

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ LUIZ PEREIRA

**CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO ABCP DE DIMENSIONAMENTO DE  
PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO**

GOIÂNIA  
2020

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ LUIZ PEREIRA

**CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO ABCP DE DIMENSIONAMENTO DE  
PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Benjamim Jorge Rodrigues dos Santos.

GOIÂNIA  
2020

**CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO ABCP DE DIMENSIONAMENTO DE  
PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO**

ANDRÉ LUIZ PEREIRA

Monografia defendida e aprovada em 12 de Março de 2020 pela banca examinadora a seguir:

---

Prof. Dr. Benjamim Jorge Rodrigues dos Santos

---

Prof. Me. Paulo José Mascarenhas Roriz

---

Prof. Me. Edson Nishi

## RESUMO

Com o passar dos anos, aumentou-se a necessidade de se construir e conservar as estradas existentes, visto que o constante uso causa desgastes ao longo dos anos e a manutenção torna-se algo imprescindível. Uma pavimentação bem feita tem como objetivo proporcionar um tráfego confortável e seguro aos motoristas, com estruturas e materiais que sejam capazes de suportar os esforços de tráfego combinado com ações climáticas, com o menor custo possível. Essa viabilidade financeira é um atrativo da pavimentação rígida pois a necessidade de manutenção é menor do que de pavimento flexível, aliado também a maior vida útil do pavimento permitindo o acesso a mais veículos por um maior período. Para aplicação da metodologia, é necessário dados como: pressão dos pneus, resistente do concreto, aço, tipo e espessura da sub-base, como também o CBR do subleito. Após, é feito o dimensionamento para eixos tandem simples e duplos, para determinação das armaduras. Pôde-se concluir que esta metodologia segue as teorias proposta pelo pavimento rígido, e resulta em benefícios como: simples aplicação, ganhos econômicos, estruturas confiáveis, seguras e confortáveis ao usuário.

**Palavras-chaves:** Concreto Armado; Pavimentação; Pavimento Rígido.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição de carga dos pavimentos flexíveis.....	12
Figura 2 – Esquema de camadas dos pavimentos flexíveis.....	13
Figura 3 – Esquema de camadas dos pavimentos semirrígidos.....	20
Figura 4 – Esquema de camadas dos pavimentos rígidos.....	21
Figura 5 – Distribuição de carga dos pavimentos rígidos.....	22
Figura 6 – Representação pavimento de concreto simples.....	22
Figura 7 – Representação pavimento de concreto armado.....	12
Figura 8 – Representação pavimento de concreto com armadura contínua.....	13
Figura 9 – Representação pavimento de concreto protendido.....	20
Figura 10 – Representação pavimento de concreto pré-moldado.....	21
Figura 11 – Representação pavimento whitetopping.....	22

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	8
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>9</b>
2.1	Definição de Pavimento .....	11
2.2	Classificação dos Pavimentos .....	11
2.3	Os tipos de pavimentos de concreto portland .....	15
2.4	Etapas executivas de um pavimento de concreto armado .....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o homem exercita sua liberdade de ir e vir em busca de novas expectativas, do progresso e desenvolvimento. Para isso precisou avançar, deixar de lado os caminhos primitivos que ligavam as cidades e construir uma malha viária adequada à utilização dos veículos que substituíram os animais e carroças tracionadas a cavalos.

No Brasil, a primeira lei a conceder auxílio federal para a construção de estradas foi aprovada em 1905. No ano de 1937 criou-se o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), que não era uma autarquia, não possuía recursos próprios e suas atividades eram desvinculadas dos sistemas rodoviários estaduais e municipais. Sendo assim, o Brasil chegava aos meados da década de 1940 com modestos 423 quilômetros de rodovias pavimentadas. Mas a situação precária do rodoviarismo nacional passou por marcante melhora quando, em 1945 o então ministro de Viação e Obras Públicas, Mauricio Joppert da Silva, levou à sanção do Presidente José Linhares o decreto 8.463, que conferiu autonomia técnica e financeira ao DNER e que criou também o Fundo Rodoviário Nacional.

Ante às deficiências da malha rodoviária brasileira, procura-se atualmente construir rodovias de qualidade cada vez melhor, para o transporte eficiente e eficaz de mercadorias e de pessoas. Assim, é indispensável o estudo de tecnologias que possibilitem aprimorar a infraestrutura do setor de transportes do país, através de soluções econômicas, duradouras e sustentáveis. Considerando isso, é que a opção de se construir rodovias com pavimentos de concreto de cimento Portland está sendo incentivada em todo o território nacional, em detrimento da tecnologia tradicional que prioriza a construção de rodovias de revestimento asfáltico, que frequentemente apresentam durabilidade inadequada devido ao surgimento de defeitos ou patologias em sua estrutura, o que exige altos investimentos em manutenção para preservar a segurança e a qualidade da superfície de rolamento.

É portanto relevante, a análise do desempenho de diversas soluções de pavimento para se definir estruturas de pavimento mais adequadas, identificar suas vantagens e desvantagens, viabilidade técnica e econômica, para se chegar a uma solução que possa ser recomendada e adotada na construção das rodovias brasileiras.

O pavimento rígido ou de concreto de cimento Portland frequentemente vem sendo apontado como uma alternativa viável para as rodovias e já tem considerável utilização pelo Brasil, principalmente em rodovias submetidas a tráfego pesado, via expressas, portos,

aeroportos e vias exclusivas para o transporte público urbano por ônibus em linhas da modalidade *Bus Rapid Transit* (BRT).

Devido à necessidade de maquinário e equipamentos específicos para sua produção, de controle tecnológico que resulte em alta resistência aos esforços solicitantes e longa durabilidade, o pavimento de concreto de cimento Portland tem custo inicial de execução superior ao do pavimento de concreto asfáltico. Porém, com a operação da rodovia e o decorrer do tempo, o custo adicional de execução é compensado pela baixa necessidade de manutenção ao longo da vida útil do pavimento.

Assim, o pavimento de concreto de cimento Portland ou rígido, torna-se uma opção tecnológica competitiva em relação ao até então amplamente utilizado pavimento flexível ou asfáltico, que reconhecidamente possui durabilidade menor, e necessita de frequentes manutenções para garantir suas funções e condições de trafegabilidade. Um fator importante, que contribui para a elevada durabilidade dos pavimentos rígidos é a sua satisfatória resistência às ações ou ataques de solventes como combustíveis e lubrificantes que danificam os pavimentos flexíveis e provocam sérias patologias como a desagregação da capa asfáltica que leva à formação de painéis ou buracos nas pistas.

Ante estas ponderações, apresenta-se neste trabalho, a metodologia de dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados para rodovias, recomendada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), pelo Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS) e referendada pelo Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). No desenvolvimento desta monografia a metodologia da ABCP é aplicada e os resultados obtidos analisados, sob o aspecto praticidade de aplicação e viabilidade técnica e econômica quando comparados com a opção usual de pavimentos flexíveis.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Quanto ao estado de conservação, a malha viária de rodovias brasileiras pavimentadas, apresentou condições desfavoráveis durante o ano de 2019 e pior que nos anos anteriores. Um total de 108.863 quilômetros de rodovias foram avaliados pela CNT (2019) em todo o país e desse total, 64.198 quilômetros (59,0%) apresentaram algum tipo de problema no seu estado geral de conservação ou condição de trafegabilidade. Foram considerados como situação regular 37.628 quilômetros, ruim 19.039 quilômetros e 7.531 quilômetros de rodovia em péssimo estado de conservação.

As rodovias brasileiras em geral, não duram o tempo previsto no projeto. O estudo realizado pela CNT (2019) aponta casos de pavimentos implantados, projetados para durar cinco anos, que chegam a apresentar problemas de desgaste com menos de sete meses de operação, ou seja, vida útil bem mais reduzida do que a previsto no projeto, um indicativo de projeto inadequado, falta de manutenção ou má aplicação de verbas públicas.

É notória e comprovada a competitividade do pavimento rígido em relação ao pavimento flexível. Mesmo com custo inicial de execução mais elevado, apresenta no decorrer do tempo, menor necessidade de manutenção. Esse fato rompe categoricamente o paradigma de que o pavimento com revestimento de concreto de cimento Portland seja bem mais caro que o pavimento de concreto asfáltico.

Ante esses fatos, é sugestivo analisar a adoção de um pavimento mais durável, com tempo de execução adequado, que ofereça mais segurança e conforto ao usuário e que apresente relação custo benefício satisfatória. O método ABCP é pouco divulgado no meio acadêmico, e como a solução de pavimentos rígidos já está sendo aplicada no país, este trabalho poderá contribuir para que o dimensionamento de pavimentos rígidos seja mais abordado no meio acadêmico e enriqueça o potencial técnico dos futuros profissionais da engenharia civil.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Segundo SENÇO (1997), os ingleses foram os precursores da utilização de pavimentos rígidos quando, em 1865, iniciaram a construção de vias com concreto de cimento Portland. Nos Estados Unidos o primeiro pavimento de concreto foi construído no estado de Ohio em 1891 e existe até os dias atuais sendo utilizado como calçadão para pedestres. Ainda segundo esse autor, diversos países, dentre eles Alemanha e Estados Unidos, priorizaram o emprego de pavimentos de concreto em auto estradas e vias urbanas e ao final da década de 1950, cerca de 80 a 90% da malha viária de auto.

estradas e vias urbanas já era composta por vias com pavimentos rígidos. O primeiro pavimento de concreto executado no Brasil data de 1925 e foi executado no Caminho do Mar – ligação de São Paulo a Cubatão. No ano de 1932 a travessia de São Miguel Paulista, trecho da antiga estrada Rio/São Paulo, foi pavimentada em concreto.

O primeiro trecho de estrada de concreto estruturalmente armado no Brasil, foi executado pela Cimento Itambé, em 1998, nos 3100 metros da rodovia de acesso à sua fábrica, na região metropolitana de Curitiba. Neste trecho foram empregadas placas de concreto estruturalmente

armadas, e placas de concreto simples, executadas sobre camada de concreto compactado a rolo.

Rodrigues e Pitta (1997) apresentam um método prático de dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armado para atender às exigências de qualidade, durabilidade e segurança nos pavimentos de rodovias. A obra desses autores teve apoio do Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS), da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). Os pavimentos de concreto estruturalmente armados começaram a ser utilizados nas rodovias brasileiras e em parques industriais a partir de 1998, quando a metodologia de dimensionamento começou a ser difundida.

Oliveira (2000) enfatiza que os pavimentos de concreto simples foram o tipo de pavimento rígido mais utilizados no Brasil desde seu emprego em rodovias. Essa autora cita a rodovia dos Imigrantes, que liga São Paulo à Baixada Santista, inaugurada em junho de 1976, como um exemplo de aplicação e bom desempenho dos pavimentos rígidos. Segundo a ABCP (1998), dos 32 quilômetros executados nessa rodovia, apenas uma extensão de 35 metros necessitou de reparos, por problemas de drenagem, durante 22 anos de operação da via.

Especificamente tratando-se de pavimento de concreto estruturalmente armado, Oliveira (2000) destaca o primeiro trecho, construído pela Cimento Itambé, no acesso à sua fábrica de Curitiba, onde foram empregadas placas de concreto estruturalmente armadas e também de concreto simples, executadas sobre sub-base de concreto rolado.

Balbo (2009) oferece a engenheiros e estudantes brasileiros uma visão geral dos métodos clássicos e contemporâneos para a concepção, a construção e a avaliação de pavimentos de concreto, nessa obra o autor apresenta definições dos principais pavimentos rígidos passíveis de aplicações na construção de rodovias.

Xerez Neto (2013) aborda além da aplicação de pavimentos rígidos em pisos industriais, o projeto e construção de pavimento estruturalmente armado em vias exclusivas para tráfego de ônibus e apresenta diversos métodos de dimensionamento de pavimentos de concreto armado.

Atualmente no Brasil existe uma malha viária com 213.453 mil quilômetros de rodovias pavimentadas (fonte: CNT 2019) e a maioria é dotada de superestrutura em pavimento flexível, ou seja, uma capa asfáltica assentada sobre base e sub-base granulares. Os pavimentos das rodovias brasileiras apresentam patologias precocemente, nos primeiros anos de operação do

tráfego, decorrentes de manutenção inadequada, e, por isso, a vida útil dos pavimentos flexíveis é frequentemente questionada e outra solução tecnológica para os pavimentos também é apontada como sugestiva. Assim, com este trabalho pretende-se que a opção do emprego de pavimentos rígidos nas rodovias seja continuamente analisado no meio acadêmico e técnico.

## 2.1 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

BALBO (2007), define pavimento como sendo uma superestrutura 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. Sendo construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade, adequadas para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios.

SANTANA (1993) diz que 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 sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo.

Para SOUZA (1980), 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.

Para o Manual do DNIT (2006) pavimento trata-se de uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito (infra-estrutura ou terreno de fundação) a qual é designada de subleito.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

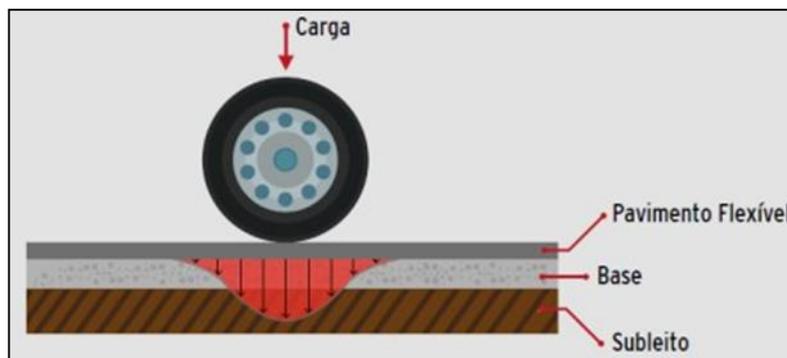
De forma geral, os pavimentos são classificados em: flexíveis, semirrígidos e rígidos. Apresenta-se a seguir as definições dessa tipologia.

### 2.2.1 Pavimentos Flexíveis

São os pavimentos em que todas as camadas componentes podem sofrer deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas superpostas. Segundo Balbo (2007), é o pavimento no qual a absorção de esforços dá-se entre as várias camadas, e as tensões verticais se concentram em região próxima da área de aplicação da carga.

Normalmente os pavimentos flexíveis são constituídos pelas seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. O revestimento em geral é betuminoso com associação de agregados e as demais camadas são granulares. (DNIT, 2006). A Figura 1 ilustra a estrutura de um pavimento flexível.

**Figura 1 - Distribuição de carga dos pavimentos flexíveis**

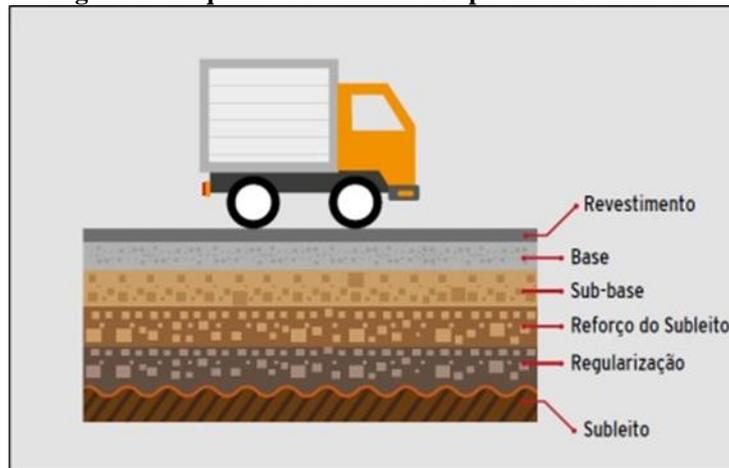


**Fonte: CNT (2016)**

Os revestimentos flexíveis aplicados por penetração sobre a base acabada e imprimada e podem ser: Tratamento superficial simples (TSS), duplo (TSD) ou triplo (TST). Esses tratamentos, geralmente são adotados em vias de volume de tráfego baixo a médio. Para vias com volume de tráfego mais elevados, acima de  $N = 10^6$ , normalmente recomenda-se revestimento com emprego de misturas asfálticas, como o concreto betuminoso usinado a Quente (CBUQ).

A estrutura de um pavimento flexível é composta geralmente por diversas camadas de materiais granulares e sua vida útil varia de 8 a 12 anos. A espessura do revestimento asfáltico normalmente varia de 5 a 20 centímetros, dependendo da resistência ou suporte da sub-base e do terreno de fundação, o subleito, e também do volume de tráfego. A Figura 2 mostra a estrutura de um pavimento flexível, com suas respectivas camadas.

**Figura 2 - Esquema de camadas dos pavimentos flexíveis**



Fonte: CNT (2016)

### 2.2.2 Pavimento semirrígido

É considerado intermediário, entre o pavimento flexível e o rígido. Segundo Balbo (2007), é composto por um revestimento asfáltico assentado sobre base ou sub-base de material tratado com cimento de elevada rigidez, excluídos quaisquer tipos de concreto. De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), o pavimento semirrígido caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias. A Figura 3, a seguir, ilustra a estrutura de um pavimento semirrígido, com suas respectivas camadas.

**Figura 3 - Esquema de camadas dos pavimentos semirrígidos**



Fonte: UFR (2010)

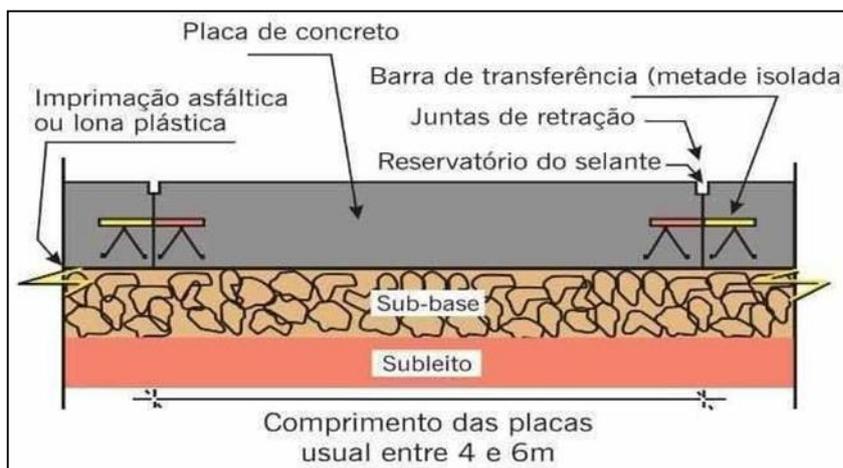
### 2.2.3 Pavimento Rígido

Balbo (2009), pondera que os pavimentos de concreto, ou rígidos, são aqueles cuja camada de rolamento (ou revestimento) é elaborada com concreto, produzido com agregados e ligantes hidráulicos, podendo ser executado com diversas técnicas de manipulação e elaboração do concreto de cimento Portland.

O DNIT (2006), considera que no pavimento rígido, o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, e absorve praticamente todo carregamento do tráfego imposto à estrutura. Segundo Pitta (1989), esta nomenclatura tem sido empregada para denominar uma placa de concreto simples, com ou sem barras de ligação, ou mesmo de concreto armado, com alta resistência, que distribui ao subleito os carregamentos provenientes das cargas aplicadas na superfície. Balbo (2009), salienta que os pavimentos rígidos são constituídos por:

- Placa de concreto de cimento Portland - camada que desempenha ao mesmo tempo o papel de revestimento e de base.
- Sub-base - camada empregada, com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte do subleito e/ou evitar o fenômeno de bombeamento “*pumping*” dos solos subjacentes à placa de concreto de cimento Portland (CCP).

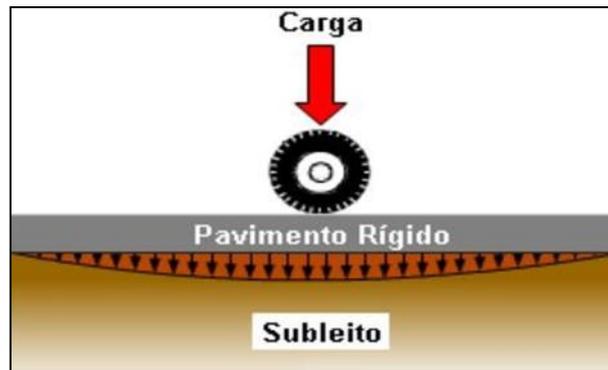
**Figura 4 - Esquema de camadas dos pavimentos rígidos**



**Fonte: UFR (2010)**

Eventualmente os pavimentos rígidos podem ser reforçados por telas ou barras de aço, que são utilizadas para aumentar o espaçamento entre as juntas ou promover reforço estrutural. A Figura 5 mostra a distribuição do carregamento do tráfego nos pavimentos rígidos.

**Figura 5 - Distribuição de carga dos pavimentos rígidos**



**Fonte: CNT (2016)**

O pavimento rígido, devido ao elevado Módulo de Elasticidade do concreto de cimento Portland, tende a distribuir a carga sobre uma área relativamente maior do subleito. A própria placa de concreto fornece a maior parte da capacidade estrutural do pavimento rígido, ou seja, praticamente absorve sozinha os esforços do tráfego aplicado no pavimento.

### 2.3 OS TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Os pavimentos de concreto são aqueles cuja camada de rolamento, ou revestimento, é elaborada com concreto de cimento Portland produzido com agregados e ligantes hidráulicos, e que pode ser feito com diversas técnicas de manipulação e elaboração do concreto, como a pré-moldagem ou produção in loco. As diversas tipologias são as seguintes:

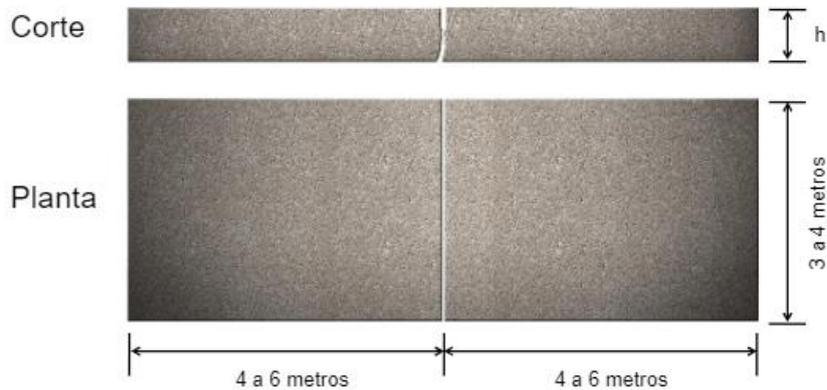
- Pavimento de concreto simples;
- Pavimento de concreto simples com barras de transferência;
- Pavimento de concreto simples com armadura distribuída descontínua, sem função estrutural;
- Pavimento de concreto simples com armadura distribuída contínua, sem função estrutural; e
- Pavimento de concreto estruturalmente armado.

A seguir apresenta-se suas respectivas definições, segundo Balbo (2009).

#### 2.3.1 Pavimento de concreto simples (PCS)

Construídos com concreto de alta resistência, em relação aos concretos estruturais para edifícios, de modo a resistir e combater os esforços de tração na flexão gerados pelo tráfego na estrutura, isso porque não possui armaduras para essa finalidade. Nos PCS as juntas de contração são pouco espaçadas.

**Figura 06 – Representação pavimento de concreto simples**

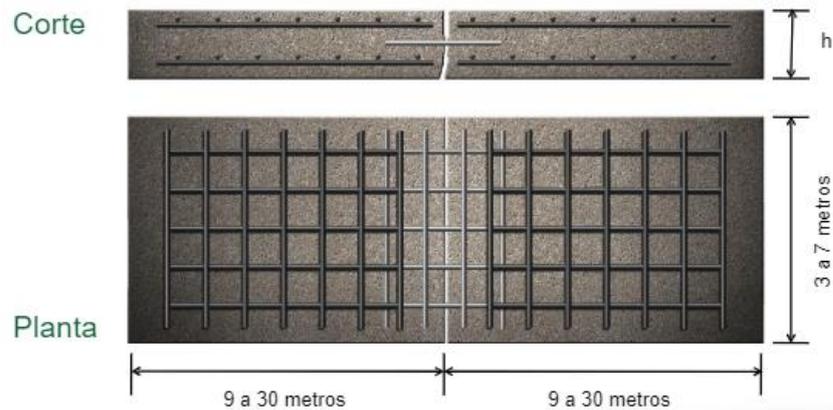


**Fonte: ABCP (2009)**

### 2.3.2 Pavimento de concreto armado (PCA)

Neste tipo de pavimento o concreto trabalha em regime de compressão no banzo comprimido, mas sem sofrer esmagamento. No banzo tracionado são posicionadas armaduras resistentes aos esforços de tração, o que caracteriza tal pavimento como uma estrutura de concreto armado. As juntas serradas para controle da retração são mais espaçadas que as do PCS.

**Figura 07 – Representação pavimento de concreto armado**



**Fonte: ABCP (2009)**

### 2.3.3 Pavimento de concreto com armadura contínua (PCAC)

É confeccionado com concreto que tolera a fissuração de retração, transversalmente, de modo aleatório. Cabe à armadura contínua, colocada pouco acima da linha neutra, a tarefa de manter as faces fissuradas fortemente unidas. Não se executa juntas de contração no PCAC, apenas juntas construtivas, se necessário.

**Figura 08 – Representação pavimento de concreto com armadura contínua**

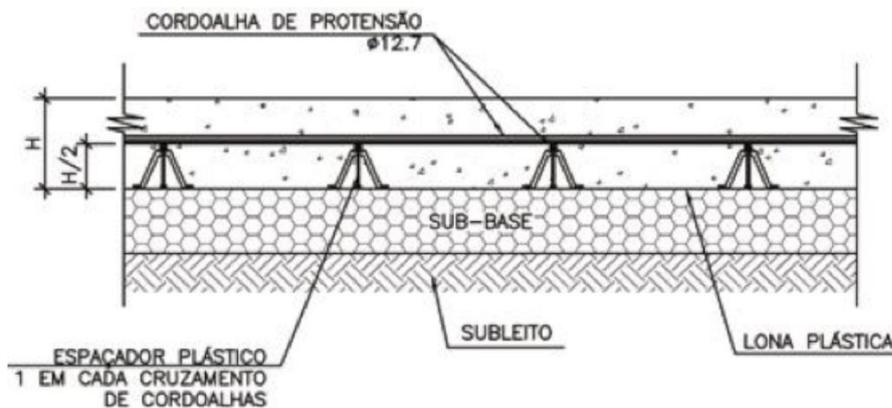


**Fonte: ABCP (2009)**

#### 2.3.4 Pavimento de concreto protendido (PCPRO)

Apresentam placas de grandes dimensões planas e menores espessuras, que trabalham em regime elástico. Podem ser construídos com a presença simultânea de armaduras convencionais e de cordoalhas protendidas, ou apenas com as cordoalhas.

**Figura 09 – Representação pavimento de concreto protendido**

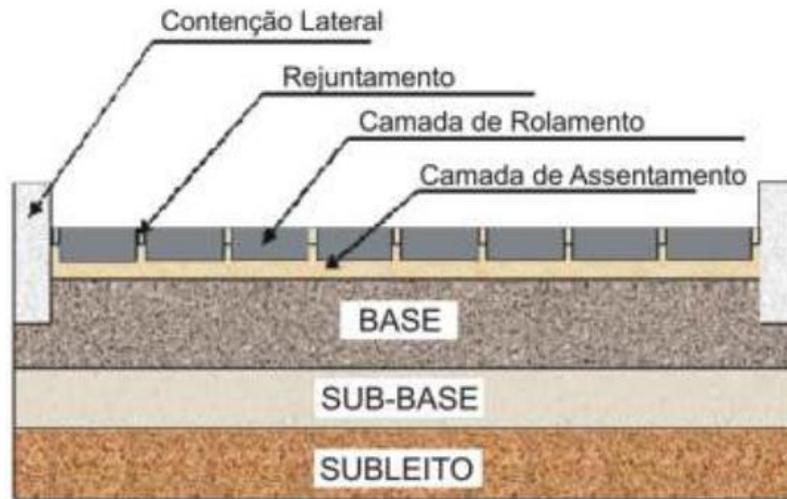


**Fonte: PISOPLAN (2020)**

#### 2.3.5 Pavimento de concreto pré-moldado (PCPM)

Possuem placas de concreto pré-moldadas que atendem às necessidades de transporte. São fabricadas sob medida, com elevado controle e precisão. Nas operações de manutenção possibilitam rápida substituição de placas deterioradas. Devido à maior resistência à momentos fletores podem ser construídos com espessuras menores.

**Figura 10 – Representação pavimento de concreto pré-moldado**

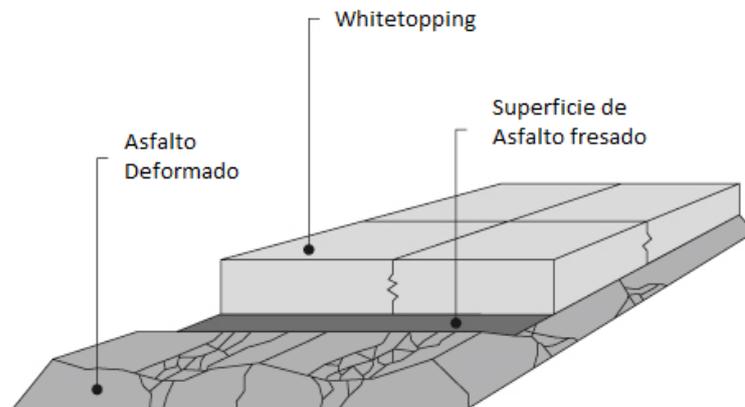


Fonte: T&A Blocos e Pisos (2020)

### 2.3.6 Whitetopping (WT)

É uma nova placa de concreto utilizada no revestimento de um antigo pavimento de concreto asfáltico. O WT poderá ser em PCS, PCA, PCAC, PCPRO ou PCPM.

**Figura 11 – Representação do Whitetopping**



Fonte: ABCP (2013)

### 2.3.7 Whitetopping ultra delgado (WTUD)

Constituído por uma delgada camada de concreto de elevada resistência, lançada sobre uma antiga superfície asfáltica fresada. As placas são de pequenas dimensões e trabalham por flexão e deflexão. São dispostas juntas serradas para controle da contração pouco espaçadas.

## **2.4 Etapas executivas de um pavimento de concreto armado**

### *2.4.1 Preparo do subleito e reforço, quando for necessário*

Trata-se da execução do terreno de fundação, denominado subleito. Esta etapa, e também a regularização e reforço, são consideradas etapas do preparo de subleito. Deve-se analisar: materiais e o método executivo.

### *2.4.2 Execução da Sub-Base*

Deve ser executada anteriormente à base e com o mesmo material do subleito. Pode-se utilizar material: granular, solo-cimento, brita graduada tratada com cimento, solo-afalto, concreto compactado com rolo, dentre outros.

### *2.4.3 Execução da placa*

Trata-se da execução de espalhamento do concreto, após toda a armadura ser devidamente colocada no local projetado. Comumente é feita com auxílio de pavimentadoras, deve seguir as especificações técnicas do DNIT. Nesta etapa deve-se preocupar com o concreto, sua dosagem e consumo de cimento, como também: agregados, água, aditivos, fibras, aço e materiais para cura.

### *2.4.4 Texturização*

Trata-se da última fase da execução de um pavimento de concreto armado. A superfície do pavimento deve ser plana e desempenada. Neste momento, o objetivo é deixar o pavimento com rugosidade superficial suficiente para garantir a segurança do tráfego, etambém para evitar aquaplanagem, e também a promover o ideal atrito

Após o dimensionamento e execução realizados de forma correta e seguindo todas as indicações pelo projeto, a ideia é que o pavimento fique com aspecto das ilustrações abaixo, que mostram alguns exemplos de execução de pavimentos estruturalmente armados.

**Figura 18 – Pavimento de concreto com as armaduras**



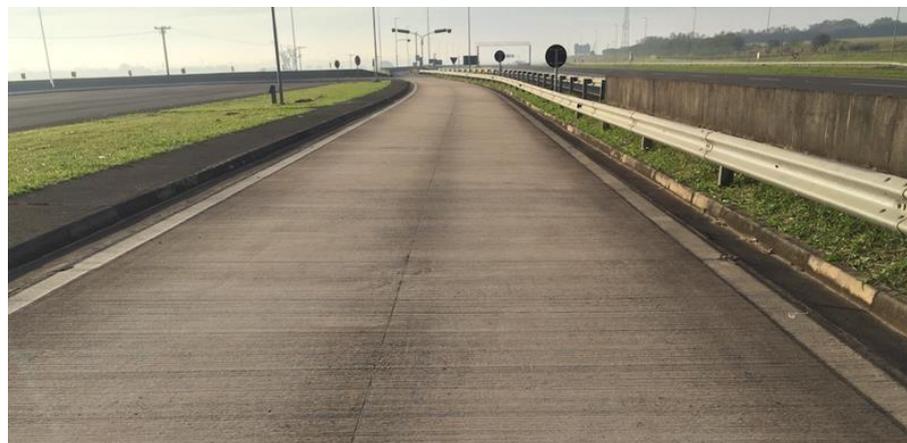
**Fonte: Jornal da USP, 2017.**

**Figura 19 – Placa de concreto executada**



**Fonte: Concrepaw, 2020.**

**Figura 20 – Pavimento de concreto armado finalizado**



**Fonte: Concrepaw, 2020.**

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso foi realizado através de pesquisa bibliográfica sobre o tema e análise dos resultados obtidos em aplicação hipotética da metodologia ABCP para dimensionamento de pavimentos de concreto de cimento Portland estruturalmente armados.

Ante a necessidade de se uniformizar o processo de dimensionamento de pavimentos de concreto armado, o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) uniram esforços e juntaram em um mesmo trabalho os especialistas Públio Penna Firme Rodrigues e Márcio Rocha Pitta, para a elaboração do manual de Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados. Esse manual traz o que há de mais atual em métodos de cálculo de pavimentos rígidos, e disponibiliza critérios práticos de dimensionamento, baseados em conceitos consagrados internacionalmente.

Na elaboração deste capítulo foi realizada uma aplicação hipotética do método ABCP, com apresentação e detalhamento dos resultados obtido. São necessárias as seguintes etapas:

#### 3.1 Estudo de tráfego

O crescimento do tráfego previsto durante o período de projeto adotado expressa em número e peso dos eixos simples e tandem dos veículos solicitantes. Quando não é feito de forma correta, trata-se de um problema complexo e que gerará futuros problemas ao pavimento. Para este estudo considera-se:

- volume inicial do tráfego;
- período de projeto
- taxa anual linear de crescimento do tráfego ou fator de projeção;
- distribuição estatística dos veículos solicitantes e das cargas por eixo solicitante;

Para que se consiga calcular, segundo ABCP:

- O tráfego médio diário final ( $V_p$ ):

$$V_p = V_1 \cdot [1 + (P-1) \cdot t]$$

- O tráfego médio durante o período de projeto ( $V_m$ ):

$$V_m = V_1 + V_p / 2$$

- O número total de veículos durante o período de projeto ( $V_t$ ):

$$V_t = 365 \times P \times V_m$$

- O número de solicitações de eixo, por classe de veículo ( $N$ ):

$$N = P \times V_t \times F_e / 100$$

- A frequência das cargas por eixo, por classe de veículo (N<sub>ji</sub>):

$$N_{ji} = P_{ji} \times N$$

- somatório das frequências de cada carga por eixo, independentemente do tipo de veículo.

### 3.2 Estudo do subleito:

Tem por objetivo a obtenção dos parâmetros geotécnicos do subleito, a partir de serviços de campo e laboratório, visando determinar a característica de suporte, classificação dos materiais e verificação do nível de água.

### 3.3 Pesquisa sobre materiais das camadas:

Trata-se da determinação dos materiais a serem utilizados para a pavimentação, coleta de amostrar e realização de ensaios, empréstimos para corpo de aterro, realização de sondagens, entre outros.

Para o dimensionamento segundo a metodologia ABCP, necessitar-se-á de dados do suporte do subleito, características da sub-base adotada, dados das cargas de eixos simples, tandem duplo e triplo e pressão de enchimento dos pneus. O processo de cálculo é semelhante ao de peças de concreto armado regulares.

A partir de uma dimensão, espessura da placa de concreto, determina-se os momentos fletores atuantes na placa, centro e bordo livre e em seguida define-se a armadura necessária para suportar os esforços. Normalmente a armadura é positiva, mas existe a distribuição de armadura negativa para combater a retração. O detalhamento estrutural é analisado na execução da placa de concreto.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para entendimento da metodologia de dimensionamento de pavimentos de concreto de cimento Portland estruturalmente armados apresenta-se a seguir uma aplicação hipotética com respectiva memória de cálculo e detalhamento.

Nos estudos de tráfego, segundo instruções do DNIT, considera-se os veículos:

- i. Automóvel;
- ii. Ônibus;
- iii. Caminhão leve;

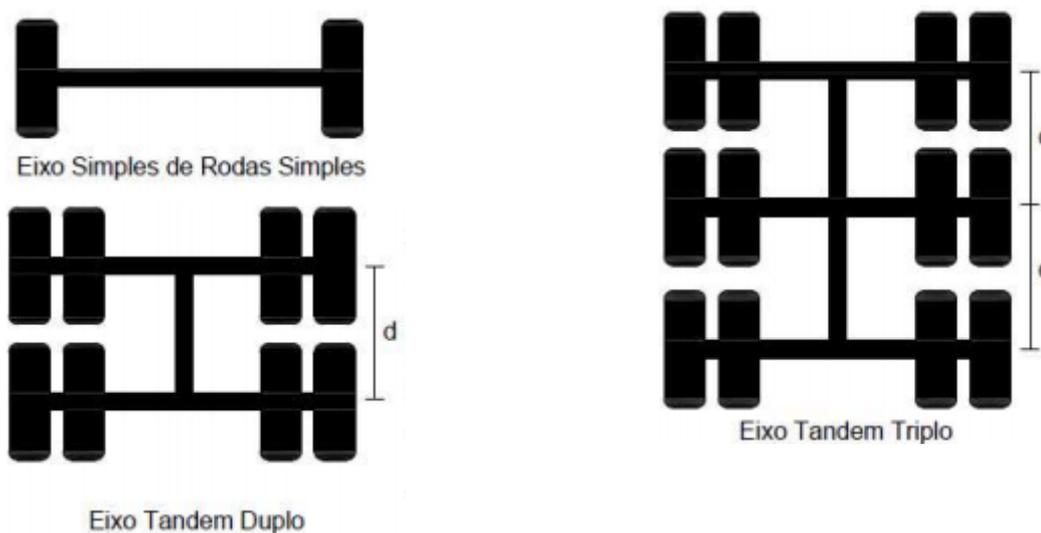
- iv. Caminhão médio;
- v. Caminhão pesado;
- vi. Reboque ou semirreboque.

O sistema de classificação da frota preconizado pelo DNIT (2012) caracteriza os veículos de acordo com a distribuição de seus eixos. No presente trabalho considerou-se os eixos simples, duplo e triplo, ilustrados na Figura 12. A distância entre os eixos foi considerada como sendo igual a 120 cm.

Para demonstrar a aplicação do método ABCP para o dimensionamento de um pavimento de concreto estruturalmente armado, considerou-se os dados a seguir:

- a. Dados para o dimensionamento:
  - Pressão de enchimento dos pneus:  $q = 0,7$  MPa;
  - $K$  do sistema = 54 MPa/m;
  - Concreto armado de 25 MPa;
  - Aço CA-60;
  - Módulo de elasticidade = 30 GPa;
  - Sub-base de 10 cm com solo granular;
  - CBR do subleito = 10%.
- b. Cargas máximas em cada eixo:
  - Eixo simples: 170 kN;
  - Eixo duplo: 290 kN;
  - Eixo triplo: 360 kN.

**Figura 12 – Principais tipos de eixos rodoviários**



Fonte: BOSSO (2018)

## Configuração adotada para os semi-eixos:

### a. Raio de rigidez relativo:

Como nas estruturas de concreto, deve-se arbitrar a espessura do pavimento que se quer dimensionar, decidiu-se pela espessura de 16 cm, normalmente adotada para tráfego mais intenso. Portanto, para este caso, o raio de rigidez relativo será:

$$l = \sqrt{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times k}} = \frac{30000 \times 0,16^3}{12 \times (1 - 0,15^2) \times 54} = 0,663m$$

Sendo:

- E: módulo de elasticidade do concreto, em MPa;
- h: espessura da placa de concreto, em metros;
- $\nu$ : é o coeficiente de Poisson do concreto, utilizado como 0.15;
- k: é o coeficiente de recalque da fundação, em Mpa/m.

### 4.1 Dimensionamento do Eixo Simples

Determina-se inicialmente a área de contato A do pneu e as suas dimensões básicas: L (comprimento) e W (largura):

#### a. Área de contato do pneu/pavimento:

$$A = \frac{Pr}{q}$$

Sendo:

- Pr: carga atuante em um pneu (carga total do eixo dividido pelo número de rodas);
- q: pressão de enchimento dos pneus, em Pa.

$$A = \frac{170000}{\frac{4}{0,7 \times 10^6}} = 0,0607 m^2$$

#### b. Comprimento do pneu:

$$L = \sqrt{\frac{A = 0,0607}{0,523}} = 0,341m$$

c. Largura do pneu:

$$W = 0,6 \times L = 0,6 \times 0,34 = 0,204 \text{ m}$$

d. Número de Blocos para carga no interior da placa:

$$\frac{L}{l} = \frac{0,341}{0,66} = 0,51$$

$$\text{Roda 1: } \frac{x}{l} = 0 \quad N1 = 270$$

$$\text{Roda 2: } \frac{x}{l} = \frac{0,30}{0,663} = 0,45 \quad N2 = 100$$

Logo,  $N_t = 370$ .

e. Número de blocos para carga na borda da placa:

$$\frac{L}{l} = \frac{0,341}{0,66} = 0,51$$

$$\text{Roda 1: } \frac{d}{l} = \frac{0,102}{0,663} = 0,15 \quad N1 = 270$$

$$\text{Roda 2: } \frac{d}{l} = \frac{0,402}{0,663} = 0,61 \quad N2 = 100$$

f. Momento no interior ( $M_i$ ) e na borda ( $M_b$ ) da placa:

$$M_i = \frac{N \times q \times l^2}{10000} = \frac{370 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,663^2}{10000} = 113,8 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_b = \frac{N \times q \times l^2}{10000} = \frac{560 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,663^2}{10000} = 172,3 \text{ tf.cm/m}$$

g. Cálculo da armadura no interior da placa:

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_i} = \frac{100 \times 13^3}{113,8} = 148,51, \text{ na tabela: } k_3 = 0,280$$

$$A_s = \frac{k_3 \times M_i}{d} = \frac{0,280 \times 113,8}{13} = 2,45 \text{ cm}^2/\text{m}, \text{ com isso utiliza - se a Tela Q246}$$

h. Cálculo da armadura na borda da placa:

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_b} = \frac{100 \times 13^3}{172,3} = 98,08, \text{ pela tabela } k_3 = 0,284$$

$$As = \frac{k3 \times Mb}{d} = \frac{0,284 \times 172,3}{13} = 3,76 \text{ cm}^2/\text{m}, \text{ com isso utiliza - se a Tela Q246}$$

#### 4.2 Dimensionamento do Eixo Tandem Duplo

a. Área de contato do pneu:

$$A = \frac{Pr}{q} = \frac{\frac{290000}{8}}{0,7 \times 10^6} = 0,0518 \text{ m}^2$$

b. Comprimento do pneu:

$$L = \sqrt{\frac{A = 0,0518}{0,523}} = 0,315 \text{ m}$$

c. Largura do pneu:

$$W = 0,6 \times L = 0,6 \times 0,315 = 0,189 \text{ m}$$

d. Número de Blocos para carga no interior da placa:

$$\frac{L}{l} = \frac{0,315}{0,663} = 0,48$$

$$\text{Roda 1: } \frac{x}{l} = 0 \qquad \frac{d}{l} = 0 \qquad N1 = 260$$

$$\text{Roda 2: } \frac{x}{l} = \frac{0,30}{0,663} = 0,45 \qquad \frac{d}{l} = 0 \qquad N2 = 100$$

$$\text{Roda 3: } \frac{x}{l} = 0 \qquad \frac{d}{l} = \frac{1,20}{0,663} = 1,81 \qquad N3 = 260$$

$$\text{Roda 4: } \frac{x}{l} = \frac{0,30}{0,663} = 0,45 \qquad \frac{d}{l} = \frac{1,20}{0,663} = 1,81 \qquad N4 = 100$$

Com isso,

$$Nt = 360$$

e. Número de blocos para carga na borda da placa:

$$\frac{L}{l} = \frac{0,315}{0,66} = 0,48$$

$$\text{Roda 1: } \frac{x}{l} = 0 \qquad \frac{d}{l} = \frac{0,10}{0,663} = 0,15 \qquad N1 = 450$$

$$\text{Roda 2: } \frac{x}{l} = 0 \qquad \frac{d}{l} = \frac{0,40}{0,663} = 0,60 \qquad N2 = 180$$

$$\text{Roda 3: } \frac{x}{l} = \frac{1,20}{0,663} = 1,81 \qquad \frac{d}{l} = \frac{0,10}{0,663} = 0,15 \qquad N3 = -65$$

$$\text{Roda 4: } \frac{x}{l} = \frac{1,20}{0,663} = 1,81 \qquad \frac{d}{l} = \frac{0,40}{0,663} = 0,60 \qquad N4 = -30$$

Com isso,

$$N_t = 510$$

f. Momento no interior (Mi) e na borda (Mb) da placa:

$$M_i = \frac{N \times q \times l^2}{10000} = \frac{360 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,663^2}{10000} = 111 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_b = \frac{N \times q \times l^2}{10000} = \frac{510 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,663^2}{10000} = 156,9 \text{ tf.cm/m}$$

Como os momentos obtidos são inferiores aos correspondentes a ação do eixo simples, estes predominam, devendo ser adotada a armadura referente a ele; com isso, o mesmo vale para o eixo tandem triplo.

#### 4.3 Cálculo da armadura de retração

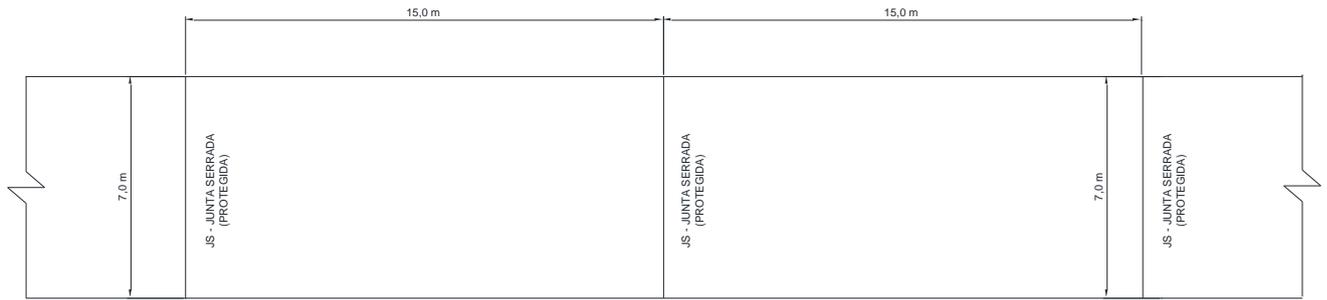
A armadura de retração, posicionada no terço superior da placa e a não mais de 5 centímetros da superfície, é função do comprimento, da espessura da placa e do coeficiente de atrito. Suponha-se a placa com 15 metros de comprimento e coeficiente de atrito sendo 1,7, tem-se que:

$$A_s = \frac{f \times L \times h}{333} = \frac{1,7 \times 15 \times 16}{333} = 1,23 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Neste caso, analisando a tabela, verificou-se que será utilizada a Tela Q138.

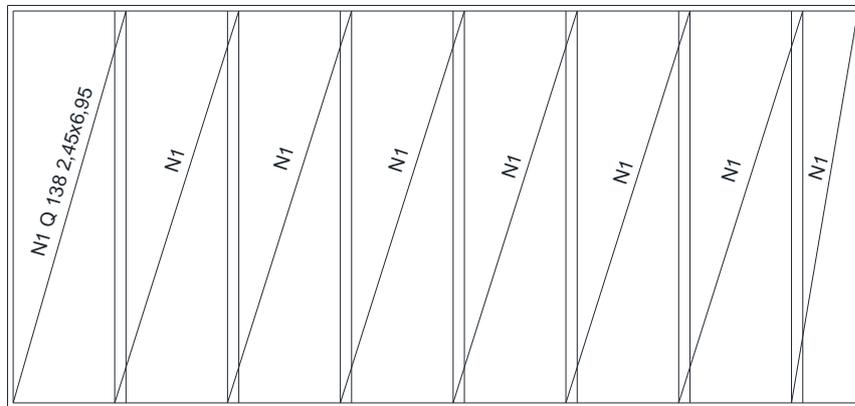
Abaixo segue as representações gráficas das armaduras e do pavimento, com os respectivos cortes.

**Figura 13 – Detalhe do pavimento**



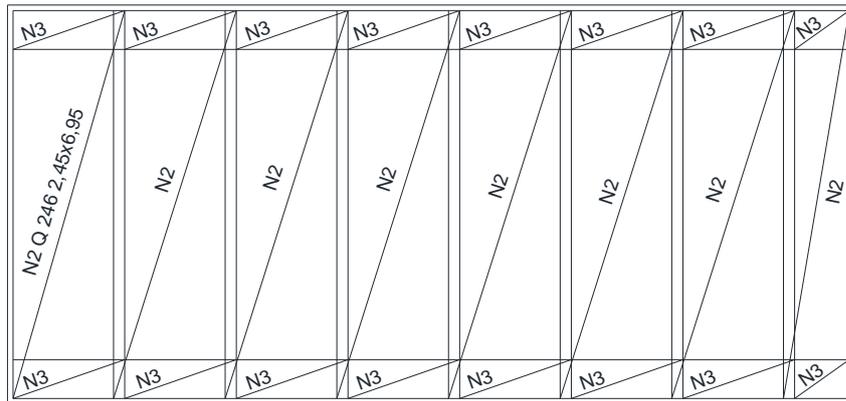
**Fonte: próprio autor, 2020.**

**Figura 14 – Armadura superior**



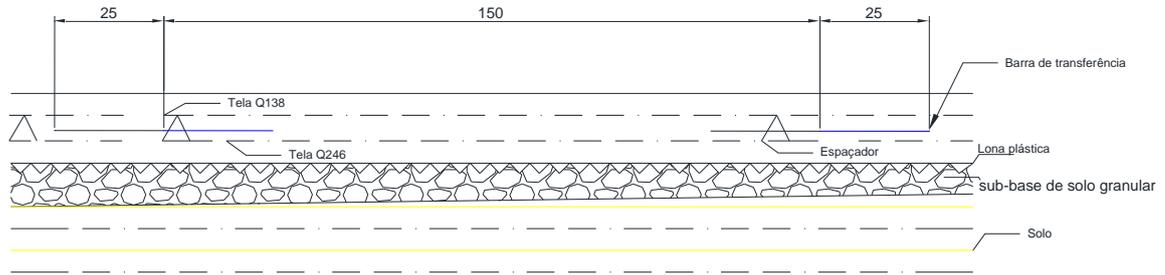
**Fonte: próprio autor, 2020.**

**Figura 15 – Armadura inferior**



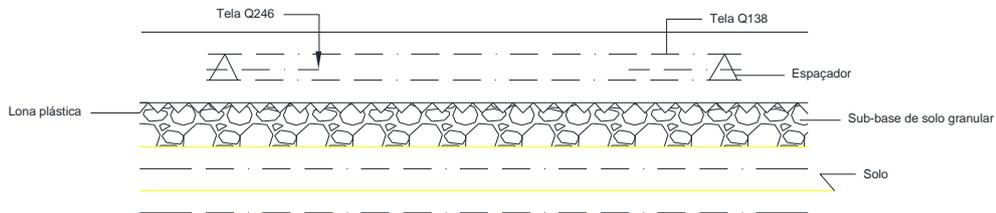
**Fonte: próprio autor, 2020.**

**Figura 16 – Corte A-A**



**Fonte: próprio autor, 2020.**

**Figura 17 – Corte B-B**



**Fonte: próprio autor, 2020.**

## 5 CONCLUSÃO

A pavimentação de uma via tem o objetivo de garantir um tráfego seguro, confortável e fluente, e que consiga reduzir a probabilidade de acidentes e o tempo de viagem para os usuários seja cada vez menor. Para que isso seja possível, é necessário um pavimento de boa qualidade, com as melhores condições de satisfação para o usuário, e que também tenha uma elevada vida útil. Além disso, necessita-se de que essa execução seja feita reduzindo ao máximo os custos.

Pelo fato de o mundo atual sempre se transformar, adaptar e se preocupar com melhor relação custo-benefício e as novas tecnologias, o tipo de pavimento que melhor se encaixa nestas características citadas é o pavimento rígido, e não pavimento flexível, principalmente para tráfego médio e elevado.

Pelos estudos realizados e literatura consultada, conclui-se que a adoção de pavimentos rígidos resulta em benefícios como: estruturas mais delgadas; maior resistência a ataques químicos; maior distância de visibilidade horizontal; vida útil de no mínimo 20 anos; melhor

escoamento da água superficial; permite até 30% de economia nas despesas de iluminação da via, dentre outros.

Assim, após a aplicação da metodologia sugerida pela ABCP para dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados, concluiu-se também que a metodologia é de fácil aplicação e resulta em estruturas confiáveis, com condições de atender às finalidades dos pavimentos: resistir aos esforços do tráfego, oferecer segurança e conforto aos usuários das rodovias.

Sugere-se para trabalhos futuros aplicações reais e análises comparativas dos custos benefícios do pavimento estruturalmente armado ante a solução de pavimento flexível, o que possibilitará o planejamento de ações futuras referentes à implantação de rodovias na malha viária do país.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. **Dimensionamento dos Pavimentos Rodoviários de Concreto**. ET-14. 1998. São Paulo. 1998.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. **O concreto pavimentando os caminhos na formação de um novo país**. São Paulo. 2009.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BOSSO, Mariana. **Uso da tecnologia Weigh-in-Motion para a caracterização do tráfego rodoviário e do excesso de carga em veículos comerciais**. São Paulo. 150 p. 2018.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de pavimentos rígidos**. IPR. Rio de Janeiro. 2005.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de pavimentação**. IPR. Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. EESC-USP. São Carlos, 2000.

RODRIGUES, Públio Penna Firme; PITTA, Márcio Rocha (1998). **Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados**. São Paulo, ABCP.

SANTANA, H. **Manual de Pré-Misturados a Frio**. IBP/ Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ, 1993.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo. PINI, 1997.

SOUZA, M. L. de. **Pavimentação rodoviária**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed., 1980.

XEREZ NETO, Jary de. **Pavimentos usuais de concreto para cargas simples**. São Paulo. PINI, 2013.