



SEFIC2018
UNILASALLE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A
REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

22 A 27
DE OUTUBRO

COMPARATIVO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E CUSTOS ENTRE PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO PELA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) NA BR-163/364/MT

Cosme Neves Machado
Prof. Dr. Rodrigo Mallysz, Prof. Dr. Sydney Sabedot
Universidade La Salle

RESUMO

A maior parte do transporte de cargas no Brasil ocorre por meio de rodovias, que são em sua maioria parte não pavimentadas. Neste sentido, pretende-se que seja possível efetuar uma análise diferenciada das possíveis alternativas de pavimentação, não considerando somente as variáveis técnicas e seus custos, adicionando a variável ambiental, por meio da utilização da Análise do Ciclo de Vida (ACV) em tal análise, para que seja mais um elemento a ser considerado na tomada de decisão.

Palavras-chave: *Pavimentação, Custos, ACV.*

Área Temática: Engenharias e Computação

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, a malha rodoviária é o principal meio de transporte de mercadorias e deslocamento de pessoas, sendo responsável por aproximadamente 90% do transporte de passageiros e mais de 60% no transporte de cargas que circulam no País. Da malha atual de 1.720.756 km, somente 211.468 km são pavimentados, ou seja, apenas 12,3% das rodovias brasileiras (CNT, 2017).

Nesse contexto, a utilização do pavimento flexível é a solução largamente utilizada frente ao pavimento rígido, o qual representa menos de 1% da malha rodoviária pavimentada (CNT, 2017). Como principais fatores para a baixa utilização dos pavimentos rígidos, está o seu alto custo inicial e falta de experiência com sua execução. No entanto, quando bem executado requer menos intervenções de manutenção e apresenta um período de vida útil superior ao pavimento flexível, (CNT, 2017), tornando-se desta forma uma alternativa atraente.

Como todas as atividades humanas, a construção dos pavimentos gera um impacto ambiental em toda sua cadeia de produção que deve ser considerado e analisado desde o transporte dos materiais utilizados na sua construção, as produções de ligantes asfálticos,



o cimento Portland e os materiais pétreos que estão relacionados a altos consumos energéticos.

No entanto, estes fatores ambientais são desconsiderados atualmente no Brasil, para a tomada de decisão quanto a melhor alternativa de pavimentação a ser empregada, pois somente os aspectos técnicos e econômicos. Diferente de países como Suíça, Inglaterra, França, Estados Unidos e Portugal, que estão empregando a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para identificação dos impactos e auxílio na tomada de decisão para a melhor alternativa de pavimentação (SAVIETTO, 2017).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo efetuar uma análise comparativa entre as alternativas de pavimentos flexíveis e rígidos, sobre os aspectos econômicos e impactos ambientais, com a investigação sobre o impacto ambiental para cada alternativa e a análise econômica correspondente. Assim, se espera obter uma alternativa mais viável economicamente e uma associação com os impactos ambientais gerados, possibilitando uma melhor segurança na destinação dos recursos empregados nas soluções de pavimentação.

Já que atualmente, é notório um comportamento por parte da sociedade exigindo ações sustentáveis, o que demanda um maior cuidado na produção de produtos e serviços. Aliado a isso, existe o alto valor empregado na execução das obras de pavimentação. Além do que, os projetos de pavimentação executados no Brasil, nos dias atuais, não levam em consideração os aspectos sustentáveis para definição da alternativa a ser adotada.

Nesta senda, uma análise comparativa entre os impactos ambiental e econômico na alternativa de pavimentação a ser adotada se torna relevante. E espera-se poder oferecer aos órgãos responsáveis pela destinação dos recursos, elementos que ajudem na tomada de decisão e que contemplem elementos mais importantes para a sociedade atual.

2 REVISÃO

2.1 Situação das Rodovias Brasileiras

Segundo (CNT, 2017) a malha rodoviária pavimentada no Brasil ainda é muito pequena quando comparada à extensão total de rodovias, apesar da importância deste modal para economia nacional. Bem como, uma densidade de malha rodoviária muito baixa em comparação a outros países de dimensões territoriais similares como o Estados Unidos e China.



De acordo com o (CNT, 2017), a situação da condição da superfície dos pavimentos no Brasil é agravada pelo seu desgaste e a má condição. Esta situação pode ser analisada de acordo com o tipo de gestão das rodovias, públicas ou privadas.

Da análise das condições da superfície do pavimento em rodovias federais públicas em 2016, constata-se que entorno de 50% dos pavimentos estavam desgastados e que a extensão de pavimento, considerada em perfeito estado, representava menos de um terço do total.

Em relação as condições da superfície do pavimento em rodovias federais concedidas, em 2016 já é possível observar uma melhora na qualidade desses pavimentos, aumentando assim sua extensão de pavimento classificada como perfeito e respectiva redução da extensão com trinca em malha e remendos (CNT, 2017).

2.2 Características dos Tipos de Pavimento

Conforme (DNIT, 2017), o pavimento é constituído por uma estrutura de múltiplas camadas com espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplenagem, com a finalidade técnica e econômica de resistir aos esforços originários do tráfego de veículos e do clima, além de propiciar melhores condições de conforto, economia e segurança aos usuários. Sendo classificado em dois tipos básicos, flexíveis e rígidos. A sua nomenclatura é diferenciada em função do tipo de revestimento.

Os pavimentos flexíveis são constituídos normalmente de quatro camadas: revestimento, base, sub-base e reforço de subleito. O revestimento é composto por uma mistura de agregados pétreos e ligante asfáltico basicamente (DNIT, 2017).

Pavimentos rígidos tem o seu revestimento constituído de placas de concreto de cimento Portland, que podem ser armadas ou não, executadas sobre uma camada de sub-base, dispensando a execução da base (DNIT, 2017).

De acordo com (FRANCISCO, 2012), os comportamentos estruturais dos pavimentos flexíveis e rígidos ocorrem de maneiras distintas em relação as mesmas ações. Nos pavimentos flexíveis conduzem uma maior concentração de tensões no solo de fundação. Já nos pavimentos rígidos ocorre uma maior distribuição de tensões no solo de fundação, desta forma a tensão máxima é menor se comparada com a tensão em pavimentos flexíveis.

2.3 Fatores Ambientais Avaliados

A seguir são explicados os fatores ambientais avaliados neste trabalho.



2.3.1 Potencial de aquecimento global

Segundo (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) citado por (SAVIETTO, 2017), primeiramente é necessário entendermos o processo natural de aquecimento da Terra, para entender o impacto do potencial de aquecimento global. Neste processo natural, onde parte das radiações solares atingem a superfície do planeta e é absorvida e a outra parte é refletida como radiação infravermelha. Mais uma vez essa fração de radiação passa por outra divisão, resultando na fração da radiação absorvida e a fração refletida, que volta a ser radiada em todas as direções da superfície terrestre. No entanto, o lançamento de alguns tipos de emissões na atmosfera pode favorecer para que esse processo, então natural, seja intensificado acarretando desta maneira um aumento na temperatura média.

De acordo com (CARLOS; MOLION, 2008), a radiação que é refletida pela superfície é absorvida por gases, como vapor d'água, gás carbônico, metano, ozônio, óxido nitroso e compostos de clorofluorcarbono. Sendo o vapor d'água o principal gás responsável por essa absorção da radiação, que gera o incremento de temperatura. Sendo o gás carbônico o segundo em importância, com concentração até 100 vezes inferior à do vapor d'água. No entanto, o indicador desse impacto potencial é expresso em quantidade de gás carbônico equivalente.

2.3.2 Potencial de acidificação

De acordo com (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) citado por (SAVIETTO, 2017), os poluentes como dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio, podem ser transformados em ácidos, ocasionando a redução do pH da água de chuva.

Essa redução pode causar danos aos ecossistemas naturais, bem como gerar alguns impactos indiretos, como redução de nutrientes dos solos e maior solubilidade de metais em solos. Não estão livres dos possíveis efeitos construções e seus materiais, possibilitando a ocorrência de corrosão em metais e rochas naturais, em razão do ácido encontrado em chuvas.

O indicador utilizado para expressar o potencial de acidificação é a quantidade de cátions hidrogênio equivalente.

2.3.3 Potencial de depleção do ozônio

De acordo com (CIRINO; SOUZA, 2008) o ozônio é um gás presente em pequenas concentrações em toda atmosfera, sendo a camada de ozônio localizada entre 15 e 35 km de altitude, variando de acordo com a latitude.



Esta região da atmosfera terrestre faz o papel de um “escudo solar natural”, pois filtra os raios ultravioletas (UV) os quais são nocivos, antes que possam atingir a superfície do planeta causando desta forma danos aos seres humanos e outras formas de vida.

Da constatação de que os CFCs (clorofluorcarbonetos) eram estáveis na troposfera, mas seriam decompostos pela radiação ultravioleta na estratosfera, liberando átomos de cloro (radicais de cloro), que por meio de um processo catalítico poderia destruir as moléculas de ozônio, surge a preocupação quanto o depauperamento da camada de ozônio.

Desta maneira para caracterizar o potencial de depleção do ozônio o indicador utilizado é a quantidade de CFC-11 equivalente.

2.4 Aspectos Econômicos

De acordo com (WIELINSKI; HAND; RAUSCH, 2009), os departamentos responsáveis por rodovias estão enfrentando um aumento nos preços das construções e ao mesmo tempo uma limitação de recursos. Em conjunto a estes fatos ocorre uma demanda por novas construções e manutenção das rodovias. Desta maneira, os departamentos responsáveis devem analisar as alternativas e métodos, bem como, as alternativas de materiais a serem utilizadas.

Assim, segundo (CNT, 2017), no Brasil os maiores volumes de investimento público em infraestrutura de transporte são destinados a rodovias. Reforçando a necessidade de se realizar uma análise do melhor custo-benefício das opções disponíveis na definição de qual tipo de pavimento é o mais adequado a cada caso.

2.5 Técnica ACV e suas características

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é uma técnica que pode ser usada para analisar e quantificar os impactos ambientais de um produto, sistema ou processo, segundo (COMMITTEE, 2006). Esta técnica possibilita uma abordagem ampla para avaliação dos possíveis impactos ambientais que possam ocorrer na fabricação de um produto ou processo, através da análise de todas as entradas e saídas ao longo do ciclo de vida, da produção da matéria-prima até o fim da vida útil. Desta maneira é possível identificar onde os impactos mais relevantes ocorrem e onde as melhorias mais significativas podem ser feitas.

De acordo com (SOUZA, 2017) a ACV é regulamentada internacionalmente pelas normas ISO 14040 (1997) e ISO 14044 (1997), que no Brasil são chamadas NBR ISO 14040 (2001) e NBR ISO 14044 (2001), respectivamente.



SEFIC2018
UNILASALLE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A
REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

22 A 27
DE OUTUBRO

A avaliação do ciclo de vida é composta por quatro fases, segundo (SAVIETTO, 2017), devem constar a definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados.

Definição de objetivo e escopo

Nesta etapa, o objetivo e o escopo devem ser definidos, bem como sua aplicação pretendida, as suas razões e o público-alvo. O escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido.

Análise do inventário

A análise do inventário consiste na coleta de dados e cálculos para quantificação das entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Podem ser feitas interpretações destes dados, os quais são a entrada para avaliação do impacto do ciclo de vida.

Avaliação de impacto

Esta fase é dedicada à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. O nível de detalhamento a escolha dos impactos a serem avaliados e as metodologias utilizadas dependem do objetivo e do escopo do estudo.

Interpretação

A etapa de interpretação é a fase da ACV onde as constatações da avaliação de impacto são combinadas com o objetivo de alcançar conclusões e recomendações. Estes resultados da interpretação podem ser utilizados para elaboração de recomendações e conclusões para tomadores de decisão.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho a ferramenta ACV será aplicada por meio do software PavementLCA e a análise de custo de cada alternativa será elaborada através do Sistema de Custos Referencias de Obras (SICRO 2) do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT).

Para o desenvolvimento do estudo de Avaliação de Ciclo de Vida existe a possibilidade de utilização de dados reais de pavimentação ou ser baseado em dados de um projeto hipotético. O presente estudo propõe-se a utilizar dados reais de pavimentação referente ao trecho da construção da pista nova da duplicação da BR-163/364/MT.



SEFIC2018
UNILASALLE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A
REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

22 A 27
DE OUTUBRO

Serão avaliadas duas alternativas de pavimentos, a alternativa inicialmente proposta de pavimento flexível e a alternativa executada de pavimento rígido. Para ambas alternativas será adotado o mesmo período de análise. Em função deste período serão definidos os serviços necessários para a manutenção de cada uma das alternativas de pavimento, bem como seus respectivos quantitativos calculados.

Com estas informações será aplicada a ferramenta de ACV, para cada uma das alternativas de pavimento, onde será calculado e quantificado cada um dos possíveis impactos selecionados para análise. Com os resultados obtidos é efetuada uma análise comparativa, onde se verifica qual alternativa gera um menor grau de possíveis impactos ambientais, dentre os selecionados para análise.

A próxima etapa, após a ACV é a utilização do Sistema de Custos Referencias de Obras (SICRO 2) para o cálculo dos custos totais de cada alternativa, considerando-se os custos relativos a construção e manutenção, analisando os resultados obtidos.

Com os resultados de cada uma das etapas, é realizado uma análise para a verificação quanto a vantagem da melhor alternativa técnico-econômica frente ao impacto ambiental gerado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho trata de um projeto do Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais da Universidade La Salle/Canoas-RS e, portanto, ainda não dispõe de resultados. Entretendo conforme literatura pesquisada, o pavimento rígido deva apresentar um maior custo inicial e menor ao longo do tempo, bem como produzir um impacto ambiental menor.

REFERÊNCIAS

CARLOS, Luiz; MOLION, Baldicero. A QUE CIMENTO GLOBAL: UMA VISÃO CRÍTICA. [s. l.], 2008.

CIRINO, MM; SOUZA, AR. High school students' discourse on the " ozone layer". **Ciência & Educação (Bauru)**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 115–134, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132008000100008&script=sci_arttext>

CNT. Por que os pavimentos das rodovias do brasil não duram? [s. l.], 2017.

COMMITTEE, Technical. Pavement Life Cycle Assessment Workshop. **Transportation**, [s. l.], n. May, p. 25–39, 2006. Disponível em: <<http://www.uest.gr/suscon/Progress-Results/progress-results.html>>

DNIT, -Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de custos de infraestrutura de transportes. [s. l.], v. 10, 2017.



SEFIC2018
UNILASALLE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A
REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

22 A 27
DE OUTUBRO

FRANCISCO, Ana. Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis. [s. l.], 2012.

SAVIETTO, Júlia Panzarin. **Análise de Impactos Ambientais da Restauração de Pavimentos Asfálticos pela Avaliação do Ciclo de Vida.** 2017. [s. l.], 2017.

SOUZA, Luciana D. E. Paula. **Uso Integrado das Ferramentas de Análise do Ciclo de Vida e de Análise do Custo do Ciclo de Vida em Pavimentação.** 2017. [s. l.], 2017.

WIELINSKI, Jason; HAND, Adam; RAUSCH, David Michael. Annual Meeting of the Transportation Research Board Submission date: 8-1-2008. [s. l.], v. 3, p. 1–18, 2009.

WENZEL, H; HAUSCHILD, M. Z.; ALTING, L. Environmental Assessment of Products. Volume 1, Kluwer Academic Publishers. 1997.