

Soluções construtivas para travessia de animais: do contexto global ao cenário brasileiro

Constructive solutions for animal crossings: from the global context to the Brazilian scenario

DOI:10.34117/bjdv7n11-558

Recebimento dos originais: 12/10/2021

Aceitação para publicação: 30/11/2021

Débora Valadão Gonçalves

Graduando em Engenharia Civil

Centro Universitário Redentor

BR 356, n° 25, Cidade Nova, Itaperuna, RJ. CEP 28300-000

E-mail: valadaodebora3@gmail.com

Jéssica Curvelo Bastos

Graduando em Engenharia Civil

Centro Universitário Redentor

BR 356, n° 25, Cidade Nova, Itaperuna, RJ. CEP 28300-000

E-mail: jessica.edbel@hotmail.com

Marco Antonio Carvalho Zacharias

Graduando em Engenharia Civil

Centro Universitário Redentor

BR 356, n° 25, Cidade Nova, Itaperuna, RJ. CEP 28300-000

E-mail: marcoantnio15@yahoo.com.br

Muriel Batista de Oliveira

Engenheira Civil e de Segurança do Trabalho, Doutora em Educação

Centro Universitário Redentor

BR 356, n° 25, Cidade Nova, Itaperuna, RJ. CEP 28300-000

E-mail: muriel1078@gmail.com

Rômulo Rodrigues Coelho Delfino Souza

Engenheiro Civil, Especialista, docente

Centro Universitário Redentor

BR 356, n° 25, Cidade Nova, Itaperuna, RJ. CEP 28300-000

E-mail: coelho.romulor@gmail.com

RESUMO

A ampliação da malha rodoviária e o crescente fluxo de veículos em todo o país, têm impacto direto na segurança dos usuários desse sistema, quando se analisa a quantidade de vítimas envolvidas em acidentes por modelo de transporte. Parte significativa do quantitativo de óbitos e lesões se deve a acidentes envolvendo atropelamento de animais silvestres. Além dos custos para os contribuintes devido aos danos materiais, pode haver perdas de vidas humanas e da fauna, tendo-se ainda do ponto de vista ambiental, o efeito negativo das rodovias brasileiras na biodiversidade. De acordo com o Centro Brasileiro

de Estudos em Ecologia de Estradas-CBEE, todos os anos, mais de dois milhões de animais são vítimas de acidentes de trânsito por atropelamentos, inclusive dentro de áreas que protegem ambientes naturais. Afim de mitigar os impactos gerados, surgem soluções que possibilitam conciliar o desenvolvimento com a preservação ambiental, como as passagens para travessias de animais. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo sobre as intervenções e soluções de engenharia relacionadas às obras viárias, como as de arte corrente (bueiros), túneis para passagem de animais diversos, viadutos vegetados, passagens aéreas, entre outras, que tem a função de assegurar a proteção da fauna do local e dos usuários das rodovias. A metodologia consiste na revisão de literatura e análise de estudos recentes sobre o impacto dos atropelamentos na fauna, considerando os diagnósticos sobre os efeitos da infraestrutura viária nas Unidades de Conservação. A discussão ocorre em torno das intervenções de engenharia, considerando a expansão do setor de obras rodoviárias e, conseqüentemente, o aumento do número de atropelamentos e mortes de animais silvestres nas estradas brasileiras, que pode também resultar em perdas humanas. É necessário atrair atenção para este tema, pois o acervo técnico nacional possui lacunas que devem ser preenchidas a fim de possibilitar a busca de informações por parte dos profissionais de engenharia para a implementação de tais obras, associadas aos projetos de estradas, analisando as condicionantes ambientais, sociais, econômicas e outras especificidades existentes nas regiões brasileiras. Por fim, destaca-se que para minimizar os impactos ambientais, no caso a conservação da vida silvestre, dentro e fora de áreas protegidas, torna-se imprescindível a realização de estudos para que sejam encontradas soluções técnicas viáveis para este problema.

Palavras-chave: Acidentes, Animais Silvestres, Ecologia de Estradas, Soluções de Engenharia.

ABSTRACT

The expansion of the road network and the growing flow of vehicles across the country have a direct impact on the safety of users of this system, when analyzing the number of victims involved in accidents by transport model. A significant part of the number of deaths and injuries is due to accidents involving running over wild animals. In addition to the costs for taxpayers due to material damage, there may be loss of human and faunal lives, and from an environmental point of view, the negative effect of Brazilian highways on biodiversity. According to the Brazilian Center for Studies in Road Ecology-CBEE, every year, more than two million animals are victims of traffic accidents due to being run over, including within areas that protect natural environments. In order to mitigate the impacts generated, solutions emerge that make it possible to reconcile development with environmental preservation, such as passages for crossing animals. The objective of this work is to present a study on engineering interventions and solutions related to road works, such as current art (culverts), tunnels for the passage of various animals, vegetated viaducts, air passages, among others, which have the function of ensure the protection of local fauna and road users. The methodology consists of a literature review and analysis of recent studies on the impact of roadkill on fauna, considering the diagnoses on the effects of road infrastructure in Conservation Units. The discussion takes place around engineering interventions, considering the expansion of the road works sector and, consequently, the increase in the number of pedestrians run over and deaths of wild animals on Brazilian roads, which can also result in human losses. It is necessary to draw attention to this topic, as the national technical collection has gaps that must be filled in order to enable the search for information by engineering professionals for the implementation of such works, associated with road projects, analyzing the

environmental conditions, social, economic and other specificities existing in the Brazilian regions. Finally, it is highlighted that to minimize the environmental impacts, in this case the conservation of wildlife, inside and outside protected areas, it is essential to carry out studies to find viable technical solutions to this problem.

Keywords: Accidents, Wild animals, Road Ecology, Engineering Solutions.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação na construção de novas vias pavimentadas e o crescente fluxo de veículos em todo o país, têm impacto direto na segurança dos usuários do modal rodoviário, quando se analisa a quantidade de vítimas envolvidas em acidentes por modelo de transporte. Parte significativa desse quantitativo de óbitos e lesões se deve a acidentes envolvendo atropelamento de animais silvestres. Além de gerar custos para os contribuintes, como danos materiais e perdas de vidas, o efeito negativo das rodovias brasileiras na biodiversidade pode ser ainda mais preocupante do ponto de vista ambiental.

De acordo com o Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas – CBEE, mais de dois milhões de animais são vítimas de acidentes de trânsito por atropelamentos. Afim de mitigar os impactos gerados, surgem soluções que possibilitam conciliar o desenvolvimento com a preservação ambiental, como as passagens para travessia de animais, tendo como exemplos, viadutos e túneis.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um estudo sobre as intervenções e soluções de engenharia relacionadas às obras viárias, em especial os viadutos vegetados, que tem a função de assegurar a proteção da fauna do local e dos usuários das rodovias, demonstrando assim a conexão entre a engenharia civil e os a legislação ambiental, apontando fatores condicionantes para a construção, bem como as técnicas construtivas e aspectos financeiros e ambientais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os primeiros registros de passagens de fauna são originados da Europa. Esses viadutos foram erguidos em decorrência de impactos ambientais no bioma local e também pela grande incidência de acidentes.

Na América, países como EUA e Canadá foram os pioneiros justamente por causa dos inúmeros acidentes e vidas perdidas no encontro entre veículos e animais de grande porte, como alces, veados e cervos. A fauna desses países foi o que possibilitou o pontapé

inicial que, um tempo depois, deu abertura para a construção de viadutos vegetados para animais de pequeno e médio porte ameaçados ou não de extinção.

No Brasil, o órgão ambiental responsável por todas as questões envolvendo o meio ambiente é o CONAMA. Suas atribuições estão garantidas pelo Decreto nº99.274 que regulamenta as leis 6.902, de 27 de abril de 1981 e 6.938, de 31 de agosto de 1981, que promulgam áreas de proteção ambiental e criações de estações ecológicas assim como dispõe sobre a política nacional do meio ambiente com a criação do SISNAMA, Sistema Nacional do Meio Ambiente, com o intuito de assegurar o cumprimento das ações de política ambiental em todo o país.

A lei nº12.651, de 25 de maio de 2012, mais conhecida como Código Florestal, discorre as normas referentes à exploração da vegetação, proteção de áreas de reserva e uso controlado de matérias-primas.

Encontra-se na mesma, capítulo V – Supressão da Vegetação para Uso Alternativo do Solo – Art. 27 em áreas suscetíveis a uso do solo com outras finalidades que podem ocasionar supressão (extinção) de vegetação necessária para a fauna e flora locais ou migratórias ameaçadas ou não de extinção, segundo a lista do Sisnama, será necessária a adoção de medidas mitigadoras para a perpetuação da espécie.

De acordo com o capítulo II – Áreas de Preservação Permanente – Seção I, Art. 6º inciso VI a necessidade de criar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias a fim de realizar a proteção de áreas declaradas como interesse social pelo Chefe do Poder Executivo por terem características de cunho científico, histórico, cultural ou possuir espécies ameaçadas de extinção. Reconhecida desde 1988 pela Constituição Federal como Patrimônio Nacional, a Mata Atlântica ocupa 15% do território brasileiro sendo extremamente importante para o desenvolvimento humano e econômico da região já que concentra a morada de 72% da população e 70% do PIB nacional (SOSMA, 2021).

Apesar de se ter perdido mais de 2/3 de seu tamanho original, sua conservação é de interesse nacional por causa de sua influência na regulação do clima, importância no turismo, distribuição de água, obtenção de fibras, óleos e outros produtos naturais como também seu valor histórico e cultural. Assim sendo, em 2006, foi sancionada a lei nº 11.428 apelidada popularmente por Lei da Mata Atlântica. Ela dispõe sobre a proteção e uso regulamentado de recursos e biodiversidade desta floresta cujos domínios estão definidos oficialmente no Mapa da Área de Aplicação elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), bem como descreve os biomas característicos de suas florestas.

O mais pertinente a este trabalho está presente nos artigos: – Art. 3º inciso VII alínea b onde são citadas as obras de interesse nacional que são consideradas essenciais de infraestrutura e tem seu uso destinado aos serviços públicos de transporte; – Art. 7º incisos I, II, III e IV discorrem sobre a forma de proteger, manter e utilizar o bioma da Mata atlântica através de estímulos à pesquisa em busca de novas tecnologias para o uso sustentável de seus recursos naturais, recuperação da biodiversidade, atividades públicas e privadas trabalhando para compatibilizar o crescimento econômico e ocupacional com o equilíbrio ecológico; – E também o Art. 12 que trata sobre a construção de novas obras que venham a causar corte e/ou supressão de vegetação devem dar prioridade para serem erguidas em áreas que já estejam consideravelmente modificadas e degradadas.

A avaliação de impacto ambiental, que configura como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, é disposta na Resolução do CONAMA nº1, de 23 de janeiro de 1986. De acordo com o Art.1º dessa Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das características físicas, biológicas e químicas do meio ambiente resultantes das atividades humanas. Em seu Art.2º são citadas as atividades suscetíveis de análise de impacto ambiental e, dentre elas, os modais de transporte.

As conclusões do estudo de impacto ambiental deverão ser apontadas no RIMA - Relatório de Impacto Ambiental, a ser desenvolvido de forma objetiva, contemplando os objetivos e justificativas do projeto em análise, estudos de diagnóstico ambiental das áreas de influência do projeto, a descrição dos impactos ambientais resultantes das atividades, a caracterização da qualidade ambiental futura, a descrição dos efeitos esperados de medidas mitigadoras dos impactos negativos bem como o programa de monitoramento desses impactos e apresentação de alternativas mais favoráveis.

Como elementos de passagem usuais, que tem potencial para serem construídos em rodovias brasileiras, pode-se citar:

- Overpass

Nas estruturas tipo passagem elevada ou “overpass”, as modificações de projeto podem consistir em inserção de camada de solo sobre a superfície do viaduto, podendo ter gramíneas tomando-se o cuidado para a correta distinção do espaço que poderá ser mais utilizado por pessoas daqueles em que os animais poderão dispersar-se livremente.

- Viadutos multiuso

Diferenciam-se dos tradicionais viadutos de vida selvagem em várias características técnicas como, por exemplo, sendo menos profundos. O solo a ser acrescentado deverá ser nativo da área de aplicação do viaduto, independentemente de

seu design ou outro diferencial técnico, o que permite uma continuidade dos solos nativos adjacentes.

De acordo com Clevenger e Huijser (2011) é recomendado para os viadutos de multiuso uma largura de 15 a 25m, respeitando-se um mínimo de 10m. Caso seja necessária a instalação de cercas para a canalização do fluxo, essas devem ter altura de 2,4m. O vão da ponte pode ser de treliça de aço ou concreto, podendo o arco ser executado com concreto pré-moldado ou moldado in loco ou aço corrugado. Caso a parte da estrutura destinada a passagem humana conecte uma estrada de faixa única, essa pode ser pavimentada ou de cascalho. Se a estrutura for construída em um local com fluxo significativo de veículos, é interessante adotar paredes ou cercas sólidas com altura de no mínimo 2,5m a fim de atenuar os efeitos da luz e do som.

- Passagens aéreas

São construídas utilizando cordas ou cabos e de acordo com o Manual de Estruturas de Passagens de Vida Selvagem, do Departamento de Transportes dos Estados Unidos da América, Clevenger e Huijser (2011), é recomendado que essas cordas tenham no mínimo 8cm de diâmetro e um espaçamento entre 20 e 30cm. Além disso, pode-se utilizar plataforma de madeira no topo das vigas de sinalização. Para áreas em que as espécies focais possuam aves predadoras, é recomendável utilizar um terceiro cabo acima dos outros dois, a fim de ser um dispositivo de proteção. É interessante utilizar materiais que possuam resistência a tração suficiente para suportar com folga o peso da espécie focal com maior massa, a fim de evitar o rompimento das cordas além de acidentes.

- Passarelas anexadas

Para a construção das passagens tipo passarelas anexadas, os materiais empregados devem ser resistentes às intempéries e ação da água como aço galvanizado e madeira (CLEVINGER e HUIJSER, 2011). Essas passarelas devem ser fixadas ao nível superior ao da cheia máxima do fluxo d'água, a fim de que elas fiquem secas. A largura deve respeitar um mínimo de 0,5m e essas passarelas devem possuir rampas de acessos laterais de forma que formem um ângulo não nulo, sendo uma inclinação menor que 30° a mais recomendada. As plataformas podem ser de madeira, concreto pré-moldado ou aço galvanizado. Esse tipo de solução pode ser aplicado em áreas que possuam rios, riachos e até mesmo áreas pantanosas ou inundadas.

3 METODOLOGIA

A proposta do presente trabalho é dissertar sobre as passagens de fauna com objetivos exploratórios de suas aplicabilidades e viabilidades no âmbito nacional. Para a sua realização, a pesquisa bibliográfica se fez presente com uma abordagem qualiquantitativa apresentando resultados obtidos através de coleta de dados e de cunho teórico visando o enriquecimento de informações. Levando em conta a escassez de materiais existentes sobre o tema no Brasil, a grande maioria dos materiais e fontes técnicas, sobre o ponto de vista da engenharia, de pesquisa, foram trabalhos realizados em outros países, nacionalmente, foram analisadas as normas técnicas e ambientais vigentes.

Um levantamento realizado pela revista *Ecology* sob o título de “Brazil Road Kill” agrega dados de 71 estudos (sendo 26 publicados) no período de 1988 a 2017. De acordo com os dados apresentados, foram registrados 21.512 atropelamentos de animais, sendo 449 espécies identificadas da seguinte forma: 31 anfíbios, 90 répteis, 229 aves e 99 mamíferos.

Miranda et al (2021) em seu estudo inventariou mensalmente animais silvestres atropelados, no período de janeiro e dezembro de 2017, e analisou a distribuição temporal dos atropelamentos na rodovia que liga os municípios goianos de Iporá e Arenópolis, no Brasil. Um total de 153 animais atropelados foram registrados, sendo a maioria mamíferos (107), devido provavelmente ao maior porte e visualização de suas carcaças. Os autores apontaram que a melhoria na sinalização, bem como a instalação de medidas mitigadoras para evitar acidentes graves, seriam alternativas importantes para preservar a fauna no trecho estudado e evitar acidentes, respectivamente.

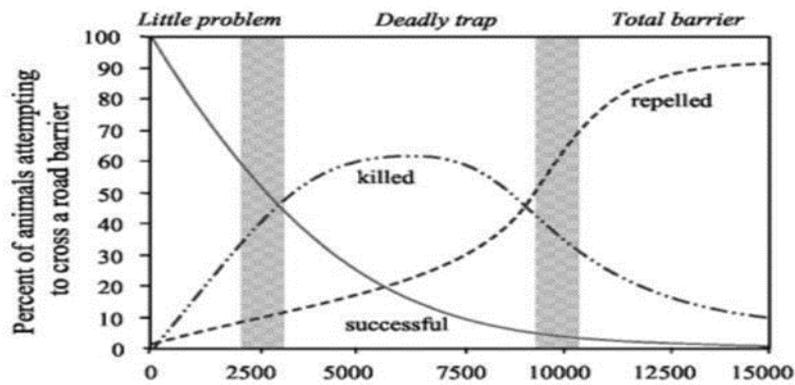
No Brasil tem-se alguns exemplos de dispositivos para a passagem de vida selvagem como, por exemplo, o da BR-101 que foi feito para ajudar na preservação da espécie nativa mico leão dourado.

As estradas que cortam áreas de floresta podem causar ilhas de isolamento entre biomas, fazendo com que animais saiam em busca de alimento em outro lugar. Esta fragmentação traz ocorrências como atropelamentos de mamíferos estando esses mais suscetíveis a acidentes a medida em que seu porte físico aumenta e o fluxo de veículos também. Dados de Clevenger e Huijser (2011) corroboram para uma análise mais crítica do panorama de travessias realizadas pela fauna.

Considerando 100% de tentativas de travessia por animais, vias com tráfego diário de 2.500 veículos possuem uma taxa de 40% de tentativas frustradas resultando em

mortes desses animais. Uma taxa de 10% de tentativas repelidas e 50% de tentativas realizadas com êxito. Analisando uma via com fluxo de 7.500 veículos diários, a taxa de tentativas bem-sucedidas cai para 9%, ao passo que aumentam as taxas de travessias repelidas e mortes (31% e 60%, respectivamente). Para uma via com fluxo de 10.000 veículos diários a taxa de travessias bem-sucedidas cai ainda mais (4%), as taxas de travessia repelida aumentam para 62% e a taxa de mortes sofre uma diminuição de 26% em comparação com o fluxo de 7.500 veículos diários. Em uma via com fluxo de 15.000 veículos diários há uma drástica redução das taxas de mortes e de travessias bem-sucedidas (10% e 1%, respectivamente) e um aumento significativo das travessias repelidas (89%). A figura 1 apresenta ilustra estas informações.

Figural: Gráfico comparativo de taxas de tentativas bem-sucedidas, repelidas e mortes por fluxo de veículos



Fonte: Clevenger e Huijser (2011).

A partir dessas informações, pode-se notar que vias de fluxo baixo têm baixa taxa de mortalidade e de travessias repelidas e grande número de travessias bem-sucedidas, indicando baixo impacto na dispersão da vida selvagem no local. Vias com fluxo médio possuem tendência à diminuição das travessias bem-sucedidas e um rápido aumento no número de mortes e nas travessias repelidas, indicando um elevado impacto no habitat local. Rodovias com fluxo intenso possuem tendência a não ter travessias bem-sucedidas, baixíssimo número de mortes e elevado número de travessias repelidas.

Faz-se necessário observar que no caso das rodovias com fluxo intenso, ainda que os dados apontem baixo número ou até mesmo raras ocorrências de mortes, não significa interpretar essa situação como de baixo impacto, pois a fauna local pode estar muito ou completamente comprometida, visto que se há nenhuma ou poucas ocorrências de travessias implica em quantitativo reduzido de exemplares das espécies locais ou até mesmo a extinção de outras. Mesmo não existindo um consenso sobre todo impacto

causado pelas rodovias na fauna brasileira, a medida padrão utilizada em países desenvolvidos é a instalação de estruturas com o intuito de propiciar a dispersão de animais (LAUXEN, 2012).

Na etapa inicial do projeto, deve-se fazer a análise do local e o levantamento das informações, onde a equipe ou responsável técnico deverá colher todas as informações de onde o projeto de engenharia será executado. Vale lembrar que visitas ao local deverão fazer parte desta etapa, inclusive a anotação dos dados. Aqui, serão analisados os fatores condicionantes que poderão influenciar no dimensionamento da estrutura.

- Análise do regime pluviométrico da região, definindo se há períodos de precipitações intensas e o acúmulo de água em pontos estratégicos para a obra. Caso ocorra, é importante ressaltar que, dependendo do volume acumulado, obras de drenagem deverão ser realizadas em paralelo à execução do projeto.

- Análise do relevo, que constitui em caracterizar a topografia local, afim de proporcionar a escolha de melhores soluções para o projeto de fundações, por exemplo. Nesta etapa, faz-se necessário a análise do laudo de sondagem, afim de observar as particularidades das camadas de solo e suas resistências. Além disso, o solo mais superficial deve ser separado para seu posterior aproveitamento para recobrir a estrutura, uma vez que constitui um importante parâmetro a ser seguido para garantir utilização pela fauna.

- A vegetação também deverá ser observada e árvores de grande e médio porte indicadas no croqui para posterior avaliação da necessidade de corte ou isolamento. Quando a solução de passagem de fauna possuir dimensões significativas, parte da vegetação adjacente à obra poderá ser removida e posterior plantio de mudas poderá se fazer necessário. Espécies de pequeno a médio porte e endêmicas deverão, quando for possível, serem preservadas em seus locais de crescimento, afim de diminuir o impacto ambiental causado pela modificação do habitat do local.

- A presença de quaisquer edificações ou obras de engenharia que existam próximas ao local ou que comprometam a eficácia do projeto devem ser descritas e soluções em paralelo devem ser discutidas, a fim de diminuir essa influência. Estradas de grande fluxo próximas a estrada em análise podem necessitar de muros para absorver ruídos e vibrações que possam se propagar pelo meio e atingir o local do projeto. Atenção também deverá ser dada à presença de redes de transmissão de energia e/ou tubulações no subsolo.

Para a realização de um projeto, é necessário que seja feito um levantamento de dados que possibilitem a boa execução do mesmo. Geralmente, esses dados pertencem a duas classes, são elas: elementos de Campo e elementos Básicos de Projeto, abordadas na sequência.

Os elementos de campo são essenciais para a elaboração de um projeto, estes serão apresentados na fase de Anteprojeto. São alguns exemplos de elementos de campo:

- Planta de situação, contendo o traçado do trecho de rodovia onde a obra será realizada, contendo detalhamento de obstáculos como rios, estradas e vales, os quais serão transpostos;
- Seção longitudinal do terreno no decorrer do eixo da ponte a ser construída, assim como o perfil da rodovia;
- Características geotécnicas e geológicas do terreno;
- As condições para transporte de materiais de construção e demais elementos estruturais;
- Disponibilidade de mão de obra capacitada, água e energia elétrica para a execução da obra e utilização dos funcionários;
- Características de agressividade do meio ambiente local, para estudo de maior durabilidade.

Os Elementos Básicos de Projeto são dados como normas, manuais e especificações, que deverão ser seguidos na criação dos projetos.

A concepção de projetos deverá ser feita seguindo as orientações presentes no Manual de Projetos de Obras Especiais (DNER, 1996), seguindo as Normas Brasileiras relacionadas ao assunto, como a NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento (2014) e a NBR7188 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras Estruturas (2013). Já os materiais utilizados precisarão acatar às condições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ao Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

A fase de **pré-projeto** deverá prever as necessidades futuras da obra. Compõe esta etapa o projeto de engenharia, podendo ele sofrer modificações posteriormente. O projeto de engenharia inclui a planta baixa, os cortes, a planta de situação, detalhamento e a planta de localização.

No caso da planta baixa, a forma da obra deve ser adequada aos fatores condicionantes. Para viadutos de passagem de fauna, de acordo com Clevenger e Huijser (2011) traços que utilizam arcos parabólicos proporcionam melhores oportunidades para

a vida selvagem localizar rampas de acesso, contudo, os custos são mais elevados do que viadutos retangulares ou de bordas retas.

A disposição dos pilares para viadutos também deve respeitar normas nacionais, como a NBR 6118 (2014), o Manual de Projeto de Obras Especiais (DNER, 1996) e a NBR 7188 (2013), como instrumentos para o desenvolvimento do projeto. Por exemplo, no desenho que dispõe a localização das longarinas e transversinas, um critério utilizado é adotar para a distância entre transversinas aproximadamente o dobro da distância entre as longarinas. Características como altura e base dos pilares de sustentação devem obedecer às normas citadas.

O conceito de **estrutura** pode ser definido por um conjunto de vínculos organizados para manter elementos unidos formando um todo. Na engenharia, a concepção de estrutura não difere desta descrição e possui o mesmo sentido sendo composta por 3 elementos: superestrutura (lajes vigas e pilares) que transmite cargas às fundações, infraestrutura (fundações, blocos de coroamento e cintas de travamento) que faz a ligação entre a superestrutura e o solo, e o maciço de solo que deve ser capaz de absorver os esforços oriundos da superestrutura sem grandes deformações.

A escolha da **fundação** e do tipo de construção a ser realizada só poderá ser feita após o laudo de sondagem do solo e análise da topografia local, pois a capacidade de carga da fundação é estimada com base na classificação e determinação da compacidade do mesmo. Isto é feito com o objetivo de que a interação entre a estrutura e o solo seja a melhor possível sem a ocorrência de deformação excessiva.

O **projeto de impermeabilização** deve seguir as recomendações da NBR 9574 (2008) - Execução de Impermeabilização e NBR 9575 (2010) - Impermeabilização - Seleção e Projeto.

O Projeto básico de Impermeabilização é constituído por desenhos e pelo memorial descritivo dos tipos de impermeabilizações que podem ser selecionadas para a estrutura. Compõem os desenhos a planta de localização e de identificação da impermeabilização e dos locais dos detalhamentos construtivos; os detalhes construtivos que descrevem as soluções adotadas quanto às interferências existentes e quanto ao atendimento das exigências de estanqueidade e durabilidade.

O Projeto Executivo de Impermeabilização, assim como o Projeto Básico, é constituído pelos desenhos compostos pelas plantas de localização e de identificação da impermeabilização e dos locais dos detalhamentos construtivos e detalhes genéricos que descrevam todas as soluções de impermeabilização. Os memoriais descritivos tratam dos

materiais empregados e das camadas de impermeabilização e do procedimento de execução. Deve conter ainda a planilha de quantitativo de materiais e serviços e a metodologia para controle e inspeção dos serviços executados.

De acordo com a NBR 9575 (2010), os sistemas de impermeabilização devem resistir às cargas estáticas e dinâmicas que atuem sob e sobre a impermeabilização, resistir às movimentações do substrato que porventura ocorra devido às interferências do meio, como variações térmicas, resistir às degradações provocadas por ações do intemperismo, como influências climáticas, térmicas, químicas ou biológicas. Além disso, devem resistir às pressões hidrostáticas e apresentar características como aderência, flexibilidade, resistência e estabilidade físico-mecânica satisfatórias.

Um detalhe técnico que deve ser observado é a inclinação do substrato para áreas horizontais tendo um mínimo de 1% na direção dos sistemas de coleta de água. Caso sejam empregados tubos para coleta de água, os mesmos devem respeitar um diâmetro mínimo de 75mm, devendo ser rigidamente fixados à estrutura. As arestas e cantos vivos a serem impermeabilizados devem ser arredondados. As proteções mecânicas devem possuir juntas de retração e trabalho térmico com preenchimento de materiais deformáveis.

A impermeabilização do tipo rígida, possui como principal característica absorver pouco ou nenhum deslocamento da estrutura. Para o caso dos viadutos vegetados, os impermeabilizantes rígidos são mais adequados por serem indicados para estruturas enterradas, vigas baldrame, fundações, subsolos, muros de arrimo e pisos em contato direto com o solo.

A partir de uma análise de viabilidade destacam-se três tipos de impermeabilizantes, sendo eles: argamassa impermeável com aditivos hidrófugos, argamassa polimérica e resina epóxi. A primeira, a argamassa impermeável com aditivos hidrófugos possui menor resistência às movimentações e apresenta menor custo para a aquisição dos insumos. Logo, ela poderá ser empregada nas superfícies de estruturas que estejam numa cota mais profunda, como nas fundações, uma vez que apresentará menores variações dimensionais. O segundo impermeabilizante, a argamassa polimérica possui resistência mecânica superior à da argamassa com aditivos hidrófugos, contudo, é recomendado algum tipo de proteção mecânica. É indicada para as mesmas superfícies citadas para a argamassa com aditivos hidrófugos, atentando-se para o fato de possuir maior custo e durabilidade. O terceiro impermeabilizante é a resina epóxi, com aplicação em forma de pintura e características como elevada resistência à ataques químicos,

elevada resistência mecânica e excelente durabilidade, sendo indicada para metais, concreto e argamassas.

De acordo com a NBR 9574 (2008), para as impermeabilizações que necessitam de substrato seco, deve-se atentar para a idade da argamassa de regularização, devendo esta possuir idade mínima de 7 dias. As superfícies que receberam o impermeabilizante devem estar livres de corpos estranhos, restos de ferragens, produtos desmoldantes, impregnantes e falhas. O substrato deve estar firme, coeso e homogêneo. Para locais onde há a possibilidade de agressão mecânica, pode-se utilizar proteção mecânica na impermeabilização.

Para a argamassa com aditivo hidrófugo, o substrato, já umedecido, deve receber uma camada de chapisco de cimento e areia (traço 1:2), afim de aumentar a aderência. A argamassa deve ser preparada in loco, com cimento Portland, areia, aditivo hidrófugo e água potável. A areia lavada deve ter granulometria entre 0,075mm a 3mm (areia média), sem materiais argilosos. Deve-se aplicar o produto em camadas sucessivas de 15mm, tendo-se no final uma espessura de 30mm. Na primeira camada, deve-se deixar a superfície sarrafeada para proporcionar melhor aderência à segunda camada. Deve-se executar ambas as camadas no mesmo dia, caso contrário, antes da segunda camada, a superfície da primeira camada deverá ser chapiscada. Para a última camada, o acabamento pode ser feito com o uso de desempenadeira. A cura é úmida e com um mínimo de três dias.

Para a argamassa polimérica, o componente em pó deve ser adicionado aos poucos ao componente resina. Depois da mistura apresentar-se homogênea, o tempo de utilização deve seguir a recomendação do fabricante. A aplicação das demãos deve ser de forma cruzada, com intervalo de 2h a 6h entre as demãos. Se a superfície a ser impermeabilizada estiver sob incidência solar, a argamassa deve ser hidratada por no mínimo 72h.

É importante destacar que o uso de impermeabilizantes em estruturas de reservação de água ou pequenos lagos artificiais para a travessia de anfíbios deve atender as exigências da NBR 12.170 (2017) - Materiais de Impermeabilização- Determinação da potabilidade da água após o contato -que descreve os procedimentos para ensaio de potabilidade da água e as condições de aceitação.

Outro ponto importante é a Movimentação de Terra para a Instalação de Galerias (aduelas). Inicialmente, as galerias foram construídas para escoamento de águas pluviais, contudo, com o passar do tempo, passaram a ser utilizadas como instrumento para

travessia de animais (GONÇALVES, 2020). Estas galerias são comercializadas em peças pré-moldadas de concreto armado com seção retangular ou quadrada.

Normalmente aplicadas em galerias ou canais fechados para escoamento de água ou esgoto, as galerias pré- moldadas são também bastante utilizadas para pontes e passagens, já que a multiplicação de seu sistema é facilitado pelo encaixe das peças macho e fêmea proporcionando rapidez e segurança na construção. A absorção de água por elas é indispensável para que se garanta o tempo de vida útil das peças e, conseqüentemente da rede em si. Podem ter variadas dimensões e seções, mas devem ser fabricadas seguindo as recomendações da NBR 15.396 (2018) - Aduelas (galerias celulares) de concreto armado pré-moldadas - Requisitos e métodos de Ensaio.

De acordo com esta NBR as aduelas devem ter uma espessura mínima de parede de 15 cm (podendo ter flexibilidade de 10 mm para mais e 5 mm para menos) com cobrimento das armaduras externo e interno mínimo de 30 mm em toda a peça. Lugares em que o índice de agressividade seja forte recomenda-se que o cobrimento mínimo seja de 40 mm. É importante ressaltar que durante o assentamento das tubulações, todas as mudanças seja de diâmetro, direção ou declividade, são obrigatoriamente realizadas nos poços de visita e, o nivelamento da rede só pode ser feito com equipamentos topográficos adequados e com a precisão de declividades exigidas no projeto.

Como mencionado no início deste trabalho, o Centro Brasileiro em Ecologia de Estradas (CBEE) faz estudos de atropelamento de fauna registrando os resultados em uma ferramenta chamada de “atropelômetro”. Os cálculos realizados pelo CBEE, foram fundamentados por uma pesquisa composta por 14 artigos científicos, divulgadas em variadas revistas brasileiras e feitos em vários biomas, mostraram que mais de 15 animais morrem nas estradas brasileiras a cada segundo, totalizando 475 milhões de animais selvagens atropelados no Brasil anualmente. Desses, a maioria (90%), são animais de pequeno porte, como sapos, pequenas aves e cobras, 40 milhões (9%) são animais de médio porte, como gambás, lebres e macacos e cinco milhões (1%) são espécies de grande porte, como onça-parda, onça-pintada, antas e capivaras. O maior índice de atropelamentos acontece na Região Sudeste, sendo seguido pelas regiões Sul, Nordeste, Centro-oeste e Norte, respectivamente (UFLA, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se durante o desenvolvimento do presente trabalho a falta de normas pertinentes ao tema. As pesquisas, limitadas, restringiram-se a poucas normativas

brasileiras já citadas, sendo estas aplicadas a pontes. Muitos dos parâmetros utilizados foram obtidos de normas estrangeiras (norte-americanas e europeias), mesmo assim aqueles relativos aos cálculos estruturais foram obtidos de outras normas brasileiras que tratam de temas diferentes. Como há uma semelhança estrutural entre pontes e viadutos, utilizou-se os critérios adotados em pontes e adaptou-se outros para uma mais assertiva execução de dimensionamento.

Na fase de pré-projeto, para a escolha do local, foram analisadas diferentes localidades que se enquadrassem nos critérios de viabilidade e necessidade de implementação da solução construtiva. Com isso foram levantadas pesquisas sobre dados estatísticos de acidentes e mortes de pessoas e animais e, que os mesmos fossem causados principalmente pela travessia da fauna local. Para a questão de viabilidade buscou-se a existência de áreas verdes próximas ao local da obra, pois as mesmas são fundamentais para a eficácia, a longo prazo, do estabelecimento dessa conexão entre os dois lados da via.

A identificação da classe da rodovia fez-se necessária para a escolha do melhor gabarito vertical do viaduto uma vez que quanto maior o fluxo de veículos, maiores serão os ruídos e vibrações gerados. Por isso, é importante acrescer tanto ao gabarito vertical quanto à distância entre o início da rampa e o seu término, uma determinada folga vertical e horizontal respectivamente. A começar pelo tabuleiro, parte fundamental da superestrutura, atenta-se para a sua geometria ser retangular uma vez que a sua execução possui menos dificuldades (prática construtiva). O mesmo deverá suportar um volume correspondente ao aterro que será o substrato para vegetação do viaduto. Diante disso, haverá a necessidade do dimensionamento de muros laterais para a contenção deste aterro, devendo estes serem engastados à estrutura do tabuleiro para maior segurança tanto dos animais quanto dos veículos que passarem sob o mesmo.

Acima dos muros de contenção é preciso implantar uma cerca para canalizar a contenção do fluxo de animais, sendo ela feita de material metálico. Para fins de cálculos estruturais a cerca poderá ser tomada como o guarda-corpo metálico da NBR 7188 (2013), sendo o mesmo capaz de suportar um carregamento linear horizontal transversalmente ao eixo do viaduto de 2 KN/m. Dependendo do porte dos animais, é interessante também envolver ao guarda-corpo uma tela de arame galvanizado, afim de garantir mais proteção. O tabuleiro pode também ter os seus dois lados em balanço, afim de diminuir o momento fletor positivo na estrutura. Como o tabuleiro solicitará a longarina, em seu eixo longitudinal, pode ser mais seguro adotar duas longarinas, de forma a melhorar a

distribuição de esforços. A altura da longarina deve ser limitada a $1/15$ do vão (eixo longitudinal) e sua base como $1/3$ da altura.

Deve-se considerar para a execução da transversina, com o objetivo de proporcionar mais estabilidade ao viaduto, sua base com também $1/3$ da sua altura e o espaçamento entre as mesmas deve ser o dobro daquele adotado entre as longarinas. Para melhor distribuição dos esforços, deve-se considerar mísulas internas e externas nas longarinas, com dimensionamento já previsto em norma. Sobre os carregamentos permanentes agindo no tabuleiro tem-se o peso próprio do guarda-corpo metálico, o peso próprio do muro de contenção do aterro e o peso próprio do aterro. As pontes e viadutos possuem 3 tipos de classificação quanto ao tipo de carregamento suportado. São eles: TB-45, TB-30 e TB-12. Quanto aos carregamentos permanentes, haverá modificações em relação as considerações previstas em norma: como toda via deve suportar a passagem do TB-45, é considerado então o seu peso sem a carga de multidão de veículos, uma vez que o viaduto não será utilizado por carros ou caminhões.

Dessa maneira, adota-se como carregamento dinâmico apenas a passagem de um Trem-Tipo, TB-45 que será somente para cumprir exigência normativa – NBR 7187, Projeto de Pontes, Viadutos e Passarelas. Tão pouco deve-se dimensionar a passagem do TB-45 em toda a extensão do viaduto, afim de não super dimensionar a estrutura e torná-la consideravelmente cara e com pouca utilização de seu potencial. Logo, é mais sensato considerar a passagem do TB-45 exclusivamente ao longo do eixo longitudinal central do viaduto.

Outras cargas dinâmicas devem ser apontadas, como as cargas devidas aos ventos de sucção e de sobrepressão baseando-se na NBR 6123 (2013) – Forças devidas ao vento em edificações, tendo a necessidade de consultar, a velocidade do vento do local. Como dispositivos de apoio, deve levar em consideração o tipo de material, sua resistência, sua manutenção e sua viabilidade. Para tanto, o dispositivo de apoio de neoprene atende a todos estes requisitos, possuindo como desvantagem o menor tempo entre as manutenções e como ponto positivo a melhor acomodação dos movimentos da superestrutura. As características do dispositivo tipo neoprene são tabeladas pelo Instituto Militar de Engenharia – IME, que possui especificações importantes dele como sua resistência e altura.

Os pilares devem ser dimensionados prevendo-se qual será a forma de manutenção destes dispositivos de apoio. Por isso, é importante prever “dentes” nos pilares próximos aos dispositivos de apoio de forma a acomodar o aparelho de

levantamento da superestrutura para uma eventual substituição do neoprene. Na parte de infraestrutura, a fundação deve ser tal que suporte todo o carregamento superior e permita um assentamento seguro no solo, sem riscos de ruptura. Softwares de dimensionamento de estruturas de fundação são práticos e atendem satisfatoriamente aos requisitos de segurança.

A partir das informações apresentadas depreende-se a escassez de dados relativos a soluções técnicas de engenharia para uma questão de relevância econômica, social e ambiental. Tais soluções trazem benefícios, quando bem implantadas, como redução de acidentes e diminuição da degradação da fauna. Espera-se que a partir desse trabalho, haja a ampliação do número de projetos para travessia de animais no Brasil. Além disso, contribuir para o aumento do quantitativo de materiais disponíveis de forma a enriquecer o acervo técnico nacional e proporcionar aos consumidores deste material conhecimentos à respeito das soluções de Engenharia Civil.

Tais conhecimentos não somente corroboram para o direcionamento de esforços em prol da conservação da biodiversidade como também proporcionam aos estudantes de engenharia civil o reforço de competências adquiridas ao longo de todo o curso. Em virtude disso, propiciar o desenvolvimento de habilidades necessárias aos profissionais de engenharia tendo em vista os desafios da área ambiental no presente século.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou trazer informações a cerca dos impactos ambientais, causados pelo falta de planejamento e construção nas rodovias de estruturas para passagem de animais, o que prejudica a perpetuação de espécies locais podendo causar ou agravar o desequilíbrio ambiental e acidentes, comprometendo ainda a segurança daqueles que utilizam os modais de transporte, estes sendo essenciais para a manutenção das atividades econômicas da sociedade.

As soluções construtivas exemplificadas neste trabalho foram muito bem sucedidas nos locais onde foram implementadas, o que mostra que não é um problema insolucionável e, se executado consoante os parâmetros e diretrizes das normativas existentes as etapas de projeto, haverá resultados positivos. Apesar de não haver um manual ou norma técnica brasileira específica voltada a obras de arte para a travessia de animais, o material existente sobre pontes, viadutos e outras suprem parcialmente a necessidade para o dimensionamento de um viaduto vegetado, contudo devendo ser complementadas com referências internacionais, no que couber.

Com isso, é importante que haja iniciativas públicas e privadas para elaboração de estudos e projetos a longo prazo para o desenvolvimento e a implementação de práticas construtivas que forneçam parâmetros precisos e eficazes para o bom dimensionamento dessas obras de arte. O Brasil é um país de proporções continentais com uma biodiversidade inquestionavelmente grande e cabe ao Estado proporcionar aos cidadãos um meio ambiente saudável e equilibrado, direito este que o legislador garantiu na Carta Maior no artigo 225 : “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.396: Aduelas (galerias celulares) de concreto armado pré-moldadas - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9574: Execução de Impermeabilização. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e Projeto. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. Manual de implantação básica de rodovia. – 3. ed. - Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Disponível em: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_15.03.2021/art_225_.asp . Acesso jul. 2021.

BRASIL. Decreto n. 99.274, de 06 de junho de 1990. DF, 06 jun. 1990. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso 02 abr. 2021.

Clevenger, Anthony P; Huijser, Marcel P. Wildlife crossing structure handbook: design and evaluation in North America. Washington: New Jersey, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277003400_Wildlife_Crossing_Structure_Handbook_Design_and_Evaluation_in_North_America . Acesso 02 abr. 2021.

GONÇALVES, Larissa Oliveira. Bueiros: passa água ou passa fauna? Disponível em: <https://faunanews.com.br/2020/11/12/bueiros-passa-agua-ou- passa-fauna/>. Acesso 20 maio 2021.

GRILO, Carla et al. Brazil road-kill: a data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. Washington, DC, 2018. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecy.2464>. Acesso junho 2021.

LAUXEN, Mozart da Silva. A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: um guia de procedimentos para tomada de decisão. Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2012. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/72378/000877896.pdf?sequence=1> . Acesso em 15 abr. 2021.

MIRANDA, J. E. S.; SANTOS, A.; SOUZA, W. F.; BLAMIREs, D. Atropelamento de animais silvestres na rodovia go-060 entre Iporá e Arenópolis, estado de Goiás. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.5, p. 51664-51671 may. 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/Muriel%20Oliveira/Downloads/30275-77831-1-PB.pdf>.

SOSMA. Lei da Mata Atlântica. Fundação SOS Pró-Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/politicas/lei-da-mata-atlantica/>. Acesso 23 abr. 2021.

UFLA. Atropelamentos matam 475 milhões de animais por ano no país. G1, 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2016/05/atropelamentos-matam-475-milhoes-de-animais-por-ano-no-pais-diz-ufla.html> . Acesso em 03 maio 2021.