



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA E CIÊNCIAS MECÂNICAS

SEMESTRE 2020/2

## PLANO DE ENSINO

### I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA

**Código:** ECM 410023

**Nome:** Análise do Comportamento Mecânico de Estruturas de Pavimento de Concreto Asfáltico sob Solicitação Dinâmica

**Carga horária:** 45 horas-aula

**Créditos:** 3

**Professor(es):** Breno Barra, Dr.

**Horários de atendimento:** segunda à sexta, das 10h às 12h e das 14h às 16h, por e-mail ou plataforma de videoconferência, a combinar previamente entre aluno e professor.

### II. PRÉ-REQUISITO(S) SUGERIDO(S)

Ter cursado preferencialmente a disciplina de Tópicos Especiais em Materiais I – Formulação e Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas.

### III. EMENTA

Técnicas de medição das cargas em movimento: piezelétrico quartzo, cerâmico, polímero, deformação em pontes. Técnica de medição da pressão de contato. Medições das deformações no pavimento das cargas em movimento. Análise das deformações em função da velocidade, frequência e temperatura. Leis e funções do comportamento viscoelástico. Funções de Fluência e Relaxação. Modelação reológica do comportamento viscoelástico do concreto asfáltico no domínio frequencial: Huet-Sayegh. Análise semi-analítica do pavimento sob carregamento dinâmico. Aplicação do Método de Elementos Finitos ao estudo do comportamento mecânico das estruturas de pavimento de concreto asfáltico. Manipulação e aplicação de estudos de caso utilizando ferramentas computacionais de cálculo: Alizé, Viscoroute, ORNI, CVCR.

### IV. OBJETIVOS

Capacitar os alunos a exercerem a profissão de engenheiros no que diz respeito ao projeto, construção e avaliação de pavimentos de vias, interpretando a partir da compreensão e interpretação com profundidade científica dos fenômenos físicos, químicos e mecânicos, além dos modelos matemáticos, envolvidos nos procedimentos de dimensionamento das estruturas de pavimento de concreto asfáltico sob solicitação dinâmica, utilizando os conhecimentos acerca da mecânica dos pavimentos. Aplicar os conhecimentos sobre comportamento mecânico e reológico dos materiais utilizados na pavimentação, bem como do estudo de tráfego, em análises numéricas de desempenho das estruturas de pavimento.

## V. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1. Metodologias de pesagem em movimento e medição de pressão de contato
2. Solicitação dinâmica das estruturas de pavimento
3. Aplicação do método de elementos finitos no dimensionamento de pavimentos no domínio frequencial
4. Metodologia Francesa de Dimensionamento
5. Abordagem sobre a Metodologia Americana
6. Simulações numéricas utilizando ferramentas computacionais de cálculo

## VI. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Em razão das restrições de convívio presencial causadas pela pandemia do COVID-19, a disciplina será ministrada excepcionalmente apenas por via remota. O conteúdo programático será desenvolvido através de aulas expositivas para as aulas teóricas, a partir de plataforma de videoconferência. Serão utilizados recursos audiovisuais nas aulas teóricas, com predominância de slides e vídeos. Os conteúdos relacionados às aulas práticas de simulação numérica serão repassados aos alunos a partir de demonstrações realizadas via plataforma remota.

## VII. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A avaliação constará de uma prova final escrita (PFE) a ser avaliada na escala de 0 a 10 pontos, compreendendo 100% da média (M) final:

$$M = PFE$$

## VIII. AVALIAÇÃO FINAL

Para análise da **Frequência e da Avaliação do Aproveitamento Escolar** será empregado o **Capítulo III, do Título IV, da [Resolução N° 95/CUn/2017, de 04 de abril de 2017](#)**, que dispõe sobre a pós-graduação *stricto sensu* na Universidade Federal de Santa Catarina; bem como, o **Capítulo IV da Pós-Graduação, da [Resolução Normativa N° 140/CUn/2020, de 21 de julho de 2020](#)**, que dispõe sobre o redimensionamento em função do isolamento social vinculado à pandemia de COVID-19, e sobre o Calendário Suplementar Excepcional referente ao primeiro semestre de 2020.

## IX. CRONOGRAMA

Data	Conteúdo
30/11/2020	Início do Semestre Letivo
04/12/2020	Apresentação da Disciplina – Plano de Ensino
11/12/2020	Técnicas de Pesagem em Movimento e de Medição da Pressão de Contato
18/12/2020	Técnicas de medição da deformação e análise dos sinais
21/12/2020 a 31/01/2021	Intervalo previsto no calendário suplementar excepcional da UFSC
05/02/2021	Domínio de aplicação da metodologia francesa (parte 1)
12/02/2021	Domínio de aplicação da metodologia francesa (parte 2)
19/02/2021	Parâmetros influentes na dinâmica de cálculo (parte 1)
26/02/2021	Parâmetros influentes na dinâmica de cálculo (parte 2)
05/03/2021	Aplicação da metodologia francesa
12/03/2021	Modelização e análise do comportamento mecânico de uma estrutura de pavimento de concreto asfáltico sob carregamento cíclico (parte 1)
19/03/2021	Modelização e análise do comportamento mecânico de uma estrutura de pavimento de concreto asfáltico sob carregamento cíclico (parte 2)
26/03/2021	Abordagem sobre a metodologia americana
02/04/2021	Simulações numéricas
09/04/2021	Prova escrita Término do semestre

## X. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

<sup>1]</sup> AFNOR-NF-P-98-250-2, (1993), Essais Relatif aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 2: **Compactage des Plaques**, ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, AFNOR.

<sup>2]</sup> AFNOR-NF-P-98-250-3, (1993), Essais Relatif aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 3: **Confection d'Éprouvettes dans un Bloc de Mélange Hydrocarboné**, ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, AFNOR.

<sup>3]</sup> AFNOR-NF-P-98-250-5, (1993), Essais Relatif aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés Partie 5 **Mesure en Laboratoire de la Masse Volumique Apparente d'un Corps au Banc Gammadensimétrique**, ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION - AFNOR.

<sup>4]</sup> AFNOR-NF-P-98-253-1, (1993), Essais Relatif aux Chaussées - Déformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: **Essai d'Orniérage**, ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION AFNOR.

<sup>5]</sup> AFNOR-NF-P-98-260-1, (1993), Essais Relatif aux Chaussées, Mesure des Caractéristiques Rhéologiques des Mélanges Hydrocarbonés - Partie 2 : **Détermination du Module Complexe par Flexion Sinusoïdale**, ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION- AFNOR.

<sup>6]</sup> AFNOR-NF-P-98-261-1, (1993), Essais Relatif aux Chaussées: Détermination de la Résistance en Fatigue des Mélanges Hydrocarbonés - Partie 1: **Essai par Flexion à Flèche Constante**, ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION – AFNOR.

<sup>7]</sup> ALIMANI, MOUSTAPHA, (1987), **Contribution à l'Étude de l'Endommagement par Fatigue des Enrobés Bitumineux**, Tese de Doutorado, l'Université Pierre et Marie CURIE, Paris.

<sup>8]</sup> BAAJ, Hassan, (2002), **Comportement a la Fatigue des Matériaux Granularies Traités aux Liants Hydrocarbonés**, Thèse de Doctorat Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, p 243.

<sup>9]</sup> BAZIN, P.; SAUNIER, J. B., (1967), **Deformability, Fatigue and Healing Propoerties of Asphalt Mixes**, in Proceedings of the Second International Conference om the Structural Design of Asphalt Pavement, Ann Arbor, Michigan.

<sup>10]</sup> BODIN, DIDIER, (2002), **Modèle d'endommagement cyclique: Aplication à la Fatigue des Enrobés Bitumineux**, Thèse de Doctorat, École Doctorale Mécanique Thermique et Génie Civil, p 189.

- <sup>11]</sup> BARRA, Breno Salgado, (2009), **Avaliação da Ação da Água no Módulo Complexo e na Fadiga de Misturas Asfálticas Densas**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, p237
- <sup>12]</sup> BROSSEAUD, Y; DELORME, J-L.; HIERNAUX, R., (1993), **Study of Permanent Deformations in Asphalt with Help of the LCPC Wheel Tracking Rutting Tester: Evaluation and Future Prospects**, in 72<sup>nd</sup> Annual Meeting of Transportations Research Board, USA.
- <sup>13]</sup> BROSSEAUD, Y; HIERNAUX, R, (1997), **Etude de Sensibilité aux Déformations Permanentes des Bétons Bitumineux Européens et Japonais par l'Ornièreur LPC**, in Actes du Cinquième Symposium RILEM, Lyon 97, pp. 309-316.
- <sup>14]</sup> CHAUVIN, J. J., (1990) - **L'Essai de Module Complexe Utilisé pour la Formulation des Enrobés**, in Mechanical Test for bituminous Mixes, Characterization, Design and Quality Control, Proceeding of the Fourth International RILEM Symposium, ed. Chapman and Hall, Londres, pp. 367-381.
- <sup>15]</sup> De La ROCHE, C., (1996), **Module de Rigidité et Comportement en Fatigue des Enrobés Bitumineux, Expérimentations et Nouvelles Perspectives d'Analyse**, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris.
- <sup>16]</sup> DI BENEDETTO, H., (1990), **Nouvelle Approche du Comportement des Enrobés Bitumineux: Résultats Expérimentaux et Formulation Rhéologique**, in Proceedings of the Fourth International RILEM Symposium, Budapest, Ed. Chapman and Hall, pp. 387-401.
- <sup>17]</sup> DI BENEDETTO, H.; SOLTANI, A.; CHAVEROT, P., (1996), **A Rational Approach for Fatigue Damage**, in 1<sup>st</sup> European Eurobitume And Euroasphalt Congress, Strasbourg.
- <sup>18]</sup> DOAN, T. H., (1970), **Contribution à l'Etude du Comportement à la Fatigue des Bétons Bitumineux**, Thèse de Docteur-Ingénieur, Faculté des Sciences de Paris.
- <sup>19]</sup> DOAN, T.H., (1977), **Les Etudes de Fatigue des Enrobés Bitumineux au LCPC**, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° Spécial V, pp 215-228.
- <sup>20]</sup> DOMEQ, Vincent. (2005), **Endommagement par Fatigue des Enrobés Bitumineux en Condition de Trafic Simulé et de température**, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, p. 277.
- <sup>21]</sup> DONGMO-ENGELAND, B.-J., (2005), **Caractérisation des Déformations d'Orniérage des Chaussées Bitumineuses**, Thèse Doctorat Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, p.263.
- <sup>22]</sup> DOUBBANEH, E. (1995), **Comportement Mécanique des Enrobés bitumineux des Petites aux Grandes Déformations**, Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- <sup>23]</sup> FRANCKEN, L. ; VANELSTRAETE, A., (1997), **Complex Moduli of Bituminous Materials: A Rational Method for the Interpretation of Test Results**, in Proceedings of The International RILEM Symposium MTBM Lyon 97: Mechanical Test for Bituminous Materials - Recent Improvements and Future Prospects, A. A. Balkema, pp. 217-224.
- <sup>24]</sup> FRANCKEN, L.; (1977), **Module Complexe des Mélanges Bitumineux**, in Bulletin de Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, n° Spécial V, pp. 181-198.
- <sup>25]</sup> FRANCKEN, L; VANELSTRAETE, A; (1996), **Complex Moduli of Bituminous Binder and Mixtures - Interpretation and Evaluation**, Euroasphalt & Eurobitume Congress 1996, n E&E 4.047, Strasbourg, Fr.
- <sup>26]</sup> GODDARD, R.; POWELL, W. D., (1977), **Résistance à la Fatigue des Enrobés Denses – Influence des Facteurs –Formulation et Température**, in Bulletin de Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, Spécial V, LCPC.
- <sup>27]</sup> GRINAUX, J.-P.; HIERNAUX, R., (1977), **Utilisation de l'Ornièreur Type LPC**, in Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Special V, LCPC.
- <sup>28]</sup> HUBER, G. A.; SHULER, T. S.; (1992), **Providing Sufficient Void Space for Asphalt Cement: Relationship of Mineral Aggregate Voids and Aggregate Gradation**, in Effects of Aggregates and Mineral Filler on Asphalt Mixture Performance, Richard C. Meininger, editor, ASTM - STP 1147, pp. 225-251.
- <sup>29]</sup> LACHIHAB, Adel, (2004), **Un Modèle Numérique pour les Composites Biphases matrice – inclusions rigides : Applications à la Déterminations des Propriétés élastiques et en Fatigue des Enrobés Bitumineux**, Thèse de Doctorat École National des Ponts et Chaussées, p 204.
- <sup>30]</sup> MALLAIRD, Samuel, (2005), **Fissuration et Autoreparations des Liants Bitumineux**, Thèse de Doctorat Universités de Nantes, 223.
- <sup>31]</sup> MARSAC, P., (1992), **L'Essai de Module Complexe au L.C.P.C.**, Apostila da Section Matériaux des Chaussées, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées , Nantes, pp. 20.

- <sup>32]</sup> MOMM, LETO, (1998), **Estudo dos Efeitos da Granulometria sobre a Macrot textura Superficial do Concreto Asfáltico e seu Comportamento Mecânico**, Tese de Doutorado, EPUSP.
- <sup>33]</sup> MORICEAU, L., (1994), **Etude de Comportement à la Fatigue des Bétons Bitumineux**, Rapport de Travail de Fin d'Etudes, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.
- <sup>34]</sup> MOUTIER, F., (1991), **Etude Statistique de l'Effet de la Composition des Enrobés Bitumineux sur leus Comportement en Fatigue et leur Module Complexe**, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 172, pp. 33-41.
- <sup>35]</sup> MOUTIER, F.; (1992), **Utilisation de la Presse à Cisaillement Giratoire et de l'Orniéreur dans la Méthode Française de la Formulation des Enrobés**, Proceedings of the 5<sup>th</sup> Eurobitume Congress – Stockholm, Vol. IB, pp. 546-554.
- <sup>36]</sup> OLARD, François, (2003) **Comportement Thermo mécanique des Enrobés Bitumineux à Basses Températures**, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, p 228.
- <sup>37]</sup> PERRET, Jacques, (2003), **Déformations des Couches Bitumineuses au Passage d'une Charge de Trafic**, Thèse de Doctorat École Polytechnique Fédéral de Lausene, Suice, p 223.
- <sup>38]</sup> PINZON, E. A. C., (2004), **Contribution des Méthodes non Destructives a l'Evaluation de l'Effet de l'Eau sur les Enrobés Bitumineux**, Thèse de Doctorat Universités de Nantes, p. 116.
- <sup>39]</sup> SIMONI, Jean-Michel, (2005), **Contribution à l'Étude de l'Auscultation des Chausseés par Méthod d'Impact Mécanique pour la Détention et la Caracterisation des Défauts d'Interface**, Thèse Doctorat Institut National des Sciences Appl'quées, Bouguenais, Fr, p 150.
- <sup>40]</sup> SOLIMAN, S., (1976), **Influence des Paramètres de Formulation sur le Comportement à la Fatigue d'un Enrobé Bitumineux**, Rapport de Recherche des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 58.
- <sup>41]</sup> SOLIMAN, S.; DOAN, T. H., (1977), **Influence des Paramètres de Formulation sur le Module et la Resistance à la Fatigue de s Graves-Bitume**, in Bulletin de Liaison des Laboratoires Central des Ponts et Chaussées, N° Special V, pp. 229-246.
- <sup>42]</sup> SOLTANI, M. A. A., (1993), **Comportement à la Fatigue des Enrobés Bitumineux**, Rapport de Travail de Fin d'Etudes, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.
- <sup>43]</sup> UGE, P.; GEST, G.; GRAVOIS, A.; et BONNAURE, F., (1977), **Nouvelle Méthode de Calcul du Module Complexe des Mélanges Bitumineux**, in Bulletin de Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, n° Spécial V, dez/77, pp. 199-213.
- <sup>44]</sup> WILLIAM, M. L.; LANDEL, R. T.; FERRY, J. D., (1955), **The Temperature Dependence of Relaxation Mechanisms in Amorphous Polymers and other Glass-Forming Liquids**, in Journal of American Chemistry Society, n° 20, USA.
- <sup>45]</sup> QUINTERO, C. F. Q. (2016), **Influência da Temperatura e da Consistência do Ligante na Fadiga e no Módulo Complexo de Misturas Asfálticas**. Tese de doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina. SC.

## XII. OBSERVAÇÕES

O cronograma está sujeito a alterações.

Bibliografia alternativa (se houver): todas as bibliografias da disciplina são destinadas aos alunos em diretório de armazenagem do Dropbox, a partir de link para acesso fornecido no primeiro dia de aula.

Atualizado em: 20/11/2020