

6 Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

Os métodos simplificados de análise da distribuição transversal das solicitações em pontes têm uma grande importância na elaboração de projetos estruturais. Atualmente algumas mudanças estão ocorrendo nessa realidade, pois a tecnologia e a informática trouxeram a possibilidade do uso de poderosos programas computacionais que utilizam métodos mais completos, ou até mesmo os próprios métodos simplificados para agilizar o processo, reduzindo o tempo gasto em um projeto.

Como em toda inovação os benefícios trazidos por esses programas são inúmeros, desde incluir fatores que aumentam a velocidade da execução de projetos estruturais até a inserção da possibilidade de projetos mais complexos que seriam muito difíceis, ou até mesmo impossíveis de serem executados sem a utilização dessas novas tecnologias. Porém, junto com os benefícios, existem restrições importantes a serem consideradas. A primeira delas é que é necessário um alto investimento financeiro para adquirir os programas comerciais mais usuais e confiáveis no mercado. Em seguida, dando como exemplo programas que fazem análises por meio do MEF, a exigência do conhecimento em elementos finitos e métodos de modelagem entre outros, também é uma necessidade para o engenheiro projetista. Por esses e diversos outros motivos, ainda existe a necessidade do uso e melhorias de métodos simplificados, e este trabalho teve como objetivo sugerir e validar uma alternativa racional e simplificada de análise da distribuição transversal de solicitações em pontes de vigas, que não exigisse complexidades desnecessárias e altos investimentos financeiros, e que ao mesmo tempo fornecesse resultados seguros para todas as situações, além de estudar a influência de algumas das variáveis mais importantes para esse tipo de projeto

As normas brasileiras referentes a projetos de pontes necessitam modificações maiores que englobam novas cargas móveis, definidas a partir de estudos re-

alizados no tráfego real brasileiro e a especificação de um ou mais métodos de análise da distribuição transversal de solicitações para o uso em projetos de pontes de vigas.

Em seguida, ao se analisar diversos trabalhos, conclui-se que as transversinas, principalmente as intermediárias são consideradas cada vez menos necessárias. Devido à dificuldade de sua execução, a tendência atual é reduzir a sua quantidade ou até mesmo a retirar definitivamente dos projetos. Essa tendência foi um dos motivos que levou os testes dos métodos simplificados a serem realizados sem a consideração das transversinas.

Em relação ao estudo dos métodos de modelagem de pontes, concluiu-se que independentemente dos tipos de elementos utilizados para representar os elementos da estrutura, a discretização das malhas e dos nós é muito importante. Para os casos estudados uma discretização da malha de 50 cm já se mostrou suficiente para que os modelos conseguissem representar bem o comportamento de uma ponte. Obviamente o melhor modelo é o que utiliza menor memória computacional, o que é mais simples de ser executado e o que apresenta os resultados da forma mais direta possível. Considerando-se a necessidade deste trabalho, que é a modelagem de superestruturas de pontes, o melhor elemento para a modelagem das vigas é o de viga e para a modelagem das lajes é o de casca.

Foi também realizado neste trabalho o estudo das características das pontes encontradas na malha viária federal brasileira. A primeira e mais importante conclusão obtida é que o Brasil não tem um sistema de gestão de pontes que reúna de forma acessível e confiável as informações sobre as pontes brasileiras. Assim, é muito complicado definir um panorama da situação existente e projetar às tendências futuras. Apesar da dificuldade, com as informações encontradas na literatura foi possível tirar outras conclusões, como o que a maioria das pontes no Brasil são de vigas de concreto, ultrapassando os 90% do total, e que quase 80% delas têm largura inferior a 12 m, consideradas estreitas pelo padrão atual.

Durante o processo de validação do modelo de elementos finitos foram testadas duas pontes reais que receberam testes de cargas. Uma delas construída em escala real especificamente para o teste em laboratório era relativamente nova, com poucos meses de construção quando foi testada. A outra, antiga, já tinha quase 30 anos de idade na época em que foi testada. O fato de terem sido analisadas pontes com idades tão diferentes foi positivo, pois apresentou um resultado que

não é considerado atualmente nos projetos de pontes, que é a deterioração dos apoios quando não são realizadas manutenções e vistorias regularmente. Na ponte mais nova foi possível determinar os deslocamentos na análise por elementos finitos com boa precisão, pois os apoios ainda estavam em ótimo estado de conservação. Já para a ponte mais antiga as restrições nos apoios causadas pela deterioração causaram erros na determinação das deformações específicas na análise por elementos finitos. Foi necessário definir molas nos apoios com uma determinada rigidez para que o comportamento da ponte analisada fosse bem representado. Esse resultado é importante para chamar a atenção dos órgãos responsáveis, para garantir uma manutenção regular das pontes, e dos engenheiros para considerarem de alguma forma essas restrições em seus projetos.

Em relação ao processo de validação do método da AASHTO LRFD, dentre os três métodos simplificados analisados, ele foi o único que forneceu apenas resultados favoráveis à segurança em todas as comparações de momentos e forças cortantes nas pontes com vigas de concreto e metálicas, e nas comparações de deslocamentos nas pontes de vigas de concreto. Porém para alguns casos específicos do Grupo 1 os métodos simplificados não se aplicam, já que os resultados encontrados foram ultraconservadores. Nenhum dos métodos simplificados foi capaz de determinar os deslocamentos máximos em pontes de vigas metálicas de forma eficaz, apesar de ter bons resultados para algumas pontes com vãos intermediários, entre 28 e 40 m. Para pontes com vãos menores os resultados encontrados foram muito maiores do que os deslocamentos encontrados nas análises por elementos finitos e para as pontes com vãos maiores os resultados encontrados foram até 26% menores.

Os outros dois métodos simplificados apresentaram alguns resultados contra a segurança em comparação das forças cortantes com os encontrados nas análises por elementos finitos. Para alguns modelos de pontes com vigas metálicas o MVM forneceu resultados até 8% menores, e o EC forneceu resultados até 16% menores em alguns casos. Para os modelos de pontes com vigas de concreto essas diferenças chegaram a 4% e 15%, respectivamente.

Uma outra conclusão importante é que de forma geral os resultados apresentados pelos três métodos se destoaram muito quando os modelos apresentados tinham vãos menores, de 10 e 20 m. Fato esse que se acentuou na determinação dos

deslocamentos das pontes com vigas metálicas, porém, não foi possível determinar com precisão a causa dessas distorções.

Portanto o objetivo inicial do trabalho foi atingido, o método da AASHTO LRFD se mostrou perfeitamente capaz, dentro das limitações expostas ao longo do trabalho, de determinar as solicitações de momento fletor e força cortante em pontes de vigas, tanto de concreto quanto metálicas. Também determina muito bem os deslocamentos máximos em pontes com vigas de concreto, porém, assim como os outros métodos, tem problemas para determinar os deslocamentos máximos em pontes com vigas metálicas. Então conclui-se que a nova norma “Projeto de Pontes e Viadutos Rodoviárias de Aço e Mistas Aço e Concreto” que está sendo desenvolvida atualmente, considere os resultados encontrados para definir alguns pontos que precisam ser aperfeiçoados ou a inclusão de certos limites de aplicabilidade.

Os métodos de EC e MVM também conseguem determinar os momentos fletores em pontes de vigas de concreto e metálicas, além dos deslocamentos em pontes de vigas de concreto. Porém é necessário tomar cuidados ao utilizá-los para a determinação das forças cortantes, que podem fornecer alguns resultados que vão de encontro à segurança das pontes. Apesar da exigência do uso de transversinas pelo método de EC, foi provado que mesmo em uma situação onde não existem transversinas para colaborar com a distribuição das solicitações e com o aumento da rigidez do tabuleiro, os resultados apresentados foram satisfatórios.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Primeiramente, como a NBR 7188 (2013) não tem o objetivo de representar de maneira fidedigna a situação de tráfego real encontrada nas rodovias brasileiras com suas cargas móveis, considera-se relevante a realização de estudos que determinassem, por meio de análises estatísticas, cargas móveis e situações de carregamento que realmente se aproximassem das situações existentes.

Um outro ponto que chamou atenção ao longo da realização deste trabalho é a falta de informações sobre a maioria das pontes brasileiras, desde informações básicas como a idade de construção e sistemas estruturais, até informações mais importantes como estado de conservação atual da estrutura e o tipo de carregamento para o qual elas foram projetadas. Assim, recomenda-se a realização de es-

tudos que colaborem para a criação de um sistema eficiente de gestão de pontes, abrangendo pesquisas de campos para a determinação de várias informações não catalogadas atualmente.

É sugerido também uma análise aprofundada sobre as restrições existentes em apoios deteriorados de pontes antigas, devido à falta de inspeções e manutenções regulares. Como relatado neste trabalho, essa situação pode trazer alterações significantes no modelo estrutural de uma ponte.

Como foi concluído que o método de EC apresentou resultados satisfatórios e seguros mesmo sem o uso de transversinas, sugere-se que os limites de aplicabilidade impostos pelo método sejam estudados, comparando resultados de análises de pontes semelhantes, com e sem transversinas.

Por fim, como visto nas comparações realizadas, para as pontes com vãos menores foram encontrados resultados que destoaram muito dos encontrados nas pontes com vãos intermediários e maiores. Como não foi possível definir com precisão o motivo que causa esta situação, considera-se necessária a realização de estudos que tratam das análises transversais de solicitações para as pontes de menor vão. Os focos sugeridos para esses estudos são a influência da maior proporção entre largura do tabuleiro e comprimento do vão, ou a divergência entre o comportamento de pontes com vãos menores e maiores.