



REVISTA

ABPV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

PAVIMENTAÇÃO

ANO XI • N° 42 • OUT-DEZ • 2016 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809-1865

**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA
À FADIGA DE MISTURAS ASFÁLTICAS
REFORÇADAS COM CAMADAS
NANOMÉTRICAS DE SILICATOS**

*João Victor Staub de Melo
Glicério Trichês*



ENGENHEIRO EDISON JUNQUEIRA PASSOS (IN MEMORIAM)

Responsável pela grande reforma urbanística do Rio de Janeiro

**Evento
Confirmado!
Faça já sua
inscrição.**

**Participe do principal evento de
pavimentação urbana do país.**

**20^a
RPU**  **2017**
**28 a 30
de junho**
Reunião de Pavimentação Urbana
6^a EXPO PAVIMENTAÇÃO
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
- ◆ Segurança e meio ambiente em vias
- ◆ Materiais para pavimentação
- ◆ Abertura e reaterro de valas de redes subterrâneas
- ◆ Estudos e projetos de pavimentos
- ◆ SMS (Saúde do trabalho, Meio ambiente e Segurança do trabalhador)
- ◆ Manutenção, restauração e gerência de vias
- ◆ Acessibilidades
- ◆ Técnica de construção e controle de qualidade de pavimentos
- ◆ Estradas vicinais

Para mais informações: www.rpu.org.br

Realização



Apoio



Agência Oficial
de Turismo



Local



Organização



EXPEDIENTE



REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano XI • Nº 42 • Out - Dez 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
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
ESPECIAL	
45 ^a RAPV E 19 ^o ENACOR	12
FATOS HISTÓRICOS	
ENGENHEIRO EDISON JUNQUEIRA PASSOS	24
ESPAÇO JURÍDICO	27

CADERNO DE TECNOLOGIA

Canal aberto de drenagem	29
Francisco José d'Almeida Diogo	

ARTIGO 1

Caracterização da resistência à fadiga de misturas asfálticas reforçadas com camadas nanométricas de silicatos	43
João Victor Staub de Melo Glicério Trichês	

ARTIGO 2

Uso do programa trucksim para quantificação do efeito das cargas dinâmicas de veículos rodoviários sobre pavimentos	59
Patrícia Teodorovski Garbin José Leomar Fernandes Júnior	

ARTIGO 3

Aplicabilidade de enzimas para melhoramento de solos em pavimentação	73
José Adriano Cardoso Malko Rubens Brazetti Michéle Dal Toé Casagrande Ben-Hur de Albuquerque e Silva	

ARTIGO 4

As características da orçamentação de obras no Brasil	93
Silvio Figueiredo Mourão	

EDITORIAL

O ano de 2016 descortinou no Brasil um palco de dificuldades, com crises recrudescidas nas áreas da economia e da política, atingindo não só os poderes executivos e legislativos em suas esferas federal e estadual, mas também a sociedade como um todo. Sociedade que entendemos como destinatário final da existência do Estado.

Notadamente, ante o palco descortinado e seus cenários, apresentou-se nos uma crise moral, cujos atores centrais gerem a coisa pública, ditam os rumos da nação e ostentam como título legal a representação do povo.

A História vai se construindo. Ao largo, não pode o País ficar à mercê da crise. Para além do momento difícil por que passamos, os brasileiros precisam seguir em frente, e sob a condução de um Estado ético e firme nos seus deveres. Os cidadãos brasileiros são usuários dos serviços públicos, serviços estes que precisam ser decentes.

Para além daqueles serviços vitais, como a saúde e educação, outros não menos vitais, como os serviços de comunicação, precisam ser retomados e alinhados com uma firme determinação de serem melhorados.

As rodovias brasileiras estarão amplamente comprometidas se não formem retomadas as obras de manutenção e construção de outras novas. Não basta apenas avançar na concessão estradas, portos e aeroportos, é necessário que haja procedimentos eficazes para todos os agentes envolvidos e comprometidos com o desenvolvimento da infraestrutura do País.

A ABPv tem reiterado seu papel e feito aceno para que sigamos em frente. Sociedade constituída, iniciativa privada e Poder Público, todos sintonizados com o avanço do Brasil para uma sociedade mais justa e um Estado de serviços mais eficientes.

Para 2017, cremos numa retomada do crescimento em todos os setores, desde que estejamos firmes e postos ao trabalho sem quartel.

Nesta edição da Revista PAVIMENTAÇÃO, o Cel. Francisco José d'Almeida Diogo, traz no Caderno de Tecnologia um detalhado estudo sobre *Canal Aberto de Drenagem*, destinado ao escoamento final das águas pluviais nas cidades.

Em Espaço Jurídico, Victor Athayde Silva e Daniele Moulais Dias tratam das consequências jurídicas do tráfego de veículos com excesso de peso nas rodovias. Um tema sempre recorrente na questão da conservação de estradas, nessa oportunidade sob o enfoque do Direito.

A personalidade homenageada nesta edição é Edison Passos, engenheiro que também foi deputado e professor, responsável por projetos urbanísticos de grande importância na cidade do Rio de Janeiro. Uma figura brilhante retratada com detalhes na matéria dessa edição.

Os trabalhos técnicos abrem com o artigo *Caracterização da Resistência à Fadiga de Misturas Asfálticas*, notadamente aquelas reforçadas com camadas manométricas de silicatos. Um estudo de autoria de João Victor Staub de Melo e Glicério Trichês.

No segundo artigo, Patrícia Teodorovski e José Leomar Fernandes Júnior tratam do uso do programa Truksim para a quantificação dos efeitos das cargas dinâmicas de veículos rodoviários sobre pavimentos.

Em seguida, o assunto abordado é a aplicabilidade de enzimas para melhoramento de solos em pavimentação. Um trabalho dos autores José Adriano Cardoso Malko, Rubens Brazetti, Michéle Dal Toé Casagrande e Ben-Hur de Albuquerque e Silva.

O quarto e último artigo desta edição, de autoria de Silvo Figueiredo Mourão, versa sobre as características da orçamentação de obras no Brasil. Um estudo que busca apresentar os procedimentos e regulamentações para a elaboração de orçamentos de obras públicas no País.

Finalmente, a Revista PAVIMENTAÇÃO traz a cobertura completa da 45ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação, que aconteceu conjuntamente com o 19º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, no mês de setembro em Brasília.

A ABPv, representada por sua diretoria e pela equipe da Revista PAVIMENTAÇÃO se mostra otimista com o ano de 2017. Os momentos difíceis nos campos políticos, econômicos e éticos são reais, porém, só há um caminho a trilhar, o da superação.

Façamos acontecer.



SEÇÃO DE NOTAS

revistapavimentacao@abpv.org.br



20ª RPU - 6ª Expopavimentação

A 20ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana/ 6ª Expopavimentação, promovida pela ABPv, está programada entre os dias 28 e 30 de junho de 2017, em Florianópolis, SC, no Centro de Convenções CentroSul.

A participação efetiva de todos é fundamental para a promoção de mais um evento de sucesso e com ótimos resultados para os envolvidos neste importante projeto. Novos prazos para remessa de trabalhos e preços promocionais de inscrição encontram-se disponíveis no site.

A 20ª RPU constituir-se-á numa oportunidade de discussão e reflexão sobre a pavimentação urbana no País, no momento em que a sociedade exige mais atenção das atividades para conservação, ampliação e segurança da malha viária e garantia da mobilidade no meio urbano.

Informações • www.rpu.org.br



Prorrogação da 46ª RAPV/ 7ª Expopavimentação

A Associação Brasileira de Pavimentação, entidade técnica sem fins lucrativos, sente-se honrada pela confiança nela depositada durante estes 57 anos. Em respeito e agradecimento por todos os trabalhos executados, não podemos deixar de mencionar a importância do apoio dos associados, patrocinadores, expositores, professores, membros do comitê técnico científico, coordenadores, representantes regionais, comissões organizadoras que dedicam um pouco do seu tempo em prol da existência de nossa Associação. Devido às dificuldades econômicas, pelas quais todos passamos, achamos por bem este ano realizarmos somente a 20ª RPU/ 6ª Expopavimentação, de 28 a 30/06/2017, em Florianópolis, SC.

A realização da 46ª RAPV/ 7ª Expopavimentação, em Bonito, MS, foi transferida para o período de 17 a 20 de abril de 2018. Estamos preparando as informações do site para que todos possam, com mais tempo, programar suas viagens.

Informações • www.rapv.org.br



IV Congresso Brasileiro de Reologia - IVCBR

A Associação Brasileira de Reologia convida os profissionais, professores e estudantes da área para participarem do IV Congresso Brasileiro de Reologia - IVCBR a ser realizado no Rio de Janeiro, no período de 21 a 23 de maio de 2017.

O evento objetiva congregar e reunir a comunidade nacional e internacional de usuários e interessados em reologia, reometria e suas aplicações. A presença de pesquisadores brasileiros e de palestrantes com experiência internacional é esperada para compartilhar suas experiências com a comunidade brasileira do setor.

Informações • www.reologiadobrasil.com.br



89º ENIC – Encontro Nacional da Indústria da Construção

O 89º ENIC reunirá, de 24 a 26 de maio de 2017, em Brasília, autoridades, empresários, técnicos e agentes financeiros para trocar experiências, debater diversos assuntos e criar novas formas de transpor os desafios do mercado e da economia, trazendo como tema “Superação é nossa maior obra”. Serão palestras e debates que visam reunir toda a cadeia produtiva de representantes do setor para discutir e evoluir no desafio constante que é a construção civil.

Informações • www.cbic.org.br/enic/



Concrete Show South America

O Concrete Show South America apresenta soluções que vão desde a terraplanagem, canteiros de obras e projetos estruturais, até tecnologias para a cadeia produtiva do concreto, serviços e acabamento, visando sempre o aumento da produtividade e a redução de custos na construção.

Anualmente reúne grandes “players” do setor e oferece ao mercado oportunidades únicas de “networking”, experimentação de produtos ao vivo e efetivação de negócios.

A 11ª edição será de 23 a 25 de agosto de 2017 em São Paulo, SP.

Informações • www.concreteshow.com.br



10º Congresso ABCR e BRASVIAS 2017

O 10º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões e a BRASVIAS – Exposição Internacional de Produtos para Rodovias serão realizados dias 12 e 13 de setembro de 2017, em Brasília, DF.

Informações • www.abcr.org.br



Brazil Road Expo 2017

A 7ª edição da Brazil Road Expo será realizada entre os dias 3 e 5 de outubro de 2017. É um evento composto por feira de negócios e congresso e que reunirá todos os elos da cadeia de construção, manutenção e infraestrutura viária e rodoviária em São Paulo, SP.

Informações • www.brazilroadexpo.com.br



TranspoQuip 2017

O TranspoQuip 2017 será realizado de 24 a 26 de outubro de 2017, no Transamerica Expo, em São Paulo, SP e fomentará debates com especialistas do setor, além de expor novidades em equipamentos, objetivando orientar tomadores de decisão em seus projetos.

Informações • www.transpoquip.com.br



Congreso Ibero - Latinoamericano Del Asfalto

O XIX CILA será realizado de 27 a 30 de novembro de 2017 na Colômbia.

Trata-se de um Congresso de relevante importância na América Latina sobre asfalto. O prazo final para envio de resumos é de 31 de Março de 2017.

Informações • www.cila2017.com



59º Congresso Brasileiro do Concreto

O Ibracon - Instituto Brasileiro do Concreto promoverá o 59º Congresso Brasileiro do Concreto em Bento Gonçalves, RS, de 31 de outubro a 3 de novembro de 2017 sob o tema “O concreto para a retomada do desenvolvimento da infraestrutura nacional.

Fórum nacional de divulgação e debates sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos, o Congresso objetiva divulgar as pesquisas científicas e tecnológicas sobre o concreto e suas estruturas, em termos de produtos e processos, práticas construtivas, normalização técnica, análise e projeto estrutural e sustentabilidade.

Informações • www.ibracon.org.br/eventos/59CBC

NOSSAS DESPEDIDAS



Dante Bianco

O notável engenheiro faleceu em 18 de novembro de 2016, aos 92 anos.

Foi um profissional dedicado, comunicativo, com fluência em várias línguas, sempre com disponibilidade para conversar, transmitir ensinamentos e esclarecimentos.

Era sócio individual da ABPv desde 1961.



João Reynaldo Medeiros

O Engenheiro João Reynaldo Medeiros faleceu em 20 de novembro de 2016.

O destacado engenheiro foi sócio fundador da PRODEC - Consultoria para Decisão, associada pessoa jurídica da ABPv desde 1991, membro do conselho fiscal da Sinaenco - Sindicato da Arquitetura e da Engenharia, regional do Rio de Janeiro e, também, integrante do Conselho Executivo da Anetrans - Associação Nacional das Empresas de Engenharia Consultiva de Infraestrutura de Transportes.

A Diretoria da ABPv, em nome de todos os sócios, rende honras aos ilustres engenheiros e presta seus sentimentos às suas famílias.

CONSULTORES DA ÁREA DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA FAZEM PALESTRA NA AENFER

A Associação de Engenheiros Ferroviários – Aenfer promoveu na manhã do dia 27 de outubro em seu auditório, palestra técnica com os engenheiros Rui José da Silva Nabais e João Cardeano.

Tubular Track – superestrutura ferroviária em viga longitudinal sem dormentes e lastro foi o tema abordado pelos especialistas que falaram das vantagens desse novo modelo, implantado, principalmente na África e Ásia.



Eng. Rui José da Silva Nabais



Eng. João Cardeano, Eng. Helio Suêvo
e Eng. Rui José da Silva Nabais

MSc - COPPE – RJ, consultor, organizador do Manual Básico de Engenharia Ferroviária e membro da Comissão de Infraestrutura Ferroviária da ABPV, Rui Nabais exemplificou a qualidade do tubular modular track e explicou que este modelo é ideal para redução de custos e prazos de implantação ou reabilitação de uma linha, permitindo manter o traçado original, trilhos contínuos soldados, mesmo para curvas de raios pequenos, requerendo uma plataforma mais estreita, facilita o reforço de estrutura de pontilhões e de estruturas de bueiros, possibilita o reuso de trilhos existentes pois requer trilhos mais leves para a mesma carga por eixo e reduz a logística de material para reabilitação em até 90%.

Destacou também que se deve cuidar de uma drenagem superficial adequada e que o custo de manutenção é minimizado pois não requer socaria e nivelamento da linha tão frequente quanto a solução convencional.

SOLUÇÃO PARA MAXIMIZAR O RETORNO AO PAÍS

Representante da Tubular Track na África do Sul, João Cardeano destacou que a solução se encontra implantada e testada em mais de 700 km de ferrovias em funcionamento há mais de 25 anos e disse que num projeto sustentável existem oportunidades de atingir elevados níveis de economia e valorização ambiental, bem como um rápido e elevado retorno para o país. Na parte material são usados areia, cimento, aço estrutural, aço doce e galvanização. Na mão de obra são envolvidos fabricantes, artesãos, consultores, operários de linha e trabalhadores em geral. Ressaltou também que a solução se encontra certificada por diversos órgãos de controle em diversos países.

A palestra foi acompanhada por associados, profissionais da área e diversos estudantes de engenharia que lotou o auditório da Aenfer e que solicitou diversos esclarecimentos que os palestrantes atenderam.

O diretor Cultural e de Preservação da Memória Ferroviária, engenheiro Helio Suêvo ressaltou a importância de abordar esse tema e lamentou que no Brasil, segundo ele, há mais de 30 anos não se fabricam trilhos nem se investe em ferrovia de uma forma adequada, planejada e consistente.

ENGENHEIRO CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA RECEBE LÁUREA AO MÉRITO DO CREA-RJ

No dia 11 de dezembro, o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro concedeu a Láurea ao Mérito, prêmio de reconhecimento da importância das profissões da área tecnológica para o desenvolvimento do país, através do qual o Crea reafirma o seu compromisso de valorizar os profissionais e de incentivar aqueles que iniciam suas trajetórias nessas áreas. Parabenizamos o engenheiro Carlos Henrique Siqueira, que algumas vezes ministrou palestras nas reuniões da ABPv e também foi nosso colunista na Revista PAVIMENTAÇÃO, por mais essa conquista recebida por sua destacada atuação em defesa da Engenharia.



45ª RAPv e 19º ENACOR

foram destaques em setembro



Entre os dias 20 e 23 de setembro, Brasília sediou a 45ª Reunião Anual de Pavimentação - RAPv, e o 19º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária - ENACOR, que, com várias edições realizadas em conjunto, são considerados os maiores eventos do setor rodoviário brasileiro. No escopo dos encontros também estão os modais ferroviário e aeroportuário.

Duas mil pessoas estiveram no evento. Anualmente, participam da RAPv e do ENACOR profissionais e empresários de todo o Brasil e também do exterior, além de professores e estudantes das universidades que possuem cursos de engenharia e áreas correlatas.

Solenidade marcou a abertura

A abertura dos eventos ocorreu às 19h no Auditório Master no Centro de Convenções Ulysses Guimarães, na Capital Federal.

Muitas autoridades estavam presentes. Na composição da mesa estavam o governador do Distrito Federal, Rodrigo Rollemberg; o diretor geral do DNIT, Valter Casimiro Silveira, que também representou o ministro dos Transportes, Portos e Aviação Civil, Maurício Quintella Malta Lessa; o embaixador da Eslováquia, Milan Cigan, representando a União Europeia; o presidente da ABDER e



A ExpoPavimentação, feira de equipamentos e serviços, aconteceu paralelamente aos eventos principais. Em sua 5ª edição, foi uma grande oportunidade para negócios e “networking” que atraiu diversos “players”.

E, neste ano de 2016, mais um acontecimento foi inserido nos eventos chamou a atenção dos participantes: o 1º Fórum Rodoviário de Trânsito e de Mobilidade. Profissionais da engenharia, acadêmicos e representantes da área pública puderam debater temas cruciais e de vanguarda no advento de novos paradigmas para a mobilidade urbana.

diretor geral do DER-DF, Henrique Ludovice; o diretor-presidente da ABPv, José Pedro dos S. Vieira Costa; a diretora-presidente do SERPRO, Maria da Glória Guimarães dos Santos, representada pelo diretor de Relacionamento de Clientes, André de Cesero; o vice-presidente para a Área de Transportes do Banco Mundial, José Luís Irigoyen, representado por Gregoire F. Gauthier; o diretor geral do DENATRAN, Elmer Coelho Vicenzi; o presidente dos Correios, Guilherme Campos, representado pelo Vice-Presidente Henrique Dourado; o presidente da Novacap, Júlio Menegoto; o presidente da Comissão Organizadora, Rui Corrêa Vieira; o secretário adjunto da

Mobilidade, Fábio Damasceno e o diretor-presidente da Mútua, Paulo Roberto Queiroz Guimarães.

O diretor-presidente da ABPv, José Pedro dos S. Vieira Costa, numa fala em que destacou a esperança como lema, ressaltou quão emblemática era a realização do evento em Brasília, motor das grandes transformações nacionais, e que neste momento ensejava o entusiasmo para a superação das dificuldades por que passa o país.

Segundo José Pedro, a ABPv quer ser um ator destacado nessa visão otimista para o Brasil: *“a Associação sempre foi muito otimista e nunca fugiu ao seu papel de manter viva a memória da pavimentação brasileira ao mesmo tempo que projeta superações e inovações no que diz respeito à infraestrutura”*, disse.

Com a proximidade do final de seu segundo mandato à frente da diretoria da ABPv, José Pedro aproveitou a oportunidade para apresentar a todos o seu legado à frente da instituição. Relembrou que, apesar das dificuldades, a Associação se manteve firme e cumprindo seu objetivo de promover a cultura, o ensino e a pesquisa em pavimentação.

Frisou que a Revista PAVIMENTAÇÃO seguia consolidada como um importante veículo de comunicação e exposição de pesquisas, estando agora disponibilizada em versão digital, em atendimento às novas demandas de mobilidade dos leitores. Lembrou ainda que os cursos promovidos pela ABPv são referência em todo o país.

Em seguida, o presidente da ABDER e também diretor geral do DER-DF, Henrique Ludovice, falou ao público presente. Seu discurso teve como ênfase o potencial

da Engenharia brasileira e a importância das diversas instituições ligadas à infraestrutura. “Mobilidade tem sido uma demanda tão grande da sociedade, tão quanto são a saúde, a educação e a segurança. As pessoas querem transitar e interagir com todos os eixos sociais”, avaliou. Ludovice também agradeceu o apoio de todas as instituições e pessoas que contribuíram na realização dos eventos, enfatizando que será um marco para Brasília. “As entidades envolvidas nesses eventos reúnem grande parte da inteligência tecnológica desse país. Até sexta vamos construir um evento que será um marco. Vamos juntos alavancar a área tecnológica e de infraestrutura”, almejou.

O público ainda presenciou a entrega do Prêmio Engenheiro Mario Kabalem Restom, que homenageia aqueles profissionais com relevantes contribuições para a pavimentação. Foram, portanto, agraciados nesta edição da RAPv os engenheiros Márcio Muniz de Farias, Luiz Gonzaga Rodrigues Lopes e Militão da Silva Bastos Junior.

Marcou o evento o lançamento dos selos e carimbos comemorativos dos Correios com paisagens de Brasília e também o selo comemorativo da 45ª RAPv e 19º ENACOR.

Ainda na cerimônia de abertura foi apresentado o vídeo comemorativo dos 15 anos do DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, órgão que sucedeu o extinto DNER, e que prima pela malha rodoviária, ferroviária e fluvial do país.

O final de noite de abertura o público apreciou uma apresentação da Orquestra Sinfônica de Brasília, e muitos dos presentes ainda participaram do jantar de confraternização em um restaurante da cidade.



Programação intensa marcou o encontro

Em termos quantitativos, ao longo de 3 dias de evento foram apresentados 90 painéis, 38 trabalhos técnicos em 10 sessões técnicas, e ministrados 11 minicursos. Mesas redondas totalizaram 10, palestras foram 15, sendo uma internacional. Já as visitas técnicas somaram 7, e 59 pôsteres foram expostos em 4 sessões.

Com mais uma edição conjunta realizada, que contou com o apoio do DER-DF e do somatório de forças dos

patrocinadores, a ABPv e a ABDER cumpriram fielmente os nobres objetivos previstos em seus estatutos, sendo um deles, o empenho na divulgação e no aprimoramento dos conhecimentos técnicos na área da engenharia de pavimentação e afins.

A próxima RAPV, edição 46, será realizada em 2018 na cidade de Bonito, Mato Grosso do Sul.



Agradecemos às empresas patrocinadores, expositores e apoiadores:

3M	INDUTIL	SERPRO
BANDEIRANTES	IESB	SINALISA
CAIXA ECONÔMICA FEDERAL	KOPP	SITRAN
CEUMA	MTS SISTEMAS DO BRASIL	SOFTPLAN
CORREIOS	MÚTUA	STE - SERVIÇOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA
DNIT	NOVACAP	STRATA ENGENHARIA E HPT ENGENHARIA
ENGEBRAS	OXNIX	UNIEURO
GEOBRUGG	PETROBRAS	VOLVO
GOVERNO FEDERAL	SECRETARIA DE ESPORTE, TURISMO E LAZER - GOVERNO DE BRASÍLIA	
GRUPO ERITRAN		
GRUPO BANCO MUNDIAL		

PRÊMIO ENGENHEIRO MARIO KBALEM RESTOM



Márcio Muniz de Farias

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (1983), mestrado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1986), doutorado PhD na University of Wales at Swansea, UK (1993) e estágio de pós-doutorado no Nagoya Institute of Technology-NIT, Japan (1998).

É professor da Universidade de Brasília desde 1986, pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pesquisador estrangeiro no NIT (Japão), membro do comitê editorial científico da revista nacional Pavimentação (ABPv-Brasil), da binacional Geotecnia (Brasil/Portugal) até julho de 2013, da internacional Road Materials and Pavement Design-RMPD (França) e da Soils and Foundations (Japanese Geotechnical Society) desde julho de 2013.

Tem ajudado como avaliador internacional para vários periódicos, tais como o Computers and Geotechnics, Journal of Zhejiang University Science

(China), Computers and Structures (Europa). Tem experiência nas áreas Geotecnia e Pavimentação, com ênfase em Métodos Numéricos, atuando principalmente nos seguintes temas: pavimentação, análise numérica, modelos constitutivos, barragem e solos não saturados.

Orientou 24 teses de doutorado, 38 dissertações de mestrado e vários trabalhos projetos de iniciação científica e de graduação. Publicou mais de 300 trabalhos científicos. Recebeu oito prêmios científicos e proferiu várias palestras e “keynote lectures” em eventos internacionais. Coordena diversos projetos com financiamento institucional da CAPES, CNPq e Furnas. Tem atuado como consultor das agências nacionais de fomento à pesquisa, sendo membro do Comitê Assessor de Engenharias do CNPq e do Comitê de Avaliação de Pós-graduação em Engenharias I da CAPES.

Atualmente é Professor Titular e vice-diretor da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.



Luiz Gonzaga Rodrigues Lopes

O engenheiro civil Luiz Gonzaga formou-se na Universidade Federal de Juiz de Fora em Minas Gerais no ano de 1973, onde no ano seguinte pós-graduou-se em pavimentação rodoviária. Também é pós-graduado em transporte pela Universidade de Brasília - UnB/1988

Atuou como Professor da área de geotecnia e transporte da Universidade de Brasília - UnB, desde 1978, aposentado em 2015.

Também trabalhou no Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal - DER/DF, desde 1974, tendo exercido vários cargos, culminando com a função de Diretor Geral no período de 1993 a 1995, e foi Diretor técnico da Companhia do Metrô do Distrito Federal - Metrô-DF no período de 1995 a 2007 e de 2011 a 2014.

Membro de várias bancas examinadoras de graduação e de mestrado, na UnB, e também foi membro em várias bancas de Concursos Públicos.

Na sua vida de exímio profissional ainda ocupou os cargos de: Presidente da ABDER (Associação Brasileira dos DERs), Presidente da ASSENDER (Associação dos Engenheiros do DER - DF) e Vice-Presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranoá.

Com diversas qualificações e especializações em geodésia, pavimentação rígida e flexível, barragens, transportes rodoviários, ferroviários e metroviários e seus custos tendo sido responsável técnico pelo projeto e construção das obras do Metrô - DF é também Perito e Consultor na área Metroviária e de Geotecnia.

Qualificações

- Curso de especialização em transporte ferroviário e metroviário - Metrô - DF - 2000.
- Curso de especialização em custo de construção de obras rodoviárias e metroviárias CREA/DF - 2004.
- Curso de Geodésia - FAPE/DF - 2012.
- Responsável Técnico pelo Projeto e Construção das obras do Metrô - DF, até 2014.
- Perito e Consultor na área Metroviária e de Geotecnia.



Miltão da Silva Bastos Júnior

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG em Belo Horizonte no ano de 1967.

Exerce atualmente o cargo de consultor na Mamck Consultoria e Representação Ltda. - Análises, Avaliações, Perícias e Consultorias onde realiza as atividades de : Análise de projetos, processo licitatório, e acompanhamento das Obras do Pró-Moradia (Recurso da União em parceria com GDF) - Mestre D'Armas e Vale do Amanhecer em Planaltina e Santa Maria - DF, com Obras de Pavimentação e

Drenagem; Análise de projetos, processo licitatório, e acompanhamento das Obras do PAC - (Recurso da União - Ministério das Cidades) em Valparaíso - GO, com a execução de sistema de drenagem pluvial, sistema viário, construção de 128 apartamento (8 prédios), quadra de esportes, canalização de córrego, esgotamento sanitário, creche, escola, recuperação ambiental, regularização fundiária e projeto social.

Trabalha também no CREA/DF como conselheiro e no Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias.

Participou de diversos cursos e seminários dentre os quais:

- Curso Avançado de Engenharia de Avaliações Imobiliárias - Estatística Inferencial (IBAPE/DF)
- Curso em Elaboração, Análise e Avaliação de Programas e Projetos Governamentais (UFG);
- Curso de Indicadores da Qualidade no Sistema Rodoviário (DER-DF);
- Seminário sobre Transportes Rodoviários (Câmara dos Deputados);
- Curso de prevenção de desastres e patologias de edificações; (Especialização UNB - Defesa Civil);
- Curso Pavimentação de Concreto (DER-DF);
- Curso de Aplicação de Pré-Misturado a Frio e Lama Asfáltica;
- Curso de Projeto de Especialização da Qualidade;
- Curso de Avaliação Imobiliária com ênfase em inferência estatística;
- Curso de mecânica dos Solos e Fundações - (UFMG);
- Curso de Prevenção de Acidentes (CIPA);
- Curso Exploração de Pedreiras (UFMG).

Algumas condecorações pelo seu profissionalismo:

- Mérito Santos Dummont (Aeronáutica)
- Mérito Buriti (Ref. Pavimentação e transportes)
- Ordem do mérito Rodoviário no grau "Ordem da Honra Rodoviária".
- Ordem do mérito Alvorada.

VISITAS TÉCNICAS

- **VT-1** - PARQUE RODOVIÁRIO (Transitolândia, Fábrica de Placas, etc.), Torre TV Digital e SEDE DER/DF (Centro de Controle Operacional)
- **VT-2** - ESTÁDIO NACIONAL MANÉ GARRINCHA (visita técnica e turística)
- **VT-3** - METRÔ/DF - Visita Centro de Controle Operacional e PÁTIO DE MANUTENÇÃO
- **VT-4** - VISITA A USINA GRAVIMÉTRICA DA EMPRESA JM
- **VT-5** - Visita a Trecho Experimental com OXNIX
- **VT-6** - PONTE JK - Visita interna da estrutura com acompanhamento

MINICURSOS

- **MC-1 - Componente Ambiental nos Projetos de Engenharia Rodoviária**
Francisco Amantea (DNIT)
- **MC-2 - Técnicas e Sistemas Modernos de Restauração e Conservação Rodoviária: “Ensaio Modernos de Desempenho de Misturas Asfálticas com Vistas ao Dimensionamento Mecânico de Pavimentos Flexíveis”**
Prof. Márcio Muniz / Prof. Luiz Guilherme (UnB)
- **MC-3 - Sistema de Gerenciamento de Pavimentos**
Ernesto Simões Preussler (DYNATEST)
- **MC-4 - Dimensionamento de Pavimentos**
José Leomar (USP)
- **MC-5 - Custos e Orçamentos Rodoviários**
Luiz Heleno (DNIT)
- **MC-6 - Drenagem de Rodovias**
Marcos Augusto Jabôr (DER/MG)
- **MC-7 - Certificação Estrutural e Manutenção de Obras Públicas (Não Conformidade)**
Pedro Afonso de Oliveira Almeida (ISETECH)
- **MC-8 - Sinalização Rodoviária**
Henrique Teixeira Lopes de Faria / Leonardo Tasinafo / José Luiz Fuzaro Rodrigues

- **MC-9 - Auditoria em Segurança Viária**

Cristine Tessele Nodari (UFRGS)

- **MC-10 - Auditoria e Controle de Qualidade de Obras Rodoviárias: A Experiência dos Órgãos Auditados**

Luciana M. Dellabianca Araujo (DNIT)

- **MC-11 - Custos Ferroviários**

Rui José da Silva Nabais (ABPv) / Carlos Alceu Rodrigues (ABPv)

SESSÃO TÉCNICA

A - LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE SERGIO GARAVELLI (CEUB)

Edson Benício De Carvalho Jr. (UniCEUB)

B - MATERIAIS E PAVIMENTAÇÕES I

Jairo Furtado Nogueira (UniCEUB)

Mônica Soares Velloso (CODEPLAN)

C - TÉCNICAS E SISTEMAS MODERNOS DE RESTAURAÇÃO E CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

Luiz Guilherme Mello (UnB)

Luiz Gonzaga Rodrigues Lopes (UnB)

D - DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS I

Antonio Carlos Guimarães (IME)

Michele Casagrande (ABPv/PUC-RJ)

E - MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO II

Luciana Nogueira (ABPv/DNIT)

Riumar Dos Santos (AGETOP)

F - DRENAGEM

Cláudio Márcio (NOVACAP)

Marcos Augusto Jabôr (DER/MG)

G - MOBILIDADE URBANA E TRÂNSITO

Janneth Llanque (UnB)

Marco Antonio Mota (Ministério das Cidades)

H - DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS II

Lélio Brito (UFRGS)

Assis Villela (Positive Engenharia)

I - FERROVIAS E OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Rui José Da Silva Nabais (ABPv)

Jairo Furtado Nogueira (UNICEUB)

J - TÉCNICAS E SISTEMAS MODERNOS DE CONSTRUÇÃO, RESTAURAÇÃO E CONSERVAÇÃO VIÁRIA

Oswaldo Tuchumantel - BETUNEL ASFALTOS

SESSÃO SOLENE DE ABERTURA

- Apresentação das Autoridades Presentes
- Comemoração dos 15 anos do DNIT
- Vídeo Institucional
- Comemoração dos 60 Anos da NOVACAP
- Lançamento dos Carimbos Comemorativos - Correios
- Abertura Oficial da 5ª ExpoPavimentação

MESAS REDONDAS

• MR-1 REGULAMENTAÇÃO E APLICAÇÃO DE RECURSOS DE MULTAS DE TRÂNSITO

Moderador: Diretor Geral do DETRAN/DF - Jayme Amorim.

Convidados/Debatedores:

- A) Aplicação Recursos do DENATRAN - Diretor Geral do DENATRAN - Elmer Coelho Vicenzi.
- B) Orientações quanto a aplicação da receita arrecadada com a cobrança das multas de trânsito, nos termos do Art. 320 do CTB - DENATRAN CGPO - Carlos Magno da Silva de Oliveira.
- C) Arrecadação de Multas de Trânsito no DER/DF - Verdades e Mitos - DER/DF - Maurício Marques.

• MR-2 - CONCESSÃO RODOVIARIA – REALIDADE ATUAL NO BRASIL

Moderador: Presidente da ABPv - José Pedro dos Santos V. Costa.

Convidados/Debatedores:

- A) Visão das Concessionárias - ABCR - Luiz Ugeda.
- B) 21 anos de Concessões Rodoviárias - Visão do Órgão Regulador e Fiscalizador - ANTT - Josias Sampaio Cavalcante Junior.
- C) Concessões Rodoviárias no Brasil: Perspectivas - Grégoire F. Gauthier.

• MR-3 - ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL

Moderador: Diretor Executivo do DNIT - Halpher Luiggi Mônico Rosa.

Convidados/Debatedores:

- A) Os Fatores de risco envolvidos nos acidentes de trânsito - Panorama Global e Regional - OPAS / OMS - Victor Pavarino.
- B) Visão da Polícia Rodoviária Federal - PRF - Galvani

Silva.

C) DPVAT - Situação Securitária de Acidentes de Trânsito - Observatório de Segurança Viária - José Aurélio Ramalho.

D) Caracterização, Tendências e Custos para a Sociedade - IPEA - Carlos Henrique Ribeiro Carvalho.

• MR-4 - SUSTENTABILIDADE X PESAGEM NAS RODOVIAS

Moderador: Ministério dos Transportes - Luciano de Souza Castro.

Convidados/Debatedores:

- A) Programa de Pesagem nas Rodovias Federais - DNIT - Leonardo Silva Rodrigues.
- B) Estudos de Deterioração nos Pavimentos - UFSC - Gustavo Garcia Otto.

• MR-5 - TÉCNICAS E SISTEMAS MODERNOS DE RESTAURAÇÃO E CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

Moderador: EPL - Alex Peres Mendes

Convidados/Debatedores:

- A) Novas Tecnologias de Fabricação e Usinagem de Ligantes Asfálticos Modificados - Processo de Pelletização - Ernesto Simões Preussler.
- B) Restauração de Pavimentos Utilizando Geossintéticos e Asfalto Borracha - Diretor Geral do DER/RJ - Angelo Monteiro Pinto.
- C) Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos - ABCP - Marcos Dutra.
- D) Métodos utilizados na Restauração e Conservação Rodoviária - UnB - Márcio Muniz de Farias.

• MR-6 - POLO GERADOR DE VIAGENS

Moderador: UnB - Paulo Cesar Marques Silva

Convidados/Debatedores:

- A) Polos Geradores de Viagem em São Paulo - Visão da CET - CET - Luciana Barbutto.
- B) Modelo de Avaliação de RIT - Visão Acadêmica - UFSC - Lenise Goldner.
- C) Modelo de Avaliação de RIT - Visão Profissional - FARE ARQUITETURA - Romulo Bonelli.
- D) Modelo de Avaliação de RIT - Visão dos Empreendedores - ADEMI - Rogério Markiewicz.

• MR-7 - TRANSPORTE PÚBLICO E PRIVADO, COMO ATENDER AS DEMANDAS DA SOCIEDADE

Moderador: UnB/CEFTRU - Prof. Pastor Willy Gonzales Taco.

Convidados/Debatedores:

- A) Banco Mundial e Mobilidade Urbana - Banco Mundial - Bianca B. Alves.
- B) ANTP - Ailton Brasiliense.
- C) Experiências e Inovações Implantadas e seus

Impactos na Sociedade - WRI Brasil Cidades
Sustentáveis - Brenda Medeiros
D) Experiências e Inovações Implantadas e seus
Impactos na Sociedade - NTU - Otávio Vieira da Cunha
Filho

• MR- 8- LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

Moderador: Marcelo Perrupato
Convidados/Debatedores:

- A) Plano Estratégico de Ampliação e Adequação da Malha Rodoviária - DNIT - André de Oliveira Nunes
- B) Plano Nacional de Logística Integrada - EPL - Jony Marcos do Valle Lopes
- C) Logística sob a Ótica da CNT - CNT - Jefferson Cristiano
- D) Programa de Investimento e Logística - Ministério dos Transportes - Herbert Drumond

• MR-9 - PROJETOS DE MOBILIDADE URBANA

Moderador: Banco Mundial - Paul Procee
Convidados/Debatedores:

- A) Projetos de Transporte de Massa - Metrô/DF - Marcelo Dourado
- B) Corredores Integrados de Transporte Público - Banco Mundial - Bianca B. Alves
- C) A Política Nacional de Mobilidade Urbana e o Transporte Ativo - Ministério das Cidades - Marco Motta
- D) O Papel do Transporte Privado na Mobilidade Urbana - Academia - Maria Alice Prudêncio Jacques (UnB)

• MR-10 - CONTRATAÇÃO DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

Moderador: Ministério dos Transportes - Paulo Sergio da Silva Souza

Convidados/Debatedores:

- A) Projeto Circula Brasília - SEMOB/DF - Fábio Ney Damasceno
- B) Implantação da Linha Verde - TCDF - Adriana Portugal
- C) Apresentação sobre Segurança Viária - TCU - André Vital
- D) Análises de Riscos dos Empreendimentos do DNIT em Regime de Contratação Integrada - DNIT - João Felipe Lemos Cunha

PAINÉIS

• Pn-1 - APRESENTAÇÃO DO NOVO SICRO

Luiz Heleno Albuquerque Filho - DNIT

• Pn-2 - PRODUTO OXNIX

Peter Paulicek - OXNIX
Anísio de Souza Neto - OXNIX

• Pn-3 - PROGRAMA DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS (PROARTE/DNIT)

Rogério Calazans Verly - DNIT

• Pn-4 - OI COMO FORNECEDOR DE SERVIÇOS DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Helio Leonardo Menezes Neves - OI

• Pn-5 - PAINEL A SER APRESENTADO PELOS CORREIOS

• Pn-6 - ALTA TECNOLOGIA EM EQUIPAMENTOS DE CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS

Rodrigo Weyll - VOLVO

• Pn-7 - DUPLICAÇÃO DA SERRA DO CAFEZAL - BR/116-SP

Eneo Palazzi - Arteris

• Pn-8 - UNIVERSIDADE CORPORATIVA DE TRANSPORTES

José Florentino Caixeta - DER/DF
Lucas Visoto - DNIT

• Pn-9 - FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA PARA REDUÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDENTES

Newman Silva - ABTRANS

• Pn-10 - TECNOLOGIAS AVANÇADAS APLICADAS NA AUSCUTAÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Paulo Romeu A. Gontijo - Strata

• Pn-11 - APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA BR-LEGAL E PNCV (DNIT)

Lucas de Araújo Boto - DNIT
Leonardo da Silva Rodrigues - DNIT

• Pn-12 - IMPACTO DO AUMENTO DO CUSTO DO MATERIAL BETUMINOSO EM OBRAS RODOVIÁRIAS

Fábio Pessoa da Silva Nunes - Coordenador Geral de Manutenção e Restauração Rodoviária - DNIT

PALESTRAS

• PM-1 - REALIZING THE TRANSPORT WE WANT – WHAT WILL IT TAKE?

Jose Luis Irigoyen - Diretor de Transportes do Banco Mundial

• **PM-2 - DIÁLOGO SOBRE MOBILIDADE OU EXPERIÊNCIAS E INOVAÇÕES IMPLANTADAS E SEUS IMPACTOS NA SOCIEDADE EM ÁREAS URBANAS**

Nazareno Estanislau - ANTP e MDT.

• **PM-3 - FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA E VIDEOCONFERÊNCIA EM NUVEM**

Hélio Leonardo Menezes Neves - TIC CYBER E DATACENTER.

• **PM-4 - RADAR - SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADA DE INFRAÇÕES DE TRÂNSITO**

Anderson Roberto Germano - SERPRO.

• **PM-5 - TEMA: CICLOMOBILIDADE: A EXPERIÊNCIA HOLANDESA; IDEIAS SUSTENTÁVEIS E INOVADORAS**

Mateus Lima
Henrique Jakobi Moreira

• **PM-7 - A VISÃO DA UNIVERSIDADE SOBRE A MOBILIDADE**

Ivan Marques de Toledo Camargo - Magnífico Reitor da UnB.

• **PA-1 - OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

Walmor Zeredo - Consultor.

• **PA-2 - PALESTRA DA EGIS**

Taís Sachet - EGIS.

• **PA-3 - SOLUÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE OBRAS DE ARTES - SGO**

Anderson Germano - SERPRO.

ENCERRAMENTO



PA-4 - SISTEMA DE NOTIFICAÇÃO ELETRÔNICA

Sandra Miazato - SERPRO.

PA-5 - FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA E VIDEO CONFERÊNCIA EM NUVEM

Hélio Leonardo Menezes Neves - TIC CYBER E DATACENTER.

- **PA-6 - SEGURANÇA DE TRÂNSITO NO BRASIL: desafios e soluções**

David Duarte - UnB.

- **PA-7 - A MOBILIDADE COMO ELEMENTO DE COMPETITIVIDADE DAS CIDADES**

Frederico Bussinger - Consultor do IDELT.

- **PA-8 - MUDANÇAS CLIMÁTICAS X TRANSPORTE (IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE CLIMÁTICAS)**

Leila Soraya Menezes - Secretaria do Meio Ambiente/DF.

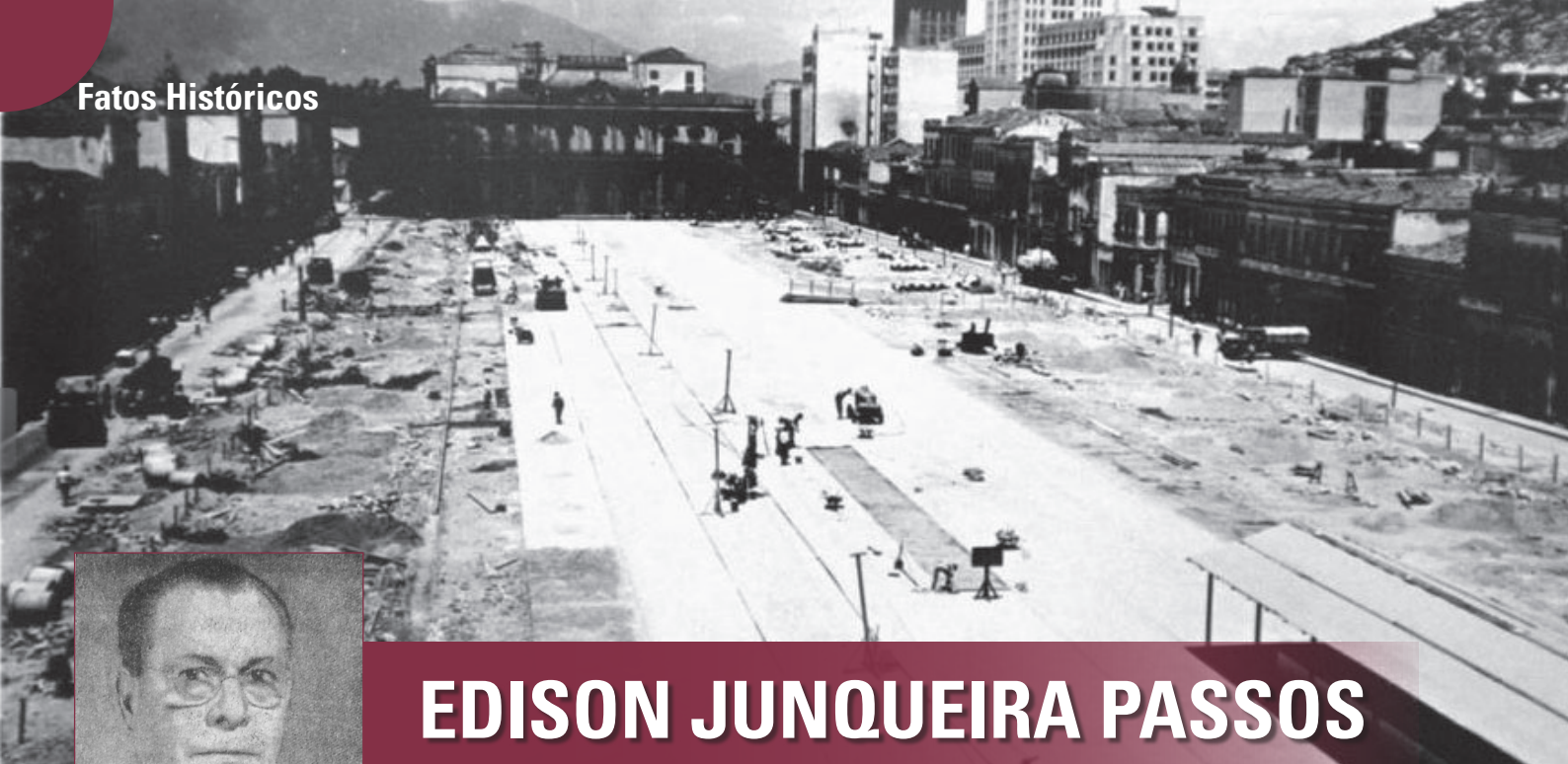
- **PA-9 - ASPECTOS DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE ALGUNS PAÍSES COMPARADOS AOS CRITÉRIOS PROPOSTOS PARA O NOVO MÉTODO BRASILEIRO**

Laura Maria Goretti da Motta - COPPE/UFRJ.

- **PA-10 - INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA**

Marcelo Perrupato e Silva - Consultor.





EDISON JUNQUEIRA PASSOS

EDISON PASSOS: um dos mais notáveis engenheiros da História do Brasil

Nosso homenageado foi deputado, professor e o engenheiro responsável por projetos urbanísticos de alta relevância na cidade do Rio de Janeiro, como a Av. Presidente Vargas, a Av. Brasil, a duplicação de túneis como o do Leme e do Pasmado e a remodelação da Floresta da Tijuca.

Edison Junqueira Passos nasceu na então Santa Luzia do Carangola, hoje município de Carangola, em Minas Gerais no ano 1893. Ainda muito novo mudou-se para Itamuri, distrito de Muriaé, indo morar na Fazenda Monte Alegre com seus pais, Doutor Antônio Augusto Ribeiro Passos e de Dona Maria Junqueira Passos.

Mas foi em Juiz de Fora que o jovem Edison Passos iniciou seus estudos primários, mudando-se depois para Nova Friburgo, região serrana fluminense onde ingressaria no Colégio Anchieta para os estudos secundários. Terminou esta fase no Ginásio São Bento do Rio de Janeiro.

Em 1911, concluiu os preparatórios no Externato Pedro II, ingressando, no ano seguinte, na Escola Politécnica

do Rio de Janeiro. Em 1915, recebeu o grau de Engenheiro Geógrafo. Concluiu o curso de Engenharia Civil no ano de 1917.

De volta a Minas Gerais, atuou como engenheiro do município de Uberaba. Lá realizou levantamentos topográficos e executou diversas obras importantes, dentre as quais a remodelação da cidade.

De 1919 a 1920, foi o primeiro engenheiro da Comissão Construtora do prolongamento da Estrada de Ferro Mosoró (trecho entre Rio Grande do Norte e Paraíba). Foi também engenheiro chefe de Linha da Estrada de Ferro de Goiás, de 1922 a 1923 e Engenheiro da Inspeção de Engenharia Sanitária também em 1923.

Retornando ao Rio de Janeiro, Edison ingressou no quadro de engenharia da prefeitura. Com sua competência e espírito inovador, foi ascendendo nos cargos chave de sua área chegando a subdiretor de obras. Ocupou ainda os altos cargos de diretor da limpeza pública e diretor do patrimônio e cadastro.

Através de concurso público tornou-se professor universitário na cadeira de Materiais de Construção, Terrenos e Fundações da Faculdade Nacional de Arquitetura da Universidade do Brasil (hoje, UFRJ).

De 1935 a 1937 lecionou técnica de construção na Escola Técnica do Exército tornando-se em dezembro deste último ano professor-titular da cadeira de materiais de construção, terrenos e fundações da Escola Nacional de Belas Artes, na qual chegaria mais tarde a professor catedrático de arquitetura. Deixando nessa ocasião o cargo que ocupava na Prefeitura do Distrito Federal passou a reger, como assistente, as cadeiras de resistência de materiais, fundações, hidráulica e de porto de mar na Escola Politécnica. Ainda em 1937 foi nomeado secretário de Viação e Obras Públicas do Distrito Federal na gestão do prefeito Henrique Dodsworth.

Entre os anos de 1937 e 1945 foi secretário de viação e obras públicas do então Distrito Federal, sendo responsável pela grande reforma urbanística ocorrida na cidade do Rio de Janeiro, como a abertura da Avenida Presidente Getúlio Vargas, Avenida Brasil, Avenida Tijuca, duplicação do Túnel do Leme e do Pasmado.

Não poderia ser diferente, o engenheiro Edison Passos tornou-se conhecido como o criador do Rio de Janeiro moderno. Mas nunca esquecia de Minas, principalmente da região da Zona da Mata Mineira, onde nascera. Tanto que nesta época, conseguiu, junto ao Governador de Minas Gerais, Benedito Valadares, verbas para a construção da sede da Associação Rural de Muriaé, onde funciona o atual Sindicato Rural.



Visita às obras da Serra do Mar - Estrada de Ferro Central do Brasil - 29/04/1944. Em primeiro plano o Engenheiro Edison Passos.

Em 1943, foi eleito Presidente do Clube de Engenharia, cargo que exerceu por dez anos seguidos, através de três reeleições, conseguindo em sua gestão realizar o sonho da construção do edifício sede do clube, edifício este que hoje leva então o nome de Edifício Edison Passos. Inaugurado em 1957 sob a presidência de Maurício Joppert da Silva.



Conferência do Dr. Francisco San Thiago Dantas sobre "Projeto de transformação das Estradas de Ferro da União em sociedades anônimas" - presidindo a mesa o Engenheiro Edison Passos.

Fatos Históricos

Na política foi eleito Deputado Federal pelo Partido Trabalhista Brasileiro (PTB) de 1951 a 1954, sendo o segundo mais bem votado, refletindo o grande apreço e confiança de seus colegas, amigos e admiradores de seu trabalho incessante e o reconhecimento da população do Rio de Janeiro pelas melhorias que trouxe à cidade nos trabalhos de reurbanização.

No congresso, foi o Presidente da Comissão de Transportes, tendo criado o Plano Rodoviário Nacional. Teve papel fundamental na mudança do traçado da rodovia Rio-Bahia (BR-116), que originalmente não iria passar por Muriaé. A mudança de trajeto trouxe definitivamente o progresso para a cidade.



Sessão do Conselho Diretor do Clube de Engenharia. À mesa, os engenheiros Edson Passos e Wilson Ribeiro Gonçalves.

Representou o Brasil em várias convenções nos Estados Unidos e em diversos países na América do Sul, nas quais a sua palavra sempre constituiu motivo de engran-

decimento da engenharia brasileira e várias obras de grande importância tendo como principais publicações: Teoria moderna dos vertedores (1918), Reconhecimento geral da Estrada de Ferro Moçoró (1922), Tabelas de insolação e iluminação (1926). Gabinetes de ensaios de materiais empregados nas estradas de rodagem (1926), O problema das inundações na capital federal (1927), Dragagem do canal do Mangue (1931), Materiais betuminosos e asfálticos utilizados nas estradas (1931), Arenito asfáltico de São Paulo (1933), O plano de melhoramento do Rio de Janeiro (1949), Plano nacional de viação, Regulamento de obras da Prefeitura do Distrito Federal e Tarifas telefônicas do Distrito Federal.

Foi casado com Justiniana Fleury Passos, tendo o casal dois filhos: Antônio Augusto e Maria Nilza Fleury Passos.

Hoje o nome de Edison Junqueira Passos acha-se espalhado em todos os cantos da cidade do Rio de Janeiro onde encontramos, além do Edifício Edison Passos, uma Avenida Edison Passos e uma Estação Edison Passos, que veio a se tornar um bairro do município de Mesquita, na Baixada Fluminense

No distrito onde passou sua infância, em Minas Gerais, existe uma rua com seu nome, criada pela Lei nº 704 de 1976 e modificada pela Lei nº 1.507 de 1990 que dá o nome de Avenida Engenheiro Edison Passos a uma das principais artérias de Itamuri, distrito de Muriaé.

Edison Junqueira Passos construiu sua trajetória com notório profissionalismo e espírito visionário daqueles homens pensavam em um Brasil grande, moderno e eficiente.

Faleceu em 10 de junho de 1954 deixando um legado inestimável para o Rio de Janeiro, para Minas Gerais, e tornando figura ímpar na história da engenharia brasileira.

Fontes:

Audrá, A. Bancada; CÂM DEP. Deputados; CÂM. DEP Relação dos dep.; CISNEIROS, A. Parlamentares; Encic. Mirador; Grande encic. Delta; FUNDARTE – Fundação de Cultura e Artes de Muriaé – MG; Fundação Getúlio Vargas – FGV; Jornal do Comércio, Rio (11/06/1954); MACEDO, N. Aspectos; Ver. Clube de Engenharia; TRIB. SUP. ELEIT. Dados (2); Tribuna da Imprensa (11/06/1954); e Acervo da ABPv

Fotos: Créditos - MEMORIAL MUNICIPAL DE MURIAÉ-MG.

ESPAÇO JURÍDICO



AS CONSEQUÊNCIAS JURÍDICAS DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS COM EXCESSO DE PESO NAS RODOVIAS

Victor Athayde Silva e Daniele Moulais Dias

Os negócios no Brasil trafegam por rodovias, mais da metade das cargas transportadas no país passam pela malha rodoviária, em relação a outros modais.

A fiscalização desse tráfego, para a aplicação do Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.593/97), é realizada através de diversos órgãos da Federação, a exemplo as Polícias Rodoviárias Federal e Estaduais; os Departamentos Nacional e Estaduais que administram a infra-estrutura das rodovias, conforme suas competências, e as próprias Agências Reguladoras, que preponderantemente fiscalizam os serviços públicos que são concedidos aos particulares.

Nesse universo, pinçamos uma ocorrência corriqueira: o excesso de peso.

Pois bem, o tráfego de veículos em excesso de peso, como sabido, é considerado infração de trânsito de nível médio, tipificado no artigo 231, V, do Código de Trânsito Brasileiro.

Constatada pela autoridade competente a prática da infração, lavra-se o respectivo auto e aplicam-se o transbordo da carga e multa, esta a ser estipulada em acordo com o excesso aferido.

Esse trâmite está dentro da esfera de Responsabilidade Administrativa.

No entanto, tal qual ocorre com infrações ambientais, não são raros os casos em que se verifica a Responsabilização Civil e Criminal do agente infrator, seja ele embarcador ou transportador.

A Responsabilidade Civil, na maioria das vezes, é exigida pelo Ministério Público Federal – mas também pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) – mediante a instauração de Procedimentos Administrativo para Recomposição Civil ou de Inquérito Civil Público.

Os procedimentos administrativos para recomposição civil, como regra, envolvem os casos de acidente de trânsito - tal como queda de cargas indivisíveis -, no qual o órgão gestor competente da via, objetiva reparar as alegadas avarias ao patrimônio público.

Nesta hipótese se pretende a restituição material que, por maioria das vezes, é fixado arbitrariamente e mediante a utilização dos fatos narrados nos respectivos boletins de acidente de trânsito.

Não há utilização de fontes seguras para se atestar a veracidade e a extensão dos supostos danos.

Conseqüentemente, o proprietário do veículo ou da carga, subordinam-se ao bel talante do administrador público, podendo, aliás, serem inscritos em dívida ativa e no Cadastro Informativo de créditos não quitados do setor público federal (Cadin).

Por sua vez, o Inquérito Civil Público capitaneado pelos Ministérios Públicos (Federal ou Estadual), que se desdobra ou em um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) ou no ajuizamento de Ações Cíveis Públicas, onde se pede a condenação do infrator em indenização por danos material, mas, também, por dano moral coletivo.

Por dano material, sustentam que o tráfego de veículos com peso superior ao limite legal, reduz a vida útil das vias públicas, configurando, portanto, lesão ao patrimônio público.

Destacam, ainda, que o dano moral coletivo, por sua vez, se consubstancia em situação de risco, medo e insegurança aos usuários da via e, também, do próprio motorista.

E não é só: em determinados casos, na hipótese de ser constatada nova autuação durante o trâmite da Ação Civil Pública, poderá ser aplicada multa, em valor muito superior à multa administrativa.

Por sua vez, a Responsabilidade Criminal vem ocorrendo de forma sistemática, já que a Polícia Rodoviária Federal costuma enviar relatório das autuações de excesso de peso para os Ministérios Públicos dos Estados, que iniciam procedimento criminal para apurar se houve o ilícito de “por a vida de terceiros em risco”, previsto no artigo 132 do Código Penal, o qual prevê pena de detenção, de três meses a um ano.

Como se percebe, existem medidas judiciais e administrativas adotadas por entes públicos para, além de responsabilizar o agente infrator (embarcador e/ou transportador), evitar acidentes e reparar eventuais danos ocasionados às vias públicas.

Esse cenário caracteriza mais um ingrediente na criminalização da atividade empresarial, muito embora, seja público e notório que há redução dos índices de acidentes, decorrente da profissionalização e regulamentação do transporte de blocos e chapas de rochas ornamentais.

Conclui-se, assim, que a embarcadora e transportadora devem atentar-se quanto aos limites legais previstos no Código de Trânsito Brasileiro. Cuidados simples como de conferência da carga por parte da embarcadora e a celebração de contratos específicos com o transportador, podem evitar acidentes, autuações e responsabilizações.

Victor Athayde Silva

Advogado, sócio diretor das áreas de Direito Ambiental, Minerário e Administrativo do escritório David & Athayde Advogados (www.da.adv.br – victor@da.adv.br), especialista em Direito Público e pós-graduado em Fazenda Pública em Juízo, membro das Comissões de Meio Ambiente; Direito Minerário da OAB/ES e Conselho Estadual de Meio Ambiente do ES.

Daniele Moulais Dias

Advogada, sócia das áreas de Direito Ambiental, Minerário e Administrativo do escritório David & Athayde Advogados (daniele@da.adv.br), pós-graduanda em Direito Administrativo.



CANAL ABERTO DE DRENAGEM

Francisco José d'Almeida Diogo



CANAL ABERTO DE DRENAGEM



Figura 1 - Riacho Cheonggyecheon hoje e no início do século XX, Seul, Coreia do Sul

(Fontes: <http://planetasustentavel.abril.com.br> e <https://commons.wikimedia.org>)

Um canal aberto destina-se ao escoamento final das águas pluviais, oriundas, nas cidades, do sistema inicial de drenagem, a microdrenagem. Ele pode ser natural ou artificial e este, apresentar revestimento de grama ou de material artificial. Um curso d'água natural é o preferido porque propicia menor pico de descarga para jusante; requer menos manutenção e permite a criação de áreas verdes e recreativas muito necessárias. Mesmo pré-existente, para utilizá-lo é preciso um estudo complexo e projeto detalhado.

Tabela 1 - Fatores intervenientes para escolher um tipo de canal (Adaptação: CETESB, 1986)

Fatores	Hidráulico	Urbanístico	Ambiental	Construtivo	Social	Legal
Vazão de projeto						
Faixa disponível para implantação						
Topografia						
Declividade longitudinal						
Capacidade de drenar o entorno						
Transporte de sedimentos						
Planos municipais						
Características locais						
Formas das ruas e tráfego						
Necessidades estéticas						
Necessidades de áreas verdes						
Disponibilidade de materiais						
Áreas de bota-fora						
Custos						
Aspectos culturais da população						
População infantil da vizinhança						
Necessidades recreativas						
Mobilidade urbana						
Avaliar para outros usos ¹						

¹ Amortecer cheias, abastecimento, energia, transporte, irrigação, piscicultura, microclima, esportes e turismo.

1 • LEVANTAMENTOS E ESTUDOS PRELIMINARES

1.1 • Levantamento Planialtimétrico

- 1) Realizar uma locação preliminar do canal para identificar a área de interesse;
- 2) Obter o levantamento planialtimétrico da bacia hidrográfica urbana, bacia a montante e vale receptor a jusante, de preferência na escala 1:1000 e curvas de nível a cada metro.
- 3) Fazer a planta cadastral da área urbanizada com representação gráfica de detalhes da região de interesse do projeto, escala preferida 1:2000 e altimetria a cada metro.
- 4) Identificar prováveis pontos de lançamento.
- 5) Levantar as seções transversais do vale receptor e de pontos notáveis de 20 em 20 m na escala 1:500.

1.2 • Sondagem geotécnica

Explorar o terreno (*prováveis pontos de lançamento*) quanto a suas características geotécnicas registrando:

- No mínimo, uma sondagem a cada 100 m, descendo a mais de 3 m do fundo previsto;
- Classificação visual do solo por camadas;
- Gráfico da resistência a penetração a cada metro;
- Perfis geológicos dos furos de sondagem;
- Profundidade das diversas camadas perfuradas;
- Blocos de pedra ou matacões;
- Profundidade do lençol freático;
- Cota da boca do furo;
- Amostrador utilizado;
- Data de perfuração;
- Motivo do término da sondagem; e
- Planta de locação das sondagens, amarrada às estacas do eixo da canalização.

1.3 • Estudos hidrológicos

- Levantar as bacias de contribuição ao longo do canal;
- Levantar dados e informações da vazão das galerias afluentes ao canal; e
- Levantar dados e informações sobre máximas e mínimas do corpo receptor.

1.4 • Plano Diretor da cidade

Verificar as interferências e implicações futuras no planejamento da cidade.

2 • RECOMENDAÇÕES AO ANTEPROJETO E PROJETO DE UM CANAL

Um anteprojeto é uma concepção da obra, a busca da melhor alternativa técnica, econômica e ambiental do sistema de drenagem. Envolve uma equipe multidisciplinar capaz de avaliar aspectos hidráulicos, urbanísticos, ambientais, construtivos e sociais.

2.1 • Finalização dos estudos hidrológicos (*no anteprojeto*)

- a) Tempo de recorrência:
 - Em canais artificiais: 10 a 25 anos; e
 - Canal natural: 100 anos.

b) Calcular:

- A vazão das bacias contribuintes ao longo do canal;
- A vazão afluyente de galerias; e
- O nível máximo e mínimo dos corpos receptores.

2.2 • Planta do canal

1) Traçado

- Procurar respeitar o caminho dos leitos naturais;
- Reduzir o trajeto em planta traz aumento à declividade;
- Verificar nas curvas: perda de carga e sobre-elevação da linha d'água;
- Projetar o menor número de curvas compatível com o modelado do terreno; e
- Usar raios de curvas grandes em velocidades altas, para reduzir sobre-elevação.

2) Espaçamento

- Quanto maior a área a ser drenada maior a vazão e a seção molhada;
- Aprofundar a calha aumenta a seção sem ocupar espaço superficial, altera a declividade e faz crescer o custo;
- Ao se estender trechos de mesma geometria (*seção*) subemprega-se o seu início e desperdiça-se recursos. Desenham-se seções espaçadas de 20 ou 50 m.

2.3 • Perfil do canal

O perfil longitudinal da calha do canal e da linha d'água são obtidos de forma iterativa visando compatibilidade técnica e econômica e devem atender às seguintes recomendações:

- Levanta-se a partir de jusante, em local com características hidráulicas conhecidas;
- O traçado deve se harmonizar com a topografia. O traçado do greide de fundo começa com tangentes, as mais extensas possíveis, passando pelo perfil natural;
- Minimizar a terraplenagem: escavações, aterros e o encontro de rochas;
- Preferir canais naturais, sem revestimento, conformados com drag-line, e com declividade de fundo constante.
- Estabilizar o leito, evitando depósitos e erosões: usar degraus em declividades fortes;
- Buscar um regime de escoamento subcrítico;
- Atender às finalidades da obra: drenagem (*reduzir ou aumentar a vazão*), abastecimento, irrigação, transporte, energia, lazer, esportes, microclima, piscicultura, delimitar o leito, estabilizar margens, aproveitar terrenos marginais, etc.

O estudo deve detalhar os pontos em que ocorrem mudanças de: declividade; profundidade; alinhamento; e variações de seção. Os trechos de transição devem ocorrer de forma suave evitando:

- Alterações na linha piezométrica (*linha d'água em conduto livre*). Caso precise alterar, o regime ou a altura d'água, isto deve ocorrer de forma gradual; e
- Depósitos e erosões.

Em desenho, deve-se representar o perfil das duas margens, do eixo do canal e ainda:

- Declividade do fundo do canal;
- Nível d'água no canal – profundidade y ;
- Profundidade crítica y_c ;
- Profundidade total do canal (y e *borda livre*); e
- Nível do terreno.

2.4 • Seção transversal tipo

Um canal ideal é largo, pouco profundo e com escoamento lento. Busca-se uma seção hidráulica teórica mínima sem obrigatoriamente ser a mais econômica.

Para aumentar a vazão de um trecho pode-se revesti-lo ou aumentar a sua seção. O custo do revestimento é comparável ao da escavação, que depende do bota-fora do material (*nas cidades, cada vez mais longe da obra*).

A inclinação da parede lateral de um canal escavado deve considerar as características do solo onde ele é inserido e o tipo de seu revestimento (*Tab. 2*).

Tabela 2 - Inclinações recomendadas a paredes laterais de canais escavados (Chow, 1959)

Material	Z (V:H=1:Z)
Rocha	0
Solos pedregosos	0,25
Canais em terra revestidos de concreto	0,5 a 1
Argila resistente e compacta	1,5
Solos argilo-arenosos	2
Solos arenosos, argilosos de alta porosidade	3

2.5 • Revestimentos

Quanto aos tipos de revestimento, os canais são classificados como: revestidos (*não erodíveis*); não revestidos (*erodíveis*) e gramados. A escolha depende de fatores citados na Tabela 1.

A erosão, num canal urbano, decorre mais incisivamente da velocidade (*energia cinética*) e profundidade do escoamento (*tensão tangencial²*).

Um critério de como revestir um canal deriva de sua largura:

a) Largura superior a 12 m:

- Não são revestidos no fundo; e
- Paredes laterais sobre fundação direta, pouco profunda (*não é o caso de em rocha*).

b) Largura inferior a 12 m:

- Revestir o fundo (*apoiará as paredes laterais*)
- É usual uma estrutura em duplo “L” de concreto armado articulado no meio, com poucas ferragens até a altura de 3,5 m a 4 m.
- Fundo: inclinação 1:5 para o centro o que faz a largura da calha ajustar-se ao valor do escoamento, facilitando a autolimpeza e a concentração dos sólidos em linha.

1) Canal revestido com material artificial

Um revestimento liso aumenta, muito, a velocidade do fluxo e, como um canal concentra os escoamentos, pode impactar seriamente a jusante da obra, o que deverá ser avaliado.

Resultados obtidos ao se revestir canais com materiais artificiais:

- a) Estabilidade do leito pela proteção à erosão;
- b) Protege as bordas do canal de deformações;

² A tensão tangencial d'água sobre o terreno é proporcional à profundidade d'água.

- c) Reduz o assoreamento (*superfície lisa*);
- d) Aumento da velocidade e disso, a capacidade (*vazão*) da seção (*superfície lisa*);
- e) Ao visar maior vazão, é uma alternativa economicamente viável à escavação;
- f) Impede o crescimento de vegetação e redução na capacidade do canal;
- g) Diminui custos e frequência de manutenção;
- h) Reduz a necessidade de dragagem/limpeza; e
- i) Reduz a contaminação do lençol freático pela poluição urbana (*superfície lisa*).

2) Canal artificial gramado

Um canal revestido com grama é adequado a baixas velocidades de escoamento, é barato e atende quesitos urbanísticos, ambientais e sociais. A reserva de áreas ribeirinhas para terrenos públicos possibilita a existência de áreas verdes, adequadas à recreação.

Para evitar processos erosivos em pontos sensíveis de canais revestidos com grama são indicadas proteções como da Tabela 3.

Tabela 3 - Recomendações para controle da erosão em singularidades

Ponto sensível	Proteção (<i>se necessária</i>)
Embaixo de ponte	Solo-cimento, gabião e/ou colchão reno
Curva de canal	Gabião e/ou colchão reno
Degraus (15 a 30 cm)	Enrocamento ou colchão reno junto aos degraus

A Figura 2 indica seções típicas para canais gramados e a Tabela 4 apresenta critérios para o projeto.

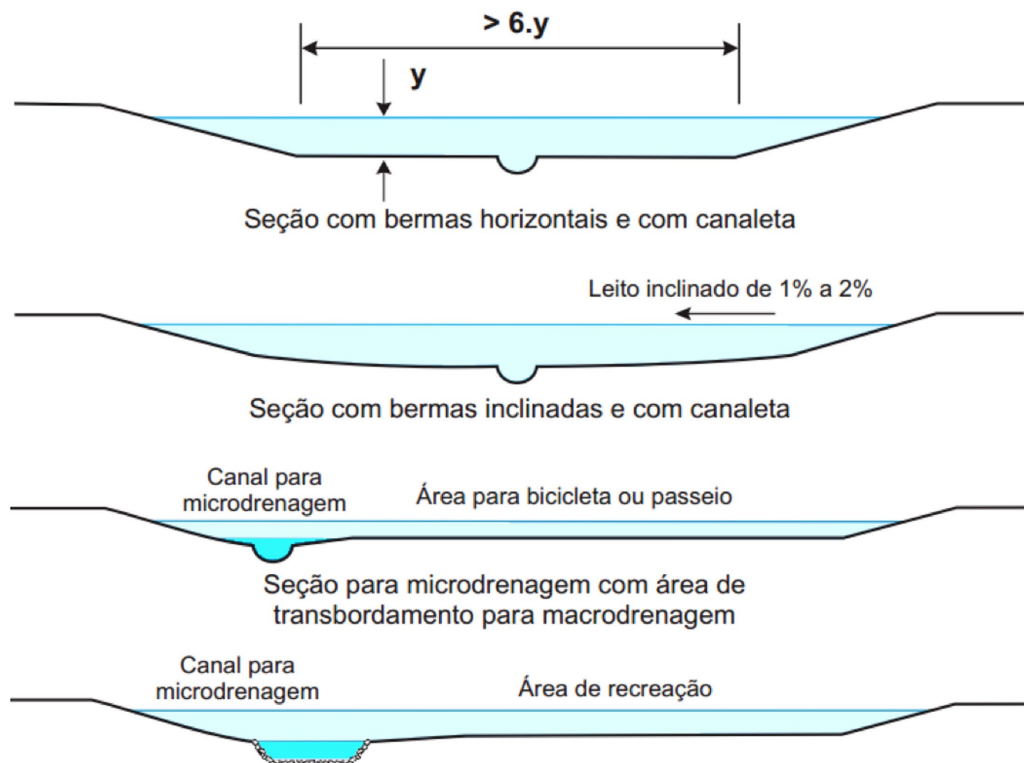


Figura 2 - Exemplos de seções de canais gramados (CETESB, 1986)

Tabela 4 - Critérios para projeto de canais gramados (Adaptação: CETESB, 1986)

Parâmetros	Descarga	
	Máxima	Inicial
Velocidade	< 2,3 m/s	> 0,6 m/s
Borda livre	Método de Denver ou do USBR	Não se aplica
Coeficiente de rugosidade*	0,030 a 0,035	0,035 a 0,100
Profundidade	< 1,2 m (para maior segurança: 1,0m)	> 0,30 m
Largura do leito	Mais que 6 vezes a profundidade. Usual: de 20 a 30 vezes a profundidade.	
Declividade de talude	de 1:3 a 1:4	
Declividade longitudinal	0,2 a 0,6 % (se necessário, criar transição em degraus)	
Curvatura	Raio da margem interna > 2 x maior largura. Raio > 30 m.	
Capacidade da canaleta	De 0,5 a 1% da vazão de projeto	
Tipo de grama	Resistente e de raiz densa	
(*) Aumentar valores com o crescimento de vegetação arbustiva no leito.		

3) Canal natural

Um canal natural foi esculpido por séculos e encontra-se relativamente estável. Ele deve ser estudado por equipe multidisciplinar capaz de delinear soluções às inúmeras possibilidades do recurso em atender demandas da população sem prejudicá-lo.

Esse tipo de projeto requer levantamentos batimétricos (*seções transversais e declividade longitudinal*) e obter dados sobre o solo do leito e das margens, para avaliar a estabilidade do canal e a viabilidade de áreas verdes adjacentes.

Canais sujeitos a enchentes constantes devem ser verificados sobre alternâncias no regime de escoamento e a suscetibilidade à erosão.

As áreas inundáveis na planície aluvial requerem ser identificadas para inibir a ocupação.

O método de cálculo da vazão e velocidade é o mesmo empregado em canais artificiais.

Na Tabela 5 constam recomendações que auxiliam nos estudos de canais naturais.

Tabela 5 - Recomendações sobre parâmetros de projeto de canais naturais

Parâmetros	Recomendações
Período de retorno	100 anos (<i>depende da situação</i>)
Velocidade	< 3,0 m/s e < velocidade crítica (<i>regime subcrítico</i>)
Níveis d'água	Levantados para identificar e cercar áreas inundáveis
Coeficiente de rugosidade	Usar valores de canal sem manutenção
Declividade longitudinal	Suavizá-la usando escalonamento em degraus

Em canal natural não se aplicam as regras de borda livre e curvatura mínima e seu projeto deve ser realizado por engenheiro muito experiente neste tipo de obra.

2.6 • Pontes

Havendo a necessidade de pontes, elas não devem reduzir a seção de escoamento. Orienta-se ao construí-las:

- Em canais estreitos: pontilhões em laje, sem vigas; e
- Em canais largos: ponte estaiada ou de concreto protendido.

2.7 • Pontos de lançamento

Descrever os pontos de lançamento e, se necessário, como serão estabilizados, com enrocamento de pedras e/ou dissipador de energia.

2.8 • Influência do regime de escoamento no anteprojeto de canais

Para estabilizar o regime de escoamento, o número de Froude não deve estar entre 0,86 e 1,13; preferencialmente, ser inferior a 0,86; e para canais revestidos, menos que 2,00.

1) Escoamento torrencial (supercrítico ou rápido)

- Evitar canal retilíneo;
- Não empregar seção trapezoidal nas curvas.
- Verificar a necessidade de armar o canal longitudinalmente e transversalmente;
- Prevenir-se contra estrangulamento da seção transversal junto a pontes e bueiros;
- Manter borda livre de pelo menos 60 cm ou mais de 1/3 da vazão de projeto; e
- Verificar subpressão hidrostática sobre o revestimento produzida pelo lençol freático.

2) Escoamento fluvial (subcrítico ou tranquilo)

- Não revestir, como regra geral;
- Revestir se há redução de seção (*estrangulamento lateral*);
- Realizar acabamento liso no concreto se a declividade é muito baixa;
- Em trechos com declividade excessiva empregar degraus; e
- Preferir seção larga e gramada.

3 • DIMENSIONAMENTO DE CANAIS

No dimensionamento de canais, o escoamento é considerado permanente e toma-se, também, como uniforme, apesar de isto ser raro. Para calcular a capacidade de vazão da seção emprega-se a equação da continuidade e para obter a velocidade média do fluxo, a fórmula de Chézy com o coeficiente de Manning (*Eq. 1*), publicado em inúmeras tabelas.

$$V = (R^{2/3} \times I^{1/2}) / n \quad (Eq. 1)$$

Onde:

V = velocidade média do fluxo (*m/s*)

R = raio hidráulico (*m*)

I = declividade do fundo do canal (*m/m*)

n = coeficiente de rugosidade de Manning (*adimensional*)

Tabela 6 - Coeficiente de Manning para canal revestido em concreto (CETESB, 1986)

Revestimento	n
Acabamento com colher	0,013
Acabamento com desempenadeira	0,015
Sem acabamento	0,017
Concreto projetado, alisado com colher, bem acabado	0,018
Concreto projetado, alisado com colher, mal acabado	0,020
Concreto projetado, sem acabamento	0,022

Tabela 7 - Coeficiente de Manning em canal reto sem árvores ou arbustos (CETESB, 1986)

Altura (cm)	Profundidade de escoamento (m)	
	0,20 a 0,45	0,90 a 1,20
GRAMA		
5	0,035	0,030
10 a 15	0,040	0,030
CAPIM		
30	0,060 a 0,070	0,035
60	0,070 a 0,100	0,035

A Equação da Continuidade (Eq. 2) é utilizada para calcular a capacidade:

$$Q = V \times S \tag{Eq. 2}$$

Onde:

Q = capacidade de vazão (m^3/s)

S = seção do canal (m^2)

V = velocidade média (m/s)

3.1 • Dimensionamento no regime fluvial (subcrítico)

Quando a declividade do canal é inferior à crítica, caracterizando o regime fluvial, o dimensionamento será obtido da combinação das Equações 1 e 2:

$$Q = (S \times R^{2/3} \times I^{1/2}) / n \tag{Eq. 3}$$

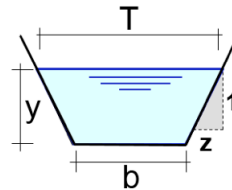


Figura 3 - Parâmetros de canais

A forma trapezoidal passa a celular para inclinação da parede do canal nula ($z = 0$).

Da Equação 3 e dos parâmetros da Figura 3 obtém-se a Equação 4. Nela, tem-se, à esquerda, os parâmetros específicos de um caso, das circunstâncias locais (**Q** e **I**) e de escolha (**n** e **b**), e, do lado direito, os exclusivos da seção molhada do canal. Uma forma eficiente de trabalho é separar o que é específico do referente à seção, este, usado para preparar tabelas (como a Tab. 8), facilitando a avaliação da seção de um canal.

$$\frac{Q \cdot n}{I^{1/2} \cdot b^{8/3}} = \frac{\left[\left(1 + z \cdot \frac{y}{b} \right) \cdot \frac{y}{b} \right]^{5/3}}{\left[1 + 2 \cdot \frac{y}{b} (1 + z^2)^{1/2} \right]^{2/3}} \tag{Eq. 4}$$

Assim, tendo: uma previsão de base **b**, a declividade longitudinal **I**, o coeficiente de rugosidade **n** e a vazão solicitante **Q**; é possível simular, em planilha eletrônica, diferentes inclinações de parede de canal **z** e obter a profundidade normal **y** ou a mudança da profundidade, ao se alterar o revestimento do canal **n**.

Tabela 8 - Elementos de cálculo das profundidades normais de canais trapezoidais

Valores de $\frac{Q.n}{I^{1/2} \cdot b^{8/3}}$											
y/b	z										
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00
0,02	0,0014	0,0014	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
0,03	0,0028	0,0028	0,0028	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0030	0,0030	0,0030
0,04	0,0044	0,0045	0,0046	0,0046	0,0047	0,0047	0,0047	0,0048	0,0048	0,0049	0,0050
0,05	0,0064	0,0065	0,0066	0,0067	0,0067	0,0068	0,0069	0,0070	0,0070	0,0071	0,0073
0,06	0,0085	0,0087	0,0089	0,0090	0,0091	0,0092	0,0093	0,0095	0,0096	0,0098	0,0101
0,07	0,0109	0,0112	0,0114	0,0116	0,0118	0,0119	0,0121	0,0123	0,0126	0,0128	0,0132

TABELA PARCIAL => CONTINUA

3.2 • Dimensionamento no regime torrencial (*supercrítico*)

Para uma mesma vazão, a seção molhada do regime crítico é maior que uma do supercrítico (torrencial). Dessa forma, o dimensionamento da seção para o regime torrencial é feito segundo a seção crítica. Como no crítico a altura cinética ($V_c^2/2g$) é igual à metade da profundidade hidráulica crítica ($y_c/2$), isto é:

$$V_c^2 / 2g = y_c / 2 \tag{Eq. 5}$$

E como $V = Q/S$, tem-se:

$$Q / g^{0,5} = S \cdot y_c^{0,5} = Z \text{ (fator de seção)} \tag{Eq. 6}$$

Da Equação 6, têm-se: a profundidade crítica para uma vazão é única; o fator de seção $Z = S y_c^{0,5}$ facilita o cálculo da profundidade crítica e se obtém a vazão crítica ao multiplicar o fator de seção por $g^{0,5}$. Da Equação 6 e dos parâmetros da Figura 3 obtém-se a Equação 7.

$$\frac{Q}{g^{1/2} b^{5/2}} = \left(1 + z \cdot \frac{y_c}{b} \right) \times \left(\frac{y_c}{b} \right)^{3/2} \tag{Eq. 7}$$

Onde:

b = largura da base do canal (m)

y_c = profundidade crítica (m)

z = inclinação da parede do canal (m/m)

A Equação 7, do regime crítico, usada para dimensionar o supercrítico (*torrencial*), está em função de **y_c/b**, o que permite montar a Tabela 9 para uso similar ao da Tabela 8.

Tabela 9 - Elementos de cálculo das profundidades críticas de canais trapezoidais

Valores de $\frac{Q}{g^{1/2} \cdot b^{5/2}} = \frac{Z}{b^{5/2}}$											
y_c/b	z										
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00
0,02	0,0028	0,0028	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0030	0,0030	0,0031
0,03	0,0052	0,0052	0,0053	0,0053	0,0054	0,0054	0,0054	0,0055	0,0056	0,0057	0,0058
0,04	0,0080	0,0081	0,0082	0,0082	0,0083	0,0084	0,0085	0,0086	0,0088	0,0090	0,0093
0,05	0,0112	0,0113	0,0115	0,0116	0,0117	0,0119	0,0120	0,0123	0,0126	0,0129	0,0134
0,06	0,0147	0,0149	0,0151	0,0154	0,0156	0,0158	0,0160	0,0165	0,0169	0,0173	0,0182
0,07	0,0185	0,0188	0,0192	0,0195	0,0198	0,0201	0,0205	0,0211	0,0218	0,0224	0,0237

TABELA PARCIAL => CONTINUA

3.3 • Dimensionamento da Borda Livre

Ao longo de um canal, deve-se avaliar pontos críticos ao transbordamento, adotando maior ou menor rigor, dependendo da incerteza ou risco associados a essa ocorrência.

Dois critérios de cálculo são os mais empregados e são mostrados a seguir.

1) Critério de Denver, Colorado, EUA (*Urban Storm Drainage Criteria Manual*):

Para regime torrencial e um período de retorno de 100 anos.

$$BL = 0,61 + 0,0372 \times V \times y^{1/3} \tag{Eq. 8}$$

Onde:

BL = valor da borda livre (m)

V = velocidade média na seção (m/s)

y = profundidade de escoamento para a vazão de projeto (m)

2) Critério do U.S. Bureau of Reclamation (*USBR*), U.S. Department of the Interior:

$$BL = (a \times y)^{0,5} \tag{Eq. 9}$$

Onde:

BL = valor da borda livre (m)

a = adimensional (Tab. 10)

y = profundidade de escoamento (m)

A Tabela 10 apresenta os valores de **a** da Equação 9 para diferentes situações.

Tabela 10 - Valores recomendados de "a" para cálculo de BL

a	Vazão (m³/s)	Critérios
0,4	Q ~ 0,5	Para valor baixo de vazão
Escolhido pelo calculista	De projeto	Critério da experiência profissional
0,8	Q ≥ 80	Para valor alto de vazão

Distância do espelho do degrau ao ponto de contato da veia d'água com o piso inferior.

$$\frac{L_1}{d} = 4,30 D^{0,27} \quad (Eq. 16)$$

Altura d'água junto ao espelho.

$$\frac{y_p}{d} = D^{0,22} \quad (Eq. 17)$$

A extensão do ressalto L_2 é obtida por:

$$L_2 = 6,9 (y_2 - y_1) \quad (Eq. 18)$$

3.5 • Curva de canal

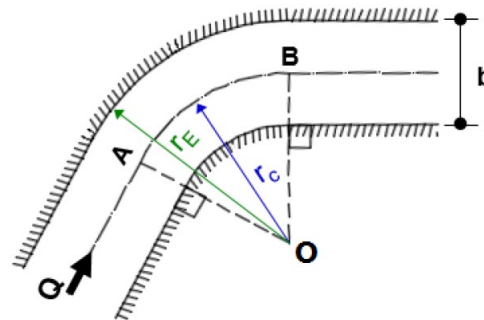


Figura 5 Parâmetros de cálculo do raio de curva de um canal

1) Canais revestidos

Para minimizar os efeitos de turbulência, ondas superficiais, transversais, em canais revestidos nos regimes supercríticos pode-se aplicar a seguinte expressão:

$$r_c = 3.b \quad (Eq. 19)$$

Onde:

r_c = raio em relação ao eixo (m)

b = largura da superfície do canal (m)

2) Canais sem revestimento

$$r_E \geq 40\sqrt{S} \quad (Eq. 20)$$

Onde:

r_E = raio externo da curva (m)

S = seção transversal do canal (m^2)

3) Pela Rio-Águas, o valor do raio da curva depende do número de Froude.

Número de Froude	r_{cmin}
< 0,86	> 3.b (Eq. 21)
≥ 0,86	> 4.V ² .b/g.y (Eq. 22)

Onde:

r_{cmin} = raio de curva mínimo (m)

b = largura da superfície do canal (m)

V = velocidade média na seção (m/s)

y = tirante hidráulico (m)

3.6 • Superelevação em canais

Em relação à borda livre, devem-se acrescentar as ondulações de superfície e, nas mudanças de direção, a sobre-elevação pelo efeito das curvas horizontais. Em seções fechadas a borda livre merece especial atenção, pois o afogamento do conduto produz uma brusca redução da capacidade da seção. Nos casos convencionais de projeto, com período de retorno de 25 anos, deve-se verificar a linha piezométrica abaixo dos níveis dos terrenos laterais para 100 anos.

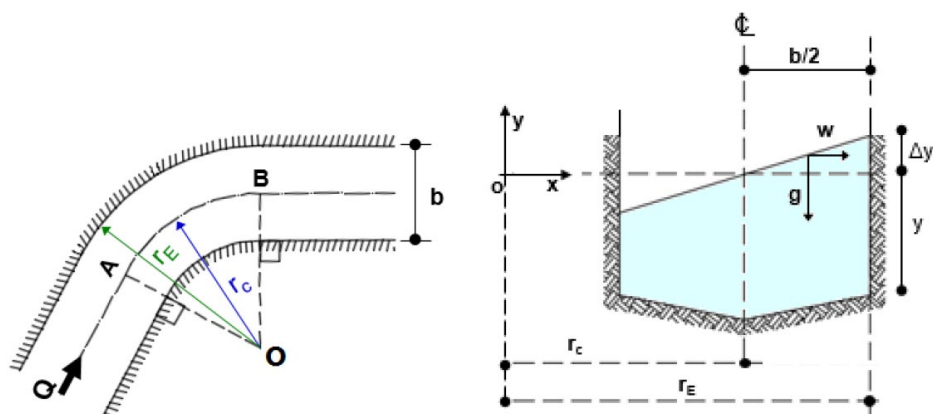


Figura 6 - Parâmetros de cálculo da superelevação Δy de um canal

A superelevação em curvas de canais pode ser calculada pela expressão:

$$\Delta_y = 2,3 \frac{V^2}{2g} \log_{10} \left(1 + \frac{b}{2r_c} \right) \quad (\text{Eq. } 23)$$

A Rio-Águas adota a seguinte expressão para superelevação em curvas:

$$h_{se} = \frac{V^2 \cdot b}{g \cdot r_c} \quad (\text{Eq. } 24)$$

Onde:

h_{se} = altura **adicional** requerida (m)

V = velocidade média (m/s)

r_c = raio de curvatura (m)

b = largura do canal (m)

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

Referências bibliográficas

1. Drenagem urbana: manual de projeto. – 3. Ed. – São Paulo : CETESB / 3. Ed. /ASCETESB, 1986.
2. FENDRICH, R. Drenagem e Controle da Erosão Urbana. Curitiba: Champagnat, 4º edição, 1997.



CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FADIGA DE MISTURAS ASFÁLTICAS REFORÇADAS COM CAMADAS NANOMÉTRICAS DE SILICATOS

*João Victor Staub de Melo*¹
*Glicério Trichês*²

Professores da Universidade Federal de Santa Catarina
- Departamento de Engenharia - Florianópolis - SC

¹ joao.victor@ufsc.br

² glicerio.triches@ufsc.br

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de um estudo da influência da adição de nanoargila organofílica (camadas de silicatos) na resistência à fadiga de misturas asfálticas. Para o estudo foi desenvolvido um nanocompósito asfáltico com adição de 3% de nanoargila em relação ao peso de ligante asfáltico convencional. A partir da dosagem Superpave foram formuladas duas misturas asfálticas, uma com ligante asfáltico convencional e a outra com o nanocompósito desenvolvido. As duas misturas asfálticas foram submetidas aos ensaios de módulo complexo e resistência à fadiga. Os resultados obtidos demonstraram melhor comportamento reológico e mecânico da mistura asfáltica reforçada com as camadas de silicatos. Neste sentido, maior módulo complexo, menor ângulo de fase e maior resistência à fadiga foram verificados. O efeito benéfico da nanoargila foi evidenciado na simulação numérica da estrutura de um pavimento. O revestimento asfáltico nanomodificado apresentou um incremento na vida útil, quanto à ruptura por fadiga, de 4,4 vezes mais que o revestimento asfáltico convencional. A principal conclusão da pesquisa é a obtenção de misturas asfálticas com propriedades superiores à convencional, a partir do reforço da matriz asfáltica com camadas de silicatos.

Palavras-chave: Camadas de Silicatos; Reforço Nanométrico; Nanocompósito; Misturas asfálticas; Resistência à fadiga.

ABSTRACT

This paper presents the results of a study on the influence of the addition of organophilic nanoclay (silicate layers) in the fatigue life of asphalt mixtures. An asphalt nanocomposite with the addition of 3% of nanoclay in relation to the weight of the conventional asphalt binder was developed for this study. Two asphalt mixtures were formulated from the Superpave dosage, one with conventional asphalt binder and the other with the developed nanocomposite. The two asphalt mixtures were submitted to the tests of complex modulus and resistance to fatigue. The results demonstrated a better rheological behavior and mechanical performance of the nanomodified asphalt mixture. Thus, it was verified a higher complex modulus, smaller phase angle and greater resistance to fatigue. The beneficial effect of the nanoclay was evidenced in the numerical simulation of a pavement structure. The nanomodified asphalt coating showed an increase in fatigue life of 4.4 times more than the conventional asphalt coating. The main conclusion of the research is the obtainment of asphalt mixtures with superior properties to the conventional one, from reinforcing the asphalt matrix with layers of silicates.

Keywords: Silicate layers; Nanometric Reinforcement; Nanocomposite; Asphalt mixtures; Resistance to fatigue.

1 • INTRODUÇÃO

Os pavimentos asfálticos, após a sua construção, sofrem um processo de degradação sob a ação do tráfego e das condições atmosféricas. Esse processo, que ocorre durante a vida útil do pavimento, poderá ser mais lento se o pavimento for bem construído e se utilizar materiais com melhores desempenhos que os convencionais. No caso dos materiais asfálticos, a modificação dos ligantes tornou-se uma maneira de melhorar o desempenho destes e conseqüentemente das misturas asfálticas. Vários tipos de modificadores têm sido empregados em ligantes asfálticos para melhorar as propriedades da mistura asfáltica quanto à resistência ao envelhecimento, trincas por fadiga e de origem térmica, dano por umidade e deformação permanente.

No campo da Nanotecnologia, estudos recentes (MELO e TRICHÊS, 2016; AMIN et al., 2016; SANTAGATA et al., 2012) têm utilizado como reforço em matrizes de ligantes asfálticos, cargas tubulares como os nanotubos de carbono. Entretanto, a maioria das pesquisas (YOU et al., 2011; YAO et al., 2012; GALOYAK et al., 2011; ISKENDER, 2016; ASHISH et al., 2016) está direcionada ao estudo de nanocompósitos asfálticos formados por camadas de silicatos, como por exemplo, as nanoargilas organofílicas, compostas por lamelas (camadas) com espessura da ordem de 1 nm e diâmetros que variam de 100 a 1000 nm. Os estudos têm demonstrado melhorias em diversas propriedades dos ligantes asfálticos e misturas asfálticas.

Nesta perspectiva, este artigo apresenta os resultados dos efeitos das camadas de silicatos na reologia e estimativa de vida à fadiga de misturas asfálticas. O estudo partiu desde o desenvolvimento do nanocompósito asfáltico (ligante asfáltico + nanoargila) até o campo da mistura asfáltica.

2 • MATERIAIS E MÉTODO

2.1 • Materiais

Para a realização do estudo foram utilizados os seguintes materiais: ligante asfáltico convencional, nanoargila organofílica, agregados minerais e cal hidratada (CH-I).

O ligante asfáltico utilizado no estudo é convencional com Performance Grade (PG) de 58-22 (AASHTO M 320, 2010), apresentando 57 décimos de milímetros de penetração (ABNT NBR 6576, 2007) 47,9 °C de ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560, 2016) e índice de susceptibilidade térmica (IST) de -1,44 (Pfeiffer e Van Doormaal). A nanoargila organofílica apresenta estrutura cristalina constituída por camadas de tetraedros de sílica e octaedros de alumínio (estrutura dioctaédrica), tamanho de partícula após a dispersão de 1 x 500 nm e densidade de 1,7 g/cm³. A nanoargila é derivada do argilomineral montmorilonita e modificada com sais quaternários de amônio (dimetil amônio com duas cadeias alquilas).

O agregado selecionado para a formulação das misturas asfálticas apresenta origem mineralógica basáltica e as seguintes propriedades: absorção de 0,8% (DNER-ME 081, 1998), angularidade do agregado graúdo de 100% (ASTM D 5821, 2013), angularidade do agregado miúdo de 49,2% (ASTM C 1252, 2006), equivalente de areia de 61,2% (DNER-ME 054, 1997), abrasão Los Angeles de 11,6% (DNER-ME 035, 1998), sanidade de 2,1% (DNER-ME 089, 1994) e ausência de materiais deletérios (AASHTO T 112, 2012). A cal hidratada utilizada é do tipo CH-I, dolomítica.

A concepção da curva granulométrica, utilizada na formulação das misturas asfálticas, seguiu a especificação Superpave para um tamanho nominal máximo de 19 mm. A curva granulométrica é composta de 43% de brita 3/4", 15,5% de pedrisco 3/8", 40% de pó de pedra e 1,5% de cal (Figura 1).

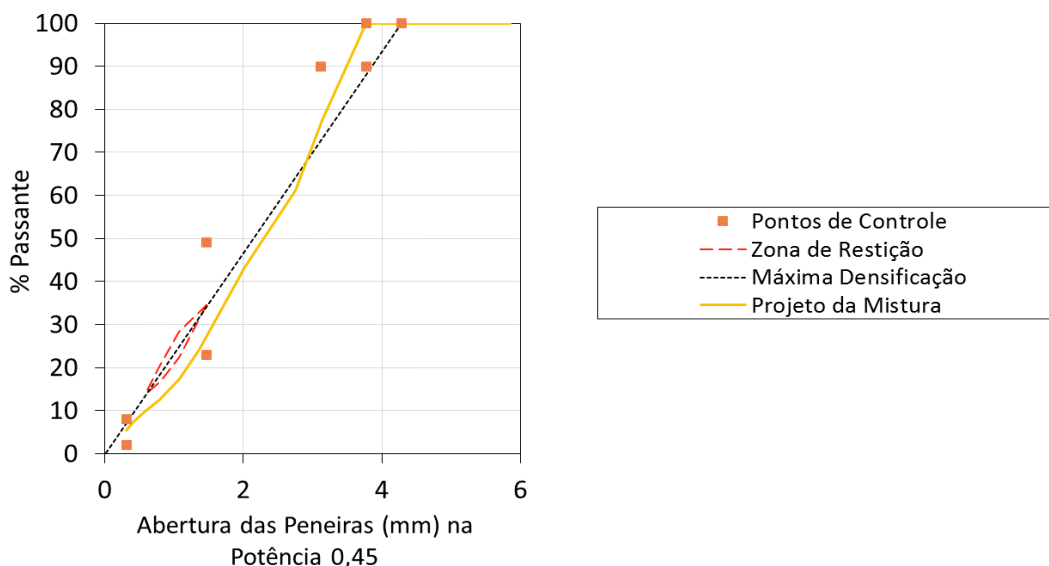


Figura 1 - Composição granulométrica da mistura de agregados.

2.2 • Método

Para a avaliação dos efeitos do nanocompósito de nanoargila (camadas de silicatos) na mistura asfáltica, foram produzidas duas misturas a serem investigadas, uma com ligante asfáltico convencional (referência) e outra com nanocompósito asfáltico de nanoargila. A estrutura da investigação foi organizada da seguinte forma: desenvolvimento do nanocompósito asfáltico de nanoargila, projeto das misturas asfálticas e avaliação da resistência à fadiga das misturas. Por último, foi realizada uma simulação numérica da estrutura de um pavimento e avaliada a estimativa de vida útil, quanto à ruptura por fadiga, do revestimento asfáltico convencional e nanomodificado.

2.2.1 • Desenvolvimento do Nanocompósito Asfáltico de Nanoargila

A porcentagem de adição de nanoargila no ligante asfáltico, foi definida em observância a outras pesquisas já realizadas (YOU et al., 2011; YAO et al., 2012; GALOORYAK et al., 2011; ISKENDER, 2016; ASHISH et al., 2016), que atingiram melhoras nas propriedades do ligante asfáltico com teores entorno de 3% em relação ao peso do ligante. Neste sentido, o nanocompósito asfáltico foi desenvolvido com a adição de 3% de nanoargila no ligante asfáltico convencional, incorporado através de um misturador de alto cisalhamento, sob um nível cisalhante de 5.000 rpm.

A temperatura utilizada na modificação do ligante asfáltico foi definida a partir do ensaio de termogravimetria no pó de nanoargila. Neste ensaio, foi verificado até qual temperatura a nanoargila mantém sua estabilidade térmica, indicando a melhor temperatura para a realização da modificação do ligante asfáltico, de modo que não ocorra a decomposição do nanomaterial. A análise térmica foi realizada de 25 °C a 500 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, em atmosfera de nitrogênio com vazão de 100 ml/min.

O tempo de compatibilização no misturador de alto cisalhamento foi definido em função do completo esfoliamento das lamelas (camadas) de nanoargila no ligante asfáltico. O grau de esfoliamento do nanocompósito foi determinado por difratometria de raios X (DRX). A difratometria de raios X foi realizada com radiação $k\alpha$ de Cu (cobre), com varreduras de 1° a 10° (2 θ), com taxa de 0,02°/min. Nesta análise, foi possível obter o espaçamento interfoliar, chamado de espaçamento basal (plano d_{001}), calculado pela lei de Bragg conforme a equação 1.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

n = ordem da difração;

λ = comprimento de onda da radiação de raios X (1,5418 Å);
 d = espaçamento entre os planos de rede difraccional;
 θ = ângulo de difração medido.

Após o desenvolvimento do nanocompósito, este foi avaliado quanto a suas propriedades e comparado com o ligante asfáltico convencional. Nas propriedades tradicionais, verificou-se as alterações na penetração, ponto de amolecimento e índice de susceptibilidade térmica (Pfeiffer e Van Doormaal). Para as avaliações reológicas foram analisadas as alterações na viscosidade aparente (ABNT NBR 15184, 2004) e no Performance Grade (PG).

2.2.2 • Projeto das Misturas Asfálticas

O projeto da mistura asfáltica seguiu as prescrições da metodologia Superpave, com a utilização do compactador giratório. Os procedimentos adotados na dosagem, seguiram as recomendações das normas AASHTO M 323 (2013) e AASHTO R 35 (2012). Foram fixados três parâmetros na moldagem dos corpos de prova: ângulo de compactação de 1,25°, pressão de compactação de 0,6 MPa e velocidade de giro de 30 rpm. O projeto da mistura foi conduzido para atender a um elevado volume de tráfego ($N_{inicial} = 9$ giros, $N_{projeto} = 125$ e $N_{máximo} = 205$ giros). O teor de ligante asfáltico de projeto foi definido como aquele que atendeu aos seguintes critérios Superpave de dosagem: porcentagem de vazios no $N_{inicial} > 11\%$, no $N_{projeto} = 4\%$ e no $N_{máximo} > 2\%$; VAM (vazios do agregado mineral) $\geq 13\%$; RBV (relação betume-vazios) entre 65% e 75%; e RPB (relação pó-betume efetivo) entre 0,8 e 1,6.

2.2.3 • Avaliação da Resistência à Fadiga das Misturas Asfálticas

Preliminarmente aos ensaios de fadiga, foi realizado o estudo do comportamento reológico das misturas asfálticas produzidas, através de ensaios de módulo complexo a diversas frequências e temperaturas de teste no equipamento de fadiga a quatro pontos (4PB). Para a realização tanto dos ensaios reológicos quanto para a resistência à fadiga, foram utilizados corpos de prova prismáticos com dimensões de 5,08 x 6,35 x 38,1 cm, extraídos de placas asfálticas (60 x 40 x 9 cm) moldadas na mesa compactadora IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de L'aménagement et des Réseaux) segundo as prescrições da especificação AFNOR NF P 98-250-2 (1991). Os ensaios de módulo complexo foram conduzidos nas frequências de 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10 e 20 Hz, e nas temperaturas de 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 °C, sob deformação controlada com carregamento sinusoidal alternado, amplitude máxima de deformação por flexão de 50 $\mu\text{m/m}$, conforme as diretrizes da norma EN 12697-26 (2004).

A determinação da resistência à fadiga das misturas asfálticas foi realizada segundo a norma EN 12697-24 (2004), sob carregamento sinusoidal contínuo, deformação controlada, critério de ruptura sendo a redução de 50% do módulo complexo inicial (determinado no centésimo ciclo) e frequência de carregamento de 10 Hz. A temperatura para realização dos ensaios de fadiga foi definida a partir dos resultados do comportamento reológico das misturas asfálticas produzidas, com base na abordagem da energia dissipada. Neste sentido, determinou-se a temperatura crítica, na qual a componente viscosa do módulo complexo na frequência de 10 Hz ($E_2 = E^* \sin \delta$) é máxima, ou seja, a temperatura na qual ocorre o maior valor de dissipação de energia (W) do material, segundo a equação 4 fundamentada na teoria da energia dissipada.

$$W = \pi \sigma \varepsilon \sin \delta \quad (\text{equação 2})$$

No caso de ensaios à deformação controlada, tem-se: $\varepsilon = \varepsilon_0$ e $\sigma = \varepsilon_0 E^*$

$$W = \pi \varepsilon_0^2 E^* \sin \delta \quad (\text{equação 3})$$

$$W_{max} = \pi \varepsilon_0^2 E_{2max} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

W = energia dissipada

W_{max} = energia dissipada máxima

- σ = amplitude da tensão;
- ε = amplitude da deformação;
- ε_0 = amplitude da deformação inicial (constante);
- δ = ângulo de fase;
- E^* = módulo complexo;
- E_{2max} = módulo viscoso máximo.

Para determinação da temperatura onde o módulo viscoso é máximo (E_{2max}), a partir dos resultados do módulo complexo e ângulo de fase obtidos nas diferentes temperaturas e frequências de ensaio, construiu-se o plano Cole-Cole (representação gráfica da componente elástica [$E_1 = E^* \cos \delta$] versus a componente viscosa [$E_2 = E^* \sin \delta$] do módulo complexo, em escala aritmética) e determinou-se a temperatura para realização do ensaio de fadiga.

2.2.4 • Aplicação dos Resultados: Estimativa de Ruptura por Fadiga das Misturas Asfálticas na Estrutura do Pavimento

Com o objetivo de avaliar e comparar a estimativa de vida útil das misturas asfálticas estudadas na ruptura por fadiga, foi realizada a simulação numérica da estrutura de um pavimento com o software ViscoRoute (desenvolvido pelo IFST-TAR). O software permite levar em conta o comportamento viscoelástico linear da camada de revestimento asfáltico, a temperatura do revestimento e velocidade de carregamento (relacionada a frequência de aplicação da carga). Desta forma, é possível realizar a simulação numérica considerando o módulo complexo da mistura asfáltica, suas componentes e o ângulo de fase. O modelo reológico utilizado para a definição do módulo complexo da mistura asfáltica no software é o modelo de Huet-Sayegh (Figura 2), apresentado na equação 5. Os parâmetros do modelo foram obtidos a partir dos dados experimentais do comportamento reológico das misturas asfálticas estudadas, mais precisamente, através do plano Cole-Cole (plano complexo).

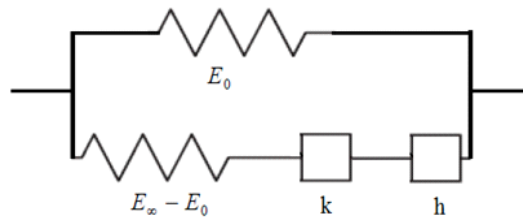


Figura 2 - Modelo reológico de Huet-Sayegh.

$$E^*(i\omega\tau(\theta)) = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + \delta(i\omega\tau(\theta))^{-k} + (i\omega\tau(\theta))^{-h}} \quad \text{(equação 5)}$$

$$\tau(\theta) = e^{(A_0 + A_1\theta + A_2\theta^2)} \quad \text{(equação 6)}$$

Onde:

- E^* = módulo complexo
- E_∞ = módulo complexo infinito
- E_0 = módulo estático
- i = número complexo definido por $i^2 = -1$
- τ = tempo de relaxação dos amortecedores
- ω = frequência angular da sollicitação, $\omega = 2\pi f$
- f = frequência do carregamento
- k, h = parâmetros dos elementos parabólicos
- δ = constante adimensional, função da natureza do ligante asfáltico e da granulometria da mistura asfáltica
- A_0, A_1 e A_2 = parâmetros escalares.

Nas análises numéricas que foram conduzidas, duas estruturas foram simuladas, a primeira constituída por revestimento asfáltico convencional e a segunda por revestimento asfáltico nanomodificado. Para cada situação foi obtida a magnitude da deformação específica de tração no fundo da camada de revestimento asfáltico (15 °C), ocasionada pela passagem de um carregamento dinâmico (eixo simples de roda dupla de 8,2 toneladas à 72 km/h). Em seguida, a partir dos modelos de fadiga das misturas asfálticas obtido em laboratório, foi estimado o número de solicitações do eixo de 8,2 toneladas necessárias para levar o revestimento asfáltico a ruptura por fadiga. A escolha da temperatura do revestimento asfáltico e da velocidade do eixo de carregamento na simulação, foram definidas com base nos ensaios de fadiga, uma vez que os ensaios foram conduzidos a 15 °C e frequência de 10 Hz que equivale a aproximadamente 72 km/h segundo estudos desenvolvidos por Chabot et al., (2009). As características do carregamento dinâmico utilizado na simulação foram: eixo simples de roda dupla de 8,2 toneladas à velocidade de 20 m/s (72 km/h), distância entre as rodas duplas de 32 cm, carga por roda de 2050 kgf, área circular de contato entre pneu-pavimento de aproximadamente 366 cm² (raio de 10,8 cm) e pressão de contato de 5,6 kgf/cm². As características da estrutura do pavimento que foram utilizadas na simulação numérica são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características da estrutura do pavimento utilizada na simulação numérica.

Estrutura/Camadas	Comportamento	Espessura (cm)	Módulo (E) (MPa)	Poisson (ν)
Revestimento Asfáltico	Viscoelástico Linear	18	*	0,30
Base	Elástico Linear	18	260	0,35
Sub-base	Elástico Linear	20	210	0,35
Subleito	Elástico Linear	Infinito	180	0,35

*Determinado pelo modelo reológico de Huet-Sayegh em função da temperatura da camada e da velocidade do carregamento (equação 5).

3 • APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 • Desenvolvimento do Nanocompósito Asfáltico de Nanoargila

Os resultados da técnica termoanalítica empregada para a verificação da variação de massa da nanoargila em função da temperatura é apresentada na Figura 3. O ensaio foi realizado com o objetivo de determinar a temperatura de modificação do ligante asfáltico convencional, de modo que não acarrete a degradação do material nanométrico.

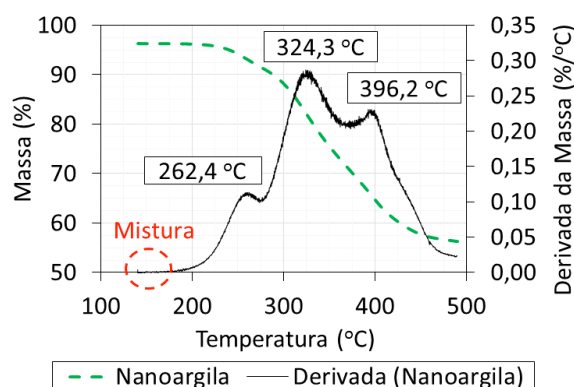


Figura 3 - Análise termogravimétrica do pó de nanoargila.

Na Figura 3 é possível verificar que a nanoargila apresenta excelente estabilidade térmica até os 200 °C. Após esta temperatura, ocorre um primeiro pico de perda de massa entorno de 262,4 °C, atribuído aos íons alquil amônio que estão adsorvidos fisicamente na superfície externa das partículas. As cadeias confinadas entre as lâminas de silicatos são relativamente estáveis a 262,4 °C, pois esta temperatura não é suficientemente alta para romper as interações iônicas. De fato, os íons intercalados nas camadas se decompõe na região principal de perda de massa entre 300 °C e 425 °C, com pico máximo em 324,3 °C. Com base nos resultados, definiu-se com temperatura para a incorporação da nanoargila no ligante asfáltico 150 °C (viscosidade aparente de 0,15 Pa.s), temperatura a qual não ocorre a decomposição do nanomaterial, mantendo assim suas propriedades e funcionalidades.

O tempo de mistura (compatibilização) foi definido em função do grau de esfoliamento na nanoargila na matriz de ligante. Inicialmente foi definido um tempo de mistura de 100 minutos e posteriormente, analisado e validado em função do grau de esfoliação da nanoargila. Neste sentido, após o processo de mistura (100 min), foram coletadas amostras do nanocompósito (ligante + nanoargila) e verificado o grau de esfoliamento pela difratometria de raios X. Na Figura 4, são apresentados os resultados de DRX. As difratometrias foram realizadas em amostras de pó de nanoargila, ligante asfáltico puro e no nanocompósito asfáltico após 100 min de mistura.

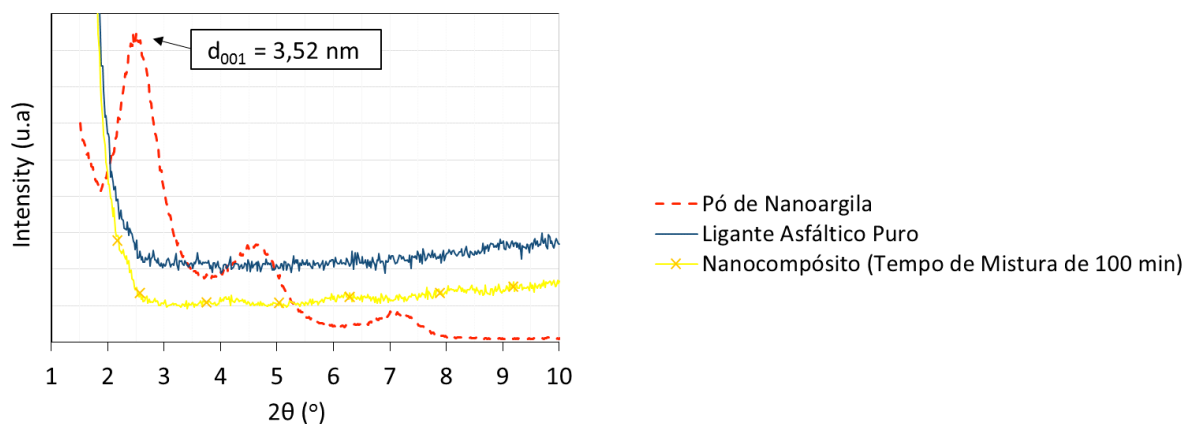


Figura 4 - Comparativo dos difratogramas de raios X.

De acordo com a Figura 4, observa-se que as partículas de nanoargila apresentam espaçamento basal (plano d_{001}) de 3,52 nm. O ligante asfáltico puro não apresenta picos no difratograma, caracterizando a ausência de cargas de nanoargila. No caso do nanocompósito, também se verifica a ausência de picos, retratando que ocorreu um completo esfoliamento da nanoargila na matriz asfáltica. Desta forma, definiu-se para todo o desenvolvimento do estudo o tempo de compatibilização (mistura) de 100 minutos. Após o desenvolvimento do nanocompósito, este foi avaliado quanto as suas propriedades em relação ao ligante asfáltico convencional. A Tabela 2 apresenta as mudanças nas propriedades.

Tabela 2 - Comparativo entre as propriedades do ligante convencional e o nanocompósito desenvolvido.

Propriedades	Ligante Convencional	Nanocompósito
Penetração (0,10 mm)	57	55
Ponto de Amolecimento (°C)	47,9	50,2
Índice de Susceptibilidade Térmica	-1,44	-0,92
Viscosidade Aparente (135 °C) (20 rpm) (Pa.s)	0,29	0,41
Viscosidade Aparente (150 °C) (50 rpm) (Pa.s)	0,15	0,21
Viscosidade Aparente (175 °C) (100 rpm) (Pa.s)	0,06	0,09
Performance Grade (PG) (°C)	58-22	64-22

Na Tabela 2, verifica-se que a adição da nanoargila ocasiona uma redução da penetração e o um aumento do ponto de amolecimento, resultando em menor sensibilidade a variação da temperatura, registrada pelo índice de suscetibilidade térmica. Os resultados de viscosidade aparente, retratam a alteração reológica no ligante asfáltico convencional quando incorporada a nanoargila. A resistência ao fluxo do nanocompósito, quando submetidos a tensões, é maior que a do ligante asfáltico de referência. Observa-se também um ganho de desempenho as elevadas temperaturas no PG. As mudanças nas propriedades do ligante asfáltico pela adição de nanoargila, concordam com estudos desenvolvidos em por diversos autores (YOU et al., 2011; ZARE-SHAHABADI et al., 2010; JAHROMI et al., 2009), resultando em um novo material, com melhores propriedades que o ligante asfáltico convencional e que contribuem, diretamente, para maior resistência à deformação permanente.

3.2 • Projeto das Misturas Asfálticas

O projeto da mistura asfáltica foi realizado segundo a metodologia Superpave, com a utilização do ligante asfáltico convencional. O estudo de dosagem conduziu a um teor de ligante asfáltico de projeto de 4,35%. Onde conforme os resultados das Tabela 3, a mistura asfáltica projetada atende a todos requisitos volumétricos exigidos pela especificação Superpave. O teor de projeto de 4,35% foi utilizado tanto para a produção da mistura asfáltica convencional quanto para a mistura asfáltica nanomodificada.

Tabela 3 - Propriedades volumétricas da mistura asfáltica projetada.

Propriedades	Resultados	Critérios da Especificação
Teor de Ligante (%)	4,35	-
% G_{mm} ($N_{inicial}=9$)	86,5	< 89
% G_{mm} ($N_{projeto}=125$)	95,9	= 96
% G_{mm} ($N_{máximo}=205$)	97,2	< 98
G_{mb} ($N_{projeto}=125$) (g/cm^3)	2,577	-
G_{mm} (g/cm^3)	2,685	-
V_v (%)	4,01	= 4,00
VAM (%)	14,12	$\geq 13,00$
RBV (%)	71,57	65-75
RPB	1,37	0,8-1,6

3.3 • Avaliação da Resistência à Fadiga das Misturas Asfálticas

3.3.1 • Definição da Temperatura Para o Ensaio de Fadiga

Para a determinação da temperatura do ensaio de fadiga foi realizado o estudo do comportamento reológico da mistura asfáltica convencional e nanomodificada, a partir da obtenção do módulo complexo das misturas asfálticas sob diferentes temperaturas (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 °C) e frequências de carregamento (0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 e 20 Hz). A temperatura para o ensaio de fadiga foi definida como aquela que proporcionou a máxima dissipação de energia do material, ou seja, a temperatura na qual a componente viscosa (E_2) do módulo complexo é máxima, na frequência de 10 Hz. Para esta avaliação, foi construído o plano complexo (Cole-Cole) onde é estabelecida a representação gráfica da componente elástica (E_1) versus a componente viscosa (E_2) do módulo complexo. Na Figura 5 são apresentados os planos complexos da mistura asfáltica convencional e nanomodificada, respectivamente.

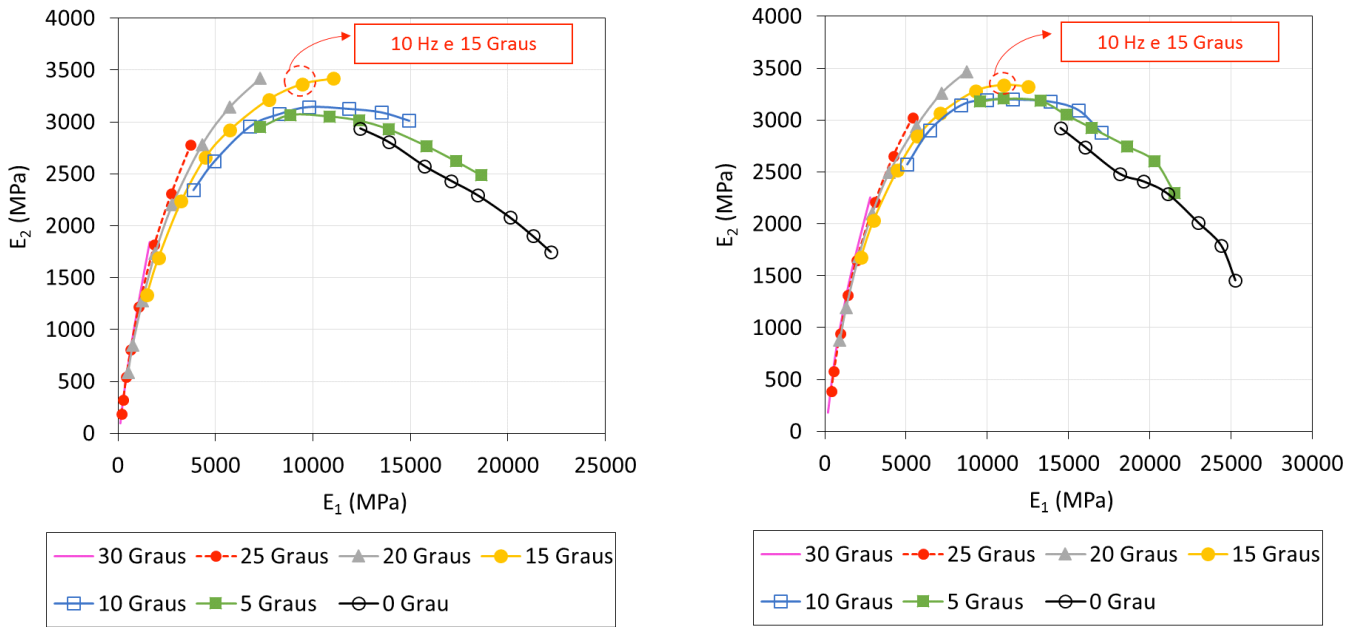


Figura 5 - (a) Plano Cole-Cole da mistura asfáltica convencional e Plano Cole-Cole da mistura asfáltica com nanocompósito (b).

Com base nos planos complexos (Cole-Cole) das misturas asfálticas apresentados na Figura 5, é possível evidenciar que a componente viscosa (E_2) do módulo complexo é máxima na temperatura de 15 °C para ambas misturas asfálticas. Neste estado térmico do material, ocorre a maior dissipação de energia por ciclo de carregamento a 10 Hz, conforme pode ser verificado na Figura 6 que apresenta os resultados da energia dissipada (W) por ciclo de carregamento (10 Hz) versus a temperatura de ensaio.

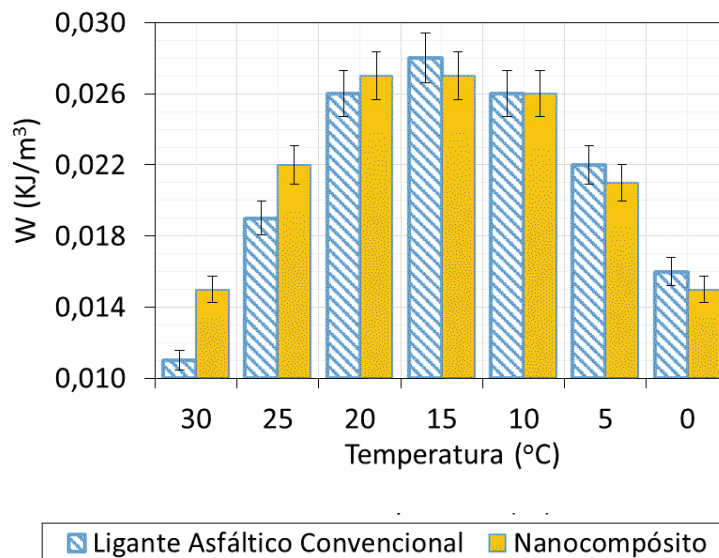


Figura 6 - Energia dissipada por ciclo de carregamento (10 Hz) versus temperatura de ensaio (°C).

Desta forma, definiu-se para condução dos ensaios de resistência à fadiga a temperatura de 15 oC, considerada crítica em termos de energia dissipada (trabalho realizado) a cada ciclo de carregamento para as duas misturas asfálticas estudadas.

Além da definição da temperatura de fadiga, o estudo do comportamento reológico permitiu verificar a influência da nanoargila no módulo complexo e suas componentes, o módulo elástico (E_1) e o módulo viscoso (E_2), assim como no ângulo de fase. A Figura 7 apresenta um comparativo dos resultados reológicos da mistura asfáltica convencional e nanomodificada para a frequência de 10 Hz.

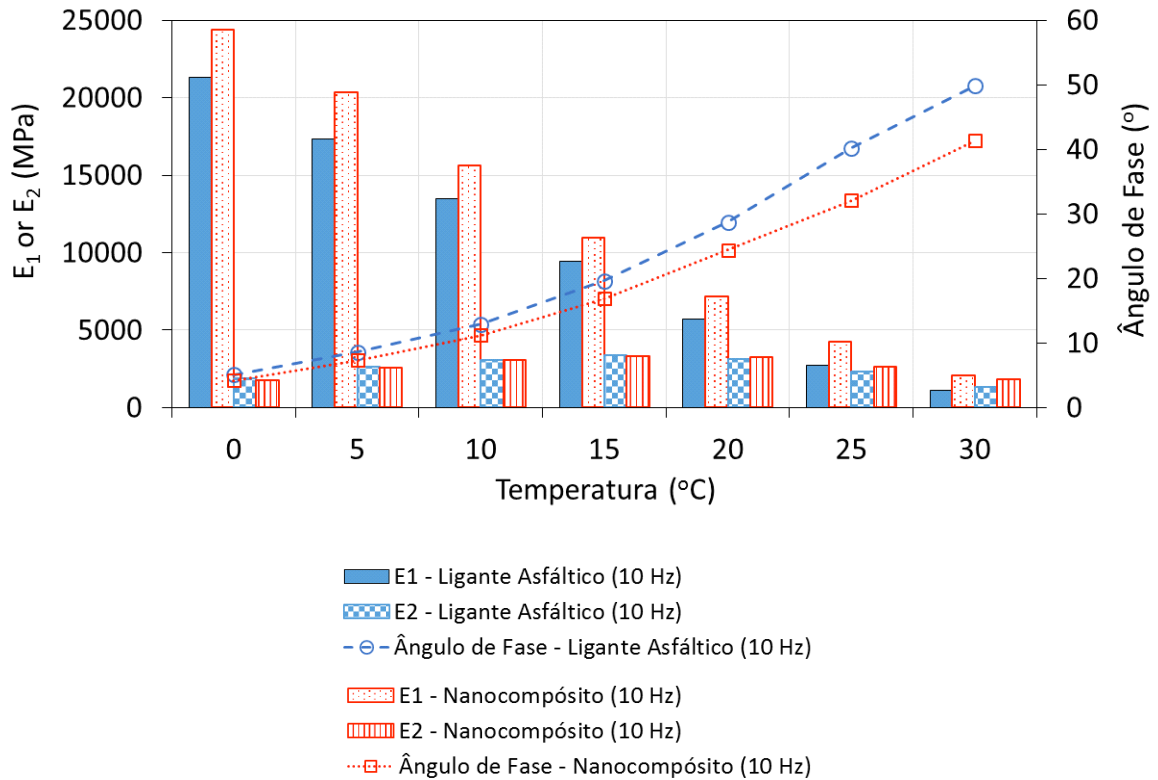


Figura 7 - Comparação do comportamento reológico das misturas asfálticas convencionais e com nanocompósito na frequência de 10 Hz.

A Figura 7 mostra a redução do módulo complexo ($E^* = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$) e o aumento do ângulo de fase com o aumento da temperatura das misturas. Verifica-se que a mistura asfáltica com nanocompósito tem maior módulo complexo e menor ângulo de fase que a mistura asfáltica convencional. O aumento na rigidez da mistura asfáltica nanomodificada é dado prioritariamente na componente elástica em todas as temperaturas. A adição da nanoargila melhora as propriedades da mistura asfáltica, pois o aumento do módulo complexo em termos de componente elástica é benéfico para a resistência à fadiga e deformação permanente das misturas asfálticas.

3.3.2 • Ensaio de Fadiga

O ensaio de resistência à fadiga das misturas asfálticas foi conduzido sob carregamento sinusoidal contínuo, deformação controlada, frequência de carregamento de 10 Hz e temperatura de 15 °C. O critério de ruptura adotado para o fim do ensaio foi de 50% de redução do módulo complexo inicial (determinado no centésimo ciclo de carregamento).

Na sequência, a Tabela 4 apresenta os resultados do ensaio de fadiga referente a cada corpo de prova testado, em termos de amplitude da deformação e número de ciclos de carregamento até a ruptura. Na Figura 8 é comparada a curva de fadiga da mistura asfáltica convencional e da nanomodificada.

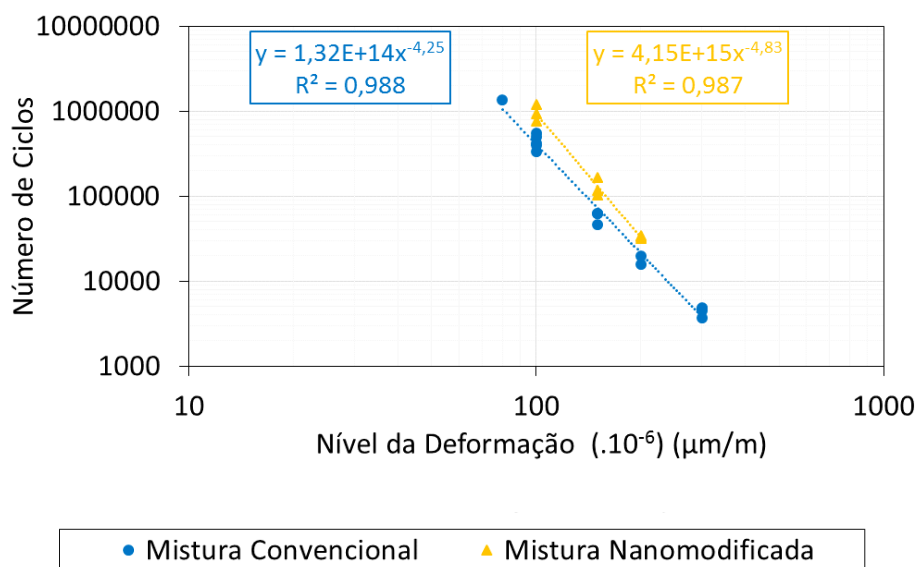


Figura 8 - Comparação entre as curvas de fadiga das misturas asfálticas.

Na Tabela 5 é apresentado um resumo comparativo dos parâmetros dos modelos de fadiga obtidos para as misturas asfálticas estudadas. São apresentados o erro padrão (desvio padrão dos resíduos), o coeficiente de correlação (R^2), a deformação para um milhão de ciclos (ϵ_6) e o intervalo de confiança de 95% ($\alpha=0,05$) sobre a deformação a um milhão de ciclos ($\Delta\epsilon_6$).

Tabela 5 - Resumo dos resultados dos modelos de fadiga ($N = a \times \epsilon^b$) obtidos para as misturas asfálticas estudadas.

Parâmetros	Convencional	Nanomodificada
a	1,32E+14	4,15E+15
b	-4,25	-4,83
ϵ_6 (.10 ⁻⁶) (μm/m)	81,41	98,92
$\Delta\epsilon_6$ (.10 ⁻⁶) ($\alpha=0,05$)*	± 5,48	± 5,77
Erro padrão	0,103	0,078
R2	0,988	0,987

*Intervalo de confiança de 95% sobre a deformação relativa a 1.000.000 de ciclos (ϵ_6).

Tratando-se das curvas de fadiga obtidas, observa-se na Figura 8, sob níveis de amplitude de deformação menores que 300 microdeformações, uma maior resistência à fadiga da mistura asfáltica nanomodificada em relação à mistura asfáltica convencional. Nota-se, ainda, nesta faixa de deformação ($< 300 \times 10^{-6}$), que quanto menor a amplitude da deformação, maior é o ganho de resistência à fadiga da mistura nanomodificada em relação a mistura asfáltica convencional. Esta constatação é evidenciada pela inclinação da equação, caracterizada pelo parâmetro “b”. Conforme a Tabela 5, a mistura asfáltica nanomodificada mostra inclinação de -4,83, maior que a mistura asfáltica convencional, com -4,25.

O melhor desempenho à fadiga da mistura asfáltica nanomodificada pode ser verificado tomando-se como referência a deformação para um milhão de ciclos (ϵ_6). Neste caso, têm-se para a mistura asfáltica nanomodificada, 98,92 mi-

crodeformações, e para a mistura asfáltica convencional, 81,41 microdeformações. Em ganhos percentuais, houve um incremento de 21,51% da deformação para um milhão de ciclos.

O melhor comportamento à fadiga da mistura asfáltica nanomodificada está atrelado a maior dificuldade de propagação das microtrincas no material. As folhas de nanoargila esfoliadas na matriz asfáltica são barreiras que devem ser vencidas, retardando a evolução das microtrincas na zona coesiva. Na zona adesiva (interface agregado-ligante asfáltico), a melhor molhabilidade e interação química entre o nanocompósito asfáltico e o agregado retratam maior adesão ao par e conduz a maior resistência à propagação de trincas nesta interface. O aumento do módulo complexo em termos de componente elástica também se traduz em maior capacidade do material em deformar-se e recuperar-se com menor acúmulo de danos possíveis, contribuindo para maior resistência à fadiga.

3.4 • Aplicação dos Resultados: Estimativa de Ruptura Por Fadiga das Misturas Asfálticas na Estrutura do Pavimento

Na simulação numérica, foram definidas para as camadas constituintes do pavimento as espessuras e parâmetros apresentados na Tabela 1, com o módulo complexo dos revestimentos asfálticos, determinados diretamente pelo software através do modelo reológico de Huet-Sayegh, cujos parâmetros foram obtidos no plano Cole-Cole e são apresentados na Tabela 6. O cálculo do módulo complexo dos revestimentos na simulação é função da temperatura da camada (15 °C) e da velocidade do carregamento (20 m/s \approx 72 km/h).

Tabela 6 - Parâmetros do modelo de Huet-Sayegh para as misturas estudadas.

Parâmetros Viscoelásticos (Huet-Sayegh)	Mistura Asfáltica	
	Convencional	Nanomodificada
E_{∞} (MPa)	28499,2	33864,1
ν	0,30	0,30
E_0 (MPa)	56,253	1,23756
k	0,22896	0,166642
h	0,68772	0,56079
Delta (δ)	2,24483	1,76482
A_0	3,61263	3,2907
A_1	-0,474064	-0,487376
A_2	0,0030196	0,0034478

A simulação numérica da estrutura do pavimento em conjunto com os modelos de fadiga obtidos no estudo, permitiram fazer a previsão de vida útil do revestimento asfáltico quanto à ruptura por fadiga. A Tabela 7 apresenta a estimativa de vida do revestimento asfáltico, em termos do número de solicitação de eixo simples de roda dupla ($N_{8,2 \text{ ton}}$), considerando dois casos: o primeiro com a mistura asfáltica convencional e o segundo com a mistura asfáltica nanomodificada.

Tabela 7 - Estimativa de vida à fadiga do revestimento asfáltico na estrutura do pavimento simulado.

Parâmetros	Revestimento Asfáltico	
	Convencional (1º Caso)	Nanomodificada (2º Caso)
Equação de Fadiga	$N=1,32 \times 10^{14} \epsilon_t^{-4,25}$	$N=4,15 \times 10^{15} \epsilon_t^{-4,83}$
ϵ_t ($\mu\text{m}/\text{m}$)	61	56
$N_{8,2 \text{ ton}}$	$3,41 \times 10^6$	$1,50 \times 10^7$

Conforme a Tabela 7, o carregamento do eixo simples ocasionou uma microdeformação de tração (ϵ_t) no fundo da camada de revestimento de 61 $\mu\text{m}/\text{m}$ para a mistura asfáltica convencional e de 56 $\mu\text{m}/\text{m}$ para a mistura asfáltica nanomodificada. Essas deformações específicas de tração, aplicadas nos modelos de fadiga, indicam a ruptura do revestimento com $3,41 \times 10^6$ solicitações para a mistura asfáltica convencional e $1,50 \times 10^7$ solicitações para a mistura asfáltica nanomodificada. Verifica-se, um aumento significativo na estimativa da vida útil do revestimento, quanto à ruptura por fadiga, quando se utiliza a mistura nanomodificada. O ganho de desempenho em relação a mistura asfáltica convencional é da ordem de 4,4 vezes mais.

Para os desempenhos se equipararem em relação ao número de solicitações do eixo simples ($N_{8,2 \text{ ton}}$), a mistura asfáltica convencional deveria apresentar no máximo uma deformação específica de tração na fibra inferior de 43 $\mu\text{m}/\text{m}$, para isto, seria necessário aumentar a espessura da camada de mistura asfáltica. Neste sentido, a Figura 9 apresenta a variação da microdeformação de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico convencional com o aumento da sua espessura.

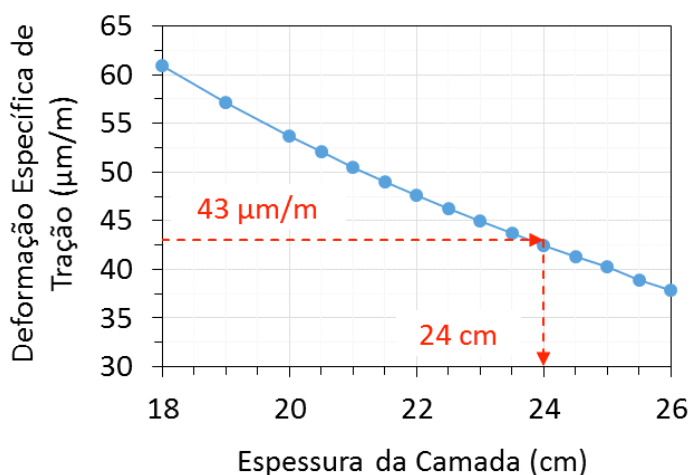


Figura 9 - Variação da microdeformação de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico convencional com o aumento da sua espessura da camada asfáltica.

De acordo com a Figura 9, verifica-se em termos de espessura da camada de revestimento asfáltico, que para ter uma equivalência de desempenho quanto à ruptura por fadiga entre as misturas asfálticas convencional e nanomodificada, deveria haver um incremento de aproximadamente 6 cm (24 cm de espessura) na camada da mistura asfáltica convencional, ou seja, um aumento de 33,33%.

4 • CONCLUSÕES

O artigo apresentou os resultados de uma pesquisa sobre a caracterização e estimativa de vida à fadiga de misturas asfálticas reforçadas com camadas nanométricas de silicatos. A principal conclusão da pesquisa é que a adição da nanoargila (camadas de silicatos) no teor de 3%, acarreta uma mistura asfáltica com propriedades superiores à convencional, tanto no comportamento reológico, quanto na vida à fadiga.

O nanocompósito quando adicionado na mistura asfáltica, proporciona um material com maior módulo complexo (mais rígido), com ganhos de rigidez principalmente na componente elástica, reduzindo desta forma o ângulo de fase. A mistura asfáltica com nanoargila apresenta maior resistência à fadiga na temperatura de 15 oC (10 Hz). O melhor comportamento à fadiga está atrelado a maior dificuldade de propagação das microtrincas no material. As camadas de nanoargila esfoliadas na matriz asfáltica são barreiras que devem ser vencidas, retardando o avanço e evolução das microtrincas na zona coesiva. Além disso, a mistura asfáltica nanomodifica, por se apresentar mais elástica, acumula menos danos provenientes da sollicitação, segundo a abordagem da energia dissipada.

A simulação numérica da estrutura do pavimento comprova um aumento significativo na vida à fadiga do revestimento quando utilizada a mistura asfáltica nanomodificada. O ganho de desempenho em serviço em relação à mistura asfáltica convencional é da ordem de 4,4 vezes mais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Rede Temática do Asfalto/Petrobras pelos investimentos realizados no Laboratório de Pavimentação da UFSC, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de estudos, ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica/UFSC e ao Nanotec/UFSC pelo suporte na realização de alguns ensaios.

Referências Bibliográficas

- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation. AASHTO M 320: Standard specification for performance-graded asphalt binder. Washington, DC. 2010.
- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation. AASHTO T 112: Standard method of test for clay lumps and friable particles in aggregate. Washington, DC. 2012.
- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation. AASHTO M 323: Standard specification for Superpave volumetric mix design. Washington, DC. 2013.
- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation. AASHTO R 35: Standard practice for Superpave volumetric design for hot-mix asphalt (HMA). Washington, DC. 2012.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15184: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. 2004.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6560: Ligantes asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola. 2016.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6576: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. 2007.
- AFNOR - Association Française de Normalisation. AFNOR NF P 98-250-2: Essais relatifs aux chaussées - préparation des mélanges hydrocarbonés, partie 2: compactage des plaques. 1991.

- AMIN, I.; EL-BADAWY, S.; M, BREAKAH, T.; IBRAHIM, M. H. Z. Laboratory evaluation of asphalt binder modified with carbon nanotubes for Egyptian climate. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 121, p. 361-372, 2016.
- ASHISH, P. K.; SINGH, D.; BOHM, S. Evaluation of rutting, fatigue and moisture damage performance of nanoclay modified asphalt binder. *Construction and Building Materials*, v. 113, p. 341-350, 2016.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM C 1252: Standard test methods for uncompacted void content of fine aggregate (as influenced by particle shape, surface texture and grading). USA. 2006.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM D 5821: Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate. USA. 2013.
- CHABOT, A.; CHUPIN, O.; DELOFFRE, L.; DUHAMEL, D. *Viscoroute 2.0: a tool for the simulation of moving load effects on asphalt pavement*. Road Materials and Pavements Design. 2009.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 035: Agregados - determinação da abrasão "Los Angeles". 1998.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 054: Equivalente de areia. 1997.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 081: Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. 1998.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 089: Agregados - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. 1994.
- EN - European Standard. EN 12697-24: Bituminous mixtures - test methods for hot mix asphalt, part 24: Resistance to fatigue. CEN, Brussels. 2004.
- EN - European Standard. EN 12697-26: Bituminous mixtures - test methods for hot mix asphalt, part 26: Stiffness. CEN, Brussels. 2004.
- GALOYAK, S. S.; DABIR, B.; NAZARBEGYI, A. E.; MOEINI, A.; BERAHMAN, B. The effect of nanoclay on rheological properties and storage stability of SBS-modified bitumen. *Petroleum Science and Technology*, Taylor & Francis Group, LLC, v. 29, p. 850-859. 2011.
- ISKENDER, E. Evaluation of mechanical properties of nano-clay modified asphalt mixtures. *Measurement*, v. 93, p. 359-371, 2016.
- JAHROMI, S. G.; KHODAI, A. Effects of nanoclay on rheological properties of bitumen binder. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 23, p. 2894-2904. 2009.
- MELO, J. V. S.; TRICHÊS, G. Evaluation of rheological behavior and performance to permanent deformation of nanomodified asphalt mixtures with carbon nanotubes. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 43, p. 472-479, 2016.
- SANTAGATA, E.; BAGLIERI, O.; TSANTILIS, L.; DALMAZZO, D. Rheological characterization of bituminous binders modified with carbon nanotubes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, v. 53, p. 546-555. 2012.
- YAO, H.; LI, L.; YOU, Z.; SHI, X.; GOH, S. W.; MILLS-BEALE, J.; WINGARD, D. Performance of asphalt binder blended with non-modified and polymer-modified nanoclay. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 35, p. 159-170. 2012.
- YOU, Z. et al. Nanoclay-modified asphalt materials preparation and characterization. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 25, p. 1072-1078. 2011.
- ZARE-SHAHABADI, A.; SHOKUH FAR, A.; EBRAHIMI-NEJAD, S. Preparation and rheological characterization of asphalt binders reinforced with layered silicate nanoparticles. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 24, p. 1239-1244. 2010. 📌



USO DO PROGRAMA TRUCKSIM PARA QUANTIFICAÇÃO DO EFEITO DAS CARGAS DINÂMICAS DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS SOBRE PAVIMENTOS

*Patrícia Teodorovski Garbin¹
José Leomar Fernandes Júnior²*

¹ Empresa de Planejamento e Logística - EPL
patricia.garbin@transportes.gov.br

² Universidade de São Paulo - USP
leomar@sc.usp.br

RESUMO

O desenvolvimento de novas técnicas de dimensionamento, construção e gerência de pavimentos requer o conhecimento dos efeitos dinâmicos da interação veículo-via, que dependem da irregularidade longitudinal do pavimento e de fatores associados ao veículo, como o espaçamento entre eixos, a velocidade de operação, características de suspensão, a pressão de enchimento dos pneus e o tipo de rodagem dos eixos traseiros (rodagem dupla ou simples). Esta pesquisa tem por objetivo principal a quantificação

das solicitações dinâmicas de veículos rodoviários de carga sobre os pavimentos, mediante utilização do programa computacional TruckSim e visa a quantificação dos efeitos dos fatores carga por eixo, tipo de veículo, velocidade dos veículos e irregularidade longitudinal sobre o desempenho dos pavimentos. Os resultados mostram que os efeitos dinâmicos, particularmente quando os pavimentos estão em condição ruim (IRI superior a 4), têm potencial de intensificar as forças atuantes na via em até 280%, considerando-se um excesso de carga de 7,5%, que é a tolerância estabelecida pela legislação brasileira, e que, de uma maneira global, pode reduzir a vida em serviço de um pavimento em até 87%.

Palavras-chave: Rodovias, pavimentos, irregularidade longitudinal, TruckSim, cargas dinâmicas.

ABSTRACT

The development of new techniques for design, construction and management of pavements requires the knowledge of the dynamic effects associated to vehicle-track interactions, which depends on pavement roughness and vehicle characteristics, such as the spacing between axles, the operational speed, characteristics of suspension, tire inflation pressure and wheel type of rear axle (dual or single). The main goal of this research is quantifying the dynamic stresses of road freight vehicles on the pavements, by using the computer program TruckSim, and it aims to quantify the effects of the factors: axle load, vehicle type, vehicle speed and longitudinal roughness on the pavement performance. The results show that the dynamic effects, particularly when the pavements are in poor condition (IRI greater than 4), have the potential to intensify the forces acting on the road up to 280%, considering an overload of 7.5%, which is the tolerance established by Brazilian law, what can reduce the service-life of a pavement up to 87%.

Keywords: Highways, pavements, roughness, TruckSim, dynamic loads

1 • INTRODUÇÃO

A competitividade do mercado tem levado as empresas a buscarem maior eficiência e produtividade, com redução nos custos de transportes. Concomitantemente, tem havido evolução tecnológica da modalidade rodoviária e avanço das políticas de sustentabilidade socioambiental, com aumento da demanda pelo uso de veículos maiores e mais pesados, que levam ao aumento das solicitações do tráfego sobre a superfície de rolamento.

Se, por um lado, o aumento das solicitações do tráfego pode comprometer o nível de serviço, a integridade estrutural dos pavimentos e a segurança das rodovias, por outro lado, o crescimento na demanda por veículos maiores e mais pesados é justificado, principalmente, pelo incremento da eficiência no transporte de cargas, resultando em redução da emissão de poluentes e de ruídos e na redução no número de viagens.

O aprimoramento dos métodos de dimensionamento, construção e gerência de pavimentos pode contribuir para mitigar os danos aos pavimentos causados pelo aumento das solicitações do tráfego. A revisão da legislação de pesos e dimensões de veículos que trafegam em vias públicas, a devida fiscalização, por meio de instalação de balanças em locais estratégicos, e a aplicação de punição aos infratores também podem auxiliar no controle dos efeitos deletérios das solicitações do tráfego.

Porém, o desenvolvimento de novas técnicas de dimensionamento, construção e gerência de pavimentos requer o adequado conhecimento dos efeitos das solicitações do tráfego no pavimento, ou seja, deve ser baseado na quantificação dos efeitos dos principais fatores intervenientes na interação veículo-pavimento, inclusive os de caráter dinâmico.

A ação provocada pelo tráfego dos veículos nos pavimentos e nas pontes é influenciada por diversos fatores de tráfego, tais como carga por eixo, pressão de enchimento dos pneus, tipo de rodagem, tipo de pneu, distribuição da pressão de contato pneu-pavimento, tipo de veículo, tipo de suspensão e velocidade dos veículos. Além disso, também é importante a condição da superfície de rolamento, particularmente em termos da irregularidade longitudinal, diretamente associada aos efeitos dinâmicos do tráfego sobre o pavimento.

A interação veículo-pavimento tem sido objeto de pesquisas em muitas instituições do mundo. Trata-se de um assunto complexo, porém de extrema importância para os organismos rodoviários e para a sociedade, pois melhores métodos de construção e gerência de pavimentos podem reduzir os custos de manutenção e reabilitação dos pavimentos e os custos operacionais dos veículos, reduzindo os custos de transporte.

Geralmente, as disciplinas que tratam dos tópicos da infraestrutura de transportes e dos veículos são independentes, não os considerando como parte de um mesmo sistema. A situação torna-se ainda mais complexa à luz dos resultados do projeto de pesquisa DIVINE (*Dynamic Interaction between Vehicles and Infrastructure Experiment*), que indicaram ser a deterioração dos pavimentos dependente não apenas da carga estática, como é normalmente considerado nos métodos de dimensionamento de pavimentos tradicionais, mas também do comportamento dinâmico dos veículos, do perfil longitudinal da via e da variabilidade estrutural dos pavimentos.

Este trabalho tem por objetivo principal a quantificação das solicitações dinâmicas de veículos rodoviários de carga sobre os pavimentos, mediante utilização da ferramenta computacional TRUCKSIM, considerando os fatores carga por eixo, tipo de veículo, tipo de suspensão, velocidade dos veículos e irregularidade longitudinal.

O TRUCKSIM foi desenvolvido pelo UMTRI (*The University of Michigan Transportation Research Institute*) para a simulação e análise da interação dinâmica de ações provocadas por veículos pesados na infraestrutura (pavimentos e pontes). O TRUCKSIM utiliza modelos matemáticos validados experimentalmente, aos quais não permite o acesso, mas permite a seleção dos dados de entrada como o tipo de suspensão, pneus, configuração de veículos, perfil do pavimento, velocidade de operação, carga aplicada, entre outros.

Destaca-se que o conhecimento dos efeitos dinâmicos das cargas do tráfego pode contribuir para a adequação dos limites legais de carga por eixo no Brasil e fornecer alternativas para o aumento da eficiência do transporte de cargas, tanto pela redução de custos operacionais dos veículos, como pela redução dos custos de manutenção e reabilitação de rodovias.

2 • REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 • Efeitos dinâmicos das cargas aplicadas pelo tráfego nos pavimentos

Os problemas associados à segurança, economia e conforto do transporte rodoviário são, em sua maioria, influenciados por características da via e dos veículos e pela maneira como esses dois elementos (veículos e via) interagem (Kulakowski, 1994). Porém, tanto as propriedades dinâmicas dos veículos quanto as dos pavimentos sempre foram consideradas isoladamente, em estudos paralelos que não consideravam a interação entre os mesmos.

Fernandes Jr. (1994) destacou que a carga por eixo, independentemente de fatores ambientais, do comportamento estrutural dos pavimentos e de outros fatores combinados, é o fator que mais afeta a deterioração do pavimento, pois é exponencial a relação entre as cargas por eixo e a deterioração do pavimento. Outra constatação feita foi que os pneus extralargos, quando carregando uma mesma carga por eixo, resultam em Fatores de Equivalência de Cargas de três a seis vezes maiores que os correspondentes às rodas duplas e que, mesmo quando em eixos com suspensão pneumática, ainda são muito mais danosos que as rodas duplas.

Os pavimentos são dimensionados para suportar as solicitações do tráfego durante um determinado período de vida em serviço, mas o volume de tráfego de veículos pesados e suas respectivas cargas muitas vezes ultrapassam as previsões nas quais o dimensionamento é baseado. Além disso, o dimensionamento é baseado na carga estática, enquanto as cargas dinâmicas apresentam maior magnitude (Hegmon, 1992).

A Irregularidade Longitudinal dos pavimentos é definida como o desvio de pontos da superfície do pavimento de uma rodovia em relação a um plano de referência. Ela afeta a dinâmica e qualidade de rolamento de veículos e as ações de cargas dinâmicas transmitidas à via, podendo gerar aceleração vertical e lateral, sendo a aceleração vertical o principal fator que afeta a sensação de conforto dos motoristas e passageiros.

A irregularidade da via estimula o comportamento dinâmico do veículo, de modo que a carga instantânea por eixo pode ser muito maior do que a carga estática. Uma superfície de rolamento com baixa irregularidade, ou seja, IRI (Índice Internacional de Irregularidade Longitudinal) igual a 1,25 m/km, equivalente a um ISA (Índice de Serventia Atual) de 4,25, resulta em cargas dinâmicas muito menores do que as provocadas por uma superfície de rolamento com alta irregularidade, por exemplo, IRI igual a 3,75 m/km, equivalente a um ISA de 2,5 (Yi e Hedrick, 1992).

Por mais novo que seja e por melhor que tenha sido o controle de sua construção, um pavimento sempre apresenta irregularidade longitudinal inicial, pois não é possível construir uma superfície perfeitamente lisa. A carga transmitida pelo tráfego ao pavimento tem efeito dinâmico, isto é, a força exercida pela roda no pavimento pode ser maior ou menor do que a carga estática na roda. Quanto maior a irregularidade da superfície de rolamento, maior a componente dinâmica da força, contribuindo para o aumento da irregularidade. Portanto, a irregularidade da via é ampliada pela própria irregularidade (Hegmon, 1992).

A carga vertical aplicada no pavimento por um veículo tem duas componentes: carga estática e carga dinâmica. A carga estática depende do peso e da geometria dos veículos, enquanto o efeito dinâmico é causado pela vibração do veículo

devido à excitação da rodovia e é, portanto, altamente dependente das características de suspensão do veículo e da irregularidade na superfície da via (Yi e Hedrick, 1992).

A velocidade do veículo influencia os danos por fadiga no pavimento devido à irregularidade da via, que causa vibração no veículo e em sua suspensão, provocando picos de carga dinâmica. A velocidade afeta, também, a duração do carregamento, diminuindo-a, o que, para materiais visco-elásticos, como é o caso dos pavimentos flexíveis, reduz os danos no pavimento.

Assim, para superfícies perfeitamente lisas ($IRI = 0$), os danos, particularmente o acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda, diminuem com o aumento da velocidade, devido ao menor tempo de aplicação da carga, enquanto que, para superfícies com elevada irregularidade longitudinal, os efeitos dinâmicos prevalecem e os danos aumentam com o aumento da velocidade (Sayers e Karamihas, 1998).

2.2 • Fatores de Equivalência de Cargas

Fernandes Jr. (1994) salienta que a análise dos efeitos do tráfego sobre o desempenho de pavimentos é dificultada pelo fato do volume do tráfego e da magnitude das cargas impostas pelo tráfego variarem ao longo da vida em serviço do pavimento. Assim, o conhecimento dos efeitos cumulativos das solicitações do tráfego é fundamental para o desenvolvimento de métodos de dimensionamento e sistemas de gerência de pavimentos, efeitos esses que têm sido expressos por um denominador comum, os Fatores de Equivalência de Cargas (FEC).

Os FEC permitem a conversão de aplicações de diferentes solicitações em um número equivalente de aplicações da solicitação-padrão, possibilitando o dimensionamento e a previsão do desempenho de pavimentos para o tráfego misto real. O conceito de equivalência de cargas é importante também para a alocação de responsabilidades sobre os custos de manutenção e restauração de rodovias, pois permite a comparação de danos causados por diferentes solicitações. Como o FEC estabelece o efeito relativo das solicitações do tráfego, depende da capacidade estrutural dos pavimentos, ou seja, tende a ter valores menores para pavimentos melhores, menos susceptíveis às cargas do tráfego.

2.3 • O Projeto DIVINE

O projeto DIVINE, conduzido pela OECD (1998), estudou a interação dinâmica entre veículo e infraestrutura (pavimentos e pontes) e teve como intuito apoiar decisões políticas que afetam a infraestrutura rodoviária e os custos do transporte de carga e fornecer evidências científicas dos efeitos dinâmicos de veículos de carga e seus sistemas de suspensão na infraestrutura e no custo do transporte de carga.

Seus resultados contribuíram para o desenvolvimento de novas práticas de dimensionamento, construção, manutenção e gerência de pavimentos, pontes e veículos. Para a redução dos custos, o DIVINE propôs o aumento da eficiência do transporte através do aumento dos limites de peso bruto total combinado permitido nas vias para veículos comprovadamente menos danosos, ou seja, veículos com maior número de eixos e/ou utilizando suspensão mais amigáveis (*road friendly suspensions*).

Os ensaios de carregamento dinâmico do Projeto DIVINE mostraram que o pavimento se deteriora pelo menos 15% mais rapidamente com o uso de suspensão convencional em feixe de molas do que com o uso de suspensão pneumática, que os danos ao pavimento advindos da concentração da carga dinâmica na rodovia são altamente dependentes da superfície da via, do tipo de suspensão dos veículos que trafegam sobre a via, da configuração dos eixos e da velocidade do veículo e que para as suspensões em grupos de eixos (tandem duplo ou triplo) o controle da equalização do sistema de suspensão é muito importante, assim como os efeitos da pressão de contato pneu-pavimento.

O aumento de eficiência defendido neste trabalho é baseado na redução dos custos diretos, mediante controle das cargas dinâmicas, como, por exemplo, com uso de suspensão pneumática e manutenção dos pavimentos com baixa irregularidade longitudinal, mas sem redução dos limites legais de carga por eixo, ou seja, sem o aumento dos custos indiretos que ocorreria caso a proteção da infraestrutura se desse apenas com a limitação das cargas por eixo e o conseqüente aumento do número de viagens necessárias para o transporte das cargas.

2.4 • Legislação brasileira para as cargas dos veículos rodoviários

A resolução nº 210/06 do CONTRAN estabeleceu o limite de Peso Bruto Total (PBT) e de Peso Bruto Total combinado (PBTC) baseado na distribuição dos eixos, sendo obtido pela soma dos valores dos limites por eixo ou grupos de eixos. Os tipos de eixos e rodagem mais comuns atualmente no Brasil estão esquematizados na Figura 1, com seus respectivos limites legais de carga por eixo.

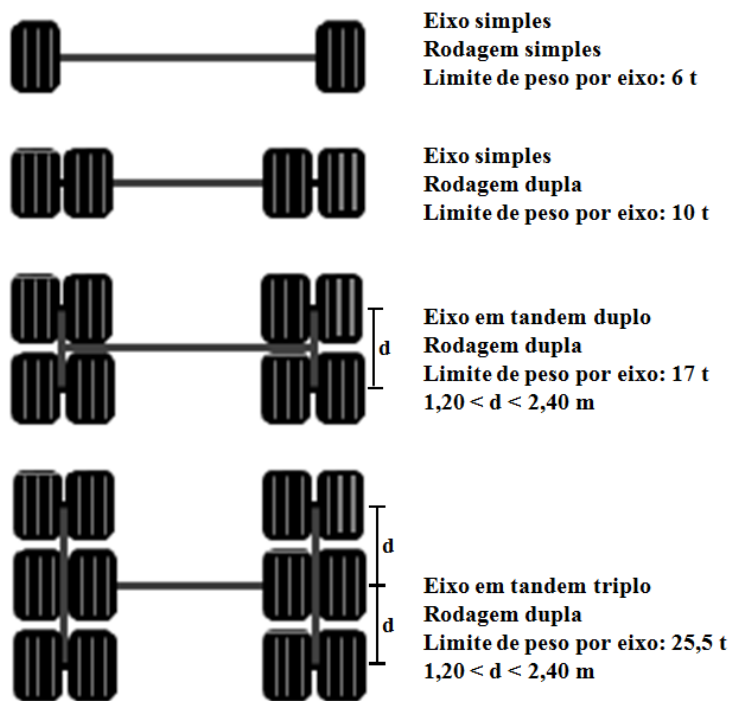


Figura 1 - Tipos de eixos e de rodagem mais comuns no Brasil

No intuito de compensar eventuais erros no equipamento de aferição do peso de veículos no momento da autuação, foi sancionada a lei nº 7408/85, conhecida como Lei da Balança, que instituía uma tolerância de 5% sobre o limite de carga legal. Posteriormente, esta tolerância de 5% foi diversas vezes alterada por resoluções do CONTRAN, variando de 5 a 10%. Atualmente, a resolução nº 258/07, alterada pela resolução nº 467/13 do CONTRAN, fixa em 7,5% a tolerância máxima sobre os limites de peso bruto transmitido por eixo de veículo à superfície das vias públicas. A mesma resolução define a metodologia de aferição do peso e estabelece as medidas administrativas em caso de infração. As sanções previstas para veículo que trafegue acima de seu limite de carga estão dispostas no art. 231 do CTB, regulamentado pela resolução nº 258/2007 do CONTRAN.

Para classificação dos veículos rodoviários de carga são considerados os grupos de eixos, a quantidade de eixos e a quantidade de unidades veiculares, independentemente da rodagem, que é definida pela quantidade de pneus por extremidade de eixo e pode ser simples ou dupla. A classificação do veículo é estabelecida por um código de até dois

algarismos intercalados por uma letra, como, por exemplo, 2S3. Para todas as classes o primeiro algarismo indica a quantidade de eixos da unidade tratora enquanto que o segundo algarismo, caso exista, indica a quantidade de eixos das unidades rebocadas. As letras para representação das classes são C, S, I e J:

- C = veículo simples (caminhão ou ônibus) ou veículo trator + reboque;
- S = veículo trator (cavalo mecânico) + semirreboque;
- I = veículo trator + semirreboque, com distância entre eixos maior que 2,40 m (eixos isolados);
- J = veículo trator + semirreboque, com um eixo isolado e um eixo em tandem.

Considerando-se quatro veículos, 2C, 3S2, 2S3 e 2I3, o impacto de um aumento de carga de 7,5%, igual à tolerância da Lei da Balança, é semelhante para os quatro veículos analisados, com um aumento médio do FEC de 36,2%, considerando-se a aplicação estática da carga.

3 • MÉTODO

Para quantificação das solicitações dinâmicas de veículos rodoviários de carga sobre os pavimentos são feitas simulações com o TRUCKSIM, considerando-se como fatores características do veículo (suspensão, pressão de enchimento dos pneus, tipo de eixos, tipo de rodagem), características da via (irregularidade longitudinal do pavimento; geometria vertical e horizontal da via) e situação de operação (carga aplicada por eixo e velocidade), tendo como dados de saída os esforços atuantes nos pneus (força longitudinal, força transversal e força vertical), além dos valores de aceleração vertical dos pneus e a aceleração vertical do centro de gravidade do veículo.

Os veículos utilizados nas simulações (2C, 3S2, 2S3 e 2I3) são veículos de carga muito comuns em rodovias brasileiras, com configurações homologadas pelo DENATRAN, sendo um caminhão semipesado (“caminhão toco”), utilizado para médias e longas distâncias, e três extrapesados (trator + semirreboque), utilizados para longas distâncias. As simulações consideraram limite legal de carga por eixo e limite legal de carga por eixo + 20%, velocidades de 70, 90 e 110 km/h. Foram considerados pavimentos em três condições de superfície de rolamento distintas, em termos de irregularidade longitudinal (IRI): bom (IRI = 1,636), regular (IRI = 3,463) e ruim (IRI = 4,379).

São feitas análises quantitativas e qualitativas da força vertical máxima atuante ($F_{zm\acute{a}x}$) por eixo. A análise quantitativa consiste na verificação da relação entre a força máxima atuante (carga aplicada/dinâmica, função da irregularidade longitudinal e da velocidade) em relação à força solicitante (carga aplicada/estática). A análise qualitativa é em termos de FEC, ou seja, dos efeitos no desempenho do pavimento. Para os cálculos dos FEC foram usadas as equações da AASHTO, relacionadas à perda de serventia do pavimento e, portanto, associadas à irregularidade longitudinal, em vez das equações do USACE, que levam em conta os efeitos do carregamento a uma profundidade de 33 cm, associados à deformação permanente nas trilhas de roda.

Complementarmente, são comparados os efeitos dinâmicos do tipo de rodagem (dupla e simples com pneus extralargos), do tipo de suspensão (pneumática e convencional em feixe de molas) e da pressão de enchimento dos pneus (80, 100 e 120 psi), variáveis que interferem substancialmente no efeito dinâmico da carga, tanto para baixas frequências (corpo do veículo – eixo do veículo) como para altas frequências (eixo do veículo – rodas do veículo).

São determinados todos os esforços atuantes em cada um dos pneus (força longitudinal, força transversal e força vertical), iguais em módulo e direção, mas com sentido contrário aos esforços que atuam no pavimento. Também são determinadas a aceleração vertical dos pneus e a aceleração vertical do centro de gravidade do veículo, principal fator associado à sensação de conforto dos motoristas e passageiros. É feita a comparação entre os fatores de equivalência de carga estática e dinâmica, ou seja, quantifica-se o incremento de solicitações do eixo padrão decorrentes do efeito dinâmico proveniente de variáveis como a velocidade e a irregularidade longitudinal do pavimento.

4 • RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 • Veículo 2C

O veículo 2C (Figura 2) é um caminhão de dois eixos, popularmente conhecido como “caminhão toco”, com eixo dianteiro simples, de rodagem simples, e eixo traseiro simples, de rodagem dupla. A capacidade de carga deste tipo de veículo é 16 tf, sendo 6 tf no eixo dianteiro e 10 tf no eixo traseiro. São feitas simulações para o limite legal e para o limite legal acrescido de aproximadamente 20%.

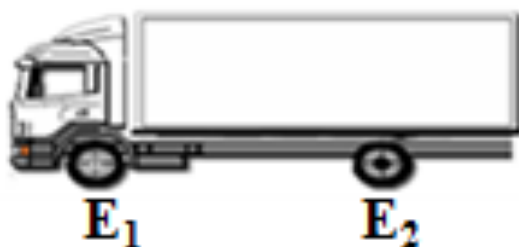


Figura 2 - Veículo 2C

Considerando-se o eixo dianteiro (E1) e o eixo traseiro (E2) isoladamente, os resultados da simulação apresentaram, para o eixo dianteiro, as forças atuantes menores que as solicitantes, ou seja, o efeito dinâmico decorrente da interação veículo-via provocou alívio das forças solicitantes em até 34% em relação à força atuante. Para o eixo traseiro houve intensificação das forças solicitantes em até 39%, para o caso do perfil de pavimento de maior irregularidade e tráfego à velocidade de 110 km/h, sendo que, para o perfil de pavimento com menor irregularidade, houve alívio das forças atuantes em até 40%.

A análise combinada dos eixos mostra grande variação no efeito dinâmico, desde o alívio de até 37%, para o pavimento com menor irregularidade e tráfego a 70 km/h, até o aumento das cargas em 24%, para o pavimento com maior irregularidade e tráfego a 110 km/h. Observa-se, de forma generalizada, o aumento do efeito dinâmico com o aumento da velocidade e da irregularidade longitudinal.

O veículo é representado pelo conjunto de eixos e, na prática, os eixos não atuam separadamente, mas de forma combinada. Assim, a Figura 3 indica a irregularidade longitudinal do pavimento crítica, a partir da qual a carga atuante passa a ser maior que a carga solicitante, decorrente da interação dinâmica veículo-via. Para o “caminhão toco” (2C), o efeito dinâmico torna-se desfavorável quando o IRI é igual a 3,1 mm/m.

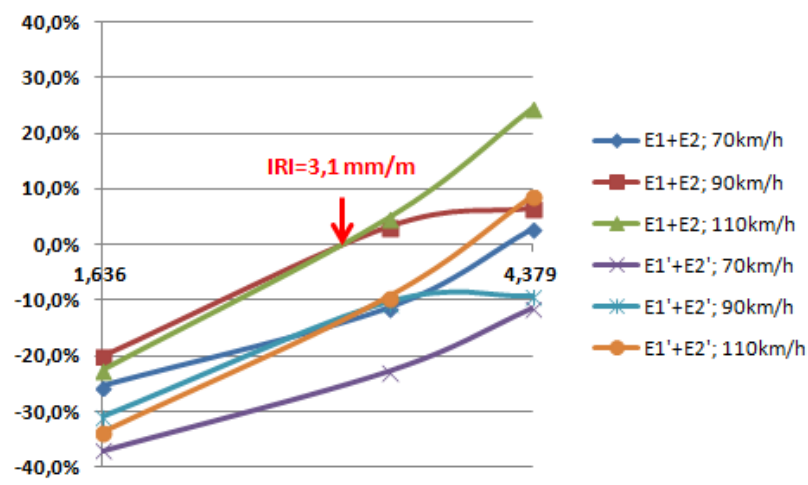


Figura 3 - Efeito dinâmico para o veículo 2C em função da irregularidade longitudinal.

Não houve proporcionalidade entre o aumento das cargas por eixo e o aumento das forças atuantes em razão dos efeitos dinâmicos, que aumentaram em menor proporção do que as cargas por eixo na condição estática. Por exemplo, o aumento de 19% no carregamento, de 16 tf para 19 tf, resulta em um aumento máximo de 3,8% na força solicitante, para o perfil com maior irregularidade longitudinal e velocidade de 110 km/h (Figura 4). E, para o limite legal de tolerância (7,5%), o aumento na força solicitante foi de 1,5%.

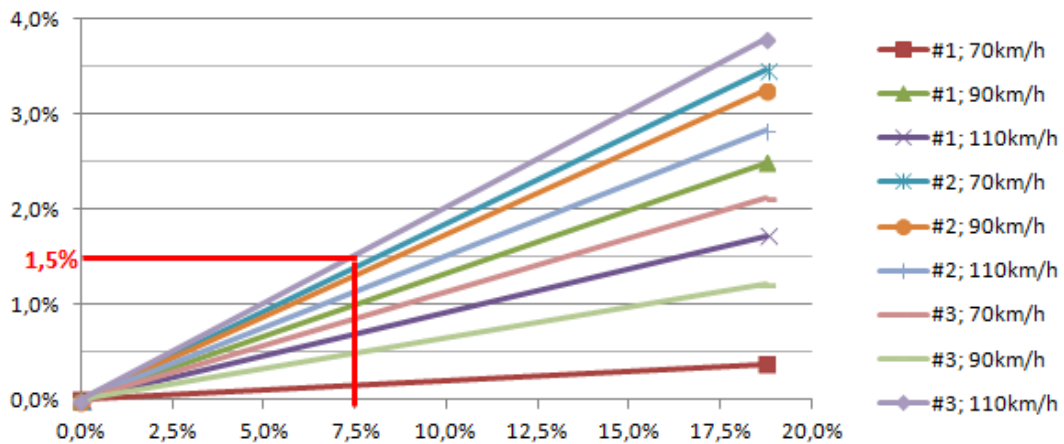


Figura 4 - Variação do efeito dinâmico para o veículo 2C com aumento das cargas por eixo, em função da velocidade e da irregularidade longitudinal dos pavimentos

A análise dos resultados, considerando-se o conceito de Fator de Equivalência de Cargas (FEC), mostra que o veículo 2C, quando carregado com o limite legal de 16 tf, tem FEC igual a 2,7, e, com um acréscimo de 20% no carregamento, passa a ter um FEC igual a 6,0. Portanto, um excesso de 20% na carga representa um efeito 2,2 vezes maior sobre o pavimento, ou seja, acarreta uma redução da vida útil do pavimento de 54%.

Considerando-se o efeito dinâmico do veículo 2C trafegando em uma superfície de pavimento com baixa irregularidade longitudinal, há redução do FEC em até 75%, enquanto que o mesmo veículo 2C, trafegando em uma superfície com condição de rolamento ruim (elevada irregularidade longitudinal), apresenta aumento do FEC de 280%, igual a 3,8 vezes o FEC do veículo com carregamento legal. A Figura 5 mostra, também, que há uma intensificação na redução da vida útil do pavimento a partir de um IRI de 2,4 mm/m, ou seja, o FEC solicitante, decorrente da interação dinâmica veículo-via, supera o FEC atuante, particularmente para velocidades acima de 90 km/h.

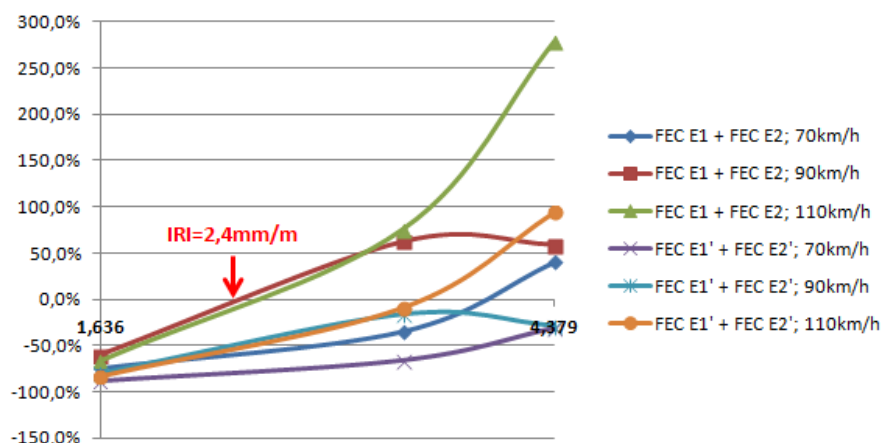


Figura 5 - Efeito no FEC para o veículo 2C em função da irregularidade longitudinal

A Figura 6 mostra que o aumento de 19% na carga total do veículo pode elevar o FEC solicitante em até 320%. Considerando-se o limite de tolerância legal de 7,5%, o aumento no FEC, particularmente para a maior velocidade (110 km/h) e pior condição do pavimento (maior irregularidade longitudinal), passa de 37% a 130%, que corresponde a uma redução da vida útil em até 72%.

Em termos de comparação da rodagem simples com a rodagem dupla, a configuração do veículo 2C com rodagem traseira simples e pneus extralargos foi a que apresentou maior efeito dinâmico, sendo tal aumento diretamente proporcional ao aumento da velocidade e da irregularidade longitudinal da via.

4.2 • Veículo 3S2

O veículo 3S2, apresentado na Figura 7, é um caminhão extrapesado, composto de um caminhão trator trucado, com eixo dianteiro simples, de rodagem simples, e traseiro em tandem duplo, de rodagem dupla, e um semirreboque com eixo traseiro em tandem duplo, de rodagem dupla. A capacidade de carga deste tipo de veículo é de 40 tf, sendo 6 tf no eixo dianteiro, 17 tf em cada um dos grupos de eixos traseiros em tandem duplo.

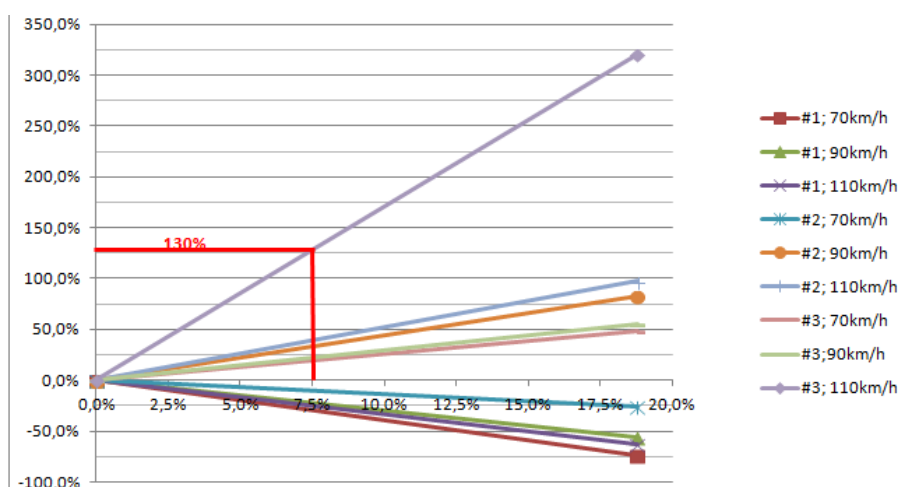


Figura 6 - Variação do efeito no FEC para o veículo 2C com aumento das cargas por eixo, em função da velocidade e da irregularidade longitudinal dos pavimentos

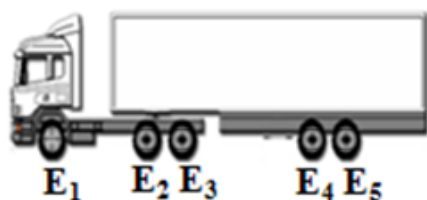


Figura 7 - Veículo 3S2

Considerando-se o eixo dianteiro (E1) e os grupos de eixos traseiros (E2E3 e E4E5) isoladamente, os resultados da simulação apresentaram, para o eixo dianteiro, as forças atuantes maiores que as solicitantes, ou seja, o efeito dinâmico decorrente da interação veículo-via provocou aumento das forças solicitantes em até 38% em relação à força atuante. Para o primeiro grupo de eixos traseiros (E2E3), em tandem duplo, houve alívio das forças solicitantes em 21%, para o caso do perfil de pavimento com menor irregularidade e tráfego à velocidade de 70 km/h, sendo que, para o perfil de pavimento com maior irregularidade e tráfego à velocidade de 110 km/h, houve aumento de 49%. Para o segundo

grupo de eixos traseiros (E4E5), em tandem duplo, houve aumento das forças solicitantes em 86%, para o caso do perfil de pavimento com maior irregularidade e tráfego à velocidade de 110 km/h, não tendo havido alívio das forças solicitantes em nenhuma situação.

A análise combinada dos eixos mostra grande variação no efeito dinâmico, desde alívio de até 7%, para pavimento com menor irregularidade e tráfego a 90 km/h, até aumento das cargas em 62%. Para o veículo 3S2 o efeito dinâmico torna-se desfavorável a partir de um valor relativamente baixo de irregularidade longitudinal (IRI = 0,7 mm/m).

Não houve proporcionalidade entre o aumento das cargas por eixo e o aumento das forças atuantes em razão dos efeitos dinâmicos, que aumentaram em menor proporção do que as cargas por eixo na condição estática. Por exemplo, o aumento de 21% no carregamento, de 38 tf para 46 tf, resulta em um aumento máximo de 10,2% na força solicitante, para o perfil com menor irregularidade longitudinal e velocidade de 110 km/h. E, para o limite legal de tolerância (7,5%), o aumento na força solicitante foi de 3,7%.

A análise dos resultados, considerando-se o conceito de Fator de Equivalência de Cargas (FEC), mostra que o veículo 3S2, quando carregado com o limite legal de 40 tf, tem FEC igual a 3,6, e, com um acréscimo de 20% no carregamento, passa a ter um FEC igual a 7,7. Portanto, um excesso de 20% na carga representa um efeito 2,1 vezes maior sobre o pavimento, ou seja, acarreta uma redução da vida útil do pavimento de 52%.

Considerando-se o efeito dinâmico do veículo 3S2 trafegando em uma superfície de pavimento com baixa irregularidade longitudinal, há aumento do FEC em até 82%, enquanto que o mesmo veículo 3S2, trafegando em uma superfície com condição de rolamento ruim (elevada irregularidade longitudinal), apresenta aumento do FEC de 805%, igual a 9,1 vezes o FEC do veículo com carregamento legal. Há uma intensificação na redução da vida útil do pavimento a partir de um IRI de 0,5 mm/m, ou seja, o FEC solicitante, decorrente da interação dinâmica veículo-via, supera o FEC atuante, particularmente para velocidades acima de 70 km/h.

O aumento de 21% na carga total do veículo pode elevar o FEC solicitante em até 135%. Considerando-se o limite de tolerância legal de 7,5%, o aumento no FEC passa de 35% a 280%, que corresponde a uma redução da vida útil em até 87%.

Em termos de comparação da rodagem simples com a rodagem dupla, a configuração do veículo 3S2 com rodagem traseira simples e pneus extralargos foi a que apresentou menor efeito dinâmico, que continuou tendo o seu aumento diretamente proporcional ao aumento da velocidade e da irregularidade longitudinal da via.

4.3 • Veículo 2S3

O veículo 2S3, apresentado na Figura 8, é um caminhão extrapesado, composto de um caminhão trator, com eixo dianteiro simples, de rodagem simples, e eixo traseiro simples, de rodagem dupla, e um semirreboque com eixo traseiro em tandem triplo, de rodagem dupla. A capacidade de carga deste veículo é 41,5 tf, sendo 6 tf no eixo dianteiro, 10 tf no eixo traseiro trator e 25,5 tf no grupo de eixos traseiros em tandem triplo.

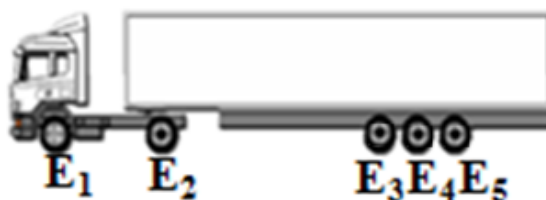


Figura 8 - Veículo 2S3

Considerando-se o eixo dianteiro (E1) e os grupos de eixos traseiros (E2 e E3E4E5) isoladamente, os resultados da simulação apresentaram, para o eixo dianteiro, as forças atuantes maiores que as solicitantes, ou seja, o efeito dinâmico decorrente da interação veículo-via provocou de alívio de 17% a aumento das forças solicitantes em até 22% em relação à força atuante, com preponderância de alívio. Para o primeiro eixo traseiro (E2) houve desde alívio das forças solicitantes em 5%, para o caso do perfil de pavimento com menor irregularidade e tráfego à velocidade de 70 km/h, sendo que, para o perfil de pavimento com maior irregularidade e tráfego à velocidade de 110 km/h, houve aumento de 47%. Para o segundo grupo de eixos traseiros (E3E4E5), em tandem triplo, houve aumento das forças solicitantes em 16%, para o caso do perfil de pavimento com maior irregularidade e tráfego à velocidade de 110 km/h, tendo havido alívio das forças solicitantes em até 39% para a situação de sobrecarga.

A análise combinada dos eixos mostra grande variação no efeito dinâmico, desde alívio de até 27%, para pavimento com menor irregularidade, até aumento das cargas em 25%, para pavimento com maior irregularidade. Para o veículo 2S3 o efeito dinâmico torna-se desfavorável a partir de uma irregularidade longitudinal do pavimento igual a 2,4 mm/m, independentemente da velocidade de operação do veículo.

Não houve proporcionalidade entre o aumento das cargas por eixo e o aumento das forças atuantes em razão dos efeitos dinâmicos, que aumentaram em menor proporção do que as cargas por eixo na condição estática. Por exemplo, o aumento de 23% no carregamento, de 40 tf para 49 tf, resulta em um aumento máximo de 5,2% na força solicitante, para o perfil com menor irregularidade longitudinal e velocidade de 110 km/h. E, para o limite legal de tolerância (7,5%), o aumento na força solicitante foi de 1,7%.

A análise dos resultados, considerando-se o conceito de Fator de Equivalência de Cargas (FEC), mostra que o veículo 2S3, quando carregado com o limite legal de 41,5 tf, tem FEC igual a 4,3, e, com um acréscimo de 20% no carregamento, passa a ter um FEC igual a 9,4. Portanto, um excesso de 20% na carga representa um efeito 2,2 vezes maior sobre o pavimento, ou seja, acarreta uma redução da vida útil do pavimento de 54%.

Considerando-se o efeito dinâmico do veículo 2S3 trafegando em uma superfície de pavimento com baixa irregularidade longitudinal, há aumento do FEC em até 50%, enquanto que o mesmo veículo 2S3, trafegando em uma superfície com condição de rolamento ruim (elevada irregularidade longitudinal), apresenta aumento do FEC de 434%, igual a 5,3 vezes o FEC do veículo com carregamento legal. Há uma intensificação na redução da vida útil do pavimento a partir de um IRI de 0,7 mm/m, ou seja, o FEC solicitante, decorrente da interação dinâmica veículo-via, supera o FEC atuante, particularmente para velocidades acima de 110 km/h (para velocidades de 70 e 90 km/h as irregularidades longitudinais críticas são, respectivamente, 0,9 e 1,4 mm/m).

O aumento de 23% na carga total do veículo pode elevar o FEC solicitante em até 161%. Considerando-se o limite de tolerância legal de 7,5%, o aumento no FEC passa de 36% a 140%, que corresponde a uma redução da vida útil em até 74%.

Em termos de comparação da rodagem simples com a rodagem dupla, a configuração do veículo 2S3 com rodagem traseira simples e pneus extralargos foi a que apresentou menor efeito dinâmico, que continuou tendo o seu aumento diretamente proporcional ao aumento da velocidade e da irregularidade longitudinal da via.

4.4 • Veículo 2I3

O veículo 2I3, apresentado na Figura 9, é um caminhão extrapesado, composto de um caminhão trator, com eixo dianteiro simples, de rodagem simples, e eixo traseiro simples, de rodagem dupla, e um semirreboque com três eixos traseiros espaçados, de rodagem dupla. A capacidade de carga deste tipo de veículo é 46 tf, sendo 6 tf no eixo dianteiro, 10 tf no eixo traseiro trator e 10 tf em cada um dos três eixos traseiros.

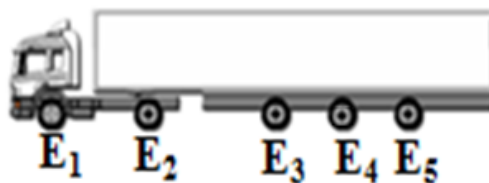


Figura 9: Veículo 213

Considerando-se o eixo dianteiro (E1) e os grupos de eixos traseiros (E2 e E3E4E5) isoladamente, os resultados da simulação apresentaram, para o eixo dianteiro, as forças atuantes maiores que as solicitantes, ou seja, o efeito dinâmico decorrente da interação veículo-via provocou de alívio de 17% a aumento das forças solicitantes em até 22% em relação à força atuante, com preponderância de alívio, a exemplo do que ocorreu para o 2S3. Para o primeiro eixo traseiro (E2) houve desde alívio das forças solicitantes em 5%, para o caso do perfil de pavimento com menor irregularidade e tráfego à velocidade de 90 km/h, sendo que, para o perfil de pavimento com maior irregularidade e tráfego à velocidade de 110 km/h, houve aumento de 50%. Para o segundo grupo de eixos traseiros (E3E4E5), em tandem triplo, houve alívio das forças solicitantes de 16% até 53%.

A análise combinada dos eixos mostra grande variação no efeito dinâmico, desde alívio de até 35%, para pavimento com menor irregularidade, até aumento das cargas em 1%, para pavimento com maior irregularidade, com tráfego a 110 km/h. Para o veículo 213 o efeito dinâmico torna-se desfavorável a partir de uma irregularidade longitudinal do pavimento igual a 4,2 mm/m, para velocidade de operação do veículo acima de 110 km/h.

Não houve proporcionalidade entre o aumento das cargas por eixo e o aumento das forças atuantes em razão dos efeitos dinâmicos, que aumentaram em menor proporção do que as cargas por eixo na condição estática. Por exemplo, o aumento de 20% no carregamento, de 46 tf para 55 tf, resulta em um aumento máximo de 7,9% na força solicitante, para o perfil com menor irregularidade longitudinal e velocidade de 110 km/h. E, para o limite legal de tolerância (7,5%), o aumento na força solicitante foi de 3,1%.

A análise dos resultados, considerando-se o conceito de Fator de Equivalência de Cargas (FEC), mostra que o veículo 213, quando carregado com o limite legal de 46 tf, tem FEC igual a 9,9, e, com um acréscimo de 20% no carregamento, passa a ter um FEC igual a 21,8. Portanto, um excesso de 20% na carga representa um efeito 2,2 vezes maior sobre o pavimento, ou seja, acarreta uma redução da vida útil do pavimento de 54%.

Considerando-se o efeito dinâmico do veículo 213 trafegando em uma superfície de pavimento com baixa irregularidade longitudinal, há diminuição do FEC em até 75%, enquanto que o mesmo veículo 213, trafegando em uma superfície com condição de rolamento ruim (elevada irregularidade longitudinal), apresenta aumento do FEC de 102%, igual a 2,0 vezes o FEC do veículo com carregamento legal. Há uma intensificação na redução da vida útil do pavimento a partir de um IRI de 2,6 mm/m, ou seja, o FEC solicitante, decorrente da interação dinâmica veículo-via, supera o FEC atuante, particularmente para velocidades acima de 70 km/h.

O aumento de 20% na carga total do veículo pode elevar o FEC solicitante em até 119%. Considerando-se o limite de tolerância legal de 7,5%, o aumento no FEC passa de 37% a 40%, que corresponde a uma redução da vida útil em até 8%.

Em termos de comparação da rodagem simples com a rodagem dupla, a configuração do veículo 213 com rodagem traseira simples e pneus extralargos foi a que apresentou menor efeito dinâmico, que continuou tendo o seu aumento diretamente proporcional ao aumento da velocidade e da irregularidade longitudinal da via.

5 • CONCLUSÕES

O efeito dinâmico se dá pela interação veículo-via, decorrente de variáveis como irregularidade longitudinal da via, configuração do veículo, incluindo seu espaçamento entre eixos, velocidade de operação do veículo, características de suspensão e pressão de enchimento dos pneus, assim como pelo tipo de rodagem dos eixos traseiros (rodagens dupla e simples).

O impacto no FEC decorrente do efeito dinâmico, provocado pela irregularidade, é mais acentuado do que o efeito dinâmico nas cargas, ou seja, exemplificando-se com o veículo 2C, a intensificação das cargas ocorre para um IRI de 3,1 mm/m, enquanto a intensificação do FEC ocorre para um IRI de 2,4 mm/m. A razão é que um eventual alívio de carga em um ou mais eixos não é capaz de compensar o efeito deletério aos pavimentos da intensificação da carga atuante nos demais eixos. Para os veículos 3S2 e 2S3, a intensificação do FEC ocorreu para baixos valores de irregularidade longitudinal, respectivamente 0,5 e 0,7 mm/m, enquanto que para o veículo 2I3 foi para IRI igual a 2,6 mm/m.

Considerando-se o excesso de carga tolerado de 7,5%, que implica em um acréscimo do FEC médio, para os veículos analisados neste trabalho, de 36,2%, o efeito dinâmico no FEC varia de 40%, para o veículo 2I3, até 280%, para o veículo 3S2, apresentando valores intermediários para os veículos 2C e 2S3, respectivamente de 130% e 140%. Em termos de redução da vida útil, pode chegar a 87%, no caso do 3S2, sendo de 72% para o 2C, de 74% para o 2S3 e de apenas 8% para o 2I3, o que não é algo favorável ao 2I3, significando, tão somente, que o efeito dinâmico só é relativamente pequeno porque o veículo 2I3 apresenta o maior valor de FEC entre todos os veículos analisados (9,9), maior do que o dobro do FEC para o veículo 2S3 (4,3), sem contar que Fernandes, Jr. (1994) destaca que, em análises mecânicas, considerando a estrutura do pavimento e os efeitos da pressão de enchimento dos pneus, além da concentração de tensões associada à rodagem simples, os pneus extralargos são de 3 a 8 vezes mais danosos do que as rodas duplas convencionais, o que foi ratificado pelo Projeto DIVINE (OECD, 1998).

Na comparação entre rodagens simples e duplas para os eixos traseiros, apenas o veículo 2C apresentou efeitos dinâmicos maiores para rodagem simples e pneus extralargos do que para rodagem dupla.

Referências Bibliográficas

- Fernandes Jr., J. L. (1994) – *Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego Sobre o Desempenho de Pavimentos*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos-SP.
- Hegmon (1992) – *Some Results from Ongoing Research on Road Roughness*. Vehicle, Tire, Pavement Interface. Editores: Henry & Wambold.
- Kulakowski, L. (1994) – *Vehicle-Road Interaction*. ASTM (American Society for Testing and Materials). STP 1225. Philadelphia-PA.
- OECD (1998) – *Organisation de Coopération et de Développement Economiques - Relatório Técnico do Projeto DIVINE (Dynamic Interaction between Vehicles and Infrastructure Experiment)*.
- Sayers, M.W.; Karamihas, S.M. (1998) – *The little book of profiling. Basis information about measuring an interpreting road profiles*. The Regent of the University of Michigan. 📍



APLICABILIDADE DE ENZIMAS PARA MELHORAMENTO DE SOLOS EM PAVIMENTAÇÃO

*José Adriano Cardoso Malko*¹
*Rubens Brazetti*²
*Michéle Dal Toé Casagrande*³
*Ben-Hur de Albuquerque e Silva*⁴

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC:

¹ Estudante de Doutorado

adrmalko@gmail.com

² Pesquisador Sênior

rbrazetti@hotmail.com

³ Professora Associada

michele_casagrande@puc-rio.br

⁴ Seção de Fortificação e Construção

Instituto Militar de Engenharia - IME - Rio de Janeiro:

Professor Adjunto

benhur@ime.eb.br

RESUMO

Constata-se uma grande oferta de aditivos patenteados (enzimas) ao mercado de pavimentação, como solução para estabilização de solos, porém, na maioria dos casos, os aditivos são utilizados sem real conhecimento, fazendo com que os resultados esperados não sejam atingidos. Consequentemente, passam a ser rejeitados em futuras utilizações. Na presente pesquisa estudou-se a utilização de enzimas com aplicação em diferentes solos, buscando o melhoramento do seu comportamento mecânico. Foram investigados três diferentes tipos de solos lateríticos, três diferentes tipos de enzimas, com amostras de solos no estado puro e amostras tratadas com três variações de dosagem na aplicação das enzimas (1:20, 1:30 e 1:40). Além disso, foram considerados cinco tempos de cura dos corpos de prova (7, 14, 28, 56 e 90 dias). Para avaliação do comportamento mecânico, foi adaptado um simulador de tráfego portátil (Load Wheel Test - LWT). O solo superficial tratado com enzimas apresentou 500% de melhoria (3868 passadas) em relação ao solo puro (750 passadas). Já o solo intermediário tratado apresentou valor máximo de 3068 passadas, representando também quase 500% de melhoria em relação ao solo puro. O solo mais profundo tratado não ultrapassou as 1500 passadas (mesmo apresentando 400% de melhoria). Estes resultados confirmam a viabilidade técnica de utilização de enzimas em obras de pavimentação.

Palavras-chave: Enzimas, melhoramento de solos, pavimentação, LWT

ABSTRACT

Abstract: As a solution to soil stabilization, there is a wide range of patented additives in the paving market, even though, in most cases, the additives are used with no real knowledge, which leads to the expected results not being reached. Consequently, these results are then rejected in future applications. This research studied the use of enzymes with application to different soils with the aim of improving their mechanical behavior. We investigated three different types of lateritic soils, three different types of enzymes with soil samples in pure form and treated samples, and used three dosage variations for the enzyme application (1:20, 1:30 e 1:40). Furthermore, five curing times of the specimens (7, 14, 28, 56 and 90 days) were taken into consideration. A portable traffic simulator (Loaded Wheel Test – LWT) was adapted for the assessment of the mechanical behavior. A superficial soil treated with enzymes showed 500% of improvement (3868 passes) in relation to the pure soil (750 passes). The intermediate treated soil, in turn, showed a maximum value of 3068 passes, which also represents an improvement of almost 500% when compared to the pure soil. The deeper treated soil did not exceed 1500 passes, even though it presented an improvement of 400%. These results confirmed the technical viability of using enzymes in paving works.

Keywords: Enzymes; soil improvement; paving; LWT.

1 • INTRODUÇÃO

As enzimas encontraram na pavimentação um grande campo de aplicação. Conhecidos como aditivos para estabilização de solos, têm sido indicados para a construção de camadas estruturais para pátios de estacionamento ou industriais, camadas de pavimentos rodoviários, camadas absorventes de ruídos e vibrações em ruas urbanas, obras rodoviárias emergenciais de pavimentação, minimização do esforço de compactação de solos.

O tema estabilização de solos com aditivos patenteados (enzimas) na pavimentação é um assunto desprezado pela maioria dos engenheiros rodoviários. Esses agentes estabilizantes, onde não se sabe ao certo suas formulações especiais e secretas, mas que estão sobrevivendo desde o início do século passado, à rejeição por parte dos estudiosos da área, vem atualmente sendo disponibilizados através de centenas de produtos num mercado que se torna bastante lucrativo e está em franca expansão. Tentar entender e solucionar este desafio, é de importância crucial. O maior problema que se enfrenta com relação à eficácia ou desempenho desses materiais é a avaliação técnica. Vários grupos de estudos vêm se interessando no assunto.

Vários ensaios convencionais já foram utilizados; ora endossam, ora não, ou seja, não conseguem caracterizar as propriedades destes aditivos não convencionais (Rauch et al., 2002; Andrew et al., 2003; Brandon et al., 2009). Pelo menos até o presente momento não se tem notícia de algum tipo de ensaio ou teste apropriado que reproduza adequadamente o desempenho de solos melhorados com enzimas nas condições de campo.

Nessa pesquisa, aplicou-se a metodologia desenvolvida por Brazetti et al., (2013) para fabricação de corpos de prova, compatível com o equipamento LWT. Testou-se três tipos de solos, três tipos de enzimas, três teores de aplicação da mesma e cinco tempos de cura. As enzimas mostraram-se eficazes para a melhoria dos solos pois apresentaram melhorias significativas em relação ao solo no estado puro, que pode ser comprovada com algumas misturas que apresentam acima de 400% de melhoria.

2 • ADITIVOS (ENZIMAS)

De acordo com um dos fabricantes, a enzima é um biocatalizador de partículas de solos que se apresenta na forma de um composto orgânico superconcentrado, formulado para melhorar as propriedades de engenharia de materiais terrosos como o solo, aumentando a densidade, cimentação entre suas partículas, resistência à umidade e, consequentemente, conferindo maior estabilidade e capacidade de sua massa suportar maiores cargas (EMC, 2014).

As enzimas foram concebidas para atuarem como agentes de liberação de compostos, os quais promovem a cimentação e impermeabilização de partículas de solos, em substituição aos produtos convencionais, tais como cal e cimento. Quando adicionadas com água ao solo, essas enzimas catalisam reações químicas que geram produtos químicos que se entrosam nas partículas minerais, “emaranhando e soldando” todos os componentes da massa terrosa. Ações secundárias envolvem a lubrificação das partículas e a diminuição da tensão superficial da água, permitindo obter-se maiores densidades na compactação, oferecendo, portanto, maior resistência a cargas impostas (EMC, 2014).

“A enzima tem a capacidade de alterar a matriz do solo, depois da compactação, e o solo perde sua capacidade de reabsorção de água e os benefícios mecânicos de compactação não são sequer perdidos depois que a água é reaplicada ao solo compactado. O estabilizador pode ser aplicado como sub-base de melhoramento antes da pavimentação com asfalto, estradas de terra, mineração, áreas agrícolas, estradas vicinais, áreas de controle à erosão, ruas e rodovias, pátios de estacionamento, campos de aviação, áreas de proteção ecológica, parques, trilhas e caminhos, conserto e vedação de buracos em estradas de terra” (Terrazyme, 2014).

Por se tratar de produtos patenteados, as informações a respeito da sua fabricação e ingredientes da sua composição não são divulgadas. Sabe-se que sua matéria prima é proveniente da cana-de-açúcar, mais precisamente do bagaço da cana, e que no processo de fabricação há etapas de fermentação para se chegar ao produto final.

Tratando-se de fermentação, uma parte muito importante da pesquisa é verificar as características biológicas das enzimas e das misturas pesquisadas. Quaisquer que sejam as condições de se trabalhar com bactérias, devem se tomar um grande cuidado, pois toda e qualquer modificação de umidade ou temperatura ambiente, por exemplo, podem modificar as condições de reações das bactérias contidas nas enzimas. Até mesmo as bactérias contidas no ar no momento em que se estão trabalhando com enzimas, podem alterar o produto e estes podem não apresentar resultados satisfatórios.

Portanto, enzimas são compostos que se necessitam de um cuidado especial ao manuseá-los, apesar de serem líquidos, são extremamente propensos a alterações devido ao local de trabalho e aplicação.

3 • PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental de ensaios estabelecido teve por objetivo principal investigar e identificar o efeito da adição dos aditivos (enzimas) nos solos pesquisados através de ensaios no equipamento LWT (Load Wheel Test). Para tal, foi desenvolvido um programa experimental dividido em três etapas.

- Na primeira etapa foram realizados todos os ensaios de caracterização dos solos estudados;
- Na segunda etapa foi realizado estudo das três amostras de solos lateríticos com as diferentes enzimas provenientes de três empresas distintas, onde todas foram ensaiadas para três diferentes dosagens de aplicação (1:20, 1:30 e 1:40), além de ensaios com o solo puro (sem enzima), totalizando 30 misturas.
- Na etapa seguinte, a melhor mistura ensaiada foi submetida a ensaios adicionais no LWT para diferentes tempos de cura (14, 28, 56 e 90 dias).

3.1 • Materiais Utilizados

3.1.1 • Solos

Os solos pesquisados são procedentes de uma jazida localizada no bairro Parque Capivari, no município de Duque de Caxias, na região metropolitana da capital do Rio de Janeiro (Figura 1).

Esta jazida foi utilizada para retirada de solos para a construção da Rodovia Raphael de Almeida Magalhães, conhecida como Arco Metropolitano do Rio de Janeiro (que pode ser identificado no detalhe da Figura 1), importante obra rodoviária para a cidade do Rio de Janeiro com a missão de desviar o intenso tráfego de veículos que atravessam o município, diminuindo assim os congestionamentos nas principais vias de acessos à cidade.



Figura 1 - Localização e detalhe da jazida onde foram retirados os solos desta pesquisa

Pela jazida ter sido utilizada apenas para a obra do Arco Metropolitano, justifica-se sua escolha nesta pesquisa, visto que foi possível avaliar o comportamento de um material que estava justamente sendo utilizado em uma obra rodoviária. Foram coletados três diferentes tipos de solo lateríticos de um mesmo perfil como pode ser visto na Figura 2 (I).

Como pode ser observado, os três solos possuem diferentes cores, porém pertencem a um mesmo perfil geotécnico e serão identificados a seguir para melhor compreensão da pesquisa. O primeiro solo (Figura 2a) é o mais superficial do perfil, têm uma coloração escura devido à presença de matéria orgânica. Por conta disso foi denominado ao longo da pesquisa de Solo Preto. O segundo solo (Figura 2b) é intermediário no perfil, logo a baixo do Solo Preto, foi chamado de Solo Amarelo, por conta da sua coloração. O terceiro e último solo utilizado (Figura 2c) é o mais profundo dos três, como pode ser visto no perfil e devido à sua coloração avermelhada foi denominado de Solo Vermelho.

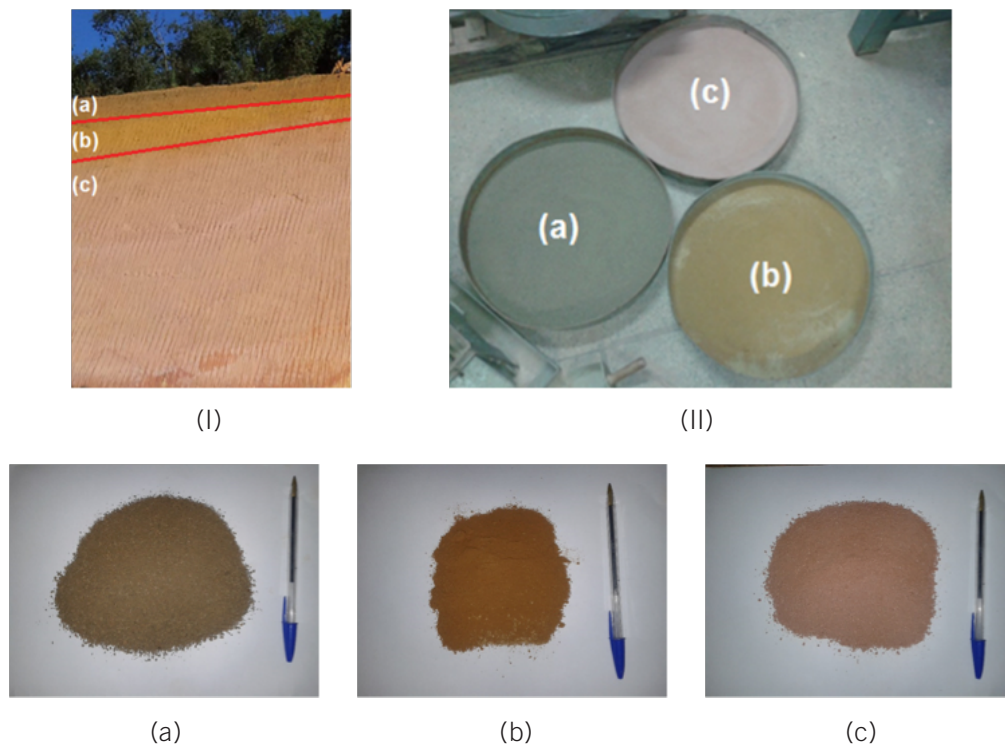


Figura 2 - Detalhe do dos três diferentes solos utilizados nesta pesquisa
 (a) solo preto (b) solo amarelo (c) solo vermelho

De acordo com a carta de solos da EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (2003), os solos desta pesquisa pertencem à classe do latossolo vermelho-amarelo distrófico típico (LVA) englobando os três tipos de solos pesquisados.

3.1.2 • Enzimas

Os produtos enzimáticos utilizados na pesquisa, foram obtidos junto às empresas que os comercializam, são produtos patenteados, comercializados sob a forma líquida. Para uma melhor identificação, serão utilizadas as siglas TZ, PZ e EMC ao longo da pesquisa. Na Figura 4 pode-se visualizar solução de 3% em volume de água das três enzimas utilizadas.

3.1.3 • Misturas

As misturas pesquisadas estão apresentadas na Tabela 1 e explicadas a seguir. A justificativa pelo valor da dosagem é pelo fato dos fabricantes estipularem o valor de 1:30 no momento da aplicação, isto é, um litro de enzima em solução

de água, para cada 30m³ de solo tratado. Tendo estas dosagens, assumiu-se valores acima e abaixo para avaliar o seu comportamento, resultando em 1:20, 1:30 e 1:40.

Tabela 1 - Misturas solo-enzimas pesquisadas

Solo	Enzima	Dosagem	
Solo preto	PURO		
		EMC	1:20
			1:30
	1:40		
	Solo amarelo	PZ	1:20
			1:30
1:40			
Solo vermelho	TZ	1:20	
		1:30	
		1:40	

Para cada mistura, foram feitos no mínimo 3 corpos de prova, a fim de obter um valor médio de avaliação. Os corpos de prova (CPs) possuem tamanho padrão de 380mm x 50mm x 10mm.

Todos os corpos de prova para todas as misturas foram produzidos idênticos, ou seja, sob as mesmas condições de temperatura e umidade. Foram executados também corpos de prova no estado puro, para comparação dos resultados. Alguns resultados podem ser influenciados pelo ambiente, mesmo tomando todos os cuidados para que os corpos de prova fossem produzidos idênticos. Essa influência pode ser até do próprio equipamento, ferramentas ou acessórios utilizados, pois estes não foram esterilizados para a fabricação de cada corpo de prova, podendo ficar resquícios microscópicos e influenciar em outros resultados.

3.2 • Ensaios Realizados

3.2.1 • Ensaios Físicos

Os ensaios de caracterização física dos solos envolveram os ensaios de análise granulométrica, densidade específica dos grãos, limites de Atterberg, determinação do teor de umidade natural e o ensaio MCT (Miniatura Compactada Tropical). Os ensaios seguiram os métodos estabelecidos pelas seguintes normas e metodologias:

- NBR 6457/1986 – Amostras de Solo. Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização;
- NBR 7181/1984 – Solo – Análise Granulométrica;
- NBR 6508/1984 – Solo – Determinação da Massa Específica dos Grãos;
- NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez;
- NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade;
- Metodologia MCT – Nogami e Villibor (1995).

3.2.2 • Ensaios Químicos

Os ensaios químicos realizados consistiram na determinação da matéria orgânica dos solos pesquisados, da composição química dos solos e da composição química das melhores misturas encontradas nos ensaios mecânicos. Para a determinação do teor de matéria orgânica seguiram-se os métodos estabelecidos pela seguinte norma:

- NBR 13.600/1996 - Determinação do teor de Matéria Orgânica por Queima à 440°C.

Para a composição química das amostras, foram realizados mediante a técnica de espectrometria de fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX). O EDX é um instrumento que determina qualitativa e semi-quantitativamente os elementos presentes em uma determinada amostra. Isto é possível através da aplicação de raios-X na superfície da amostra e a posterior análise dos fluorescentes raios-X emitidos. É uma técnica não-destrutiva para todos os tipos de amostras, incluindo sólidos, líquidos ou pós, sendo por esta razão interessante para a caracterização dos materiais. Foram realizados ensaios nos três solos no estado puro e nas melhores amostras encontradas após a realização dos ensaios mecânicos.

3.2.3 • Ensaios Mecânicos

Os ensaios mecânicos realizados foram os seguintes: ensaios de compactação, índice de suporte Califórnia (ISC) e LWT (Load Wheel Test). Foram adotados os procedimentos das seguintes normas para a execução destes ensaios, algumas porém, foram apenas baseadas, pois o ensaio foi modificado para o plano de trabalho proposto:

- NBR 7182/1986 – Ensaio de Compactação;
- NBR 9895/1987 - Índice de Suporte Califórnia - Método de ensaio;
- NBR 14841/2002: Microrrevestimentos a frio - Determinação de excesso de asfalto e adesão de areia pela máquina LWT (Adaptado para solo-enzima).

3.2.3.1 • Ensaio Load Wheel Test (LWT)

O LWT (Figura 3) é um pequeno simulador de tráfego, que simula em laboratório o esforço de tráfego em amostras ou corpos de prova de microrrevestimentos asfálticos. Com essa ação pode-se determinar deformações e estabelecer o limite máximo do teor de asfalto da mistura, objetivando-se minimizar deslocamentos laterais e verticais. O ensaio prescrito pela NBR 14841/2002, verifica o excesso na quantidade de asfalto através do uso de areia, a qual penetra e adere ao corpo de prova, forçada pelo vai e vem da carga padrão sobreposta à roda. A massa de areia aderida é então quantificada e correlacionada com o teor de asfalto.

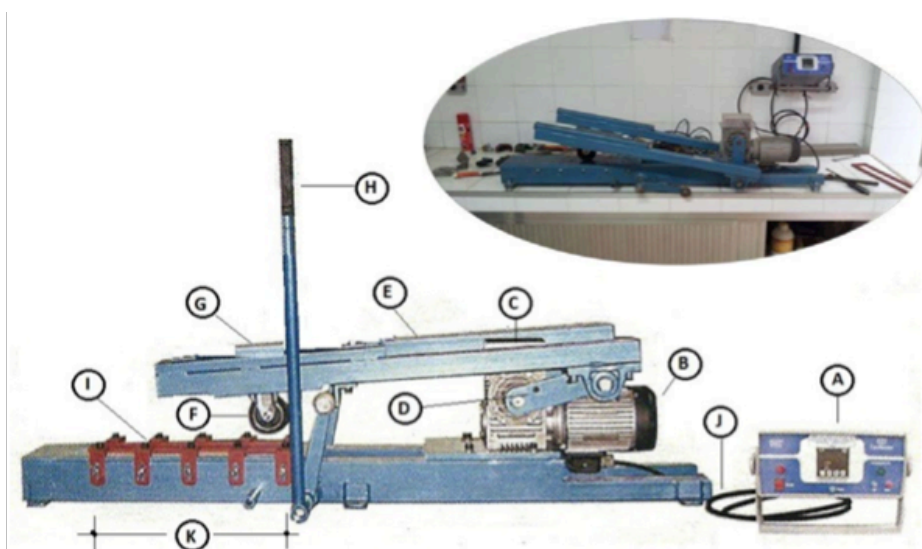


Figura 3 - Equipamento LWT - detalhes

A - Controlador digital (liga/desliga, reseta, exibe ciclos no visor.); B - Motor elétrico; C - Caixa redutora de rotação com uma chave contadora dos ciclos; D - Braço rotativo; E - Braço horizontal; F - Roda de tráfego; G - Local para acomodar a carga (56 kg máximo); H - Alavanca para levantar o braço e a carga; I - Local de posicionamento (pista) do corpo de prova e os grampos que seguram seu suporte; J - Cabo elétrico do motor e da chave contadora de ciclos; K - Espaço da pista (30 cm) percorrido pela roda (Brazetti, 2013).

O sistema mecânico do LWT possui os ciclos controlados, garantindo um ensaio uniforme e preciso nas condições em que os corpos de prova são submetidos na simulação de tráfego.

O sistema mecânico do LWT é composto de um motor elétrico (B) acoplado a uma caixa redutora de rotação (C) de onde parte um eixo onde está fixado um braço rotativo (D) que por sua vez impulsiona outro braço horizontal (E) que se apoia em uma roda (F). Cada ciclo que o braço rotativo completa, que equivale a um “vai e vem” de duas passadas de aproximadamente 30 cm cada (K) da roda padrão (3,0 pol x 1,0 pol) na amostra, demora cerca de 0,73 segundos, ou seja, temos 44 ciclos ou 88 passadas por minuto atingindo 5.280 passadas por hora, tudo registrado pela controladora digital (A). Esse tipo de equipamento simula o trânsito de cerca de um milhão de veículos em menos de 25 minutos quando carregado com a carga máxima preconizada de 56 kg (Brazetti, 2013).

O simulador de tráfego LWT foi concebido para estudos de micro revestimentos asfálticos, porém, foi adaptado para o estudo de corpos de prova de solos, a fim de se verificar o efeito dos aditivos no desempenho das propriedades de uma massa de solo compactado e sujeita à ação das cargas geradas pelo equipamento, simulando assim o tráfego de veículos.

Desta forma, o ensaio efetuado com materiais asfálticos através do LWT pode ser facilmente adaptado, consistindo basicamente na substituição do material preconizado pelo solo tratado com enzimas e submetido à ação do movimento de vai e vem da roda padrão sob condições de carga e de número de ciclos fixados, simulando o que ocorre em campo e fornecendo condições de avaliar o desempenho de solos tratados.

3.2.3.2 • LWT - Preparação dos Corpos de Prova e Ruptura (Adaptado para Solos)

A preparação dos corpos de provas de solos adaptado para o equipamento LWT consistem nas seguintes etapas: preparo das amostras de solo, compactação e cura.

A amostra é inicialmente preparada na umidade ótima do solo respectivamente obedecendo aos ensaios de compactação executados e dimensionados. Levando em conta o peso específico encontrado no ensaio de compactação, a enzima será misturada com a água referente à umidade ótima, misturando-as e aplicando na amostra. Para a adição da enzima foi feita uma solução de 3% em água (Figura 4). Essa solução foi feita devido a quantidade de enzima ser muito reduzida, na proporção de 1 litro de enzima para 30m³ de solo, conforme fabricantes, e para esta pesquisa adotou-se também dosagens de 1:20 e 1:40.

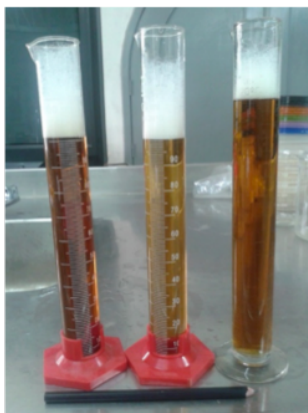


Figura 4 - Enzimas em solução de 3% (em volume) em água, utilizadas nesta pesquisa

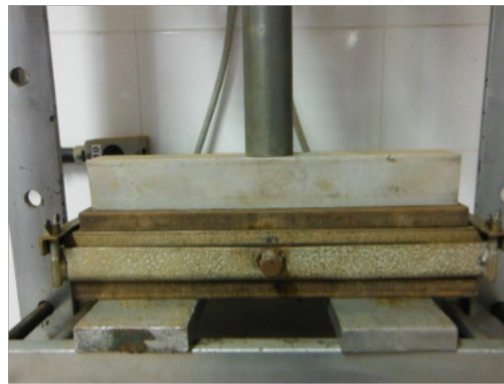
A mistura solo-enzima é acondicionada em recipiente fechado e colocada em câmara úmida por 24h, para que haja uma melhor homogeneização e manutenção da umidade. Após as 24h, o solo é preparado em uma forma adaptada (Figura 5) para o formato do corpo de prova do equipamento LWT e compactado com a utilização de uma prensa (Figura 6). A carga aplicada fará pressão distribuída uniformemente sobre o corpo de prova que estará dentro do molde, fazendo com que este fique bem compactado.



Figura 5 - Forma adaptada para moldagem do corpo de prova de solo para equipamento LWT



(a)



(b)

Figura 6 - Prensa utilizada para a compactação dos corpos de prova (a) e forma adaptada recebendo carga de compactação do corpo de prova na mesma prensa (b).

Após a compactação, o corpo de prova é extraído do interior do molde e curado. A cura é o procedimento mais simples de todo o ensaio, os corpos de provas foram colocados sobre uma grade de acrílico, que permite o ar circular livremente acima e abaixo do mesmo (Figura 7). O período de cura foi de sete dias ao ar livre à temperatura ambiente, porém também foram analisados tempos de cura maiores como 14, 28, 56 e 90 dias para os corpos de prova que apresentaram os melhores resultados.

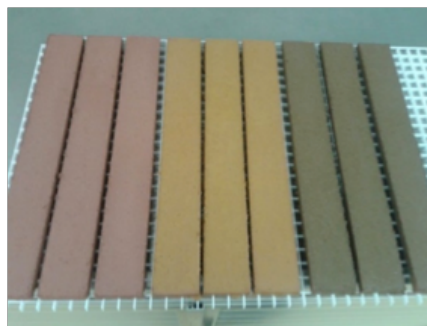


Figura 7 - Corpos de prova após a etapa de compactação e prontos para o procedimento de cura

Após o período de cura, o corpo de prova é submetido à ruptura no equipamento LWT. Para tal, o mesmo é colocado na pista de rolagem do equipamento (Figura 8a) e trancado com a ajuda de presilhas para evitar deslocamentos no momento do ensaio.

Apoia-se o braço de alavanca, encostando a roda-teste no corpo de prova para iniciar o ensaio (Figura 8b). O contador é zerado em 500 ciclos, (Figura 8c) que correspondem a 1000 passadas de roda sobre o corpo de prova (500 vai e 500 vem) (Figura 8d).

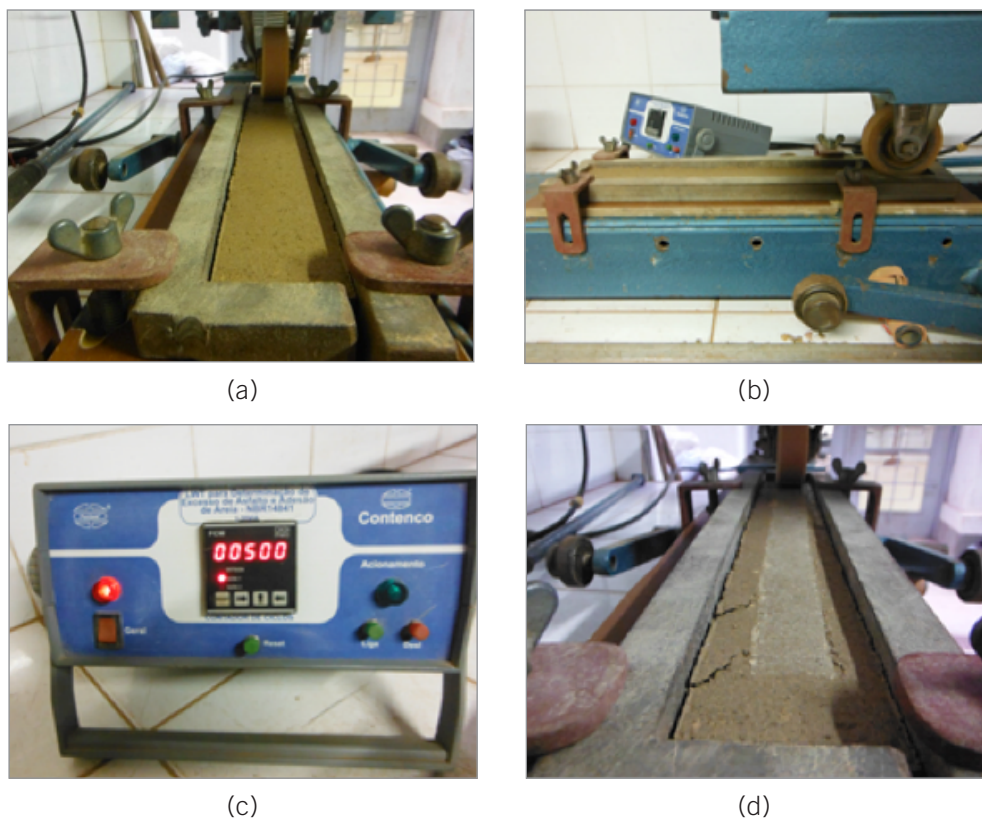


Figura 8 - Vista frontal (a) e lateral (b) do corpo de prova na pista de rolagem do equipamento LWT pronto para o início do ensaio, contador de ciclos (c) e corpo de prova após 1000 passadas (d).

Após 500 ciclos, se não houver ruptura do corpo de prova (Figura 9a), são colocados mais pesos sobre o equipamento e repetidos os 500 ciclos e assim sucessivamente (Figura 9b, Figura 9c e Figura 9d) até a ruptura do corpo de prova (Figura 9e e Figura 9f).

Devido à carga do simulador aumentar a cada 1000 passadas sem ruptura, conseqüentemente, há um acréscimo da carga passado ao corpo de prova, esses acréscimos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Acréscimo de cargas sobre o equipamento LWT a cada 1000 passadas

Etapa	Carga ensaiada (Kg)
De 0 a 1000 passadas	20,8 (Figura 9a)
De 1000 a 2000 passadas	33,0 (Figura 9b)
De 2000 a 3000 passadas	45,2 (Figura 9c)
De 3000 a 4000 passadas	54,2 (Figura 9d)

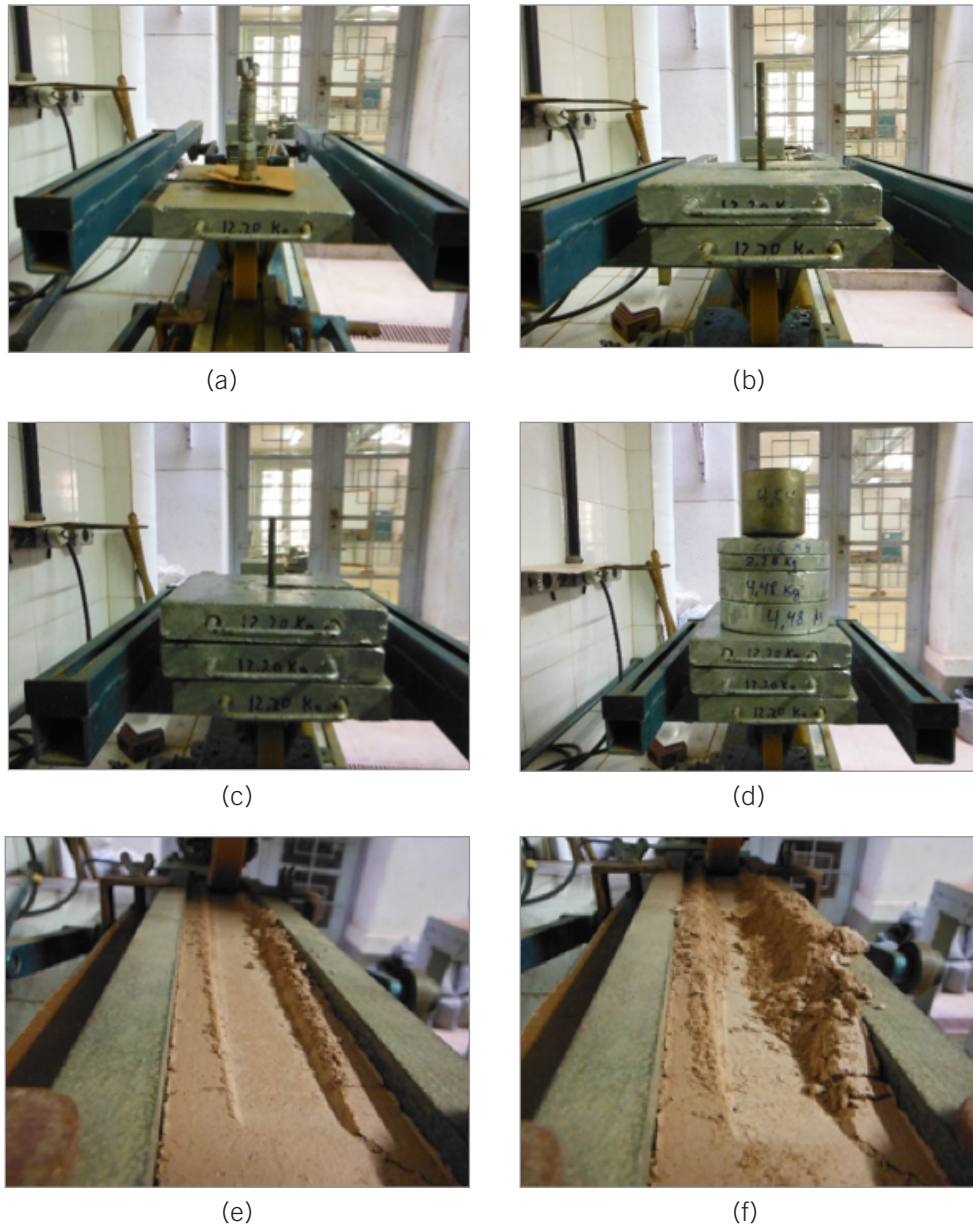


Figura 9 - Ruptura do corpo de prova. Carga de 20,8 Kg (a), carga de 33,0 Kg (b), carga de 45,2 Kg (c), carga máxima de 54,2 Kg (d). Início da ruptura (e) e corpo de prova rompido (f).

Todos os corpos de prova foram executados no tamanho padrão de 380mm x 50mm x 10mm. As duas primeiras medidas (380mm e 50mm) são padrões do equipamento e não podem ser alteradas. Já a espessura pode ser modificada, tanto maior ou menor do que 10mm. Optou-se por 10mm por estes terem apresentados resultados satisfatórios durante o desenvolvimento da metodologia utilizada por Brazetti (2013).

4 • RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 • Análise Granulométrica

As curvas granulométricas dos solos pesquisados foram determinadas considerando os procedimentos da NBR 7181/1984. Os três solos apresentaram curvas granulométricas bem parecidas, ou seja, porcentagem de materiais passantes nas peneiras com valores próximos. Esse resultado pode ser explicado devido ao fato dos materiais pertencem

4.4 • Ensaio de Compactação

As curvas de compactação dos solos utilizados nesta pesquisa estão apresentadas na Figura 11 e os resultados de Umidade Ótima e Massa Específica Aparente Seca retirados das curvas de compactação.

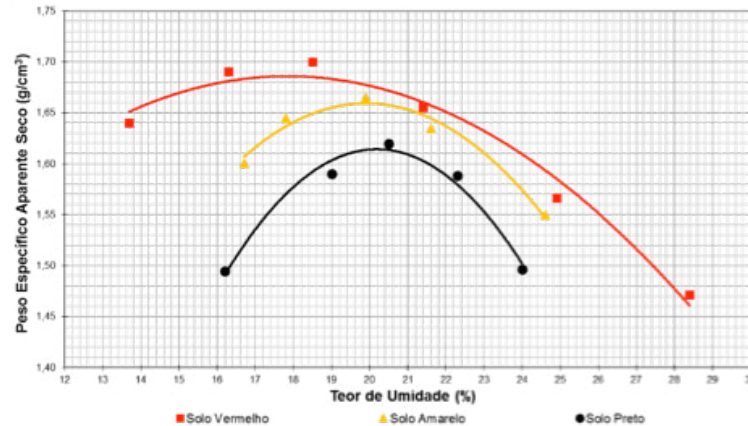


Figura 11 - Curvas de compactação dos solos desta pesquisa

4.5 • Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Na Tabela 4 estão apresentados os valores obtidos no ensaio de Índice de Suporte Califórnia e a expansão do corpo de prova de cada solo após quatro dias de imersão.

Tabela 4 - Resultados de ISC e expansão para os solos pesquisados

	ISC (%)	Expansão (%)
Solo Preto	4,3	0,0088
Solo Amarelo	5,0	0,0079
Solo Vermelho	7,9	0,0562

4.5.1 • Teor de Matéria Orgânica

Os resultados dos teores de matéria orgânica foram de 3,05% para o solo preto, 3,12% para o solo amarelo e 1,45% para o solo vermelho. Como era esperado, os solos mais superficiais, preto e amarelo, apresentaram teores de matéria orgânica maiores do que o solo vermelho, que ocorre em maior profundidade, isso pode ser explicado pelo fato dos solos estarem mais próximos à superfície.

4.6 • Ensaio LWT – Load Wheel Test

Os resultados dos ensaios realizados no simulador de tráfego LWT foram apresentados e divididos em diferentes análises. Todos os gráficos possuem, à sua esquerda, o primeiro resultado sendo o solo no estado puro, para uma melhor visualização e comparação. O valor de cada barra apresentada nos gráficos significa o número de passadas que o simulador de tráfego obteve até a ruptura, lembrando que a cada 1000 passadas a carga é aumentada de acordo com a Tabela 2 ressaltando que todos os corpos de prova foram curados ao ar livre, com um tempo de cura de sete dias. Com exceção daqueles onde o objetivo foi verificar se o tempo de cura influenciava no resultado da ruptura. Os gráficos estão organizados com os três melhores valores de ruptura encontrados, dispostos do menor para o maior.

4.6.1 • Resultados para a Enzima EMC

A Figura 12 apresenta os resultados dos ensaios utilizando a enzima EMC, para diferentes dosagens (puro, 1:20, 1:30 e 1:40). Observa-se que a enzima EMC melhorou os três tipos de solos, apresentando valores acima da ruptura do solo puro, com valores de 380, 546 e 784 passadas, respectivamente, para os três solos. O solo preto apresentou um melhor desempenho, onde chegou a uma melhora de 89,5% quando atingiu um valor de 1486 passadas no CP3 com uma dosagem na proporção de 1:20. Também houve 86,8% de melhora para o CP3 do solo amarelo e 59,5% de melhora no CP3 do solo vermelho, ambos com uma dosagem na proporção de 1:20.

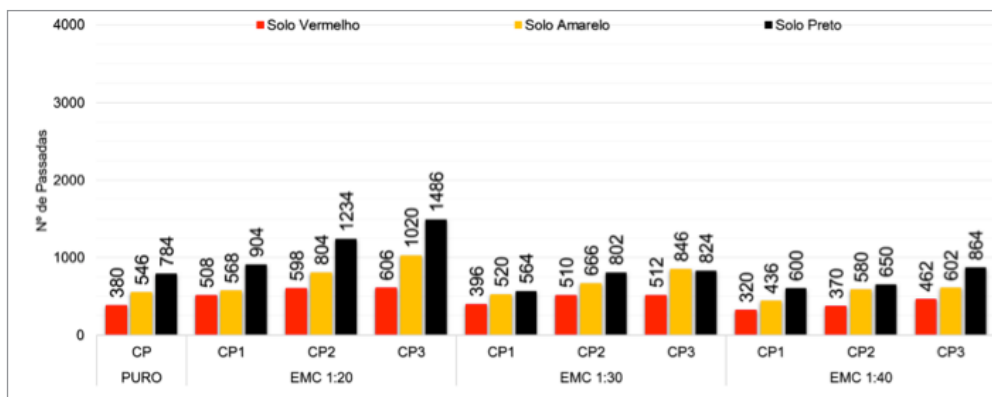


Figura 12 - Resultados ensaio LWT utilizando enzima EMC

O fato de os melhores resultados serem encontrados na proporção de 1:20 é explicado pela dosagem ser mais concentrada, ou seja, ter uma maior quantidade de enzimas do que as outras proporções, de 1:30 e 1:40.

Alguns resultados ficaram abaixo do próprio valor da ruptura no solo puro, isso pode ser explicado por alguma anormalidade do corpo de prova, seja no momento da sua fabricação, manuseio ou cura, pois um corpo de prova com as mesmas características apresentou valores mais elevados.

4.6.2 • Resultados para a Enzima TZ

A Figura 13 apresenta os resultados dos ensaios utilizando a enzima TZ para diferentes dosagens (puro, 1:20, 1:30 e 1:40).

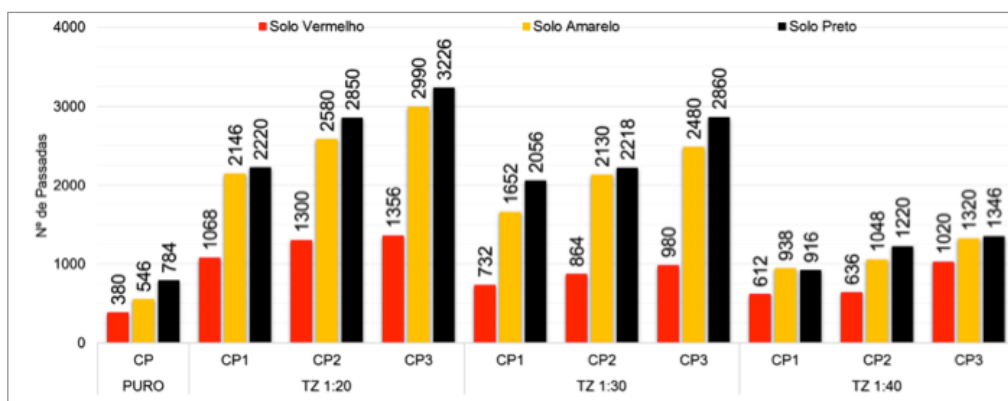


Figura 13 - Resultados ensaio LWT utilizando enzima TZ

No solo vermelho houve uma melhora de 356% em relação ao solo puro, já no solo amarelo a melhora foi de 548% e no solo preto de 411%, todos na dosagem de 1:20. Já na dosagem de 1:30, a utilizada pelos fabricantes, a melhora também foi significativa, sendo de 258% no solo vermelho, 454% no solo amarelo e 365% no solo preto. Já na dosagem de 1:40 a melhora foi mais modesta, porém também significativa, acima de 70% nos três solos.

A mesma explicação vale para esse caso, onde a dosagem 1:20 apresenta-se melhor devido à utilização de uma dosagem de enzima maior do que nas outras proporções.

4.6.3 • Resultados para a Enzima PZ

A Figura 14 apresenta os resultados dos ensaios utilizando a enzima PZ para diferentes dosagens (puro, 1:20, 1:30 e 1:40).

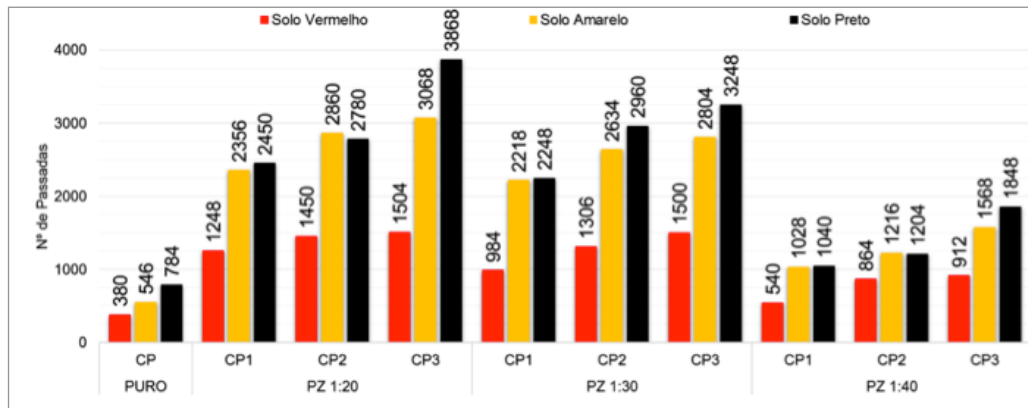


Figura 14 - Resultados ensaio LWT utilizando enzima PZ

Observa-se, como nas outras duas enzimas, que PZ também apresentou melhoras significativas, porém apresenta os melhores resultados entre as três enzimas pesquisadas. Na dosagem 1:20 houve uma melhora de quase 500% no CP3 do solo preto, atingindo quase que a capacidade máxima do equipamento, que são de 4000 passadas.

O solo amarelo também apresentou bons resultados nas dosagens 1:20 e 1:30, ultrapassando as 2500 passadas, o que significa também quase 500% melhor do que o solo no estado puro. O solo vermelho apresentou melhoras, mas aquém das apresentadas pelo solo amarelo e preto, não ultrapassando as 1500 passadas, porém, significando quase 400% de melhoria em relação ao solo puro.

As dosagens 1:40, como já comentado, apresentaram os piores resultados, porém não menos significativos, isso pode ser explicado devido à menor quantidade de enzima na sua mistura.

4.6.4 • Resultados para a Dosagem 1:40

Na Figura 15 serão apresentados os resultados comparativos das análises utilizando as dosagens na proporção 1:40 (1 litro de enzima para 40m³ de solo) para os três tipos de enzimas pesquisadas.

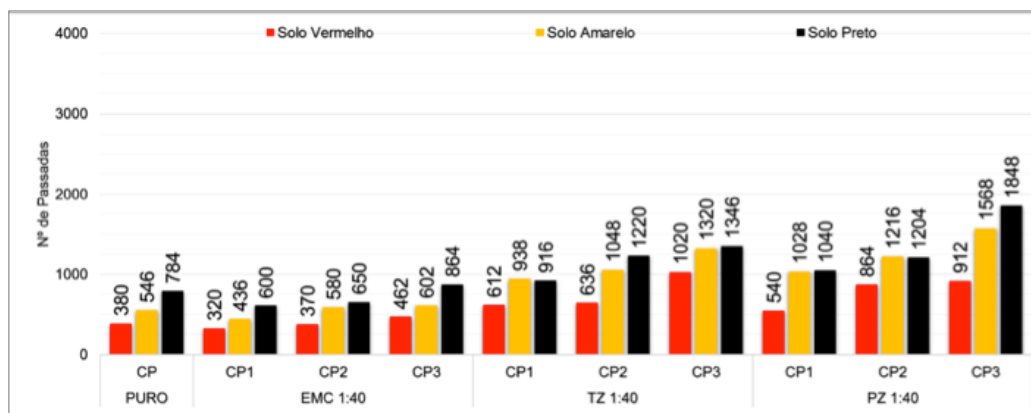


Figura 15 - Resultados ensaio LWT utilizando dosagem 1:40

Na dosagem 1:40, a quantidade de enzimas na mistura é menor, talvez por isso atinjam menores valores de ruptura, quando comparado às outras dosagens. No comparativo entre os resultados da dosagem 1:40, a enzima PZ apresentou um melhor resultado para os três solos, aumentando em até 250% os valores de ruptura em relação ao solo no estado puro. O solo que apresentou os melhores resultados nessa dosagem foi o solo preto, suportando maior número de passadas, consequentemente mais cargas com valores maiores (1848 e 1346 passadas), quando comparado ao solo amarelo (1568 e 1320 passadas) e ao solo vermelho (1020 e 912 passadas).

4.6.5 • Resultados para a Dosagem 1:30

Na Figura 16 serão apresentados os resultados comparativos das análises utilizando as dosagens na proporção 1:30 (1 litro de enzima para 30m³ de solo) para os três tipos de enzimas pesquisadas.

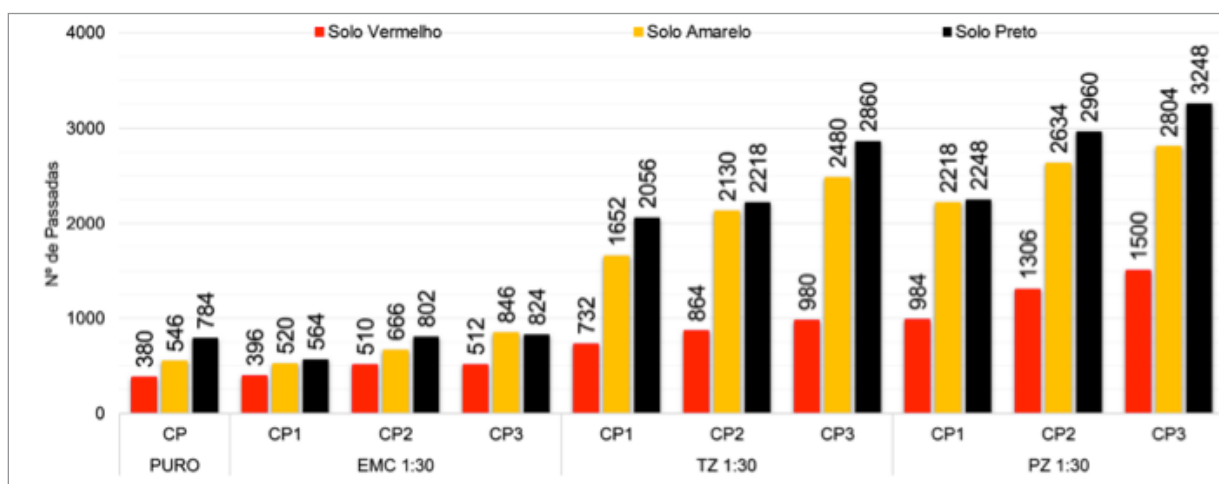


Figura 16 - Resultados ensaio LWT utilizando dosagem 1:30

A dosagem 1:30 é a utilizada pelos fabricantes e recomendada aos consumidores pelos mesmos. De fato, os corpos de prova ensaiados nessa dosagem mostraram melhores resultados em relação à dosagem 1:40, tendo valores acima de 2000 passadas nos solos preto e amarelo, quando tratados com as enzimas TZ e PZ.

Já a enzima EMC não mostrou um desempenho favorável quando comparado às outras duas pesquisadas. Isso pode ocorrer por alguma diferença do produto, pois as três enzimas são provenientes da mesma matéria prima, o bagaço da cana-de-açúcar, porém cada fabricante tem os seus procedimentos e segredos a respeito da fabricação das mesmas, o que pode levar a diferenças na composição e consequentemente no seu desempenho.

Percebe-se que, como visto nos outros resultados, os melhores corpos de prova são os ensaiados com os solos preto e amarelo. Os resultados com o solo vermelho apresentam menores valores de ruptura. Isso pode ser explicado pelo teor de matéria orgânica presente no solo, visto que a enzima precisa de um substrato orgânico para suas reações. Se o solo possui um teor maior de matéria orgânica, as reações se desenvolvem mais facilmente do que um solo que possui uma porcentagem menor.

4.6.6 • Resultados para a Dosagem 1:20

Na Figura 17 serão apresentados os resultados comparativos das análises utilizando as dosagens na proporção 1:20 (1 litro de enzima para 20m³ de solo) para os três tipos de enzimas pesquisadas.

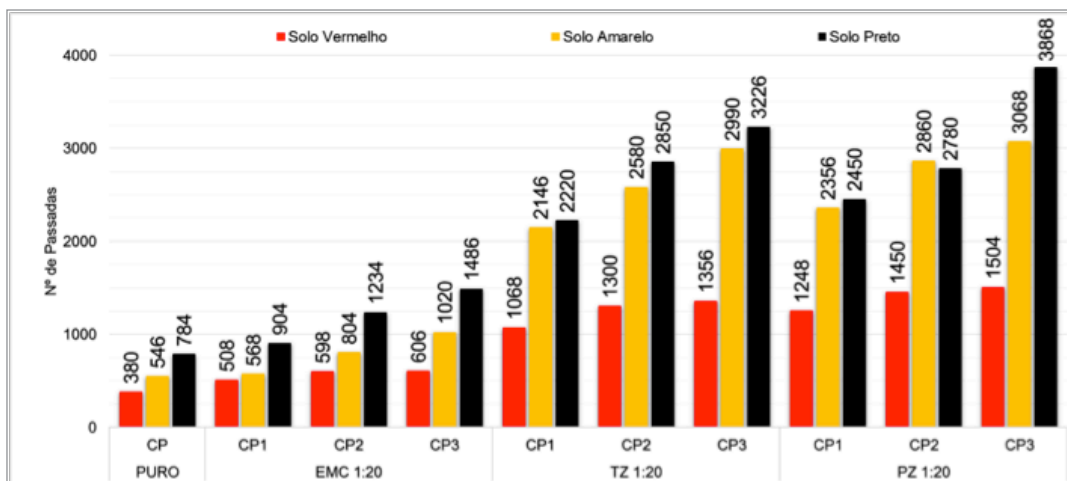


Figura 17 - Resultados ensaio LWT utilizando dosagem 1:20

Como já era esperado, em relação a dosagem, os melhores resultados foram apresentados na relação 1:20, onde os valores dos solos amarelo e preto ficaram próximos de 3000 passadas ou até mesmo ultrapassaram. Tendo uma melhora muito significativa, devido à quantidade maior de enzima na mistura.

O solo vermelho novamente ficou abaixo dos resultados dos outros dois solos pesquisados, mas não menos importantes, pois mesmo assim apresentou melhoras acima de 400% em relação ao estado puro.

Já a enzima EMC, em todos os três solos e nas três dosagens (1:20, 1:30 e 1:40) não apresentou resultados expressivos quando comparado aos outros valores, não ultrapassando as 1486 passadas do solo preto com dosagem 1:20. Isso pode ser explicado novamente pela quantidade de matéria orgânica presente no solo, visto que a enzima precisa de um substrato orgânico para suas reações e o solo vermelho apresentou o menor teor de matéria orgânica entre os três solos pesquisados.

4.6.7 • Influência do Tempo de Cura

Após a ruptura de todos os corpos de prova apresentados anteriormente, optou-se em verificar a influência do tempo de cura, pois todos os corpos de prova foram rompidos com sete dias de cura ao ar livre. Foi escolhido o melhor resultado de todos os ensaios realizados para compor os ensaios individuais. A mistura escolhida foi o solo preto com a enzima PZ e dosagem 1:20 (que apresentou resultados de até 3868 passadas). Foram executados mais corpos de prova e estes foram curados e rompidos nos seguintes períodos: 14 dias, 28 dias, 56 dias e 90 dias.

Para todos os períodos de cura foram feitos corpos de prova no estado tratado e no estado puro para se fazer as comparações. Como pode ser observado, os resultados não diferem muito, ou seja, não existe uma tendência de melhora ao longo do tempo. Os valores são próximos e ficam próximos à média de 3000 passadas. Os resultados com 7 dias, para essa mistura, mostram que não houveram melhorias significativas para os outros períodos de tempo analisados, mostrando que o período longo de cura não interfere no desempenho. Os resultados destes ensaios estão apresentados na Figura 18.

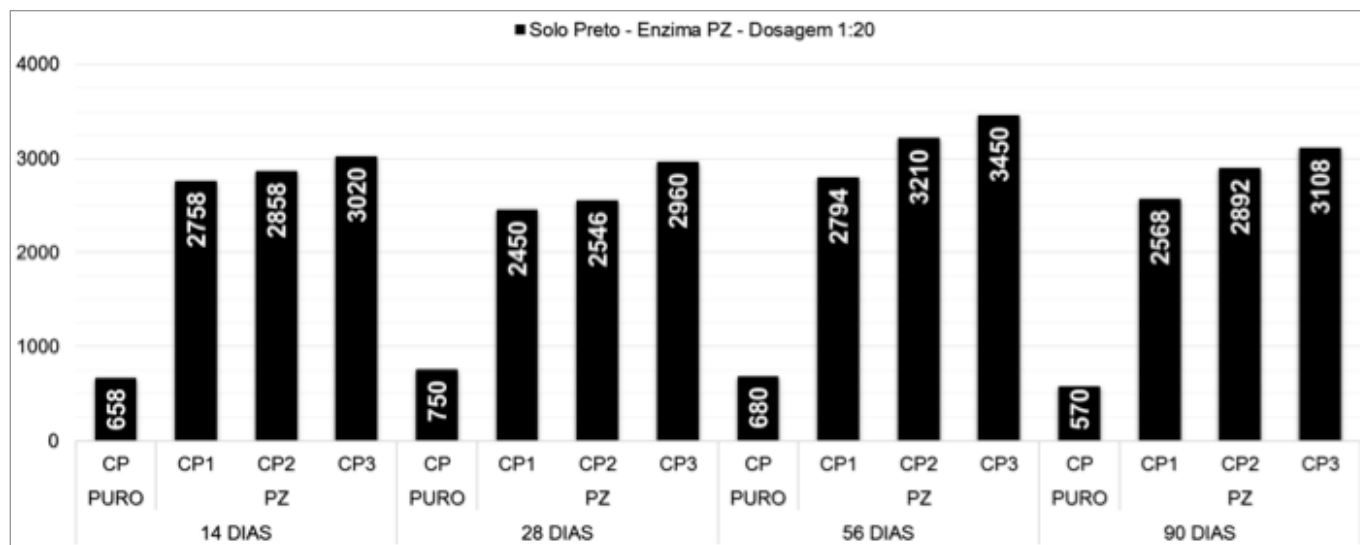


Figura 18 - Variação do tempo de cura (solo preto, enzima PZ, dosagem 1:20)

4.7 • Composição Química

Foram realizados ensaios químicos nas amostras dos três solos pesquisados, tanto no estado puro quanto no estado tratado com a enzima PZ na dosagem 1:20, por ter apresentado melhores resultados nos ensaios mecânicos.

Nos três solos pesquisados, há um predomínio dos elementos Alumínio (Al), Silício (Si) e Ferro (Fe), compondo aproximadamente 97% das amostras analisadas. Os outros elementos encontrados foram: Titânio (Ti), Enxofre (S), Zircônio (Zr), Vanádio (V), Potássio (K), Manganês (Mn), Iridio (Ir), Cobre (Cu) e Zinco (Zn).

Nas amostras tratadas com enzima PZ, procurou observar se houve mudanças nos elementos com relação ao solo no estado puro, porém os resultados não foram significativos, ficando todos dentro da margem de erro do ensaio que é de 3%.

Também foram realizadas análises químicas da composição dos óxidos presentes nos solos. Houve um predomínio de Óxido de Alumínio (Alumina-Al₂O₃), Dióxido de Silício (Sílica-SiO₂) e Óxido de Ferro (Hematita-Fe₂O₃), os dois primeiros respondendo por mais de 90% da composição. Os outros óxidos encontrados foram: Dióxido de Titânio (TiO₂), Trióxido de Enxofre (Óxido Sulfúrico-SO₃), Óxido de Potássio (K₂O), Dióxido de Zircônio (ZrO₂), Pentóxido de Vanádio (Anidrido Vanádico-V₂O₅), Óxido de Manganês (MnO), Trióxido de Iridio (ZrO₂), Óxido de Cobre (CuO) e Óxido de Zinco (ZnO).

Também não houveram mudanças significativas nas análises com óxidos quando se compara o solo tratado ao solo puro, ou seja, não há reações químicas que criem novos elementos ou modifiquem os existentes nas amostras analisadas.

5 • CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados e analisados foi possível se chegar às seguintes conclusões apresentadas:

Os solos amarelo e preto apresentaram teores maiores de matéria orgânica do que o solo vermelho, influenciando favoravelmente a atuação das enzimas no melhoramento das misturas;

Os ensaios com o LWT foram totalmente satisfatórios, concluindo que a metodologia desenvolvida para avaliação em solos é completamente utilizável e recomendada;

O solo vermelho apresentou os piores resultados mecânicos quando comparado aos outros. Os solos amarelo e preto apresentaram melhores resultados, chegando o preto quase a capacidade máxima do equipamento de 4000 passadas. Resultado explicado pelo maior teor de matéria orgânica presente nos solos preto e amarelo, levando as enzimas a reagirem com os substratos presentes. Diferente do solo vermelho que possui um teor de matéria orgânica menor;

Quanto à avaliação das enzimas, as que se mostraram mais favoráveis foram a PZ e TZ;

A dosagem de aplicação da enzima exerceu um fator importante nas misturas, concluindo que quanto menor essa dosagem, ou seja, mais quantidade de enzima na mistura, melhor é o seu comportamento, tendo assim a dosagem 1:20 como melhor avaliada;

Na análise do comportamento ao longo do tempo, não houve diferenças significativas nos resultados por longos períodos, levando a concluir que esse fator não altera no resultado final do tempo de cura, concluindo que as principais reações acontecem nos primeiros sete dias após a fabricação dos corpos de prova;

Através de todas as análises e estudos realizados nesta pesquisa, conclui-se que há sim viabilidade técnica para utilização de enzimas em obras de pavimentação, porém, muitos estudos e entendimentos acerca de como esses aditivos atuam devem ser realizados, a fim de se entender melhor a respeito do seu comportamento.

Referências Bibliográficas

- ANDREW, R. T.; FADI, M. S.; NICHOLAS, E. H.; ELAHE, M.. *An Evaluation of Strength Change on Subgrade Soils Stabilized with an Enzyme Catalyst Solution Using CBR and SSG Comparisons*. University Transportation Center, South Carolina State University, Orangeburg, SC, USA, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- _____. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- _____. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- _____. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- _____. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.
- _____. NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.
- _____. NBR 9895: Solo - Índice de suporte califórnia - Método de ensaio. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987.
- _____. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995.
- _____. NBR 13600: Solo - Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C - Método de ensaio. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996.

- ____ NBR 14841: Microrrevestimentos a frio - Determinação de excesso de asfalto e adesão de areia pela máquina LWT. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002.
- ____ NBR 11798: Materiais para base de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.
- ____ NBR 12025: Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.
- BRANDON, T. L.; BROWN, J. J.; DANIELS, W. L.; DEFAZIO, T. L.; FILZ, G. M.; MITCHELL, J. K.; MUSSELMAN, J.; FORSHA, C.. Rapid stabilization polymerization of Wet Clay Soils; Literature Review. Technical project 4915, Air Force Research Laboratory Materials and Manufacturing Directorate. Performed by Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2009.
- BRAZETTI, R. ; CASAGRANDE, M. D. T. ; SILVA, B. A. E. . Estudo Abordando uma Metodologia para Avaliar Aditivos Patenteados para Estabilização de Solos In: 42ª RAPv Reunião Anual de Pavimentação, Gramado - RS. 2013.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.
- DNER-ME 228/94: Solos - compactação em equipamento miniatura. Rio de Janeiro-RJ: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 1994.
- ____ DNER-CLA 259/96: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura. Rio de Janeiro-RJ: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 1996.
- ____ DNER-ME 254/97: Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-CBR e expansão. Rio de Janeiro-RJ: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 1997.
- ____ DNIT 143/2010-ES: Pavimentação - Base de solo-cimento. Rio de Janeiro-RJ: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2010.
- EMBRAPA - Carta de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Folha SF-23-Z-B - Escala: 1.250.000 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Folha Rio de Janeiro, 2003.
- EMC (2014): Disponível em: < <http://www.baseforte.net/producto.html>>. Acesso em: 15/12/2014.
- NOGAMI, J. S., VILLIBOR, D. F., Pavimentos de Baixo Custo com Solos Lateríticos, Editora Villibor, São Paulo. 1995.
- RAUCH, A.F.; HARMON, J.S.; KATZ, L.E.; LILJESTRAND, H.M. Measured effects of liquid soil stabilizers on engineering properties of clay. Presented at the 81st Annual Transportation Research Board Conference and published in the Transportation Research Record Research Board 1787, pp 33-41, National Research Council, Washington, 2002.
- TERRAZYME (2014): Disponível em: < <http://www.naturezyme.com.br/empresa.html>>. Acesso em: 16/12/2014. 📍



AS CARACTERÍSTICAS DA ORÇAMENTAÇÃO DE OBRAS NO BRASIL*

Silvio Figueiredo Mourão¹

¹ Contécnica Consultoria Técnica/CSL/STE.

* Trabalho apresentado no 10^o *International Cost Engineering
Concil World Congress.*

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar os procedimentos e regulamentações da orçamentação de obras públicas no Brasil. Apresenta uma visão geral, de leis, decretos e decisões de órgãos de controle

A orçamentação de obras e serviços tem como principal regulamentação a Lei 8.666/1993 que determina que as obras e os serviços somente poderão ser licitados quando “existir orçamento detalhado em planilhas que expressem a composição de todos os seus custos unitários”

Quando financiadas pelo Governo Federal, o orçamento das obras deverá seguir o Decreto 7.983/2013, que determina que, no caso de obras de infraestrutura rodoviária o custo será obtido pelo Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO, administrado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT.

O SICRO, entretanto, apresenta alguns problemas crônicos que serão abordados e além dos aspectos regulamentatórios e restrições, um dos grandes problemas é a interpretação da metodologia do SICRO pelos órgãos de controle, cujas decisões têm poder de normatização para órgãos executivos e frequentemente provocam em alterações unilaterais de preços e quantidades nos contratos de obras.

De algum modo essa regulamentação excessiva sobre a orçamentação de obras prejudica o livre exercício da Engenharia de Custos no Brasil.

A regulamentação do Governo Federal resulta na contratação pelo menor e algumas vezes distorcidos preços, baseado em valores mínimos de mercado e em alterações contratuais não planejadas, forçando empresas a reduzir preços contratuais e eventualmente restituir valores já pagos.

Palavras-chave: Brasil, orçamento, orçamentação, administração pública, governo, regulamentação, licitação, auditoria, órgãos de controle, TCU.

ABSTRACT

This paper presents the procedures and regulations in related to infrastructure construction costs estimating in Brazil for public works. An overview including laws, decrees and decisions of the Brazilian auditing and accountability offices will be approached.

Infrastructure construction cost estimating in Brazil's main regulation is the Law 8666/1993 that states, "Works and services may only be tendered when there is a detailed budget and the composition of all its unit costs."

Nevertheless, cost estimating for projects financed by the Federal Government must follow Decree 7983/2013, which declares, in case of infrastructure works, the mandatory use of Sistema de Custos Referenciais de Obras (construction reference cost system) - SICRO, administered by the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (National Department of Transportation Infrastructure) - DNIT.

The SICRO, however, presents some chronic problems to be presented and in addition to these regulatory aspects and restrictions, one major problem is the interpretation of SICRO methodology by auditing and accountability offices, whose determinations have standard power to public agencies and often results in unilateral change of prices and quantities of contracts. In some way, this excessive regulation of government construction cost estimating, limits the free practice of Cost Engineering in Brazil.

The regulation of the Federal Government results in hiring for low and sometimes distorted prices, based on minimum market values and not planned contract changes, sometimes forcing companies to reduce the contract price or even give back money already paid.

Keywords: Brazil, cost estimating, budget, public administration, government, regulation, bidding, auditing, auditing offices, accountability offices, TCU.

ABORDAGEM

A orçamentação de obras e serviços tem como principal regulamentação a Lei 8.666/1993 que determina que as obras e os serviços somente poderão ser licitados quando “existir orçamento detalhado em planilhas que expressem a composição de todos os seus custos unitários”

Quando financiadas pelo Governo Federal, o orçamento das obras deverá seguir o Decreto 7.983/2013, que determina que, no caso de obras de infraestrutura em geral o custo será obtido pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, administrado pela Caixa Econômica Federal - CEF e no caso de obras de infraestrutura rodoviária, pelo Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO, administrado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, objeto deste trabalho.

Para atender a essa regulamentação, os orçamentos devem ser analíticos, independentemente do tipo ou porte da obra, classificados como Classe 1 da Recommended Practice No. 18R-97 da American Association of Cost Engineering International.

Quadro 1 - Principal regulamentação dos orçamentos de infraestrutura no Brasil

DOCUMENTO	REGULAMENTAÇÃO
Constituição Federal	Art.º 37º, Inciso XXI – “ressalvados os casos especificados na legislação, as obras, serviços, compras e alienações serão contratados mediante processo de licitação pública...”
Lei 8.666/2003 (licitações e contratos)	Art. 7º, § 2º “As obras e os serviços somente poderão ser licitados quando: ... II - Existir orçamento detalhado em planilhas que expressem a composição de todos os seus custos unitários”
Decreto 7.983/2013 (orçamentos de referência)	Art. 4º – “O custo global de referência dos serviços e obras de infraestrutura de transportes será obtido a partir das composições dos custos unitários previstas no projeto que integra o edital de licitação, menores ou iguais aos seus correspondentes nos custos unitários de referência do Sistema de Custos Referenciais de Obras - Sicro, cuja manutenção e divulgação caberá ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT...”

O Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO

O SICRO define os custos de referência para obras e serviços de infraestrutura rodoviária, por meio de um processo gradual de composição de custos, desenvolvido e administrado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT

Em sua segunda versão, o SICRO 2, lançada no ano de 2000, foi adotada pelo Governo Federal como uma referência para obras de infraestrutura de transportes, em função de sua metodologia consistente e periodicidade de atualização dos preços, realizada pelo pessoal do DNIT até 2012 e posteriormente pela Fundação Getúlio Vargas – FGV, uma renomada instituição de estudos e ensino de economia, em cooperação com o DNIT.

A pesquisa de preços de equipamentos, materiais e mão de obra e realizada a cada dois meses na quase totalidade das capitais do país.

Os relatórios de custo, bem como os manuais da metodologia do SICRO, podem ser baixados pela internet do sítio do DNIT na internet.

O SICRO calcula os custos dos serviços, pelas seguintes etapas:

- i. Custos de utilização dos equipamentos em bases horárias
- ii. Custos da mão de obra em bases horárias;
- iii. Conversão dos custos horários em custos unitários pela taxa de produção do serviço;
- iv. Custos de material em bases unitárias;
- v. Custos de transporte de materiais em bases unitárias;
- vi. Custos de serviços auxiliares (quando necessários) em bases unitárias;
- vii. Adição do BDI (Bonificação e despesas indiretas) para a transformação de custos em preços.

Custos de equipamentos

O custo horário dos equipamentos é calculado para o estado operativo (produtivo) e para o estado improdutivo. Para o estado operativo o custo horário dos equipamentos considera os custos de propriedade, de manutenção e de operação, compostos por:

- **Custos de propriedade**
 - Depreciação
 - Taxas e seguros
- **Custos de manutenção**
 - Reparos
 - Material rodante, pneus, freios, etc
 - Partes de desgaste (lâminas, dentes, etc)
- **Custos de operação**
 - Combustível
 - Óleo, graxa e filtros
 - Operadores

Para o estado improdutivo o custo horário dos equipamentos considera apenas o custo dos operadores, desconsiderando os demais custos (depreciação, combustível, taxas, partes de desgaste, etc). Os custos de oportunidade de capital não são considerados pelo SICRO em nenhum dos estados.

Custos de mão de obra

Os custos da mão de obra são compostos pelo salário pago aos trabalhadores, acrescidos pelos encargos sociais, que são constituídos por várias taxas, contribuições sociais e provisões, que atualmente variam entre 90.64% e 120.37% sobre os salários brutos, dependendo do regime de tributação adotado pelos contratos e consideram:

- Salário bruto;
- Contribuição para o INSS;
- Contribuição para o FGTS;
- Contribuição para PIS/PASEP;
- Contribuição para o SESI;

- Contribuição para o SENAI;
- Contribuição para INCRA;
- Contribuição para o SEBRAE;
- Contribuição para o SECONCI;
- Salário educação;
- Seguro de acidentes do trabalho;
- Repouso remunerado (fim de semana);
- Provisão para feriados;
- Provisão para assistência saúde;
- Provisão para 13º salário;
- Provisão para licença maternidade;
- Provisão para licença paternidade;
- Provisão para faltas justificadas;
- Provisão para paralisações;
- Provisão para acidentes do trabalho;
- Provisão para férias;
- Provisão para aviso prévio indenizado;
- Provisão para aviso prévio trabalhado;
- Provisão para 1/3 de férias;
- Provisão para multa por rescisão do contrato de trabalho sem justa causa;

Existem também despesas com transporte, alimentação e equipamentos de proteção individual dos trabalhadores, consideradas nas composições de custos unitários como uma taxa de “Adicional de mão de obra” no valor de 15,51% sobre o custo da mão de obra do serviço

Custo dos Materiais

Diferentemente dos custos de mão de obra e de equipamentos, que necessitam uma série de cálculos preliminares, para que seus valores de mercado possam ser utilizados, os preços de compra dos materiais são empregados diretamente nas composições de custos unitários de serviços, baseados no menor valor encontrado na pesquisa de preços.

Custos de transporte de materiais

Os custos de transporte dos materiais são considerados como parte do custo dos serviços executados, calculados pelas composições de custo unitário e consideram:

- Tempo de carga;
- Transporte carregado;
- Tempo de descarga;
- Transporte de retorno, vazio;
- Tempo de manobras para carga e descarga.

BDI

O preço de referência dos serviços é obtido pela adição da parcela de Bonificação e Despesas Indiretas – BDI (Lucro e Despesas Indiretas – LDI, no Manual de Custos Rodoviários do DNIT), que atualmente assume valores de 26,70% ou 34,32% sobre o custo direto dos serviços, dependendo do regime de tributação adotado pelos contratos. As parcelas que compõem o BDI e seus respectivos valores são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Composição do BDI em 2016

Itens	BDI (convencional)	BDI (desonerado)
Administração Central	3.76 %	3.99 %
Administração Local	3.59 %	3.80 %
Custos Financeiros	1.62 %	1.72 %
Risco	0.50 %	0.50 %
Seguros e Garantias Contratuais	0.32 %	0.34 %
Lucro	9.12 %	9.67 %
PIS	0.82 %	0.87 %
COFINS	3.80 %	4.03 %
ISSQN	3.17 %	3.36 %
Contribuição Previdenciária Sobre a Receita bruta	---	6.04 %
BDI Total	26.70 %	34.32 %

Composição de preços unitários - CPU

O custo unitário dos serviços é calculado por meio de formulários padronizados, nos quais são considerados os tipos e consumos dos fatores de produção necessários para a execução de uma unidade do serviço, como por exemplo, 1 m³ de concreto, 1 kg de armadura metálica, 1 m de sarjeta, etc.

Um exemplo de composição de custo unitário é apresentado na Figura 1

O SICRO considera composições de custos unitários diferenciadas para os serviços de construção, manutenção e conserva, diferenciados pelo fator de eficiência adotado para o cálculo dos custos de equipamentos.

Figura 1 - Exemplo de composição de custo unitário do SICRO

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários		Construção Rodoviária				SICRO2
Custo unitário de referência	Mês: Janeiro/2016	Minas Gerais		Produção a Equipe: 168 m ³		RCTR0320
2 S 01 511 00 - Compactação de aterros a 100% proctor normal						(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E006 - Motoniveladora - (103 kW)	1	0,30	0,70	166,93	22,47	65,81
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1	0,52	0,48	74,53	16,83	46,84
E013 - Rolo Compactador - pdc 11,25t vibratorio (82 kW)	1	1,00	0,00	117,41	16,83	117,42
E101 - Grade de Discos - GA 24 x 24	1	0,52	0,48	3,27	0,00	1,70
E407 - Caminhão Tanque - 10.000 l (210 kW)	2	0,54	0,46	148,14	18,24	176,78
Custo Horário de Equipamentos						408,55
B - Mão-de-obra	Quantidade			Salário - Hora	Custo Horário	
T501 - Encarregado de	1,00			29,17	29,18	
T701 - Servente	2,00			9,87	19,75	
Custo Horário de Mão-de-Obra						48,92
Adc. M.O. - Ferramentas (15,5%)						7,59
Custo Horário de Execução						465,06
Custo Unitário de Execução						2,77
Custo Unitário Direto Total						2,77
Lucro e Despesas Indiretas (26,70%)						0,74
Preço Unitário Total						3,81

Produção das equipes

As taxas de produção das equipes e dos estados operativo e improdutivo dos equipamentos utilizados nas CPUs são baseadas na produção das equipes mecânicas e calculados de acordo com as características de cada serviço e com a capacidade e desempenho dos equipamentos utilizados, por meio de um formulário padronizado, denominado “Produção das Equipes Mecânicas – PEM”. Um exemplo de PEM é apresentado na Figura 2.

CÓDIGO: 2 S 01 511 00	SERVIÇO: Compactação de aterros a 100% proctor normal	UNIDADE
		m ³

Variáveis Intervinentes	Unid.	EQUIPAMENTOS				
		Rolo Pé-de-Carneiro Auto Propelido Vib. 11,25t (82kW)	Motoniveladora (93 kW)	Grade de Discos 24x24	Trator de pneus (82 kW)	Caminhão Tanque - 10.000 l (135 kW)
A - AFASTAMENTO	m					
B - CAPACIDADE	m ³					10.000
C - CONSUMO (QUANT.)	l					53
D - DISTÂNCIA	m	150	150	150		5.000
E - ESPAÇAMENTO	m					
F - ESPESSURA	m	0,20	0,20	0,20		
G - FATOR DE CARGA						
H - FATOR DE CONVERSÃO						
I - FATOR DE EFICIÊNCIA		0,83	0,83	0,83		1
J - LARGURA DA OPERAÇÃO	m	2,13	3,55			
L - LARGURA DO SUPER.	m	0,20	0,20			
M - LARGURA ÚTIL	m	1,93	3,35	2,45		
N - NÚMERO DE PASSADAS	un.	8	6	6		
O - PROFUNDIDADE	m					
P - TEMPO (FIXO) CARGA, DESCARGA E MANOBRAS	min.					40
Q - TEMPO DE PERC. (IDA)	min.					10
R - TEMPO DE RETORNO	min.					10
S - TEMPO TOTAL DE CICLO	min.					60
T - VELOCIDADE (IDA) MÉDIA	m/min.	70	100	80		500
U - VELOCIDADE RETORNO	m/min.					500

OBSERVAÇÕES: Especificação de serviço:	Fórmulas				
	$P=60 \times F \times l \times M \times T / N$	$P=60 \times F \times l \times M \times T / N$	$P=60 \times F \times l \times M \times T / N$	Para rebocar a grade de discos	$P=60 \times B \times l / C \times S$

Produção Horária (m ³ /h)	168	556	325	325	157
--------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Número de Unidades	1	1	1	1	2
--------------------	---	---	---	---	---

Utilização	Prod.	1,00	0,30	0,52	0,52	0,54
	Improd.	0,00	0,70	0,48	0,48	0,46

Produção da Equipe	168	168	168	168	168
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----

CONSIDERAÇÕES

O SICRO, apesar de ser um bom Sistema de referência de preços para obras de infraestrutura, apresenta em sua metodologia algumas fragilidades em relação às boas práticas da engenharia de Custos, como por exemplo:

- Não considera o custo de oportunidade de capital para os equipamentos;
- Não considera o custo de propriedade para os equipamentos em modo improdutivo;
- Não considera o custo do adicional de mão de obra para os operadores de equipamento;
- Não considera os encargos complementares definidos pelas convenções coletivas de trabalho;
- Não considera serviços de infraestrutura ferroviária e aquaviária, em função de sua origem rodoviária;
- Utiliza o preço mínimo obtido nas cotações de mercado (equipamentos e materiais), quando o mais correto seria uma média ou mediana dos preços;
- Carece de uma definição clara para os estados improdutivo e parado dos equipamentos nas composições de custo;
- Carece de uma definição clara de quando os transportes locais ou comerciais devam ser adotados;
- A brita produzida, que tem uma utilização intensiva nas obras de infraestrutura, tem seu custo subestimado, em termos dos padrões de obtenção da rocha para britagem, causando uma grande diferença de valor entre a brita produzida e a brita comercial;
- Para duplicação ou ampliação de rodovias, a metodologia do SICRO define que o fator de eficiência dos equipamentos a ser utilizado é o de restauração de rodovias, mas os órgãos de controle não aceitam completamente essa diretriz, resultando em preços inferiores e até mesmo em mudanças contratuais.

Além dessas fragilidades da metodologia original, atualmente devem ser observadas na utilização do SICRO algumas alterações não documentadas, resultantes das interpretações dessa metodologia pelos órgãos de controle, especialmente pelo Tribunal de Contas da União – TCU, cujas determinações têm a força de normas para a Administração Pública e geralmente resultam em modificações de preços e quantidade nos contratos firmados, sendo as principais:

- Apesar de adotar o preço mínimo cotado para os insumos (equipamentos e materiais), a referência do SICRO deve ser adotada como valor máximo de referência para elaboração dos orçamentos;
- Em aditivos contratuais, o preço a ser adotado deve ser o menor entre os preços contratuais, preços do SICRO e eventualmente preços de mercado, sendo que o preço de mercado não é claramente definido e seu conceito varia nas análises do TCU;
- Preços de serviços não considerados pelo SICRO a serem adotados nos orçamentos referenciais e nos aditivos contratuais devem ser compostos segundo regras rígidas e analisados por setores específicos da Administração Pública;
- Algumas perdas de produção admitidas teoricamente pela metodologia do SICRO, como chuvas, interferência do tráfego, ou interferências em áreas urbanas, não são completamente aceitos pelos órgãos de controle;

Outro ponto de mudanças constantes é a taxa de BDI, que teoricamente teria uma certa liberdade de ajuste nos valores de sua composição, na prática esses ajustes não são realizados, por receio que os órgãos de controle não os aceitem.

As principais fragilidades do BDI são:

- Valor fixo, como uma porcentagem, para qualquer tipo ou porte de obra;
- Considera a Administração Local como uma porcentagem sobre o custo direto, em vez de compor seu valor;

As principais alterações não documentadas no BDI em relação à metodologia original pelos órgãos de controle são:

- Algumas taxas e impostos, considerados não reembolsáveis, foram removidos do BDI;
- O BDI sobre serviços terceirizados e sobre aquisição de materiais de uso expressivo, como os materiais betuminosos, foram fixados em 15% sobre seu custo direto;
- O BDI nos contratos não é limitado ao do SICRO, como são os preços unitários. Mas como o preço global da obra, definido pelo SICRO é o valor máximo, se as empresas adotarem um valor de BDI maior que o referencial, devem reduzir seus preços unitários em relação aos referenciais.

CONCLUSÕES

Por ter que atender a legislação, os órgãos da Administração Pública Federal, exigem orçamentos detalhados, do tipo analítico, nas propostas de preço das licitações de obras de infraestrutura (exceto RDC), utilizando a metodologia do SICRO, que posteriormente serão a base contratual de preços.

Mas a necessidade de atualização da metodologia do SICRO e a excessiva regulamentação por parte dos órgãos de controle, resultam na contratação de obras com preços referenciais excessivamente distorcidos, baseados nos valores mínimos de mercado e nas alterações impostas à essa metodologia.

Na medida em que particularidades e restrições nem sempre são observadas ou identificadas no preparo de orçamentos para as licitações, existe uma grande possibilidade que ocorram alterações nos contratos assinados, forçando as empresas a reduzir valores contratuais e eventualmente devolver valores já pagos de serviços realizados.

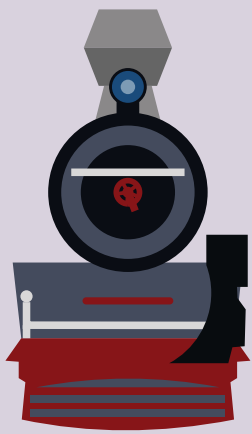
Em paralelo às alterações contratuais impostas, os engenheiros dos órgãos que foram responsáveis pela elaboração ou análise dos orçamentos referenciais, sofrem penalidades que vão de multas a demissões.

Desde o ano de 2006 algumas tentativas de aprimorar o SICRO vêm sendo realizadas, resultando em algumas versões com ajustes metodológicos que ainda se encontram em larga discussão, mas com uma perspectiva de um novo sistema com maior conformidade com as boas práticas da Engenharia de Custos.

Copyright 2016, 10th ICEC World Congress

Referências Bibliográficas

- AACE International, 2016, *Cost engineering terminology. AACE International Recommended Practice No. 10S-90*;
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2003, *Manual de custos rodoviários, Vol. 1 Metodologia e conceitos*. Retrieved from <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/manual-de-custos-rodoviarios/manual-de-custos-rodoviarios>;
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2003, *Manual de custos rodoviários, Vol. 4 Composições de custos unitários de referência – obras de construção rodoviária, Tomo 1 Terraplenagem e pavimentação*. Retrieved from <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/manual-de-custos-rodoviarios/manual-de-custos-rodoviarios>;
- Peter Christensen et al, 2005, *Cost Estimate Classification System - as applied in engineering, procurement and construction for the process industries. AACE Internacional Recommended Practice No. 18R-97*;
- Presidência da República do Brasil, 1998, *Constituição da república federativa do Brasil. Diário Oficial da União*;
- Presidência da República do Brasil, 2013, *Decreto nº 7.983. Diário Oficial da União*;
- Project Management Institute, Inc., 2013, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*;
- Salahadin Khairo and Lloyd Davies, 2009, *Guide to machinery costs and contract rates. Primefacts 913*, Retrieved from www.industry.nsw.gov.au;
- Tribunal de Contas da União, 2016, *Jurisprudência selecionada - SICRO e BDI*. Retrieved from <http://portal.tcu.gov.br/cidadao/cidadao.htm>;
- United States Department of Agriculture, 2013, *Cost Estimating Guide for Road Construction*. Retrieved from http://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5279284.pdf 



59^a EDIÇÃO

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO



BENTO GONÇALVES • RS
31 de outubro a 3 de novembro

2017

Ponto de encontro dos profissionais e das empresas brasileiras da cadeia produtiva do concreto



TEMAS

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

Acesse
www.ibracon.org.br
(clique no logotipo do evento)

COTAS DE PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- ▶ Excelentes oportunidades para divulgação, promoção e relacionamento
- ▶ Espaços comerciais na XIII FEIBRACON - Feira Brasileira das Construções em Concreto
- ▶ Palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias
- ▶ Inscrições gratuitas

Informe-se sobre as cotas de patrocínio e exposição: **Tel. (11) 3735-0202**
e-mail: arlene@ibracon.org.br

REALIZAÇÃO



Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68 – Jardim Olimpia | CEP 05542-120
São Paulo – SP – Brasil | Telefone (11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

www.ibracon.org.br twitter.com/ibraconOffice
facebook.com/ibraconOffice

Salve esta data!

Em abril de 2018
nos encontramos em Bonito!



17 a 20 de abril de 2018
Centro de Convenções
Bonito - Mato Grosso do Sul

www.rapv.org.br

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

COMPANY | eventos

PLANEJANDO E VALORIZANDO EVENTOS E AÇÕES