

## II - PLANO DE TRABALHO DO TERMO DE EXECUÇÃO DESCENTRALIZADA Nº 00702/2020

### 1. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADORA

#### a) Unidade Descentralizadora e Responsável

Nome do órgão ou entidade descentralizador (a): Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

Nome da autoridade competente: Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

Número do CPF: 765.████████-72

Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: Diretoria de Planejamento e Pesquisa - DPP

Identificação do Ato que confere poderes para assinatura: Regimento Interno, aprovado pela Resolução nº. 26, de 05 de maio de 2016 e a Portaria nº. 1.788, de 03 de outubro de 2016.

#### b) UG SIAFI

Número e Nome da Unidade Gestora - UG que descentralizará o crédito: 393003 - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

Número e Nome da Unidade Gestora responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: 393005 - Diretoria de Planejamento e Pesquisa

### 2. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADA

#### a) Unidade Descentralizada e Responsável

Nome do órgão ou entidade descentralizada: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Nome da autoridade competente: Ubaldo Cesar Balthazar

Número do CPF: 169.████████-34

Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pela execução do objeto do TED: Departamento de Engenharia Civil – ECV/CTC – através do Laboratório de Transportes e Logística – LabTrans/UFSC e pelo Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação (LDTPav), situado no Campus da UFSC/Joinville.

Identificação do Ato que confere poderes para assinatura: Decreto de 03 de julho de 2018, publicado no Diário Oficial da União - DOU de 04 de julho de 2018, seção 2, página 1.

#### a) UG SIAFI

Número e Nome da Unidade Gestora - UG que receberá o crédito: 153163 – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Número e Nome da Unidade Gestora -UG responsável pela execução do objeto do TED: 15237 – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

### 3. OBJETO:

O presente plano de trabalho, elaborado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) tem como objeto o desenvolvimento de estudos quanto à influência do comportamento viscoelástico linear de misturas asfálticas no dimensionamento de estruturas de pavimento em regime dinâmico de solicitação, compreendendo as seguintes vertentes: temperatura crítica de dissipação de energia sob a forma de calor, frequência de aplicação do carregamento, habilidade de compactação, resistência à ação da água, deformação permanente, módulo complexo e fadiga, com o intuito de colaborar com os estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) na elaboração da nova metodologia de dimensionamento de pavimentos de concreto asfáltico para o Brasil.

### 3.1. OBJETO RESUMIDO

- Avaliação do Comportamento Viscoelástico Linear de Misturas Asfálticas no Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários Submetidos a Carregamento Dinâmico.

### 4. DESCRIÇÃO DAS AÇÕES E METAS A SEREM DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO TED:

O método de cálculo para dimensionamento de pavimentos asfálticos praticado atualmente no Brasil (DNIT, 2006) é baseado no método do *United States Army Corps of Engineers (USACE)* e da *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, que são métodos empíricos concebidos em condições já cientificamente ultrapassadas em relação à realidade atual dos próprios Estados Unidos da América (EUA). Visam basicamente à análise da resistência dos materiais a partir do Índice de Suporte Califórnia (ISC), em que a determinação das espessuras das camadas é procedida sem qualquer critério racional físico e matemático, considerando ábacos, tabelas e inequações obsoletas e sem qualquer relação campo/laboratório. Ainda, a determinação do número de passagens do eixo padrão (N) dá-se pelo princípio da equivalência de eixos, que ignora a superposição dos efeitos das cargas nas camadas estruturais do pavimento, o que leva a um natural subdimensionamento das estruturas projetadas.

Além disso, a metodologia nacional utilizada para dosagem de misturas asfálticas é baseada no ensaio Marshall (DNER-ME 043/95), que também é muito distante das condições de compatibilidade com os fenômenos regentes da mecânica dos pavimentos observados no campo. O procedimento de compactação é realizado por impacto severo e não por rolagem de pneumáticos ou rolos lisos, com ajustes de pressão de eixo e calibragem dos pneus durante o processo; imerge-se o material em água a 60°C antes de sua ruptura, simulando uma condição inexistente no campo em condições reais; e rompem-se as amostras sob o esforço de compressão diametral, a partir da aplicação de esforço monotônico e que não permite estabelecer qualquer paralelo científico adequado com os fenômenos de fadiga e fluência, e nem mesmo com o sinal de deformação gerado nas camadas do pavimento sob solitação dinâmica. Ainda, o método mencionado invariavelmente indica teores de ligante de trabalho acima do valor ótimo adequado, quando comparado com metodologias mais científicas, como a francesa, por exemplo, acarretando na ocorrência de fluência excessiva das misturas quando submetidas a ensaios de deformação permanente no domínio dinâmico (BARRA, 2005).

Não há também no Brasil qualquer metodologia oficial implantada neste momento que estabeleça um protocolo científico de formulação de misturas asfálticas e nem mesmo uma definição de classes quanto às características reológicas e mecânicas a serem alcançadas com padrão mínimo de aceitabilidade dos diversos tipos de variação de composições, que permita ao projetista escolher qual formulação utilizar em cada caso de aplicação específica no pavimento, e que leve em conta testes com estreita e comprovada relação campo/laboratório, e que permita avaliar as diversas variáveis de viabilidade técnica destes materiais, como: habilidade de compactação, deformação permanente, módulo de rigidez e fadiga. Desta forma, não há como utilizar as equações de dimensionamento estabelecidas em métodos racionais, sem que haja algum protocolo adequado para a determinação das variáveis fundamentais das propriedades dos materiais para que isto seja posto em prática (BARRA et al., 2010).

Neste contexto, estão sendo desenvolvidos TEDs do DNIT com a COPPE sobre o contexto de implantação reológica quanto ao desempenho de ligantes asfálticos, em que classes de desempenho vêm sendo definidas neste escopo particular. Porém, ainda não para a formulação de misturas asfálticas em relação a sua destinação no campo, ou seja, se módulo elevado, drenante, densa, semi-densa, base betuminosa, delgada, ultra-delgada, etc...

Até mesmo as curvas granulométricas são definidas atualmente com base em método por tentativa e erro, utilizando faixas limítrofes e frações granulares heterogêneas comerciais, sem que haja a possibilidade do projetista possuir o controle das frações individuais dos materiais, a cada peneira, com definição de uma curva normalizada e bem distribuída percentualmente em todas as suas frações, garantindo melhor intertravamento dos materiais e melhor desempenho mecânico (ANDRADE, 2018).

Destaca-se, porém, que está em processo de avaliação pelo DNIT uma ação de proposta de especificação de serviço (ES) desenvolvida pela COPPE, em âmbito de TED, para formulação de curvas granulométricas com base no Diâmetro Máximo Nominal (DMN). Entretanto, a presente proposta aborda outra metodologia, baseada nas Equações de Füller-Talbot (BARRA, 2009), que permite a evolução normalizada das curvas granulométricas, fixando-se o diâmetro máximo e o percentual de fíler passante na menor peneira de abertura da série, definindo assim o expoente de graduação da composição granular. Para tanto, as frações trabalhadas são selecionadas em cada diâmetro específico, ou seja, peneira por peneira, permitindo ao projetista ter o controle absoluto da participação de cada percentual no contexto geral da distribuição proporcional.

Ainda, no caso dos materiais provenientes de jazidas de solos e pedreiras em geral, não se aplica no Brasil os conceitos de módulo de rigidez aplicados às definições das classes de plataformas de fundação, com progressão de rigidez intra e entre camadas subjacentes, a fim de que possa simular o comportamento elástico não linear destes materiais. Além disso, não se leva em conta a análise dinâmica do comportamento dos materiais granulares, no que diz respeito à inversão dos planos principais de tensão que pode ocasionar deformações permanentes três vezes maiores quando comparadas às avaliações no domínio estacionário (EL ABD, 2006).

Neste contexto, verificando a necessidade de atualização deste método de dimensionamento e a demanda cada vez maior, devido ao aumento do volume de tráfego e das cargas por eixo nas rodovias brasileiras, o DNIT, em cooperação com a COPPE/UFRJ, está elaborando o novo Método de Dimensionamento Nacional de pavimentos (MeDiNa).

Entretanto, do material já disponibilizado ao conhecimento da comunidade científica nacional, verifica-se alguns pontos críticos descritos a seguir:

- Não considera condições específicas fundamentais como o comportamento viscoelástico dos materiais betuminosos.
- Não comporta solicitação por carregamento dinâmico das estruturas de pavimento.
- Não compreende o dano real das configurações de eixo sobre os materiais.
- Não considera a influência da frequência e da temperatura na resposta viscoelástica das misturas asfálticas.
- Persevera na manutenção do conceito de equivalência de eixo para a determinação do número de eixos padrão durante o período de projeto.
- Utiliza unicamente a elasticidade linear como modelo de comportamento para a análise de todos os materiais, não permitindo análises mais profundas dos sinais de deformação em flexão alternada na estrutura do pavimento, tomando em conta os efeitos dos fenômenos de relaxação e fluência dos materiais betuminosos.
- Preconiza como princípio básico o critério de admissibilidade de até 30% de área trincada do pavimento, contrariando a premissa técnica básica de que pavimentos devem ser dimensionados para não trincar, além de abrir precedente para justificativas quanto a falhas de procedimentos executivos em serviços prestados.
- Considera a possibilidade de se dimensionar uma estrutura de pavimento em que as camadas não possuem aderência em suas interfaces, contrariando os princípios básicos de monolitidade das estruturas, de aderência por adesão e de entrosagem dos materiais, de

distribuição adequada das tensões às camadas subjacentes, e acarretando suscetibilidade extrema das camadas betuminosas aos esforços cisalhantes e tangenciais do tráfego, gerando fadiga precoce no pavimento.

Propõe-se neste plano de trabalho, portanto, a aplicação de um método protocolar de formulação de misturas asfálticas, que seja capaz de analisar variáveis fundamentais e fenomenológicas dos materiais, as quais permitam suprir as equações constitutivas de um dimensionamento racional de pavimentos de concreto asfáltico.

Para tanto, os princípios conceptivos da metodologia francesa serão utilizados, pois é a única no mundo que apresenta estreita, comprovada e publicada relação campo/laboratório em seus procedimentos (MANUEL LPC, 2007), em que a expertise na linha de pesquisa que segue atualmente vem sendo desenvolvida desde a década de 50 (HUET, 1963; SAYEGH, 1965), ou seja, neste momento com sete décadas de experiências contínuas em campo e laboratório. Ademais, apresenta como forte característica e vantagem a versatilidade, pois como é fundamentada em princípios físicos, matemáticos e experimentais, é facilmente adaptável ao contexto de cada país.

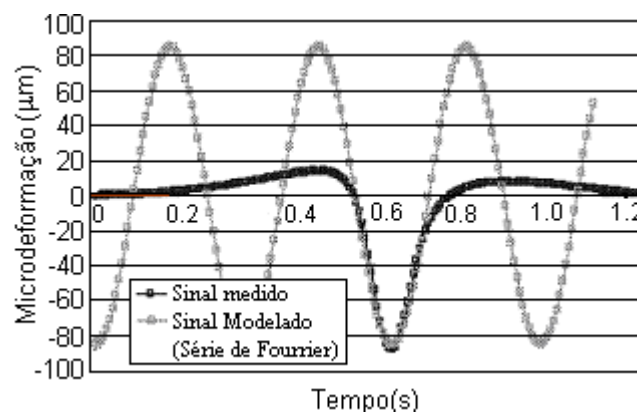
Entretanto, é importante esclarecer que adotar os princípios conceptivos da metodologia francesa não significa que serão transcritos para o Brasil, mas sim adaptados à realidade do contexto nacional.

#### **Atividade A - Compra de equipamentos e ações de adaptação dos laboratórios**

A execução desta primeira atividade trata da compra de equipamentos de ensaio e das ações de adaptação dos laboratórios em ambos os centros, Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação (LDTPav), situado no Campus da UFSC/Joinville, e Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) do Campus da UFSC/Florianópolis. Serão realizadas a compra dos equipamentos novos e a manutenção e calibração dos existentes.

#### **Atividade B – Estudo do comportamento reológico e mecânico em misturas de concreto asfáltico**

Como a deformação oriunda dos repetidos esforços de flexão alternada é o parâmetro que rege a fadiga no campo e, constitui-se no principal fenômeno que conduz as misturas de concreto asfáltico ao colapso (HUET, 1963; RUDENSKY, 1997; MOMM, 1998; DOMEK, 2005; BARRA, 2009), deve-se compreender corretamente a sua dinâmica, a fim de que se possa reproduzi-lo em laboratório e interpretá-lo corretamente. Para tanto, faz-se necessário estudar a forma do sinal de deformação resultante na base da camada betuminosa gerada no instante da solicitação imposta pelo carregamento dinâmico, no sentido de sua aplicação, ou seja, longitudinalmente (Figura 1).



**Figura 1 - Superposição dos sinais de deformações longitudinais medidos em campo (em preto) aos das curvas senoidais com frequências calculadas decompondo as séries de Fourier (PERRET, 2003).**

Isto já se encontra bem definido em diversos estudos de monitoramento de estruturas de pavimento, seja de forma experimental (HUET, 1963; SAYEGH, 1965; DOAN, 1977; DE LA ROCHE, 1996; RIVIÈRE, 1996; DOMEÇ, 2005), seja de forma prática (HECK, 2001; PERRET, 2003), em que a sequência dá-se na ordem dos esforços de contração-distenção-contração, conforme discorrido em BARRA et al. (2010). Portanto, verifica-se a ocorrência de flexão alternada, ocasionada pela inversão de sinais de deformação.

Contudo, há dificuldade de reprodução exata, em laboratório, do sinal de deformação observado no campo. Por esta razão, atualmente, utiliza-se a solicitação à flexão alternada com geração de sinal senoidal, por se aproximar do fenômeno que ocorre na prática.

Por isso, a metodologia francesa utiliza os ensaios com o controle do deslocamento, à flexão alternada, com geração de sinal senoidal, para determinar as deformações que conduzem os concretos asfálticos à ruptura por fadiga (AFNOR NF EN 12697-24, 2012). Tem-se como base uma faixa de níveis de deformação, em função das características geométricas e físicas de cada material, tomando como critério para o dimensionamento a deformação correspondente a  $10^6$  ciclos ( $\epsilon_6$ ), calculada a partir de um tratamento estatístico rigoroso dos resultados, que abrange tanto a seleção das amostras quanto a determinação dos parâmetros.

Normativamente, o ensaio de fadiga é realizado em modo contínuo (sem períodos de repouso), à frequência de 25Hz e à temperatura de 10°C, tendo em conta que os dois primeiros correspondem a critérios para acelerar a dinâmica do processo, em razão de que se fossem executados com tempos de repouso e a frequências muito baixas, demorariam demasiadamente para fornecer os resultados de ruptura dos materiais.

Neste contexto, em razão do tempo necessário para a realização experimental dos ensaios de fadiga, diversas pesquisas vêm sendo executadas no sentido de propor técnicas de modelização numérica para o desenvolvimento da predição do comportamento à fadiga de misturas asfálticas, utilizando, por exemplo, a teoria do dano contínuo, denominada *Viscoelastic Continuum Damage (VECD) Model* (NASCIMENTO, 2015; KUTAY et al., 2008), bem como técnicas de otimização inversa dos parâmetros do dano por fadiga sobre testes executados à flexão alternada, com o aporte do Método de Elementos Finitos, utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt, a fim de ajustar o referido método à resposta global de corpos de prova, em relação aos resultados experimentais obtidos (CHKIR et al., 2009).

No que diz respeito à temperatura de 10°C, estudos como o de DOMEÇ (2005) e MOUTIER (1991), por exemplo, demonstram que, para o modo de solicitação contínuo, com o controle do deslocamento à flexão alternada, é a condição mais desfavorável ao comportamento mecânico dos concretos asfálticos, conforme ilustram as Figuras 2 e 3, pois apresentam a menor deformação à referência de  $10^6$  ciclos de solicitação ( $\epsilon_6$ ).

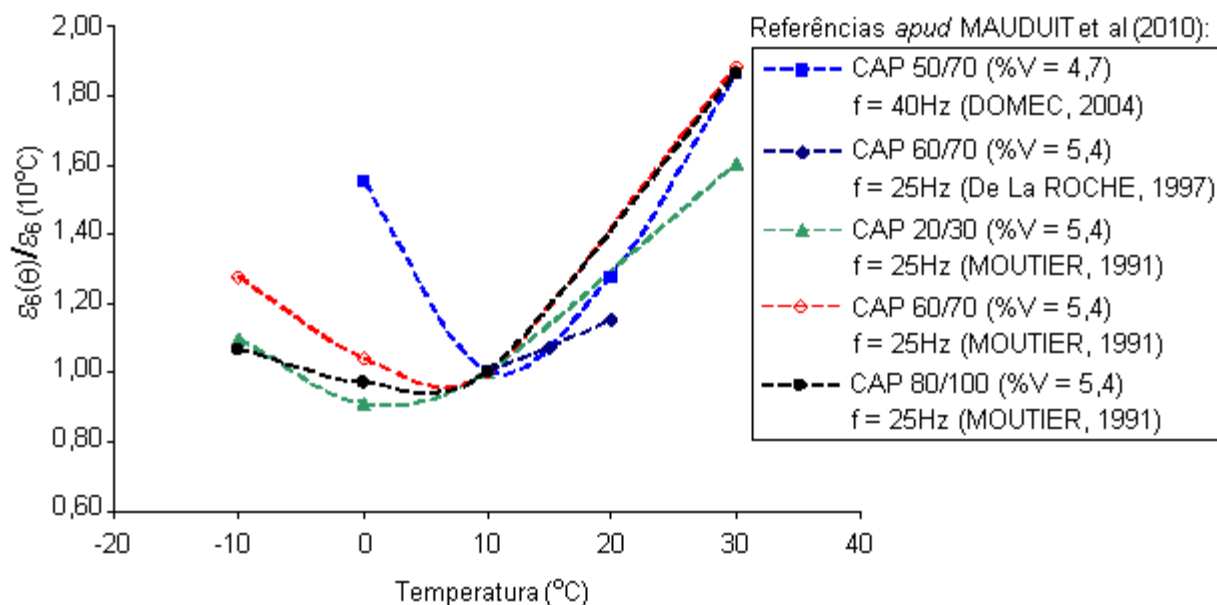


Figura 2 - Evolução da deformação para  $10^6$  ciclos de sollicitação ( $\epsilon_6$ ) em função da temperatura (MAUDUIT et al., 2010).

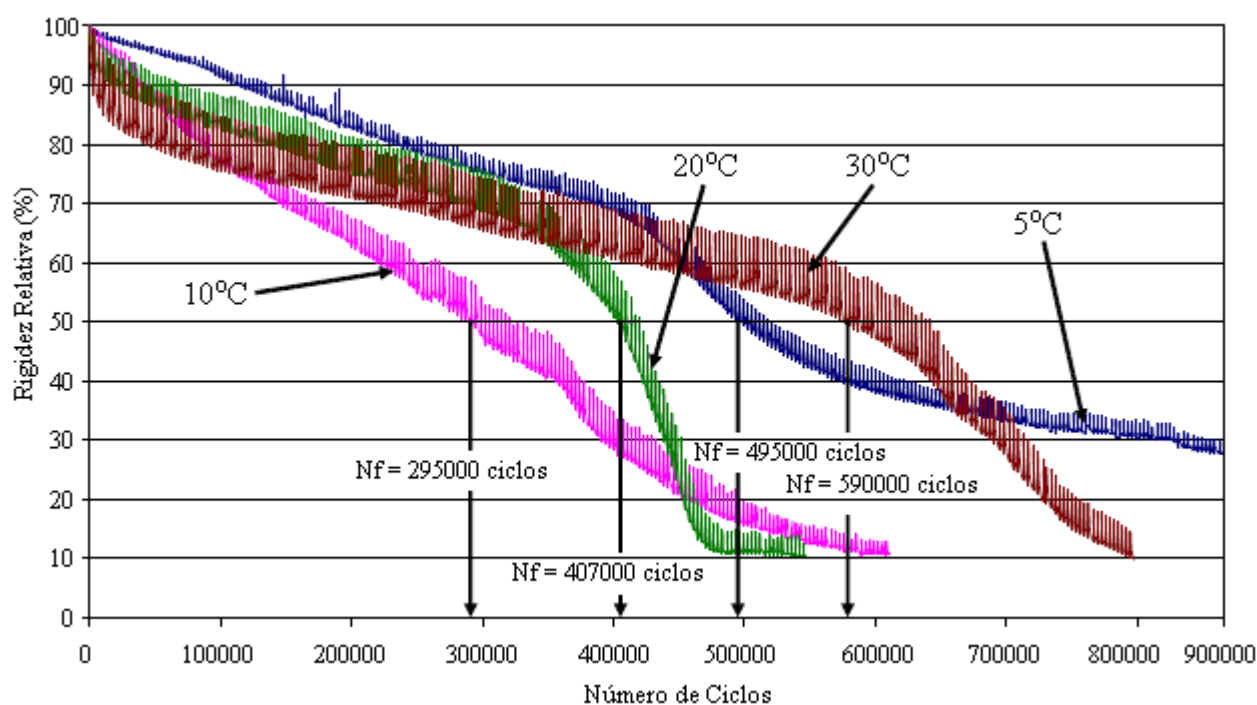


Figura 3 - Curvas de fadiga para diferentes temperaturas (DOMEC, 2005).

Entretanto, esta condição de desfavorabilidade do comportamento mecânico à fadiga na temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  apresentada nas Figuras 2 e 3, e tomada como condição normativa francesa, foi definida para misturas convencionais de concreto asfáltico produzidas na França, e formuladas com materiais típicos franceses (ligantes betuminosos e agregados pétreos).

Em contrapartida, em escala mundial, tem-se que as misturas de concreto asfáltico têm formulações diversificadas, em função de que as características dos materiais constituintes são distintas e peculiares a cada ambiente, a partir de aspectos geológicos, pedológicos, bióticos, de extração, ou ainda por fatores de modificação dos ligantes betuminosos (adição de borracha, polímeros e aditivos químicos, por exemplo), não podendo ser generalizada a situação crítica de avaliação do comportamento viscoelástico linear dos concretos asfálticos.

Mesmo na França, há a necessidade de se rever este tipo de estudo apresentado na Figura 2, pois com o advento de novos materiais destinados à formulação de misturas asfálticas, sobretudo os utilizados nas

técnicas de modificação dos ligantes betuminosos, e do surgimento de novas classes de ligantes betuminosos, mais consistentes (CAP 10/20 e HiMA, por exemplo), bem como de misturas asfálticas, como as mornas, tem-se que a zona crítica do comportamento à fadiga pode não estar em torno de 10°C em alguns casos, e seja preciso rever as condições normativas de ensaio.

Portanto, faz-se necessário realizar estudos referentes à evolução do comportamento mecânico e reológico à fadiga de misturas de concreto asfáltico para as condições brasileiras, levando-se em conta o comportamento viscoelástico destes materiais, logo, dependentes da temperatura e da frequência de aplicação do carregamento solicitante, a fim de que se possa prever de forma racional a temperatura crítica de resistência à fadiga de cada formulação.

Neste contexto, pesquisas realizadas por BARRA et al. (2016) (Figuras 4 e 5) e QUINTERO et al. (2016) vêm indicando a pertinência e coerência científica de se relacionar a temperatura crítica correspondente à perda de energia por dissipação de calor na componente viscosa ( $E_2$ ) do módulo dinâmico (complexo) (AFNOR NF EN 12697-26, 2012) como a condição mais desfavorável para a realização dos ensaios de resistência à fadiga de misturas asfálticas. Porém, ambas as pesquisas citadas necessitam de maior número de amostragem tanto de misturas asfálticas quanto de simulações dos binários de temperatura e frequência, a fim de que seja possível indicar conclusões definitivas sobre o assunto. Ou seja, precisam da continuidade de desenvolvimento, pois estão ainda em caráter incipiente.

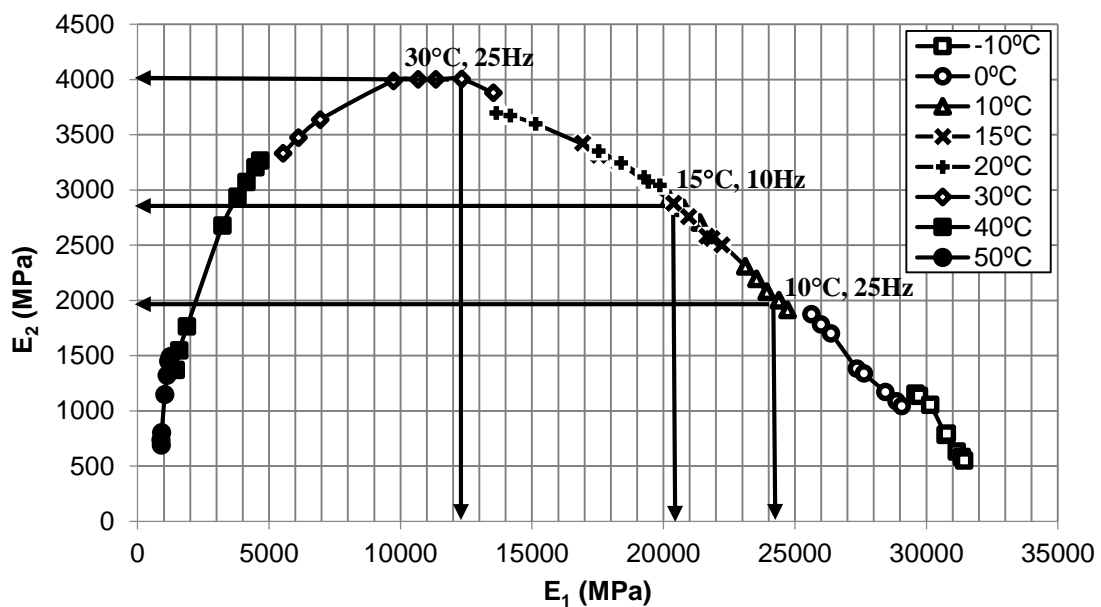


Figura 4 - Comportamento reológico de uma mistura asfáltica no plano complexo Cole-Cole (BARRA et al., 2016).

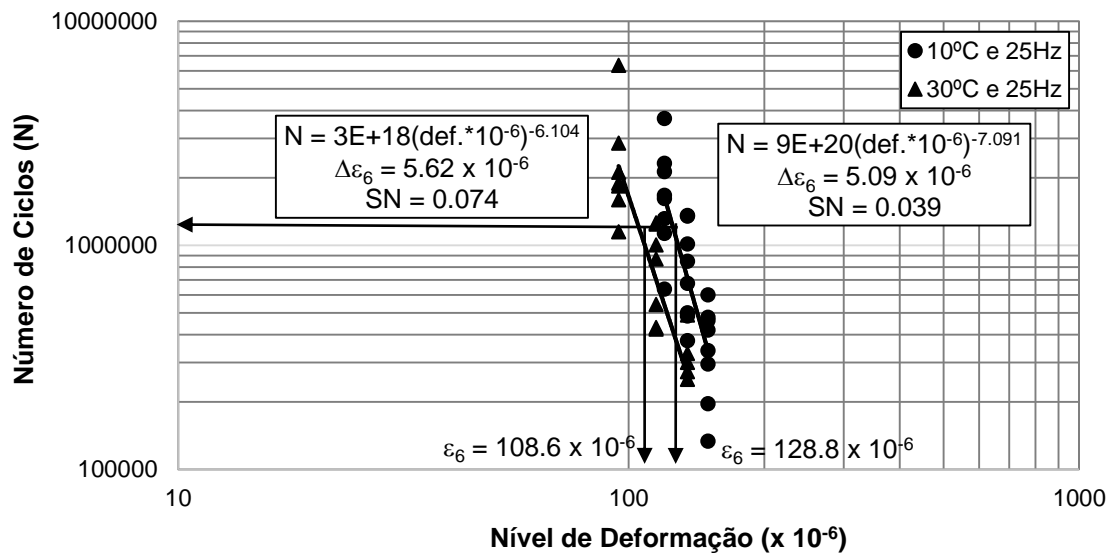


Figura 5 - Curvas de fadiga testadas a 10°C e 30°C, ambas a 25Hz, correspondentes às situações reológicas ilustradas na Figura 4 (BARRA et al., 2016).

Ressalta-se o caráter inovador em âmbito nacional desta proposição de pesquisa, e de fundamental importância para os critérios de dimensionamento das estruturas de pavimento de concreto asfáltico, pois, toma em conta o verdadeiro comportamento mecânico e reológico particular dos materiais constituintes das formulações, inferindo acurácia significativa aos resultados obtidos nas simulações numéricas de desempenho das estruturas de pavimento, com auxílio das ferramentas computacionais que utilizam o modelo viscoelástico linear de HUET(1963)-SAYEGH (1965), como o Viscoanalyse versão Beta (CHAILLEUX, 2007) e o Viscoroute (CHABOT et al, 2010).

### Atividade C – Avaliação de parâmetros influentes na formulação de misturas asfálticas e no dimensionamento de pavimento de concreto asfáltico

Esta atividade prevê a aplicação prática do estudo relacionado à evolução do comportamento mecânico e reológico à fadiga de misturas de concreto asfáltico, descritos na atividade B, compreendendo variações do tipo *Grave-Bitume* (GB) e *Enrobé à Module Elevé* (EME), concebidas para desempenhar funções estruturais no pavimento, com o objetivo de suportar volumes de elevada intensidade em carregamento solicitante no campo, tal como verificado nas rodovias federais do Brasil.

As curvas granulométricas serão calculadas a partir do método teórico de Füller-Talbot, para permitir o preenchimento gradual dos vazios formados pelas partículas de maiores dimensões, estabelecendo um esqueleto mineral com densificação controlada e mais resistente àqueles calculados por métodos de tentativa para enquadramento em faixas limitrofes.

Entretanto, para que se possa atestar a aptidão técnica das misturas asfálticas nos ensaios de módulo complexo e fadiga, que tratam dos níveis fundamentais da metodologia francesa para certificação destes materiais, os quais abastecem as equações de dimensionamento nas simulações numéricas, é necessário que as formulações projetadas sejam submetidas a níveis prévios de avaliação, compreendendo variáveis que perfazem o domínio dos fenômenos de comportamento caótico em situações práticas, ou seja, de imprecisa modelagem matemática, e que, portanto, devem ser estudadas em cada caso, como: habilidade de compactação (AFNOR NF P 98-252, 1999), processos de compactação com controle das pressões de eixos e da calibração de pneus (AFNOR NF P 98-250-2, 1991), resistência à ação contínua da água na interface granular-ligante (AFNOR NF P 98-251-1, 1995), e resistência ao afundamento na trilha de roda sob carga dinâmica (AFNOR NF P 98-252, 1999).



As misturas de concreto asfáltico aprovadas são submetidas aos níveis 3 e 4, denominados fundamentais, que compreendem os ensaios de módulo complexo e de fadiga das misturas de concreto asfáltico.

**Todavia, para a execução dos níveis prévios de avaliação mencionados, necessita-se de aporte financeiro por parte do IPR/DNIT, a fim de que sejam adquiridos os equipamentos capazes de executar os ensaios de Prensa de Compactação por Cisalhamento Giratório (PCG) e compactação de placas, não disponíveis atualmente nas instalações do LDTPav, devido ao grande volume de ensaios previstos na extensa campanha experimental dos testes com as misturas asfálticas, que ocorrerá em conjunto com as instalações do Laboratório de Pavimentação da UFSC/Florianópolis.**

Os resultados provenientes dos testes executados serão compilados e simulados na ferramenta computacional Viscoanalyse ver. Beta, para obtenção dos parâmetros correspondentes ao modelo viscoelástico linear de HUET (1963)-SAYEGH (1965) (Figura 6), os quais serão inseridos na plataforma da ferramenta computacional de cálculo Viscoroute, para fins de simulação do comportamento mecânico das misturas de concreto asfáltico sob solicitação de carregamento dinâmico no campo, em comparação aos resultados obtidos com as Equações de dimensionamento previamente utilizadas no cálculo das deformações admissíveis (GUIDE TECHNIQUE, 1994). Como produto final desta atividade, um relatório técnico será gerado com todos os dados obtidos e respectivas análises para ser encaminhado ao IPR/DNIT.

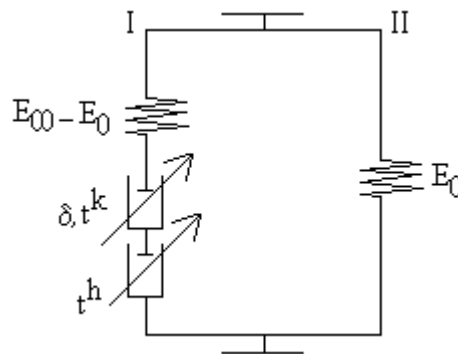


Figura 6 - Modelo de HUET (1963)-SAYEGH (1965).

#### Atividade D – Aplicação da metodologia proposta nas rotinas numéricas de dimensionamento das estruturas de pavimento

Após o cálculo da deformação para  $10^6$  ciclos de solicitação ( $\epsilon_6$ ), e do módulo complexo ( $E^*$ ), correspondente à temperatura crítica reológica determinada no plano Cole-Cole (Figura 4) e, à temperatura equivalente ( $\epsilon_{eq}$ ), é possível calcular a deformação de tração admissível ( $\epsilon_{t,ad}$ ) na fibra inferior das camadas asfálticas para fins de dimensionamento dos pavimentos (GUIDE TECHNIQUE, 1994).

Neste contexto, faz-se necessária uma explicação sobre o conceito de temperatura equivalente ( $\epsilon_{eq}$ ) para fins de dimensionamento das estruturas de pavimento, pois não significa a temperatura ambiente média observada em uma determinada região ou país, mas aquela correspondente ao dano acumulado sofrido pelo pavimento ao longo do ano, para uma dada distribuição de temperatura, sendo igual ao dano que o pavimento sofreria sob a solicitação de um mesmo tráfego, porém, a uma temperatura constante equivalente. Logo, a sua determinação, para uma dada estrutura de pavimento, é dependente de uma série de valores de módulo complexo ( $E^*$ ) e da deformação à fadiga ( $\epsilon_6$ ), determinados em laboratório e compreendendo várias temperaturas, em consonância aos níveis de tráfego previstos para o período de projeto e a distribuição das escalas de temperatura ao longo do ano, monitoradas na própria estrutura no campo.

O tráfego acumulado (NE) ao longo do período de projeto é calculado com base no procedimento de contagem do número de caminhões pesados (veículos com peso bruto total a partir de 50 kN) que irão trafegar inicialmente na rodovia, considerando a sua respectiva taxa de projeção, composição do tráfego (distribuição das configurações e cargas por eixo), natureza da estrutura do pavimento, classe e geometria da rodovia e, no coeficiente de agressividade médio (CAM) de cada configuração de eixo, em relação ao eixo de referência (na França é o eixo simples de rodas duplas com 130kN).

Desta forma, infere-se que para a aplicação correta de um método de dimensionamento, devem ser executados estudos detalhados do comportamento das estruturas de pavimento, compreendendo as condições de solicitação particulares de cada local e, que portem os mesmos materiais previstos nos projetos de dimensionamento, no sentido de confrontar ao longo da vida útil projetada as variáveis especificadas nos itens anteriores, no que tange à verificação das diferenças entre as condições teóricas (dimensionamento) e práticas (na própria estrutura do pavimento no campo) e, com isto, estabelecer os seus respectivos ajustes. Assim, a formação de um banco de dados confiável necessita de longos períodos de pesquisa e monitoramento constante (BARRA et al., 2010).

Por esta razão, há necessidade de se estabelecer classes de plataformas de fundação (PF), com base em determinações de módulos de rigidez a serem atingidos pelos materiais em cada estágio de progressão da estrutura do pavimento, no âmbito das camadas subjacentes às betuminosas, em função da classe de tráfego projetada para cada caso.

Portanto, fica evidente que o processo de colapso por fadiga das misturas asfálticas compreende os seguintes fatores simultâneos: deformação admissível, módulo de rigidez, número de solicitações, temperatura e frequência a que estas solicitações ocorrem.

Por isso, a importância e a razão durante o processo de dimensionamento dos pavimentos, da determinação prévia, em laboratório, da deformação admissível ( $\epsilon_6$ ) que as misturas asfálticas podem suportar, em função de um dado número de solicitações (NE), bem como do módulo (rigidez) complexo medido à temperatura de referência equivalente ou mesmo a crítica determinada nas análises reológicas descritas na atividade B.

Esta condição torna possível, portanto, comparar os valores de deformação de tração ( $\epsilon_t$ ) na fibra inferior das camadas asfálticas obtidos nas simulações dos programas computacionais com os provenientes dos cálculos de deformação admissível nas equações constitutivas do método de dimensionamento, e verificar se para uma dada estrutura de pavimento, na prática, a camada asfáltica é capaz de suportar um determinado carregamento, tal que a deformação de tração gerada na fibra inferior no campo ( $\epsilon_t$ ) seja inferior à deformação de tração admissível calculada com dados da campanha experimental em laboratório, o que garantiria a integridade da estrutura ao longo de sua vida útil.

A seguir, consta o cronograma de execução:



## 4.1 Produtos e Relatórios

Os produtos gerados resultarão do desenvolvimento das atividades descritas neste Plano de Trabalho. Os produtos serão apresentados na forma de relatório e serão entregues ao DNIT em formato digital, respeitando o cronograma físico apresentado, conforme segue:

4.1.1 Produto I: Relatório técnico sobre metodologia de formulação de misturas asfálticas.

- Escopo: Apresentação do arcabouço técnico-científico e seus respectivos critérios sobre como formular e avaliar as misturas asfáltica segundo a metodologia estudada.
- Entrega: Mês 10.

4.1.2 Produto II: Relatório técnico sobre diretrizes para aplicação do método de dimensionamento.

- Escopo: Apresentação do arcabouço técnico-científico e seus respectivos critérios sobre como dimensionar estrutura de pavimento de concreto asfáltico segundo a metodologia estudada.
- Entrega: Mês 34.

4.1.3 Produto III: Relatório técnico sobre os resultados da campanha experimental em laboratório sobre o comportamento viscoelástico dos materiais em concreto asfáltico.

- Escopo: Apresentação e análise dos resultados obtidos durante a campanha experimental de laboratório, abordando os principais impactos nas propriedades dos materiais para utilização no dimensionamento de estruturas de pavimentos asfálticos.
- 1ª Entrega: Mês 31.
- 2ª Entrega: Mês 50.

4.1.4 Produto IV: Relatório técnico sobre a aplicação dos resultados da campanha experimental em rotinas numéricas de simulação do comportamento mecânico das estruturas de pavimento sob solitação dinâmica.

- Escopo: Aplicação dos resultados obtidos na campanha experimental-laboratorial, nas rotinas numéricas de dimensionamento de estruturas de pavimento de concreto asfáltico, juntamente com os demais critérios estabelecidos pela metodologia proposta, a partir de rotinas numéricas de simulação de cenários, compreendendo as ferramentas de cálculo Alizé, Viscoroute e MeDiNa.
- Entrega: Mês 60.

Além dos produtos descritos serão entregues relatórios gerenciais com informações periódicas sucintas para acompanhamento das atividades realizadas a cada quatro meses, que deverão ser encaminhados pela UFSC ao longo do período de vigência deste Termo de Execução Descentralizada (TED).

## 4.2 Transferência de conhecimento

É também escopo deste plano de trabalho a transferência de conhecimento do objeto deste TED para os servidores do DNIT. Neste contexto, serão realizados e organizados Workshops, pelo corpo técnico do TED, conforme previsão apresentada no cronograma físico.

## Referências

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **Mélanges Bitumineux: Méthode d'Essai pour Mélange Hydrocarboné à Chaud - Partie 24: Essai par Flexion à Flèche Constante**: AFNOR NF EN 12697-24. France, 2012. 32p.

- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **Mélanges Bitumineux: Méthode d'Essai pour Mélange Hydrocarboné à Chaud - Partie 26: Module de Rigidité**: AFNOR NF EN 12697-26. France, 2012. 40p.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **Essais Relatifs aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés. Essai de Duriez**: AFNOR NF P 98-251-1. France, 1995.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **Essais Relatifs aux Chaussées: Essai à la presse à cisaillement giratoire PCG**: AFNOR NF P 98-252. France, 1999.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **Essais Relatifs aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 2: Compactage des Plaques**: AFNOR NF P 98-250-2. France, 1991.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: Essai d'Orniérage**: AFNOR NF P 98-253-1. France, 1993.
- ANDRADE, V.D. **Influência da formulação de esqueletos minerais na deformação permanente de misturas de concreto asfáltico densas**. 2018, 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharias e Ciências Mecânicas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharias e Ciências Mecânicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.
- BARRA, B. MOMM, L.; GUERRERO, Y.; AL-QURESHI, H. A.; MIKOWSKI, A.; MICHELS, R. Temperature implications on rheological-mechanical behavior and design of high modulus dense asphalt mix. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 135-144, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.037>
- BARRA, B. S. et al. Diretrizes para a formulação e avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas. **Revista Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv)**, 2010.
- BARRA, B. S. **Avaliação da Ação da Água no Módulo Complexo e na Fadiga de Misturas Asfálticas Densas**. 2009. 327f.. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharias Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BARRA, B. S. **Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas densas utilizando materiais do estado do Pará com o emprego de pó calcário**. 2005. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharias Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- 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 Pavement Design**, v. 11, n. 2, p. 227-250, 2010. DOI: <http://dxdoi.org/10.1080/14680629.2010.9690274>.
- CHAILLEUX, E. Note d'utilisation de l'application logicielle visco-analyse. **Institut Français des Structures et Technologies des Transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)**. França, 2007.
- CHKIR, R.; BODIN, D.; PIJAUDIER-CABOT, G.; GAUTHIER, G.; GALLET, T. An inverse analysis approach to determine fatigue performance of bituminous mixes. **Mechanics of Time-Dependent Materials**, v. 13, n. 4, p. 357, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11043-009-9096-7>.
- DE LA ROCHE, C. **Module de rigidité et comportement en fatigue des enrobés bitumineux: expérimentations et nouvelles perspectives d'analyse**. 1996. Tese (Doutorado) - Châtenay-Malabry, Ecole centrale de Paris. Paris, França.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall**: DNER-ME 043/95. Brasil, 1995.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasil, 2006.

- DOAN, Tu Ho. Les études de fatigue des enrobés bitumineux au LCPC. **Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées**, n. 84, pp. 215-228, 1977.
- DOMEC, Vincent. **Endommagement par fatigue des enrobés bitumineux en condition de trafic simulé et de température**. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade de Bordeaux I, Bordeaux, França.
- EL ABD, A. **Développement d'une méthode de prédiction des déformations de surface des chaussées à assises non traitées**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de Bordeaux I, Bordeaux, França.
- GUIDE TECHNIQUE. Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée: Guide Technique. **Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme**, 1994.
- HECK, J-V. **Modélisation des Déformations Reversibles et Permanentes des Enrobés Bitumineux - Application à l'Orniéragé des Chaussées**. 2001. Tese (Doutorado) - Universidade de Nantes, France.
- HUET, C. **Étude par une Méthode d'Impédance du Comportement Viscoélastique des Matériaux Hydrocarbonés**. 1963. Tese (Doutorado) - Faculté des Sciences de l'Université de Paris, França.
- KUTAY, M. Emin; GIBSON, Nelson H.; YOUTCHEFF, Jack. Conventional and viscoelastic continuum damage (VECD)-based fatigue analysis of polymer modified asphalt pavements (with discussion). **Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists**, ISSN: 0270-2932, pp. 395-434, v. 7, pp. 395-434, 2008.
- MANUEL LPC. Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés. **Groupe de Travail RST "Formulation des enrobés": Laboratoire Central des Ponts et Chaussées**. Paris, France, 2007. 199p.
- MAUDUIT, C.; HORNYCH, P.; BALAY, J-M; BODIN, D.; DUVAL, R. Evaluation of the Concept of Equivalent Temperature for Pavement Design. In: THE PROCEEDINGS OF THE 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS. **International Society for Asphalt Pavements**. Nagoya, Japan. 2010.
- MOMM, L. **Estudo dos Efeitos da Granulometria Sobre a Macrotextura Superficial do Concreto Asfáltico e Seu Comportamento Mecânico**. 1998. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo.
- MOUTIER, F. Etude Statistique de l'Effet de la Composition des Enrobés Bitumineux sur leur Comportement em Fatigue et leur Module Complex. **Bulletin de liaisons des Laboratoires des Ponts et Chaussées**, n. 172, 1991, pp.33-41.
- NASCIMENTO, L. A. **Implementation and Validation of the Viscoelastic Continuum Damage Theory for Asphalt Mixture and Pavement Analysis in Brazil**. 2015. Tese (Doutorado) - Graduate Faculty of North Carolina State University. Raleigh, North Carolina, USA.
- PERRET, J. **Déformations des Couches Bitumineuses au Passage d'une Charge de Trafic**. 2003. Tese (Doutorado) - École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.
- QUINTERO, C. F. Q., MOMM, L., LEITE, L. F. M., & BERNUCCI, L. L. B. (2016), Effect of Asphalt Binder Hardness and Temperature on Fatigue Life and Complex Modulus of Hot Mixes. **Construction & Building Materials Journal**, Vol. 114, pp. 755–762. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.03.161.
- RIVIÈRE, N. **Comportement en Fatigue des Enrobés Bitumineux**. 1996. Tese (Doutorado) - Université de Bordeaux I, Bordeaux, França.
- RUDENSKY, A. V. Asphalt Concrete Fatigue Properties. In: PROCEEDINGS OF THE 5TH INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM. **Mechanical Tests for Bituminous Materials (MBTM): Recent Improvements and Future Prospects**. Lyon, France. 1997.
- SAYEGH, G. **Contribution à l'Étude des Propriétés Viscoélastiques des Bitumes Purs et des Bétons Bitumineux**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculté des Sciences de Paris. Paris, França, 1965.

## 5. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO PARA CELEBRAÇÃO DO TED:

Este plano de trabalho objetiva apresentar ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a ação, os produtos e as principais atividades pertinentes ao desenvolvimento de estudos e pesquisas para suporte à área de planejamento e pesquisas rodoviárias, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) e do Laboratório de Desenvolvimento e Técnicas em Pavimentação (LDTPav).

A compatibilidade das competências do IPR com as pesquisas e as atividades desenvolvidas, bem como a sua abrangência e importância para o desenvolvimento do país, justifica o interesse da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) e do Laboratório de Desenvolvimento e Técnicas em Pavimentação (LDTPav), na realização deste projeto.

Considera-se a realização das atividades desse plano de trabalho uma oportunidade ímpar de contribuir estrategicamente com o setor rodoviário do Brasil, haja vista que a relevância dos estudos em pavimentação têm se intensificado no país, inclusive com a iminência da divulgação do novo método de dimensionamento nacional (MeDiNa), no que tange aos desafios que decorrem desta ação.

O presente plano de trabalho é relativo ao domínio dos estudos e pesquisas rodoviárias em pavimentos, incluindo a análise do comportamento dos materiais de pavimentos e o seu dimensionamento.

Como resultado do conjunto de ações propostas, ter-se-á como produto final um protocolo técnico para Formulação de Misturas Asfálticas e para o Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários, respeitando a legislação em vigor, porém, considerando adaptações de princípios técnicos racionais para a realidade nacional, ainda não considerados em trabalhos desenvolvidos na Rede Temática de Asfalto (RTA), como a viscoelasticidade linear das misturas asfálticas em estruturas de pavimento solicitados sob a forma dinâmica.

Atualmente, os pavimentos da rede nacional, gerida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) representam mais de 65.000 km (Plano Nacional de Viação – PNV, 2016) em todo o território e são, ainda, dimensionados seguindo um modelo empírico (método CBR, com equivalência de cargas pelos eixos padrões ESAL, sem considerar os aspectos relativos ao módulo de rigidez, ao afundamento de trilhas de rodas e à fadiga dos materiais do pavimento) que se encontram obsoletos (anos 60), em face ao crescimento das cargas e das solicitações de toda natureza (notadamente climáticas) e ao desenvolvimento de métodos e ferramentas de estudos dos materiais e dos modelos racionais e estatísticos. O DNIT tem financiado projetos nacionais por intermédio de laboratórios de Universidades Federais e da PETROBRÁS.

Um dos projetos culminou com o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo de dimensionamento de pavimentos, denominado MeDiNa, para realizar projetos de pavimentos considerando a evolução de desempenho nas soluções de dimensionamento dos pavimentos betuminosos. Pesquisas realizadas na UFSC, no domínio das infraestruturas de transportes, vêm sendo conduzidas, em parceria com o DNIT, por dois laboratórios: de uma parte, o Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) reconhecido por seus trabalhos científicos e técnicos sobre pesagem em movimento e sobre a influência das cargas dinâmicas nos pavimentos, e de outra parte, o Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação (LDTPav), onde atua o Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação (GDPPav), baseado em Joinville, reconhecido por seus trabalhos de pesquisa sobre os desempenhos e os comportamentos reológicos e mecânicos dos materiais betuminosos dos pavimentos. Esses laboratórios possuem estreita colaboração com *Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux* (IFSTTAR), da França, atualmente *Université Gustave Eiffel* (UGE), considerado um dos ambientes mais avançados do mundo em pesquisas de vanguarda científica na área de pavimentação, versando principalmente sobre as temáticas de dano nos materiais dos pavimentos e sua respectiva formulação.

Os estudos sobre o dimensionamento dos pavimentos necessitam ter em conta a agressividade do tráfego pesado por configuração real de eixo e não por considerações irreais de equivalência e, então, dispor dos dados estatísticos globais nas principais rodovias nacionais. As comparações entre os países, as práticas e, sobretudo, os cálculos dos coeficientes de agressividade médios, conforme os materiais e as estruturas, são indispensáveis para avaliar os efeitos ponderados. As plataformas de fundação que suportam as estruturas dos pavimentos devem ser concebidas tomando em conta as condições críticas de sensibilidade à ação da água dos materiais, bem como dos aspectos geológicos, mineralógicos e morfológicos de origem, seja em condições naturais ou recicladas, a fim de que sejam projetadas para suportar a superposição das cargas que se propagam na estrutura do pavimento, sem que apresentem deformações além de suas condições admissíveis verificadas previamente em laboratório no domínio dinâmico durante todo o período de vida útil para o qual foram projetadas.

De igual forma, os materiais que compõem as estruturas de pavimento devem ser testados a partir de técnicas e testes laboratoriais que abrangem modelos de comportamentos físicos e matemáticos capazes de simular e descrever as condições mais próximas possíveis do que se observa em campo, a fim de que garanta credibilidade aos resultados obtidos. Do contrário, quaisquer técnicas ou modelos propostos são dissociados das condições reais em que as estruturas estarão sujeitas na prática, perdendo o sentido de sua aplicação.

Para tanto, fazem-se necessários investimentos por parte do IPR/DNIT, a fim de viabilizar a aquisição de equipamentos de ponta tecnológica para os parques experimentais (laboratórios), bem como de suporte às equipes técnicas – neste caso, a UFSC via LabTrans e LDTPav – a fim de que possam ser agentes ativos e capazes de colaborar diretamente com o fornecimento de subsídios técnicos de qualidade nas ações de tomadas de decisão final.

O DNIT iniciou um projeto nacional sobre o dimensionamento dos pavimentos rodoviários para a rede viária do país, que levou em conta os fatores relacionados ao comportamento mecânico e estatístico dos materiais no ambiente do pavimento.

Entretanto, as perspectivas previstas para este presente Plano de Trabalho abrangem, para a UFSC como proponente, os pontos seguintes:

- (i) desenvolver, organizar e aplicar um protocolo técnico para concepção de estruturas de pavimentos novos para o Brasil, tendo em conta as características das plataformas de fundação, o tráfego, o clima, a região, a partir de comparações da ferramenta computacional de cálculo MeDiNa com as já existentes e utilizadas pela metodologia francesa, validadas cientificamente, calibradas em relação ao campo e adaptáveis às condições de dimensionamento brasileiras, podendo-se citar Alizé e Viscoroute;
- (ii) definir composições de estruturas de pavimentos de concreto asfáltico, compreendendo critérios para a utilização de misturas asfálticas, a partir do desenvolvimento de um protocolo metodológico de formulação;
- (iii) definir as temperaturas críticas representativas do comportamento viscoelástico dos materiais betuminosos na estrutura a serem tomadas em conta nas equações constitutivas do protocolo de dimensionamento proposto quanto ao modo de solicitação frequencial;
- (iv) desenvolver documentos/relatórios periódicos sobre as atividades executadas, bem como em relação aos produtos vinculados a cada atividade proposta.

Para o DNIT/IPR, as contribuições se valem nas seguintes perspectivas:

- (i) Obtenção de todo o acervo técnico produzido pela equipe de trabalho do projeto, entregue na forma de produtos, contendo as informações necessárias para a utilização pelo Órgão na implantação, comparação, ou melhoria das técnicas de formulação de misturas asfálticas e do dimensionamento de



pavimentos de concreto asfáltico, contribuindo diretamente no apoio técnico-consultivo ao DNIT para a tomada de decisões estratégicas, enquanto gestor da malha viária nacional;

(ii) Promoção de formação de recursos humanos, a partir de treinamento de pessoal do DNIT quanto à difusão de conhecimento sobre o escopo e à aplicação dos produtos técnicos produzidos;

(iii) Promoção de eventos técnico-científicos na sede de execução do projeto (UFSC), para difusão dos resultados e conhecimentos obtidos na pesquisa com a divulgação destacada do apoio do DNIT para a sua realização;

(iv) Publicação de produção científica em eventos técnicos e periódicos especializados com elevado fator de impacto dos resultados obtidos, com a divulgação destacada do apoio do DNIT para a sua realização.

O LabTrans será responsável, juntamente com o LDTPav via GDPPav, por organizar os estudos e os trabalhos necessários, incluindo os custos das ações de difusão e transferência do conhecimento ao corpo técnico do DNIT. As ações referentes à aplicação dos métodos de dimensionamento preveem a realização de análises comparativas entre as ferramentas que comportam apenas modelos de comportamento elástico linear no domínio estático de solicitação dos materiais, como o Alizé e o MeDiNa, em relação àquelas que compreendem modelos que possibilitam avaliações no domínio viscoelástico linear e dinâmico, como o Viscoroute. Este procedimento permitirá avaliar as melhores hipóteses de dimensionamento considerando os diversos cenários prospectados.

Outro aspecto relevante a ser destacado desse Plano de Trabalho é o cunho acadêmico/científico do presente projeto, com potencial de indução, desenvolvimento e acompanhamento de pesquisas nos níveis de graduação e pós-graduação (Mestrado e Doutorado), considerando-se tema de interesse relacionado à área rodoviária. A UFSC tem diversas experiências correlatas ao tema a ser estudado, dispondo de docentes e pesquisadores em seu quadro com vasta atuação na área. Tais atuações são verificadas tanto em trabalhos específicos – acadêmicos, governamentais e empresariais – quanto em pesquisas científicas e publicações. Portanto, a UFSC tem interesse na realização deste projeto, tendo em vista sua compatibilidade com as três dimensões da educação universitária: o ensino, a pesquisa e a extensão, além da abrangência e a importância deste projeto para o desenvolvimento do país.

## 5.1 Benefícios da execução do TED para a Universidade

### 5.1.1 Ensino

No que tange ao ensino, a UFSC estará agregando às atividades acadêmicas, em sala de aula e em outras atividades extraclasse, conhecimento específico oriundo do presente Termo de Execução Descentralizada (TED) junto ao DNIT, em relação à concepção e características dos pavimentos. Dessa forma, diversas disciplinas do curso de Engenharia Civil poderão ser beneficiadas com o presente TED, tais como:

- Projeto Geométrico de Estradas.
- Sistemas de Transportes.
- Engenharia de Tráfego.
- Implantação de Estradas.
- Pavimentação de Estradas.

No âmbito da Pós-Graduação (Mestrado e Doutorado) junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC/UFSC, bem como no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM), diversas disciplinas também poderão agregar novos conhecimentos oriundos das atividades relacionadas ao presente TED, tais como:

- Formulação e Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas.
- Análise do Comportamento Mecânico de Estruturas de Pavimento de Concreto Asfáltico sob Solicitação Dinâmica.

- Aderência Pneu-Pavimento.
- Comportamento dos Materiais Empregados na Pavimentação.
- Dimensionamento de Pavimentos.
- Gerenciamento e Avaliação de Pavimentos.
- Restauração e Conservação de Rodovias.
- Mecânica dos Pavimentos.
- Segurança Viária.
- Gestão de Frotas no Transporte Urbano e Rodoviário.
- Custos Rodoviários.
- Avaliação de Projetos de Transportes.

### 5.1.2 Pesquisa

No processo de consecução dos objetivos propostos neste TED, aspectos de fluxo de tráfego, de corredores logísticos e de pavimentação também deverão ser investigados. Dentro desse contexto, a UFSC disponibilizará professores, técnicos e alunos para as atividades de pesquisa associadas à execução do presente projeto. Os pesquisadores terão disponíveis os laboratórios LabTrans e LDTPav como infraestrutura básica para a realização das atividades propostas, as quais poderão resultar em temas de dissertações de Mestrado e teses de Doutorado, ou ainda em artigos a serem publicados em revistas científicas e/ou especializadas, como também apresentados em congressos, seminários, entre outros. Cabe salientar que em todos os casos de publicações de dados e informações oriundas deste TED, estas somente poderão ocorrer com a devida anuência entre as partes conveniadas, e com agradecimentos mencionados ao suporte financeiro concedido pelo IPR/DNIT.

Dessa forma, o presente TED também contribuirá significativamente com as pesquisas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas – Pós-ECM, em nível de Mestrado e Doutorado, notadamente em sua Área de Concentração de Infraestrutura e Gerência Viária e de Materiais, respectivamente. Salienta-se, ainda, que o PPGEC é conceituado em nível 5 pela CAPES, enquanto o Pós-ECM por ser um Programa recente, criado em 2015, possui atualmente nível 3, porém, já com indicação para 4, conforme última avaliação quadrienal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES).

### 5.1.3 Extensão

Ainda que este plano de trabalho tenha escopo de atuação voltado para a vertente de pesquisa, cabe destacar a importância deste TED para a UFSC no âmbito dos contatos e das relações por ele proporcionados junto ao meio externo. Tal aspecto é extremamente relevante para manter professores, pesquisadores e alunos plenamente integrados da realidade, das necessidades e das dificuldades que circundam a prática cotidiana e, mesmo de buscar soluções para a melhoria da qualidade de vida da sociedade, a qual utiliza os pavimentos todos os dias para as suas ações de ir e vir. Tais atividades estarão preparando melhor os alunos da UFSC para o mercado de trabalho. Logo, este aspecto não está relacionado com qualquer atividade diretamente realizada neste plano de trabalho, mas, com as experiências a serem adquiridas pela equipe no seu transcurso, e que enriquecem as iniciativas de parceria entre as instituições e delas com a sociedade.

## 6. SUBDESCENTRALIZAÇÃO

A Unidade Descentralizadora autoriza a subdescentralização para outro órgão ou entidade da administração pública federal?

( ) Sim

( X ) Não

## 7. FORMAS POSSÍVEIS DE EXECUÇÃO DOS CRÉDITOS ORÇAMENTÁRIOS:

A forma de execução dos créditos orçamentários descentralizados poderá ser:

( ) Direta, por meio da utilização capacidade organizacional da Unidade Descentralizada.

( ) Contratação de particulares, observadas as normas para contratos da administração pública.

( X ) Descentralizada, por meio da celebração de convênios, acordos, ajustes ou outros instrumentos congêneres, com entes federativos, entidades privadas sem fins lucrativos, organismos internacionais ou fundações de apoio regidas pela Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994.

## 8. CUSTOS INDIRETOS (ART. 8, §2º)

A Unidade Descentralizadora autoriza a realização de despesas com custos operacionais necessários à consecução do objeto do TED?

( X ) Sim

( ) Não

O pagamento será destinado aos seguintes custos indiretos, até o limite de 20% do valor global pactuado:

1) Custos indiretos destinados para UFSC 10%: Resolução Normativa N° 47/CUn/2014, de 16 de dezembro de 2014, conforme detalhamento a seguir:

- 4 % (quatro por cento), destinados ao fundo de desenvolvimento institucional a ser criado e regulamentado em resolução específica, para ser aplicado na melhoria da infraestrutura institucional;
- 2 % (dois por cento) destinados ao(s) departamento(s) de ensino envolvido ou, na sua falta, à unidade universitária de origem do projeto;
- 1 % (um por cento) destinado à unidade universitária de origem do projeto;
- 3 % (três por cento) serão destinados ao Programa de Apoio às Atividades de Pesquisa (PAAP), gerenciado pela Pró-Reitoria de Pesquisa, para incrementar, dar suporte e divulgar as atividades de pesquisa na UFSC, a ser criado e regulamentado por resolução específica.

2) Custos indiretos destinados para Fundação de apoio 6,38%: - Ressarcimento de Custos Operacionais e Administrativo – REDOA (Anexo III).

## 9. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

ATIVIDADES	DESCRIÇÃO	Unidade de Medida	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total	Início	Fim
Atividade A	Compra de equipamentos e ações de adaptação dos laboratórios	Meses	9	R\$ 261.636,88	R\$ 2.354.731,96	1	9

Atividade B	Estudo do comportamento reológico e mecânico em misturas de concreto asfáltico	Meses	33	R\$ 28.661,67	R\$ 945.835,19	1	33
Atividade C	Avaliação de parâmetros influentes na formulação de misturas asfálticas e no dimensionamento de pavimento de concreto asfáltico	Meses	40	R\$ 31.476,15	R\$ 1.259.046,03	10	49
Atividade D	Aplicação da metodologia proposta nas rotinas numéricas de dimensionamento das estruturas de pavimento	Meses	21	R\$ 41.167,57	R\$ 864.518,98	40	60


#### 10. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

MÊS/ANO	VALOR
Até 10 dias após Publicação do TED no Diário Oficial da União	3.450.000,00
Até 12 meses após início do TED	550.000,00
Até 24 meses após início do TED	525.000,00
Até 36 meses após início do TED	525.000,00
Até 48 meses após início do TED	374.132,16

#### 11. PLANO DE APLICAÇÃO CONSOLIDADO – PAD

CÓDIGO DA NATUREZA DA DESPESA	CUSTO INDIRETO	VALOR PREVISTO
33.90.39	SIM	R\$ 5.424.132,16

#### 12. PROPOSIÇÃO

Local e data	 <p>Documento assinado digitalmente  UBALDO CESAR BALTHAZAR  Data: 08/04/2021 11:15:14-0300  CPF: 169.288.149-34  Verifique as assinaturas em <a href="https://v.ufsc.br">https://v.ufsc.br</a></p> <p style="text-align: center;"><b>Ubaldo Cesar Balthazar</b>  Reitor  Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)</p>
--------------	--

### 13. APROVAÇÃO

Local e data

**Rogério Calazans Verly**  
Coordenador-Geral do Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR  
Diretoria de Planejamento e Pesquisa - (DPP/DNIT)

## **ANEXO I – EQUIPE TÉCNICA**

Como a presente proposta abrange um conjunto complexo de ações técnicas, operacionais e administrativas, tem-se a necessidade da constituição de uma equipe de trabalho para que os objetivos traçados sejam alcançados com sucesso. Desta forma, são nominados abaixo os membros constituintes da referida equipe e suas respectivas funções no projeto. Além disso, são inseridos os links dos seus currículos *lattes*.

### **Corpo técnico**

<b>NOME</b>	<b>FUNÇÃO</b>	<b>CURRÍCULO LATTES</b>
Wellington Longuini Repette, Prof. Dr. UFSC	Coordenador do TED e Professor Especialista	<a href="http://lattes.cnpq.br/6714147994303668">http://lattes.cnpq.br/6714147994303668</a>
Gustavo Garcia Otto, Dr. Eng.	Coordenador Técnico e Pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/8792821941822793">http://lattes.cnpq.br/8792821941822793</a>
Breno Salgado Barra, Prof. Dr. UFSC	Professor Especialista	<a href="http://lattes.cnpq.br/2025525990806416">http://lattes.cnpq.br/2025525990806416</a>
Luciana Rohde, Dr <sup>a</sup> . UFSC	Professora Especialista	<a href="http://lattes.cnpq.br/6351073434961233">http://lattes.cnpq.br/6351073434961233</a>
João Victor Staub de Melo, Dr. UFSC	Professor Especialista	<a href="http://lattes.cnpq.br/8247075787676323">http://lattes.cnpq.br/8247075787676323</a>
Yader Alfonso Guerrero Pérez, Prof. Dr. UFSC	Professor Especialista	<a href="http://lattes.cnpq.br/7760597238169813">http://lattes.cnpq.br/7760597238169813</a>


### **Corpo técnico auxiliar (a serem definidos posteriormente):**

- 01 Laboratorista (a ser locado no Departamento e Engenharia Civil da UFSC – Campus Florianópolis)
- 02 Bolsistas de Doutorado
- 02 Bolsistas de Mestrado
- 04 Bolsistas de Graduação.

## ANEXO II – ORÇAMENTO DETALHADO

Equipe Técnica	Qtde	Tabela DNIT - dez/19		Carga Horária Mensal	Valor Mensal	Meses	Vínculo	Encargos	Total (R\$)
		Ref.	Valor (R\$)						
Coordenador do Termo de Cooperação	1	P0	18.073,76	30	2.711,06	60	Bolsa	0,00%	162.663,84
Pesquisador Pleno	1	P1	14.241,44	30	2.136,22	60	CLT	84,04%	235.889,52
Laboratorista	1	T2	3.724,19	100	3.724,19	60	CLT	84,04%	411.239,96
Professor Especialista	4	BP	3.000,00	100	12.000,00	60	Bolsa	0,00%	720.000,00
Bolsista de Doutorado	2	GD	2.200,00	100	4.400,00	48	Bolsa	0,00%	211.200,00
Bolsista de Mestrado	2	GM	1.500,00	100	3.000,00	48	Bolsa	0,00%	144.000,00
Bolsista de Graduação	4	IC	400,00	100	1.600,00	48	Bolsa	0,00%	76.800,00
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>1.961.793,31</b>
<b>Serviços de Terceiros</b>									
	Qtde	Mensal	Meses	Encargos	Total (R\$)				
Manutenção dos Equipamentos (PCG, Compactadora e Deformação permanente,...)	8	13.300,00	1	0,00%	106.400,00				
Calibração dos Equipamentos (Fadiga, Deformação permanente, PCG, Marshal, Reômetro,...)	1	38.000,00	2	0,00%	76.000,00				
Licença (acadêmica) de Software ALIZE-LCPC para análise e dimensionamento de estruturas de pavimento	1	14.700,00	1	0,00%	14.700,00				
Serviços Gráficos	1	50,00	48	0,00%	2.400,00				
Frete marítimo França/Santa Catarina	1	42.000,00	1	0,00%	42.000,00				
Desembarço Aduaneiro (Departamento Importação/UFSC)	1	53.334,00	1	0,00%	53.334,00				
Taxa Fundação Intermediadora da Importação (3% valor global da fatura)	1	55.334,00	1	0,00%	55.334,00				
Energia Elétrica, Internet, Telefonia, Segurança	1	500,00	48	0,00%	24.000,00				
Serviço de coffee break	1	6.000,00	1	0,00%	6.000,00				
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>380.168,00</b>
<b>Passagens e Despesas com Locomoção</b>									
	Qtde/Mês	Meses	Unitário	Encargos	Total (R\$)				
Passagens Aéreas e Terrestres Nacional	2	36	1.800,00	0,00%	129.600,00				
Passagens Aéreas e Terrestres - Internacional	3	2	6.000,00	0,00%	36.000,00				
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>165.600,00</b>
<b>Diárias</b>									
	Qtde/Mês	Meses	Unitário	Encargos	Total (R\$)				
Despesas com hospedagem e alimentação - Nacional	4	36	300,00	0,00%	43.200,00				
Despesas com hospedagem e alimentação - Internacional	16	2	2.100,00	0,00%	67.200,00				
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>110.400,00</b>
<b>Equipamentos</b>									
	Qtde	Valor	Encargos	Total (R\$)					
Máquina ensaio compactação giratória (PCG)	1	848.057,00	0,00%	848.057,00					
Máquina compactadora de placas de misturas de concreto asfáltico	1	847.861,00	0,00%	847.861,00					
Células de carga da máquina de fadiga	1	90.000,00	0,00%	90.000,00					
Extrator hidráulico Marshall	1	2.500,00	0,00%	2.500,00					
Compressor, termômetro, no-break, e células de carga	1	30.000,00	0,00%	30.000,00					
Termopar	20	500,00	0,00%	10.000,00					
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>1.828.418,00</b>
<b>Material de Consumo</b>									
	Mensal	Meses	Encargos	Total (R\$)					
Material para Utilização Gráfica	200,00	48	0,00%	9.600,00					
Material de comunicações	200,00	48	0,00%	9.600,00					
Material de expediente	160,00	48	0,00%	7.680,00					
Componentes de informática	160,00	48	0,00%	7.680,00					
Material de escritório	150,00	48	0,00%	7.200,00					
Material de laboratório	600,00	48	0,00%	28.800,00					
Material de copa e cozinha	190,00	48	0,00%	9.120,00					
Material para manutenção imóveis/instalações	200,00	48	0,00%	9.600,00					
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>89.280,00</b>
<b>Ressarcimento de Custos Operacionais Fundação de Apoio</b>									
	Percentual	Total (R\$)							
Atividades relacionadas com abertura e gestão técnica do projeto	0,35%	19.221,37							
Atividades relacionadas com o procedimentos jurídicos	0,74%	40.372,90							
Atividades relacionadas com os procedimentos de compras	1,37%	74.150,22							
Atividades relacionadas com gestão de recursos humanos	0,89%	48.416,21							
Atividades relacionadas com os procedimentos financeiros	1,39%	75.309,61							
Atividades relacionadas com procedimentos contábeis	1,15%	62.311,04							
Atividades diversas (Ger.Riscos / Compliance, Tramitações/protocolo e arquivamento)	0,48%	26.278,28							
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>346.059,64</b>
<b>Ressarcimento de Custos Operacionais Universidade Federal</b>									
	Percentual	Total (R\$)							
Fundo de Desenvolvimento Institucional	4,00%	216.965,29							
Departamento de Engenharia Civil - ECV	2,00%	108.482,64							
Centro Tecnológico - CTC	1,00%	54.241,32							
Programa de Apoio às Atividades de Pesquisa - PAAP	3,00%	162.723,96							
<b>Total do Item (R\$)</b>									<b>542.413,21</b>
<b>Valor Total (R\$)</b>									<b>5.424.132,16</b>

## ANEXO III – PLANILHA DE CUSTOS DA FUNDAÇÃO DE APOIO

		Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária		
		NAGEFI-Núcleo de Análise Gerencial e Fiscal		
		FAPÉU		
<b>IDENTIFICAÇÃO DE CUSTOS DOS PROJETOS</b>				24/09/2020
<b>Descrição do Projeto</b>				
<b>Nome do projeto:</b>				<b>Número</b>
DNIT/IPR				Ministérios/
<b>Coordenador:</b>				<b>Vlr Base Redoa</b>
	Prazo/Meses	48	5.424.132,16	
<b>Atividades relacionadas com abertura e gestão técnica</b>		<b>Unit.</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total</b>
Contratação:		452,90	8	3.623,23 0,07%
Acompanhamento:		12,10	1289	15.598,14 0,29%
Total dos procedimentos de abertura e gestão do projeto				19.221,37 0,35%
<b>Atividades relacionadas com o procedimentos</b>		<b>Unit.</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total</b>
Procedimentos jurídicos :		2.906,01	3	8.718,03 0,16%
Contratos:		1.862,05	17	31.654,88 0,58%
Total dos procedimentos jurídicos				40.372,90 0,74%
<b>Atividades relacionadas com os procedimentos de compra</b>		<b>Unit.</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total</b>
Dispensa:		3.933,09	2	7.866,17 0,15%
Seleção Pública:		2.087,45	1	2.087,45 0,04%
Importação Educacional:		824,16	0	- 0,00%
Importação de material do consumo e serviços:		1.852,92	0	- 0,00%
Importação de equipamentos:		2.708,20	2	5.416,39 0,10%
Compra de passagens/hospedagens:		88,39	254	22.451,77 0,41%
Compra de materiais:		131,53	192	25.253,00 0,47%
Obras		433,05	0	- 0,00%
Compra de serviços:		247,89	17	4.214,19 0,08%
Compra de equipamentos:		216,53	4	866,11 0,02%
Pós-Compra/almoxarifado		11,89	469	5.575,73 0,10%
Patrimônio:		69,90	6	419,41 0,01%
Total dos procedimentos de compras				74.150,22 1,37%
<b>Atividades relacionadas com gestão de recursos humanos</b>		<b>Unit.</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total</b>
CLT:		117,03	120	14.043,57 0,26%
Bolsa/Estagios:		20,07	684	13.730,25 0,25%
RPA:		56,38	0	- 0,00%
Diárias:		56,25	0	- 0,00%
Admissão:		99,75	2	199,49 0,00%
Demissão:		192,70	2	385,40 0,01%
Gerenciamento de pessoal		24,95	804	20.057,50 0,37%
Deficientes:		-	18	- 0,00%
Total dos procedimento de recursos humanos				48.416,21 0,89%
<b>Atividades relacionadas com os procedimentos</b>		<b>Unit.</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total</b>
Pagamentos:		16,64	1276	21.229,31 0,39%
Reembolso e suprimentos de fundos:		16,64	0	- 0,00%
Recebimentos:		340,00	13	4.419,94 0,08%
Gerenciamento Financeiro:		30,19	1289	38.908,49 0,72%
Pagamentos diretos:		16,64	0	- 0,00%
Tarifas:		54,00	48	2.592,00 0,05%
Conciliação:		170,00	48	8.159,88 0,15%
Total dos procedimentos financeiros				75.309,61 1,39%
<b>Atividades relacionadas com procedimentos contábeis</b>		<b>Unit.</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total</b>
Contabilidade:		17,19	1289	22.160,44 0,41%
Análise Fiscal:		8,83	469	4.140,57 0,08%
Prestação de contas:		27,94	1289	36.010,03 0,66%
Totaldos procedimentos contabeis				62.311,04 1,15%
<b>Atividades Diversas</b>		<b>Unit.</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total</b>
Locação, manut.e logística		849,12	0	- 0,00%
Ger.Riscos / Compliance				20.447,92 0,38%
Eventos Certificados/cobranças:		55,41	0	- 0,00%
Tramitações/protocolo		0,16	5191	810,54 0,01%
Arquivamento:			105,9	5.019,82 0,09%
Total dos procedimentos jurídicos e extraordinários				26.278,28 0,48%
Fundo de reserva				0,00 0,00%
<b>TOTAL REDOA</b>				<b>346.059,64 6,38%</b>
<b>Apoio FAPÉU</b>				<b>0,00%</b>
<b>Inflação</b>				<b>0,00</b>
<b>Arredondamento</b>				<b>0,00</b>
<b>Total dos custos para gerenciamento do projeto</b>				<b>346.059,64 6,38%</b>
<b>ReDOA/mês</b>				<b>7.209,58 0,13%</b>