

# **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E SURGIMENTO DE PATOLOGIAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL EM VIRTUDE DO TRÁFEGO SOLICITANTE NO CONDOMÍNIO VALLE DA SERRA EM BETIM – MG**

**ANALYSIS OF STRUCTURAL BEHAVIOR AND SURFACE OF PATHOLOGIES OF FLEXIBLE FLOOR IN VIRTUE OF TRAFFIC REQUESTING IN THE VALLE DA SERRA CONDOMINIUM IN BETIM – MG**

Daniela Caroline Gonçalves Figueiredo Fidelis  
Thiago Fidelis de Almeida da Silva  
Renato Tadeu Barros Ribeiro  
Sheilla Leal de Oliveira Loureiro  
Tálita Rodrigues de Oliveira Martins

## **RESUMO**

As rodovias, estradas e vias de acesso são de essencial importância, visto que é o principal modal de transporte do Brasil. O pavimento do tipo flexível é o mais utilizado para execução das estradas no país. A presente pesquisa vem analisar as tensões e deformações atuantes em um pavimento flexível submetido a cargas móveis e estáticas no condomínio residencial Valle da Serra em Betim - MG, com objetivo de avaliar se a pavimentação projetada atenderá estruturalmente as tensões nela submetidas por diversos tipos de carregamentos, por veículos de diferentes configurações de eixos, que a solicitarão durante sua vida útil. Com a finalidade de garantir a durabilidade do dimensionamento e atender a todas as especificações técnicas para o determinado tipo de pavimentação, são realizados estudos do solo sobre as características geotécnicas, são levados em consideração a topografia, o clima e análise da drenagem, para avaliar as possíveis tensões e deformações que poderão ser geradas nas camadas e na superfície do pavimento. Esta pesquisa apresenta um estudo relacionado aos tipos de carregamentos que o pavimento estará submetido, com o objetivo de analisar as camadas e o comportamento estrutural do pavimento flexível e as patologias geradas no condomínio Valle da Serra em Betim – MG, utilizando a metodologia de estudo de caso descritivo. Os estudos aplicados conduziram a pesquisa a resultados capazes de confirmar as causas das patologias encontradas e através disso a indicação de medidas capazes de restaurar o pavimento.

Palavras-chave: Pavimento flexível. Dimensionamento. Ensaio. Patologias.

---

## **ABSTRACT**

Highways, roads and access roads are of essential importance, since it is the main mode of transport in Brazil. The flexible type pavement is the most used for road construction in the country. The present research analyzes the stresses and deformations acting on a flexible floor subjected to static and mobile loads in the Valle da Serra residential condominium in Betim - MG, with the objective of evaluating whether the projected pavement will structurally meet the stresses submitted to it by different types of loads, for vehicles with different axle configurations, which will request it during its useful life. In order to guarantee the durability of the design and meet all the technical specifications for the particular type of pavement, soil studies are carried out on the geotechnical characteristics. Topography, climate and drainage analysis are taken into account to assess possible stresses and deformations that may be generated in the layers and surface of the pavement. This research presents a study related to the types of loads that the pavement will be submitted, with the objective of analyzing the layers and the structural behavior of the flexible pavement and the pathologies generated in the Valle da Serra condominium in Betim - MG, using the methodology of study of descriptive case. The applied studies led the research to results capable of confirming the causes of the pathologies found and, through this, the indication of measures capable of restoring the pavement.

Keywords: Flexible floor. Sizing. Essay. Pathologies

## 1 INTRODUÇÃO

Os meios de transporte são elementos de extrema importância para o desenvolvimento socioeconômico do país. Transitar de um local para outro é algo fundamental e indispensável para a sociedade.

Na construção das estradas o principal pavimento utilizado no Brasil é o tipo flexível, mas embora se tenha agregado muito conhecimento e novas tecnologias aos métodos de pavimentação no decorrer dos anos, alguns projetos executados ainda apresentam resultados insatisfatórios, a curto e longo prazo, devido às falhas até mesmo involuntárias, erros de projetos e o próprio envelhecimento natural da estrutura e de seus materiais constituintes, contribuindo com a degradação do pavimento e o surgimento de patologias.

O pavimento é definido como uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, sendo o revestimento a camada destinada a receber a carga dos veículos. O pavimento do tipo flexível, que é o objeto de estudo dessa pesquisa, possui a camada de revestimento de material asfáltico, sendo apoiada sobre camadas de base, sub-base, reforço do subleito e subleito, constituídas por materiais granulares ou misturas de solos. Devido a sua composição, esse tipo de pavimentação apresenta menor custo de produção em relação a outros tipos de pavimentos, além da rapidez para sua execução.

As estruturas de pavimento flexível, que possui respostas mecânicas em pressões concentradas, são projetadas para resistir a diversos fatores capazes de alterar sua forma inicial, como a solicitação de cargas, fatores climáticos e a própria degradação natural. Entretanto os cálculos estruturais para uma pavimentação se tornam empíricos uma vez que sofrem solicitações por esforços cíclicos de carregamento e descarregamento em um determinado ponto da superfície de rolamento, provocados pelas rodas dos veículos durante a sua vida útil. Além disso, os processos de elaboração do projeto, execução e manutenções também são responsáveis pela garantia da qualidade das vias, sendo que qualquer falha nestes processos poderá resultar no comprometimento da vida útil da estrutura.

Baseado nesse aspecto observa-se o surgimento constante de manifestações patológicas em vias pavimentadas sobre camadas de base e sub-base compondo a estrutura do pavimento flexível. Há vários motivos que levam a ocorrência dessas patologias, podendo ser o cálculo estrutural errôneo como também falhas na execução do

projeto, falta de controle tecnológico e realização de ensaios específicos em campo que afetam diretamente a garantia e qualidade das camadas executadas.

Com intuito de analisar a qualidade do pavimento flexível nas vias do condomínio Valle da Serra, serão realizados estudos sobre a demanda e os tipos de veículos, inclusive número de eixos cujo pavimento está sendo submetido, observando os esforços provocados sobre as camadas do pavimento e verificando o seu comportamento estrutural. Através deste estudo será possível identificar as principais manifestações patológicas, as possíveis causas para o seu surgimento e propor alternativas para a reabilitação desta pavimentação.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Como identificar as deformações no pavimento flexível**

A identificação das patologias é uma etapa de suma importância para a determinação da condição estrutural do pavimento e das alternativas de restauração a serem adotadas. Os métodos de identificação dividem em: avaliação global, avaliação do pavimento e avaliação das solicitações do tráfego.

#### **2.1.1 Avaliação global**

A avaliação global dever ser a primeira alternativa no processo de identificação das deformações do pavimento flexível.

Bernucci *et al.* (2008) afirma:

[...] Antes da adoção de qualquer alternativa de restauração ou aplicação de qualquer critério numérico ou normativo para cálculo de reforços, um bom diagnóstico geral dos defeitos de superfície é imprescindível para o estabelecimento da melhor solução. Portanto, para corrigir ou minimizar uma consequência (defeito), deve-se conhecer as prováveis causas que levaram ao seu aparecimento. Para tanto, recomenda-se: verificação *in situ* dos problemas de superfície, relações com as condições geométricas, dos taludes e de drenagem; levantamento de dados climáticos, de tráfego, de mapas geológicos, pedológicos ou geotécnicos; levantamento de memórias técnicas e de relatórios de projeto e de controle; e estabelecimento de um cenário global dos defeitos e sua relação com todos os dados observados e levantados. (BERNUCCI *et al.*, 2008, p. 415)

Para a avaliação global, o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006) afirma que é necessária uma coleta substancial de dados sobre o pavimento, antes

de diagnosticar uma situação. Os dados a serem coletados podem ser divididos nas categorias:

[...] a) condições do pavimento da pista de rolamento; b) condição do acostamento; c) dados de projeto original do pavimento; d) propriedades dos materiais e do solo; e) volumes e cargas de tráfego; f) condições climáticas; g) condições de drenagem; h) fatores geométricos; i) aspectos de segurança (acidentes); j) dados históricos de conservação; k) outros fatores. (DNIT, 2006, p. 117-118)

A avaliação global contempla a análise de inúmeros dados em relação a condição superficial e estrutural do pavimento. Mas para a avaliação específica do pavimento se faz necessário a definição de alguns métodos.

### **2.1.2 Avaliação do pavimento**

As avaliações do pavimento são divididas em dois tipos: avaliação da funcionalidade e avaliação estrutural.

A avaliação da funcionalidade é realizada através do estudo das condições da superfície do pavimento, determinando o Valor de Serventia Atual (VSA). Atualmente o valor de serventia é numericamente compreendido em uma escala de 0 a 5, cuja avaliação entre 4 e 5 significa que o padrão de conforto do rolamento está excelente, já de 0 a 1 significa que está péssimo. Através desta avaliação determina-se a necessidade de manutenções do pavimento ou a necessidade de reconstrução quando o nível do VSA está abaixo de 1,0. Ou através da determinação do Índice de Gravidade Global (IGG), que avalia as condições longitudinais da superfície, essa avaliação auxilia nos projetos de reforços.

A identificação dos tipos de patologias encontradas no pavimento é realizada através de análise a olho nu, com base na determinação do VSA. Conhecendo as definições de cada tipo de deformação, com a ajuda de um instrumento de medir é possível quantificar os defeitos, entretanto de o VSA está abaixo do limite de trafegabilidade considera-se um defeito estrutural.

A avaliação estrutural do pavimento, com base nos conceitos de Bernucci *et al.* (2008), deve ser associada aos conceitos de: serventia, desempenho, gerência, restauração, manutenção preventiva, reforço e a reconstrução.

A avaliação estrutural pode ser feita através de três métodos: destrutivo, semi destrutivo ou não destrutivo.

Avaliar as condições da superfície e da estrutura do pavimento é a melhor forma de compreender as deformações que ocorrem. Um fator que contribui para o surgimento das patologias são as solicitações do tráfego, uma vez que o volume de tráfego projetado para a estrutura pode ser diferente do volume solicitante.

### **2.1.3 Avaliação das solicitações do tráfego**

Avaliar as solicitações de tráfego sofridas pelo pavimento contribui diretamente com a definição do diagnóstico da situação da pavimentação. Além disso, para o dimensionamento das intervenções ou do reforço que será necessário é preciso determinar o volume de tráfego futuro.

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006) recomenda a análise do tráfego a partir da definição de três elementos: Projeção do volume médio diário (VMD) do tráfego (anual); Carregamento da frota; Cálculo dos parâmetros de tráfego (N).

As avaliações do pavimento, considerando todos os seus aspectos fundamentais, é a etapa que determina o diagnóstico da situação da estrutura e define o procedimento que será adotado para a restauração do pavimento.

## **2.2. Principais técnicas de restauração dos pavimentos flexíveis**

### **2.2.1 Restauração de pavimentos com problemas funcionais**

Os problemas funcionais estão relacionados aos defeitos na superfície do pavimento, neste caso a restauração tem como finalidade apenas a correção desses defeitos.

Com base nos conceitos de Bernucci *et al.* (2008), para a restauração de algumas deformações é necessário remover parte do revestimento antigo através da fresagem e para as correções das demais deformações são utilizados os seguintes tipos de revestimentos: lama asfáltica; tratamento superficial simples ou duplo; micro revestimento asfáltico a frio ou a quente; concreto asfáltico; e mistura do tipo camada porosa de atrito.

Utiliza-se também a reperfilagem, a remoção por fresagem ou a combinação dessas técnicas para obter-se o melhor resultado na restauração do pavimento.

## 2.2.2 Restauração de pavimentos com problemas estruturais

Quando se trata de comprometimento estrutural as técnicas de restauração devem compreender o reestabelecimento da capacidade estrutural do pavimento, para isso o recomendável é incorporar novas camadas à estrutura ou tratar as camadas existentes.

Para a incorporação de novas camadas, processo também conhecido como recapeamentos são utilizados os revestimentos: concreto asfáltico; Stone Matrix Asphalt (SMA), cuja tradução é matriz pétreo asfáltica; misturas descontínuas; e pré-misturado a quente. Nestes revestimentos são empregados cimentos asfálticos convencionais, entretanto utiliza-se a sua modificação através de polímeros ou borracha moída de pneus. Essas modificações aumentam a resistência e capacidade estrutural do revestimento.

As técnicas de restauração também podem ser utilizadas de forma isolada ou combinadas, a combinação pode aumentar a capacidade estrutural da camada aplicada. Recomenda-se a remoção da camada degradada através da fresagem.

## 3 METODOLOGIA

O presente trabalho, na definição de pesquisa quanto aos fins, se caracteriza como explicativa, por identificar fatores que determinam e contribuem para a ocorrência de fenômenos que não foram considerados no método executivo da construção da pavimentação flexível.

Para obter um parâmetro definidor das condições de superfície do pavimento e um inventário de ocorrências e suas prováveis causas, foram realizados levantamentos fotográficos dos defeitos na pavimentação do condomínio Valle da Serra em Betim - MG. O período de coleta de dados foi entre 01 de fevereiro a 30 de março de 2020, e os testes foram iniciados em março e finalizados em maio de 2020.

Esta pesquisa pode ser enquadrada como estudo de caso, baseado na aplicação dos manuais de estudo do tráfego, pavimentação e restauração de pavimentos asfálticos do DNIT. Para tal, são elencadas as diferenças existentes entre os tipos de pavimentação, apontando as patologias mais recorrentes pelo não atendimento aos requisitos mínimos solicitados pelo DNIT através de análise do projeto executivo e laudos geotécnicos do empreendimento, para determinar a diferença e propor tratativas para soluções das

patologias da pavimentação, prolongando a vida útil do mesmo e garantindo a segurança e qualidade do produto final.

O universo da pesquisa se trata de um condomínio residencial localizado no bairro Vianópolis em Betim no município de Minas Gerais, denominado Condomínio Valle da Serra. As amostras são as vias de trânsito local pavimentadas com revestimento do tipo flexível.

A construtora responsável pela construção do condomínio não autorizou a divulgação de seu nome, mas atua há mais de 25 anos no mercado de incorporações e construção no estado de Minas Gerais, já tendo realizado diversas obras com fins residenciais como condomínios e loteamentos.

A escolha do método construtivo se deu devido à necessidade de a empresa construtora atender aos três pilares da engenharia civil: prazo, qualidade e custo. Sendo assim a pavimentação flexível foi a que melhor atendeu a expectativa de execução do condomínio Valle da Serra, sendo um sistema que demanda menor prazo, com isso a redução do custo de mão de obra e a facilidade para determinação dos materiais e agregados a serem utilizados.

O residencial Valle da Serra está situado próximo à Rodovia MG 050, Km 51, no bairro Vianópolis, em Betim - Minas Gerais, é um condomínio fechado que dispõe no total de 392 lotes residenciais, e comercializa a metragem mínima de 1.000 m<sup>2</sup> o lote. O condomínio ainda tem uma área de 514 mil m<sup>2</sup> de área verde preservada.

O material coletado foram fotografias, amostras e observações de campo pelos pesquisadores no local. As amostras do material (pavimento) foram recolhidas para efetuação dos testes no sistema ELSYM5.

Com o auxílio do programa ELSYM5, foram desenvolvidos dois testes para avaliar o dimensionamento do pavimento. No primeiro teste foi dimensionada a camada de base e revestimento asfáltico para que ele durasse, aproximadamente, 10 anos. O segundo teste teve como objetivo avaliar a espessura e a condição geotécnica da camada de subleito, considerando a sua capacidade de suporte para o número de repetições por eixo padrão. As avaliações tiveram como base os parâmetros pré-estabelecidos pelo DNIT. O período de aplicação dos testes foi entre março e abril de 2020.

Uma limitação desta pesquisa foi a não liberação do histórico da construção do empreendimento pela construtora responsável e com isso não foi possível realizar análises e estudos mais aprofundados. Além disso, houve dificuldade em acessar o condomínio, sendo possível somente uma visita técnica.

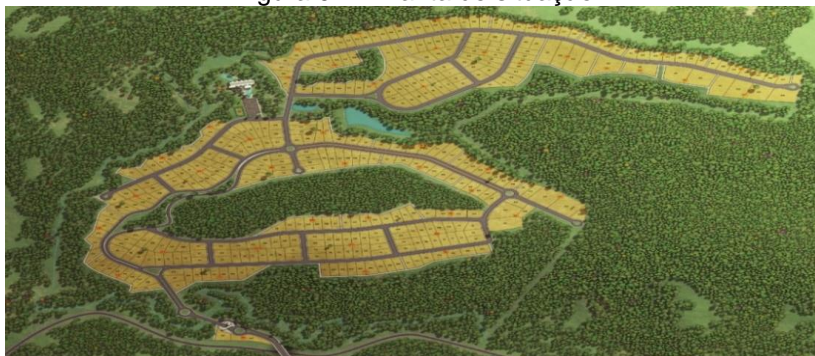
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Processo utilizado no dimensionamento estrutural do pavimento flexível no condomínio Valle da Serra em Betim – MG

A infraestrutura do condomínio Valle da Serra foi projetada com a parceria de algumas empresas de engenharia civil, sendo todas qualificadas. O projeto de pavimentação para o parcelamento do terreno observou as condições locais, no que diz respeito às características geotécnicas e das vias do parcelamento.

Com os resultados obtidos pelos laudos de geotécnicos, o projeto de pavimentação foi adequado às condições e características do terreno. Para a identificação do projeto a ser desenvolvido o pavimento, a Figura 01 apresenta a planta de situação do condomínio Valle da Serra.

Figura 01 – Planta de situação

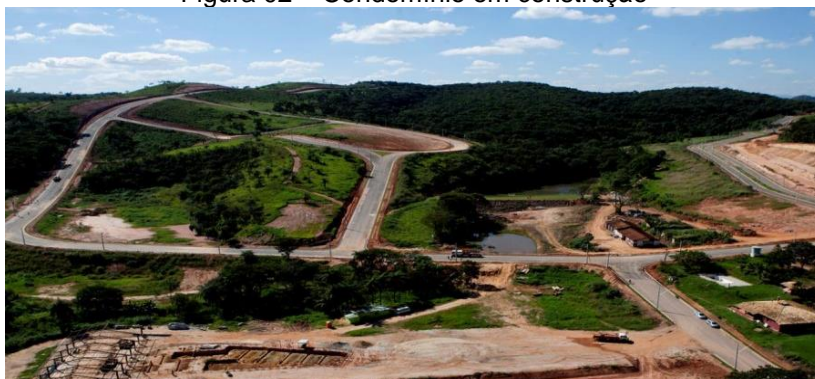


Fonte: Geoline Engenharia (2011)

De acordo com a empresa responsável pelo projeto de implantação, a execução das vias de trânsito local do condomínio Valle da Serra, obedeceu às seguintes especificações: no subleito foi retirada uma camada de 40 cm do solo e substituído por um material com grau de expansão mais apropriado para o projeto da via a ser implantada. A regularização desta camada foi realizada através da compactação, sendo feita de 20 em 20cm de espessura. O reforço do subleito foi executado com jazida de solo e espessura de 15cm, já nas camadas de sub-base e base, foi utilizado material do corpo da obra e, quando necessário, este recebeu aditivos para atingir as especificações de projeto, as espessuras foram de 15cm. Por fim, o revestimento foi executado com Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), com espessura de 3,0cm. A Figura 02 representa o resultado final do processo executivo referente ao projeto de pavimentação desenvolvido, pode-se identificar as vias de trânsito prontas para utilização durante a finalização da obra.



Figura 02 – Condomínio em construção



Fonte: Geoline Engenharia (2012)

Observando a planta de situação, diante das descrições do processo construtivo aplicado, juntamente com o projeto da seção tipo do pavimento, o resultado está visualmente de acordo com o projetado, entretanto, antes mesmo da ocupação pelos moradores do condomínio e do trânsito local, foi possível identificar o surgimento de algumas patologias que vem ocorrendo sobre as camadas constituintes desse pavimento e se agravam com o decorrer do tempo.

#### **4.2 Principais patologias que ocorrem nas camadas constituintes do pavimento flexível no condomínio Valle da Serra em Betim – MG**

Utilizando o programa ELSYM5, no qual foram inseridos os dados técnicos referentes aos ensaios geotécnicos realizados pela empresa X em 2013, foram feitos dois testes para análise das camadas do pavimento flexível das vias do condomínio Valle da Serra. A análise através do sistema teve como foco a camada de base e subleito, sendo suficiente para que as causas das patologias encontradas sejam identificadas.

As tensões sobre o revestimento consideradas são de 2050kgf de carga por eixo de rodagem e 5.60 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão dos pneus, dados tabelados pelo DNIT. Iniciando a análise pela camada de base, temos que a deformação específica normal é de  $315 \times 10^3$ .

Através dos valores de tensões principais e deformações específicas para o pavimento flexível em estudo sistema ELSYM5, aplica-se o modelo de fadiga adequado ao revestimento. Para isso é importante empregar um modelo de fadiga com o intuito de encontrar o número de repetições de carga (N) para atingir a ruptura do pavimento.

O parâmetro utilizado neste modelo é o da diferença entre tensões verticais e horizontais ( $\Delta\sigma$ ), sendo que o obtido através do sistema ELSYM5 foi de  $\Delta\sigma = 0,897$  MPa. Analisando o número  $N_{lab}$  aplicada sobre a camada de base obtém-se:

$$N_{lab} = 1,2 \times 10^3 \left(\frac{1}{\Delta\sigma}\right)^{2,77} \rightarrow N_{lab} = 1,2 \times 10^3 \left(\frac{1}{0,897}\right)^{2,77} \rightarrow N_{lab} \cong 1,62 \times 10^3$$

A seguir é feito o cálculo do número N padrão, sendo utilizado como referência o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos - DNIT (2006):

$$N = 365 \times VMD \times FV$$

Onde N é o número de repetições da carga do eixo padrão de 8,2t por ano considerando equivalente aos eixos dos veículos comerciais da frota circulante; VMD é o volume médio diário dos veículos comerciais por ano em um só sentido; FV é fator de veículo.

Por falta de dados específicos referentes ao projeto original do condomínio com relação ao VMD, para o cálculo da estimativa de percentual de veículos, foram utilizados valores padronizados pelo DNIT. Sendo 2 faixas de tráfego o percentual será 50.

Utilizando a tabela de fatores de veículo para carga legal, disponibilizada pelo DNIT, encontra-se o FV para aplicar na fórmula que dará o número de repetições por eixo padrão. De acordo com a utilização das vias do condomínio, considerando inclusive a fase de obras, a classe adequada para análise é de “caminhões médios e pesados”, cujo FV é de 31,5.

O número de repetições por eixo padrão para um período de 10 anos conforme formulado pelo DNIT (2006), aplicando o FV encontrado.

$$N = 365 \times VMD \times FV \rightarrow N = 365 \times 50 \times 31,5 \rightarrow N = 5,75 \times 10^5$$

A seguir é obtido o cálculo do número de repetições por eixo padrão ( $N_c$ ), sendo utilizado o fator f de  $5 \times 10^4$  sugerido por Pinto e Motta (1995), e utilizando o parâmetro matemático de fadiga.

$$N_c = f \times N_{lab} \rightarrow N_c = 5 \times 10^4 (1,62 \times 10^3) \rightarrow N_c = 8,10 \times 10^7$$

Obteve-se pelo método mecanicista um valor N de  $8,10 \times 10^7$  e pelo método do DNIT o valor de  $5,75 \times 10^5$ , para a camada de base.

Para a análise da camada de subleito, através do sistema ELSYM5, obteve-se  $\Delta\sigma = 2,80 \times 10^2$  Mpa. Utilizando as mesmas fórmulas da análise da camada de base, para o subleito obtém-se:

$$N_{lab} = 1,2 \times 10^3 \left(\frac{1}{\Delta\sigma}\right)^{2,77} \rightarrow N_{lab} = 1,2 \times 10^3 \left(\frac{1}{2,80 \times 10^2}\right)^{2,77} \rightarrow N_{lab} \cong 1,997 \times 10^{-4}$$

$$N_c = f \times N_{lab} \rightarrow N_c = 5 \times 10^4 (1,997 \times 10^{-4}) \rightarrow N_c = 9,98$$

$$N = 365 \times VMD \times FV \rightarrow N = 365 \times 50 \times 31,5 \rightarrow N = 5,75 \times 10^5$$

Obteve-se o número N de 9,98 repetições do eixo padrão utilizando os dados do programa e o valor de  $5,75 \times 10^5$  através da fórmula do DNIT (2006), para camada de subleito.

Na visita in loco, realizada em 15 de fevereiro de 2020, foi possível identificar algumas das patologias mais recorrentes no decorrer das vias e analisar suas características visuais, conforme as Figuras 03 a 07:

Figura 03 – Trinca longitudinal longa



Fonte: Fotografado pela equipe de trabalho - in loco (2020)

A trinca longitudinal, como apresentada na Figura 03, é uma patologia caracterizada por ter sua direção de formação predominantemente paralela ao eixo da via, sendo longa por apresentar mais de 100 cm (cem centímetros).

Observa-se que a trinca encontrada na Figura 03 é profunda e longa, já na outra patologia de mesma natureza encontrada observa-se características pouco diferentes, conforme Figura 04.

Figura 04 – Trinca longitudinal longa



Fonte: Fotografado pela equipe de trabalho - in loco (2020)

Outro tipo de patologia encontrada nas vias foram as panelas, conhecidas também como buracos. Estes estavam acompanhados por diversas trincas que foram causadas por reflexo do problema principal, como se pode ver na Figura 5.

Figura 05 – Panelas ou Buracos



Fonte: Fotografado pela equipe de trabalho - in loco (2020)

As panelas, como identificadas na Figura 05, são caracterizadas pela cavidade que se forma no revestimento, podendo alcançar camadas inferiores do pavimento, provocando desagregação dessas camadas.

Figura 06 – Afundamento de trilha de roda



Fonte: Fotografado pela equipe de trabalho - in loco (2020)

O afundamento de trilha identificado na Figura 06 é uma deformação permanente caracterizada por depressão da superfície, ou seja, um afundamento de camadas inferiores resultando na identificação visual do afundamento na superfície.



Figura 07 – Afundamento de trilha de roda e trinca longitudinal



Fonte: Fotografado pela equipe de trabalho - in loco (2020)

Na Figura 07, foram encontradas patologias associadas onde ao mesmo tempo se dá o afundamento de trilha seguido de trincas longitudinais.

Diante das análises realizadas através dos laudos geotécnicos, do sistema ELSYM5 e dos parâmetros ideais é possível propor algumas técnicas de restauração do pavimento flexível do condomínio Valle da Serra, para que as vias sejam restauradas.

#### 4.3 Principais procedimentos adequados a restauração e manutenção dos pavimentos flexíveis no condomínio Valle da Serra em Betim – MG

As patologias identificadas nas vias do condomínio Valle da Serra são recorrentes, ou seja, em diversos trechos encontram-se as mesmas deformações. Através da Tabela 01 pode-se compreender as características de cada patologia e através disso e das análises efetuadas, propor os procedimentos de restauração adequados.

Tabela 01 – Patologias no pavimento do condomínio Valle da Serra, características e restauração

REPRESENTAÇÃO FOTOGRÁFICA DAS PATOLOGIAS	TIPO DE DEFORMAÇÃO	RESTAURAÇÃO
Figura 03	Trinca longitudinal longa - Abertura maior que 1,0mm	Inclusão de camada de dissipação de trincamento, composta por materiais granulares capazes de interromper o desenvolvimento das trincas
Figura 04	Trinca longitudinal longa - Abertura menor que 1,0mm	Inclusão de camada de dissipação de trincamento, composta por materiais granulares capazes de interromper o desenvolvimento das trincas
Figura 05	Panelas ou buracos - Desplacamento da primeira camada	Retirada da primeira camada por fresagem, recomposição da base e recapeamento duplo da camada de revestimento
Figura 06	Afundamento de trilha de roda - Afundamento plástico local	Remoção da camada de revestimento, reforço na camada de base, compactação e recapeamento duplo da camada de revestimento
Figura 07	Afundamento de trilha e trinca longitudinal longa - Afundamento plástico local e abertura maior que 1,0mm	Remoção da camada de revestimento, reforço na camada de base, inclusão da camada de dissipação de trincamento, compactação e recapeamento duplo da camada de revestimento

Fonte: Autores do trabalho (2020)

Para as camadas de dissipação de trincamento, citadas na Tabela 01, como proposta de restauração das trincas, deve-se utilizar materiais granulares, pois são capazes de interromper o desenvolvimento das trincas devido ao seu índice de vazios. Esse índice deve ser 20 a 30% e a camada com no mínimo 100 mm.

A restauração das painéis deverá ser iniciada pela etapa de fresagem, de forma que toda a primeira camada deformada seja retirada. A profundidade dos buracos encontrados é pequena, entretanto a área de trincamento e deslocamento grande, por isso torna-se necessário a recomposição da base desta área e posteriormente o recapeamento duplo da camada de revestimento. A utilização de lama asfáltica na última camada poderá auxiliar o rejuvenescimento da condição superficial do pavimento.

Por fim, no afundamento de trilha de roda, por ser uma patologia com características de influência plástica de uma ou mais camadas do pavimento, sugere-se que a realização do reforço da camada de base após a retirada da camada de revestimento, sendo a compactação uma etapa determinante neste caso.

Diante dos diagnósticos das patologias já encontradas no pavimento do condomínio Valle da Serra é importante ressaltar a necessidade imediata de manutenção em toda extensão das vias locais. A manutenção pode ser feita através da selagem de trincas superficiais, aplicação de ligantes asfálticos e agregados com posterior compactação e também com a utilização de lama asfáltica, que atua como impermeabilizante.

## **5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através da inspeção executada em campo, dos ensaios geotécnicos obtidos e da análise do método construtivo, identifica-se o tipo de solo e a composição estrutural do pavimento, que foi executado em diversas camadas. Com os dados coletados, utilizando o sistema ELSYM5, obteve-se resultados abaixo dos parâmetros estabelecidos pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006) e através disso pode-se concluir que houve erro no cálculo do projeto de pavimentação do condomínio Valle da Serra.

A deformação do pavimento, representada por "N" (número de repetições de eixo padrão), apresentou-se abaixo dos parâmetros estabelecidos pelo DNIT, comprovando que o projeto não seria capaz de atender às solicitações do tráfego e por isso surgiram diversas manifestações patológicas como trincas e deformações. As solicitações influenciam diretamente na qualidade e durabilidade do pavimento, e a falha deste dimensionamento indica que a estrutura analisada não é capaz de suportar o carregamento solicitado e entrou

em fadiga antes do prazo estabelecido para a vida útil do projeto, demandando mais investimentos em manutenções, reduzindo as condições de conforto e segurança das vias.

As patologias identificadas possuem características de deformações permanentes, o que confirma o comprometimento estrutural do pavimento. Esse comprometimento é causado pela fadiga, ou seja, crescimento acelerado do valor de deflexão do pavimento. A fase de fadiga ocorre quando existem falhas na caracterização dos materiais que compõem as camadas que suportarão este tráfego e deficiências de projeto, sendo este o caso diagnosticado no pavimento em análise.

O projeto mal dimensionado impacta diretamente em todo processo construtivo do pavimento e se não corrigido ainda na fase inicial dificilmente é possível reverter os danos sem necessidade de refazer algum processo. No caso do estudo apresentado, foi necessário conhecer as características topográficas, os conceitos relacionados a mecânica dos solos, drenagem e estudo do tráfego para que através disso fosse possível concluir que todos esses pontos, inclusive o clima local, impactam diretamente no dimensionamento das solicitações do pavimento e por consequência à sua vida útil.

As opções de restauração propostas para a estrutura em estudo foram de tratamentos superficiais capazes de devolver ao pavimento a condição de tráfego confortável, entretanto, diante do diagnóstico de comprometimento estrutural e da fase de fadiga em que o pavimento se encontra, os tratamentos superficiais não serão capazes de impedir o surgimento de novas trincas e deformações. Para que a restauração da estrutura seja completa e efetiva será necessário recalcular o projeto e reconstruir as camadas de reforço do subleito, base e revestimento, com espessuras capazes de suportar as solicitações de carga do pavimento.

Para a continuidade do estudo de caso apresentado as pesquisas devem ser aprofundadas no reforço das camadas estratificadas, podendo ser utilizados métodos de inclusão de aditivos para reconstrução. Outra área a ser analisada poderá ser a drenagem, pois influência diretamente na vida útil do pavimento.

## REFERÊNCIAS

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ABEDA, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES, DNIT. **Manual de Estudo e Tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES, DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES, DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

PINTO, S. e MOTTA, L. M. G. **Catálogo de curvas de fadiga**. Boletim técnico número 16, Associação Brasileira de Pavimentação – ABPV. Rio de Janeiro, 1995.