

REVISTA

ABRV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO



PAVIMENTAÇÃO

ANO XI • N° 40 • ABR-JUN • 2016 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809-1865



POÇO DE VISITA (PV)

Francisco José d'Almeida Diogo



ENGENHEIRO MAURÍCIO JOPPERT DA SILVA (IN MEMORIAM)

Autor da "Lei Joppert"



45ª RAPv | 19º ENACOR
5ª Expopavimentação
1º Fórum Rodoviário, de
Trânsito e de Mobilidade

Construindo vias... integrando caminhos.

PARTICIPE DE UM DOS **MAIORES EVENTOS** DO
SETOR DE **PAVIMENTAÇÃO E CONSERVAÇÃO**
RODOVIÁRIA E DE **MOBILIDADE** DO BRASIL!

- ✓ Debate sobre inovações técnicas
- ✓ Minicursos
- ✓ Palestras
- ✓ Apresentação de trabalhos técnico-científicos
- ✓ Exposição de produtos e serviços de empresas do setor
- ✓ Networking
- ✓ e muito mais!



20 a 23
setembro/2016

Centro de Convenções
Ulysses Guimarães

Brasília - DF

Mais informações: www.rapvenacor.com.br | 11 3056-6000
atendimento@mci-group.com

Patrocínio - Cota Prime



Patrocínio - Cota Supreme



Patrocínio - Cota Plus



Patrocínio - Cota Especial



Grupo Eritram



Apoio Institucional



GOVERNO DE
BRASILIA



Realização

Organização



acqua consultoria
an MCI Group company

EXPEDIENTE

REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano XI • Nº 40 • Abr - Jun 2016
ISSN 1809 - 1865



Rua Miguel Couto, 105 • Sobrelojas 204 e 205
CEP 20070-030 • Rio de Janeiro • RJ
Tel • (21) 2233-2020 | 2263-5794 Fax • (21) 2233-0709

CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPv

EDITORA CHEFE

Georgina Libório Azevedo
georgina@abpv.org.br
MTb 31365-RJ

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago
jpierrems@abpv.org.br
MTb 27170-RJ

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa
Vice-Presidente • Eng. Eduardo Alberto Ricci
Diretora Financeira • Arqt. Georgina Libório Azevedo
Diretor Administrativo • Eng. Fernando Augusto Júnior
Diretora Técnica • Eng. Luciana Nogueira Dantas
Diretora de Divulgação • Eng. Michéle Dal Toé Casagrande

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto • Eng. Antônio Fortunato Marcon • Eng. Armando Morilha Junior • Eng. Atahualpa Schmitz da S. Prego • Eng. Carlos Yukio Suzuki • Eng. Cassio Eduardo Lima de Paiva • Eng. Consuelo Alves da Frota • Eng. Cristiano da Costa Moreira • Eng. Djalma Rocha A. M. Pereira • Eng. Douglas Fadul Villibor • Eng. Edinaldo Afonso Marques de Mélo • Eng. Eduardo Alberto Ricci • Eng. Fernando Augusto Jr. • Eng. Genésio Almeida da Silva • Arqt. Gilda Collet Bruna • Eng. Glicério Trichês • Eng. Heitor Roberto Giampaglia • Eng. Jacques de Medina • Eng. João Vicente Falabella Fabrício • Eng. João Virgílio Merighi • Eng. Jorge Augusto Pereira Ceratti • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa • Eng. José Leomar Fernandes Junior • Eng. José Tadeu Balbo • Eng. José Vidal Nardi • Eng. Laura M^a Goretti da Motta • Eng. Leni F. M. Leite • Eng. Leto Momm • Eng. Liedi Legi B. Bernucci • Eng. Luciana Nogueira Dantas • Eng. Luiz Miguel de Miranda • Eng. Marcello Roberto Rangel Pestana • Eng. Márcio Muniz de Farias • Eng. Márcio Augusto Neves • Eng. Maria da Conceição M. Azevedo • Eng. Michéle Dal Toé Casagrande • Eng. Nilton de Souza Campelo • Eng. Paulo Romeu Assunção Gontijo • Eng. Prepredigna D. E. Almeida da Silva • Eng. Rita Moura Fortes • Eng. Rui José da Silva Nabais • Eng. Silvio Rodrigues Filho • Eng. Saul Birman • Eng. Valmir Bonfim • Eng. Walter Canales Sant'ana • Eng. Washington Pérez Nuñez.

Projeto Gráfico e Produção Digital • Luciana Costa Leite
Revisão • Renata Daflon Menezes
Periodicidade • Trimestral

NOSSA CAPA



Imagem sob licença da Shutterstock.com
Envie sua foto para: abpv@abpv.org.br

SUMÁRIO

EDITORIAL	4
SEÇÃO DE NOTAS	5
OPINIÃO	15
ESPAÇO JURÍDICO	16
FATOS HISTÓRICOS	18

CADERNO DE TECNOLOGIA

Poço de visita (PV)	22
---------------------	----

Francisco José d'Almeida Diogo

ARTIGO 1

Formulação e comportamento mecânico de misturas asfálticas de módulo elevado preparadas com ligantes de alta consistência	31
---	----

Carlos Fernando Quintero Quintero
Leto Momm
Leni Figueiredo Mathias Leite
Liedi Légi Bariani Bernucci
José Marcos Faccin Guimarães

ARTIGO 2

Análise da viabilidade técnica da utilização do resíduo do beneficiamento do minério de ferro em microrrevestimento asfáltico	49
---	----

Freddy Richard Apaza
Antonio Carlos R. Guimarães

ARTIGO 3

Estudo da permeabilidade hidráulica de solos utilizando permeâmetro convencional e permeâmetro de PVC	67
---	----

Magayve dos Santos Lima
Ana Carolina da Cruz Reis

EDITORIAL

É com grande entusiasmo que damos continuidade à versão eletrônica da Revista PAVIMENTAÇÃO. O novo sempre traz consigo expectativas e questionamentos. Nossos leitores receberam o novo formato digital da Revista com enorme receptividade. De fato, podemos dizer que já fomos acolhidos por aqueles que fazem da PAVIMENTAÇÃO sua leitura assídua e referencial, bem como ganhamos novos leitores, os quais se manifestam pelas redes sociais da ABPv. Certamente este *feedback* nos orgulha e nos incentiva a buscar sempre o melhor no jornalismo científico a cada edição.

Nesta edição de número 40 trazemos na coluna Opinião, a professora Michéle Dal Toé Casagrande que apresenta os defeitos precoces nos pavimentos da cidade do Rio de Janeiro mostrando e, ao mesmo tempo alertando para as possíveis causas dessas fadigas. Trata-se de uma visão apurada e bastante pertinente sobre os motivos determinantes que encurtam a vida útil dos pavimentos urbanos e rodoviários.

Em Fatos Históricos homenageamos desta vez o engenheiro Maurício Joppert da Silva, (1890-1985), que foi um renomado engenheiro carioca e destacado político brasileiro. Joppert foi professor da Escola Politécnica da UFRJ e também presidente do Clube de Engenharia do Rio de Janeiro. Comandou o Ministério de Viação e Obras Públicas de novembro de 1945 a de janeiro de 1946, no governo de José Linhares, onde transformou o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em autarquia (hoje DNIT) e criou o Fundo Rodoviário Nacional, uma fonte de receita que permitiu a expansão da rede rodoviária brasileira. Seu nome está inscrito no prédio de nº 522, na Avenida Presidente Vargas, centro da cidade do Rio de Janeiro, onde funcionou a sede do DNER antes de ser transferido para Brasília.

Na Seção de Notas destacamos a recente homenagem recebida por três diretores da ABPv. José Pedro dos S. Vieira Costa, diretor presidente da ABPv que foi agraciado com o grau de Grande Oficial da Ordem do Mérito da Defesa. Fernando Augusto Junior, diretor administrativo e Luciana Nogueira Dantas, diretora técnica que se destacaram como Personalidades da Pavimentação Brasileira, pela Asfalto em Revista, renomada publicação do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo.

No Caderno de Tecnologia, o Cel. Francisco José d'Almeida Diogo apresenta o tema Poço de Visitas, mostrando a importância desta câmara que permite a realização de inspeção e manutenção de trechos de redes subterrâneas.

Nos Artigos Técnicos dessa edição, o primeiro deles aborda a formulação e o comportamento mecânico de misturas asfálticas de módulo elevado preparadas com ligantes de alta consistência. Um estudo de autoria de Carlos Fernando Quintero Quintero, Leto Momm, Leni Figueiredo Mathias Leite, Liedi Légi Bariani Bernucci e José Marcos Faccin Guimarães.

O segundo artigo analisa a viabilidade técnica da utilização do resíduo do beneficiamento do minério de ferro em microrrevetimento asfáltico. Um notável trabalho de autoria de Freddy Richard Apaza Apaza e Antonio Carlos Rodrigues Guimarães.

O artigo final é um estudo de Magayve dos Santos Lima e Ana Carolina da Cruz Reis. Neste trabalho os autores tratam da permeabilidade hidráulica de solos utilizando permeâmetro convencional e o permeâmetro de PVC.

Gostaríamos de compartilhar com os leitores nossa preocupação com os rumos nos cenários político e econômico do País neste momento de transição. Mas queremos destacar, sobretudo, o nosso otimismo, pois nos momentos de crise temos a oportunidade de nos reinventarmos. A ABPv acredita que em breve a perspectiva de retomada do crescimento econômico será mais evidenciada. Temos instituições democráticas sólidas e, não apenas os agentes políticos terão de agir, mas, também, estão agindo desde já as sociedades civis e os brasileiros incansáveis na busca de um País mais justo, com saúde, educação, trabalho e infraestrutura.

Deixamos nossos cumprimentos aos leitores lembrando que a participação nas redes sociais da ABPv é de suma importância para nós. A opinião de todos é orientadora da Revista PAVIMENTAÇÃO, seja nos elogios ou nas críticas.

Conselho Editorial



SEÇÃO DE NOTAS

revistapavimentacao@abpv.org.br

II SEMANA ACADÊMICA DA FAENG



A II Semana Acadêmica da FAENG, organizada pela Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul realizou-se entre os dias 6 e 10 de junho, em Campo Grande, MS, e contou com diversas atividades como concursos, minicursos, apresentação de trabalhos acadêmicos e diversas palestras.



A ABPv e sua Representação Regional em Mato Grosso contribuíram com a idealização de alguns minicursos da programação técnica deste evento além de sorteios de publicações diversas. A associação registra seus agradecimentos aos professores que ministraram os minicursos com grande interesse e qualidade.



- Pavimentos Econômicos: Tecnologia do Uso de Solos Finos Lateríticos - Fábio Vaz Ribeiro - LENC-EGIS.
- Princípios do Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos - Laura Maria Goretti da Motta - COPPE - UFRJ.
- Drenagem de Rodovias - Francisco José d'Almeida Diogo - IME.
- Logística e Transporte no Centro-Oeste Brasileiro - Luiz Miguel de Miranda - UFMT - Cuiabá;
- Necessidade e Importância dos Sistemas de Gerência de Pavimentos - José Leomar Fernandes Júnior - EESC-USP.





Curso de Combustão Industrial

A nova edição do Curso de Combustão Industrial será promovida pelo IPT entre os dias 11 e 15 de agosto e objetiva transferir a técnicos do setor industrial conceitos fundamentais em combustão, bem como parte da experiência adquirida pelos pesquisadores do Laboratório de Energia Térmica (LET) do IPT na resolução de problemas reais. Andréa Valero (11) 3767-4226.

Informações • cursos@ipt.br



V Workshop Rodoviário

O V Workshop Rodoviário, que anualmente é promovido pela Agência Goiana de Transporte e Obras (Agetop), será realizado entre os dias 17 e 19 de agosto, no Teatro Sesi, no Setor Santa Genoveva. As inscrições, que serão feitas pelo site da Agetop (www.agetop.go.gov.br) a partir de 1º de junho. O evento contará com 16 palestras, feira de equipamentos e estandes que serão montados por empresas do setor rodoviário.

Serão abordados temas como pavimentação e manutenção rodoviária, operações rodoviárias, materiais asfálticos, projetos de recuperação ambiental, controles tecnológicos de obras de pavimentação e análise da crise econômica. As novidades e os novos equipamentos estarão na área de exposição, no fundo do Teatro Sesi.

Informações • www.agetop.go.gov.br - (62) 3265-4050 /4016



Concrete Show South America

O Concrete Show South America ocorrerá em São Paulo, SP, de 24 a 26 de agosto e apresentará soluções que vão desde a terraplanagem, canteiros de obras e projetos estruturais, até tecnologias de ponta para a cadeia produtiva do concreto, serviços e acabamento, visando o aumento da produtividade e a redução de custos na construção.

Informações • www.concreteshow.com.br



II Encontro Regional de Estudantes de Engenharia Civil - Regiões Sudeste e Centro-Oeste

O II Encontro Regional de Estudantes de Engenharia Civil – Regiões Sudeste e Centro-Oeste (EREEC SE-CO) ocorrerá nos dias 25, 26 e 27 de agosto de 2016, na cidade de Caldas Novas, GO, em parceria com a FENEC e o Centro Acadêmico da Engenharia Civil da UFG - Regional Catalão e apoio da UFG – Regional Catalão e espera receber congressistas para um encontro com palestras e minicursos.

Informações • www.ereecse-co.fenec.com.br



73ª SOEA Semana Oficial da Engenharia e Agronomia

O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná realizará a 73ª Semana Oficial de Engenharia e Agronomia (SOEA) e o 9º Congresso Nacional de Profissionais (CNP). Os eventos serão realizados na cidade de Foz do Iguaçu, entre os dias 29 de agosto a 3 de setembro de 2016.

Os dois eventos congregam em âmbito nacional os profissionais ligados à área tecnológica, em especial da agronomia, engenharias e geociências e têm como tema “A Engenharia a Favor do Brasil - Mudanças e Oportunidades”.

Informações • soea@crea-pr.org.br



A 22ª STM - Semana de Tecnologia Metro Ferroviária

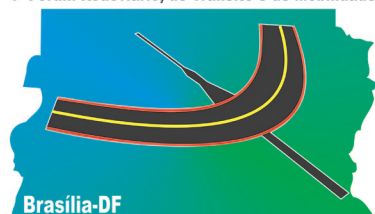
A 22ª STM – Semana de Tecnologia Metro ferroviária, com o lema “Investir e Avançar com Eficiência”, se realizará de 13 a 16 de setembro de 2016, em São Paulo, SP.

As cidades estão crescendo, tornando necessária a volta do transporte ferroviário de carga e passageiros para a garantia do crescimento econômico das macro metrópoles e do País.

Informações • www.aeamesp.org.br/22a-semana-de-tecnologia

45ª RAPv / 19º ENACOR

5º ExpoPavimentação
1º Fórum Rodoviário, de Trânsito e de Mobilidade



45ª RAPv / 19º ENACOR

A capital federal, Brasília, se prepara para acolher as maiores realizações do setor rodoviário na América Latina, a 45ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação, o 19º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, a 5ª ExpoPavimentação e o 1º Fórum Rodoviário de Trânsito e de Mobilidade.

Promovidos em parceria entre a ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação e a ABDER – Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem, os eventos, que terão o apoio do DER/DF, acontecerão no Centro de Convenções Ulysses Guimarães. Como o local sediará eventos durante as Olimpíadas, a RAPv e o ENACOR foram remanejados para o período de 20 a 23 de setembro de 2016.

A comissão organizadora está finalizando a programação com foco no aprimoramento das técnicas de pavimentação, conservação, tecnologia, trânsito e mobilidade, que em breve estará disponível no site www.rapvenacor.com.br.

O evento será composto de apresentação de trabalhos técnico-científicos, palestras e mesas-redondas, com a participação de técnicos, especialistas e autoridades nacionais e internacionais do Setor, além de minicursos, exposição de materiais, equipamentos e serviços, em uma grande área com estandes.

A grande novidade da RAPv e ENACOR, em Brasília, será a realização do 1º Fórum Rodoviário de Trânsito e de Mobilidade: “Entendemos que a segurança no trânsito é de vital importância na infraestrutura rodoviária/pavimento, portanto integrará nossos eventos”.

Informações • www.rapvenacor.com.br



8ª TranspoQuip Latin America

A 8ª TranspoQuip Latin America acontecerá entre os dias 4 e 6 de outubro, no Expo Center Norte, em São Paulo.

Mais de 90% das empresas que fecharam contrato para edição 2015 já confirmaram sua presença no TranspoQuip 2016, o que representa uma lista significativa de expositores para o próximo evento.

Informações • www.transpoquip.com



58º Congresso Brasileiro do Concreto

Promovido pelo Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, o Congresso Brasileiro do Concreto com realização prevista de 11 a 14 de outubro de 2016, em Belo Horizonte, MG, é um fórum técnico nacional de debates sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos. Seu objetivo é divulgar, anualmente, as novidades em termos de pesquisas científicas, tecnologias e inovações em análises e projetos estruturais, metodologias construtivas, materiais de construção e suas propriedades, gestão e normalização técnica, e outros aspectos relacionados ao material industrial mais consumido no mundo.

Informações • www.ibracon.org.br/eventos/58cbc/



10º Congresso Mundial do ICEC

O IBEC - Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos realizará o 10º Congresso Mundial do ICEC - Conselho Internacional de Engenharia de Custos, de 9 a 12 de outubro de 2016, no Rio de Janeiro. O evento abordará temas de notável relevância para a Engenharia de Custos nacional e contará com o intercâmbio com outros países do mundo, através do ICEC.

O congresso objetiva integrar empresas e profissionais, órgãos públicos, sindicatos, entidades de classe e estudantes da área, através das discussões sobre temas atuais e polêmicos.

Informações • www.icec2016.com



9ª Conferência Internacional de Engenharia Costeira e Portuária em Países em Desenvolvimento - IX PIANC - COPEDEC

A 9ª edição da Conferência Quadrienal de Engenharia Costeira e Portuária em Países em Desenvolvimento (IX COPEDEC) será realizada no Rio de Janeiro no período de 16 a 21 de outubro de 2016.

É uma oportunidade para que os profissionais das áreas de engenharia costeira, portuária e de navegação se reúnam e compartilhem experiências e conhecimentos. A combinação entre o potencial de crescimento de infraestrutura no Brasil, em virtude da expansão das instalações portuárias, costeiras e fluviais e a intensificação das atividades de engenharia trará especialistas possibilitando que os países em desenvolvimento tenham um conjunto de recursos humanos sustentáveis, com profissionais qualificados, para o desenvolvimento costeiro e portuário.

Informações • www.pianc-copedec2016.com.br



VII Congresso Ibero-americano de Engenharia de Projetos

O VII Congresso Ibero-americano de Engenharia de Projetos realizar-se-á durante os dias 19 a 22 de outubro de 2016, na cidade de Joinville, SC e tem como principal objetivo proporcionar um amplo fórum para apresentações e discussões técnicas dos mais recentes resultados de projetos de engenharia, em diversas áreas de conhecimento, em âmbito científico e tecnológico. É uma realização da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, através do Centro de Engenharias da Mobilidade e da Red Ibero-americana de Ingeniería de Proyectos (RIIPRO), em colaboração com a Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), a Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), a Pontifícia Universidade Católica de Santa Catarina (PUC-SC), o Instituto Federal de Ensino de Santa Catarina (IFSC), o Centro Universitário da UNISOCIESC e a rede SENAI de Santa Catarina. Junto ao VII CIIP também se realizará a 5ª Jornada RIIPRO Jovem que se destina a estudantes de graduação e de pós-graduação, os quais poderão apresentar os resultados alcançados em projetos de pesquisa em nível de iniciação científica, de trabalhos de conclusão de curso de graduação, bem como de dissertações e teses.

Informações • www.ciip2016.com.br/



UPADI - Convenção Panamá 2016 XIII Congresso Nacional de Engenharia Civil

A UPADI - Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros promoverá, entre os dias 24 a 28 de outubro de 2016, a XXXV Convención Panamericana de Ingeniería e o XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, no Panamá.

Informações • www.upadi.com



22º Encontro de Asfalto

O tradicional Encontro de Asfalto, promovido pelo IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, chega renovado e ampliado à sua 22ª edição. O Evento acontecerá este ano simultaneamente à Rio Oil & Gas, de 25 a 27 de outubro, a maior feira do setor na América Latina, e que reunirá toda a cadeia produtiva do Petróleo e Gás no Riocentro. Além disso, esta edição do Encontro de Asfalto abrirá espaço para exposição de produtos e serviços de seus patrocinadores.

Informações • www.ibp.org.br



Congresso SAE BRASIL

O Congresso SAE BRASIL tem como objetivo conectar as tendências da Engenharia da Mobilidade. Neste ano será realizado de 25 a 27 de outubro, no Expo Center Norte - São Paulo, com o tema: “A Engenharia Criando a Mobilidade do Futuro – Intermodalidade - Conectividade – Veículos e Sistemas Inteligentes”.

As empresas participantes apresentarão recentes avanços e inovações da indústria, desenvolvidas por montadoras, sistemistas e outras empresas, todas ligadas à área da mobilidade.

Em 2016, o Congresso apresentará 16 painéis temáticos que vão explorar amplamente aspectos da engenharia da mobilidade global, apresentados por renomados palestrantes nacionais e internacionais. Serão 102 apresentações técnicas de trabalhos desenvolvidos por engenheiros, que atuam em indústrias e universidades.

Informações • www.portal.saebrasil.org.br



NOMEAÇÃO DE NOVO REPRESENTANTE ESTADUAL DE PERNAMBUCO E MEMBROS DA RR-ABPv/MS

A diretoria da ABPv nomeou o novo chefe da representação regional de Pernambuco, Fabiano Pereira Cavalcante e os membros da representação regional de Mato Grosso do Sul.

Chefe da RR-ABPv/PE

Fabiano Pereira Cavalcante

Membros RR-ABPv/MS

David Alex Aranciba Suarez
Gilvane Alves de Souza

DIRETOR PRESIDENTE DA ABPv

É AGRACIADO COM A ORDEM DO MÉRITO DA DEFESA



O ministro da Defesa, Raul Julgmann, participou dia 07/06, no Clube da Naval de Brasília (DF), da cerimônia de imposição da Ordem do Mérito da Defesa, comenda que premia personalidades civis e militares, brasileiras ou estrangeiras, que prestaram relevantes serviços às Forças Armadas.

No evento foram agraciadas 191 personalidades civis e militares com a Ordem do Mérito da Defesa. Além de homenagear personalidades que prestaram relevantes serviços às Forças Armadas, a condecoração também busca homenagear civis e militares que se destacaram no exercício da profissão, além de organizações militares e instituições nacionais e estrangeiras.

Para o ministro da Defesa, esse tipo de homenagem é fundamental para valorizar a dedicação dessas pessoas. “São excelentes profissionais militares e competentes servidores civis que contribuem para a soberania e o desenvolvimento do Brasil com seu trabalho diário” completou.

A Ordem do Mérito da Defesa possui os graus de Grã-cruz (dourada), Grande-oficial (prata), Comendador (bronze), Oficial e Cavaleiro. O Presidente da ABPv foi agraciado com o grau de Grande-oficial o que deixou a instituição e todos os que fazem parte de sua diretoria, quadro funcional e associados extremamente orgulhosos com tal honraria ao seu dirigente-mor.



“A política de Defesa não resulta somente da visão de um governante, mas é, cada vez mais, uma obra coletiva”, disse Jungmann.

O ministro lembrou que, há 17 anos, no dia 10 de junho de 1999, houve a decisão de se criar o Ministério da Defesa.

Participaram da cerimônia o ministro da Integração Nacional, Helder Barbalho, o comandante da Marinha, almirante Eduardo Bacellar Leal Ferreira, o comandante do Exército, general Eduardo Villas Bôas, o comandante da Aeronáutica, brigadeiro Nivaldo Luiz Rossato, e o chefe interino do Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas, general Gerson Menandro Garcia de Freitas, entre outras autoridades. 📍



Fotos: Gilberto Alves/MD

REPRESENTANTES DA COMISSÃO DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA DA ABPv NO XI SEMINÁRIO NACIONAL METROFERROVIÁRIO

A ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos promoveu nos dias 14 e 15 de junho, no Auditório do Metrô na cidade do Rio de Janeiro, a décima primeira edição do Seminário Nacional Metroferroviário.

A ABPv se fez presente através de representantes da Comissão de Infraestrutura Ferroviária - Helio Suêvo e Rui Nabais - e com a distribuição de exemplares da Revista Trimestral PAVIMENTAÇÃO.

Cópias do Manual Básico de Engenharia Ferroviária, editado pela Associação Brasileira de Pavimentação, foram oferecidas ao sr. Secretário dos Transportes Metropolitanos de São Paulo, ao sr. Frederico Bussinger, presidente da IDELT e ao Diretor Ferroviário da Estrada de Ferro Campos do Jordão, Ayrton Camargo e Silva.

As apresentações de alguns dos mais proeminentes nomes da engenharia metroferroviária, as quais foram seguidas de intensos debates, encontram-se disponíveis para “download” em www.antp.org.br, em “Biblioteca”.

A descrição dos sistemas de VLT do Rio e de Santos (sistemas de média capacidade), os preparativos para

os Jogos Rio 2016, entre eles a inauguração da Linha 4 do Metrô e os cuidados necessários com este tipo de transporte foram abordados. Projetos de médio e longo prazo e elevado investimento inicial como o metrô, que sempre abrangem mais de um governo, necessitam de garantia em sua continuidade.

Foi ressaltada a importância do modo metroferroviário para a mobilidade das grandes cidades, não só para redução dos tempos de viagem, mas também para a qualidade de vida, em termos de redução de emissões gasosas e de acidentes (segurança) e conforto.

A imagem a seguir mostra a composição da mesa na abertura dos trabalhos.



PERSONALIDADES DA PAVIMENTAÇÃO BRASILEIRA

“Asfalto em Revista”, uma publicação do IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, em suas edições 43 e 44 homenageou dois membros da Diretoria da ABPv - Associação Brasileira de Pavimentação: Fernando Augusto Junior, Diretor Administrativo e Luciana Nogueira Dantas, Diretora Técnica da associação, respectivamente.

Agradecemos ao IBP a homenagem e parabenizamos nossos ilustres diretores.



DEFEITOS PRECOCES

NOS PAVIMENTOS DO RIO DE JANEIRO



A cidade do Rio de Janeiro encontra-se em estágio de finalização de diversas obras, que tiveram seu início há cerca de 4-5 anos atrás e que ficarão como legado Olímpico para a cidade. No final de maio foi entregue o Novo Elevado do Joá, que faz ligação entre os bairros de São Conrado e Barra da Tijuca, onde após apenas duas semanas de tráfego o pavimento do Elevado já apresentava diversas fissuras e buracos, fato este que repercutiu em grande escala na mídia, onde buscaram-se explicações dos motivos para estes defeitos tão precoces, que também podem ser notados em outras vias da cidade.

Uma causa muito citada foi a de que os materiais utilizados e disponíveis para a execução destes pavimentos são de má qualidade, porém isso não se aplica nestes casos, pois são utilizados bons agregados disponíveis na região, bem como ligantes (asfalto) de boa qualidade, onde no momento de projeto é feita a seleção dos materiais e o estudo destes e de dosagem das misturas asfálticas em laboratórios especializados e então é possível se obter um revestimento com características adequadas para suportar as cargas de tráfego e as condições climáticas da região.

Outra hipótese também surgiu da probabilidade da drenagem do Elevado não ter sido executada de forma satisfatória, onde foram verificadas infiltrações de água nas camadas inferiores do pavimento. Portanto, houve um somatório de erros, que se concentra na etapa de execução da obra, onde não foram feitos o acompanhamento e a

fiscalização adequados por parte da empresa responsável e executora da obra, ou seja, não houve um controle de qualidade. Também tem sido observado, em diversas outras vias da cidade, em obras ainda e com problemas de prazos de entrega, que o pavimento tem sido assentado em condições inadequadas de temperatura e tempo e a execução deste em dias chuvosos acarreta muitos problemas na qualidade do revestimento asfáltico.

Estas falhas se refletem diretamente na qualidade do produto final, pois um pavimento executado com bons materiais, que estejam dentro da dosagem estudada previamente (que envolve parâmetros como, por exemplo, granulometria, densidade e teor de asfalto apropriado para a técnica a ser executada) e que seja compactado dentro das especificações, para o volume de tráfego que receberá, só apresentará os primeiros problemas depois de alguns anos de uso.

Em suma, o problema não é um só e sim o somatório de diversos outros, que não envolvem apenas a pavimentação e a cidade do Rio de Janeiro, mas também a prática adequada da engenharia em todas as áreas envolvidas, prática esta que tem sido muito negligenciada pelos órgãos e empresas responsáveis, onde a qualidade das obras fica comprometida, sendo prioritária a etapa de contratação, por exemplo, ficando etapas essenciais como planejamento, fiscalização e controle, em segundo plano, literalmente “atropeladas” pelos sistemas em vigor. 📍

Michéle Dal Toé Casagrande,

Doutora em Engenharia Civil/Geotecnia, Professora da PUC-Rio, Membro Diretoria ABPv

ESPAÇO JURÍDICO



**GOVERNO FEDERAL RECORRE AO CADE
PARA ELABORAR EDITAIS DE CONCORRÊNCIA
DE SETORES DA INFRAESTRUTURA**

Jean Pierre M. Santiago

Notícias, nesta edição, deixa o tom estritamente jurídico para informar importante medida definidora de novos rumos para as licitações de obras de infraestrutura no País. Entra em cena o CADE – Conselho Administrativo de Defesa Econômica, um organismo federal brasileiro que tem como objetivo orientar, fiscalizar, prevenir e apurar abusos do poder econômico.

Ocorre que governo federal pediu a ajuda do CADE para que os próximos editais de concessões na área de infraestrutura tenham regras que permitam maior concorrência e evitem a formação de cartel. O assunto foi tratado no dia 11 de agosto em uma reunião entre o secretário executivo do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República, Moreira Franco, e o presidente interino do CADE, Márcio de Oliveira Junior.

Segundo Moreira, o objetivo é garantir regras regulatórias que garantam a transparência das concessões. “Olhando o passado, nas concessões, não tivemos um ambiente em que a concorrência fosse algo que se perseguisse. E é fundamental para a transparência, é importantíssimo para garantir a qualidade do processo, os serviços de bons resultados, que nós tenhamos esse procedimento com a concorrência sendo um elemento indispensável”, disse o secretário.

O CADE deverá sugerir ao governo regras que possam ser incorporadas nos leilões de concessões para que haja maior número de participantes, estimulando maior competição. O presidente do conselho citou como exemplo a possibilidade de tradução dos editais para outras línguas, para que empresas estrangeiras sejam estimuladas a participar das concorrências.

Segundo Oliveira, a presença do CADE nesse processo pode reduzir a probabilidade de realização de cartéis em concessões. “Sabemos quais medidas podem ser tomadas para prevenir a existência de cartéis. Essas regras previnem a existência de cartéis em licitações. Mas elas impedem, zeram a probabilidade de que haja cartéis? Eu diria que não, até porque a criatividade é ilimitada, as empresas podem estabelecer algumas estratégias que, ao fim, configuram um cartel”, disse o presidente interino do CADE.

A primeira reunião do Conselho do PPI está marcada para o dia 25 de agosto mês. Na ocasião, serão definidos os primeiros projetos de concessão à iniciativa privada, que devem incluir rodovias, ferrovias e terminais portuários, além da concessão dos aeroportos de Porto Alegre, Florianópolis, Salvador e Bahia.

Independente de opiniões pró ou contra as concessões, o aprimoramento dos mecanismos de fiscalização é salutar neste crucial momento de crise no Brasil. Pelo lado positivo (se é permitido assim dizer), a crise abre portas para aperfeiçoamento de muitos instrumentos deficitários de gestão do Estado. E nesse sentido, a entrada em cena do Conselho Administrativo de Defesa Econômica para ampliar a lisura das concorrências parece abrir uma janela de oportunidade para clarear um novo tempo no modelo licitatório brasileiro, notadamente para as obras de infraestrutura. ⬇

Fonte: ABr - Agência Brasil

Jean Pierre M. Santiago é advogado e jornalista responsável da Revista PAVIMENTAÇÃO. Mestre em Ciência Política pela Universidade Federal Fluminense; sócio do escritório Santiago & Lacerda Advogados e membro do Instituto dos Advogados de Minas Gerais (jean@santiagoelacerda.com.br).



MAURÍCIO JOPPERT DA SILVA *(IN MEMORIAM)*

Nos personagens históricos da pavimentação no Brasil que nossa Revista cuida de prestigiar, nesta edição voltamos distante no tempo, mais precisamente no apagar das luzes do Século XIX para homenagear o engenheiro Maurício Joppert da Silva. Brasileiro polivalente, além de engenheiro, foi professor, portuário, rodoviário e figura de primoroso saber cultural.

Maurício Joppert da Silva nasceu no Rio de Janeiro, então Capital da República, no dia 10 de junho de 1891, filho de João Severino da Silva, brasileiro, corretor de mercadorias, negociante de açúcar e de Olga Joppert da Silva, brasileira. Por parte de mãe era bisneto do Major Suckow, fundador do Jockey Club e do Clube Germânia e sobrinho do Conde Herzberg, também um dos fundadores do Jockey Club, ambos alemães. A personalidade do notável engenheiro carioca era de um homem conciliador que via na amizade a maior virtude do ser humano.

Biografia

Maurício Joppert estudou no Ginásio Nacional, atual Colégio Pedro II, concluindo o curso médio em 1909. Ingressou em 1911 na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, diplomando-se engenheiro geógrafo em 1913 e, civil, em 1915. Em 1914 apresentou tese à Congregação

da Escola Politécnica, sendo aprovado e nomeado Livre-Docente da Cadeira de Geometria Analítica e Cálculo Infinitesimal.

Tornou-se professor-substituto interino da Escola Politécnica em 1916 e, no ano seguinte, passou a ser substituto efetivo, após concurso em que foi classificado em primeiro lugar. Consagrou-se doutor em ciências físicas e matemáticas pela Escola Politécnica em 1918, e catedrático da cadeira de portos de mar, rios e canais em 1919, na mesma instituição.

Como engenheiro, iniciou sua atividade profissional em 1921 na Repartição de Águas e Esgotos do Distrito Federal. No ano seguinte passou a fazer parte de um grupo de engenheiros encarregado da construção do Arsenal de Marinha, na Ilha das Cobras, exercendo durante seis anos o cargo de chefe da seção de obras hidráulicas. Após o término das obras na Ilha das Cobras, tornou-se consultor técnico da comissão fiscal do Ministério da Marinha.

No início dos anos 1930 trabalhou como engenheiro-chefe das obras de construção do aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro. Ao cabo dos anos 1940, Joppert era consultor técnico da Companhia Nacional de Construções Civas e Hidráulicas.

Ainda na década de 40, durante o curto governo do presidente do Supremo Tribunal Federal (STF), José Linhares, que assumiu a presidência da República após a deposição de Getúlio Vargas pelos chefes militares, Maurício Joppert foi titular da pasta da Viação e Obras Públicas durante três meses. Suas principais iniciativas à frente do ministério foram: a aprovação de regimentos de vários órgãos ligados àquela pasta, a transformação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em autarquia e a criação do Fundo Rodoviário Nacional.

Assim, com o Decreto lei 8.463 de 27/12/1945, conhecido como “Lei Joppert”, foi dada autonomia ao DNER. A criação do Fundo permitiu a expansão da rede rodoviária brasileira, definindo uma nova política nacional a qual contribuiu para a criação de entidades rodoviárias autônomas para recebê-lo e utilizá-lo convenientemente. Em 1948, os municípios também passaram a ser beneficiários dos recursos do Fundo Rodoviário Nacional. De 1948 a 1988 os recursos do FRN (oriundos do imposto sobre combustíveis e lubrificantes) permitiram ao governo federal financiar a construção de rodovias pelos Estados, provocando uma expansão da malha pavimentada da ordem de 12% anuais no período 1956-80.

Joppert deixou o cargo em 31 de janeiro de 1946, quando o General Eurico Gaspar Dutra, eleito em dezembro de 1945, foi empossado na presidência.

Reintegrado no quadro de Engenheiros do Ministério da Viação, em 1946 o professor Maurício Joppert aposentou-se compulsoriamente. Importante frisar que, como professor e engenheiro desempenhou inúmeras comissões para tratar de temas nacionais e do Estado da Guanabara nos quais se especializou. Foi um dos batalhadores para a regulamentação profissional da classe dos engenheiros, com o Decreto nº 23.569, de 22 de dezembro de 1933. Na vigência desse decreto representou a Escola Nacional de Engenharia por nove anos no CREA da quinta região e por seis anos no CONFEA.

Foi membro da Seção Matemática da Academia Brasileira de Ciências. Representou a Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil no Conselho Universitário e em seu Conselho de Curadores. Durante vários anos representou o Magnífico Reitor da Comissão Supervisora da Construção da Cidade Universitária.

Lutou pelo aprimoramento do Ensino Superior de Engenharia coletando dados e elaborando relatórios na Europa, União Soviética, China e Estados Unidos onde visitou 22 universidades e institutos de tecnologia.

Especificamente em Portugal promoveu a aproximação entre os engenheiros portugueses e brasileiros e escreveu vários trabalhos como: “Cidades Universitárias”, “As Estradas de Rodagem de Portugal”, “Aspectos da vida portuguesa atual” e “Como Portugal resolveu alguns de seus problemas”. Por seus méritos, o governo português lhe conferiu a cruz de Grande Oficial da Ordem Militar de Cristo.

Joppert ainda publicou muitos trabalhos de natureza técnica e científica, entre os quais “Rios de corrente livre”, “Porto do Ceará”, “Cálculo de muros e cais e Drenagem de aeroportos”.

Com sua notável cultura e saber, colaborava semanalmente no Jornal do Brasil e no Globo, sem remuneração, produziu numerosos trabalhos de natureza científica ou técnica, relatórios e conferências.

No Clube de Engenharia do Rio de Janeiro foi primeiro vice-presidente durante onze anos e assumiu a presidência em 1954, com o falecimento de Edison Passos. Esteve à frente da instituição por sete anos. Retirou-se em 1961 quando alcançou a aprovação final do estatuto da tradicional sociedade de engenheiros.

Vale destacar que, juntamente com Edison Passos e outros colegas, teve ação direta na construção do novo prédio da Avenida Rio Branco, 124, para sede do Clube, hoje, Edifício Edison Passos.

Maurício Joppert foi membro da Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE - American Society of Civil Engineers), do Instituto dos Engenheiros Civis da França, da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, e presidente do núcleo regional do Rio de Janeiro da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos.

Possuía a cruz de Cavaleiro da Legião da França, a Comenda do Mérito Naval brasileiro e a medalha da Ordem do Mérito do Tamandaré, estas duas últimas conferidas pela Marinha de Guerra.

O Parlamentar



Sua convicção política ostentava um espírito democrático, aceitando as modernas conquistas sociais que beneficiavam os trabalhadores e os menos favorecidos assim como combatia a corrupção administrativa.

Assim, Joppert marcou presença também na política, elegendo-se deputado federal pelo Distrito Federal em 1950. Cinco anos mais tarde afasta-se da vida pública e é eleito presidente do Clube de Engenharia, cargo que ocuparia até 1960.

Porém, em abril de 1961 exerceu o mandato de deputado federal, já como representante do estado da Guanabara, criado naquele mês em decorrência da transferência da capital federal da cidade do Rio de Janeiro para Brasília.

Homenagens

Joppert recebeu muitas honrarias e algumas já descritas anteriormente, mas uma em especial merece destaque a Medalha de mérito rodoviário Maurício Joppert da Silva



• Medalha Maurício Joppert da Silva

Em 1958, começava uma verdadeira revolução nas estruturas do Departamento de Estradas e Rodagem do Paraná para atender aos objetivos de promover obras da implantação do Plano Rodoviário Estadual. Nos serviços de manutenção e ampliação da rede de estradas, Ayrton João Cornelsen (conhecido como Lolô) implantou uma filosofia de resultados, baseada na valorização dos empregados e na redução de barreiras burocráticas, que tanta inércia causava aos órgãos públicos estaduais.

Como as principais rodovias do estado eram integrantes do Plano Rodoviário Nacional, os recursos tinham que ser alocados junto ao DNER. O DER começou a receber verbas do Fundo Rodoviário Nacional, criado por Maurício Joppert, para investir em pessoal e na aceleração de obras no interior do estado.

E diante de todo desenvolvimento ocorrido no estado e no país, a revista Divulgação & Propaganda Rodoviária, sob a direção do jornalista Marcel Ferreira Leite, lançou uma promoção para premiar as pessoas de destaque do rodoviarismo brasileiro. Os patronos escolhidos para dar nome às medalhas foram: Washington Luiz Pereira de Souza, Maurício Joppert da Silva e Edmundo Regis Bitencourt.

O sucesso do programa rodoviário paranaense foi tal que o Conselho Rodoviário Nacional, Associação Rodoviária do Brasil, Clube de Engenharia, Associação dos Engenheiros Rodoviários do Brasil, em cerimônia oficial, concedeu para Ayrton João Cornelsen a medalha de Mérito Rodoviário por contribuir decisivamente por melhores estradas para o progresso.

Edifício Sede do DNER no Rio de Janeiro à Av. Presidente Vargas, 522, Centro, um marco do rodoviarismo nacional.



• Edifício Engenheiro Maurício Joppert

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER foi uma autarquia federal brasileira, existente entre os anos de 1937 e 2001. Sua origem deu-se pela conversão da antiga Comissão de Estradas de Rodagem Federais - CERF em departamento autônomo, sendo transformado em autarquia por meio da edição da chamada Lei Joppert, em 1945.

O homem e o pai de família



Joppert notabilizou-se em toda sua história de vida como profissional e homem de profundo conhecimento cultural. Na vida particular foi casado com Laura Berutti Joppert da Silva, com quem teve duas filhas.

A moral e consciência se manifestavam pelo seu forte sentimento de preservação da família onde sempre procurou ser o responsável pela harmonia em sua casa.

No último decênio de sua vida morou em apartamento, porta a porta, com uma de suas filhas. Dedicava sua amizade também aos animais, possuiu vários cães e, em especial, uma cadela beagle “Papi” que preencheu muitos de seus momentos de alegria.

Joppert não foi simplesmente um engenheiro, professor, parlamentar, mas também se tornou uma pessoa de caráter marcante, dedicado à causa pública, um exemplo a ser seguido pelas futuras gerações de brasileiros. Um cidadão sempre pronto a ajudar o próximo e defender os interesses pátrios, que nos mostrou uma lição de vida repleta de vitórias, realizações, ações invariavelmente voltadas para o bem comum. Era um líder constantemente positivo e empenhado, com a preocupação daqueles que creem na sinceridade e honestidade do ser humano.

Faleceu no Rio de Janeiro, no dia 24 de setembro de 1985, deixando um legado tão vasto e sólido que se perpetuará na história da engenharia e do Brasil. 📌



Fontes:

CÂM. DEP. Deputados; CÂM. DEP. Relação dos dep.; CISNEIROS, A. Parlamentares; COHN, G. Petróleo; COUTINHO, A. Brasil; Encic. Mirador; Jornal do Brasil (25/10/66); MIN. VIAÇÃO. Dados; NÉRI, S. 16; TRIB. SUP. ELEIT. Dados; Tribuna da Imprensa (16/7/54); Veja (2/10/85).

Engenheiro Maurício Joppert da Silva – Vida e Obra. Clube de Engenharia, 1985.

Site: www.lolocornelsen.com.br

POÇO DE VISITA (PV)

Francisco José d'Almeida Diogo



1 • OBJETIVO E CARACTERÍSTICAS

Poço de visita é uma câmara que conecta trechos sucessivos de uma rede subterrânea de dutos permitindo realizar inspeção e serviços de manutenção.

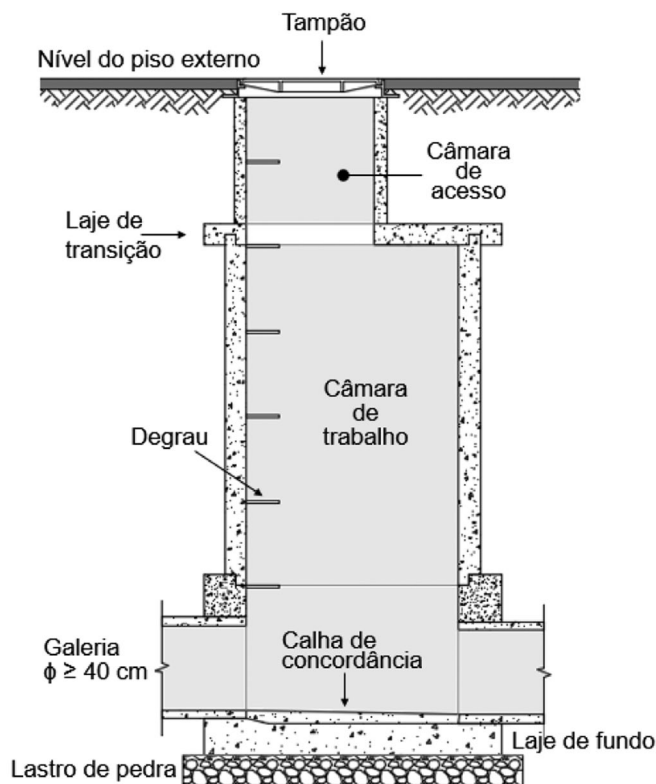


Figura 1 - Componentes de um poço de visita

1.1 • Compartimentos de um poço de visita

1.1.1) Câmara de trabalho (*balão*)

A câmara é o elemento principal da estrutura.

a) Funções: conectar trechos de galeria; receber até quatro condutos de ligação das caixas coletoras¹; e permitir que uma pessoa trabalhe em seu interior inspecionando ou realizando serviços de limpeza, desobstrução ou reparo. Para isso, é desejável que o balão tenha uma altura útil de 2,0 m, no mínimo 1,20 m.

b) Forma da secção: cilíndrica ou prismática reta.

1.1.2) Câmara de acesso (*chaminé, pescoço ou tubo de descida*)

- Função: permitir o acesso de equipamentos e de uma pessoa, da superfície ao balão.

¹ Onde estão as bocas-de-lobo.

Ela inicia-se num furo excêntrico feito na laje de cobertura da câmara de trabalho e termina na superfície, com um tampão de ferro fundido². O diâmetro mínimo do furo é de 60 cm, para permitir a passagem de um trabalhador, e a altura máxima de 1,0 m, para não agravar as condições de trabalho em espaço confinado.

O acesso de operadores é feito por uma escada tipo marinheiro normalmente fixa às paredes da câmara.

1.1.3) Poço de queda

Caso algum coletor chegue ao PV, meio metro acima do piso do balão, pode-se prever um poço de queda, para evitar que a água atinja o trabalhador ou cause danos ao poço. No entanto, quando possível, se emprega uma rampa em vez da queda.

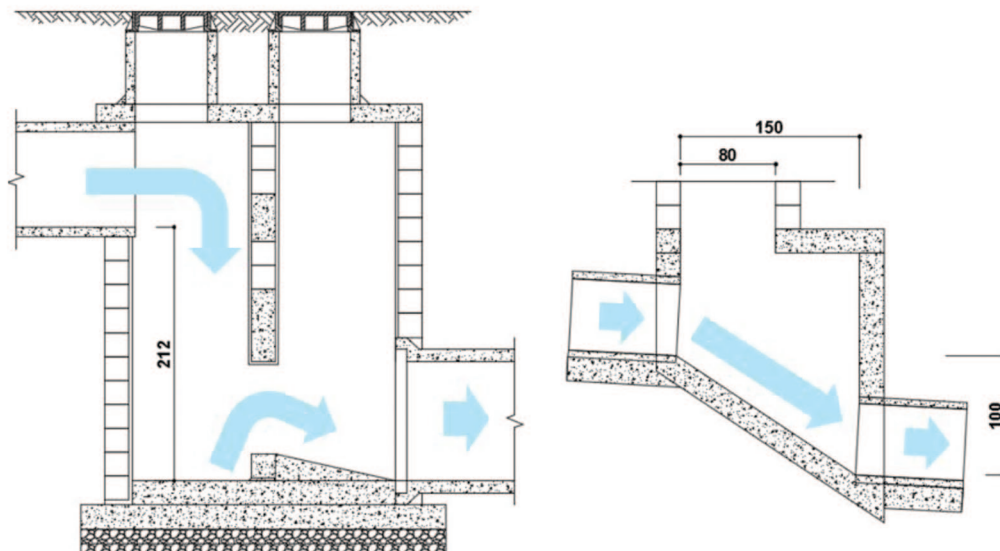


Figura 2 - Poço de queda sem e com rampa³

Em função da profundidade e do diâmetro da tubulação de jusante do poço de visita são indicadas dimensões mínimas para chaminé e balão (Tab.1).

Tabela 1 - Dimensões mínimas de chaminé e balão⁴

Dimensões Mínimas recomendadas para Chaminé e Balão de PV (m)			
Dimensionantes		Altura da chaminé (h _c)	Diâmetro do balão (D _b) (*)
Profundidade (h)	Diâmetro (D)		
≤ 1,50	qualquer D	0,30	1,00
1,50h < h ≤ 2,50	≤ 0,60		1,20
	> 0,60	D+1,20	
> 2,50	≤ 0,60	0,30 < h _c ≤ 1,00	1,20
	> 0,60		D+1,20

(*) Para PV prismático D_b = aresta
h – profundidade da tubulação de jusante (= profundidade do PV)
D – diâmetro da tubulação de jusante que sai do PV

² O fato de ser cilíndrico impede que caia dentro do poço.

³ Padrão Sudecap - Superintendência de Desenvolvimento da Capital, Belo Horizonte/MG.

⁴ Adaptação: Apostila do professor Carlos Fernandes de Medeiros Filho, DEC/UFCG.

1.2 • Conformação interna do poço de visita⁵

Deve-se evitar que condutos laterais cheguem, em planta, no mesmo alinhamento, procurando afastá-los a uma distância maior que a soma de seus diâmetros.

Quando funcionando a plena seção, não é relevante buscar assemelhar a configuração do fundo do poço aos condutos em conexão, pois pouco influi no desempenho hidráulico ou até pode prejudicar, como ocorre quando os condutos chegam lateralmente. Recomendam-se poucos arredondamentos (*almofada*), para quando a vazão for pequena. As figuras a seguir apresentam disposições de defletores que reduzem a perda de carga.

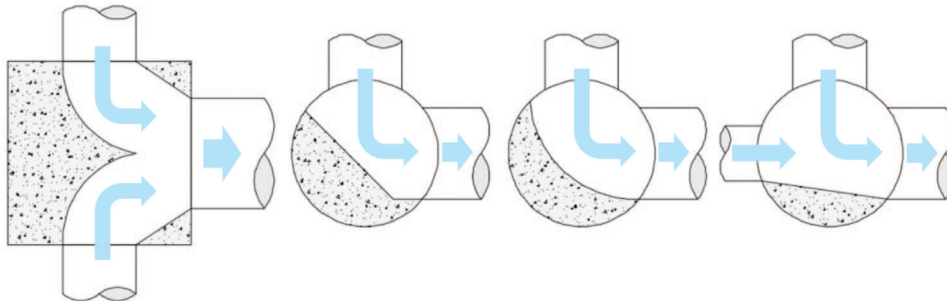


Figura 3 - Configurações de poços de visita eficientes

1.3 • Locais onde se instalam poços de visita

- 1) Nas cabeceiras das redes.
- 2) Nos pontos de reunião de dutos (*encontro de ruas e ao recolher água de caixas coletoras*).
- 3) Em trecho longo, para reduzir a distância de acesso ao alcance da manutenção.
- 4) Na mudança de: nível; seção; declividade; direção; ou tipo de material.

A distância máxima admitida entre PVs é regulamentada em cada município (*Tab.2*).

Tabela 2 - Espaçamento máximo entre poços de visita (*metros*)

DN (cm)	Cetesb ⁶	Sudecap ³	Rio-Águas ⁷
30	120	---	30 a 40
50		100	
50 - 90	150	---	
80 - 100		120	
≥ 100	180		
120		150	
150		200	

Logradouros de pouca inclinação acarretam assoreamento e limpeza frequente das galerias e, com isso, poços de visita mais próximos.

⁵ DAAE/CETESB, 1986.

⁶ Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo/SP.

⁷ Subsecretaria de Gestão das Bacias Hidrográficas (Rio-Águas), Rio de Janeiro/RJ.

2 • TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS DE VISITA

Os poços de visita de galeria de águas pluviais vêm empregando três tipos de materiais⁸:

- Alvenaria de bloco de concreto ou de tijolo maciço cerâmico;
- Concreto armado no local; e
- Pré-moldado de concreto.

2.1 • Tampão

Feito em ferro fundido, ele é encomendado em fundições conforme padrão adotado pela concessionária local.



Figura 4 - Tampão padrão Sabesp

Tabela 3 - Classe e carga de controle para tampão ou grelha (NBR 10160)

Figuras	Classe	Carga	Local (emprego)
	A15	1,5 t	Exclusivamente para pedestres e ciclistas.
	B125	12,5 t	Calçadas e áreas de estacionamento de veículos de passeio.
	C250	25 t	Sarjetas e faixas laterais ao meio-fio: até 0,5m na via e 0,2 na calçada.
	D400	40 t	Vias de circulação (ruas), acostamentos e estacionamentos para todos os tipos de veículos.
	E600	60 t	Cargas elevadas, como em docas e aeroportos.
	F900	90 t	Cargas muito elevadas, como em pistas de aeroporto.

2.2 • Laje de transição

A laje reduz o balão para a chaminé e também a suporta. Ela tem uma abertura, no mínimo de 60 cm, normalmente excêntrica, tangente à parede da câmara de trabalho, posicionada sobre o eixo do trecho da galeria de montante que chega ao PV. Com espessura mínima de 10 cm, pode ser pré-moldada ou executada em concreto armado feito na obra. Um exemplo dessa estrutura pode ser observado no desenho 5.7 do Álbum do DNIT, disponível em <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais>.

⁸ Para redes de esgoto sanitário tem-se empregado poço de PVC, isto, quando acima do lençol freático.

2.3 • Laje de fundo

A laje de fundo é a base de toda a estrutura do poço.

Inicia-se com um lastro de brita adensada sobre solo compactado manualmente. Posteriormente é feita a laje de fundo, de 20 cm ou mais, em concreto simples (*traço:1:3:5*) ou, se necessário, armado, e com nível inferior à calha de jusante.

2.4 • Câmara de acesso (*chaminé*)

A câmara deve ter uma altura mínima de 30 cm para facilitar obras no pavimento da via.

Recomenda-se executar a chaminé sobre a abertura da laje de transição com tubos (anéis) pré-moldados de 30 cm de altura e 60 cm de diâmetro e usar anéis de 8 e 15 cm para completar ou, realizar esta câmara em alvenaria.

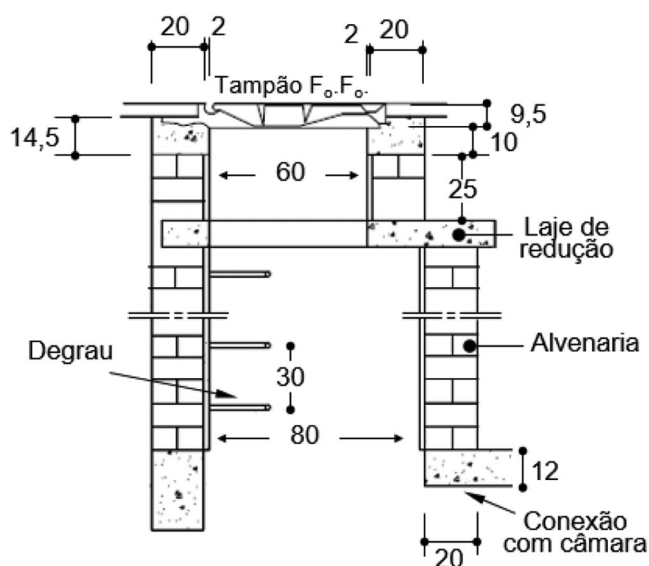


Figura 5 - Chaminé feita em alvenaria com duas reduções (DNIT, 2011)

2.5 • Câmara de trabalho (*balão*)

A câmara tem secção tubular ou celular. Ela pode ser dividida em duas partes, a superior, de paredes cegas (*sem aberturas*) e, a inferior, com no mínimo 50 cm, onde se realizam as conexões. A parte superior é vocacionada ao mesmo tipo de material da chaminé, aduelas ou tubos pré-moldados. A inferior, para acomodar as conexões com boa vedação, requer muito cuidado para que os dutos fiquem adequadamente solidários à parede do balão.

Etapas para realizar a parte inferior da câmara:

- 1) Posicionar os tubos em seus locais previstos sobre a laje de fundo;
- 2) Elevar as paredes de concreto ou alvenaria, conectando os dutos ao poço, até ultrapassar 10 cm acima da geratriz superior do tubo mais alto;
- 3) Fazer o enchimento do fundo (*almofada do PV*) em concreto (*traço 1:4:8*) com declividade de 2% em direção à borda das calhas.

2.6 • Escada

Para acesso à câmara é fixada uma escada tipo marinheiro com degraus espaçados de 30 a 40 cm tendo estes, no mínimo, 15 cm de largura e 8 cm de profundidade. A escada deve ser de ferro galvanizado, liga de alumínio ou inoxidável. Caso o poço tenha profundidade inferior a 3,0 metros é admitido o uso de escada portátil.

Quando se assentam tubos (*anéis*) de concreto pré-moldado na câmara, cada degrau é fixado entre dois tubos consecutivos.

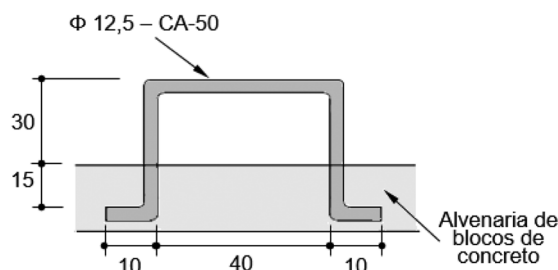


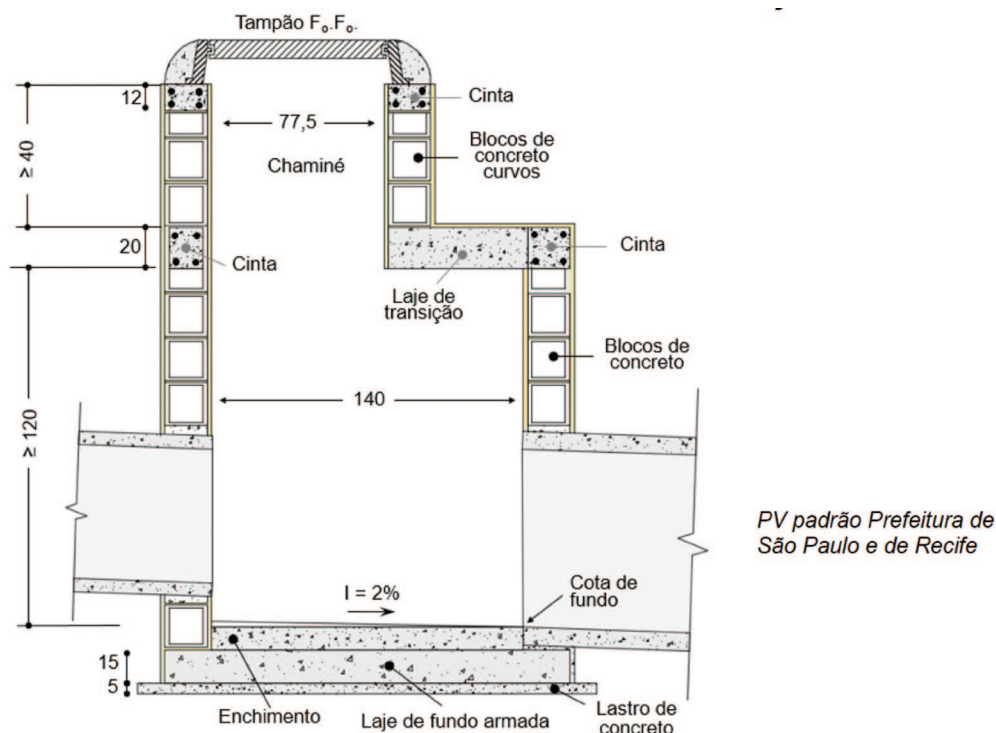
Figura 6 - Degrau metálico (DNIT, 2011)

2.7 • Poços de visita executados com um único material

2.7.1) PV em alvenaria

a) Alvenaria em bloco de concreto

Atualmente tem-se usado a alvenaria de blocos de concreto estrutural porque ela permite o uso de graute (*concreto fluido, auto adensável, de alta resistência e baixa retração*) e de armadura associada, no interior de blocos que se comunicam facilmente pelos seus vazios. Tudo, sem o uso de formas de madeira (*eventualmente na laje de transição*).



PV padrão Prefeitura de São Paulo e de Recife

Figura 7 - Poço de visita de alvenaria de blocos de concreto (medidas em cm)

b) Alvenaria em tijolo maciço cerâmico

As paredes são de espessura mínima de 20 cm, em tijolo de uma vez, recozido, rejuntado e rebocado com argamassa de cimento e areia de 1:3 em volume, dosada com impermeabilizante e alisada com colher de pedreiro.

Externamente, as paredes devem receber uma camada de chapisco e, se houver lençol freático, reboco impermeabilizante.

2.7.2) PV em concreto moldado no local

Esta solução é escolhida mais frequentemente pelas seguintes razões:

- em canalizações com diâmetro superior a 40 cm;
- se é difícil obter pré-moldados; e
- em poço de visita com altura superior⁹ a 3,0 m.

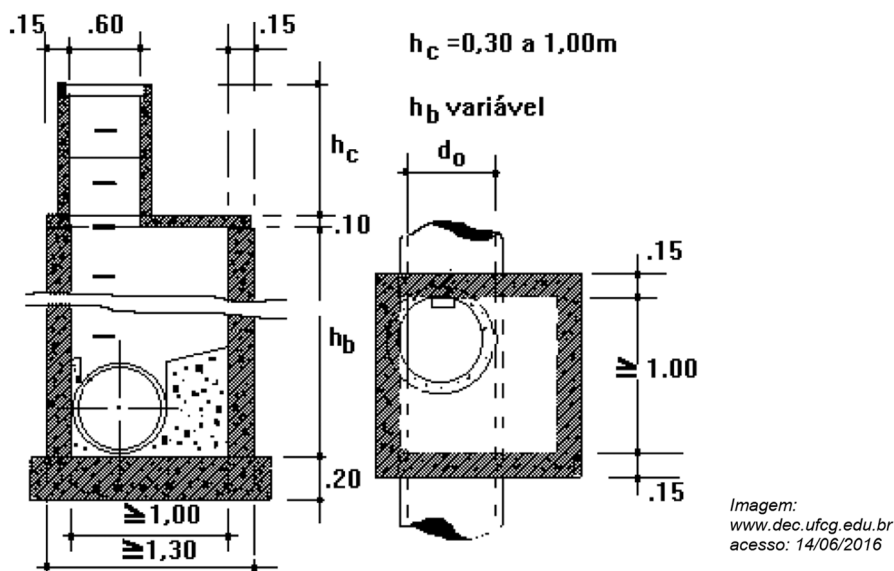


Figura 8 - Poço de visita de concreto moldado no local

2.7.3) PV em pré-moldado de concreto

O poço é executado pela superposição vertical de peças pré-moldadas.

A indústria da construção tem adotado novos materiais. Já se emprega poço de visita de polietileno em rede de esgoto, enquanto na drenagem pluvial vem se disponibilizando todos os componentes em pré-moldado de concreto. Esta solução representa mais qualidade na peça e rapidez na obra, mas seu ponto crucial reside na parte inferior da câmara onde são importantes a vedação das conexões e a resiliência do poço que está encimado por um pavimento onde essa qualidade é primordial. Recomenda-se, então que enquanto não se observar algo como, “um flange robusto com junta elástica”, que a parte inferior da câmara continue sendo executada no local.

⁹ Rio Águas.

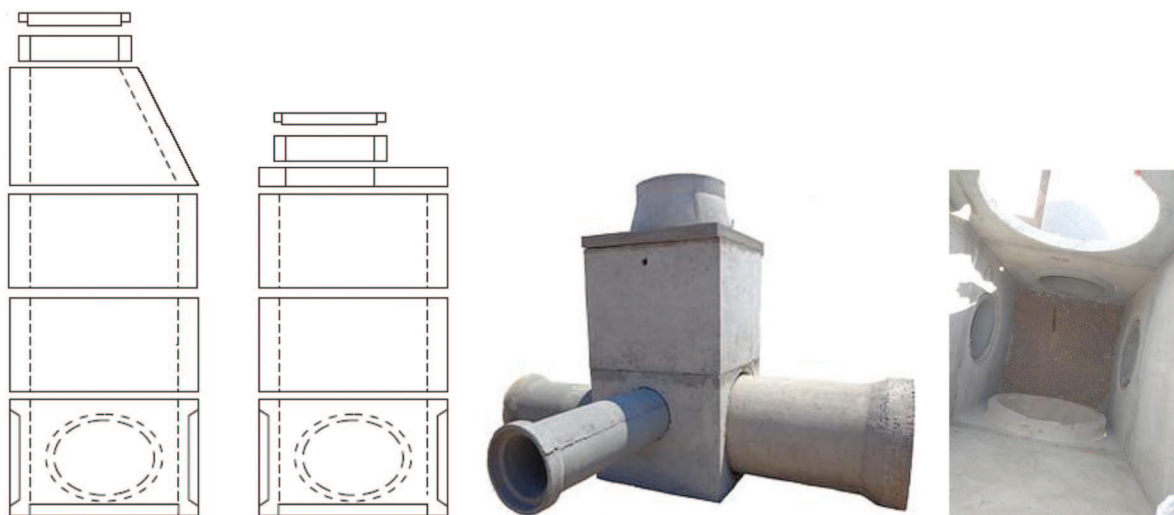


Figura 9 - Poços de visita de concreto pré-moldado

3 • VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DE PV

Verifica-se a seção transversal mínima do Poço de Visita pela fórmula dos orifícios.

$$\begin{aligned}
 V &= C_d \times \sqrt{2gh} \\
 Q &= V \times S
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow S = \frac{Q}{C_d \times \sqrt{2 \times 9,81 \times h}} \qquad S = 0,376 \times \frac{Q}{\sqrt{h}}$$

Onde:

- S** – Área transversal útil mínima do poço (m²);
- Q** – Vazão a captar (m³/s);
- h** – Profundidade do poço (m);
- C_d** – Coeficiente de descarga (0,6).

Referências Bibliográficas

- CETESB. *Drenagem urbana: manual de projeto*. 3. ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464 p.
- PMSP. *Soluções padronizadas de drenagem*, Vol. 16, 1999.
- Prefeitura do Recife. *Soluções padronizadas de drenagem*, EMLURB, disponível em www.recife.pe.gov.br
- DNIT. *Álbum de projetos-tipo de dispositivos de drenagem*. – 4. Ed. – Rio de Janeiro, 2011, 180 p.
- PBH - Prefeitura de Belo Horizonte. *Sudicap - Superintendência de Desenvolvimento da Capital. Caderno de encargos de infra-estrutura*. 2.ed. Belo Horizonte, 624 p, 30/11/2000.
- www.dec.ufcg.edu.br/saneamento, acesso em: 14/06/2016.
- <http://fonber.com.br/> acesso em: 14/06/2016.
- ABNT NBR 10160:2005 - *Tampões e grelhas de ferro fundido dúctil - Requisitos e métodos de ensaio*.
- ABNT NBR 16085:2012 - *Poços de visita e poços de inspeção para sistemas enterrados - Requisitos e métodos de ensaio*. Ⓣ



FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS DE MÓDULO ELEVADO PREPARADAS COM LIGANTES DE ALTA CONSISTÊNCIA

*Carlos Fernando Quintero Quintero ¹
Leto Momm ²*

*Leni Figueiredo Mathias Leite ³
Liedi Légi Bariani Bernucci ⁴*

José Marcos Faccin Guimarães ⁵

^{1,2,5} Universidade Federal de Santa Catarina - Brasil

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro - Brasil

⁴ Universidade de São Paulo, Escola Politécnica - Brasil

RESUMO

O trabalho trata da formulação e do comportamento mecânico de uma mistura de módulo elevado. Os ensaios de formulação foram realizados conforme a metodologia de formulação de misturas francesas para misturas de módulo elevado. A compactação da mistura foi avaliada pelo ensaio de Compactação por Cisalhamento Giratório; a sensibilidade à água, pelo do Ensaio Duriez; a resistência ao afundamento de trilha de roda, pelo ensaio de Deformação Permanente na máquina de Deformação Permanente tipo LPC; a rigidez foi determinada pelo ensaio de Módulo Complexo e, por fim, determinou-se a resistência à fadiga por flexão alternada em dois pontos sob corpos de prova trapezoidais em modo contínuo. As misturas preparadas com ligantes de consistência elevada na formulação requereram o emprego de uma curva granulométrica contínua. Foi usado um maior teor de ligante de maneira que o afundamento por deformação permanente se enquadrasse dentro dos limites admissíveis e a resistência à fadiga fosse superior a $130\mu\text{def}$, determinada a 10°C e 25Hz . O teor de ligante definido nos diferentes níveis de formulação foi de 5,7%, usando 80 giros no ensaio de compactação por cisalhamento giratório e volume de vazios igual a 3,6. No ensaio Duriez, a relação entre a resistência com condicionamento na água e sem condicionamento foi de 0,93, enquanto que no ensaio de deformação permanente o afundamento no nível dos 30.000 ciclos foi de 5,2%. O módulo complexo medido a 15°C e 10Hz foi de 16595MPa e a deformação para um milhão de ciclos determinada a 10°C e 25Hz foi igual a $240\mu\text{def}$. Observou-se durante os ensaios de formulação o elevado desempenho da mistura mesmo para diferentes teores de ligante asfáltico.

Palavras-chave: Fadiga, Módulo Complexo, Temperatura Crítica.

ABSTRACT

The aim of this work is to formulate and evaluate the mechanical performance of high modulus mix and its application in the pavement design. The formulation was done according French procedure for high modulus mix design. The compaction was evaluated in the Gyratory Shear compactor, the moisture induced damage was tested by French method Duriez, the rutting resistance was determined in the LPC French machine, the stiffness and fatigue life were tested in the French fatigue machine using trapezoidal geometry through two points alternate bending. The mixes prepared with asphalt binders of hard penetration required aggregates with continuum gradation curve, higher content of binder in such way to keep the depth of permanent deformation with the limits and the fatigue strength should be superior to $130\mu\text{def}$ determined at 10°C e 25Hz . The binder content was 5,7%, using the Gyratory Shear Compactor with gyration number of 80, and voids content of 3,6. In the Duriez test, the relationship between the strength with water condition, without water was 0,93. The rutting test at level 30,000 cycles lead to 5,2% depth. The complex modulus was determined at 15°C and 10Hz was 16595MPa and fatigue resistance determined at a 10°C and 25Hz was $240\mu\text{def}$. It was verified during formulation tests the superior performance of bituminous mix even for different binder contents.

Keywords: Fatigue, Complex modulus, Critical Temperature.

1 • INTRODUÇÃO

As misturas de módulo elevado constituem uma técnica moderna para concepção de pavimentos mais duradouros de elevada resistência em situações de tráfego intenso e pesado (BROSSEAUD, 2006). O uso de misturas de módulo elevado EME (*Enrobé à Module Élevé*) teve início na França em meados dos anos 1980, sendo aplicadas para a restauração de rodovias e seguidamente foram objeto de pesquisa em escala real e laboratorial (ROHDE, 2007; QUINTERO, 2011; VILLELA, 2012).

No Brasil, as pesquisas com misturas de módulo elevado EME iniciaram-se nos anos 2000, utilizando diferentes tipos de ligantes asfálticos não comerciais, como resíduos pesados de refinaria até ligantes modificados em nível de pesquisas e testes de campo (LEITE, et al., 2011).

O aumento das cargas e das solicitações faz com que muitas vezes seja necessário o uso de ligantes de consistência mais elevada, por serem menos susceptíveis termicamente, com elevada rigidez e resistência à fadiga. O conhecimento das propriedades requer ensaios de laboratório e de campo.

Dentre as pesquisas realizadas com misturas de módulo elevado, no Brasil podem ser citadas as estudadas por Villela (2012), Pereira (2012), Quintero (2011), Leite (2011), Rodhe (2007), Freitas (2007), Magalhães (2004), usando ligantes asfálticos convencionais de elevada consistência e modificados com excelentes resultados em relação ao módulo e à fadiga.

As misturas preparadas com ligantes asfálticos de elevada consistência, CAP 10/20, são avaliadas nos diferentes níveis de formulação resultando uma percentagem de ligante asfáltico maior que as misturas convencionais, obtendo alta deformação para um milhão de ciclos no ensaio de fadiga. Devido à elevada rigidez destas misturas, a componente viscosa do módulo complexo é menor nas diferentes temperaturas que nas misturas preparadas com ligantes asfálticos CAP 30/45 ou CAP 50/70, o que faz com que tenham maior resistência à fadiga.

Atualmente o uso de ligantes asfálticos de elevada consistência não é prática usual em países de América Latina, contudo sua utilização seria muito vantajosa por serem países tropicais quentes. Apresentam elevado valor de deformação para um milhão de ciclos (ϵ_6) e elevado valor de módulo, ainda em temperaturas elevadas.

Este trabalho apresenta a formulação de uma mistura de módulo elevado realizada integralmente para os níveis de formulação da metodologia francesa. Os resultados são discutidos em função do comportamento em cada nível de formulação e, no ensaio de módulo complexo e de fadiga, em função da temperatura a 10°C e 30°C.

2 • FORMULAÇÃO DE MISTURAS DE MÓDULO ELEVADO

A curva granulométrica das misturas de módulo elevado é contínua. A figura 1 apresenta as formulações ou dosagem desenvolvidas no Brasil por (VILLELA, 2012; PEREIRA, 2012; QUINTERO; ROHDE, 2007; FREITAS, 2007; MAGALHÃES, 2004).

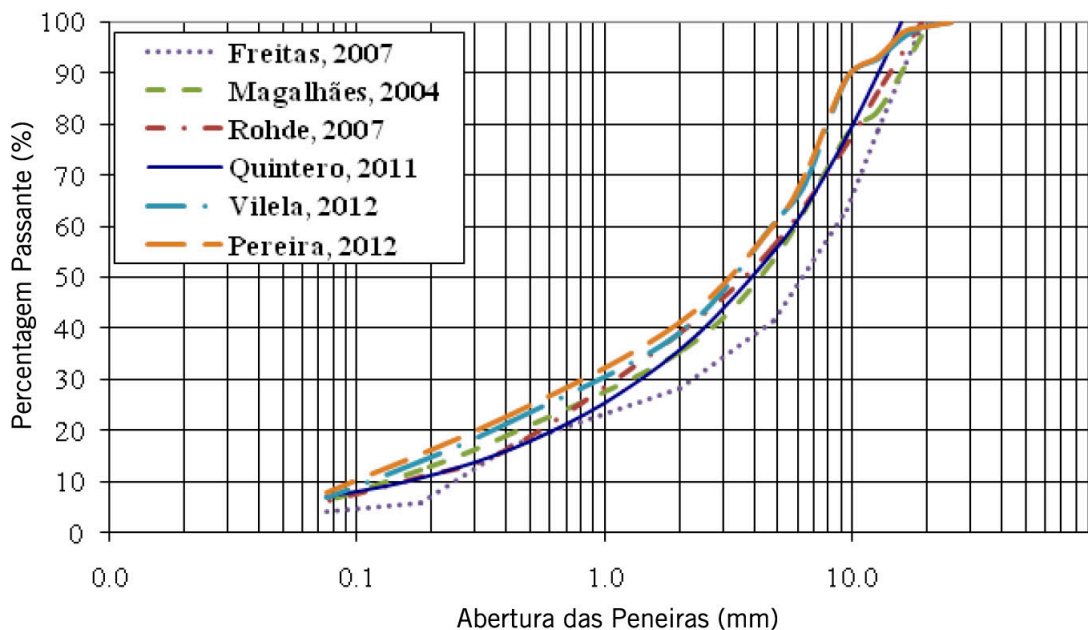


Figura1 - Formulações de misturas de módulo elevado EME no Brasil.

A dosagem ou a formulação da mistura inicia pela definição da curva granulométrica e pelo tipo de ligante asfáltico. Na metodologia francesa as misturas asfálticas de módulo elevado são definidas pela norma (NF P 98-140) e se caracterizam por uma abordagem através de ensaios fundamentais do módulo complexo e de fadiga.

O desempenho da mistura asfáltica é verificado em cada nível da formulação que se inicia no nível 1 com a análise da habilidade à compactação da mistura no ensaio de compactação por cisalhamento giratório e com a análise da sensibilidade à água no ensaio de imersão e compressão simples. No nível 2, avalia-se o afundamento por Deformação Permanente. No nível 3, determina-se a rigidez da mistura asfáltica através do Ensaio de módulo complexo, que é realizado mediante solicitação sinusoidal sob corpos de prova trapezoidais. Finalizando, no nível 4, avalia-se a resistência à fadiga sob corpos de prova trapezoidais a uma temperatura de 10°C a 25Hz. Este último nível de formulação é focado na determinação da deformação do material para um milhão de solicitações (ϵ_6). A Tabela 1, apresenta as diretrizes de formulação para as misturas de módulo elevado classe 1 e classe 2.

Tabela 1 - Formulação das misturas de módulo elevado (LCPC, 2007).

Classificação		EME 1	EME 2
Relação da resistência r/R, (imersão compressão)		r/R \geq 0,70	
Prensa de compactação por cisalhamento giratório	EME 0/10	80 giros	%Vv \leq 10% %Vv \leq 6%
	EME 0/14	100 giros	
	EME 0/20	120 giros	

Resistência à deformação permanente a 60°C	Percentagem de vazios das placas:	%Vvi = 7% %Vvs = 10%	%Vvi = 3% %Vvs = 6%
	Número de ciclos	30000 ciclos	30000 ciclos
	Profundidade da deformação permanente	Afundamento máximo 7,5%	
Percentagem de vazios das placas		%Vvi= 7% %Vvs = 10%	%Vvi= 3% %Vvs = 6%
Módulo (MPa)	15°C, 10 Hz ou 0,02 s	IE* ≥ 14000	IE* ≥ 14000
Fadiga (μdef)	2 pontos, 10°C, 25 Hz	ε ₆ ≥ 100	ε ₆ ≥ 130

r e R; Tensão de ruptura à compressão simples, dos corpos de prova condicionados na água e a seco;

Vv; Volume de vazios;

Vvi; Volume de vazios mínimo;

Vvs; Volume de vazios máximo;

ε₆; Deformação para um milhão de ciclos

3 • COMPORTAMENTO DAS MISTURAS COM ASFALTOS DE CONSISTÊNCIA ELEVADA

Os concretos asfálticos são solicitados sob cargas dinâmicas; cada uma delas deforma a estrutura do pavimento ocasionando flexão alternada que varia de extensão à contração segundo a posição da linha neutra. A amplitude dos picos de deformação varia principalmente em função da velocidade da carga, da temperatura e do tipo de eixo. Normalmente os pavimentos são dimensionados e caracterizados na fadiga à temperatura e frequência fixas, porém, os concretos asfálticos são térmica e cineticamente susceptíveis. Na medida em que a temperatura aumenta, as camadas betuminosas tornam-se menos rígidas, variando a rigidez e, de igual modo, a resistência à fadiga.

O comportamento reológico pode ser simulado através de modelos de comportamento mecânico como o modelo de Huet (1963), Sayegh (1965). A utilização dos modelos viscoelásticos permite estimar as respostas das camadas asfálticas considerando as suas propriedades intrínsecas relacionadas ao módulo complexo.

Considerando a susceptibilidade térmica dos concretos asfálticos, os níveis de tensão e deformação são fortemente dependentes da temperatura. É difícil considerar as variações de temperatura no projeto de pavimentos. Devido às dificuldades, o método de dimensionamento francês utiliza uma temperatura constante denominada temperatura equivalente, no caso 15°C que é definida como a temperatura média que ocasiona o mesmo dano no pavimento que as variações de temperaturas reais (P.HORNYCH et al, 2013).

O ensaio de fadiga é necessário para o dimensionamento das camadas asfálticas. Para determinar a resistência à fadiga, o método de dimensionamento francês estabelece realizar o ensaio na temperatura igual a 10°C e na frequência 25Hz, entretanto, vários estudos experimentais (MOUTIER, 1991; DE LA ROCHE et al., 1997; LUNDSTROMM et al., 2003; LUNDSTROMM et al., 2004; DOMEK, 2005, HORNYCH et al, 2013) mostram que a fadiga e o módulo complexo variam com a temperatura e a frequência de solicitação.

A fadiga e o módulo complexo dependem, também, entre outros fatores, da consistência do ligante asfáltico. Ligantes asfálticos com maior consistência deslocam a temperatura crítica (QUINTERO et al. 2016), sendo esta aquela temperatura onde ocorre a menor deformação para um milhão de ciclos no ensaio de fadiga.

Comparando o ensaio de fadiga com o ensaio de módulo complexo no plano Cole-Cole, a temperatura crítica é próxima da maior componente imaginária do módulo complexo, associada à componente próxima onde ocorre a maior energia dissipada.

Para as misturas de módulo elevado preparadas com ligantes asfálticos de elevada consistência CAP 10/20, a temperatura crítica é próxima dos 30°C, verificação que é realizada no ensaio de fadiga e com a representação do ensaio de módulo complexo no Plano Cole-Cole (QUINTERO, 2011).

4 • MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 • Curva granulométrica

Foi utilizada a equação de Talbot (ou Fuller-Thompson), (Equação 1) para definir a curva granulométrica (Figura 2 e Tabela 2). O expoente “n” da curva que foi calculado fixando o material que passa na peneira de 0,075 milímetros a 7% e o diâmetro máximo 15,9mm. O valor calculado do expoente foi de 0,5

$$\%p = a. \left(\frac{d}{D}\right)^n \quad (1)$$

Onde:

% P = é a percentagem, em peso, passante na dimensão d.

a = é uma constante igual a 100, d é o tamanho da peneira em mm.

D = é o tamanho da peneira em mm 100% passante.

n = é o expoente da curva granulométrica.

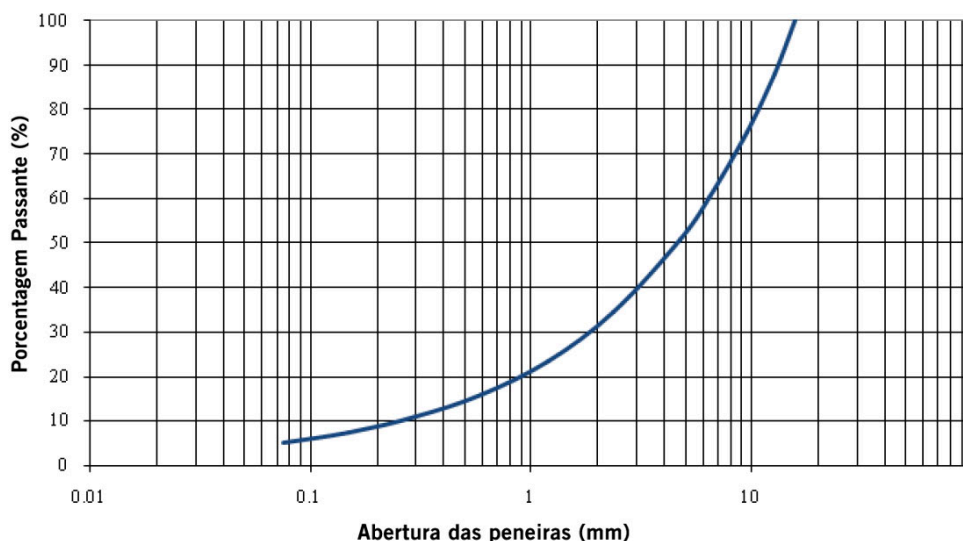


Figura 2 - Curva granulométrica (QUINTERO, 2011).

Tabela 2 - Formulação mistura de módulo elevado classe 2 (EME 2), Granulometria (QUINTERO, 2011).

n =		0,50	-
D _{máx} =		15,9	mm
%p ₂₀₀ =		7,0	%
Peneira	Curva EME 2	Frações Retidas	MVR (g/cm ³) - EME 2
mm	%	%	
15,9	100,0	100,0	2,7477
12,7	89,4	10,6	
9,5	77,4	12,0	
6,45	63,9	13,5	
4,76	54,9	8,9	
2,38	39,0	16,0	2,7482
1,19	27,6	11,3	
0,59	19,5	8,1	
0,3	13,9	5,6	
0,15	9,9	4,1	
0,075	7,0	2,9	
Passante 200		7,0	
Densidade			2,7480

4.2 • Ligante asfáltico

Os resultados da caracterização do asfalto foram por penetração igual a 10 (0,1 mm), ponto de amolecimento igual a 66 °C e densidade igual a 1,02 g/cm³.

4.3 • Formulação da mistura de módulo elevado

4.3.1) Ensaio de compactação por cisalhamento giratório

O ensaio de Compactação por Cisalhamento Giratório (NF P 98-252) consiste em compactar o corpo de prova aplicando uma carga estática mediante cisalhamento giratório a uma inclinação fixa. O volume de vazios é calculado a partir da altura do corpo de prova para o respectivo número de giros.

4.3.2) Ensaio Duriez

O Ensaio Duriez (NF P 98-251-1) avalia a perda de resistência à compressão simples devido à ação da água mediante a ruptura por compressão direta de 12 corpos de prova selecionados em função do diâmetro máximo nominal D (Tabela 3).

Tabela 3 - Condições de Ensaio Duriez em função do diâmetro D.

Diâmetro	Diâmetro do molde (mm)	Altura molde (mm)	Diâmetro Êmbolos	No CP	Massa do CP	Carga de Compactação
D < 14 mm	80 mm - 0.1 mm ou 80 mm + 0.3 mm	190 mm	79.75 mm	12	1000 ± 2 gr	60 Kn ± 0.5%
D ≥ 14 mm	120 mm - 0.1 mm ou 120 mm + 0.3 mm	270 mm	119.75 mm	10	3500 ± 4 gr	180 Kn ± 0.5%

4.3.3) Ensaio de Deformação Permanente

Para o ensaio de Deformação Permanente (NF P 98-253-1), moldam-se placas de dimensões 18cmx50cmx10cm. Para cada teor de ligante asfáltico, duas placas foram testadas, realizando leituras em 15 pontos a 0, 100, 300, 1000, 3000, 10000 e 30000 ciclos. O cálculo é realizado pela Equação 2 e Equação 3.

$$Pi \% = \frac{\sum(m_j - m_0)}{15 \cdot e} \quad (2)$$

$$Y = A \left(\frac{N}{1000} \right)^b \quad (3)$$

Onde:

e = Espessura da placa em milímetros;

m_j = É a medida da profundidade para um número de ciclos;

m₀ = Valor inicial da profundidade em mm;

Y = Afundamento para N ciclos;

b = Inclinação da curva em escala logarítmica.

4.3.4) Ensaio de módulo complexo

No ensaio de Módulo Complexo (NF P 98-260-2), corpos de prova trapezoidais são solicitados à flexão alternada em modo contínuo (Figura 3). Matematicamente, o módulo é calculado como a relação entre as amplitudes complexas da tensão sinusoidal (Equação 4) e da deformação sinusoidal (Equação 5).

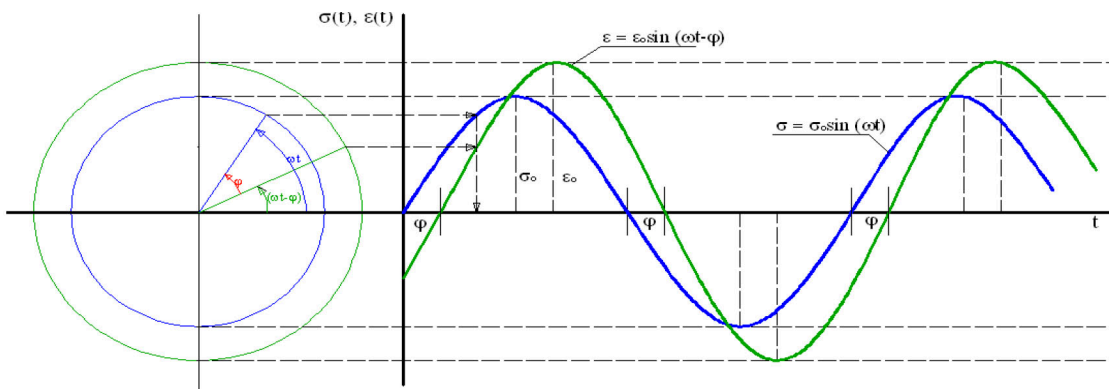


Figura 3 - Representação das funções de força e deformação, adaptada (RIANDE, et al, 2000)

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \text{sen}(\omega t) = \text{Im}(\sigma^*) \rightarrow \sigma^* = \sigma_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (4)$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi) = \text{Im}(\varepsilon^*) \rightarrow \varepsilon^* = \varepsilon_0 \cdot e^{i(\omega t - \varphi)} \quad (5)$$

Onde:

σ_0 = Amplitude da tensão;

ε_0 = Amplitude da deformação;

ω = Pulsação (rad/s), $\omega = 2\pi\phi$;

t = Tempo;

$i = \sqrt{-1}$.

O módulo é representado pelas partes real e imaginária e tem um significado físico preciso. Representa a rigidez dos materiais viscoelásticos, permitindo ter relações constitutivas entre a tensão e a deformação. Fisicamente, pode ser interpretado como a soma vetorial das componentes (Equação 6).

$$E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cdot e^{i\varphi} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} (\cos \varphi + i \text{sen} \varphi) = E_1 + iE_2 = |E^*| e^{i\varphi} \quad (6)$$

Onde:

E_1 = é a parte real, associada à energia armazenada;

E_2 = é a parte imaginária, associada à energia perdida por atrito interno do material.

A partir dos valores de força e deslocamento aplicados ao corpo de prova e o ângulo de defasagem, pode-se determinar o módulo (Equação 7 e Equação 8) com dois fatores, um que depende das dimensões do corpo de prova (γ), e o outro que depende da massa (μ) (HUET, 1963) que considera a massa do corpo de prova e a massa das partes móveis do equipamento (HUET, 1963).

$$E_1 = \gamma \left(\frac{F_0}{D_0} \cos(\varphi) + \mu \omega^2 \right) \quad (7)$$

$$E_2 = \gamma \left(\frac{F_0}{D_0} \text{sen}(\varphi) \right) \quad (8)$$

Onde:

E^* = Módulo complexo (MPa);

D = Flecha no topo do corpo de prova, $D = D_0 \cdot \text{Sen} \omega t$, (mm);

D_0 = Amplitude do deslocamento sinusoidal imposto no corpo de prova (mm);

φ = Ângulo de defasagem entre a força e a deslocamento (°);

E_1 = Parte real do módulo (MPa);

E_2 = Parte imaginária do módulo (MPa);

γ = Fator de forma mm⁻¹;

M = Massa do corpo de prova (kg);

m = Massa móvel do equipamento (kg);

F_0 = Amplitude da força aplicada no topo do corpo-de-prova;

ω = Pulsação (rad/s), $\omega = 2\pi\phi$.

4.3.5) Ensaio de Fadiga

O ensaio de Fadiga (NF P 98-261) é caracterizado pela sua ruptura após um grande número de solicitações, na prática superior a 10^4 ciclos (OLARD et al, 2003). O ensaio foi realizado sob corpos de provas trapezoidais, mediante aplicação de solicitação sinusoidal em modo contínuo e a flexão alternada.

As curvas de fadiga são determinadas nas condições de temperatura de 10°C e 30°C e na frequência de 25Hz. Para cada uma delas foram ensaiados no mínimo 18 corpos de provas a três níveis de deformação. Durante o ensaio de Fadiga a força decresce com o número de ciclos, considerando que o material chega à ruptura quando este atinge 50% da força inicial.

5 • RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 • Ensaio de compactação por cisalhamento giratório

No ensaio de Compactação por Cisalhamento Giratório, todos os teores ensaiados tiveram volume de vazios inferior a 6% no nível de 80 giros, sendo o limite de volume de vazios 6% para seleção para as misturas de módulo elevado. A Tabela 4 mostra o volume de vazios no primeiro, no décimo e no nível de 80 giros. Uma mistura que se densifica, facilmente, no primeiro giro, possivelmente terá problemas associados ao ensaio de Deformação Permanente.

Tabela 4 - Volume de vazios mistura EME 2 (QUINTERO, 2011).

% Asfalto	V1		V10		V80	
	Media	Desvio Padrão	Media	Desvio Padrão	Media	Desvio Padrão
5,1	21,3	0,5	13,4	0,5	5,7	0,3
5,3	20,0	0,5	12,0	0,3	4,3	0,1
5,5	20,3	0,3	12,0	0,3	4,1	0,2
5,7	19,3	0,3	11,4	0,3	3,6	0,1
5,9	18,8	0,3	10,7	0,2	3,0	0,2

V1, Volume de vazios no primeiro giro;

V10, Volume de vazios aos 10 giros;

V80, Volume de vazios aos 80 giros.

Na Figura 4, observa-se a evolução do volume de vazios com o número de giros. Para teores de ligante superiores a 5,5%, evidencia-se uma mudança da inclinação da curva de compactação a partir do nível de 40 giros.

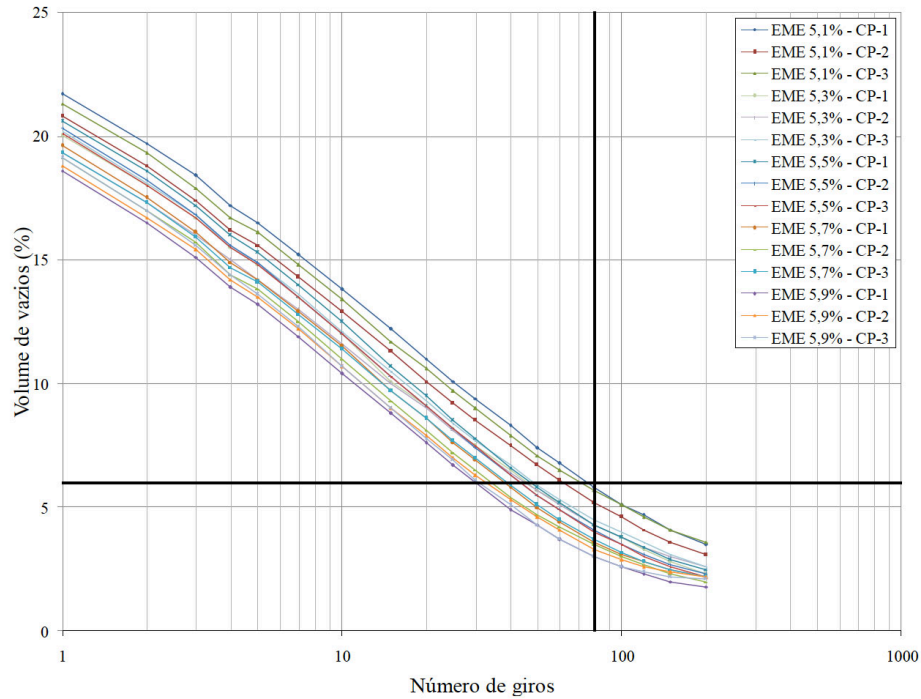


Figura 4 - Habilidade à compactação, mistura EME 2 (QUINTERO, 2011).

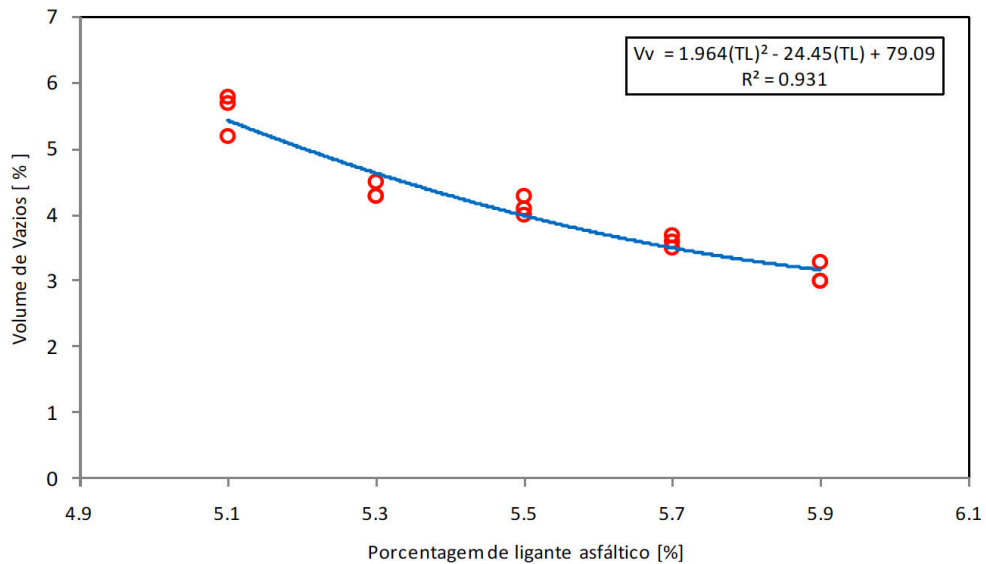


Figura 5 - Efeito do conteúdo de ligante no volume de vazios da mistura asfáltica nos 80 giros.

A Figura 5, representa a evolução do volume de vazios com o incremento do teor de ligante no nível de 80 giros e a Equação 9 foi determinada por regressão, representando a evolução do volume de vazios em função do teor de ligante asfáltico no nível dos 80 giros.

$$V_{vTL} = 1,964(TL)^2 - 24,45(TL) + 79,09 \tag{9}$$

Onde:

V_v = Volume de vazios no nível dos 80 giros;

TL = Teor de ligante asfáltico;

5.2 • Ensaio Duriez

Considerando que todas as porcentagens de ligante asfáltico avaliadas no ensaio de Compactação por Cisalhamento Giratório atendem ao critério de porcentagem de vazios inferior a 6% no nível de 80 giros, decidiu-se então avaliar todas elas no ensaio Duriez. Observou-se que a elevada consistência de ligante asfáltico aumenta os valores de carga de ruptura. A evolução da tensão de ruptura à compressão simples dos corpos de prova com condicionamento (Equação 10) e sem condicionamento (Equação 11) é ilustrada na Figura 6.

$$r(TL) = -3,865(TL)^2 + 47,09(TL) - 118,1 \quad (10)$$

$$R(TL) = -9,89(TL)^2 + 112,2(TL) - 292,4 \quad (11)$$

Onde:

r = Tensão de ruptura, corpos de prova condicionados na água;

R = Tensão de ruptura, corpos de prova sem condicionar na água;

TL = Teor de ligante asfáltico.

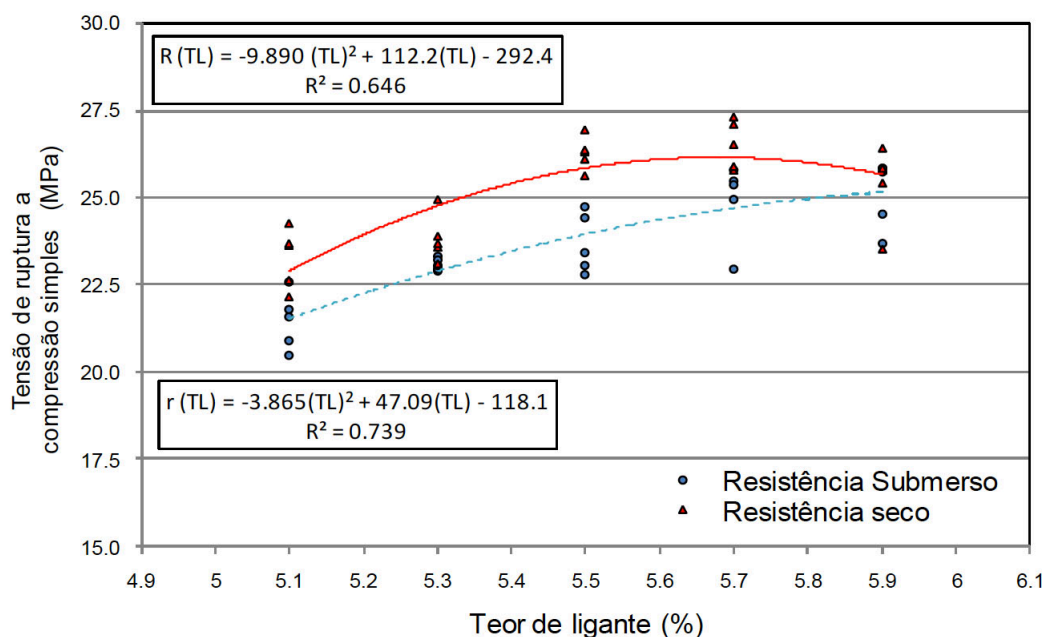


Figura 6 - Mistura de módulo elevado, tensão de ruptura (QUINTERO, 2011).

Para os corpos de prova condicionados a temperatura de 18°C e umidade relativa de 50%, a tensão de ruptura variou entre 23,32MPa para o teor de ligante de 5,1% e 25,4MPa para o teor de ligante de 5,9% e para os corpos de prova condicionados a 18°C na condição submersa na água, a tensão de ruptura variou entre 21,74MPa para o teor de ligante de 5,1% e 24,98MPa para o teor de ligante de 5,9%. A relação entre a resistência “r/R” dos corpos de prova em todos os casos foi superior a 0,75, sendo que o menor valor foi de 0,91 para o teor de ligante de 5,5% (Tabela 5).

Tabela 5 - Mistura de módulo elevado, tensão de ruptura (QUINTERO, 2011).

Teor de ligante (%)	r, (Mpa)	R, (Mpa)	r/R	Altura (mm)	Vv (%)
	Médio	Médio	-		Médio
5.1	21.74	23.32	0.93	86.62	8.86
5.3	23.13	23.92	0.97	85.41	8.02
5.5	23.84	26.12	0.91	84.99	7.38
5.7	24.69	26.57	0.93	84.80	6.78
5.9	24.98	25.40	0.98	84.89	6.35

5.3 • Ensaio de Deformação Permanente

A verificação do afundamento do pavimento por deformação permanente foi realizada para todos os ligantes avaliados no nível 1 de formulação, exceto para o teor de ligante de 5,9%.

A Figura 7 ilustra o afundamento por deformação permanente em função do número de ciclos para cada teor de ligante asfáltico avaliado. Observa-se que à medida que o teor de ligante aumenta, o afundamento também aumenta, no entanto, os valores de afundamento por deformação permanente são baixos devido à elevada consistência do ligante asfáltico que garante seu desempenho quanto à deformação.

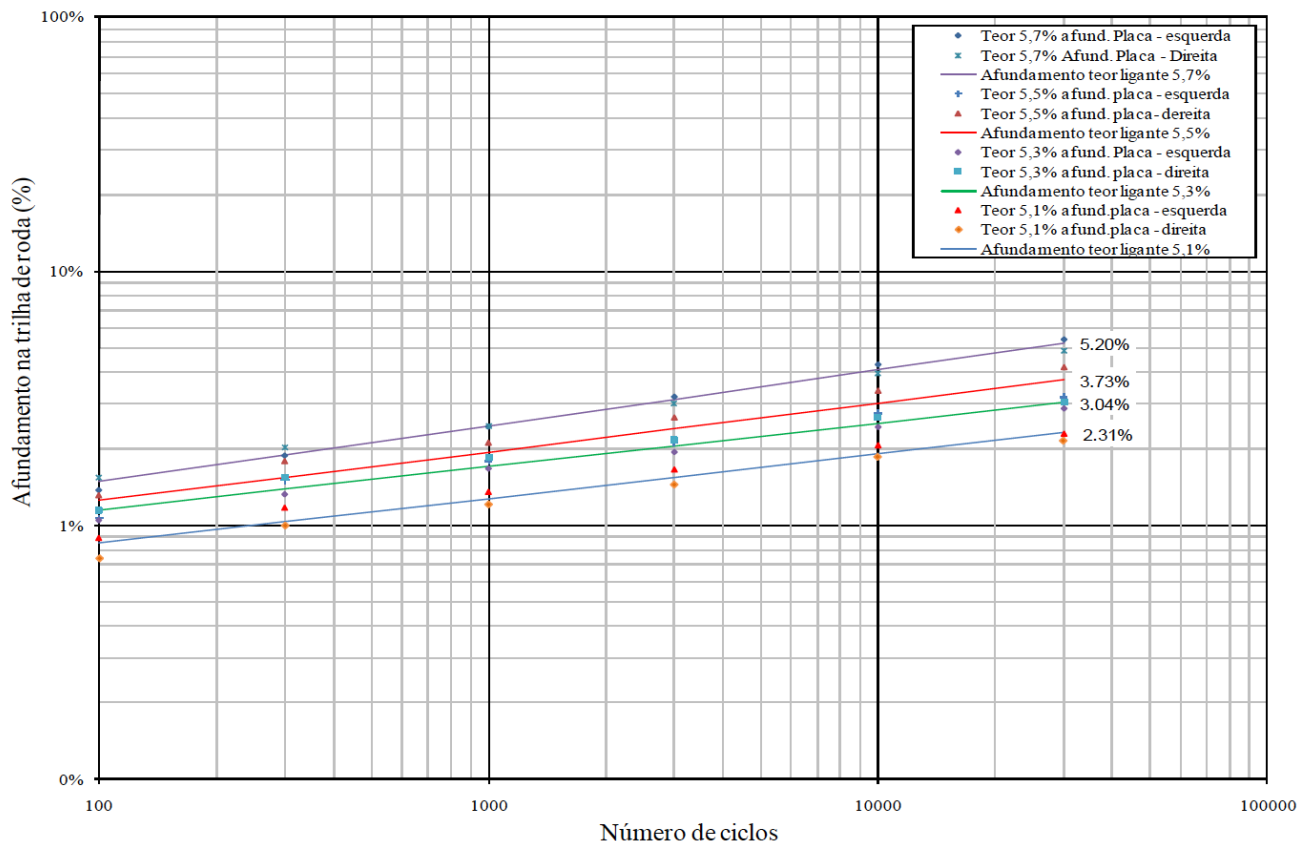


Figura 7 - Evolução da Deformação Permanente EME 2 (QUINTERO, 2011).

A evolução do afundamento por deformação permanente aos 30.000 ciclos com o incremento do teor de ligante asfáltico é representada pela (Equação 12). Observa-se que, à medida que a porcentagem de ligante asfáltico aumenta, o volume de vazios diminui (Equação 13), aumentando o afundamento por deformação permanente (Figura 8).

$$\%DPTL=4,625(TL)^2-45,27TL+112,9 \quad (12)$$

$$\%VviTL=4,312(TL)^2-48,51TL+139,0 \quad (13)$$

Onde:

%DP = afundamento por deformação permanente;

%Vvi = volume de vazios inicial;

TL = teor de ligante inicial.

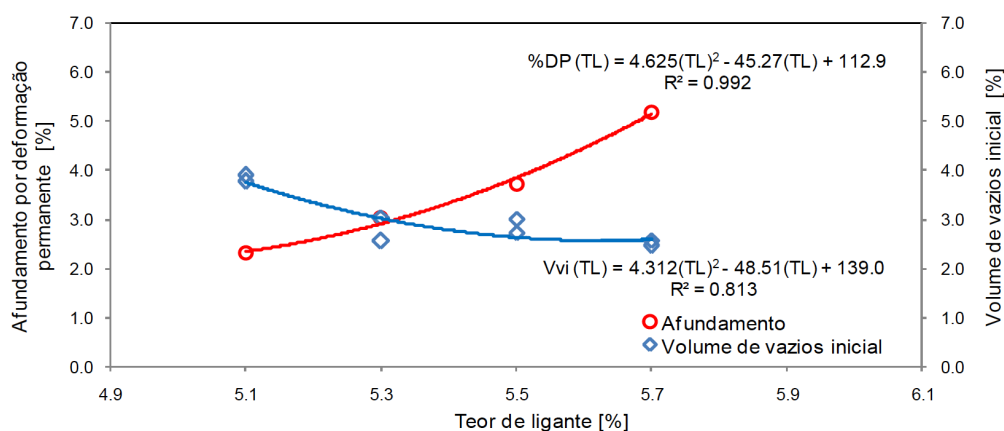


Figura 8 - Relação entre o volume de vazios inicial e o afundamento por deformação permanente

5.4 • Módulo complexo

O valor do módulo complexo medido a 15°C e 10Hz foi de 16.595MPa, superior ao valor mínimo que deve ser atingido para o tipo de misturas de módulo elevado classe 2 de 14.000MPa. Os valores do módulo complexo e ângulo de fase a 10°C e 25hz foram de 18.155,6MPa e 2,2° respectivamente e a 30°C e 25hz foram de 12.726,7MPa e 9,2° respectivamente.

As representações dos vetores de módulos no plano complexo nas temperaturas 10°C e 30°C referem-se à situação de temperaturas nas quais foram realizados os ensaios de Fadiga. Observa-se que ligantes de consistência elevada deslocam a temperatura crítica em relação a ligantes asfálticos convencionais, nos quais, geralmente, a temperatura crítica acontece próximo dos 10°C. A temperatura crítica dos concretos asfálticos preparados com ligante de consistência elevada é próxima dos 30°C.

No plano Cole-Cole, observa-se que o material tem maior rigidez quando a frequência aumenta. Em relação à temperatura, quanto maior a temperatura, menor será a rigidez. Na Figura 9, a linha vermelha corresponde ao vetor que representa o módulo complexo para condição da temperatura crítica 30°C e 25Hz e a linha verde corresponde a 10°C e 25hz. Na temperatura de 10°C, a componente real do módulo complexo é mais elevada do que na temperatura de 30°C. Nesta temperatura, a componente imaginária é maior do que na temperatura de 10°C. Esta condição é relevante para o ensaio de Fadiga, sendo que a temperatura de 30°C é próxima à temperatura onde acontece a maior energia dissipada que

terá, conseqüentemente, menor resistência à fadiga, e por sua vez menor módulo complexo do que na temperatura de 10°C devido ao efeito da temperatura. Na prática isto ocasiona um aumento da espessura das camadas do pavimento.

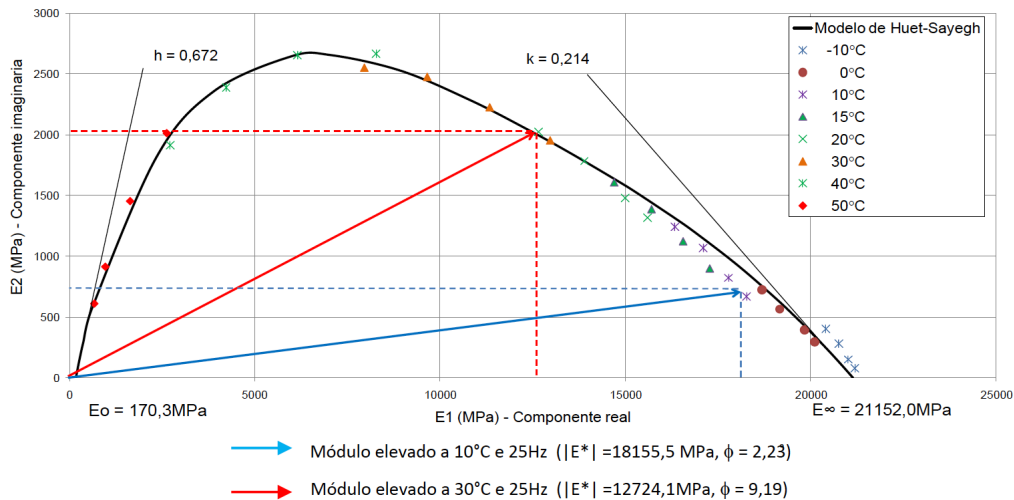


Figura 9 - Módulo Complexo mistura de módulo elevado EME 2 (QUINTERO, 2011).

A partir do Ensaio de Módulo Complexo é possível calibrar os parâmetros do modelo reológico de Huet-Sayegh (Equação 14). O modelo de Huet-Sayegh (Figura 10) é formado por uma mola em série com dois amortecedores parabólicos e outra mola em paralelo.

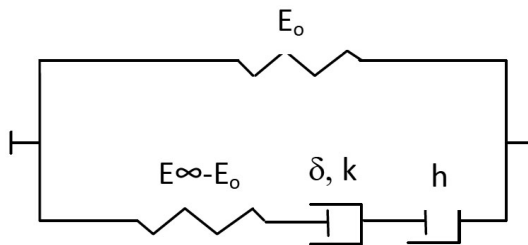


Figura 10 - Representação analógica do modelo de Huet-Sayegh.

$$E^*(\omega \cdot \tau(\theta)) = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + \delta(i\omega \cdot \tau(\theta))^{-k} + (i\omega \cdot \tau(\theta))^{-h}} \tag{14}$$

Onde

E_∞ = módulo instantâneo para quando ω_t tende ao ∞ , é obtido para as elevadas frequências e baixas temperaturas;

E_0 = módulo estático, obtido para a condição de baixas frequências e elevadas temperaturas;

k, h = expoentes dos elementos parabólicos do modelo;

δ = função da natureza do ligante e composição granulométrica;

τ = tempo de relaxação dos amortecedores, parâmetro em função do tempo, que varia com a temperatura;

$\omega = 2\pi f$, pulsação;

ϕ = frequência de solitação.

$$\tau(\theta) = e^{(A_0 + A_1\theta + A_2\theta^2)} \tag{15}$$

A identificação dos parâmetros do modelo (Tabela 6) é realizada a partir dos ensaios de módulo complexo.

Tabela 6 - Parâmetros do modelo de Huet-Sayegh (QUINTERO, 2011)

Parâmetros	Mistura EME 2 CAP 10/20
E_o	170,3
E_∞	21152,0
K	0,214
H	0,672
δ	1,637

5.5 • Curvas de fadiga

No ensaio de Fadiga (Figura11), a deformação para um milhão de ciclos foi igual a $240 \pm 19 \mu\text{def}$ em condições de temperatura 10°C a 25 Hz, com inclinação da curva, em escala logarítmica, igual a -5,41 (cor azul) e igual a $173 \pm 7,9 \mu\text{def}$, em condições de temperatura de 30°C a 25 Hz, com inclinação da curva de fadiga, em escala logarítmica, igual a -5,12 (cor vermelha). Na Figura 11, são ilustradas as curvas realizadas no protótipo I da máquina de módulo complexo e de fadiga da Universidade Federal de Santa Catarina.

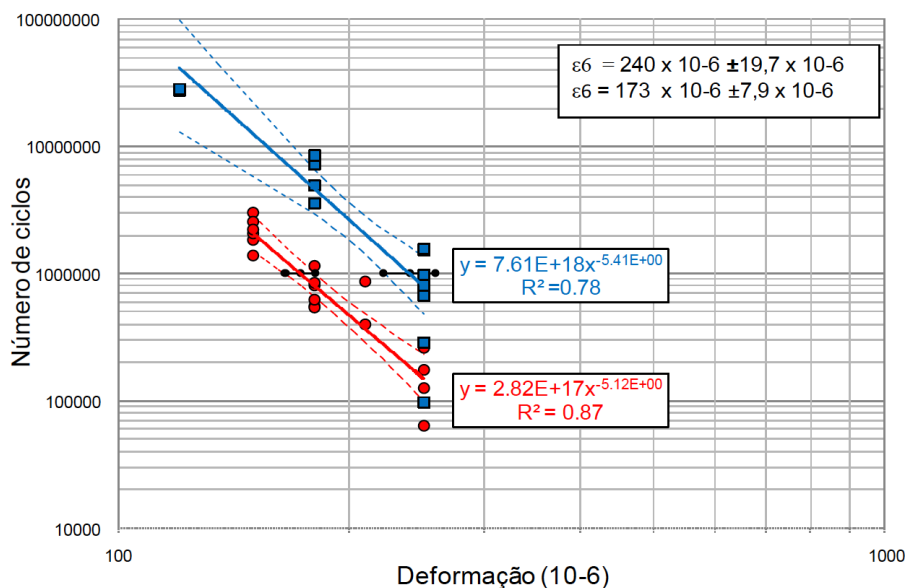


Figura 11 - Curva de fadiga EME 2 a 10°C e 30°C a 25Hz (QUINTERO, 2011)

Nas baixas temperaturas, há um aumento da deformação para um milhão de ciclos resistência à fadiga. Este aumento deve-se ao comportamento predominantemente elástico e a menor dissipação de energia por ciclo de carga que há nas baixas temperaturas. Na medida em que se aumenta a temperatura, aumenta-se, também, a componente viscosa, aumentando, conseqüentemente, a energia dissipada por ciclo de carga, diminuindo, assim, a deformação para um milhão de ciclos. Na medida em que a consistência do ligante asfáltico aumenta, a temperatura crítica varia, deslocando-se no plano complexo como foi mostrado na Figura 9. Na temperatura de 30°C ocorre a menor deformação para um milhão de ciclos, pois essa temperatura é próxima da maior componente imaginária, associada à maior energia dissipada do ensaio de Módulo Complexo.

6 • CONCLUSÕES

A metodologia francesa de formulação de mistura permitiu preparar uma mistura asfáltica de elevado módulo e com elevada deformação para um milhão de ciclos. A compacidade avaliada no ensaio de compactação por cisalhamento giratório permitiu estudar a habilidade com que o material deixa-se compactar em função do teor de ligante asfáltico. No ensaio Duriez, a elevada consistência do ligante asfáltico aumentou a resistência à compressão simples da mistura asfáltica. Ao aumentar o teor de ligante asfáltico as misturas tornam-se menos susceptíveis ao dano por umidade, devido à maior densificação do material.

No ensaio de Deformação permanente, foi observado que existe uma relação entre a compacidade e o afundamento por deformação permanente. Também que, após um determinado grau de compacidade, há maior risco de que ocorra afundamento por Deformação Permanente. É de ressaltar que os valores baixos de afundamento por deformação permanente foram obtidos devido à elevada consistência do ligante asfáltico CAP 10/20.

A consistência do ligante asfáltico afeta significativamente o comportamento mecânico das misturas asfálticas. Na medida em que a consistência do ligante aumenta o concreto asfáltico tem desempenho superior mesmo nas temperaturas elevadas. No campo, o pavimento pode atingir valores elevados de temperatura. Este aumento de temperatura faz com que as camadas betuminosas sejam menos rígidas, assim, pode se pensar que as misturas de módulo elevado com ligantes de consistência elevada CAP 10/20 podem vir a ser uma solução para estradas com trânsito intenso.

Considerando que o aumento de temperatura no pavimento conduz um aumento dos picos de deformação, a utilização de asfaltos mais consistentes atribuí à mistura propriedades mecânicas mais elevadas (módulo complexo e fadiga). Foi observado que deformação para um milhão de ciclos na fadiga a 30°C é menor que a 10°C mais ainda assim a deformação para um milhão de ciclos é elevada.

Para a aplicação ao dimensionamento do pavimento pode-se conhecer a temperatura crítica para a fadiga.

Para misturas preparadas com CAP10/20 esta temperatura é próxima de 30°C, sendo a temperatura na qual ocorre a menor deformação para um milhão de ciclos no ensaio de fadiga, para serem aplicados numa condição de temperatura mais desfavorável no dimensionamento do pavimento.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, ao CENPES – PETROBRAS; à Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, à Universidade Federal de Santa Catarina.

Referências Bibliográficas

- AFNOR NF P 98-140 *Enrobés Hydrocarbonés: Couches de assises, Enrobés à module élevé. Association Française de Normalisation. 1992.*
- AFNOR NF P 98-251-1. *Essais relatifs aux chaussées: Préparation des mélanges hydrocarbonés: Essai de Duriez. Association Française de Normalisation. 2002.*
- AFNOR NF P 98-252. *Essais Relatifs aux Chaussées: Essai à la presse à cisaillement giratoire PCG. Association Française de Normalisation. 1999.*
- AFNOR NF P 98-253-1. *Essais relatifs aux chaussées: Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés. Partie 1: Essai d'Orniérage. Association Française de Normalisation. 1991.*
- AFNOR NF P 98-260-2. *Essais relatifs aux chaussées: Mesure des caractéristiques rhéologiques des mélanges hydrocarbonés. Partie 2: Détermination du module complexe par flexion sinusoïdale. Association Française de Normalisation. 1992.*
- AFNOR NF P 98-261-1. *Essais relatifs aux chaussées: Détermination de la résistance en fatigue des mélanges hydrocarbonés. Partie 1: Essai par flexion à flèche constante. Association Française de Normalisation. - 1993.*

- Brosseaud Y. *Enrobés à Module Élevé: Bilan de L'expérience de Française et Transfert de Technologie*. 2006.
- De la Roche; Riviere. N. *Fatigue Behavior of Asphalt Mixes: Influence of Laboratory Test Procedures on Fatigue Performances*. 8th International Conference on Asphalt Pavements, 1997.
- Freitas, H. B. *Misturas Asfálticas de Módulo Elevado com Uso de Escória de Aciaria como Agregado*. Dissertação de Mestrado, Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- Domec V. *Endommagement par fatigue des enrobés bitumineux em condition de trafic simulé et de température*. Thèse de Docteur. Université de Bordeaux I. 2005.
- Huet Christian. *Étude par une méthode d'impédance du comportement viscoélastique des matériaux hydrocarbonés*. PhD thesis, Paris: Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1963.
- Leite, L. F. M.; Nascimento, L. A.; Chacur, M.; Martins, A. T. Rocha, S. M.; Figueiredo, U. *Empregos de Asfaltos Duros em Rodovias de Alto Volume de Tráfego*, 2011
- Lundstromm, R. Isacson, U. e Ekblad J. *Investigations of Stiffness and Fatigue Properties Asphalt Mixtures*. Journal of Material Science. 2003. Vol. 38. pp. 4841-4949.
- LPC. *Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés*. Groupe de Travail RST - Formulation des enrobés, France, 2007.
- Magalhães Sidclei Teixeira *Misturas Asfálticas de Módulo Elevado para Pavimentos de Alto Desempenho*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. - Rio de Janeiro. 2004.
- P.Hornych;J.M.Balay; C. Mauduit; D.Bodin.*Evaluation of the concept of equivalent temperature for pavement desing*, 2013.
- Momm, Leto. *Estudo dos Efeitos da Granulometria Sobre a Macrotextura Superficial do Concreto Asfáltico e Seu Comportamento Mecânico*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), 1998.
- Momm, Leto. *Maquina de Ensaio de fadiga a deformação controlada em modo contínuo*, XIII CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del asfalto, 20 al 25 noviembre, 2005 San José, Costa Rica, 2005.
- Moutier F *Etude statistique de l'effet de la composition des enrobés bitumineux sur leur comportement en fatigue et leur module complexe [Artigo] // Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*. France. Février de 1992. pp. 71-79.
- Olard François. *Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures-relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé*. l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 2003.
- Pereira M.M.L *Estudo de Mistura Asfáltica de Módulo Elevado para camadas de base de Pavimento*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.
- Quintero C.F.Q *Estudo de misturas asfálticas com ligantes de consistência elevada – formulação e comportamento mecânico*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianopolis. 2011. p219.
- Quintero Q C F., Momm L, Leite, L. F. M, Bernucci L L B., *Effect of asphalt binder hardness and temperature on fatigue life and complex modulus of hot mixes*, *Construction and Building Materials* 114 (2016) 755–762.
- Sayegh, G., *Variation des modules de quelques bitumes purs et bétons bitumineux*. Thèse de Doctorat d'Ingénieur : Faculté des Sciences de l'université de Paris, juin 1965.
- Rohde L *Estudo de misturas asfálticas de módulo elevado para camadas estruturais de pavimentos*.Tese de doutorado em engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.
- SETRA-LCPC *Conception et dimensionnement des structures de chaussée, guide-technique*. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA); Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). paris. 1997.
- Villela A.R.A *Estudo de camada de base asfáltica de módulo elevado para restauração de rodovias de tráfego muito pesado*. Tese de Doutorado. 2012. ⬇



ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO EM MICRORREVESTI- MENTO ASFÁLTICO

Freddy Richard Apaza Apaza¹
Antonio Carlos R. Guimarães²

¹ Aluno de mestrado em Engenharia de Transportes no Instituto Militar de Engenharia.

² Exército Brasileiro. D. Sc. Professor no Instituto Militar de Engenharia.

RESUMO

Os microrrevestimentos são feitos com emulsão asfáltica modificada por polímero com propriedades específicas para mistura a frio e ruptura rápida controlada. A presente pesquisa descrita neste artigo trata da incorporação de resíduo proveniente do beneficiamento do minério de ferro para ser utilizado como agregado em microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF). Por meio de análises dos resultados obtidos em ensaios laboratoriais e avaliações do comportamento deste material, buscou-se a dosagem ideal para utilização em microrrevestimento. O resíduo do beneficiamento do minério de ferro, analisado neste estudo, tem em sua composição, minerais como o quartzo e hematita (88,68 % e 46 %, respectivamente) e, segundo a norma brasileira NBR 10.004/2004, é classificado como não inerte de classe IIA (não perigoso). Como a execução de projetos rodoviários em pavimentação asfáltica demanda grandes quantidades de materiais, é importante do ponto de vista ambiental a busca por materiais alternativos para o uso em misturas asfálticas, agregando ao pavimento qualidades mecânicas e ambientais. Os ensaios laboratoriais realizados para caracterização deste projeto de MRAF estão de acordo com métodos especificados pelas normas da ABNT e da ISSA para misturas de microrrevestimento. Para analisar o comportamento da adição do resíduo de minério de ferro em misturas de microrrevestimento, foram feitos os ensaios de WTAT (Wet Track Abrasion Test) e o LWT (Loaded Wheel Test). Os resultados desta pesquisa indicaram que o resíduo tem grande influência nos resultados de WTAT e LWT, quando são comparados às misturas com adição de resíduo de minério de ferro com agregados convencionais.

Palavras-chave: Resíduo de ferro, misturas asfálticas, microrrevestimento

ABSTRACT

Micro-surfacing is made with asphalt emulsion modified with polymers that show specific cold treated and controlled fast break properties. This research described in this article deals with the incorporation of waste from iron ore processing to be used as aggregate in micro-surfacing cold asphalt. Through analysis of the results obtained from laboratory tests and assessments of the behavior of this material, it was sought the optimal dosage for use in micro-surfacing. The residue of the iron ore beneficiation, analyzed in this study, has in its composition, minerals such as quartz and hematite (88.68% and 46%, respectively) and, according to the Brazilian standard NBR 10.004/2004, is classified as not inert IIA class (not dangerous). As the implementation of asphalt road paving projects demands large quantities of materials, it is important from an environmental point of view the search for alternative materials for use in asphalt mixtures, adding to the pavement mechanical and environmental qualities. Laboratory tests performed to characterize this micro-surfacing cold asphalt project are in accordance with the methods specified by ABNT and the International Slurry Surfacing Association (ISSA) for micro-surfacing mixtures. To study the behavior of the residue of the iron ore in micro-surfacing mixtures, it were made the WTAT performance tests (Wet Track Abrasion Test) and LWT (Loaded wheel Test). The results of this research showed that the waste has great influence on in the WTAT and LWT results, when compared to mixtures with addition of iron ore residue with conventional aggregates.

Keywords: Iron residue, asphalt mixtures, micro-surfacing.

1 • INTRODUÇÃO

Atualmente, vive-se em uma sociedade que estimula o consumo em grande escala e, para suprir suas necessidades, é necessário cada vez mais explorar novas jazidas de matéria-prima. O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de minério de ferro e a sua exploração implica em impactos ambientais dada a geração de grande volume de rejeitos. O aproveitamento destes resíduos na construção civil pode agregar valor a este subproduto e minimizar as consequências ambientais.

O microrrevestimento foi desenvolvido como uma delgada capa para ser usada sobre a superfície do pavimento, com intuito de evitar fissuras em vias de baixo, médio e alto tráfego. As misturas de microrrevestimento são feitas com agregados naturais e emulsões asfálticas de ruptura controlada. O processo de lavra e beneficiamento de minério de ferro gera a razão média de 2/1 entre o produto final e a geração de resíduos (ABRAO, 1987), gerando grandes volumes dispostos em barragem e pátios de bota-fora.

Segundo Coelho (2008), os descartes finais dos resíduos de minério de ferro ou de subprodutos da mineração deixaram de ser uma opção para redução de custos, mas uma necessidade, de forma a eliminar ou minimizar problemas ambientais. Com a redução da exploração de novas jazidas naturais, devido às novas exigências e limitações impostas pelos órgãos governamentais na execução de obras de engenharia, ganha importância o estudo da utilização destes materiais. Resíduos de minério de ferro constituem agregados potencialmente interessantes como materiais de construção, desde que atendidas as premissas de melhoria de suas propriedades geotécnicas.

Conforme Aparecida (2014), os rejeitos de minério de ferro apresentam granulometrias muito finas, o que dificulta sua caracterização pelos métodos convencionais. Uma alternativa viável para a caracterização e reutilização destes resíduos seria o desenvolvimento de técnicas específicas para o reprocessamento, onde se permita a captura das partículas finas ou ultrafinas.

Estudos realizados em países como Alemanha e Canadá sobre o uso destes resíduos em misturas asfálticas do tipo microrrevestimento a frio deram bons resultados, sendo cada vez mais utilizados na manutenção de vias pavimentadas. Ocorre que no Brasil ainda não se tem o uso deste tipo de resíduo aplicado como agregado alternativo em misturas de microrrevestimento a frio.

Assim, este trabalho tem como objetivo a análise do resíduo de minério de ferro como agregado para pavimentação asfáltica, testando e comparando sua aplicação em diferentes teores de adições em conjunto com agregado convencional de granito, em misturas de microrrevestimento a frio.

2 • RESÍDUO DE MINÉRIO DE FERRO

Para a presente pesquisa, foram utilizados dois tipos de agregados minerais: resíduo do beneficiamento do minério de ferro e agregado convencional (granito). O resíduo do minério de ferro é produto da redução do ferro na mina de exploração da Mineradora Samarco S.A. proveniente da mina Alegria localizada em Mariana/MG. (Figura 1).



Figura 1 - Depósito de resíduo de minério de ferro Mariana/MG.

Após a mineração, o material passa por processos de beneficiamento que incluem etapas de britagem, peneiração e flotação. Nesta fase o resíduo de ferro, que passa a ser tratado como passivo ambiental em pilhas e barragens.

O município de Mariana é a região mineradora mais importante do país, extraíndo mais de 160 milhões de toneladas/ano de minério de ferro, sendo responsável por aproximadamente 53% da produção brasileira de minerais metálicos e 29% de minérios em geral.

A caracterização física, química e mecânica do agregado é importante do ponto de vista técnico por ser um material alternativo. Como em todos os materiais, a composição química determina o comportamento e a reação do material quando em contato com outros agregados e agentes do meio ambiente.

Segundo a norma da ABNT NBR 10004 (2004), os resíduos podem ser classificados em três classes: Classe I (perigosos), Classe II (não inertes) e Classe III (inertes). De acordo com esta classificação, as análises de resíduo de ferro apresentam em sua composição teores relevantes de metais tóxico-perigosos, como Silício (Si), Alumínio (Al) e Carbonato de cálcio (CaCO_3), o que levou à classificação tipo Classe II - não perigoso não inerte -, pois apresentaram valores menores estabelecidos em norma.

3 • OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é determinar e examinar a viabilidade do uso do resíduo de minério de ferro, resultante do beneficiamento do minério, em misturas asfálticas do tipo microrrevestimento. Com intuito de adicionar em diferentes proporções, as propriedades mecânicas das misturas foram determinadas e comparadas com uma mistura piloto de agregados naturais.

Como outro objetivo deste estudo, buscou-se estabelecer os limites para as quantidades para uso do resíduo de minério de ferro em misturas de microrrevestimento, tendo como referência as normas brasileiras (DNIT 035/2005ES e ABNT NBR 14948) e a norma da International Slurry Surfacing Association (ISSA).

4 • PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a realização dos procedimentos, as recomendações e guias de dosagem seguiram as prescrições descritas pela International Slurry Surfacing Association (ISSA), pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT).

As especificações (DNIT 035/2005, NBR 14948) são amplamente utilizadas para misturas de microrrevestimento. Para a mistura, primeiramente verificou-se a graduação dos agregados através do enquadramento granulométrico levando-se em consideração o maior reaproveitamento do resíduo. Para tanto, determinou-se a percentagem em peso seco do agregado para o teor de emulsão asfáltica e o conteúdo de água. Para os ensaios de compatibilidade das misturas verificadas em corpos de prova com adição do resíduo de ferro, realizaram-se várias tentativas a fim de verificar e estabelecer os valores padrão para efeitos de comparação da mistura piloto com as demais misturas com resíduo de minério de ferro.

Foram realizados vários testes a fim de se obter uma mistura mais homogênea entre corpos de prova de misturas de microrrevestimento, sendo utilizadas duas amostras para obter o resultado médio.

As misturas foram preparadas no laboratório de materiais de Ligantes do Instituto Militar de Engenharia IME e realizaram-se quatro traços, resultando em 16 corpos de prova para os ensaios de desgaste WTAT e em outros 16 para o ensaio de exsudação LWT, somando um total 32 corpos de prova para cada traço com diferente proporção de resíduo de ferro em substituição de agregado natural (0%, 10%, 15% e 20%).

O passo seguinte consistiu na realização dos ensaios de desgaste de perda por abrasão úmida WTAT (NBR14746) e determinação da adesão de areia em microrrevestimentos a frio por meio da máquina LWT (NBR 14841) dos corpos de prova.

A compatibilidade dos materiais foi realizada pelo ensaio de adesividade SWT e o ensaio de coesão úmida, pelo MCT, conforme as normas citadas, que classificam o comportamento do resíduo em misturas de microrrevestimento.

5 • MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção das misturas de microrrevestimento utilizou-se pó de pedra oriundo da região do Rio de Janeiro e coletados pela Holcim Brasil, mostrado na Figura 2 (a). O resíduo de minério de ferro utilizado para este estudo é gerado no processo denominado flotação, durante o beneficiamento na mina de Germano/MG, pela empresa Samarco S.A., sendo constituído de material escuro, muito fino e com baixa coesão. Mostrado na Figura 2 (b).



Figura 2 - (a) amostra do resíduo de minério de ferro (b) amostra do pó de pedra.

Usou-se de filler, isto é, o material fino que melhora a graduação granulométrica como material de enchimento, o cimento Portland do tipo CP-I, de uso comercial local. O material ligante usado para as misturas é emulsão asfáltica de ruptura controlada do tipo RC 1C E. A emulsão foi fornecida pelo laboratório central de pavimentação BR Petrobras Distribuidora S.A., que desenvolveu um ligante específico para o tipo de resíduo de minério de ferro. A Tabela 1 apresenta os dados de identificação dos materiais quanto ao tipo e à natureza para a utilização no microrrevestimento.

Tabela 1 - Características dos agregados para misturas de microrrevestimento

MÉTODOS	ENSAIO	ESPECIFICAÇÕES	RESULTADO		PARÂMETROS
		Microrrevestimento	Pó de pedra	Resíduo Ferro	
ME-35/98	Resistência Abração	40%	15,3	-	40% máximo
NBR 14949	Azul metileno	10%	2,5	0,4	10% mínimo
ME 054/97	Equivalente de Areia*	60	72	46	65 mínimo
ME-89/94	Durabilidade	12%	5,2	-	15% máximo usado Na ₂ SO ₄ ou 25% máximo usado MgSO ₄

O resíduo de ferro utilizado é passante na peneira #4 e o pó de pedra é seco na estufa sob a temperatura de 60° C até manter peso constante por um período de 24 horas. Cada mistura foi testada nas faixas limites designadas pelo DNIT para misturas de microrrevestimento a frio.

Conhecidas as características dos agregados, procurou-se obter os mesmos níveis para o traço para mistura de microrrevestimento, selecionando-se a graduação do tipo I das curvas estabelecidas pela NBR e tipo II da ISSA A-143.

A primeira parte deste estudo reporta os resultados detalhados do laboratório pesquisados com respeito ao resíduo do minério de ferro no traço de parâmetros e propriedades para misturas microrrevestimento. Para isto, a mistura piloto adota agregado natural triturado (pó de pedra), e as outras três contam com adição de resíduo de minério de ferro em proporções estabelecidas. A emulsão asfáltica é de ruptura controlada RC-1C - E, a quantidade de água agregada e o filler (cimento Portland) foram mantidos constantes.

5.1 • Descrição dos ensaios do comportamento das misturas

Os ensaios que avaliam o comportamento das misturas são designados pelas normas A143/2005 (ISSA), NBR 14.798 (MCT), NBR 14.757 (WST), NBR 14.746 (WTAT), NBR 14.841 (LWT). Os equipamentos, a preparação das amostras e demais procedimentos são os mesmos da norma da ISSA.

5.2 • Determinação da coesão e características da cura pelo coesímetro (MCT)

O teste de coesão é realizado para classificar e definir o tempo de cura e de liberação ao tráfego do MARF, como também o teor de água e filler empregado na mistura. O procedimento está descrito na norma NBR 14.798, sob temperatura de 25° C, consistindo em colocar o corpo de prova no coesímetro e realizar medições do torque resultante nos intervalos de 30, 60, 90, 120 e 150 minutos, na sequência, após início do ensaio. Os valores mínimos requeridos são de 12kg/cm para 30 minutos, 20kg/cm para 60 minutos após modelagem. A Figura 3 ilustra o equipamento de coesão modificada usado neste estudo. Para misturas com 30 minutos os resultados da coesão modificada são para avaliar o tempo de cura rápida que a amostra alcança após ser moldada, no entanto, para misturas de 60 minutos os valores podem ser considerados como de rápida liberação ao tráfego. Neste estudo foram realizadas cinco amostras para cada traço de microrrevestimento, as misturas preparadas foram moldadas em moldes de 10mm x 60mm de diâmetro e seguidamente curadas em câmara úmida.



Figura 3 - Coesímetro modificado MCT

5.3 • Determinação da adesividade de misturas (WST)

O teste de adesividade avalia a compatibilidade química entre os materiais por meio de um método expedito para a determinação de sua resistência à ação da água. O ensaio descrito na norma NBR 14.757 estabelece o procedimento de testar uma amostra de mistura curada à água em fervura por um tempo de três minutos, sendo, após retirada da água, efetuada análise visual da superfície do agregado, estimando a porcentagem de sua área recoberta pela película de asfalto (Figura 4). Os resultados são baseados na norma ISSA, que estabelece um valor mínimo aceitável de 90 % considerado como satisfatório.

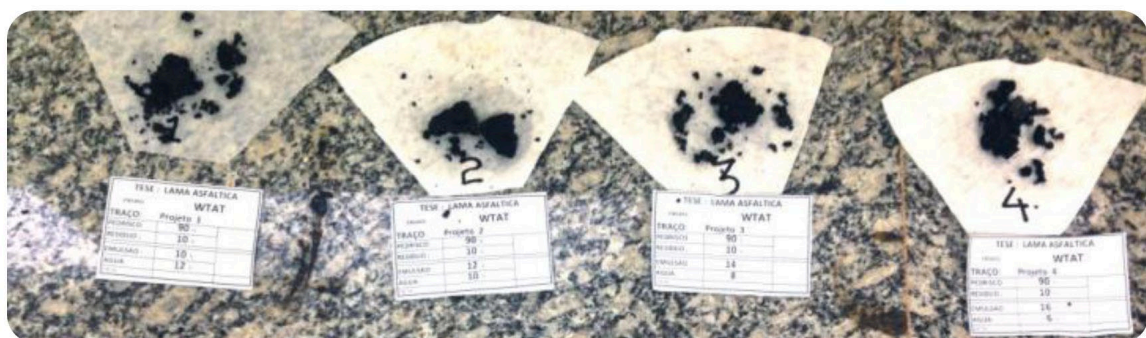


Figura 4 - Ensaio de Adesividade WST

5.4 • Determinação da perda por abrasão úmida (WTAT)

O teste de abrasão úmida WTAT determina a resistência à abrasão sob a ação simulada da água e do tráfego para misturas de microrrevestimento. O teste estabelece o mínimo teor de emulsão asfáltica necessária para prevenir o excesso de desgaste abrasivo de mistura de microrrevestimento. É feito após cura das amostras a 60° C em um dia. Os corpos de prova são submersos em água por uma hora em temperatura 25° C por um período de uma hora e secada na estufa até se obter peso constante. Na Figura 5 ilustra-se o equipamento de desgaste de abrasão úmida usado neste estudo. Antes de concluir o ciclo do ensaio, as amostras desgastadas foram lavadas para a remoção das partículas soltas, secadas a 60° C até peso constante. A diferença entre o peso antes e depois do ensaio em gramas obtidas antes da colocação das amostras a 25° C após o banho de água é reportada como perda por abrasão úmida da amostra.



Figura 5 - Equipamento de desgaste de abrasão úmida

5.5 • Determinação excesso de asfalto e adesão de areia (LWT)

O teste do excesso de asfalto (LWT) descrito pela NBR 14841 determina a resistência à exsudação do asfalto sob a simulação de tráfego e o teor máximo de ligante residual do MRAF. Este ensaio estabelece o máximo conteúdo de emulsão asfáltica necessário para prevenir o enrijecimento de cura das misturas de microrrevestimento. O ensaio é realizado num simulador de tráfego no laboratório (Figura 6). As misturas são compactadas e as características de carga e número de ciclos são predeterminadas. As medições dos parâmetros de adesão da areia são uma medida indireta da quantidade de excesso de emulsão na mistura. A amostra é compactada com 1000 ciclos de 65,7 kg de uma roda carregada. Após compactação, os corpos de prova são lavados, secos a 60° C e, por fim, pesados. A seguir, 200 gramas de areia padrão são espalhados sobre as amostras, que são submetidas a 100 ciclos de carga. A amostra é retirada e pesada, conferindo-se o acréscimo de massa devido à adesão da areia na amostra.



Figura 6 - Equipamento do ensaio de excesso de asfalto por adesão de areia (LWT)

5.6 • Composições do traço de misturas de microrrevestimento

Para a composição das quantidades dos materiais foram feitas várias tentativas de adição de resíduo de minério de ferro, em diferentes proporções, para determinar a viabilidade da incorporação do resíduo necessário ao desenvolvimento para teste

em laboratório, definidas a partir do enquadramento granulométrico em proporções crescentes. De maneira a ter o maior aproveitamento com o pó de pedra, os materiais foram designados em relação à granulometria, conforme a especificação DNIT 035/2005 – ES. Na Tabela 2 apresentam-se os traços testados no laboratório.

Tabela 2 - Designação para o traço para cada projeto.

MATERIAIS	Traço-1	Traço-2	Traço-3	Traço-4
	SRF	10 % RF	15 % RF	20 % RF
Pó de pedra %	99	89	84	79
Resíduo ferro %	0	10	15	20
Cimento %	1	1	1	1

Para cada traço designado na Tabela 3, apresenta-se as superfícies específicas com as quais determina-se a quantidade de teor de emulsão asfáltica por meio de método de Duriez, em que as proporções de água estarão em função inversamente proporcional ao teor de emulsão.

Tabela 3 - Granulometria dos traços deste projeto.

SIGLA	Traço - 1	Traço - 2	Traço - 3	Traço - 4
SE =	6,24	6,88	7,19	7,51

Para que o resíduo de ferro seja adicionado, foi verificado o enquadramento granulométrico com adição de resíduo de ferro determinadas na faixa II da especificação ISSA A143-A, e na faixa I da norma DNER-EM 035. Na Tabela 4 e na Figura 7, verifica-se o enquadramento granulométrico para cada projeto de mistura de microrrevestimento com diferente adição de resíduo de minério de ferro.

Tabela 4 - Granulometria dos traços deste projeto.

% Passante #		Traço - 1	Traço - 2	Traço - 3	Traço - 4	FAIXA II
(pol.)	(mm)	100% Pó de pedra	90% 10% R	85% 15% R	80% 20% R	
3/4"	19	100,0	100,0	100,0	100,0	100
1/2"	12,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100
3/8"	9,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100
n.º 4	4,8	99,5	99,5	99,5	99,6	90 - 100
n.º 8	2,36	79,2	81,3	82,3	83,4	65 - 90
n.º 16	1,18	56,9	61,2	63,4	65,5	45 - 70
n.º 30	0,6	37,0	43,2	46,4	49,5	30 - 50
n.º 50	0,33	18,9	26,6	30,5	34,3	18 - 30
n.º 100	0,15	9,8	15,4	18,2	21,0	10 - 21
n.º 200	0,075	2,5	4,7	5,8	6,9	5 - 15

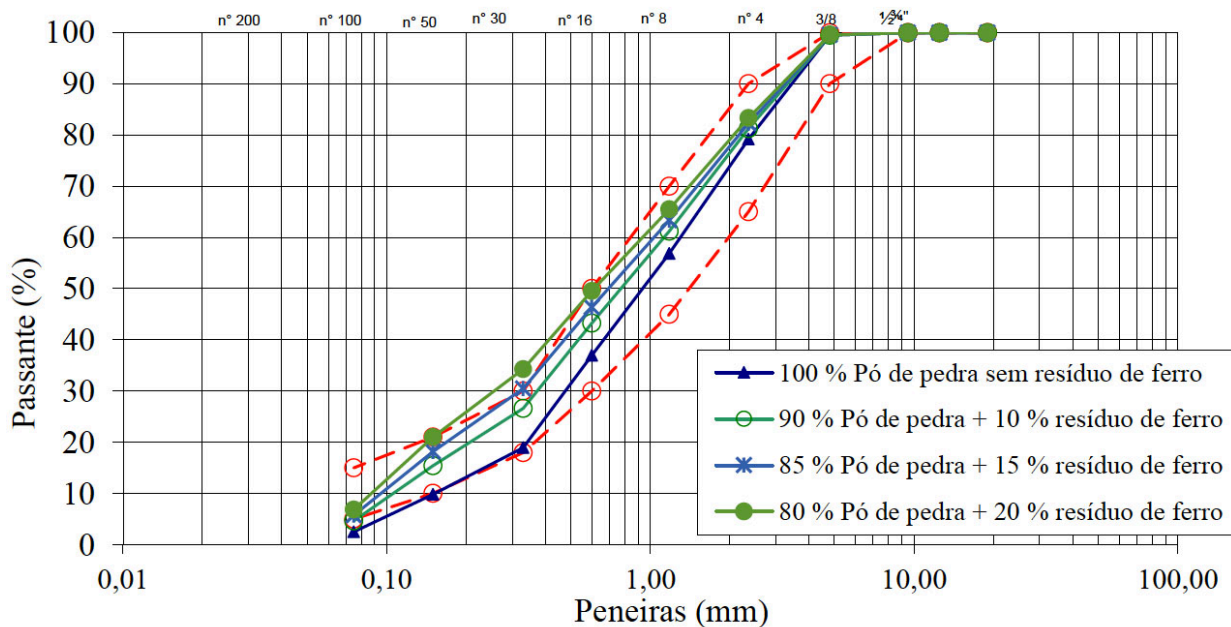


Figura 7 - Enquadramento granulométrico dos projetos de misturas

A emulsão asfáltica usada neste estudo é do tipo catiônica e de ruptura controlada RC 1C-E (Tabela 5), sendo de ruptura controlada de baixa viscosidade, modificada especialmente para resíduo de mineração, desenvolvida pela BR Petrobras. O conteúdo de asfalto residual deve ser maior que 62 % (a emulsão usada para este estudo tem asfalto residual de 62,30%) para os traços de diferentes proporções de resíduo de ferro.

Tabela 5 - Especificações da emulsão asfáltica catiônica de ruptura controlada RC1C- E.

MÉTODO	DESCRIÇÃO	NORMA	
	ENSAIOS	VALOR	EA 1
NBR 14376	Resíduo seco, mín.	62	62,30
NBR 14491	Viscosidade Saybolt-Furol, 25°C (s) máx.	70	22,00
NBR 6570	Sedimentação. 5dias, % peso máx.	5	0
NBR 14393	Peneiração, retido peneira 841, um, %em peso mín.	0,1	0
NBR 6567	Carga partícula	Positiva	Positiva
NBR 6299	PH máx.	6,5	2,1
NBR 6576	Penetração, 100g, 5 s, 25°C, 0,1 mm (máx 150)	45	61
NBR 6560	Ponto de amolecimento, °C, mín.	55	57
NBR 15086	Recuperação elástica, 20 cm 25°C, % mín.	70	72,5

Foram elaborados 64 corpos de prova, elaborados de acordo com os projetos consolidados na Tabela 5, que foram testados no laboratório.

A Tabela 6 ilustra a formulação usada para dosagem a partir dos agregados em porcentagens e estabeleceu-se para os ensaios do tempo mínimo de mistura para as quantidades determinadas do enquadramento granulométrico e dos materiais que serão incorporados nos traços para avaliação nos ensaios de comportamento (WTAT e LWT).

Tabela 6 - Resultados das características dos agregados

MATERIAIS	PROJETOS			
	1	2	3	4
Pó de pedra %	100	90	85	80
Resíduo %	0	10	15	20
Cimento %	1	1	1	1

(% em relação à massa da mistura seca)
 Água 12%
 Emulsão %

- Ensaio WTAT (NBR 14841/2005) 10%, 12%, 14% e 16%.
- Ensaio LWT (NBR 14841/2002) 12%, 14% 16%, e 18%.
- Ensaio de coesão (NBR 14798/2002), teor ótimo de emulsão em %.
- Ensaio de Adesividade (NBR 14757/2002) teor ótimo de emulsão em %

Na Figura 8, ilustra-se o tempo em que se desestabiliza a mistura, realizada para todos os traços desenvolvendo nas misturas boa trabalhabilidade durante o espalhamento.

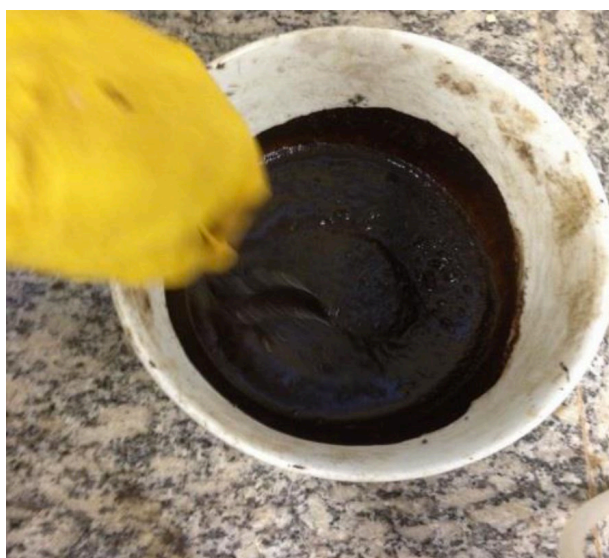


Figura 8 - Verificação da consistência da mistura de microrrevestimento.

Para a determinação da consistência da mistura foi necessário realizar uma série de tentativas para definir a quantidade ótima de água que permita uma correta trabalhabilidade da massa. De acordo com a norma NBR 14.948/2015, o tempo de estabilidade de mistura mínima é de 90 segundos. Os valores de tempo são apresentados na Tabela 7, onde se mostra que as misturas com adições de 0%, 10%, 15% e 20% de resíduo de ferro alcançaram o tempo mínimo especificado pela norma.

Tabela 7 - Ensaio de tempo mínimo de misturação.

Material		Valores
Mistura base	Sem resíduo	Maior que 90 seg.
	0,10% resíduo	Maior que 90 seg.
	0,15% resíduo	Maior que 90 seg.
	0,20% resíduo	Maior que 90 seg.
Especificação NBR 14948 /2015		Tempo mín. 90 segundos

6 • RESULTADOS E ANÁLISES

6.1 • Determinação da coesão e características da cura pelo coesímetro (MCT)

Os resultados do ensaio pelo coesímetro modificado definem a resistência da emulsão asfáltica com respeito ao desprendimento dos agregados, que depende altamente da ruptura e da cura no processo de mistura. O processo é dependente do tempo. As normas recomendam que a emulsão deva ser de ruptura controlada. Neste processo a ruptura pode ser de rápida ou lenta, sendo que, normalmente, as misturas aplicadas na superfície do pavimento devem permitir a liberação ao tráfego 60 (sessenta) minutos após a aplicação.

O ensaio é realizado em diferentes intervalos de tempo com as diferentes misturas sem adição de resíduo, que são comparadas com misturas como resíduo de ferro, testadas com uma carga de 200 kPa, na qual inicia-se um desenvolvimento dos esforços de coesão modificada. A Tabela 8 consolida os resultados obtidos.

Tabela 8 - Resultados do teste de coesão modificada MCT

Ensaio	TEMPO	Mistura-1	Mistura-2	Mistura-3	Mistura-4
		SRF	10 % Resíduo	15 % Resíduo	20 % Resíduo
a	30min	22	21	30	22
b	60min	20	26	29	21
c	90min	25	26	28	22
d	120min	27	31	27	25
e	150min	28	29	28	23

O torque realizado pelas misturas sem resíduo de ferro apresenta característica aceitável dentro do parâmetro exigido pelas normas. A Figura 9 representa os esforços desenvolvidos nas misturas de microrrevestimento.

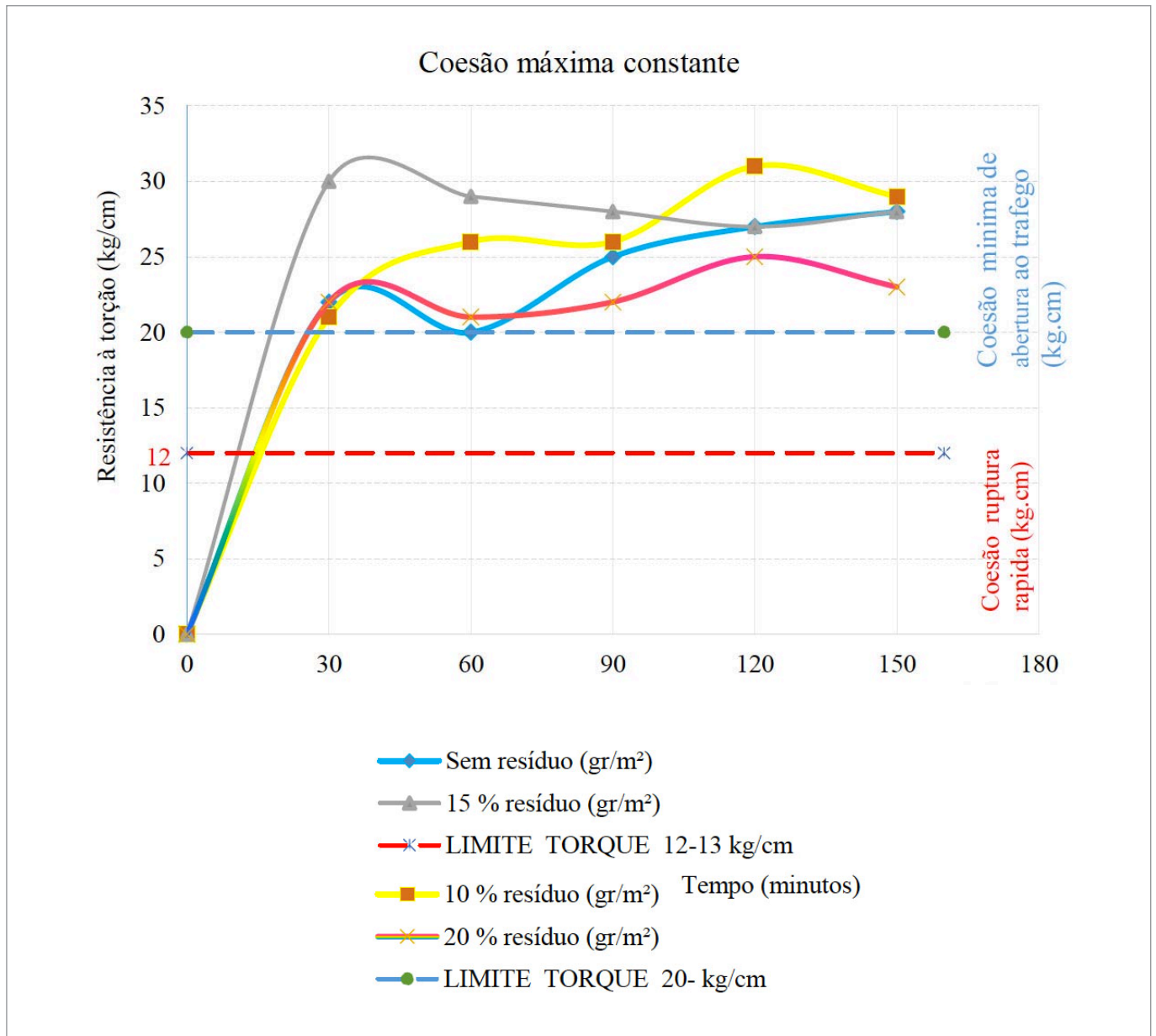


Figura 9 - Resultados da coesão modificada MCT com adição de resíduo de ferro deste estudo.

A partir da Figura 9 pode se constatar que as misturas com adição de 10% de resíduo de ferro desenvolvem esforços superiores de coesão e ruptura rápida para 12 kg/cm como limite de trabalhabilidade.

Além disso, o incremento do resíduo em até 20% apresenta características similares de desenvolvimento de esforços de coesão e ruptura rápida, isto é, o resíduo não altera o tempo de mistura.

Para o caso de verificação, a coesão mínima para abertura ao tráfego apresentou esforços similares às misturas sem adição de resíduo, os quais evidenciam o comportamento de torque superior ao limite estabelecido pelas normas da ISSA (Figura 10), e as misturas com adição de resíduo de ferro apresentam misturas com parâmetro de 20 Kg/cm.

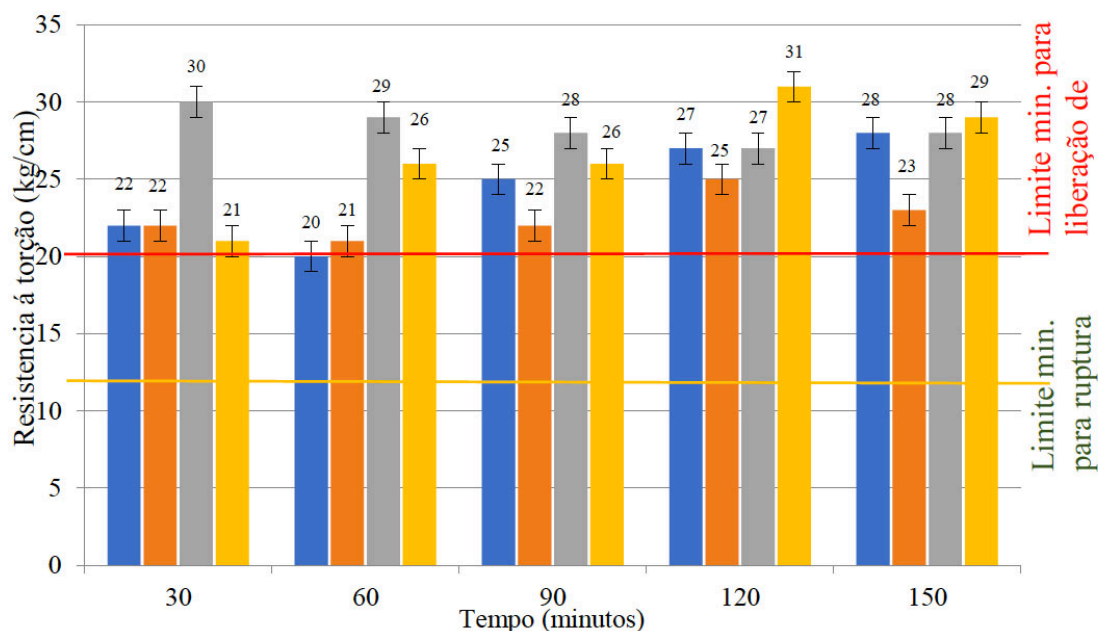


Figura 10 - Resultados da coesão máxima dos projetos com adição de resíduo de ferro.

Verifica-se que a adição do resíduo em estudo proporciona um ligeiro incremento e mantém um comportamento de torque superior a 20 kg/cm após 60 minutos. Nesse sentido percebe-se que é importante que o resíduo seja utilizado em conjunto com emulsão asfáltica de ruptura controlada para possibilitar uma rápida execução e liberação ao tráfego

Determinação da adesividade de misturas (WST)

Os resultados apresentados na Tabela 9 indicam que as misturas feitas com resíduo de minério de ferro apresentaram uma boa adesividade com até 15% de adição de resíduo de ferro, apresentando boa parte da área recoberta pela película de asfalto, integralmente devido ao resíduo, uma vez que este representa o material fino na granulometria da mistura. Os resultados são coerentes com a mistura piloto, pois as misturas com adição de resíduo de ferro atingiram os limites estabelecidos pela norma.

Tabela 9 - Resultados teste de adesividade WST.

IDENTIFICAÇÃO	MISTURAS	TEOR DE EMULSÃO	% RECOBRIMENTO
RC -1C E	100% Pó de pedra, sem resíduo de ferro.	10%	97,25
	90% Pó de pedra, 10% resíduo de ferro.	10%	93,75
	85% Pó de pedra, 15% resíduo de ferro.	10%	93,75
	90% Pó de pedra, 20% resíduo de ferro.	10%	85

Na Figura 11, ilustra-se o comportamento das misturas sem resíduo de ferro, que apresentaram um elevado valor de adesividade (97%), ao passo que as misturas com adição de 10% de resíduo de ferro, diminuíram a adesividade com valores ainda acima de 90%, limite estabelecido como aceitável. Verifica-se perda de adesividade com o aumento do teor de emulsão asfáltica.

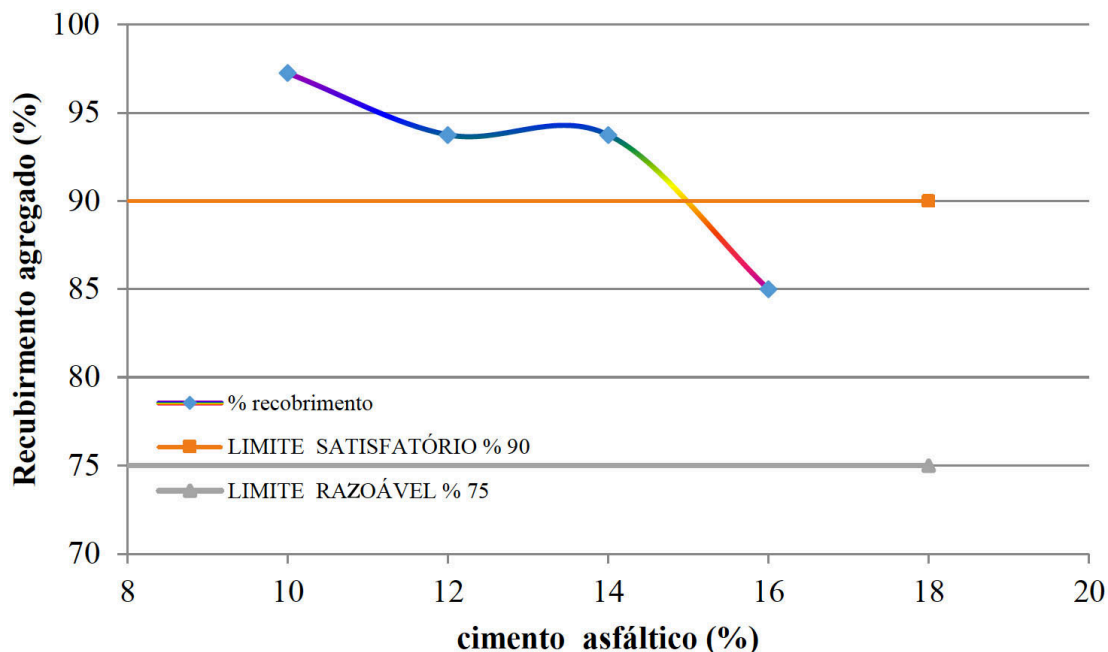


Figura 11 - Adesividade dos projetos deste estudo.

6.2 • Determinação da perda por abrasão úmida WTAT

O ensaio avalia a resistência à abrasão úmida, simulando efeitos de um veículo como se estivesse freando sobre uma superfície úmida. Esse ensaio determina o limite mínimo para o teor de ligante asfáltico que é a diferença de perda de massa material pétreo do corpo da prova.

O traço piloto (ou de controle) integralmente com agregados naturais foi requerido para avaliar, quanto à sensibilidade dos resultados do WTAT, as demais misturas de microrrevestimento a frio usando diferentes proporções de resíduo de minério de ferro em diferentes teores de emulsão asfáltica.

Para avaliar este comportamento, foram preparados corpos de prova de acordo com a tabela 10. De fato, foram moldados quatro corpos de prova para possibilitar a seleção das misturas de microrrevestimento e permitir a medição da resistência à deformação devido à aplicação da carga.

Tabela 10 - Resultados do teste perda por abrasão úmida WTAT.

Misturas	Água (%)	12	10	8	6
	Emulsão asfáltica (%)	10,00	12,00	14,00	16,00
Mistura-1	Sem resíduo (g/m ²)	592,86	389,865	335,09	294,75
Mistura-2	10 % resíduo (g/m ²)	689,255	509,162	415,53	307,095
Mistura-3	15 % resíduo (g/m ²)	707,679	519,738	424,08	318,748
Mistura-4	20 % resíduo (g/m ²)	941,598	670,022	450,722	340,515

Os resultados mostrados na Figura 8 são do ensaio desgaste por abrasão úmida após uma hora de saturação. Observa-se que, pelo incremento da emulsão asfáltica residual, a perda abrasiva diminui, como isto pode ser verificado com a adição do resíduo de minério de ferro, na qual este consome maior ligante devido à área superficial adicionada ao agregado.

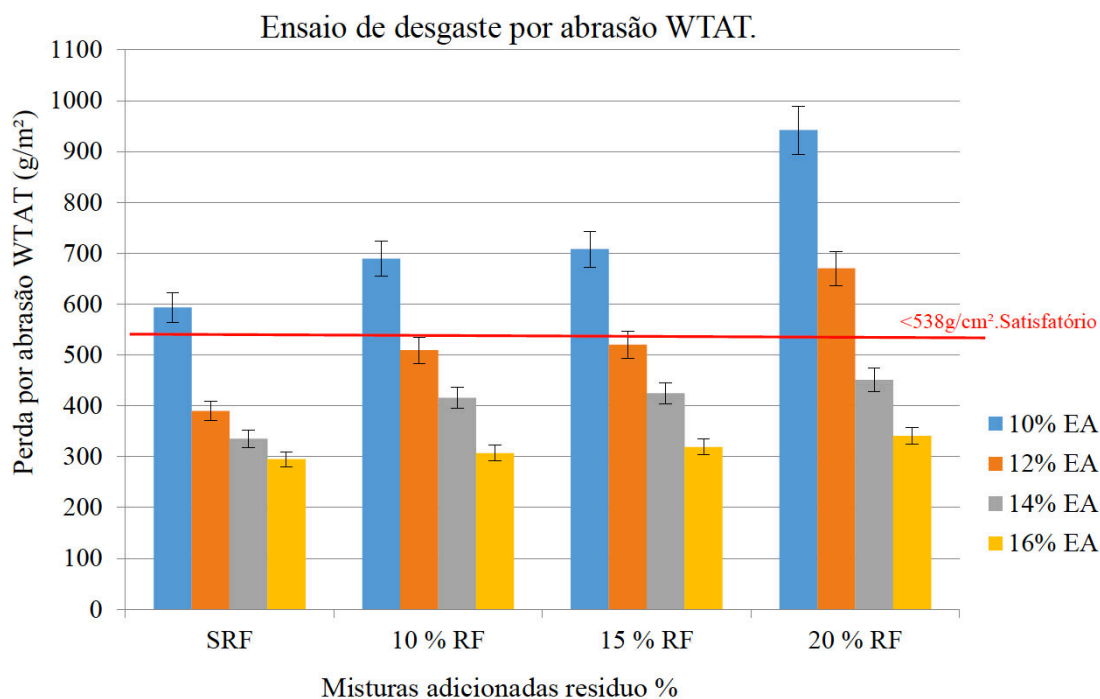


Figura 11 - Adesividade dos projetos deste estudo.

Determinação da adesão de areia LWT

Os resultados mostrados para misturas sem adição de resíduo de ferro apresentam valores abaixo dos aceitáveis pelas normas. Conforme verificado na Tabela 11, a diferença de misturas sem adição de resíduo para misturas com adição de resíduo de ferro diminui levemente devido à adesão de areia que o resíduo proporciona, que é observado quando é acrescentada superfície específica de 6,24 até 7,51 m²/kg para as misturas. As quantidades de adesão de areia indicam baixo risco de exsudação da mistura.

Tabela 11 - Resultados do teste adesão de areia LWT.

Misturas	Água (%)	12	10	8	6
	Emulsão asfáltica (%)	10	12	14	16
Mistura -1	Sem resíduo (g/m ²)	451,35	489,03	544,81	609,28
Mistura -2	10 % resíduo (g/m ²)	424,85	454,03	545,68	596,36
Mistura -3	15 % resíduo (g/m ²)	412,66	434,34	535,06	570,03
Mistura -4	20 % resíduo (g/m ²)	396,17	424,57	558,8	597,41

As misturas elaboradas com agregados naturais apresentaram uma grande resistência à compactação com valores de até 544,68 g/m², um pouco acima do limite estabelecido de 538 g/m² pelas normas da ISSA (estas misturas são os traços piloto de comparação para as misturas com adição de resíduo de ferro). As misturas com adição de 10% de resíduo de minério de ferro e 90 % de agregado natural, com 30 minutos, obtiveram valor de coesão de 454,03 g/m²; as misturas com 15% de resíduo e de 85 % de agregado natural, 434 g/m²; e as misturas de 20% de adição de resíduo e com 80% de agregado natural, valor de 424 g/m².

Verifica-se na Figura 12, que, para todas as faixas percentuais de emulsão asfáltica, as misturas com adição de resíduo de ferro apresentam uma mínima variação de desgaste à abrasão em relação ao traço de controle. Nota-se que em todas as misturas com resíduo de ferro se tem uma leve diminuição de resultados para coesão com 16% de emulsão asfáltica e também uma baixa resistência de compactação.

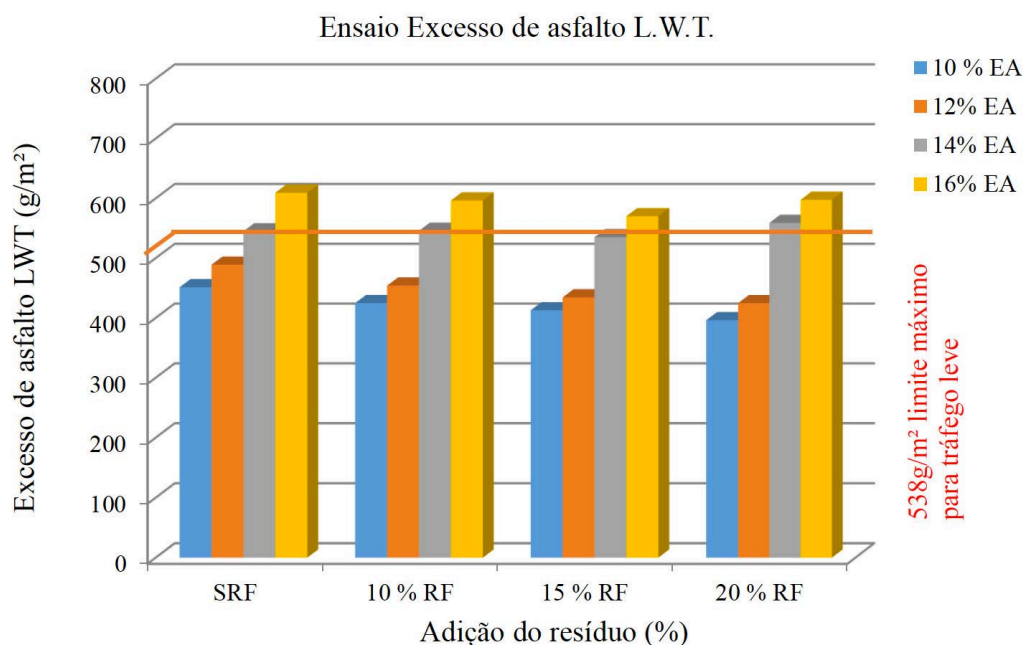


Figura 12 - Perda por adesão de asfalto dos projetos deste estudo.

A faixa granulométrica dos agregados com a adição do resíduo de ferro se enquadra na faixa I da ISSA e na faixa do II das especificações de serviço do DNIT, que geralmente são usadas para vias urbanas, residenciais e aeroportos, não sendo recomendada quando apenas uma camada é aplicada sobre rodovias de tráfego intenso e áreas onde a amplitude térmica é intensa.

Os resultados apresentados auxiliam na determinação da quantidade máxima de resíduo de minério de ferro que pode ser adicionada como agregado em misturas de microrrevestimento, tendo sido analisados dados do enquadramento granulométrico e ensaios de comportamento da mistura.

A quantidade adicionada de resíduo de minério de ferro em diferentes proporções estudadas no laboratório tem um efeito significativo nos resultados da coesão modificada. Por outro lado, nos ensaios WTAT e LWT não tem efeitos significantes.

É muito importante destacar que os resultados deste estudo só são válidos para os materiais empregados no trabalho apresentado neste artigo. Ao se utilizar diferenças de material, a emulsão asfáltica pode ter diferentes reações a depender da composição físico-química do agregado, resultando em variações de comportamento embora os diferentes valores dos teores usados sejam comumente usados em teores e quantidades que dão ótimos resultados em misturas de microrrevestimento a frio.

7 • CONCLUSÕES

O principal objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade técnica da utilização do resíduo de minério de ferro em misturas de microrrevestimento com os parâmetros ISSA e NBR. As especificações de serviço balizaram a determinação e verificação da influência do resíduo em diferentes proporções com agregados naturais (pó-de-pedra) nas diferentes misturas de microrrevestimento.

A incorporação do resíduo foi avaliada mediante resultados obtidos em laboratório, podendo-se concluir que o resíduo pode ser adicionado de 0 a 20 % em substituição de agregados naturais. Procurou-se, principalmente, maximizar a adição do resíduo de minério de ferro a uma proporção de 20% de resíduo de ferro e 80 % de agregado natural, respeitando limites e especificações das normas.

Este estudo indica a possibilidade de se preparar misturas de microrrevestimento usando agregados alternativos, tal como o resíduo de beneficiamento do minério de ferro. Estabeleceu-se um limite aconselhável de 20% de resíduos para adição às misturas, ou seja, uma investigação inicial que fornece uma base para futuras pesquisas na área de microrrevestimentos com incorporação de rejeitos industriais.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho, ao laboratório de BR Distribuidora Petrobras, ao laboratório de pavimentos da COPPE/UFRJ e à empresa Samarco por fornecer matéria-prima para esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR12007. Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro 2004.
- IPR: Instituto de Pesquisas rodoviárias DNER ME 084/95 Agregado miúdo - determinação da densidade real p.01/03.
- IPR: Instituto de Pesquisas rodoviárias DNER ME 083/98 Agregados - análise granulométrica p.01/05.

- IPR: Instituto de Pesquisas rodoviárias DNER ME 054/97 Equivalente de areia p.01/10.
- IPR: Instituto de Pesquisas rodoviárias DNER ME 089/94 Agregado - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio p.01/06.
- IPR: Instituto de Pesquisas rodoviárias DNER ME 035/98 Agregados - determinação da Abrasão Los Angeles p.01/06.
- IBRAM: instituto brasileiro de mineração Informações e análises da economia brasileira 7ª Edição (2012) p 34/39.
- Rocks A. e Magela. M. (2009) geoparque Quadrilátero ferrífero MG) www.cprm.gov.br/publique/media/quadrilatero.Vol.1p187-192.
- ROBATI, M. Evaluation of a Modification of Current Micro - Surfacing Mix Design Procedures. The international journal of pavement Engineering and asphalt technology PEAT ISSN 1464-8164 vol.: 14 p.11-35. Montreal. Quebec, 2012.
- Fernandes, B. & D. J. Sykes. 1968. Capacidade de campo e a retenção de água em três solos de Minas Gerais. Rev. Ceres, 15 (1):
- Bezerra. M e Alves S.(2002) CETEM; Centro de Tecnologia Mineral Ferro - Mina Mariana - Samarco, comunicação Técnica elaborada para o beneficiamento de Minérios de Brasil CT2002-185-00.p 01-02.
- Pedreira, R.L. (2005) reaproveitamento do resíduo de areia verde como agregado em misturas asfálticas, Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis 12 CONAF - Congresso de fundição - São Paulo - SP 10 p.
- Gonçalves, R.O.S. (2010) estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduo industrial de minério de ferro, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotécnica, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas UFOP - Ouro Preto, 183 p.
- Pinho, J.M.R. (2008) Definição da tipologia e caracterização mineralógica e micro estrutural dos itabiritos angbiolitos das Minas de Alegria da Samarco Mineração S.A-Minas Gerais, Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotécnica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas Universidade de Federal de Minas Gerais, 66-75 p. 📌



ESTUDO DA PERMEABILIDADE HIDRÁULICA DE SOLOS UTILIZANDO PERMEÂMETRO CONVENCIONAL E PERMEÂMETRO DE PVC

*Magayve dos Santos Lima¹
Ana Carolina da Cruz Reis²*

¹ Unidade de Ensino Superior Dom Bosco - São Luís - MA.
maga_yve@hotmail.com.

² Unidade de Ensino Superior Dom Bosco - São Luís - MA.
Mestra em Engenharia de Transportes-Infraestrutura.
anakkrol@hotmail.com

RESUMO

A permeabilidade consiste em uma propriedade do solo a qual permite o escoamento da água em suas diversas estratigrafias. Desta forma, a presente pesquisa tem como objetivo analisar duas amostras de solo arenoso em um permeâmetro convencional de carga constante, e nas mesmas condições físicas, comparar os resultados com um permeâmetro desenvolvido em PVC confeccionado com materiais de baixo custo. A metodologia utilizada no desenvolvimento do equipamento alternativo foi dividida em três fases: A, B e C, onde a fase A consiste em uma torre que fornece constantemente água para a fase B, a qual determina permeabilidade do solo e na fase C acontece a medição dos níveis de água. Foram analisadas amostras compactadas com 12 e 26 golpes (energia proctor normal e intermediária, respectivamente). O permeâmetro em PVC possui 100mm de diâmetro, com torre para queda d'água disposta a uma altura de 1,5m do chão, auxiliada por um suporte de aço. O permeâmetro propriamente dito (fase B) possui altura aproximada de 46cm, a 15cm do chão. A água é conduzida de uma fase a outra por mangueiras transparentes de 10mm. A sessão de percolação da água é de 78,5cm². Para cada ensaio foram medidos cinco resultados diferentes de volumes percolados em um tempo de 60 segundos. Por outro lado, para qualificar os resultados do equipamento alternativo foram realizados ensaios no permeâmetro convencional para comparação de valores. O permeâmetro convencional possui um custo relativamente alto quando comparado com o orçamento gasto para confecção do permeâmetro alternativo. No permeâmetro convencional, o CP também foi submetido a energias de compactação para ser analisada a permeabilidade do solo. Os resultados apresentaram pouca variação em relação ao equipamento desenvolvido. Concluiu-se que o permeâmetro de PVC tem como principal característica a utilização de materiais acessíveis e de baixo custo utilizados na construção civil.

Palavras-chave: Permeabilidade dos solos, Permeâmetro de PVC, Solos arenosos.

ABSTRACT

Permeability consists of a soil property which allows the flow of water in its various stratigraphies. Thus, this research aims to analyze two samples of sandy soil in a conventional permeameter of constant load, and in the same physical condition, compare the results with a permeameter developed PVC made with inexpensive materials. The methodology used in the development of alternative equipment was divided into three phases: A, B and C, where phase A consists in a tower that provides constant water phase B, which determines the soil permeability and in step C the measurement happens water levels. Samples were analyzed packed with 24:26 strokes (normal proctor energy and intermediate, respectively). The permeameter PVC has 100mm diameter with down tower for water arranged at a height of 1.5m from the ground, aided by a steel backing. The permeameter itself (phase B) has an approximate height of 46cm, 15cm from the ground. The water is conducted from one phase to another by transparent hoses 10mm. The session percolation water is 78,5cm². For each assay results were measured five different volumes of leachate in a time of 60 seconds. On the other hand, to describe the results of alternative equipment tests were carried out in the conventional permeameter to compare values. The conventional permeameter has a relatively high cost compared with the expense budget for making the alternate permeameter. In the conventional permeameter, CP, too, was subjected to compression energy to be analyzed permeability. The results showed little change from the developed equipment. It was concluded that the PVC permeameter main characteristic is the use of accessible materials of low cost and used in construction.

Keywords: Permeability of soils, PVC permeameter method, sandy soils

1 • INTRODUÇÃO

A permeabilidade consiste em uma propriedade característica do solo de permitir a facilidade ou não da passagem de água por seus poros. Grande parte do estudo de permeabilidade de solos é realizada em laboratórios, onde as amostras são coletadas em campo e analisadas conforme a necessidade de projeto.

O ensaio de permeabilidade é bastante simples e os melhores permeômetros são importados a custos elevados. Contudo, há condições de desenvolver este equipamento com materiais acessíveis e de baixo custo no mercado devido a sua fácil estruturação. Esta pesquisa consistiu em confeccionar tal equipamento alternativo que respondeu com a mesma eficiência de um permeômetro convencional. O presente estudo está embasado na construção de um permeômetro utilizando materiais de PVC (Policloreto de Vinila), encontrados em abundância na construção civil. O permeômetro alternativo será comparado às medidas propostas por um permeômetro convencional. Todos os parâmetros de estudo estão preconizados pela NBR 13292/95 que determina o coeficiente de permeabilidade hidráulica em areias em permeômetros de carga constante. A aquisição de um permeômetro convencional ou desenvolvido com um alto nível técnico tem custo relativamente elevado. As cotações e estudos de preços do modelo convencional no mercado apresentaram-se em torno de R\$ 2.000,00 a R\$ 2.500,00, conforme cotação realizada na Empresa Contenco Indústria e Comércio LTDA – CIC Ltda., de número 43743/06.

O permeômetro desenvolvido neste trabalho foi confeccionado com materiais mais acessíveis e de menor custo no mercado e apresenta resultados dentro de um padrão considerável. O permeômetro é do tipo carga constante, voltado para solos arenosos, segundo a NBR 13292/95. O equipamento é constituído de tubos em PVC de 100mm e de mangueiras de 10mm. O recipiente A denominado de torre d'água, ilustrado na Figura 7, possui uma coluna d'água que alimenta o recipiente B, tem em sua saída uma torneira reguladora de pressão, com intuito de controlar a vazão que precisa alimentar a lâmina d'água contida no recipiente B, para manter a constância de água na amostra. No recipiente B, existem três saídas, sendo duas para controle do nível d'água, que está graduado por uma régua em alumínio, e uma para determinar a percolação de água em segundos.

2 • PERMEABILIDADE DOS SOLOS

A permeabilidade consiste na propriedade de um material de transmitir fluidos por si mesmo. Nos solos não é diferente, o reconhecimento dessa propriedade possibilita conceber projetos geotécnicos mais baratos e estimar variáveis como o adensamento, obter informações do nível dos lençóis freáticos, prever o nível de recalque que pode ocorrer em uma construção. A porosidade está intimamente ligada ao nível de permeabilidade de um solo. Se há um determinado solo com granulometria reduzida, ou seja, com grãos muito pequenos, implica dizer que o coeficiente de permeabilidade deste solo encontra-se reduzido. Quanto maiores os grãos de um solo, maior será sua permeabilidade e quanto menor o grão maior dificuldade terá a água de atravessar este solo, ou seja, menor será sua permeabilidade. A condutividade hidráulica dos solos foi estabelecida por um engenheiro francês, Henry Darcy. Em seus estudos, por volta de 1856, correlacionou o coeficiente de permeabilidade com a vazão em seu determinado tempo, expressa pela equação 1:

$$Q=KhLA \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão (cm³/s ou m³/s)

K = Constante para cada solo, que recebe o nome de Coeficiente de permeabilidade (cm/s ou m/s)

h = Altura da coluna d'água (cm ou m)

L = Comprimento do Corpo de Prova (cm ou m)

A = Área do Permeômetro (cm² ou m²)

A permeabilidade hidráulica, expressa pelo “k” da equação de Darcy, é determinada totalmente por processos laboratoriais. Uma quantidade de carga d'água é submetida à passagem por um corpo de prova de Tamanho “L”. Este corpo de prova está dentro do permeômetro de seção “A”, que está sob uma coluna de carga “h”. Segundo, Dourado (2003):

O coeficiente k é uma variável interdependente do meio poroso e do fluido que percola este meio. Isto significa que ao percolar o mesmo meio poroso com fluidos que

tenham densidade e viscosidade diferentes, encontra-se a k diferentes. Da mesma forma, a percolação de um mesmo fluido, sob mesmas condições, por dois meios porosos diferentes, também conduzirá a diferentes k .

A relação h/L representada pela coluna de carga d'água (h) e comprimento de amostra (L) é denominada gradiente hidráulico, expresso pela letra i . Dessa forma, a lei de Darcy assume o seguinte formato (equação 2):

$$Q = k i A \quad (2)$$

Onde:

Q = Vazão (cm^3/s ou m^3/s)

K = Coeficiente de permeabilidade (cm/s ou m/s)

i = Gradiente hidráulico (adimensional)

A = Área do Permeâmetro (cm^2 ou m^2)

O gradiente hidráulico (i) também pode ser calculado pela fórmula da equação 3:

$$i = \frac{h_i - h_f}{L} \quad (3)$$

Onde:

h_i = Coluna d'água superior (cm ou m)

h_f = Coluna d'água inferior (cm ou m)

L = Comprimento da amostra (cm ou m)

O coeficiente de permeabilidade hidráulica é um valor muito baixo, expresso pelo produto de um número inferior a 10 por uma potência de base 10. Sua unidade é costumeiramente lida metros por segundo (m/s) ou centímetros por segundo (cm/s). A característica do coeficiente hidráulico está moldada de duas formas bastante lógicas. A primeira, pelo tipo de fluido que se encontra em passagem pela malha de solo, e isso está intrinsecamente ligado à viscosidade do fluido. A segunda, pela própria malha do solo, no que diz respeito à arrumação das partículas e granulometria. São considerados solos com boa drenagem, ou drenagem livre, aqueles solos com valor de permeabilidade (k) acima de $1 \text{ cm}/\text{s}$, ou seja, todas aquelas partículas que possuem grãos maiores que 2mm . Em contrapartida,

os solos considerados impermeáveis possuem grãos menores que $0,002\text{mm}$.

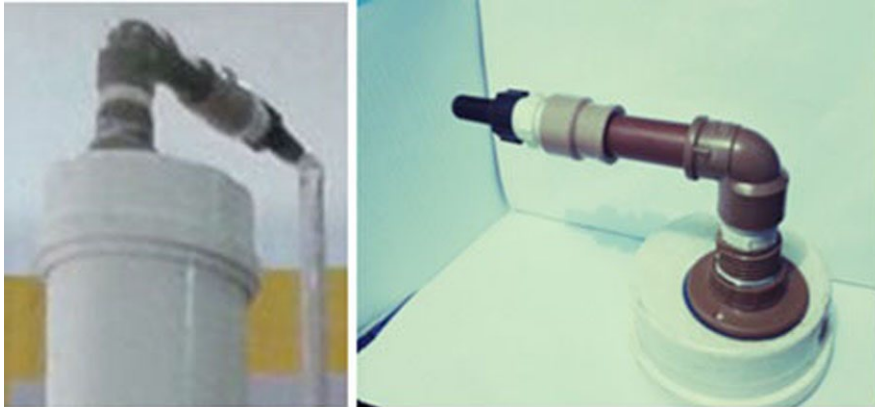
2.1 • Viabilidade Técnica no Desenvolvimento de um Permeâmetro em PVC

Um projeto de permeabilidade possibilita uma obra mais econômica e eficiente. A presente pesquisa determinou a condutividade hidráulica dos solos de maneira eficiente e barata, obedecendo a parâmetros básicos preconizados pela NBR 13929/95, que relata sobre a determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a uma carga constante. O equipamento pode obter resultados tanto para amostras deformadas como para indeformadas, sendo portátil e fácil de montar. É de suma importância ressaltar que as amostras precisam ser analisadas de tal forma que estejam o mais próximo de suas condições em campo. O permeâmetro desenvolvido neste trabalho é constituído, principalmente, de tubos e conectivos em PVC. Para melhor entendimento dividiu-se o equipamento basicamente em três fases: A, B e C.

Fase A

Neste primeiro momento, a água é armazenada em uma coluna d'água estruturada com um tubo em PVC de 100mm e 1m de altura. Deste modo, a água é concentrada com o objetivo de fornecer constância no fornecimento de água para a próxima fase, e diminuir as chances de golpes de águas sobre a amostra. O recipiente é auxiliado por torneira externa ao sistema para seu abastecimento, sendo a água conduzida por uma mangueira transparente de 10mm . Para receber a água houve a utilização de artifícios entre conectivos e canos de 20mm em PVC, conforme figura 1. Foram utilizados: luva soldável com rosca de 20mm , joelho de 90° de 20mm , adaptador para caixa d'água 20mm , 10cm de cano de 20mm , bico de uma torneira de jardim e dois nípeis roscáveis para canos de 20mm . Todos estes elementos estão fixos em um Caps para cano de 100mm .

Figura 1 - Ilustração do conectivo de recepção da torre d'água.



Fonte: Fotografia produzida pelo autor.

Na saída da torre d'água estão outros conectivos com a mesma dimensão dos mencionados. Contudo, a diferença está na ausência do joelho, no uso de uma torneira de jardim para regular a passagem de água para o recipiente B e de apenas um nípel roscável. É importante ressaltar que esta torre estará no mínimo a um metro do chão, sob um suporte de aço.

Figura 2 - Ilustração do conectivo de saída da torre d'água.



Fonte: Fotografia produzida pelo autor.

Fase B

Esta fase corresponde ao permeâmetro propriamente dito, onde a amostra está dentro de um cano em PVC de 100mm de 48cm de altura. O corpo de prova ocupa um espaço de 28cm, havendo uma coluna de 5 a 6cm de brita 0, para manter a passagem da água de forma constante na amostra ao evitar o entupimento das aberturas de leitura de nível de água e da medição da percolação da água.

Todo o processo de determinação de permeabilidade acontece nesta fase, onde a água percola por todo o corpo de prova e a água percolada será medida em tempos de 60 segundos. Os níveis de água são medidos por duas saídas onde se encontram as camadas porosas de brita 0, a primeira saída medindo o h_i (altura da coluna d'água ao entrar no permeâmetro) e a segunda, a saída o h_f (altura da coluna d'água ao sair do permeâmetro), conforme a Figura 3.

Figura 3 – Permeâmetro convencional.

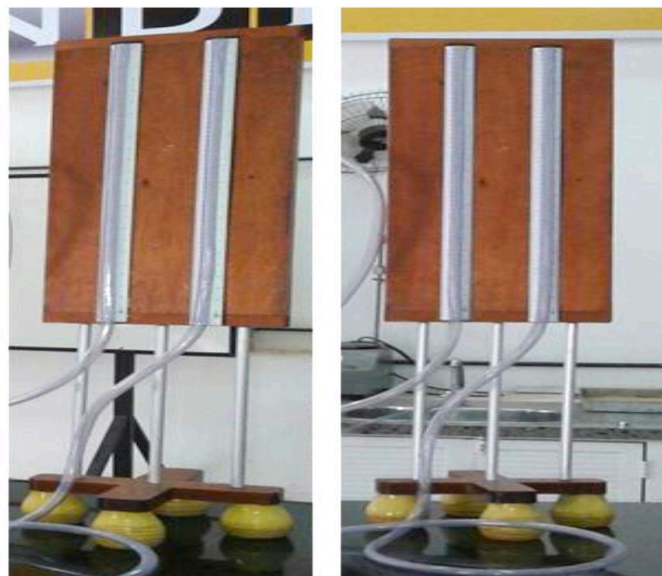


Fonte: Fotografia produzida pelo autor.

Fase C

No terceiro momento está a fase de medir o nível d'água. Para a confecção desta fase houve a necessidade de criar uma estante, onde estivessem duas régua graduadas em centímetros em que nelas fosse fixada a mangueira de 10mm proveniente dos orifícios de saída de níveis do permeâmetro. Esta estante foi apoiada por três hastes de alumínio cravadas em uma base no formato de cruz, ilustradas na Figura 4.

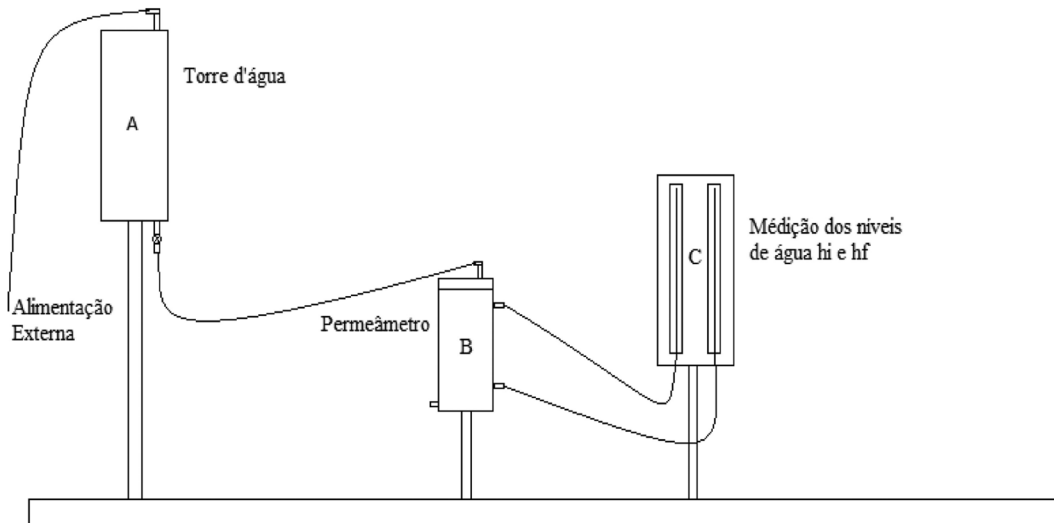
Figura 4 - Medidor de nível.



Fonte: Fotografia produzida pelo autor.

O recipiente A, como apresentado na Figura 1, possui em sua saída uma torneira reguladora de pressão, para controlar a vazão de alimentação da lâmina d'água contida no recipiente B. Os outros dois pontos de saída correspondem à medição da altura de coluna d'água que corresponde ao h_i e ao h_f (essas camadas coletam água da camada de brita que se encontra no permeâmetro). Lembrando que existe a saída de percolação de água, onde está o ponto de medição nos experimentos. A Figura 5 detalha o croqui do sistema.

Figura 5 - Croqui do sistema que incorpora o permeâmetro convencional.



Fonte: Croqui elaborado pelo autor.

O permeâmetro alternativo é o do tipo 1, como estabelecido na NBR 13292/95, com diâmetro confeccionado de acordo com os parâmetros preconizados pela norma, conforme Tabela 1. De acordo com os parâmetros, houve uma retenção na peneira de 2mm menor que 35% e, ainda conforme a norma, o diâmetro mínimo a ser utilizado seria de 80mm, porém para o estudo foi adaptado um diâmetro de 100mm, correspondente a um tubo em PVC.

Tabela 1 - Diâmetro interno de um permeâmetro, preconizado pela NBR 13292/95.

Dimensões dos Maiores Grãos presentes na amostra (mm) Peneira de	Diâmetro Interno do Permeâmetro (mm)			
	Menos que 35% retidos na Peneira de		Mais que 35% retidos na Peneira de	
	2 mm	9,5 mm	2 mm	9,5 mm
Inferior a 9,5	80	-	120	-
Entre 9,5 e 19	-	150	-	230

Fonte: NBR 13292/95.

O permeâmetro proposto é um equipamento fácil de construir com componentes encontrados no comércio de construção civil. O equipamento consiste na disposição básica de mangueiras transparentes de cristal, de uma haste e de cilindros de PVC. O permeâmetro recebe carga d'água externa ao sistema, por torneira ou por capilaridade de algum recipiente/tanque, que alimenta um reservatório, alcançando determinado volume de água com fornecimento constante, de modo a não interferir na carga d'água, tornando-a constante.

Ainda no sistema, o cilindro que contém a amostra recebe uma carga constante de água onde a amostra sofre uma percolação constante ou laminar, essencial para medir a condutividade hidráulica do solo. É de suma importância ressaltar o ponto de controle da coluna d'água, essencial para a saturação completa na superfície da amostra. A amostra está entre duas pedras porosas ou material filtrante dentro do cilindro de PVC, que, além de servir de apoio, permite a passagem da água gradativamente pelos poros. O escoamento fica limitado em um suporte que colhe toda a água drenada pela amostra. (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Análise comparativa entre permeabilidade e granulometria.

Coefficiente de permeabilidade (k) x Granulometria

Diâmetro (mm)	Argila		Silte			Areia		Pedregulho			
	fino	grosso	fino	médio	grosso	fina	média	grossa	fino	médio	grosso
0,002	10^{-10}										
0,006	10^{-7}										
0,02		10^{-6}									
0,06			10^{-4}								
0,2				10^{-3}							
0,6							10^{-1}				
2,0								1			
6,0											
20,0											10^2

Fonte: Cunha (2013).

O Gráfico 1 mostra o grau de permeabilidade dos solos correlacionado aos seus diferentes tipos de granulometria. É notório que, quanto menor o diâmetro da partícula de solo, menor será sua permeabilidade e, quanto maior o diâmetro, maior sua permeabilidade.

3 • MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 • Caracterização Física da Amostra

Nas amostras foram realizados os ensaios de caracterização física: densidade e granulometria da amostra. Para a densidade foi feito o ensaio de densidade da areia, aparente e real. A densidade aparente possui uma grande relação com o grau granulométrico do solo, bem como o seu grau de compactação. Para o ensaio de densidade aparente do solo foi utilizado um recipiente cilíndrico.

O volume do cilindro corresponde ao valor de $3,2214724\text{cm}^3$, tendo uma altura L de 17,8cm e um diâmetro aproximado de 151,8mm. A amostra sofreu um processo de descanso em bandeja durante um dia, para secagem. Foi utilizada a equação 4 para o cálculo da densidade.

$$d = mV \quad (4)$$

Onde:

m = Massa do solo (kg)

v = Volume (cm³ ou m³)

d = Densidade (kg/cm³ ou kg/m³)

Após o processo de descanso do solo, a amostra passou pelo processo de destorroamento, que consiste em amenizar a presença de pequenos agregados de areia, homogeneizando o processo. Para o cálculo da densidade foi preenchido o cilindro totalmente e finalizando com o arrasamento.

É de suma importância entender que os ensaios de caracterização em geral são bastante sensíveis, ou seja, requerem bastante cuidado para obtenção de um bom resultado experimental. De acordo com Pinto (2006):

A primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas que os compõem. Numa primeira aproximação, pode-se identificar que alguns solos possuem grãos perceptíveis a olho nu, como os grãos de pedregulho ou a areia do mar, e que outros têm os grãos tão finos que, quando molhados, se transformam numa pasta (barro), e não se podem visualizar as partículas individualmente.

A densidade real é medida com o auxílio do frasco de Chapman. O frasco de Chapman é preenchido com água até a escala de 200ml. Após isso foram colocados 500g de areia no frasco. Este processo é feito com muita cautela para que não haja índices de vazios na amostra. Por isso é feita uma leve agitação do frasco. O cálculo de densidade real está conforme a equação 5.

$$d = \frac{m}{L_f - L_i} \quad (5)$$

Onde:

m = Massa (kg)

L_f = Volume final (cm³ ou m³)

L_i = Volume inicial (cm³ ou m³)

O cálculo de densidade real apresentou um valor dado em g/cm³. Ocorreu apenas um ensaio, pois a quantidade de solo e de água colocada no frasco de Chapman é a mesma. Na Tabela 2 são apresentados os valores da densidade real:

Tabela 2 - Tabela de massas com suas respectivas densidades.

Densidade aparente do solo	
Massa (kg)	Densidade kg/cm ³
4,975	1,544
5,040	1,564
5,55	1,612
Valor Médio	1,573

Fonte: Tabela produzida pelo autor.

Ensaio Granulométrico é um ensaio de caracterização bastante importante nos estudos geotécnicos, o qual separa o percentual de grão nas devidas peneiras determinando assim os tamanhos das partículas em uma determinada amostra. A princípio para análise granulométrica é feito o processo de preparação do solo, conforme preconizado na NBR 6457/1986.

Após a coleta do solo nas respectivas jazidas, o solo sofre um processo de descanso (secagem prévia do solo) para obtenção da umidade higroscópica, logo após ocorre o processo de destorroamento, ou seja, o processo onde ocorre a quebra em pedaços menores do solo, consistindo em destorroar ou deixar o solo mais homogêneo com o auxílio do pistilo e do almofariz. Após o processo de destorroamento é feito o quarteamento do solo dividindo toda a amostra em quatro partes.

Após o quarteamento, foi utilizado $\frac{1}{4}$ desse solo e pesados 500g para o processo de peneiramento, lembrando que o solo precisa está seco para este ensaio. Foram utilizadas as peneiras de peneiramento fino, uma vez que se trata de solo arenoso. As peneiras utilizadas foram: #10 (2mm), #40 (0,42mm), #80 (0,18mm), #200 (0,074mm). Depois da pesagem e de sobrepor as peneiras, foi feito o peneiramento, chegando-se aos resultados apresentados na Tabela 3.

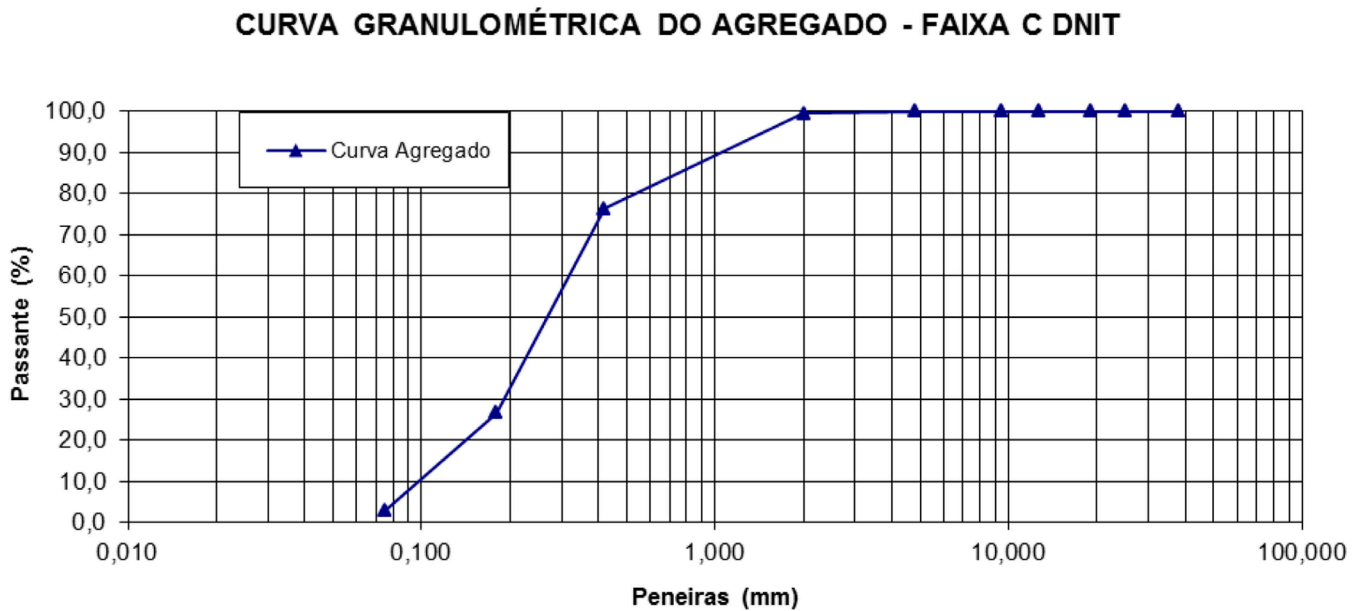
Tabela 3 - Resultado do ensaio de granulometria.

Tabela granulométrica de solo arenoso				
Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	Fração retida (%)	Fração Passante (%)
10	2	2,5	0,5	99,5
40	0,42	116	23,2	76,3
80	0,18	248,5	49,7	26,6
200	0,074	119	23,8	2,8
Fundo	-	14	2,8	0
Total	-	500	100	-

Fonte: Tabela produzida pelo autor.

A partir da disponibilidade dos valores na Tabela 3, foi elaborado o gráfico granulométrico (Gráfico 2), que permite correlacionar em qualquer ponto da curva a sua devida fração passante com a abertura da peneira.

Gráfico 2 - Curva granulométrica da amostra.



Fonte: Gráfico produzido pelo autor.

3.2 • Permeabilidade Medida com Permeâmetro Convencional

O ensaio com o permeâmetro convencional foi realizado no laboratório da empresa Geocret Engenharia e Tecnologia Ltda, localizado em São Luís – MA. O equipamento possui sua constituição de aço e apresenta, aproximadamente, altura de 20cm com diâmetro de 15,2cm, o que corresponde a uma sessão de 181,37cm². Toda a amostra, antes da realização do teste, passou pela peneira de abertura 4,8mm, que, pela representação da ASTM, corresponde à peneira #4.

A amostra variou em seu comprimento (L) de 15cm a 16cm. Os ensaios foram subdivididos em quatro fases, e cada fase com cinco resultados diferentes de volumes percolados em um tempo de 60 segundos. Em consequência, houve ensaios com corpo de prova compactado com 12 golpes e 26 golpes. O CP foi submetido a energias de compactação para ser estudado o comportamento do solo, no entanto, os resultados tiveram pouca variação em relação aos experimentos no permeâmetro convencional. Após os testes foram obtidos os seguintes resultados:

3.3 • Permeabilidade Medida com Permeâmetro de PVC

O equipamento em estudo é constituído de uma torre para queda d'água e outra para determinar a permeabilidade do solo, ambos de 100mm de diâmetro. A torre para queda d'água possui altura aproximada de 1m disposta a 1,5m do chão, auxiliada por um suporte de aço. O permeâmetro propriamente dito possui altura aproximada de 46cm e disponibilizado a 15cm do chão, também por um suporte em aço (Figura 2). Toda a água é conduzida por mangueira transparente de 10mm. A sessão de percolação da água é de 78,5cm². Toda a amostra antes da realização do teste passou pela peneira de abertura 4,8mm, que corresponde à peneira #4.

Figura 6 - Ensaio com permeâmetro alternativo laboratório UNDB.



Fonte: Fotografia produzida pelo autor.

4 • RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio com permeâmetro em PVC foi realizado no laboratório da Unidade de Ensino Superior Dom Bosco-UNDB, São Luís – MA. O equipamento é característico por ser constituído em sua grande parte por PVC. Foram obtidos valores favoráveis e dentro do padrão determinado para solos arenosos. Vale ressaltar que o trabalho publicado por Yago V. A. Poletti; Ana L. B. Hurtado, no 7º Foro Científico Estudantil do Instituto Superior Tupy (2013), onde as análises de permeabilidade foram obtidas com sucesso, porém o aparelho alternativo proposto neste trabalho apresentou várias versatilidades na montagem, evidenciando problemas de pressão, o que neste trabalho foi amenizado com a utilização de graxa no caps do aparelho. O trabalho Yago e Ana era construído de maneira totalmente diferente ao proposto neste trabalho.

4.1 • Permeâmetro Convencional

a) Para Ensaio com 12 Golpes

Para o ensaio da amostra compactada com 12 golpes, o comprimento “L” foi medido e adotado o valor de 15,5cm em temperatura ambiente, uma vez que para todos os ensaios a área de sessão é a mesma. A Tabela 4 apresenta os resultados para o ensaio de permeabilidade com energia de compactação de 12 golpes.

Os valores de h_i foram da ordem de 26,2cm e 28,9cm, enquanto os valores de h_f variaram de 5,5cm a 5,9cm, todos realizados com 60 segundos. Os valores do coeficiente de permeabilidade foram entre $1,3 \times 10^{-3}$ a $1,5 \times 10^{-3}$, dando uma média de $1,4 \times 10^{-3}$.

Tabela 4. Ensaio de permeabilidade com energia de compactação de 12 golpes.

Ensaio com permeâmetro Convencional (Carga Constante)				12 Golpes
Item	hi	Hf	i.A	k
1	26,20	5,50	242,2119	0,001301
2	28,50	5,60	267,9542	0,001356
3	28,40	5,70	265,614	0,00138
4	28,90	5,90	269,1243	0,001437
5	27,50	5,70	255,0831	0,001535
Media K				0,001402

Fonte: Tabela produzida pelo autor.

b) Para Ensaio com 26 Golpes

Para o ensaio com a amostra compactada com 26 golpes, o comprimento “L” do CP foi medido com 15cm em 25° C temperatura ambiente e sessão de 181,37cm². A Tabela 5 apresenta os resultados para o ensaio com energia de compactação de 26 golpes.

Os valores de hi foram da ordem de 26,0cm e 29,5cm, enquanto os valores de hf variaram de 7,5cm a 9,5cm todos realizados com 60 segundos. Os valores do coeficiente de permeabilidade foram entre $1,3 \times 10^{-3}$ a $1,5 \times 10^{-3}$, dando uma média de $1,4 \times 10^{-3}$.

Tabela 5 - Ensaio de permeabilidade com energia de compactação de 26 golpes.

Ensaio com permeâmetro Convencional (Carga Constante)				26 Golpes
Item	hi	Hf	i.A	k
1	26,00	9,50	199,503	0,001504
2	28,00	8,00	241,8219	0,001447
3	29,50	9,00	247,8674	0,001392
4	29,50	9,50	241,8219	0,001447
5	28,00	7,50	247,8674	0,001446
Média k				0,001447

Fonte: Tabela produzida pelo autor.

4.2 • Permeabilidade Medida com Permeâmetro Alternativo

A amostra variou em seu comprimento (L) de 24,5cm a 25,5cm. Assim como nos ensaios com o permeâmetro convencional, os testes foram subdivididos em quatro fases e cada fase com cinco resultados diferentes de volumes percolados em um tempo de 60 segundos. Houve também ensaios com o corpo de prova compactado com 12 golpes e 26 golpes. O CP foi submetido a energias de compactação para ser analisado o comportamento do solo, obtendo os resultados apresentados nos itens a e b:

a) Para Ensaio com 12 Golpes

Para o ensaio com corpo de prova compactado com 12 golpes, o comprimento “L” teve medição de 25cm em temperatura ambiente, uma vez que para todos os ensaios a área de sessão é a mesma. A Tabela 6 apresenta os resultados para o ensaio com energia de compactação de 12 golpes.

Os valores de h_i foram da ordem de 16,00cm e 25,00cm, enquanto os valores de h_f variaram de 2,00cm a 7,50cm, todos realizados com 60 segundos. Os valores do coeficiente de permeabilidade foram entre $8,7 \times 10^{-3}$ a $1,16 \times 10^{-2}$, dando uma média de $9,8 \times 10^{-3}$.

Tabela 6 - Ensaio de permeabilidade com energia de compactação de 12 golpes.

Ensaio com permeâmetro Alternativo (Carga Constante)				12 Golpes
Item	h_i	H_f	i.A	k
1	16,00	2,00	43,96	0,009478
2	25,00	7,50	54,95	0,009706
3	23,50	6,50	53,38	0,008742
4	22,00	6,00	50,24	0,011611
5	17,00	3,00	43,96	0,009478
Média k				0,009803

Fonte: Tabela produzida pelo autor.

b) Para ensaio com 26 golpes

O ensaio utilizando amostra com CP compactado a 26 golpes apresentou o comprimento “L” do CP medido com 24,5cm em 25° C, com sessão de 78,5 cm². A Tabela 7 apresenta os resultados para o ensaio com energia de compactação de 26 golpes. Os valores de h_i foram da ordem de 17,00cm e 22,00cm, enquanto os valores de h_f variaram de 2,50cm a 5,50cm, todos realizados com 60 segundos. Os valores do coeficiente de permeabilidade foram entre $1,1 \times 10^{-2}$ à $1,4 \times 10^{-2}$, dando uma média de $1,3 \times 10^{-2}$.

Tabela 7 - Ensaio de permeabilidade com energia de compactação de 26 golpes.

Ensaio com permeâmetro Alternativo (Carga Constante)				26 Golpes
Item	hi	Hf	i.A	k
1	17,50	2,50	48,06122	0,013524
2	17,00	3,00	44,85714	0,014862
3	19,50	4,50	48,06122	0,013178
4	22,00	5,50	52,86735	0,01198
5	21,00	4,50	52,86735	0,012295
Média k				0,013168

Fonte: Tabela produzida pelo autor.

5 • CONCLUSÃO

Os ensaios da permeabilidade em solos são um processo bastante criterioso e cheio de cautela, pois qualquer falha pode afetar diretamente os resultados. Este trabalho corresponde ao desenvolvimento e análise de permeabilidade em um solo arenoso mediante permeâmetro de carga constante, construído de PVC. Para embasar o seu desempenho foram realizados paralelamente ensaios em um permeâmetro convencional no laboratório da Geocret Engenharia e Tecnologia Ltda, tendo assim resultados para serem comparados com os resultados do equipamento em estudo.

De acordo com as bibliografias, as areias possuem um coeficiente de permeabilidade (k) variando entre 10^{-1} a 10^{-3} cm/s. Os resultados encontrados e apresentados foram altamente satisfatórios uma vez que se enquadram na faixa desejada para o índice de permeabilidade. O coeficiente de permeabilidade para o permeâmetro convencional variou entre $1,402 \times 10^{-3}$ a $1,447 \times 10^{-3}$ cm/s, conforme esperado. Por outro lado, o permeâmetro alternativo teve coeficiente de permeabilidade variando entre $9,8 \times 10^{-3}$ a $1,3168 \times 10^{-2}$ cm/s. Houve uma pequena variação entre ambos, porém os resultados, ainda assim, encontram favoráveis para a permeabilidade em solos granulares.

O permeâmetro alternativo apresentou resultados satisfatórios, porém possui algumas peculiaridades que precisam ser melhoradas no que diz respeito à execução dos ensaios. A água ao entrar no equipamento produz certa pressão, que faz o caps do aparelho se deslocar para cima, e cria pequenos vazamentos de água. Para amenizar o problema foi utilizada borracha colada ao redor do encaixe do caps/permeâmetro, o que diminuiu o nível de gotejos significativamente. Porém, no momento de desmonte do aparelho, houve dificuldade devido à borracha ter criado aderência com a pressão. Para resolver este outro problema, foi utilizada graxa para retirar o Caps com auxílio de ferramentas para desprendê-lo.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13292: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR645: Amostras de solo – preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ALMEIDA, Carvalho P. Gil. Caracterização Física e Classificação dos Solos. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais. 2005 p 145.
- AMANCO. Impactos generados por el uso de polietileno de alta densidad, polipropileno e PVC. Bogotá, 2001.
- BARBASSA. A Paceli; JUNIOR. C. X. Oliveira; GUTIERREZ. Lorena Avelina Rojas e LUCAS. Alessandro Hirata. Coeficiente de Permeabilidade em Ensaio de Poço invertido: Efeito do tempo de umedecimento prévio e métodos de cálculo. São Paulo
- BRUNETTI, Franco. Mecânica dos fluidos. São Paulo: Pearson, 2005. 410 p.
- CUNHA. CARLOS EDSON. Mecânica dos solos. Disponível em: < <http://pt.slideshare.net/mackenzista2/mec-solos-1-a-6-reparado> >. Acessado em: 23/11/2015.
- DOURADO, KLEBER AZEVEDO. Condutividade Hidráulica de materiais de baixa permeabilidade: Desenvolvimento, construção e teste de um sistema de media. São Carlos, São Paulo, 2003.
- FILHO, Francisco. Q. P. Um novo aparelho para medição da condutividade hidráulica em amostras de solo não deformado. Rio Grande do Norte: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1990.
- POLETTI. Yago V. A, Hurtado. Ana L.B. Desenvolvimento de um permeômetro de carga constante utilizando materiais de baixo custo. Curitiba, 2013.
- POTTER, Merle C.; WIGGERT, D. C.; HONDZO, Midhat. Mecânica dos fluidos. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 688 p
- PINTO. Carlos Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3ª edição. São Paulo: Oficina de Textos. 2006
- RODRIGUES. J; LUIZ. Eduardo Miranda. Escoamento Laminar e Turbulento. Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia – IFMA, São Paulo. p 302. 📌

Participe do principal evento de
pavimentação urbana do país.

**20^a
RPU
2017** 28 a 30
de junho
Reunião de Pavimentação Urbana
CentroSul - Florianópolis/SC

Florianópolis, a bela capital catarinense, será palco da
20^a Reunião de Pavimentação Urbana que acontecerá no
período de 28 a 30 de junho de 2017.

Esperamos por você!

Temário para trabalhos técnicos

- ◆ Financiamento aos municípios
- ◆ Materiais para pavimentação
- ◆ Estudos e projetos de pavimentos
- ◆ Manutenção, Restauração e Gerência de Vias
- ◆ Técnica de Construção e Controle de Qualidade de Pavimentos
- ◆ Segurança e Meio Ambiente em Vias
- ◆ Abertura e reaterro de valas de redes subterrâneas
- ◆ SMS (Saúde do Trabalho, Meio Ambiente e Segurança do Trabalhador)
- ◆ Acessibilidades
- ◆ Estradas Vicinais

Para mais informações: www.rpu.org.br

Realização



Apoio



Local



Organização



58 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

BELO HORIZONTE . MG . 11/10 a 14/10 . 2016

INSCRIÇÕES
ABERTAS!

Ponto de encontro dos profissionais e das EMPRESAS BRASILEIRAS DA CADEIA PRODUTIVA DO CONCRETO

PALESTRANTES CONFIRMADOS

- ▶ **Donald Macphee** (Universidade de Aberdeen, Escócia)
- ▶ **Joseph Daczko** (BASF, EUA)
- ▶ **Kamal Khayat** (Universidade do Missouri, EUA)
- ▶ **Robert Stark** (ACI)
- ▶ **Bruno Contarini** (BC Engenharia)
- ▶ **Hugo Corres Peirreti** (FHECOR, Espanha)

Apresentação de trabalhos técnico-científicos

- ▶ Apresentação de Trabalhos Técnico-científicos
- ▶ Concursos Técnicos Estudantis
- ▶ Simpósio Sobre Ensaio Não Destrutivo para Avaliação de Estruturas de Concreto
- ▶ Seminário Sobre Ensino de Engenharia Civil
- ▶ Seminário sobre Boas Práticas na Execução de Estruturas de Concreto
- ▶ Seminário Sobre Obras Emblemáticas
- ▶ Seminário Sobre Pesquisas e Obras em Concreto Autoadensável
- ▶ XII Feira Brasileira das Construções em Concreto – FEIBRACON

TEMAS

- ▶ Gestão e Normalização
- ▶ Materiais e Propriedades
- ▶ Projeto de Estruturas
- ▶ Métodos Construtivos
- ▶ Análise Estrutural
- ▶ Materiais e Produtos Específicos
- ▶ Sistemas Construtivos Específicos
- ▶ Sustentabilidade

CURSOS

- ▶ Projeto de lajes em concreto armado e protendido
- ▶ Ensaio destrutivo e não destrutivo para avaliação de estruturas de concreto
- ▶ Estruturas pré-fabricadas de concreto

REALIZAÇÃO

REALIZAÇÃO



(11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

facebook.com/ibraconOffice

www.ibracon.org.br

twitter.com/ibraconOffice