

UNIVERSIDADE BRASIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, CAMPUS DESCALVADO

LUIS FELIPE PIRES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS TIPOS DE
PAVIMENTO: FLEXÍVEL E RÍGIDO**

**COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN TWO TYPES OF
PAVEMENT: FLEXIBLE AND RIGID**

DESCALVADO/SP
NOVEMBRO/ 2016

LUIS FELIPE PIRES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS TIPOS DE
PAVIMENTOS: FLEXÍVEL E RÍGIDOS**

Orientadora: Profa. Ma. Cristiane Maria Roque Vazquez

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de
Graduação em Engenharia Civil da Universidade
Brasil, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

**DESCALVADO
NOVEMBRO/ 2016**

LUIS FELIPE PIRES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS TIPOS DE
PAVIMENTOS: FLEXÍVEL E RÍGIDOS**

Trabalho de Conclusão apresentado como exigência para obtenção de título de Bacharel em engenharia Civil, a Universidade Brasil, desenvolvido sob a orientação da Profa. Ma. Cristiane Maria Roque Vasquez.

Aprovado em ___/____ de 2016.

Com Nota _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Ma. Cristiane Maria Roque Vasquez

Prof. Convidado (nome)

Prof. Convidado (nome)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele não seria possível alcançar esse objetivo. Aos meus pais, minha irmã, minha namorada e meus familiares, que me apoiaram em todas as fases de minha jornada, sendo esta uma conquista dedicada a todos nós.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, e também a todos aqueles que de alguma forma auxiliaram na conclusão deste trabalho, seja através da orientação técnica, ou através do apoio, do incentivo e da amizade.

Agradeço a minha família, aos meus pais, Fatima e Valmir, pelo apoio, oportunidade de estudar, pelo amor e ensinamentos. A minha irmã, Maria Fernanda, e minha namorada Helene pelo amor, apoio e confiança. Esta conquista é de todos vocês.

Agradeço também aos meus amigos que estiveram comigo nessa jornada, sempre ajudando e incentivando. E também a todos os professores que contribuíram com paciência e dedicação no decorrer desses longos anos, em especial a minha orientadora Cristiane Vazquez pela paciência e importante ajuda no desenvolvimento do trabalho, e também à coordenadora do curso Gisele Martins.

RESUMO

Atualmente a malha rodoviária do país é muito precária. Tal fato se deve, principalmente, à falsa premissa que os pavimentos com custos iniciais menores são financeiramente mais vantajosos. É o caso do pavimento flexível que tem domínio absoluto sobre as rodovias brasileiras. Porém, esse tipo de pavimento ao longo do tempo torna a malha rodoviária muito vulnerável, devido as condições ambientais e o aumento do volume de tráfego e carga, necessitando de constantes intervenções para manutenção. De maneira contrária, o pavimento rígido é conhecido por sua grande durabilidade e baixíssima necessidade de manutenção. Esse menor índice de manutenção e maior vida útil pode assim, diluir o ônus do maior investimento inicial para implantação do pavimento rígido. O presente estudo teve como objetivo principal fazer uma análise comparativa entre o pavimento flexível e o pavimento rígido mostrando suas vantagens e desvantagens.

Palavras-chave: vantagens, desvantagens

ABSTRACT

Currently the country's road network is very precarious. This is due mainly to the false premise that the floors with lower initial costs are more financially advantageous. This is the case of the flexible pavement that has absolute control on Brazilian highways. However, this type of flooring over time makes the fabric highly vulnerable road due to environmental conditions and increased traffic volume and load, requiring constant maintenance interventions. Conversely, the rigid pavement is known for its durability and very low maintenance. This lower maintenance rate and longer life can thus dilute the burden of higher initial investment for deployment of rigid pavement. This study aimed to make a comparative analysis between the flexible pavement and rigid pavement showing its advantages and disadvantages.

Keywords: advantage, disadvantage

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Pavimentos de Concreto Simples | 18 |
| Figura 2 – Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados | 19 |
| Figura 3 – Pavimentos de Concreto Reforçados com Armadura Distribuída Continua | 20 |
| Figura 4 – Análise Econômica | 33 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Análise Comparativa | 34 |
|--------------------------------------|----|

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Tipos de Cimentos Portlands | 26 |
|--|----|

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABPv | Associação Brasileira de Pavimentação |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte |
| IPR | Instituto de Pesquisas Rodoviárias |
| NBR | Norma Brasileira |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 11 |
| Justificativa da Pesquisa..... | 11 |
| Objetivos da Pesquisa..... | 12 |
| Metodologia..... | 12 |
| | |
| Capítulo 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 1.1 Histórico sobre a pavimentação no Brasil..... | 14 |
| 1.2 Conceitos de Pavimentos..... | 15 |
| 1.3 Classificação dos Pavimentos..... | 16 |
| 1.3.1 Pavimento Flexível..... | 16 |
| 1.3.2 Pavimento Rígido..... | 16 |
| 1.3.3 Pavimento Semi-rígido..... | 16 |
| 1.4. Características Gerais dos Pavimentos..... | 16 |
| 1.4.1 Pavimento Flexível..... | 16 |
| 1.4.2 Pavimento Rígido..... | 17 |
| 1.5. Tipos de Pavimentos Rígidos..... | 17 |
| 1.5.1 Pavimento de Concreto Simples..... | 18 |
| 1.5.2 Pavimento de Concreto Estruturalmente Armados..... | 19 |
| 1.5.3 Pavimento de Concreto Reforçado com Armadura Distribuída Continua..... | 19 |
| 1.6. Solo..... | 20 |
| 1.6.1 Subleito..... | 21 |
| 1.6.2 Reforço do Subleito..... | 21 |
| 1.6.3 Bases e Sub-bases..... | 21 |
| 1.6.4 Revestimentos..... | 21 |
| 1.6.5 Classificação dos Revestimentos..... | 22 |
| 1.6.5.1 Revestimentos Flexível..... | 22 |
| 1.6.5.1 Revestimentos Rígido..... | 23 |
| 1.7. Materiais Utilizados na Construção de Pavimentos..... | 23 |
| 1.7.1 Pavimentos Flexíveis..... | 24 |
| 1.7.1.1 Betumes..... | 24 |
| 1.7.1.2 Agregados..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 1.7.2 Pavimentos Rígidos..... | 25 |
| 1.7.2.1 Agregados..... | 25 |
| 1.7.2.2 Cimento Portland..... | 26 |
| 1.7.2.3 Água..... | 27 |
| 1.7.2.4 Aditivos..... | 28 |
| 1.7.2.5 Selantes e Juntas..... | 28 |
| 1.7.2.6 Aços..... | 29 |
| 1.8. Utilização dos Pavimentos..... | 30 |
| 1.9. Fatores para Escolha do Pavimento..... | 30 |
| | |
| Capítulo 2. ANÁLISE COMPARATIVA..... | 31 |
| 2.1. Comparativo entre os tipos de Pavimentos..... | 31 |
| 2.2. Análise quanto a Estrutura..... | 31 |
| 2.3. Análise quanto aos Materiais..... | 32 |
| 2.4. Análise quanto ao Desempenho..... | 32 |
| 2.5. Análise em relação ao Custo..... | 33 |
| 2.6. Comparativo..... | 35 |
| | |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 37 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |

INTRODUÇÃO

Pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre um semi espaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação) a qual é designada de subleito (Manual do DNIT, 2006).

A partir disso, ele é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo (SANTANA, 1993).

Atualmente, os tipos de pavimentos mais utilizados em território nacional é o pavimento flexível e rígido. Porém, o pavimento flexível está presente em maior escala na malha rodoviária brasileira. Ambos têm características e propriedades diferentes (BERNUCCI et al. 2010).

Dentre estas características, nota-se que os pavimentos flexíveis são aqueles que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Em contra partida, os pavimentos rígidos possuem revestimento com uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (DNIT, 2006).

JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Os sistemas de transportes são elementos estruturantes da vida econômica e social dos países. São eles que proporcionam os deslocamentos de cargas e de passageiros, realizados pelos mais distintos modos de transporte. Ao analisar o sistema viário brasileiro, observa-se uma forte demanda ao uso do modal rodoviário. Essa característica faz com que a infraestrutura das estradas assuma papel fundamental na mobilidade em nosso país, sendo a responsável, por suportar e dar uma condição segura para os usuários.

Com o atual crescimento do volume de tráfego, é de suma importância que os pavimentos sejam construídos com estruturas capazes de suportar os inúmeros e diversos esforços solicitantes produzidos. Esses investimentos nas rodovias se tornaram fundamentais para o crescimento econômico do país. Porém, inúmeros fatores devem ser levados em

consideração, sendo eles, custo, durabilidade, manutenção do pavimento qualidade de rolagem entre outros.

Os investimentos realizados para construção de pavimentos melhores serão recompensados por benefícios como a redução do custo de transporte, a diminuição do tempo de viagem, a diminuição do consumo de combustível, o aumento do conforto e da segurança, a redução do índice de acidentes e a redução das despesas geradas por manutenção e conservação (Pinto e Preussler et al., 2001).

OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo geral:

O objetivo principal dessa pesquisa é fazer uma análise comparativa em relação à utilização de pavimentos flexíveis e de pavimentos rígidos, levando em consideração o território brasileiro, e avaliar a viabilidade econômica e técnica da utilização desses pavimentos na construção de novas rodovias.

Objetivos específicos:

Analisar as vantagens e desvantagens dos pavimentos flexíveis e rígidos, através das particularidades de cada tipo, avaliando os seguintes pontos:

- Estruturas: formação estrutural do pavimento e resistência aos esforços proveniente ao tráfego;
- Materiais: solo e agregados constituintes dos pavimentos;
- Desempenhos: durabilidade e eficácia;
- Custos: implantação e manutenção.

METODOLOGIA

Essa pesquisa bibliográfica busca discutir o tema proposto com base nas referências utilizadas para elaboração da pesquisa, analisando e comparando os tipos de pavimentos, desde sua estrutura até seu custo final de implantação.

O trabalho é composto de quatro capítulos, organizados de forma sistemática buscando uma melhor compreensão do estudo desenvolvido.

No primeiro capítulo é apresentada a introdução, o tema da pesquisa, a justificativa, e os objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, que aborda os assuntos relacionados ao tema da pesquisa.

No terceiro capítulo é descrita a análise comparativa sobre o tema em questão.

O quarto e último capítulo dizem respeito às considerações finais, onde são apresentadas as conclusões do trabalho.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas para o desenvolvimento desse trabalho.

CAPITULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 HISTÓRICO SOBRE A PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

Desconsiderando os caminhos de carroça que ligavam cidades e vilas brasileiras no século XVI, somente em 1861 com a inauguração da estrada União Indústria, que a história do sistema rodoviário nacional teve início. Porém, mesmo depois a união indústria e até alguns anos após a criação do DNER , em 1937, a história da malha rodoviária brasileira continuava sem ter muito oque dizer, (DNIT, 2005).

Em 1905 foi aprovada a primeira lei a conceder auxilio federal para a construção de estradas. Porém, somente a partir de 1920, um órgão publico, a Inspeção Federal de Obras contra as Secas, passou a administrar a implementação de novas rodovias. Ainda assim sendo somente no Nordeste, e sem ter uma finalidade especificamente rodoviária. Neste quesito, o estado de São Paulo saiu a frente, quando criou em 1926, a Diretoria de Estradas de Rodagem que, posteriormente em 1934, resultou no Departamento de Estradas de Rodagem, o primeiro órgão rodoviário brasileiro com autonomia técnica e administrativa, (DNIT, 2005).

Após um ano da criação da Diretoria de Estradas de Rodagem, o governo federal, fundou a Comissão de Estradas de Rodagem Federais, uma espécie de ancestral do DNER. Com um fundo especial de financiamento, obtido sobre taxas nos impostos sobre gasolina, veículos e acessórios. Na época foram construídas importantes obras, como a Rio-Petrópolis e a parte fluminense da primeira ligação entre Rio de Janeiro e São Paulo, (DNIT, 2005).

Essa Comissão foi extinta em 1931, e em 1932, o Fundo Especial passa a ser incorporado ao Orçamento da União. Somente em 1937 foi criado o DNER, porém ainda não era uma autarquia, não possuía recursos próprios e suas atividades eram desvinculadas dos sistemas rodoviários estaduais e municipais, (DNIT, 2005).

Dessa forma, o Brasil chegava aos meados da década de 40 com apenas 423 km de rodovias pavimentadas, entre federais e estaduais. Mas, a situação pela qual o sistema rodoviário havia sido relegado no âmbito federal não poderia se sustentar por mais tempo. Assim, em 27 de dezembro de 1945, o então ministro da Viação e Obras Públicas, Maurício Joppert da Silva, levava à sanção do presidente José Linhares o Decreto-lei 8.463, que conferia autonomia técnica e financeira ao DNER. Era a Lei Joppert, a Lei Áurea das rodovias brasileiras, que criava também o Fundo Rodoviário Nacional, (DNIT, 2005).

1.2 CONCEITOS DE PAVIMENTOS

Pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem, destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

O pavimento de uma rodovia é uma superestrutura constituída de um sistema de camadas de espessura finita, assentes sobre uma camada teoricamente finita, a qual é designada de subleito, (DNIT, 2006).

As funções dos pavimentos são: apresentar uma superfície mais regular, onde haja melhor conforto para passagem do veículo, uma superfície mais aderente, com mais segurança para pista úmida ou molhada e uma superfície menos ruidosa, com menor desgaste ambiental nas vias urbanas e rurais, (BALBO, 2007).

Ainda segundo Balbo (2007), o pavimento deve proporcionar a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular, mais aderente e menos ruidosa, garantindo assim melhor conforto no deslocamento do veículo, mais segurança em condições de umidade e melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais.

Pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos pelo ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo, (SANTANA, 1993).

O Pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações, (SOUZA, 1980).

Pavimento é uma estrutura formada por múltiplas camadas capazes de suportar a ação danosa do tráfego e do meio ambiente. O desempenho de um pavimento é condicionado por um complexo conjunto de fatores, dentre eles as propriedades físicas e mecânicas das camadas que a constituem, (SPECHT, 2004).

1.3 CLASSIFICAÇÕES DOS PAVIMENTOS

Os pavimentos são classificados tradicionalmente em três tipos, sendo eles: rígidos, semi rígidos e flexíveis, (BERNUCCI et al. 2006).

1.3.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

É o tipo de pavimento que sofre uma deformação elástica significativa em todas as suas camadas quando submetido a um esforço. Um exemplo típico é o pavimento constituído por uma camada asfáltica assente sobre uma camada de base de brita graduada, assente sobre um subleito construído, (BERNUCCI et al. 2006).

1.3.2 PAVIMENTO RÍGIDO

É aquele que se caracteriza por ter uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores, deste modo, ele acaba por absorver praticamente todas as tensões provenientes do esforço aplicado, como exemplo, podemos adotar pavimentos constituídos por placas de cimento Portland, (BERNUCCI et al. 2006).

1.3.3 PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO

Se caracteriza em uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, ou seja uma camada de solo cimento revestido por uma camada asfáltica, (BERNUCCI et al. 2006).

Neste trabalho serão tratados apenas os pavimentos flexíveis e rígidos.

1.4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PAVIMENTOS:

1.4.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

Segundo Balbo (2007), para construir um pavimento flexível, utilizasse os betumes, uma mistura líquida que possui alta viscosidade, de ocorrência natural ou artificial, são empregados na grande maioria dos revestimentos asfálticos, e ocasionalmente em outras camadas como ligantes que são divididos, entre alcatões derivados da destilação do carvão e

asfalto derivado do petróleo, ainda existem asfaltos provenientes de depósitos lacustres ou rochas, podendo também serem utilizados na pavimentação.

A estrutura do pavimento flexível, é concebida para atender as solicitações dos esforços e aliviar as pressões sobre as demais camadas, que normalmente são de menor resistência. Para haver um funcionamento adequado, todas as camadas que formam o conjunto, devem trabalhar deformações que sejam compatíveis com sua capacidade e natureza, de modo a não causar rupturas e danos ao pavimento, (BALBO 2007).

O pavimento flexível possui as seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço, reforço do subleito e subleito. As camadas devem se interligar, com a função de garantir a uniformidade do comportamento do pavimento, (BALBO 2007).

1.4.2 PAVIMENTO RÍGIDO

Para pavimentos rígidos e semi-rígidos também podem se fazer o uso de aglomerantes ou cimentados hidráulicos que podem ser cal, cimentos naturais, cimento Portland, cimentos de endurecimento rápido, pozolanas entre outros, que podem ser utilizados de acordo com o projeto ou disponibilidade local, (BALBO 2007).

Conforme Mesquita (2001), a utilização de concreto na pavimentação está se tornando cada vez mais comum, devido as suas vantagens para o tráfego pesado e intenso. O concreto oferece maior aderência dos pneus em relação ao asfalto, diminuindo a possibilidade de acidentes, além de ser impermeável, impedindo assim a infiltração de água e formação de buracos na estrutura.

A estrutura desse tipo de pavimento apresenta sub-base, reforço do subleito, subleito e por fim placas de concreto com juntas transversais e longitudinais, cuja função é a transferência de carga de uma para outra.

1.5 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Os pavimentos de concreto são dimensionados de acordo com estudo realizado para prever os esforços, que os mesmos irão ser submetidos. Dessa forma o revestimento de concreto pode ser dimensionados e classificados em três principais tipos, sendo cada um deles, com uma função e resistência diferente.

1.5.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES

Trata-se do pavimento no qual os esforços atuantes são resistidos apenas pelo concreto, sem a presença de armadura. Apresenta espessuras elevadas, para correção da deficiência do concreto em relação à sua baixa resistência à tração, (PITTA, 1989).

A utilização desse pavimento, apesar da maior facilidade na execução, é indicada para áreas com grandes necessidades de suporte de carga, onde não haja restrição ao grande número de juntas.

Dessa forma é muito aplicado na construção de rodovias, onde a magnitude das cargas e a espessura determinada ajustam-se economicamente.

A estrutura desse pavimento é constituída, de placas de concreto de pequenas dimensões, e ficam apoiadas sobre a fundação ou subleito. Esse tipo de pavimentação recebe juntas de dilatação, para indução de fissuração em pontos específicos, combatendo a retração, dilatação térmica e o empenamento das placas.

Entre as placas de concreto, para evitar patologias nas áreas das juntas, são utilizadas, barras de transferência, que trabalham como armadura, sendo utilizadas para transferir os esforços entre as placas. A figura 1 mostra a estrutura do pavimento de concreto simples.

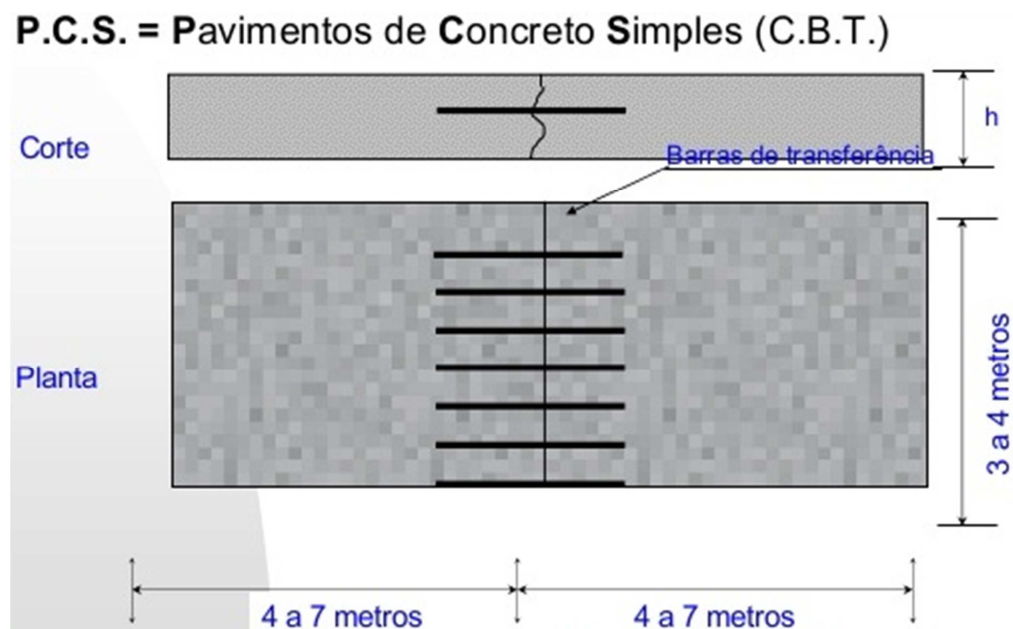


Figura 1: Pavimentos de Concreto Simples

Fonte: (DNER, 2008)

1.5.2 PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO

Em relação aos pavimentos de concreto armado, quando comparados aos pavimentos de concreto simples, eles apresentam grandes vantagens, como menor espessura das placas, maior comprimento e redução do número de juntas.

Esse sistema é caracterizado por possuir duas armaduras, a positiva, que fica na parte inferior da placa, cuja função é combater os esforços de tração gerados pelos carregamentos, e armadura no terço superior das placas, responsável por controlar as fissuras causadas por retração hidráulica. Ainda é composto por barras de transferência, localizadas nas juntas, para fins estruturais, devido às dimensões das placas. A figura 2 mostra a estrutura dos pavimentos de concreto estruturalmente armado.

P.C.R. = Pavimentos de Concreto Estruturalmente armados (P.C.E.A.)

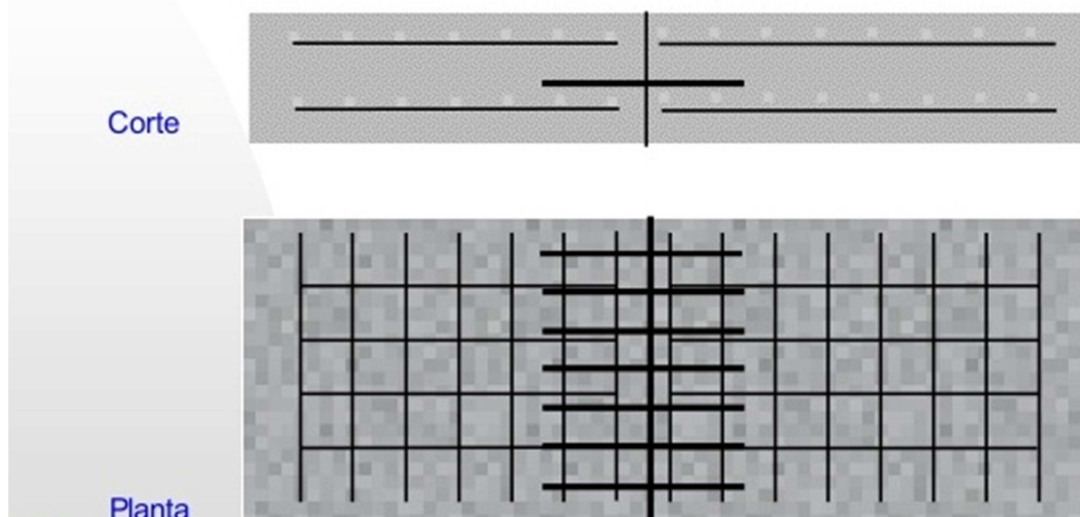


Figura 2: Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados

Fonte: (DNER, 2008)

1.5.3 PAVIMENTO DE CONCRETO REFORÇADO COM ARMADURA DISTRIBUÍDA CONTINUA

Esse tipo de pavimento é composto por placas de concreto e uma malha metálica, localizada no terço superior da altura, com o objetivo de impedir a fissuração causada por

secagem do concreto devido às variações de temperatura. Além de controlar a fissuração a armadura também participa como estrutura nesse sistema.

Segundo Dal Maso (2008), as malhas compostas por fios de diâmetro reduzido possuem pequena rigidez e não combatem com eficiência a fissuração das placas de concreto causada pelo processo de retração hidráulica. A redução e a eliminação das trincas e fissuras, podem ser alcançadas com a utilização de barras com maiores bitolas, espaçamento adequado entre os fios e dosagem adequada do concreto. A figura 3 mostra a estrutura do pavimento de concreto simples.

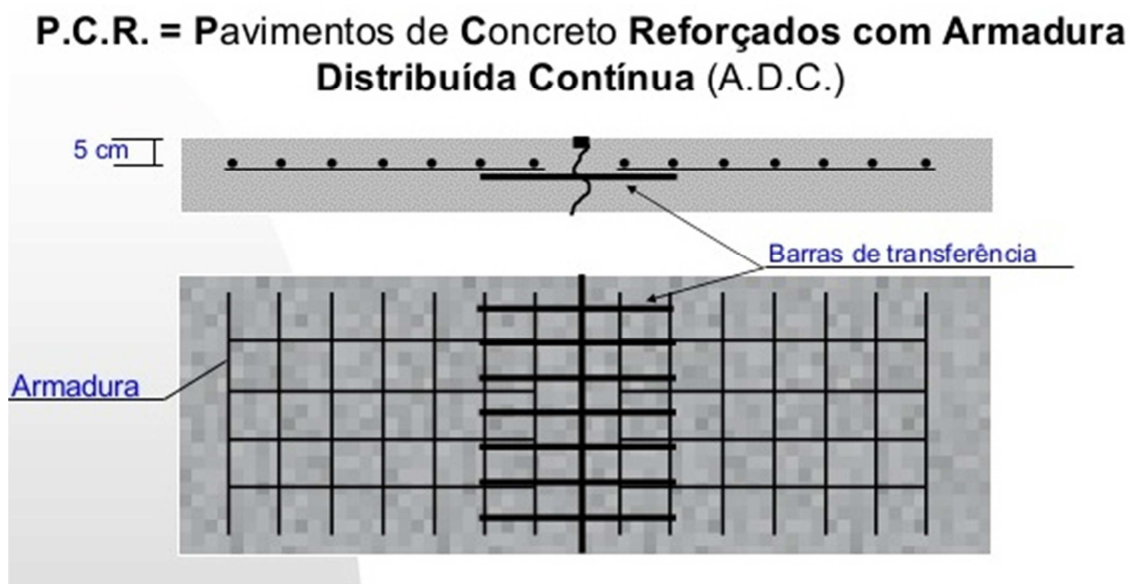


Figura 3: Pavimentos de Concreto Reforçado com Armadura Distribuída Contínua.

Fonte: Departamento de Estradas de Rodagem – PR, 2008

1.6 SOLO

Quando se fala de pavimentação, o solo é um item fundamental, tanto do ponto de vista de análise de projeto, quanto do ponto de vista de análise de materiais, sua importância é considerada, pois é ele que vai suportar as cargas provenientes do tráfego. Além disso, os solos podem ser empregados na construção de bases e sub-bases, sendo essas que constituem as demais camadas do pavimento. Por isso é necessário que seja feito um estudo adequado dos solos que irão ser empregados na obra para qualquer análise relacionada à pavimentação, (BALBO, 2007).

No caso do pavimento flexível, suas camadas têm uma relação complexa, na qual a função, ou funções, de cada é interligada com as demais garantindo a uniformidade do

comportamento do pavimento. Essas camadas são compostas por o Subleito, o Reforço de Subleito, Sub-base, Base e Revestimento, porém, algumas camadas podem ser desconsideradas dependendo do caso, (BALBO, 2007).

A estruturação do pavimento rígido é mais simples em relação ao flexível, tendo em vista, que suas camadas de base e revestimento são unidades em uma única, desempenhando a mesma função. Necessitando apenas de mais uma camada de sub-base e subleito.

1.6.1 SUBLEITO

É nessa camada que os esforços impostos sobre a superfície serão aliviados. É constituída de material natural consolidado e compactado, a preocupação maior deve ficar em seus estratos superiores onde os esforços atuam com maior intensidade, (BALBO, 2007).

1.6.2 REFORÇO DO SUBLEITO

Segundo DNIT (2010), o reforço do subleito é a camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado. Sendo utilizada apenas quando for necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, que são originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito.

1.6.3 BASES E SUB-BASES

O objetivo principal dessas camadas é aliviar as pressões sobre as camadas inferiores do solo. Desta forma elas também tem um papel importante em relação a drenagem superficial dos pavimentos. Quando se utiliza a camada de base com a função de distribuir os esforços para as demais camadas, normalmente ele tem uma maior espessura. Sendo assim, do ponto de vista econômico e construtivo é recomendado o uso de uma camada de sub-base, diminuindo assim o custo de execução, (BALBO, 2007).

1.6.4 REVESTIMENTO

É a camada final do pavimento, conseqüentemente a de maior custo para construção, porém também é a camada de maior importância para o pavimento, haja vista que esta

interage diretamente com o tráfego, sendo responsável pela resposta aos esforços aplicados pelos veículos.

O revestimento recebe diretamente a ação dos veículos, ou seja, é a camada superior destinada a proteger as camadas inferiores da deterioração causada pela ação do tráfego e agentes climáticos, tornando-as impermeáveis (TROMBETTA, 2010).

1.6.5 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Os revestimentos são classificados conforme o tipo de pavimento em que será empregado.

1.6.5.1 REVESTIMENTO FLEXÍVEL

Os revestimentos aplicados em pavimentos flexíveis, são divididos em duas categorias sendo elas, revestimentos betuminosos, e revestimentos por calçamento (DNIT, 2005).

Revestimentos flexíveis betuminosos:

São constituídos por associação de agregados e materiais betuminosos. Esta associação pode ser feita de duas maneiras, por penetração e por mistura.

- a) Revestimento por penetração: utiliza dois tipos de penetração: utiliza dois tipos de penetração: invertida e direta.
- b) Revestimentos betuminosos por penetração invertida: são os revestimentos executados através de uma ou mais aplicações de materiais betuminosos.
- c) Revestimentos betuminosos por penetração direta: são revestimentos executados através do espelhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria apropriada. Um exemplo típico é o macadame betuminoso.
- d) Revestimento por mistura: neste revestimento o agregado é pré-envolvido com material betuminoso antes da compressão.

Seguindo seus respectivos processos construtivos, são adotados ainda as seguinte designações.

- Pré-misturado a frio – que é quando os tipos de agregados e de ligantes utilizados permitem que o espalhamento seja feito a temperatura ambiente.
- Pré- misturado a quente - quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes.

Revestimentos flexíveis por calçamento: de uma maneira geral, a sua execução se restringe a pátios de estacionamento, vias urbanas e alguns acessos viários.

- a) Alvenaria Poliédrica: são constituídas por camadas de pedras irregulares, assentadas e comprimidas sobre um colchão de regularização, constituído de material granular apropriado.
- b) Paralelepípedos: são constituídos por blocos regulares, assentes sobre um colchão de regularização formado por materiais granulares apropriados.

1.6.5.2 REVESTIMENTO RÍGIDO

O concreto de cimento, ou simplesmente “concreto”, é constituído por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, distribuídos em uma camada devidamente adensada. Essa camada funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do pavimento.

1.7 MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS

Os pavimentos como já visto, são formados por diferentes camadas, que juntas, garantem as características estruturais necessárias. Porém o que diferencia e garante as propriedades necessárias a cada uma destas camadas, além da disposição e espessura de cada uma, são principalmente os materiais constituintes das mesmas.

Senço (1997), classifica os solos dentre os materiais que compõem os pavimentos como um dos materiais mais importantes, pois, mesmo este podendo ser excluído da composição das camadas projetadas, seu papel sempre será de grande importância na atuação como subleito para a pavimentação.

A maior parte dos materiais utilizados na construção de ambos os pavimentos, possuem características semelhantes, como por exemplo, o solo e os agregados empregados. Em relação ao solo, o estudo realizado, não varia muito, sendo até em alguns casos, o mesmo para ambos. Já em relação aos agregados, o controle é mais específico, tendo em vista que cada um exige propriedades distintas, tendo em vista, que o objetivo principal é economizar o material ligante, sem diminuir as propriedades essenciais de cada um deles, (GUIMARÃES NETO, 2011).

1.7.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Seu principal material, é o aglomerante betuminoso, sendo estes, derivado do petróleo, que existe em abundancia na natureza. Ele é o responsável por fazer a ligação entre os agregados e dar consistência ao revestimento.

1.7.1.1 BETUMES

Com o objetivo de esclarecer o betume, a (ABNT, 1982) diz:

- Betume: Mistura de hidro-carbonetos de consistência sólida, líquida ou gasosa, de origem natural ou pirogênica, completamente solúvel em bissulfeto de carbono, frequentemente acompanhados de seus derivados não metálicos;
- Ligante betuminoso: Produto à base de betume com acentuadas propriedades aglomerantes;

1.7.1.2 AGREGADOS

De acordo com Senço (1997), agregados são materiais inertes, granulares, sem forma e dimensões definidas, com propriedades adequadas a compor camadas ou misturas para utilização nos mais diversos tipos de obra. Seu emprego no ponto de vista da engenharia, em especial, os serviços de pavimentação, o uso dos agregados são destinados a misturas betuminosas, concreto de cimento, bases de calçamento, lastros de obras e outros.

Conforme Pinto (1998), os materiais pétreos usados em pavimentação normalmente conhecidos sob a denominação genérica de agregados, podem ser naturais ou artificiais. Os primeiros são aqueles utilizados como se encontram na natureza, como o pedregulho e os seixos rolados, ao passo que os segundos compreendem os que necessitam de uma transformação física e química do material natural para sua utilização, como a escória e a argila expandida.

Os agregados representam a maior parcela constituinte de um pavimento, chegando a valores superiores a 90% em peso do conjunto asfalto agregado. Logo, as propriedades dos agregados utilizados nas misturas asfálticas preparadas a quente são muito importantes para o desempenho dos pavimentos (WESSELING, 2002).

DNER (1996) classifica os agregados usados em pavimentação, segundo a sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos.

Quanto à natureza das partículas:

- Agregados naturais: São constituídos de grãos oriundos da alteração das rochas pelos processos de intemperismo ou produzidos por processos de britagem: pedregulhos, seixos rolados, britas, areias, etc.
- Agregados artificiais: São aqueles em que os grãos são os produtos ou subprodutos de processo industrial por transformação física e química do material: escória de alto forno, argila calcinada, argila expandida.

Quanto ao tamanho individual dos grãos:

- Agregado graúdo: É o material retido na peneira n° 10 (2,0 mm): britas, cascalhos, seixos, etc.
- Agregado miúdo: É o material que passa na peneira n° 10 (2,0 mm) e fica retido na peneira n° 200 (0,075 mm): pó-de-pedra, areia, etc.
- Agregado de enchimento ou material de enchimento: É o que passa pelo menos 65% na peneira n° 200 (0,075 mm): cal extinta, cimento Portland, pó de chaminé, etc.

Quanto à distribuição ou graduação dos grãos:

- Agregado de graduação densa: é aquele que apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, com quantidade de material fino, suficiente para preencher os vazios entre as partículas maiores.
- Agregado de graduação aberta: É aquele que apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, com insuficiência de material fino, para preencher os vazios entre as partículas maiores.
- Agregado tipo macadame: É aquele que possui partículas de um único tamanho, trata-se, portanto, de um agregado de granulometria uniforme onde o diâmetro máximo é, aproximadamente, o dobro do diâmetro mínimo.

1.7.2 PAVIMENTOS RÍGIDOS

DNIT 2005 destaca os agregados, o cimento Portland, a água, os aditivos e os selantes e juntas, como os materiais mais relevantes, pois todos tem o objetivo de assegurar a qualidade do pavimento. É importante acrescentar, no entanto, o aço que tem fundamental importância em alguns pavimentos rígidos dependendo do projeto.

1.7.2.1 AGREGADOS

A principal diferença entre os agregados utilizados nos pavimentos rígidos, é a rigorosidade em sua seleção, devido as exigências para aplicação.

Dessa forma, a escolha para utilização desses agregados é criteriosa e necessita da realização de diversos ensaios laboratoriais e empíricos para garantir a resistência à tração, fadiga e fissuração, a durabilidade perante as intempéries, as variações volumétricas, dentre outras características.

Essa preocupação com a escolha do material ocorre muito, devido ao fato de que há a necessidade, de que sejam preenchidos todos os espaços vazios, para que possam ser alcançados melhores resultados e desempenho.

1.7.2.2 CIMENTO PORTLAND

Atualmente são fabricado tipos diferentes de cimento, porém, para utilização em pavimentos rígidos apenas é utilizado o Cimento Portland.

A (ASTM, 2005) define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. O clínquer possui um diâmetro médio entre 5 a 25 mm.

O cimento Portland, tem várias classificações, para cada tipo existem características importantes, como resistência, tempo de endurecimento e reatividade. Para a Pavimentação, os mais indicados são os Cimentos Portland Comum, Composto, de Alto Forno e Pozolânico.

A tabela 1 classifica os tipos de Cimento Portland.

| Tipo | Denominação | Tipo Específico | Característica |
|-------------|---|------------------------|--------------------------------------|
| CPI | Cimento Portland Comum | CPI | Sem adição |
| | | CPI – S | Com adição de materiais carbonáticos |
| CPII | Cimento Portland Composto | CPII – E | Com adição de escória |
| | | CPII – Z | Com adição de materiais pozolânicos |
| | | CPII – F | Com adição de materiais carbonáticos |
| CPIII | Cimento Portland de Alto Forno | --- | --- |
| CPIV | Cimento Portland Pozolânico | --- | --- |
| CPV | Cimento Portland de Alto Desempenho Inicial (ARI) | --- | --- |
| CPB | Cimento Portland Branco Estrutural | --- | --- |
| --- | Cimento Portland Resistente aos Sulfatos | --- | --- |
| --- | Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação | --- | --- |

Tabela 1: Tipos de Cimento Portland

Fonte: DNIT, 2005

1.7.2.3 ÁGUA

Para se obter um concreto de boa qualidade, a água utilizada para o amassamento e cura, precisa ter um controle relevante à presença ou não de impurezas, acidez, e com a dosagem correta na mistura.

A classificação da água presente na pasta de cimento hidratada é baseada no grau de dificuldade ou de facilidade com que pode ser removida. São elas, na ordem crescente de dificuldade de remoção:

- Água capilar ou água livre (presente nos vazios maiores);
- Água adsorvida (que se encontra próxima à superfície do agregado, sob influência das forças de atração dos sólidos da pasta de cimento hidratada);
- Água Inter lamelar (associada com a estrutura do C-S-H);

- Água quimicamente combinada (aquela que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento).

1.7.2.4 ADITIVOS

Segundo DNIT (2005), aditivo é “toda substância não plenamente indispensável à composição ou à finalidade do concreto em si, mas que, quando nele colocada em pequenas quantidades, antes ou durante a mistura, gera ou reforça certas características do concreto, quer no estado plástico, como no endurecido”.

Conforme DNIT (2005), a utilização de aditivos tem como justificativa as necessidades específicas de cada cenário de utilização do concreto, tem a função de garantir as características que suprem essas necessidades para melhor execução possível da estrutura. Dentre as características que os aditivos garantem ao concreto podendo ser geradas ou reforçadas destacam-se as:

- a) Melhor trabalhabilidade;
- b) Aceleração ou retardamento do tempo de pega;
- c) Redução da permeabilidade;
- d) Aceleração do ganho de resistência inicial;
- e) Resistência às intempéries;
- f) Retardação ou diminuição do calor de hidratação;
- g) Desenvolvimento de características específicas como germicidas, fungicidas ou inseticidas

1.7.2.5 SELANTES E JUNTAS

O pavimento de concreto esta sujeito ao aparecimento de fissuras transversais e longitudinais, que podem ocorrer devido a retração volumétrica do concreto, durante a passagem do estado plástico para o estado de endurecimento. A retração térmica também é uma causa de fissuração. Para minimizar essas fissuras são realizadas cortes, chamados de juntas, ao longo do pavimento.

Calda (2007) afirma que as juntas em um pavimento de concreto são o elo mais frágil do sistema, onde manifestações patológicas de natureza estrutural se dão de forma prematura, devido principalmente a variações volumétricas no concreto (dilatação térmica e efeito da penetração da água na estrutura), esforços assimétricos e combinação de efeitos de

empenamento. Por se tratar de um sistema tão suscetível a patologias, a correta escolha do tipo de junta e a execução correta de seu dimensionamento são de fundamental importância para um projeto de um pavimento.

As juntas podem ser definidas como espaçamentos entre placas de concreto. Sua principal função é evitar a presença de esforços no interior da estrutura, fazendo com que o tempo de vida útil do concreto seja prolongado, e evitar possíveis defeitos estruturais que possam vir a representar riscos à integridade do pavimento.

Para que possa ser realizado de maneira segura ao pavimento, é necessária a utilização dos selantes nos espaçamentos das juntas para garantir a não penetração de impurezas ou água na estrutura do pavimento que podem vir a agredir a integridade da mesma.

Um selante está constantemente sobre o efeito dos esforços de dilatação, ou seja, sobre compressão ou tração, e suas características são a fluidez, elasticidade, coesão, resistência à fissura e período de cura propícia ao seu uso (DNIT, 2005).

1.7.2.6 AÇOS

O Motivo da utilização do aço em conjunto com o concreto, deve-se pelo fato, de que cada um possui características de resistência opostas. O concreto tem entre suas características a resistência à compressão, enquanto o aço resiste a tração, completando assim a necessidades do pavimento.

Apesar da maior parcela dos esforços que são imposto sobre o pavimento serem de compressão, as forças de tração também devem ser consideradas, tornando assim, com que seja necessária a utilização do aço em determinadas situações.

Barras de transferência: são utilizadas em pavimentos de concreto, em todas as juntas das placas quando é necessário transmitir as cargas verticais de uma placa para outra. Elas permitem os movimentos horizontais de expansão e retração, provocados pela variação de temperatura.

As barras de transferências são posicionadas nas juntas transversais, fazendo com que as cargas aplicadas sobre a placa tenham seus efeitos aliviados nas barras de transferência de cargas que deslocam parte do esforço para a placa subsequente, fazendo as placas trabalharem em conjunto (BALBO, 2012).

Armadura: é responsável pelo controle das fissuras e combater os esforços de tração gerados pelos carregamentos.

A Armadura de retração permite que sejam executadas placas de maior comprimento sem que a armadura combata esforços de tração, (BALBO, 2012).

1.8 UTILIZAÇÕES DOS PAVIMENTOS

Os pavimentos flexíveis seriam indicados em solos com maior resistência, que atendam as necessidades do tráfego, eliminando assim, que seja necessário fazer o reforço nas camadas de subleito, tornando-o mais simples (GUIMARÃES NETO, 2011).

O pavimento rígido se mostra mais indicado para os solos com menor capacidade de suporte, onde seria assim necessária a realização de reforço e regularização do subleito, para que atendam as condições de suporte de uma rodovia. Serviços esses que podem ser minimizados, com a adoção de uma estrutura estável, como é o caso do pavimento de concreto simples (GUIMARÃES NETO, 2011)

1.9 FATORES PARA ESCOLHA DO PAVIMENTO

Para realizar, e projetar uma via pavimentada, devem ser levados em consideração diversos fatores, que podem interferir na escolha do pavimento, sendo eles:

- Características e condições do solo de subleito;
- Materiais de construção disponíveis a distâncias de transporte economicamente viáveis;
- Tráfego esperado (magnitudes e frequências)
- Práticas construtivas locais e experiência e habilidade das empresas de construção;
- Condições climáticas (pluviometria e oscilações térmicas);

CAPITULO 2 – ANÁLISE COMPARATIVA

2.1 COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS PAVIMENTOS

Com base no levantamento bibliográfico, e nas comparações feitas entre os dois pavimentos verificam-se que os dois tipos de pavimento atendem as características de segurança, de conforto e de economia.

O comparativo entre os pavimentos trata-se apenas de mostrar as vantagens e desvantagens, e as diferenças, através das particularidades de cada um dos tipos, a análise será feita em relação à estrutura, aos materiais empregados, ao desempenho e o custo de cada um dos tipos.

2.2 ANÁLISE QUANTO À ESTRUTURA

A estrutura de um pavimento é projetada, com a finalidade de resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos, e repassa-los as demais camadas constituintes, sem que ocorra nenhum tipo de dano, a ele ou à estrutura.

De forma geral, o pavimento flexível apresenta uma estrutura mais complexa, composta de mais camadas, devido, ao fato do seu revestimento transmitir a as cargas para a estrutura, dependendo assim de uma interação entre as camadas. Em contra partida, os pavimentos rígidos, por terem um revestimento que funciona como estrutura, distribuindo os esforços impostos sobre a estrutura, exige menos de sua fundação, economizando em custo como o reforço do subleito e base, camadas essas, necessárias na pavimentação flexível.

Deve-se observar que, inicialmente, todo pavimento é delimitado pela fundação, pois é ela que suportará as cargas. Dessa maneira desconsiderando um caso específico, e analisando apenas o aspecto estrutural, a pavimentação flexível se torna mais indicada no caso, em que os solos se apresentam mais resistentes, pois dessa forma podem-se eliminar algumas etapas de serviço para regularização, e camadas da estrutura, reduzindo assim o custo de implantação.

Já a o pavimento rígido se mostra mais indicado para solos com pouca resistência, onde seriam necessários serviços de melhoramento para que o mesmo pudesse suportar uma via flexível. A aplicação do pavimento rígido nesse tipo de solo se deve a sua estrutura mais estável.

2.3 ANÁLISE QUANTO AOS MATERIAIS

Os materiais em ambos os tipos de pavimento têm algumas características em comum, os solos e os agregados, são os principais entre eles. Pode-se classificar solo, como os componentes da fundação, traduzindo-se na camada do subleito. Já os agregados representam a maior parcela do volume de materiais utilizados na pavimentação. Em geral são utilizados para economizar material ligante sem perder as características do composto, o que diferencia esses materiais quando comparada sua utilização entre os pavimentos rígidos e flexíveis é a rigorosidade com que eles são escolhidos, haja vista que são necessárias propriedades específicas para cada tipo de pavimentação, assim a escolha acaba se tornando mais seletiva nos pavimentos rígidos.

A grande diferença, esta nos aglomerantes, que tem a finalidade de fazer a interação entre os agregados, nos pavimentos flexíveis, na grande maioria é utilizado os aglomerantes betuminosos, porém esse material é derivado do petróleo, tendo grande impacto ambiental, pois esse material é retirado de reservas finitas na natureza. De maneira contrária, nos pavimentos rígidos utiliza-se de aglomerantes hidráulicos onde o cimento Portland é o principal componente. Assim sua formação é fabricada em usinas em usinas específicas, não causando grandes impactos ao meio ambiente e não há possibilidade de esgotamento da matéria prima.

2.4 ANÁLISE QUANTO AO DESEMPENHO

Os pavimentos, por ter características estruturais e utilização de matérias diferentes, apresentam desempenhos diversos quando comparados. Porém ambos devem atender os requisitos que garantam de forma segura e confortável o tráfego de veículos.

O desempenho do pavimento flexível se destaca quando é submetido a resistência à cargas e térmica, e sua principal característica é a elasticidade. As cargas que são aplicadas sobre o pavimento, por o mesmo conter um grande fator de elasticidade não são diretamente absorvidas pelo pavimento, dessa forma são distribuídas para as camadas inferiores, praticamente eliminando a ruptura por cisalhamento.

Porém, quando submetido a cargas frequentes, essa ruptura antes inexistente, acaba ocorrendo por fadiga ao longo do tempo. E dessa forma, seu revestimento precisa de constantes manutenções ao longo de sua vida útil, sua durabilidade sem intervenções para recape, varia de 5 a no máximo 10 anos.

Em contra partida, devido a sua elasticidade, esse tipo de pavimento se mostra com bom desempenho, quando exposto a temperaturas variadas, não sofrendo grandes impactos oriundo da dilatação térmica.

Já o pavimento rígido, de forma geral, tem sua caracterização delimitada pelo concreto, haja vista que este é componente principal e insubstituível da pavimentação em questão, portanto as propriedades atribuídas ao concreto são as mesmas atribuídas ao pavimento, destacando-se apenas alguns pontos que são mais pertinentes à uma via que as demais estruturas em que este material é empregado. Suas principais características são a resistência e sua grande durabilidade.

O pavimento rígido por apresentar uma resistência a esforços e devido a rigidez de seu revestimento permite a construção de estruturas mais finas e com um número menor de camadas. A sua resistência a ataques químicos também é de grande importância, prevendo as possibilidades da presença de fluídos agressivos no pavimento.

A resistência à intempéries e ao tempo que o pavimento rígido suporta é visivelmente maior que a apresentada pelo flexível, garantindo assim uma vida útil maior e pouca manutenção, mantendo o pavimento íntegro e seguro para trânsito.

Apesar das singularidades de cada pavimento, no quesito desempenho a pavimentação rígida, se mostra mais vantajosa, pois garante uma maior segurança aos usuários, pois seu revestimento é capaz de resistir a ataques químicos como óleos, graxas e combustíveis, e devido ao seu material de revestimento praticamente não absorver água, permite uma melhor drenagem superficial.

Outro fator importante é a capacidade de manter sua camada de rolamento estável, não sendo afetada por intempéries, como chuvas e variações de temperatura e por ter maior resistência, sua durabilidade se torna maior, dessa forma não apresenta deformações, desprezando assim constantes intervenções para manutenção.

2.5 ANÁLISE EM RELAÇÃO AO CUSTO

Um fator de extrema importância, ao se analisar qual tipo de pavimento é mais vantajoso, é o custo. Em mundo onde o mercado está cada vez mais competitivo, e com o desenvolvimento de novas tecnologias e conseqüentemente de novos materiais, garantir um custo acessível e um resultado satisfatório, é o principal objetivo de todas as empresas.

Para realizar uma comparação financeira entre os pavimentos, é importante levar em consideração a vida útil dos mesmos. Dessa maneira deve ser analisado, o custo de implantação e manutenção tanto preventiva, como corretiva.

Devido ao custo dos materiais e a metodologia de aplicação, o pavimento flexível, de início se apresenta mais vantajoso, pois seus custos de implantação são consideravelmente menores quando comparado com o pavimento rígido.

Porém a, longo prazo essa economia acaba se revertendo, devido à durabilidade de cada pavimento, o flexível tem uma vida útil de 5 a 10 anos, enquanto o rígido se mantém estável por aproximadamente 20 anos. Dessa forma devido à necessidade de constantes manutenções o custo se inverte ao passar do tempo, assim em longo prazo a pavimentação com CCP se torna economicamente mais viável, como mostra a figura 4.

| TIPO DE PAVIMENTO | CUSTO DE IMPLANTAÇÃO | VALOR PRESENTE |
|---------------------------------------|----------------------|------------------|
| Pavimento Rígido (CCP) | R\$ 2.066.863,55 | R\$ 2.079.038,33 |
| Pavimento Asfáltico | R\$ 2.074.563,57 | R\$ 3.018.998,81 |
| Diferença Entre Alternativas em Reais | R\$ 7.700,02 | R\$ 939.960,48 |
| Diferença Entre Alternativas em % | 0,37% | 31,13% |

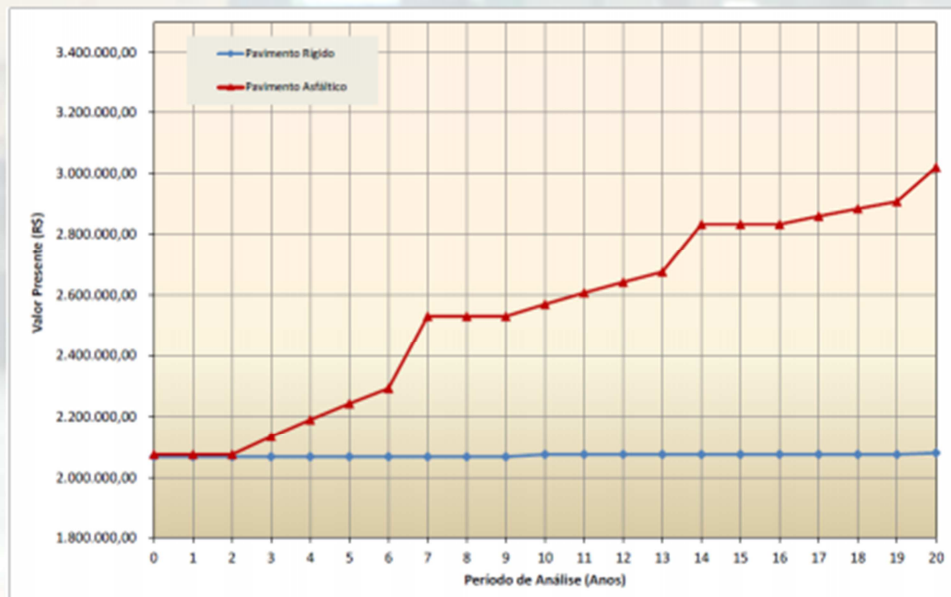


Figura 4: Análise Econômica

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland

A economia gerada pela baixa manutenção, tanto do pavimento, quanto dos veículos, está entre as principais vantagens ao usuário com relação a uma pavimentação de qualidade,

visto que os recursos para implantação e manutenção das vias vêm de impostos cobrados do mesmo (NETO, 2011).

2.6 COMPARATIVO

O quadro 1 foi desenvolvido, para apresentar as principais características de cada pavimento, comparando-as de forma direta.

| | PAVIMENTO FLEXIVEL | PAVIMENTO RÍGIDO |
|------------|--|--|
| ESTRUTURA | <ul style="list-style-type: none"> - Pequena área de distribuição de cargas; - Grande pressão na fundação do pavimento; - Estrutura mais complexa, composta por um maior numero de camadas; | <ul style="list-style-type: none"> - Grande área de distribuição de cargas; - Pequena pressão na fundação do pavimento; - Estrutura mais delgada; |
| MATERIAIS | <ul style="list-style-type: none"> - Agregados mais fáceis de serem encontrados - Maior impacto ambiental, pois seu aglomerante é derivado do petróleo, que é extraído das reservas finitas da natureza; - Matéria prima com possibilidade de escassez (petróleo) | <ul style="list-style-type: none"> - Maior rigorosidade na seleção dos agregados; - Pouco impacto ambiental, devido a possibilidade de fabricação do seu aglomerante; - Matéria prima em abundância (cimento) |
| DESEMPENHO | <ul style="list-style-type: none"> - Facilmente afetado por produtos químicos; - Menor resistência a derrapagem, devido a superfície escorregadia | <ul style="list-style-type: none"> - Resistente a ataques químicos, como graxas, óleos e combustíveis; - Maior segurança a derrapagem; |

| | | |
|------------|--|---|
| DESEMPENHO | quando molhada; - Absorve facilmente a água, necessitando de uma maior declividade para o escoamento; - Durabilidade de aproximadamente 10 anos; | - Melhor escoamento de água superficial; - Não sofre deformação plástica, buracos e trilhos de rodas. - Qualidade do pavimento é mantida ao longo dos anos; - Durabilidade de aproximadamente 20 anos; |
| CUSTO | - Menor custo de implantação; - Necessita de manutenção a cada 5 anos; - Pior custo benefício a longo prazo; | - Maior custo de implantação; - Baixo, quase zero, índice de manutenção, nos primeiros 20 anos; - Melhor custo benefício em longo prazo; |

Quadro 1: Análise Comparativa

Fonte: Arquivo pessoal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a sua importância social e econômica, é fundamental que as pavimentações sejam de boa qualidade e que garantam condições seguras aos usuários que nela irão trafegar. Porém nos dias atuais, reduzir custos e garantir o mesmo desempenho e qualidade é o principal objetivo de todas as áreas, em específico na engenharia, onde o setor é muito competitivo.

Analisando os levantamentos realizados, levou-se a concluir-se que, a escolha do tipo de pavimentação a ser utilizada varia de acordo com local de implantação, mais precisamente do solo, e da região. Porém apesar do maior custo de implantação, nota-se que as vantagens da pavimentação de concreto são visíveis quando comparada ao flexível, pois além de ter uma vida útil maior, gera benefícios sociais, qualidade de vida e segurança aos usuários.

Frente às constatações verificadas nesse trabalho, observa-se que o custo inicial do concreto é recuperado em longo prazo, tendo em vista que a sua vida útil é de, no mínimo, vinte anos e minimiza os custos de manutenção e reparos. Enquanto o pavimento flexível tem sua durabilidade prevista para cerca de dez anos.

Assim, pensando no futuro, conclui-se que a pavimentação rígida é a alternativa mais viável devido às suas características, como durabilidade, segurança e baixo índice de manutenção. Em um custo inicial de implantação pode-se dizer que o pavimento rígido tende a ser mais caro, mas se olharmos a um horizonte de longo prazo, vai se perceber-se que economicamente ele tende a ser mais vantajoso que um pavimento asfáltico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Penetration of Bituminous Materials**. D 5. In: ASTM. Anunual Book of ASTM Standardas, Philadelphia, 2005.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. 1º Reimpressão. São Paulo: Oficina de Texto, 2012.

BERNUCCI, L. L. B. ; MOTTA, Laura Maria Goretti da ; CERATTI, Jorge Augusto Pereira ; SOARES, Jorge Barbosa . **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2 a Edição. Rio de janeiro: Petrobras: Abeda, 2006.

BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. Imprinta, 2010.

CALDA, A. G. B. **Juntas em pavimentos de concreto**. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007.

DNER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Manual de Pavimentação**, Rio de Janeiro, 320p. 1996.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2 a Edição. Rio de janeiro, 2005

DNIT. **Manual de pavimentação**. 3º Edição. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT. **Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010.

MESQUITA, J. C. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária** – Estudo de caso: Rodovia BR-262, Miranda – Morro do Azeite–MS.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

NETO, Guilherme Loretto Guimarães. Estudo comparativo entre a pavimentação flexível e rígida. **Universidade da Amazônia**, 2011. Disponível em:

[http://www.unama.br/graduacao/engenharia-](http://www.unama.br/graduacao/engenharia-civil/tccs/2011/ESTUDO%20COMPARATIVO%20ENTRE%20A%20PAVIMENTACAO%20FLEXIVEL.pdf)

[civil/tccs/2011/ESTUDO%20COMPARATIVO%20ENTRE%20A%20PAVIMENTACAO%20FLEXIVEL.pdf](http://www.unama.br/graduacao/engenharia-civil/tccs/2011/ESTUDO%20COMPARATIVO%20ENTRE%20A%20PAVIMENTACAO%20FLEXIVEL.pdf)

PINTO, Salomão.. **Materiais Pétreos e Concreto Asfáltico: Conceituação e Dosagem.**

Departamento de Engenharia de Fortificação, IME – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 81p. 1998.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto. **Pavimentação Rodoviária.** Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 1º Edição Rio de Janeiro: Copiart, 2001.

PITTA, M. R. **Construção de pavimentos de concreto simples.** São Paulo, ABCP, 1989.

SANTANA, H. **Manual de Pré-misturados a frio.** Rio de Janeiro: IBP, 1993.

SENÇO, Wlastermir de. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** Volume 1, Ed. Pini, São Paulo, 1997.

SOUZA, Murillo Lopes. **Pavimentação Rodoviária.** Rio de Janeiro: DNER, 1976.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus,** Porto Alegre, 2004. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil) – UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

TROMBETTA, Jairo. **Avaliação, Diagnostico e Manutenção de Pavimentos Flexíveis.**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. Disponível em:

<https://pt.scribd.com/document/72590696/Apostilha-Avaliacao-Pavimentos>

WESSELING, Diego Henrique. **Avaliação Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2002.