



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNO BEZERRA DA SILVA

**ANÁLISE PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE VIA URBANA NA
CIDADE DE CARUARU: um estudo de caso.**

Caruaru

2024

BRUNO BEZERRA DA SILVA

**ANÁLISE PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE VIA URBANA NA
CIDADE DE CARUARU: um estudo de caso.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal De Pernambuco - UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estradas e Transportes.

Orientador: Prof. Pós-D.SC Saul Barbosa Guedes

Caruaru

2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de mostrar minha gratidão a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível. Sem Ele, não haveria onde encontrar forças para me manter resiliente e não desistir. É tudo para honra e glória d'Ele.

Outro fator importantíssimo na minha jornada foi a minha esposa, que sempre esteve ao meu lado, com todo seu amor e companheirismo, sempre fazendo com que eu quisesse ser um pouquinho melhor que eu mesmo a cada dia. Sem Karen Nayara, esse momento não chegaria.

Agradeço aos meus pais, que saíram da zona rural de um pequeno município de Pernambuco. Meu pai, antes copeiro, hoje motorista de van, Minha mãe, antes diarista, hoje dona de casa. Ambos lutaram a vida inteira, para tentar me dar as oportunidades que eles não tiveram. Ambos lutaram a vida inteira, para que eu pudesse estudar, para como eles dizem, ser alguém na vida. Essa conquista, é tanto deles quanto minha.

Também, não podia deixar de mencionar grandes amigos que o curso me deu, Nicolas que passou alguns anos viajando de ônibus mais de 140KM comigo para ir e vir para a faculdade, Ellen que além de amiga se tornou prima, cunhada, irmã e madrinha de casamento. E novamente, Karen, minha amiga, confidente, meu porto seguro, minha esposa. Amo todos vocês!

Análise para recuperação e manutenção de via urbana na cidade de Caruaru: um estudo de caso.

Analysis for the recovery and maintenance of urban roads in the city of Caruaru: a case study.

Bruno Bezerra da Silva¹

RESUMO

É muito comum o aparecimento de patologias em vias urbanas no Brasil. Quando se trata desse assunto, geralmente se pensa sobre vias de cidades grandes, com pavimento asfáltico. Porém, quando o revestimento é feito com paralelepípedo, mesmo em vias de menor tráfego, as patologias também surgem, podendo ser mais recorrente que nas vias de pavimentação asfáltica. No presente estudo, é analisada a via de acesso a um loteamento de médio porte, na cidade de Caruaru-PE, pois surgiram afundamentos ou trilhas de roda, antes mesmo do seu uso ser aberto para o tráfego público. A análise foi feita a partir dos dados, obtidos em laboratório, do solo utilizado para as camadas da base e do subleito, para assim verificar o dimensionamento do pavimento. Com o surgimento da patologia desenvolvida (deformação excessiva do pavimento), pode-se ter ocorrido erros no dimensionamento ou na execução, má qualidade dos materiais utilizados, além de problemas com a drenagem do pavimento. Dessa maneira, esse trabalho teve como objetivo realizar os ensaios de caracterização geotécnica, e dimensionar o pavimento pelo método da Prefeitura Municipal de São Paulo, em função do comportamento mecânico dos materiais utilizados (CBR). Com isso, foram comparados os resultados obtidos em relação ao que foi feito e observado em campo, de acordo com os parâmetros de dimensionamento, execução e qualidade dos materiais. Portanto, em função da análise obtida após a comparação, as medidas corretivas e preventivas sugeridas foram, a reconstrução do pavimento, e a execução de um sistema de drenagem, ambos com controle tecnológico seguindo as normas pertinentes.

Palavras-chave: Pavimento, patologias, caracterização geotécnica, dimensionamento.

ABSTRACT

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: bruno.bsilva@ufpr.br

It is very common for pathologies to appear on urban roads in Brazil. When it comes to this subject, we generally think of roads in large cities, with asphalt pavement. However, when the coating is made with cobblestone, even on roads with less traffic, pathologies also arise, which may be more recurrent than on asphalt paved roads. In the present study, the access road to a medium-sized subdivision in the city of Caruaru-PE is proven, as sinkholes or wheel tracks appeared, even before its use was opened to public traffic. The analysis was carried out using data obtained in the laboratory, from the soil used for the base and subgrade layers, in order to verify the sizing of the pavement. With the emergence of the developed pathology (excessive deformation of the pavement), errors may have occurred in sizing or execution, poor quality of the materials used, in addition to problems with pavement drainage. Therefore, this work aimed to carry out geotechnical characterization tests and dimension the pavement using the São Paulo City Council method, depending on the mechanical behavior of the materials used (CBR). With this, the results obtained were compared in relation to what was done and presented in the field, according to the parameters of sizing, execution and quality of the materials. Therefore, based on the analysis obtained after the comparison, the suggested corrective and preventive measures were, the pavement walls, and the execution of a drainage system, both with technological control following the relevant standards.

Keywords: Pavement, Pathologies, geotechnical characterization, design.

DATA DE APROVAÇÃO: 25 de Março de 2024.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil ao se construir um empreendimento do tipo loteamento, os lotes em si são apenas uma parcela das obrigações da construtora. Além da divisão dos lotes, o projeto necessita de várias outras partes constituintes que são imprescindíveis para o seu processo de regularização, que vão desde o projeto de urbanização e paisagismo até toda a infraestrutura necessária para o bom funcionamento do loteamento.

A infraestrutura é parte extremamente importante no convívio social, é o conjunto dos sistemas incorporados ao meio urbano para o qual oferecem serviços fundamentais para o seu funcionamento, como energia, água, comunicações ou transporte (Freire, 2017). Dentro dos sistemas de transporte, no que se diz respeito a loteamentos, a qualidade da pavimentação tanto

das vias de acesso, como das suas vias internas é extremamente importante para o sucesso do empreendimento.

Bernucci *et al.* (2008) define pavimento como uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada tecnicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e dessa forma propiciar aos usuários da via, conforto, economia e segurança. A qualidade do pavimento, não apenas depende da camada superior, ou seja, da camada de rolagem, mas também depende de como estão as camadas mais inferiores, como a base e a sub-base. Problemas em alguma das camadas do pavimento geram patologias, que podem trazer sérios danos aos usuários.

Existem dois principais grupos de patologias, as estruturais e as funcionais. As estruturais são aquelas que afetam a capacidade do pavimento de resistir aos esforços solicitantes do tráfego, já as funcionais são aquelas que afetam a segurança e a dirigibilidade do pavimento (Silva, 2008). Geralmente ambos os tipos de patologia estão ligados ou a erro de concepção de projeto, ou a má execução.

As camadas do pavimento podem ser de diferentes materiais. É comum o uso do solo próximo a região da obra para a execução das camadas de reforço do subleito (quando necessário), sub-base, base e revestimento (DNIT, 2022) e por isso é importante que se conheça as características do material utilizado como matéria prima, para que as indicações do projeto sejam corretamente atendidas.

O presente trabalho visa, por meio da caracterização geotécnica e do dimensionamento pelo método CBR, verificar se o pavimento executado em campo foi desenvolvido tecnicamente correto. E por meio dessa análise, sugerir medidas para recuperar o pavimento estudado.

1.1 Patologias em pavimentos flexíveis

1.1.1 Pavimento flexível

O pavimento flexível, segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (2017), é composto por diversas camadas, além do subleito, que é a fundação do pavimento. Essas camadas incluem o reforço do subleito, uma camada granular com espessura constante, caracterizada por suas propriedades superiores em relação ao subleito. A sub-base, complementar à base, é utilizada para reduzir a espessura desta última. A base tem a função de resistir aos esforços verticais provenientes dos veículos e distribuí-los para as camadas inferiores.

Por fim, o revestimento é a camada diretamente exposta ao tráfego, projetada para proporcionar conforto e segurança aos motoristas, resistir ao desgaste causado pelo tráfego, manter sua impermeabilidade tanto quanto possível e proteger as camadas inferiores do pavimento.

1.1.2 Principais patologias do pavimento flexível

Tendo em mente a estrutura do pavimento flexível, é possível prever as patologias que venham a se desenvolver. Assim, pode-se atuar de maneira mais precisa no defeito e ter uma solução mais real e significativa das patologias encontradas.

As patologias são classificadas como defeitos quando acabam afetando a segurança, o conforto e a boa condição de rolagem, atrapalhando a estrutura do pavimento, interferindo assim nas resistências das cargas provenientes do tráfego (Netto *et al.*, 2019).

As patologias mais encontradas para pavimentação flexível em paralelepípedo, segundo Almeida *et al.* (2019), são:

- **Panela ou buraco:** são cavidades que são formadas no revestimento e, quando aumentam, atingem as camadas inferiores. Elas se iniciam nas rachaduras e fendas, problemas de compactação, excesso de umidade na camada do solo, etc;
- **Juntas sem revestimento:** falta de material de preenchimento nas juntas ou a presença de material inadequado;
- **Abatimento do pavimento:** quando acontece o rebaixamento do pavimento, com relação ao seu nível original, causados pelo recalque do solo ou pela presença de material expansivo, “borrachudo”, nas camadas inferiores;
- **Afloramento de materiais argiloso:** devido algumas trincas presente no pavimento ou a falta de preenchimento, o tráfego de veículo faz as peças se deslocarem e o material das camadas inferiores sobem para as pedras, causando deterioração da camada de base;
- **Afundamento de trilhas de roda:** causado pela baixa capacidade de suporte, das cargas do tráfego, pelas camadas inferiores, bem como, deficiência na drenagem, ou por falhas de execução;
- **Trincas e desgaste:** peças que vão apresentando avarias devido ao tráfego constante;
- **Ondulação:** formação de ondas, perpendiculares ao eixo da via, que são provenientes das vibrações excessivas dos veículos.

Cada uma dessas patologias tem um nível de seriedade relacionados a elas, determinados para facilitar a inspeção e descrever a gravidade de cada defeito. Assim, é mais fácil definir a causa e analisar se o pavimento vai precisar de manutenção ou restauração, para se aplicar a solução de forma correta.

1.2 Uso de paralelepípedos na camada de rolamento

A pavimentação urbana teve sua origem na antiguidade. O paralelepípedo se originou na Grécia Antiga, porém foi no Império Romano que eles foram utilizados em ampla escala, para facilitar o tráfego nas vias. Com o passar dos anos, suas técnicas de fabricação foram se aperfeiçoando. Assim, passou a ser difundido pelo mundo como marca da civilização (Freitas, 2023)

No Brasil o pavimento urbano teve um impulso na promulgação da constituição em 1988, quando os municípios brasileiros passaram a ter uma melhor organização e teve o início de destinação de verba, pelo Governo Federal, para obras de infraestrutura (Prego, 2001). Porém, já em 1870, São Paulo adotava o calçamento de paralelepípedo, em algumas das ruas do centro.

Segundo o Manual de Pavimentação, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2022), o pavimento em paralelepípedo de pedra é classificado como revestimento flexível, por calçamento. São constituídos por blocos regulares, assentados sobre um colchão de regularização de material granular apropriado.

As juntas, entre os paralelepípedos, podem ser preenchidas com o próprio material do colchão de regularização, pedrisco, materiais ou misturas betuminosas ou com argamassa de cimento Portland. Eles podem ser fabricados de diversos materiais, sendo os mais comuns blocos de granito, gnaiss e basalto.

Atualmente o uso de revestimento flexível por calçamento teve uma queda, dando espaço para a pavimentação asfálticas e de concreto. Porém, em algumas ocasiões é mais indicado a execução da pavimentação em paralelepípedo, pois traz vantagens como: promover maior aderência dos pneus, aumentando a segurança da via; pode ser um pavimento permeável, quando não possui rejuntamento, facilitando a drenagem urbana; são de fáceis execução e manutenção, comparado ao pavimento rígido; pode ser utilizado em aterros recém-construídos e subleitos sujeitos a recalques acentuados (DNIT, 2006).

A pavimentação em paralelepípedo necessita de algumas especificações para serem executadas. O aterro serve como base para a pavimentação, seu material deve ser escolhido

atendendo a qualidade do serviço. Além disso, na execução do corpo do aterro não deve ser utilizado materiais que tenham baixa capacidade de suporte e expansão maior que 4%.

Já o meio-fio deve ser assentado sobre o aterro, com padrão DNIT, em concreto, com rejuntamento entre eles, com argamassa de cimento e areia, traço 1:6. E, a camada de assentamento, de areia grossa ou pó de pedra, não deve possuir a mistura de matéria orgânica. Por fim, a pavimentação é constituída de paralelepípedo, com dimensões e execução previstas pelo DNIT.

1.3 Métodos de dimensionamento de pavimento

De acordo com Senço (2007), dimensionar o pavimento significa determinar as camadas necessárias ao pavimento, e suas respectivas espessuras para que todo o esforço solicitante oriundo da passagem dos veículos seja transmitido ao subleito sem que o pavimento apresente rupturas, deformações ou desgaste superficial, excessivos.

Com o passar dos anos, desenvolveram-se várias pesquisas para métodos mais modernos de dimensionamento, os chamados métodos mecanísticos-empíricos. Esses métodos costumam levar em conta o comportamento elástico das camadas de suporte do pavimento, o que é fundamental para análise do rompimento por fadiga e deformação permanente (Silva *et al.*, 2019).

Contudo, devido a maior complexidade desses métodos, os parâmetros necessários para eles, também são mais difíceis de se obter. Por exemplo, no Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), que é o método mecanístico-empírico com maior utilização no Brasil, necessita-se do módulo de resiliência do solo, que para ser obtido precisa-se de equipamentos triaxiais de carga repetida como é mostrado na Norma DNIT 134/2018- ME - Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio, equipamentos esses que não são encontrados facilmente.

Muito em função da complexidade desses novos métodos, os métodos empíricos ainda são amplamente utilizados. O princípio desses métodos é o ensaio CBR, que segundo Senço (2007) mesmo após mais de 70 anos continua sendo utilizado como indicador de qualidade dos solos usados na construção de pavimentos.

Nesse sentido, o uso do CBR nos métodos do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER) e da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) ressalta ainda mais sua relevância no contexto rodoviário, pois a maioria substancial dos pavimentos rodoviários e urbanos brasileiros são projetados utilizando esses métodos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Somando os conhecimentos técnico-científicos a expertise profissional, o objetivo geral deste trabalho, consiste em avaliar de forma geral as características geotécnicas do solo utilizado nas camadas de base e do subleito. E por meio desse estudo, identificar se de fato as patologias desenvolvidas foram em função de, mau dimensionamento, processo falho de execução, ou má qualidade dos materiais utilizados na construção. E em função dessa análise, determinar as possíveis medidas para recuperar o pavimento, e trazer assim, de volta sua funcionalidade e conforto aos seus usuários.

1.4.2 Objetivos Específicos

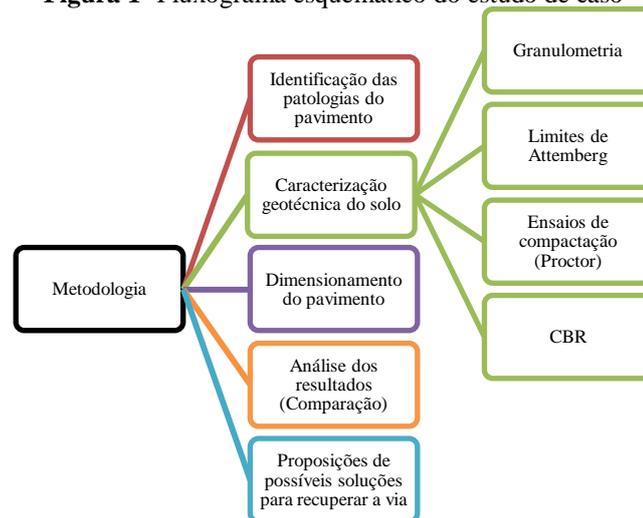
- Identificar no campo as patologias desenvolvidas no pavimento;
- Caracterizar geotecnicamente os materiais utilizados no processo de construção do pavimento;
- Dimensionar o pavimento pelo método do CBR, em função do comportamento mecânico dos solos utilizados;
- Comparar o resultado do dimensionamento com as características do pavimento observadas em campo;
- Propor as possíveis medidas de correção e prevenção para a recuperação do pavimento.

2 METODOLOGIA

2.1 Classificação da pesquisa

O presente trabalho compreende um estudo de caso, que é caracterizado pelo estudo profundo de um ou de poucos objetos, de maneira a buscar um aprofundamento do assunto, segundo Gil (2008). A Figura 1 traz o fluxograma esquemático para o desenvolvimento do estudo realizado.

Figura 1- Fluxograma esquemático do estudo de caso



Fonte: Autor (2024)

A pesquisa do estudo de caso se inicia com a identificação de um caso específico, para que se possa fazer uma investigação mais detalhada. O objeto de estudo é um loteamento na cidade de Caruaru-PE. A partir disso, foram identificadas as patologias no pavimento de sua via de acesso, com base no método do Levantamento Visual Contínuo, determinado pela Norma 008 (DNIT, 2003), que define os procedimentos para avaliação da superfície do pavimento.

A partir do levantamento foi possível identificar as possíveis causas das patologias encontradas, por exemplo:

- Inexistência ou inconsistências do projeto de dimensionamento do pavimento;
- Inexistência do projeto do sistema de drenagem urbana;
- Execução não seguindo os procedimentos técnicos normatizados;
- Materiais utilizados sem especificação técnica;

Sendo assim, foi necessária a caracterização geotécnica do solo para dimensionar o pavimento de maneira correta, visando a mitigação das patologias na via.

Nesse sentido, a caracterização geotécnica do solo foi executada com o intuito de classificar o solo, de acordo com as normas, e determinar seus respectivos comportamentos mecânicos. Com isso, foi feita a preparação do solo pela NBR 6457 (ABNT, 1986); o limite de liquidez NBR 6459 (ABNT, 2016); limite de plasticidade segundo a NBR 7180 (ABNT, 2016); granulometria pela NBR 7181 (ABNT, 2016), compactação baseada na NBR 7182 (ABNT, 2016).

Realizados os ensaios mencionados, foi ainda executado o ensaio geotécnico do CBR, segundo a NBR 9895 (ABNT, 2016) - Versão corrigida 2017, para verificar a qualidade do

material das camadas do pavimentos. Após a obtenção dos resultados do CBR, foi feito o dimensionamento do pavimento, pelo método da Prefeitura Municipal de São Paulo.

Após o dimensionamento finalizado, foi feita a análise do pavimento construído em campo, comparando suas dimensões com as dimensões obtidas pelo dimensionamento correto, e dessa forma identificar os possíveis fatores que contribuíram para a má qualidade da via.

E por fim, com a análise do pavimento finalizada, e as possíveis razões das patologias identificadas, foi possível a sugestão de medidas que visam a mitigação dos problemas encontrados atualmente no pavimento.

2.2 Ensaios de caracterização geotécnica

2.2.1 Análise granulométrica (Peneiramento)

Primeiramente, foi feita a análise granulométrica, que é um procedimento utilizado para determinar a distribuição de tamanhos de partículas em uma amostra de solo, sedimento ou outro material granular. Essa distribuição é expressa em termos de percentual de massa retida em cada intervalo de tamanho de partícula, e determinado por meio dos ensaios de peneiramento e/ou sedimentação, ensaios estes regidos pela NBR 7181: (ABNT, 2016).

A técnica utilizada foi a de peneiramento, que consiste em passar uma quantidade de material através de uma série de peneiras padronizadas, pesando o material retido em cada peneira, com função de determinar as frações granulométricas. Entretanto, a análise por peneiramento é limitada pela abertura da malha das peneiras, respeitando sempre o diâmetro de interesse (Pinto, 2011).

2.2.2 Limites de Attemberg

Nesse sentido, a análise granulométrica, por si só, não é suficiente para caracterizar precisamente os solos finos, e por esse motivo, surge a análise da plasticidade do solo, que estuda as propriedades desses solos, entre vários limites de umidade, de se submeterem a grandes deformações permanentes, sem sofrer ruptura, fissuramento ou variação de volume apreciável, ou seja, é a propriedade do solo de ser “moldado” sob umidade sem fissurar ou romper.

Sendo assim, em 1911 foram definidos, pelo cientista sueco A. Atterberg, certos limites que delimitam o intervalo de consistência do solo, denominados limite de liquidez e de plasticidade,

que estão diretamente relacionados com o teor de umidade presente na amostra do ensaio. Dessa maneira, para determinar os limites de Atterberg em laboratório foram executados ensaios regidos pela NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016) respectivamente.

De acordo com Pinto (2011), limite de liquidez (LL) é o teor em água que serve de fronteira entre o comportamento fluido e o moldável, permitindo classificar os solos finos quanto à plasticidade, ou seja, a partir de teores de umidade abaixo do LL, o solo passa a ser plástico e a ter resistência a cisalhamento. O limite de plasticidade (LP) é o teor em água que define a fronteira entre o comportamento moldável e o friável.

2.2.3 Compactação

Para atingir o objetivo principal desta pesquisa, realizou-se ainda o ensaio de compactação manual conforme a metodologia Proctor. Este ensaio envolve a compactação de camadas de uma amostra de solo confinado dentro de um molde, utilizando golpes de um soquete. Conforme a energia de compactação é definida entre normal, intermediária ou modificada, variam-se o número de camadas, o peso do soquete e o volume do molde.

A energia de compactação aplicada para o subleito foi a Proctor Normal, a amostra umedecida foi colocada em 5 camadas em um molde cilíndrico e compactada com um soquete grande, com energia de compactação normal, sendo 12 golpes por camada. Para a camada de base, a compactação foi a Proctor Intermediária, onde a amostra umedecida é colocada em 5 camadas em um molde cilíndrico e compactada também com um soquete grande, sendo 26 golpes por camada. Os ensaios de compactação foram feitos seguindo a NBR 7182 (ABNT, 2016).

2.2.4 Índice de suporte Califórnia

Além da caracterização e da compactação, se faz necessária a análise do valor do índice de suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR) de cada camada do pavimento, para que de maneira assertiva o solo seja dimensionado. Esse ensaio é descrito na Norma NBR 9895 (ABNT, 2017) onde especifica o método para determinação do valor do índice de suporte Califórnia e da expansão de solos em laboratório, utilizando amostras deformadas, não reusadas, de material que passa na peneira de 19 mm.

2.3 Dimensionamento pelo método da Prefeitura municipal de São Paulo (PMSP)

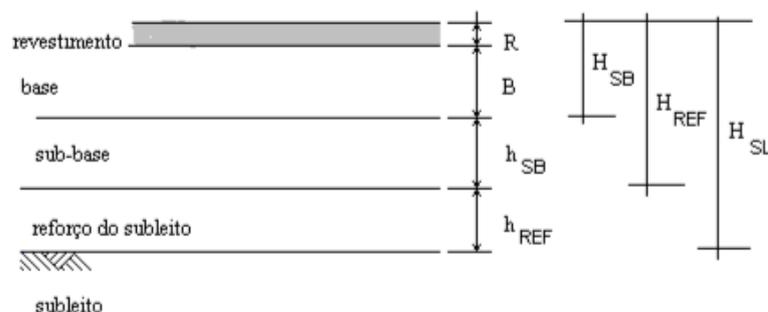
O método PMSP tem como base o método do Departamento Nacional de estradas e rodagens (DNER). Nesse sentido, inicialmente deve-se obter as características do solo do subleito por meio de seu CBR. O método ainda determina que, a moldagem do corpo de prova deverá ser feita com energia de compactação normal (PMSP, 2004).

Com o índice de suporte Califórnia definido, o próximo passo é definir o tráfego da via. Segundo Senço (2007), apesar do método da PMSP se basear no método do DNER, suas considerações acerca do tráfego são muito semelhantes às da metodologia da *Highway Research Board* (HRB), ou seja, divide o tráfego em faixas, que são definidas em função do volume diário médio de veículos comerciais. As faixas de tráfego são definidas como mostrado no apêndice A.

Com a faixa de tráfego definida, o método nos fornece uma tabela que a relaciona com o CBR do subleito, e como resultado, já chega-se a uma espessura ideal do pavimento completo, mostrado no apêndice B.

Dessa maneira, define-se a espessura total do pavimento a ser dimensionado. Depois de estabelecida a espessura total do pavimento (H_{SL}), e definida a espessura do revestimento a ser utilizado (R), o próximo passo é calcular as espessuras das outras camadas, incluindo a base, sub-base e reforço do subleito. Isso é feito considerando os materiais disponíveis para cada camada, seus coeficientes de equivalência estrutural e suas capacidades de suporte. A Figura 2 ilustra a ideia principal do método.

Figura 2 - Ilustração esquemática



Fonte: PMSP (2004)

Os coeficientes de equivalência estrutural (K) foram definidos em função do desempenho de material granular, ou seja, se a camada for de material granular seu coeficiente (K) será igual a 1, da mesma maneira caso tenha uma camada de outro material que tenha coeficiente (K)

igual a 1,8 e com espessura de 10 cm, sua altura equivalente será de 18 cm (PMSP, 2004). Nesse sentido, as espessuras do pavimento são obtidas pela resolução das seguintes inequações:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{SB} \quad (1)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + H_{SB} \times K_{SB} \geq H_{REF} \quad (2)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + H_{SB} \times K_{SB} + H_{REF} \times K_{REF} \geq H_{SL} \quad (3)$$

Lembrando que, a depender da intensidade do tráfego da via, o projetista pode dimensionar o pavimento sem precisar de sub-base ou reforço do subleito.

2.4 Possíveis medidas corretivas e preventivas para a recuperação da via em estudo

Somando as informações tidas referentes ao processo de execução da via, com o estudo e caracterização geotécnica, e ainda o dimensionamento correto do pavimento, foi possível fazer a análise assertiva da via, por meio da comparação do construído com o projetado e assim, identificar os fatores que fizeram com que a via apresentasse tantas patologias de forma tão precoce. E, com esses fatores identificados, pôde-se sugerir medidas que sanassem cada um deles, e dessa forma recuperar o pavimento trazendo de volta sua funcionalidade, para que os seus usuários possam utilizá-lo com conforto e segurança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Levantamento Visual Contínuo

A via analisada tem cerca de 350 metros de extensão, e serve de acesso ao loteamento estudado, visto no anexo A. Devido ao seu comprimento, foi feita uma adaptação do método do levantamento visual contínuo. A inspeção foi feita a pé, e para facilitar a classificação da via foi necessária uma equivalência para se ter os valores referentes a 1000 metros. Para uma melhor compreensão, as Figuras a seguir mostram as patologias encontradas na via.

Figura 3 - Patologia 1: Erosão do solo



Fonte: Autor (2024)

Figura 4 - Patologia 2: Erosão do solo



Fonte: Autor (2024)

Figura 5 - Patologia 3: Trilha de roda



Fonte: Autor (2024)

Figura 6 - Patologia 4: Erosão e trinca em bloco

Fonte: Autor (2024)

Figura 7 - Patologia 5: Trilha de roda

Fonte: Autor (2024)

A partir da identificação das patologias, de acordo com a norma 008 do DNIT (2003), foi feita a avaliação do trecho conforme mostra na Tabela 1.

Tabela 1 - Avaliação da superfície do pavimento

	Pavimento	Panela	Trincas		Remendo	Deformações		ICPF
			Isoladas	Couro de jacaré		Em bloco	Afund.	
Trecho com 350 m	3	1	0	1	0	2	0	0 a 1
Equivalência para 1KM	9	3	0	3	0	6	0	0 a 1
Frequência	Alta		Alta		-	Alta		-
Gravidade	3		3		-	3		-

Fonte: Autor (2024)

De maneira geral o trecho é avaliado como péssimo, tanto de acordo com o índice de condição do pavimento flexível (ICPF), como de acordo com o índice global de gravidade (IGG). O que nos mostra que o pavimento, segundo o DNIT, precisa de reconstrução, pois apresenta defeitos generalizados que precisam de correções prévias, e que a degradação de suas camadas pode ter acontecido por infiltração de água, ou descompactação do solo.

3.2 Classificação do solo de acordo com sua caracterização geotécnica

Segundo o manual de pavimentação publicado em 2006 utiliza-se amplamente a recomendação da *Highway Research Board* (HRB) adotada pela Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte (AASHTO) como método de classificação dos solos para fins rodoviários.

Esta classificação é baseada em análises de alguns aspectos do solo, como granulometria, limite de plasticidade, limite de liquidez. O resultado gerado pelos cálculos que levam à classificação final no sistema HRB-AASHO são estimativos e arbitrários. Este resultado é indicativo da capacidade de suporte do material, e correlaciona-se com o CBR (ISC) do solo. A tabela utilizada para essa classificação encontra-se no anexo B.

Além da classificação estabelecida pela HRB, também temos a classificação utilizada pelo Sistema Unificado de classificação de solos (SUCS), vista no anexo C. Ainda de acordo com o manual de pavimentação, o SUCS utiliza as propriedades de textura e plasticidade dos solos como critérios para sua identificação, organizando-os com base em seu desempenho em aplicações como estradas, aeroportos, aterros e fundações.

3.2.1 Solo do subleito

O solo do subleito foi coletado a uma profundidade de 80 centímetros e, nos primeiros índices de umidade, a amostra não apresentou coesão suficiente para permanecer na concha do aparelho de Casagrande. Ao aumentar o teor de umidade da mesma amostra, mesmo sem aplicação de golpes, ela voltava a se unir, impossibilitando a conclusão do ensaio. Por essa razão, o solo foi classificado como não líquido (NL).

De maneira semelhante, não foi possível moldar a amostra na forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro, sem que ele apresentasse fissuras, e por isso o solo também foi classificado como não plástico (NP). Além disso, para a classificação do solo foi preciso o peneiramento fino e grosso. Seus resultados são mostrados nas Tabelas 2 e 3 e na Figura 8.

Tabela 2 - Dados utilizados

Massa seca (g)	Massa seca ao ar (g)	Massa de material seco retido na 2.0 (g)	Massa úmida p/ peneiramento fino (g)	Material passante na peneira 2,00 mm (%)
991.43	1000.00	97.56	100.02	90.16

Fonte: Autor (2024)

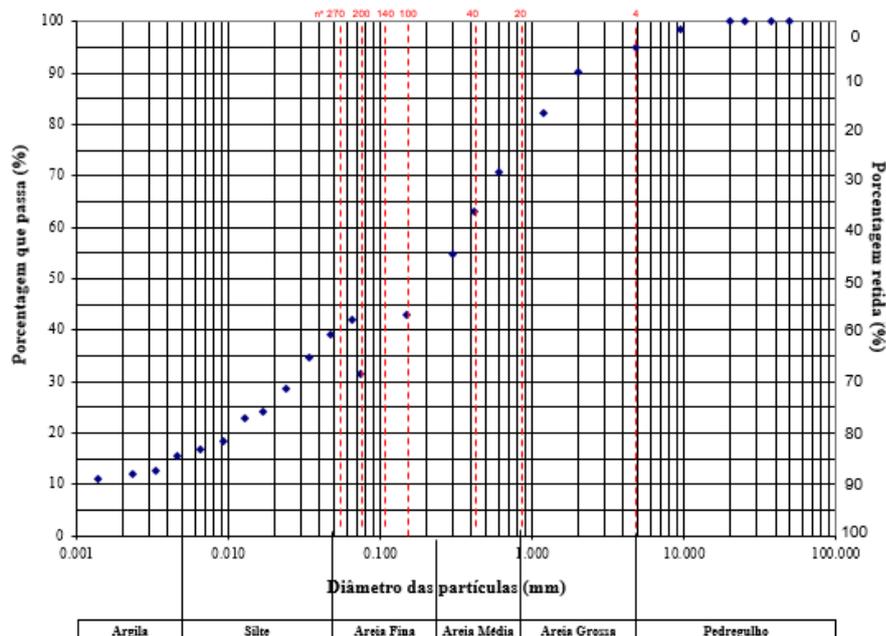
Tabela 3 – Granulometria

PENEIRAMENTO GROSSO			
Malha (mm)	Material Retido		% passante da amostra
#	Massa (g)	Mi (g)	Total (%)
50.0	0.00	0.00	100.00
38.0	0.00	0.00	100.00
25.4	0.00	0.00	100.00
19.1	0.00	0.00	100.00
9.5	14.39	14.39	98.55
4.8	34.21	48.60	95.10
2.0	48.96	97.56	90.16

PENEIRAMENTO FINO			
Malha (mm)	Massa (g)	Mi (g)	% passante da amostra
1.2	8.81	8.81	82.14
0.6	12.42	21.23	70.84
0.42	8.44	29.67	63.16
0.3	9.16	38.83	54.82
0.15	13.07	51.9	42.93
0.074	12.55	64.45	31.51

Fonte: Autor (2024)

Figura 8 - Curva granulométrica



Fonte: Autor (2024)

Dessa forma, somando os resultados dos ensaios dos limites de Attemberg, e os resultados obtidos a partir da granulometria, segundo a HRB pode-se classificar o solo do subleito como sendo do grupo A2-4, o que quer dizer que para o subleito, o solo possui comportamento de excelente a bom. Além disso, de acordo com o SUCS, o solo do subleito é classificado como areia siltosa.

3.2.2 Solo da base

O solo da base, retirado apenas os 10 cm de sua própria camada, foi recolhido a uma profundidade de 13 cm, referente à camada de rolamento. Após os ensaios, o solo da base também foi classificado como NL e NP, de maneira semelhante ao subleito.

Além disso, obteve-se os seguintes resultados para o peneiramento grosso e fino do solo, visto na Figura 9 e nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Dados utilizados

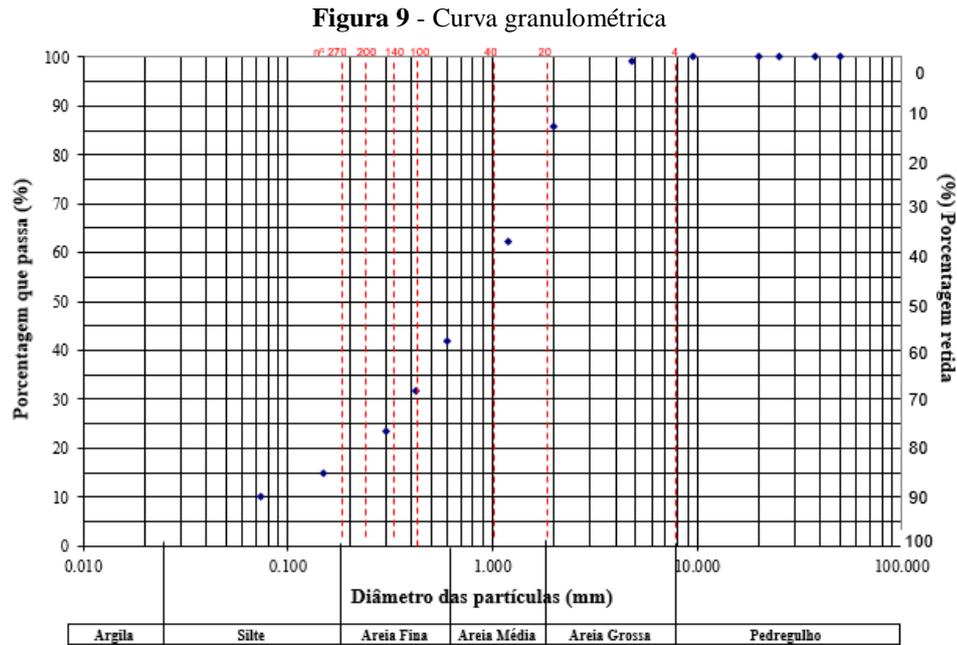
Massa seca (g)	Massa seca ao ar (g)	Massa de material seco retido na 2.0 (g)	Massa úmida p/ peneiramento fino (g)	Material passante na peneira 2,00 mm (%)
994.75	1000.00	140.20	100.23	85.91

Fonte: Autor (2024)

Tabela 5 – Granulometria

PENEIRAMENTO GROSSO			
Malha (mm)	Material Retido		% passante da amostra
#	Massa (g)	Mi (g)	Total (%)
50.0	0.00	0.00	100.00
38.0	0.00	0.00	100.00
25.4	0.00	0.00	100.00
19.1	0.00	0.00	100.00
9.5	0.00	0.00	100.00
4.8	8.00	8.00	99.20
2.0	132.20	140.20	85.91
PENEIRAMENTO FINO			
1.2	27.23	27.23	62.42
0.6	23.88	51.11	41.83
0.42	11.65	62.76	31.78
0.3	9.73	72.49	23.39
0.15	9.91	82.40	14.85
0.074	5.37	87.77	10.22

Fonte: Autor (2024)



Com isso, seguindo a classificação da HRB, o solo se enquadra no grupo A1-b, grupo que compreende em maior parte solos arenosos bem graduados. E, seguindo o SUCS, o solo pode ser classificado como areia bem graduada (SW).

3.3 Ensaio de compactação

3.3.1 Solo do subleito – Proctor normal

Os resultados de compactação do solo do subleito para compactação proctor normal e umidade higroscópica da amostra estão especificados nas Tabelas 6, 7 e 8. A partir dos resultados obtidos, é possível determinar a curva de compactação do solo, que mostra a relação entre o teor de umidade e a densidade seca, vista na Figura 10.

Tabela 6 - Umidade higroscópica

Cápsula nº	Cápsula+Solo Úmido(g)	Cápsula+Solo Seco(g)	Peso da Água(g)	Teor de Umidade(%)
15	50.00	49.41	0.59	1.2

Fonte: Autor (2024)

Tabela 7 - Dados da compactação do subleito (Proctor normal)

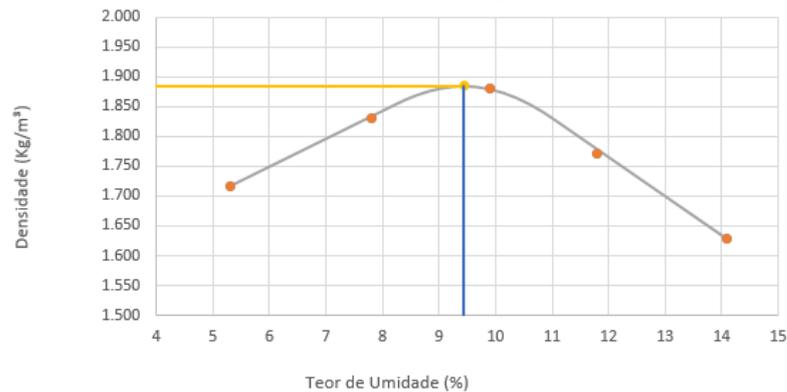
Dados da compactação	
Número de Camadas	5
Número de Golpes	12
Energia de Compactação	Normal
Peso do Soquete (g)	4536
Espes. do Disco Espaçador	21/2"
Umidade Ótima (%)	9.44
Dens. Máxima Seca (g/cm ³)	1.86

Fonte: Autor (2024)

Tabela 8 - Resultados do ensaio da compactação do subleito

Cilindro Nº	Peso do Cilindro (g)	Cil.+Solo Úmido(g)	Peso Sol. Úmido(g)	Volume Cilindro (cm ³)	Densidade Solo Úmido (g/cm ³)	Densidade Solo Seco (g/cm ³)
1	4704	8442	3738	2068	1.81	1.72
2	4704	8786	4082	2068	1.97	1.83
3	4704	8976	4272	2068	2.07	1.88
4	4704	8798	4094	2068	1.98	1.77
5	4704	8544	3840	2068	1.86	1.63

Fonte: Autor (2024)

Figura 10 - Curva de compactação

Fonte: Autor (2024)

Nesta curva foi possível identificar o teor de umidade ótima, que para o solo em questão foi 9,44%. Ainda de acordo com o gráfico, foi visto que a densidade máxima seca foi de 1,86 g/cm³ ou 1860 kg/m³. Essa densidade, de modo geral é mais facilmente alcançada pois a energia normal, dentro da metodologia proctor é menor. Entretanto, ainda é necessário um controle tecnológico de qualidade durante a execução, para verificar se a densidade obtida no ensaio está sendo atingida também em campo.

3.3.2 Solo da base - Proctor intermediário

De maneira semelhante, nas Tabelas a seguir e na Figura 11, temos os dados referentes a compactação para o solo da base.

Tabela 9 - Umidade higroscópica

Cápsula nº	Cápsula+Solo Úmido (g)	Cápsula+Solo Seco (g)	Peso da Água (g)	Teor de Umidade (%)
12	50.00	49.52	0.48	1.0

Fonte: Autor (2024)

Tabela 10 – Dados da compactação

Dados da compactação	
Número de Camadas	5
Número de Golpes	26
Energia de Compactação	Intermediária
Peso do Soquete (g)	4536
Espes. do Disco Espaçador	21/2"
Umidade Ótima (%)	7.73
Dens. Máxima Seca (g/cm ³)	1.97

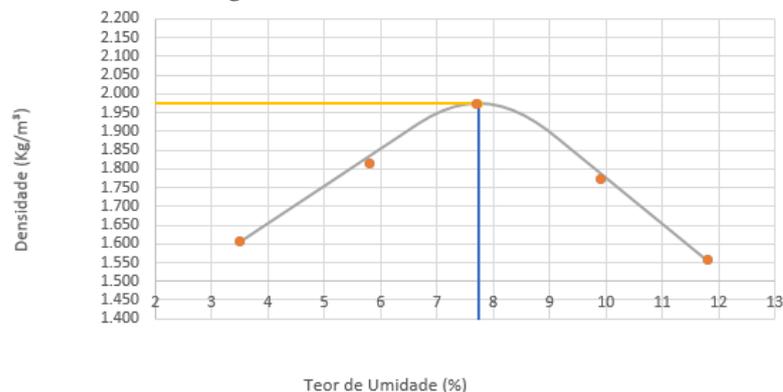
Fonte: Autor (2024)

Tabela 11 – Resultados do ensaio de compactação

Cilindro Nº	Peso do Cilindro (g)	Cil.+Solo Úmido(g)	Peso Sol. Úmido(g)	Volume Cilindro (cm ³)	Densidade Solo Úmido (g/cm ³)	Densidade Solo Seco (g/cm ³)
1	4704	8144	3440	2068	1.66	1.61
2	4704	8672	3968	2068	1.92	1.81
3	4704	9102	4398	2068	2.13	1.97
4	4704	8734	4030	2068	1.95	1.77
5	4704	8304	3600	2068	1.74	1.56

Fonte: Autor (2024)

Figura 11 – Umidade ótima da Base



Fonte: Autor (2024)

Dessa forma, podemos ver que a umidade ótima do material presente na camada de base foi de 7,73% o que nos dá uma densidade máxima de 1,97 g/cm³ ou 1970 kg/m³. Apesar de possível, nota-se que essa densidade, com energia proctor intermediária, é extremamente alta e difícil de ser atingida. Para que essa densidade seja obtida, é necessário um maquinário de ótima qualidade, além de um rigoroso controle durante a execução.

3.4 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O CBR forneceu a qualidade do solo em função da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente.

Nesse sentido, independente da energia de compactação, segundo a NBR 9895 (ABNT, 2016) Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio, o CBR é calculado dividindo a pressão corrigida pela pressão padrão relativa a penetração em análise, e multiplicada por 100. Por isso, o CBR é expresso em porcentagem.

Apesar do método da Prefeitura Municipal de São Paulo levar em conta apenas o CBR do subleito, foi pertinente que ambos os materiais utilizados no pavimento fossem testados.

3.4.1 Solo do Subleito – Proctor Normal

Como estabelecido pela PMSP, obteve-se o resultado de CBR para o subleito com energia normal de compactação. Além disso, por ser a menor energia, ela é mais facilmente atingida em campo. A seguir, temos os resultados do ensaio mostrados pelas Figura 12 e pelas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Leituras do ensaio - Subleito (Normal)

ENSÁIO DE PENETRAÇÃO			
Constante do Anel:		0.0996	
Tempo (min)	Penet. (mm)	Leitura (0.001mm)	Pressão (kgf/cm ²)
0.5	0.635	30	2.99
1	1.27	62	6.18
1.5	1.905	99	9.86
2	2.54	137	13.65
3	3.81	189	18.82
4	5.08	219	21.81

6	7.62	285	28.39
8	10.16	342	34.06
10	12.7	413	41.13

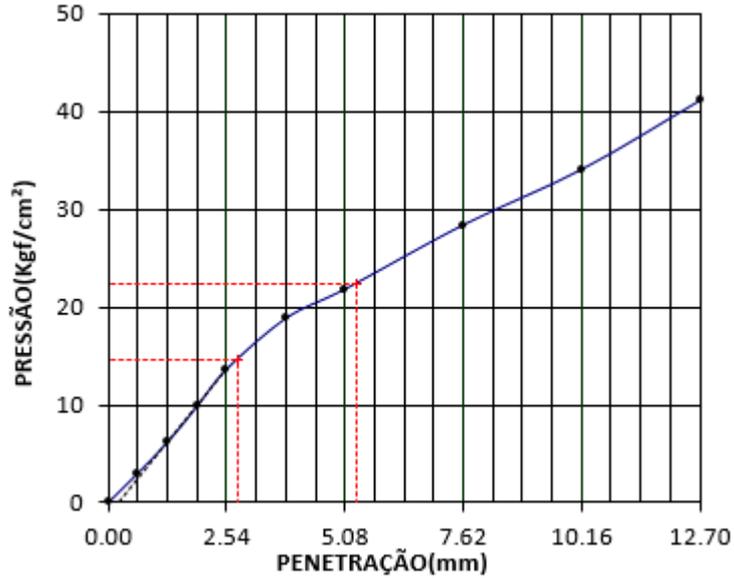
EXPANSÃO

Altura do corpo de prova (mm): 1152

Data	Tempo decorrido (h)	Expansão Lida (mm)	Expansão (%)
05/03/2024	0	0	
06/03/2024	24	0.16	
07/03/2024	24	0.37	
08/03/2024	24	0.53	
09/03/2024	24	0.68	0.006

Fonte: Autor (2024)

Figura 12 - CBR subleito (Intermediário)



Fonte: Autor (2024)

Tabela 13 - CBR do Subleito (Intermediário)

Cálculo I.S.C			
Leitura (mm)	Pressão (kgf/cm²)		I.S.C. (%)
	Aplic.	Corrigida	
2.54	13.65	14.67	20.86
5.08	21.81	22.46	21.31

Fonte: Autor (2024)

Como podemos ver na Tabela 13, o CBR do subleito foi de 21,31%, pois entre as duas admitiu o maior valor. Como previsto pela classificação HRB, o solo tem boa qualidade para utilização em subleitos. Isso é evidenciado pelo método de dimensionamento da PMSP, pois o intervalo considerado no método é de, no máximo, 30% para CBRs de solos de subleito.

A boa qualidade do subleito, pode gerar uma menor espessura total do pavimento, o que geraria uma economia em sua execução. Contudo, esses valores são atingidos com controle tecnológico de qualidade.

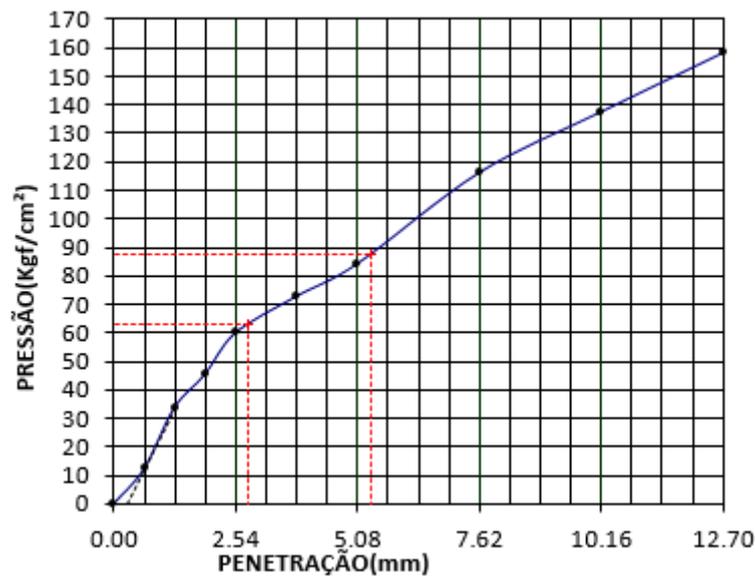
3.4.2 Solo da base – Proctor intermediário

De maneira análoga, também foi feito o ensaio CBR para a camada de base. A análise foi feita com energia de compactação intermediária, pois a PMSP recomenda que o CBR do material utilizado nessa camada seja maior ou igual a 80%. Como é um valor alto, apenas com a energia normal, o material não seria capaz de atingi-lo. Sendo assim, os resultados obtidos para a camada de base são expressos pela Figura 13 e pelas Tabelas 14 e 15 a seguir.

Tabela 14 - Leituras de penetração e expansão - Base (Intermediário)

ENSÁIO DE PENETRAÇÃO			
Constante do Anel:		0.0996	
Tempo (min)	Penet. (mm)	Leitura (0.001mm)	Pressão (kgf/cm ²)
0.5	0.635	123	12.25
1	1.27	339	33.76
1.5	1.905	456	45.42
2	2.54	602	59.96
3	3.81	731	72.81
4	5.08	846	84.26
6	7.62	1167	116.23
8	10.16	1381	137.55
10	12.7	1589	158.26
EXPANSÃO			
Altura do corpo de prova (mm):			1152
Data	Tempo decorrido (h)	Expansão Lida (mm)	Expansão (%)
05/03/2024	0	0	
06/03/2024	24	0	
07/03/2024	24	0	
08/03/2024	24	0	
09/03/2024	24	0.06	0.001

Fonte: Autor (2024)

Figura 13 - CBR Base (Intermediário)

Fonte: Autor (2024)

Tabela 15 - CBR Base (Intermediário)**Cálculo I.S.C**

Leitura (mm)	Pressão (kgf/cm ²)		I.S.C. (%)
	Aplic.	Corrigida	
2.54	59.96	62.73	89.23
5.08	84.26	87.70	83.21

Fonte: Autor (2024)

Como visto na Tabela 15, o CBR da base foi de 89,23%, demonstrando que o material granular é de boa qualidade, e que está dentro dos parâmetros exigidos pelo método de dimensionamento utilizado. Contudo, vale ressaltar que é um valor bastante elevado e difícil de se alcançar em campo. O dimensionamento dessa forma, aumenta ainda mais a necessidade, e a importância de um controle rigoroso e tecnicamente correto.

3.5 Dimensionamento

Com os valores de ISC em mãos, iniciou-se o dimensionamento. O primeiro passo foi a determinação do tráfego da via, para o loteamento em questão, é previsto a passagem de ônibus quatro vezes ao dia, uma no início da manhã, duas no horário de almoço, e mais uma no final da tarde.

Além disso, em função da obra das casas do loteamento, todos os dias têm a passagem de caminhões, em torno de 3 por dia. Mesmo fazendo uma simples projeção de 10 anos, por conta do tamanho do loteamento, dificilmente o número de veículos comerciais passará de 50.

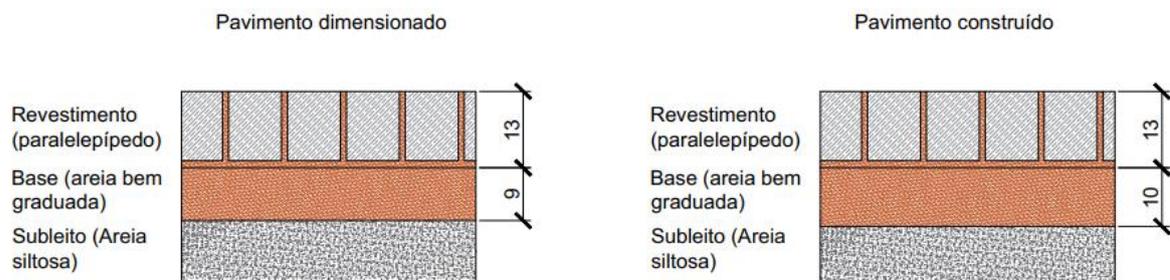
Portanto, a via se classifica como de tráfego leve, uma vez que terá a circulação de veículos comerciais em média superior a 3 e inferior a 50 por dia.

O CBR do subleito foi de 21,31%, e relacionando-o com a coluna do tráfego leve nos dá um pavimento com espessura de 22cm. Com a espessura total do pavimento definida, a partir do material utilizado em cada camada, definiu-se suas respectivas espessuras.

Dependendo do tipo de material utilizado, a espessura tem um respectivo coeficiente de equivalência estrutural (PMSP, 2004). No pavimento estudado, temos os paralelepípedos na camada de rolamento e areia na camada de base, para ambos, o coeficiente estrutural é igual a 1 (PMSP, 2004).

A camada de rolamento com paralelepípedo tem espessura padronizada de 13 cm. Como o coeficiente estrutural da base (K_B) é igual a 1, para a camada de base sobram 9 cm. Isso mostra que o pavimento foi dimensionado corretamente, como mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Pavimento dimensionado x Pavimento construído



Fonte: Autor (2024)

4 CONCLUSÕES

Ao término do trabalho, com base nos resultados obtidos, chegou-se nas seguintes conclusões:

- O pavimento atualmente construído possuiu as mesmas dimensões do pavimento dimensionado;
- Notou-se que a qualidade do material granular utilizado na base é boa, já que vemos que com energia intermediária ele atinge um CBR de quase 90% que é ainda melhor que os 80% recomendados pela PMSP;
- Durante o processo construtivo não foi observado controle tecnológico. Dessa forma, esse foi um fator que contribuiu para a condição atual do pavimento;

- Também não há conhecimento de um projeto de drenagem para a via, o que seria de suma importância, pois mesmo com os melhores materiais, com o melhor dimensionamento e uma execução correta, de nada adianta, se as águas pluviais infiltrarem nas camadas inferiores do pavimento causando sua erosão com o tempo.

Em resumo, o trabalho evidenciou que apesar da concepção correta no projeto de dimensionamento do pavimento, e da boa qualidade dos materiais utilizados em sua estrutura, foram dois os principais fatores que levaram à deterioração do pavimento: a falta de controle tecnológico seguindo as normas durante sua execução; e a falta de um projeto de drenagem urbana que contemplasse a via em estudo.

Toda obra de pavimentação requer um controle tecnológico rigoroso para garantir que os valores de umidade ótima e densidade máxima seca obtidos em laboratório, sejam alcançados em campo. Esses parâmetros são essenciais para o dimensionamento adequado da pavimentação.

Essa verificação pode ser feita facilmente por ensaios de campo como o *speedy test* de acordo com o método de ensaio (ME) 052 (DNER, 1994), para obter a umidade do solo, e o frasco de areia de acordo com o ME 092 (DNER, 1994), que além da umidade, também fornece as densidades úmida e seca, e a partir disso obter o grau de compactação do solo.

O segundo fator é a falta de um projeto de drenagem urbana. Ao longo da via, não existem sequer bocas de lobo. Com isso, ao passar do tempo, as águas pluviais não tem outro caminho a não ser infiltrar no pavimento, e causar as erosões evidenciadas na etapa de identificação das patologias. Para mitigar esse problema, um projeto de drenagem urbana seguindo as normas pertinentes, é o suficiente.

Vale ressaltar que o método atualmente utilizado para dimensionamento de pavimentos, é mecanicista, onde se utiliza o módulo de resiliência dos materiais. Como é um método mais preciso, por trabalhar com o comportamento mecânico do solo no regime elástico, caso esse tivesse sido o método utilizado, as camadas do pavimento poderiam ser diferentes das camadas dimensionadas pelo método baseado no CBR.

Para trabalhos futuros, pode-se fazer um estudo que relacione os resultados de CBR obtidos com energia normal, e com energia intermediária, e além disso estudar seus efeitos no dimensionamento do pavimento. Outro estudo pertinente, seria sobre a realização do projeto de drenagem urbana que contemple a via estudada.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Marina Bedeschi Dutra; PAIVA, Igor Vinícius Silva. **Levantamento das Patologias no Calçamento da Cidade de Ouro Preto, MG, Visando Melhorar o Seu Gerenciamento.** IN: Congresso de Pesquisa e Ensino e Transporte da ANPET, 33. 2019. Balneário Camboriú. ANAIS. Santa Catarina. V. 1, P. 1-6. Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Comunica%C3%A7%C3%B5es%20T%C3%A9cnicas/2_49_CT.pdf. Acesso em: 01 out. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: Abnt, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6459**: Determinação do Limite de Liquidez, Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7180**: Determinação do Limite de Plasticidade, Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7181** Análise Granulométrica, Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7182** Solo: Ensaio de Compactação, Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **9895**: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: Abnt, 2016.
- BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: Petrobras Abeda, 2006. 504 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. **ME 052**: Solos e agregados miúdos - Determinação da umidade com emprego do “Speedy”. Rio de Janeiro: Dner, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. **ME 092**: Solo - Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: Dner, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **008**: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento. Rio de Janeiro: Dnit, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **134:** Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Dnit, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **172:** Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Dnit, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **179:** Manual de pavimentação. 3 ed. Rio de Janeiro: Ipr, 2006. 274 p.

FREIRE, Augusto Argenton. **Infraestrutura urbana**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 200 p.

FREITAS, Lucas. **Paralelepípedo: A História e a Arquitetura que Marcaram Épocas**. 2023. Disponível em: <https://rabiscodahistoria.com/paralelepipedo-a-historia-e-a-arquitetura-que-marcaram-epocas/>. Acesso em: 01 out. 2023.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

NETTO, José Davi; GONÇALVES, Leonardo Diniz; SILVA, Luiz Fernando da. **Patologias em Pavimento Flexível: Estudo de Caso**. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/26258/1/TCC%20VERSAO%20FINAL.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

PREGO, ATAHUALPA SCHMITZ DA SILVA. **A memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro, ABPv 2001.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001.

SILVA, Paulo Fernando A.. **Manual de patologias e manutenção de pavimentos**. São Paulo: Editora São Paulo Pini, 2008.

SILVA, Yago Duarte da; GODOI, Luíza Carbunk; HOLZ, Raquel da Fonseca. **Análise comparativa de custos entre métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos: AASHTO, DNIT e MEDINA**. 2019. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Luterana do Brasil, Balneário Camboriú, 2019. Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20I/3_251_AC.pdf. Acesso em: 03 mar. 2024

APÊNDICE A – FAIXAS DE TRÁFEGO (PMSP)

Faixa de tráfego	Tipo de pavimento	Número de veículos comerciais/dia
Muito leve (TML)	Ruas residenciais	≤ 3
Leve (TL)	Ruas residenciais	$> 3 \text{ e } \leq 50$
Médio (TM)	Ruas ou estradas	$> 50 \text{ e } \leq 400$
Pesado (TP)	Ruas ou estradas	$> 400 \text{ e } \leq 2\,000$
Muito Pesado (TMP)	Ruas ou estradas	$> 2\,000$

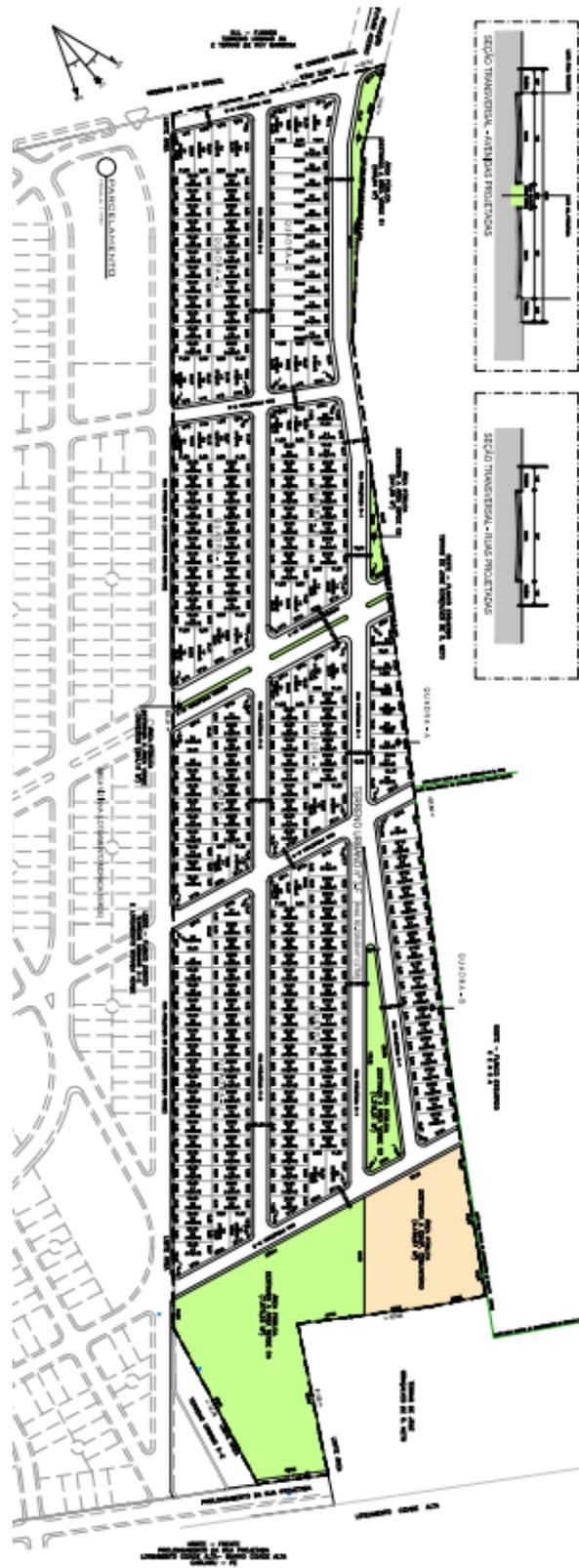
Fonte: Adaptado Senço (2007)

APÊNDICE B – ESPESSURAS BÁSICAS DE PROJETO

CBR (%)	Muito Leve	Leve	Médio	Pesado	Muito Pesado
0	75	93	110	124	134
3	67	73	87	98	108
4	58	62	74	84	92
5	48	54	64	73	80
6	43	48	58	65	72
7	38	44	52	59	65
8	36	40	48	55	61
9	33	38	44	50	57
10	30	35	41	47	53
11	28	33	38	44	50
12	27	31	36	42	47
13	26	30	35	40	45
14	25	28	33	38	43
15	23	27	31	37	41
16	23	26	30	35	40
17	22	25	29	34	38
18	21	24	28	32	37
19	21	23	27	31	35
20	20	22	26	30	34
21	20	22	26	29	34
22	19	21	25	28	33
23	19	21	25	28	32
24	19	20	24	27	31
25	18	19	23	26	30
26	18	19	23	26	30
27	18	18	22	25	29
28	17	18	22	25	29
29	17	18	22	25	29
30	16	17	21	24	28

Fonte: Adaptado Senço (2007)

ANEXO A - PLANTA DO LOTEAMENTO ESTUDADO

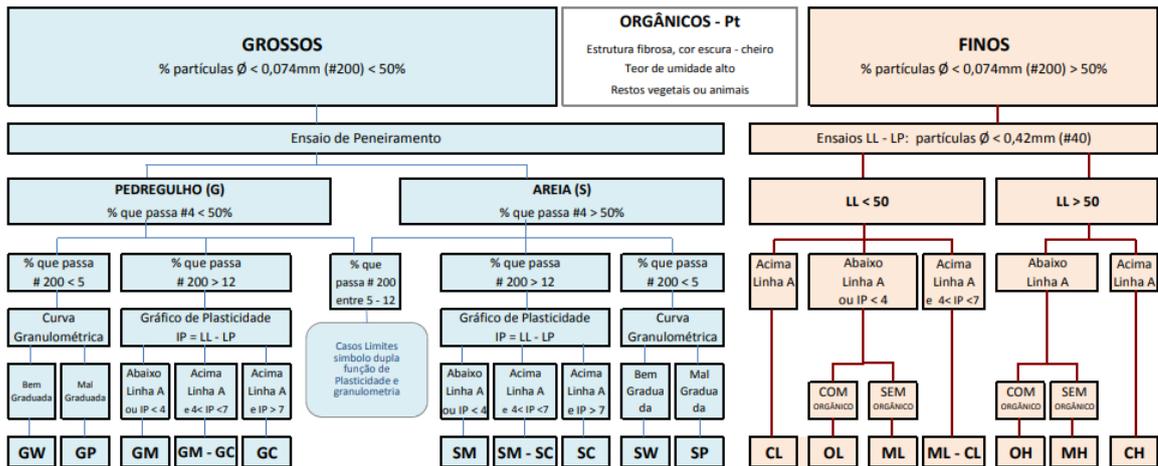


ANEXO B - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (HRB)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosas ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Fonte: Manual de pavimentação (2006)

ANEXO C - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (SUCS)



GW: $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ e $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ entre 1 e 3
 GP: quando não são satisfeitos os requisitos de GW
 SW: $C_u > 6$ e C_c entre 1 e 3
 SP: quando não são satisfeitos os requisitos de SW

SOLOS GROSSOS:
 G = gravel (pedregulho)
 S = sand (areia)
 W = well graded (bem graduado)
 P = poorly graded (mal graduado)
 C = clay (com argila)

TURFAS (Pt):
 Solos altamente orgânicos, geralmente fibrilares e muito compressíveis.

SOLOS FINOS:
 L = low (baixa compressibilidade)
 H = high (alta compressibilidade)
 M = mo (silte em sueco)
 O = organic (silte ou argila, orgânicos)
 C = clay (argila inorgânica)

Fonte: Laboratório de Geotecnia e Pavimentação – Universidade do Estado de Santa Catarina (2017)

BRUNO BEZERRA DA SILVA

**ANÁLISE PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE VIA URBANA NA
CIDADE DE CARUARU: um estudo de caso.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estradas e Transportes

Aprovado em 25 de Março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Pós-D.SC Saul Barbosa Guedes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Shirley Minnell Ferreira de Oliveira (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Jocilene Otilia Costa (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco