referência do pavimento rígido feito a partir do cimento CII. As Tabelas 24 e 25 quantifica em pontos percentuais essa diferença de todos os traços em relação ao Traço Referência Concreto CII e logo em seguida em relação ao Traço Referência Concreto CPV.

Tabela 24 - Comparativo Referência Concreto CII

Identificação	Resistência à Tração (Mpa)	
	7 dias	28 dias
Traço 5%	83,4894%	67,2087%
Traço 10%	91,7233%	68,9336%
Traço 10% -2	91,7233%	82,0073%
Traço 15%	110,8186%	89,3067%
Traço Referência CPV	96,7956%	99,7628%

Tabela 25 - Comparativo Referência Concreto CPV (traço 20%)

Identificação	Resistência à Tração (Mpa)	
	7 dias	28 dias
Traço Referência CPII	103,3105%	100,2378%
Traço 5%	86,2533%	67,3685%
Traço 10%	94,7598%	69,0975%
Traço 10% -2	108,1178%	82,2023%
Traço 15%	114,4873%	89,5191%

4.6 Ensaio de Permeabilidade

Os traços referências é do pavimento rígido possuem características de concretos comuns, não permeáveis. Por isso, não foi possível realizar o teste de permeabilidade. Entretanto, na fase de testes para construção de dados de um traço ideal, o concreto sem finos denominado de “teste 2” apresentava-se permeável na idade de 28 dias.

O limiar para características permeáveis do referido traço estudado está em conter a quantidade de finos entre o intervalo de 0 a 20% em relação total a quantidade de agregado.

A tabela 26 detalha todas as informações obtidas durante a realização do ensaio, e os resultados quando aplicado à fórmula de Darcy.

Tabela 26 - Coeficiente de Permeabilidade

Prefixo	Dados Significado	Identificação			
		Traço 5%	Traço 10%	Traço 10% - 2	Traço 15 %
a	Área interna bureta (m ²)	0,0079	0,0079	0,0079	0,0079
H	Altura corpo de prova (m)	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000
A	Área corpo de prova (m ²)	0,0079	0,0079	0,0079	0,0079
Δt	Tempo (s)	10,9800	11,9100	10,3100	12,4400
h ₁	Carga hidráulica instantane t ₁ (m)	0,0750	0,0750	0,0750	0,0750
h ₂	Carga hidráulica instantane t ₂ (m)	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
$\frac{Ln}{h_1/h_2}$	Limite logaritmo da razão h ₁ /h ₂	2,7081	2,7081	2,7081	2,7081
k	Constante permeabilidade m/s	0,0247	0,0227	0,0263	0,0218
i	Gradiente hidráulico	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000

Todos os traços que apresentaram características permeáveis se enquadram no mínimo de 10^{-3} m/s recomendado pela NBR 16416(2015). Se comparado aos solos, o concreto permeável apresentou características de solos com permeabilidade alta constituídos de pedregulhos que obtém coeficiente de permeabilidade maiores 10^{-3} m/s.

Também através da NBR 16416 (2015) placas de concreto poroso ou concreto permeável

moldado no local pode ser utilizado em calçadas, áreas permeáveis, estacionamentos, vias com tráfego leve e cargas estáticas desde que atinjam ao índice de 2,0 MPa de resistência a tração e coeficiente de permeabilidade mínima de 10^{-3} m/s. Sendo assim, todos os traços permeáveis estudados estão aptos a serem utilizados como pavimento permeável de concreto pois seguem as instruções normativas apresentadas.

4.7 Comparativos Gerais

Os comparativos gerais permitem uma visão como um todo de todos os aspectos analisados na pesquisa. A Tabela 27 e a Figura 36 correlacionam a granulometria, resistência a compressão diametral e a tração, e ao coeficiente de permeabilidade.

Tabela 27 - Resultados Gerais

Identificação	Média de dados aos 28 dias		Permeabilidade
	Compressão Diametral (Mpa)	Tração (Mpa)	
Traço Referência CPII	7,9200	5,0429	0,0000
Traço 5%	5,3200	3,3892	0,0247
Traço 10%	5,4600	3,4762	0,0227
Traço 10% -2	6,4900	4,1355	0,0263
Traço 15%	7,0700	4,5036	0,0218
Traço Referência CPV	8,0600	5,0309	0,0000

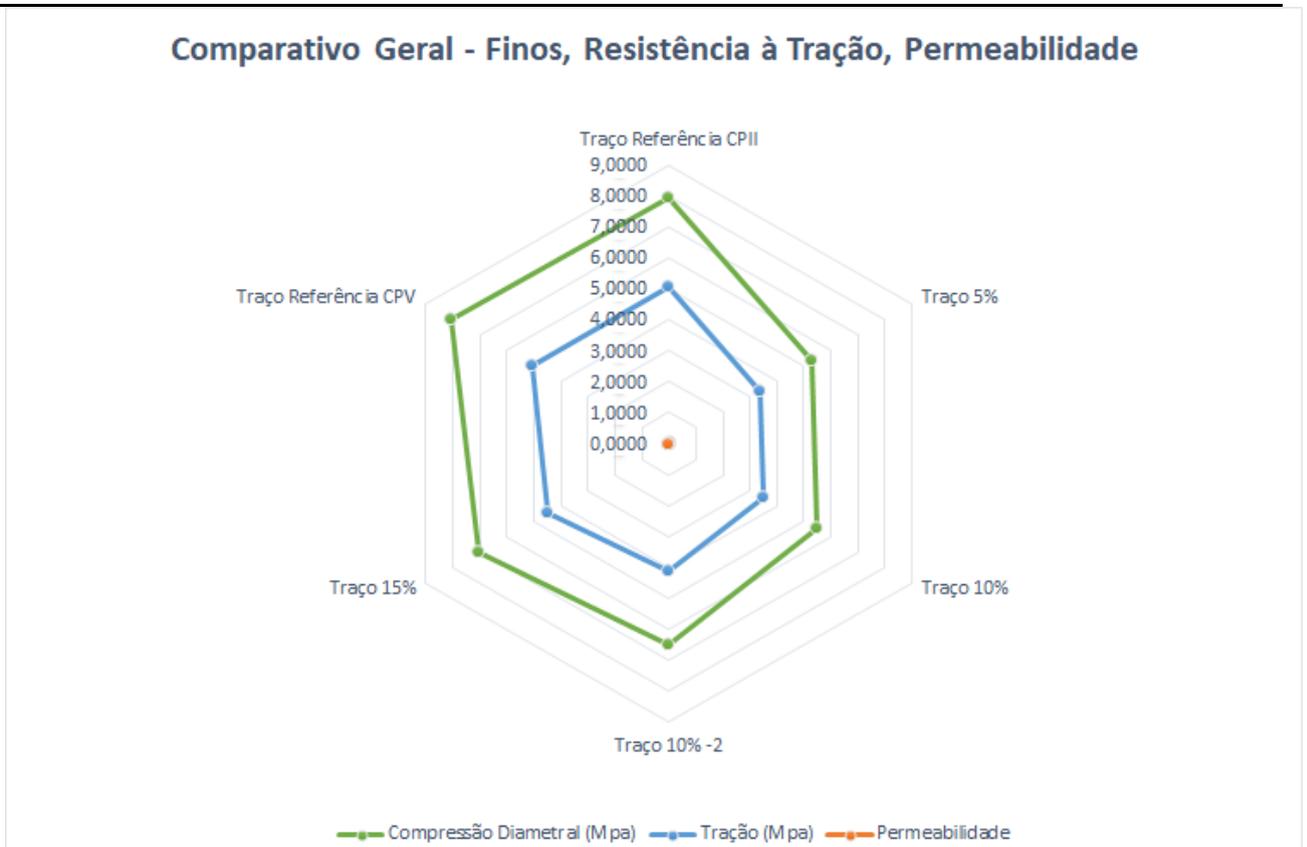


Figura 36 – Comparativo Geral – Finos, Resistência à Tração, Permeabilidade.

A partir da análise pode-se averiguar que a resistência à compressão diametral é sempre superior a resistência a tração. Traços com maiores quantidades de finos apresentam índices mais elevados de tolerância as cargas.

Não obstante, a permeabilidade é ínfima se comparado numericamente aos resultados do ensaio de compressão. Sendo assim, ao analisarmos a porcentagem de finos com o coeficiente de permeabilidade temos resultados graficamente visuais mais significativos. Segue comparativo entre finos e permeabilidade apresentados pela Figura 37.

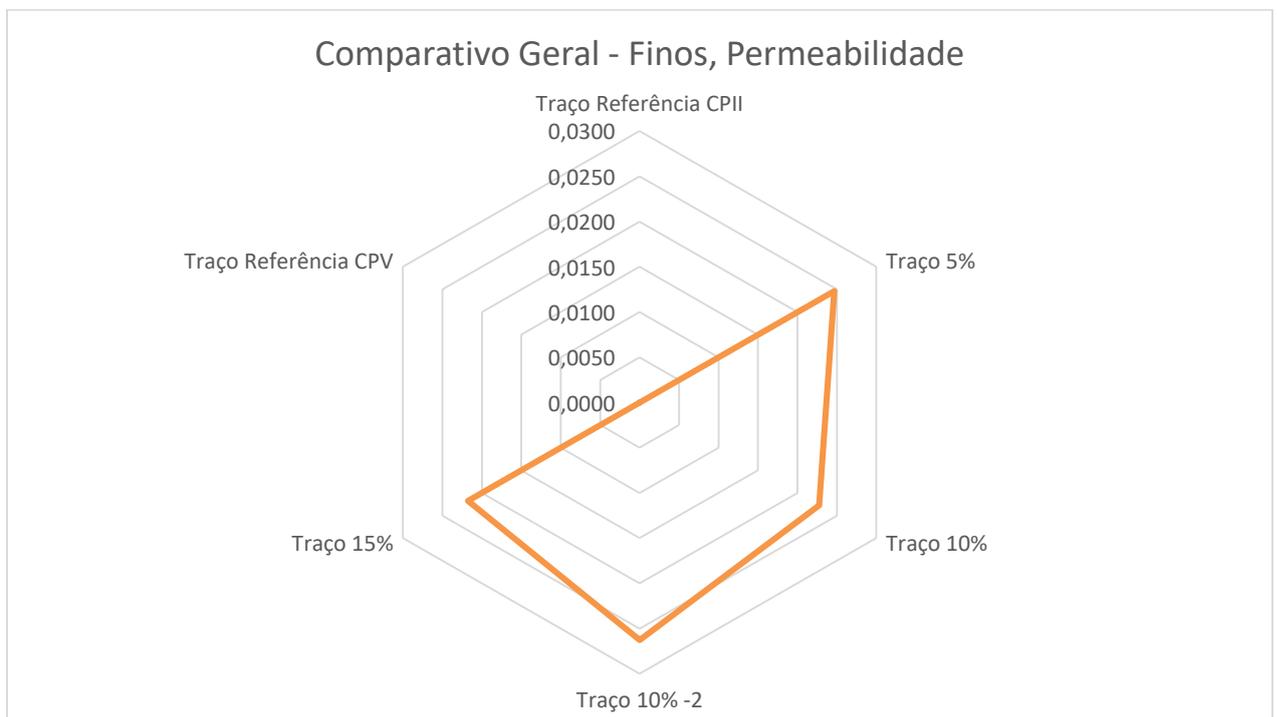


Figura 37 – Comparativo geral – Finos, Permeabilidade.

Através do gráfico, prova-se que a granulometria fina é interfere na permeabilidade. O intervalo de finos ótimo para se trabalhar visando a permeabilidade se encontra entre 0% a 20%. Valores próximos a 15% apresentam resultados de tração por volta de 4,5 MPa.

5. CONCLUSÕES

I) É possível obter um traço de pavimentação permeável rígida que atenda as orientações normativas quanto permeabilidade e resistência. A variação granulométrica é um dos fatores que permitem que tal feito seja possível.

II) Os pavimentos flexíveis sofrem deformações quando há aplicação de cargas mesmo em seu estado íntegro, não poroso. Ao fazermos uma estrutura flexível com poros a tendência é de que o efeito de deformação seja mais significativo.

III) O pavimento rígido atende as normativas brasileiras quanto a resistência mínima para revestimento em rodovias atingindo o mínimo de 4,5 MPa conforme indicado no Manual de Pavimentação Rígida do DNIT (2004). No entanto, para real utilização é necessário fazer o estudo da influência deste revestimento sob as camadas inferiores do pavimento, tais como leito, subleito, base e camada de regularização.

IV) A faixa ótima de finos para ter-se um pavimento permeável compreende a faixa entre 0% à 20%. Altos índices de materiais finos é proporcional a resistência e inversamente proporcional a permeabilidade. Pavimentos flexíveis também são permeáveis, e precisam ser idealizados a uma temperatura próxima ao limite de 180°C para que mantenham mais facilmente a estabilidade.

V) Embora apenas o traço com 15% esteja apto quanto a resistência a tração para ser utilizado em rodovias todos os traços permeáveis (5%, 10% e 15%) podem ser utilizados em áreas de drenagem, calçadas, pavimentação de ruas com tráfego leve e cargas estáticas, tal como um estacionamento, pois todos os traços atingiram o mínimo sugerido pela NBR16416/15 de 2,0 MPa de resistência a tração e coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s. O concreto pode ser utilizado apenas de for em placas ou moldado no local conforme instrui a norma referida.

VI) A relação de aditivo, água/cimento, cimento/agregado; os teores de CAP e temperatura atuam diretamente na qualidade do composto asfáltico.

VII) O pavimento permeável pode ser utilizado para amenizar os problemas decorrentes da hidroplanagem e falha de drenagem urbana. Contudo, não solucionam todos os problemas, são medidas mitigadoras para reconstruir o cenário ideal de drenagem urbana, e auxiliam no processo de gerar um impacto ambiental positivo ao promover o reabastecimento do lençol freático e aumento da área permeável dos centros urbanos.

VIII) Embora seja difícil reconstruir toda malha rodoviária e pavimentação asfáltica há outros meios de se obter os benefícios do pavimento permeável. O pavimento pode ser utilizado ainda como matéria prima dos elementos componentes do sistema de drenagem de um pavimento, tais como: sarjeta de corte, meio fio, camada drenante, caixas coletoras, bueiros e entre outros. As áreas onde se estacionam os carros não recebem muita influência de cargas dinâmicas, utilizando apenas essa área junto com as sarjetas das suas, meio fios e calçadas com material drenante aumentaria muito a área permeável das cidades, auxiliando assim a amenizar os prejuízos de uma rede de drenagem ineficiente. Todavia, para esta sugestão de utilização é necessário fazer outros trabalhos para averiguar como o concreto permeável, e a percolação que ele possibilitará poderá interferir na estrutura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci, Curitiba, v.3, n.1, p. 139-156, 2006.

ARAÚJO, Cleonice; RIBEIRO, Natália Nascimento. **Asfalto permeável para soluções de problemas com enchentes nas cidades**. 2010. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos (Frasco Chapman)**. NBR 9776, Rio de Janeiro, 1987. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos Permeáveis de Concreto Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655** : Concreto - preparo, controle e recebimento, Rio de Janeiro, 2001.

BERNUCCI, Liedi Bariani, *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010. 504 p.

BIANCHI, Flávia Regina; BRITO, Isis Raquel Tacla; CASTRO, Veronica Amanda Brombley. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Salvador: Ibracon, 2008. 16 slides, color. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresentacoes/ISIS_RAQUEL.pdf>. Acesso em: 24/07/2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 01, de 23/01/1986**.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Determinação da Abrasão “Los Angeles”**, ME - 035. Rio de Janeiro, 1998. 5-6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Método de Ensaio**, ME -043. Rio de Janeiro, 1995. 2 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Adesividade a Ligante Betuminoso**: ME - 079. Rio de Janeiro, 1994. 3-4 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Análise Granulométrica**: ME – 083. Rio de Janeiro, 1998. 3-4 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. Agregados - determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo **DNER-ME 196/98**:. Rio de Janeiro: Diretoria de Desenvolvimento tecnológico, 1998. 3 p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Ensaio Cantabro**, ME – 383. Rio de Janeiro, 1999. 2 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Camada Porosa de Atrito**, ES – 386. Rio de Janeiro, 1999. 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006. 14 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006. 233 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2004. 278 p.

GRECO, S. A. Jisela. **Misturas Betuminosas Densas e Dosagem Marshall**: Construção de Estradas e Vias Urbanas, 60 horas. 2004. Aula. Engenharia Rodoviária e Vias Urbanas.

LIAN, C. ZHUGE, Y. **Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation**. Elsevier Journal Construction and Building Materials, 2010.

MARUYAMA, Cíntia Miua; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Pavimentos Permeáveis e Infraestrutura Verde**. Cidades Verdes: periódico técnico científico, Tupã - SP, v. 4, n. 9, p.73-86, 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.

PETROBRÁS. **Asfalto Informações Técnicas**. Versão 1.1. 2015. Disponível em:<
[http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/Asfalto-
Informacoes_Tecnicas.pdf](http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/Asfalto-
Informacoes_Tecnicas.pdf)>Acesso em 18/06/2018.

PINHEIRO, L. M.. In: PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de Concreto**. São Paulo: USP - EESC - Departamento de Engenharia de Estruturas, 2004. Cap. 2. p. 1-9.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH, Felipe Issa Kabbach Júnior. **Drenagem subsuperficial de pavimentos**: conceitos e dimensionamento. Oficina de

Textos. São Paulo, 2014. 1º edição.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO PESADA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ligante Asfáltico**. Disponível em:

<<http://www.sinicesp.com.br/materias/2010/bt05a.htm> > acesso em 21/04/2018.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**, v. 1. 2ª ed. São Paulo: PINI. 2007.

SILVA, José Eudes Marinho, CARNEIRO, Luiz Antonio Vieira. **Pavimento de Concreto: Histórico, Tipos e Modelos de Fadiga**. Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção**. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. v. 2, n. 2, jul/dez 1997. p. 5-12.

TUCCI, Carlos E. M.. **Drenagem urbana**. Ciência e Cultura, São Paulo , v. 55, n. 4, p. 36- 37, Dec. 2003 .

VIRGILIIS, Afonso Luis Corrêa de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando a retenção e amortecimento de picos e cheias**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Doi:10.11606/D.3.2009.tde-08092010-122549.

The UNH Stormwater Center. Porous Asphalt Pavement For Stormwater Management .

Disponível em:

<https://www.unh.edu/unhsc/sites/unh.edu.unhsc/files/porous_ashpalt_fact_sheet.pdf>.

Acesso em: 21/04/2018.