

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MAXIMILIANO VICENTE DORNELES

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO CORRELACIONAL ENTRE O VALOR EFICAZ DA ACELERAÇÃO VERTICAL E VALOR DE SERVIENTIA ATUAL PARA DESENVOLVIMENTO DE MAPA INDICATIVO DA QUALIDADE DE PAVIMENTOS DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS

**Alegrete
2023**

MAXIMILIANO VICENTE DORNELES

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO CORRELACIONAL ENTRE O VALOR EFICAZ DA ACELERAÇÃO VERTICAL E VALOR DE SERVIENTIA ATUAL PARA DESENVOLVIMENTO DE MAPA INDICATIVO DA QUALIDADE DE PAVIMENTOS DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Diego Arthur Hartmann

**Alegrete
2023**

MAXIMILIANO VICENTE DORNELES

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO CORRELACIONAL ENTRE O VALOR EFICAZ DA ACELERAÇÃO VERTICAL E VALOR DE SERVENTIA ATUAL PARA DESENVOLVIMENTO DE MAPA INDICATIVO DA QUALIDADE DE PAVIMENTOS DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 22 de fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. DIEGO ARTHUR HARTMANN – UNIPAMPA – Orientador

Prof. Dr. JAELSON BUDNY – UNIPAMPA

Prof. Me. MAURÍCIO SILVEIRA DOS SANTOS – UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **JAELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/02/2023, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DIEGO ARTHUR HARTMANN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/02/2023, às 14:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAURICIO SILVEIRA DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/02/2023, às 15:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1065282** e o código CRC **C4581088**.

AGRADECIMENTOS

Dedico a conclusão da graduação, com todo o carinho, a meus pais Sidernei e Stelamaris, por todo amor e apoio nesses longos anos no qual estive longe. Por todos os conselhos valiosos que me fizeram buscar esse objetivo e almejar o futuro.

Agradeço a minha noiva, Leonara, por todo amor e experiências que pudemos compartilhar durante todo esse tempo, pelas inúmeras palavras de apoio e conselhos, que juntos, possamos crescer e comemorar nossas conquistas.

Agradeço aos meus irmãos Natália e Felipe por todo companheirismo e amizade de uma vida inteira.

Aos meus amigos que, por todos os anos de parceria e por todas as noites/dias de churrasco, truco e gelada.

Ao meu orientador Dr. Diego, meu sincero agradecimento por acolher as ideias e orientar com extrema competência o caminho a ser seguido.

Por fim, e não menos importante, a todos os professores que foram contribuíram, em suas respectivas áreas, por transmitirem o conhecimento para contribuir na formação profissional.

RESUMO

Com a crescente ampliação da frota de veículos terrestres e das vias urbanas para a circulação dos transportes, é necessário implementar ferramentas ou tecnologias que auxiliem na gerência dos pavimentos. Este estudo tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do *smartphone* para estimar a irregularidade longitudinal dos pavimentos flexíveis urbanos pela raiz média quadrática da aceleração vertical, e correlacionar com o método do Valor de Serventia Atual (VSA). O trabalho foi realizado na cidade de Alegrete - Rio Grande do Sul, onde foram avaliadas um total de cinco seções de pavimentos flexíveis por dois métodos, o primeiro com o uso de *smartphone* e do aplicativo SensorLab, onde cada trecho foi percorrido 10 vezes para obter-se a médias dos valores de RMSVA do pavimento, e o outro foi a aplicação do VSA, a avaliação foi realizada em pavimentos urbanos, de revestimento asfáltico cujas seções possuem diferentes idades e níveis de desgaste. Com obtenção dos dados coletados, foi então possível fazer o apontamento da ordem de prioridade para a manutenção e reabilitação dos trechos. Pelo método do VSA, foi possível determinar que, dos 9510 metros de pavimentos flexíveis avaliados, 4,42% do total foram considerados em ótimo estado, 44,06% em bom estado, 29,65% em estado regular, 12,93% em estado ruim e 8,94% em péssimo estado de conservação superficial. Para os mesmos trechos avaliados pelo VSA e através da correlação dos métodos, o RMSVA determinou que 13,04% do total foram considerados em ótimo estado, 41,75% em bom estado, 23,35% em estado regular, 18,50% em estado ruim e 3,36% em péssimo estado de conservação superficial. Assim, entende-se que com a geração dos mapas, cumpriu-se o objetivo do trabalho e os resultados foram concluídos com sucesso, entretanto, ainda é necessária analisar mais dados da malha viária existente, ampliando os estudos sobre a gestão dos pavimentos urbanos do município.

Palavras-Chave: Irregularidade longitudinal, Valor de Serventia Atual, gerência de pavimentos, *Smartphone*.

ABSTRACT

With the increasing expansion of land vehicle fleet and urban roads for transport circulation, it's necessary to implement tools or technologies that would help in the management of pavements. This study aims to evaluate the applicability of the smartphone to estimate the longitudinal irregularity of flexible urban pavements by the root mean square of vertical acceleration (RMSVA), and correlate with the method of the Value of Current Utility (VSA). The work was performed in the city of Alegrete - Rio Grande do Sul, where a total of five sections of flexible pavements were evaluated by two methods, the first using a smartphone and the SensorLab application, where each section was traveled 10 times to obtain the average of the pavement RMSVA values, and the other was the application of VSA, the evaluation was performed in urban pavements, with asphalt coating whose sections have different ages and levels of conservation. After obtaining the collected data, it was then possible to determine the order of priority for maintenance and rehabilitation of the sections. Using the VSA method, it was possible to determine that, of the 9510 meters of flexible pavements evaluated, 4,42% of the total were considered in excellent condition, 44,06% in good condition, 29,65% in regular condition, 12,93% in bad condition and 8,94% in very poor condition. For the same sections evaluated by the VSA and through the correlation of methods, the RMSVA determined that 13,04% of the total were considered in excellent condition, 41,75% in good condition, 23,35% in fair condition, 18,50 % in poor condition and 3,36% in poor surface condition. Therefore, it's understood that with the generation of the maps, the objective of the work was fulfilled and the results were successfully concluded, however, it is still necessary to analyze more data from the existing road network, expanding the studies on the management of urban pavements in the city.

Keywords: longitudinal irregularity, Current Service Value, management of pavements, Smartphone.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Sistema Pavimento. | 17 |
| Figura 2 – Componentes de um Sistema de Gerência de Pavimentos em nível de rede e projeto. | 18 |
| Figura 3 – Perfil Longitudinal da via. | 21 |
| Figura 4 – Variação da serventia com o passar do tempo ou tráfego. | 23 |
| Figura 5 – Período recomendável para manutenção do pavimento. | 24 |
| Figura 6 – Variação do IRI de acordo com a classe da via. | 27 |
| Figura 7 – Fluxograma de etapas. | 30 |
| Figura 8 – Equipamentos utilizados para a medição (a) – Veículo (b) – <i>Smartphone</i> | 31 |
| Figura 9 – <i>Smartphone</i> posicionado para a medição. | 32 |
| Figura 10 – Ferramenta rápida – nível de superfície. | 32 |
| Figura 11 – Localização dos trechos de estudo na cidade de Alegrete – RS. . | 33 |
| Figura 12 – Condições atuais da Rua Barão do Amazonas. | 34 |
| Figura 13 – Condições da Av. Alexandre Lisboa. | 34 |
| Figura 14 – Condições da R. Mariz e Barros (a) – Trecho bom (b) – Trecho precário. | 35 |
| Figura 15 – Estado da R. dos Andradas (a) – Pavimento (b) – Cruzamento ferroviário. | 36 |
| Figura 16 – Conservação da R. Dr. Lauro Dornelles (a) – Pavimento (b) – Cruzamento ferroviário. | 37 |
| Figura 17 – Estado geral da R. Barão de Cerro Largo. | 38 |
| Figura 18 – Estado de conservação Av. Caverá – Trecho com remendos. | 38 |
| Figura 19 – Estado de conservação Av. Caverá – Trecho com “tapa buracos”. | 39 |
| Figura 20 - Mapa de localização dos trechos medidos. | 43 |
| Figura 21 – Tela de sensores do aplicativo. (a) – GPS (b) – Acelerômetro. | 44 |
| Figura 22 – Indicação dos eixos no aplicativo. | 45 |
| Figura 23 – Perfis longitudinais – R. Barão do Amazonas. | 51 |
| Figura 24 – Perfil longitudinal RMSVA médio – R. Barão do Amazonas. | 51 |
| Figura 25 – Perfis longitudinais – Av. Alexandre Lisboa | 52 |
| Figura 26 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – Av. Alexandre Lisboa. | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 27 – Perfis longitudinais – R. Mariz e Barros. | 53 |
| Figura 28 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. Mariz e Barros..... | 53 |
| Figura 29 – Perfis longitudinais – R. dos Andradas..... | 54 |
| Figura 30 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. dos Andradas..... | 55 |
| Figura 31 – Perfis longitudinais – R. Dr. Lauro Dornelles..... | 56 |
| Figura 32 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. Dr. Lauro Dornelles. | 56 |
| Figura 33 – Perfis longitudinais – R. Barão de Cerro Largo. | 57 |
| Figura 34 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. Barão de Cerro Largo. ... | 57 |
| Figura 35 – Perfis longitudinais – Av. Caverá..... | 58 |
| Figura 36 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – Av. Caverá..... | 58 |
| Figura 37 – Correlação entre VSA e RMSVA médio. | 61 |
| Figura 38 – Mapa de cores da serventia – VSA. | 62 |
| Figura 39 – Mapa de cores da irregularidade longitudinal baseado no RMSVA. | 64 |
| Figura 40 – Mapa de cores da irregularidade longitudinal baseado no RMSVA (trechos de 100m). | 65 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Níveis de Serventia. | 23 |
| Tabela 2 – Condições de superfície do pavimento..... | 26 |
| Tabela 3 – Dados do acelerômetro. | 46 |
| Tabela 4 – Dados do GPS..... | 46 |
| Tabela 5 – Velocidade média para coleta de dados de aceleração vertical. | 47 |
| Tabela 6 – VSA dos trechos analisados..... | 49 |
| Tabela 7 – RMSVA médio dos trechos analisados. | 59 |
| Tabela 8 – Níveis de serventia no total avaliado. | 62 |
| Tabela 9 – Níveis de irregularidade - RMSVA..... | 63 |
| Tabela 10 – Níveis de irregularidade no total avaliado..... | 64 |
| Tabela 11 – Níveis de irregularidade no total avaliado (trechos de 100m)..... | 66 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Classe dos dispositivos medidores..... | 25 |
| Quadro 2 – Descrição da escala IRI..... | 27 |
| Quadro 3 – Descrição dos trechos analisados..... | 40 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHO – *American Association of State Highway Officials*

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

GPS – *Global Positioning System*

IRI – *International Roughness Index*

M&R – Manutenção e Reabilitação

QI – Quociente de Irregularidade

RMSVA – *Root Mean Square Vertical Acceleration*

SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos

VDM – Volume Diário Médio Anual de Tráfego

VSA – Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Objetivos | 15 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 15 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 15 |
| 1.2 | Justificativa | 15 |
| 1.3 | Organização do Trabalho | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 | Restauração e Sistema de Gerência de Pavimentos | 17 |
| 2.2 | Métodos de avaliação das condições do pavimento | 20 |
| 2.2.1 | Irregularidade Longitudinal | 20 |
| 2.2.2 | Valor de Serventia Atual – VSA | 22 |
| 2.2.3 | International Roughness Index - IRI | 24 |
| 2.3 | Uso do <i>smartphone</i> na estimativa da serventia e da irregularidade longitudinal | 28 |
| 3 | METODOLOGIA | 30 |
| 3.1 | Materiais e Métodos | 30 |
| 3.2 | Definição das vias de análise | 33 |
| 3.3 | Avaliação do Valor de Serventia Atual - VSA | 39 |
| 3.4 | Estimativa da irregularidade longitudinal – RMSVA | 43 |
| 3.5 | Correlação VSA x RMSVA | 47 |
| 3.6 | Elaboração dos mapas com escala de cores | 48 |
| 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 49 |
| 4.1 | Análise do Valor de Serventia Atual – VSA | 49 |
| 4.2 | Perfis de Irregularidade Longitudinal – RMSVA | 50 |
| 4.2.1 | RMSVA – R. Barão do Amazonas | 51 |
| 4.2.2 | RMSVA – Av. Alexandre Lisboa | 52 |
| 4.2.3 | RMSVA – R. Mariz e Barros | 53 |
| 4.2.4 | RMSVA – R. dos Andradas | 54 |
| 4.2.5 | RMSVA – R. Dr. Lauro Dornelles | 55 |
| 4.2.6 | RMSVA – R. Barão de Cerro Largo | 57 |
| 4.2.7 | RMSVA – Av. Caverá | 58 |
| 4.3 | Análise da Irregularidade Longitudinal – RMSVA | 59 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4 | Correlação VSA x RMSVA..... | 60 |
| 4.5 | Elaboração dos mapas com escala de cor | 61 |
| 4.5.1 | Mapas do Valor de Serventia – VSA..... | 61 |
| 4.5.2 | Mapas da Irregularidade Longitudinal – RMSVA | 63 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 67 |
| 5.1 | Sugestão para trabalhos futuros..... | 67 |
| | REFERÊNCIAS..... | 69 |
| | ANEXO A | 71 |
| | APÊNDICE A | 72 |
| | APÊNDICE B | 73 |
| | APÊNDICE C | 74 |
| | APÊNDICE D | 75 |
| | APÊNDICE E | 76 |
| | APÊNDICE F..... | 77 |
| | APÊNDICE G | 78 |

1 INTRODUÇÃO

Quando se fala em progresso econômico, pôr em prática políticas públicas ligadas a manutenção da malha viária é uma das principais prioridades dos órgãos ou governos. Essa tarefa se torna um elemento crítico para a implantação de planos de gerenciamento das estruturas viárias, a qual tem como principal objetivo a preservação da integridade estrutural e funcional do pavimento, condições de segurança e rodagem para os usuários (DOUANGPHACHANH, 2014).

De acordo com a CNT (2021) estima-se que 99% dos pavimentos brasileiros são flexíveis, ou seja, o material principal do revestimento é asfáltico. Este material possui uma vida útil média de 8 a 12 anos, entretanto, não é incomum encontrarmos as rodovias deterioradas antes desse prazo. As causas dessa deterioração podem ser diversas, isso é evidenciado de acordo com uma pesquisa realizada pela CNT, onde no ano de 2021, trechos da malha viária brasileira que totalizam uma extensão pesquisada de 109.103 quilômetros, concluiu-se que, cerca de 52,2% (56.970 quilômetros) dos pavimentos apresentam algum tipo de problema.

Para a análise do estado geral do pavimento, que procurou identificar a real situação em que as rodovias se encontram, cerca de 61,8% (67.476 quilômetros) foram classificadas como regular, ruim ou péssimo, e apenas 38,2% (41.627 quilômetros) classificadas como bom ou ótimo.

Analisando a perspectiva do usuário sobre a condição do pavimento, o que é mais relevante está associado à percepção de sua aparência (trincas, buracos, panelas, remendos, cor, acostamentos, etc.) e também a aceleração vertical durante o percurso, devido a irregularidade longitudinal, filtrada pelas características de suspensão e tipo do veículo utilizado (HASS *et. al.* 1994).

Bisconsini (2016) alerta que ferramentas como os perfilômetros ou outras mais sofisticadas, têm um elevado custo de aquisição e operação, e que na maioria das vezes exige uma habilidade específica dos operadores, tornando o processo caro. Ainda, além dos perfilômetros, há outros casos em que se faz uso de equipamentos estáticos de altíssima precisão, mas que não são práticos para medições a nível de rede.

De acordo com o DNIT (2006) há duas principais técnicas de avaliação funcional dos pavimentos, um método objetivo, aplicado para quantificar o grau de

degradação e um método subjetivo, aplicado para determinar a deterioração de maneira qualitativa.

Assim, esse estudo buscou avaliar a condição atual dos pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico do município de Alegrete – RS para gerar um modelo correlacional entre o valor eficaz da aceleração vertical e o valor da serventia atual, e a partir dele gerar mapas com escala de cores, baseada no conceito de serventia.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo correlacional entre o valor eficaz da aceleração vertical e o valor de serventia atual para desenvolvimento de um mapa indicativo da qualidade dos pavimentos do município de Alegrete – RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar uma equação correlacional dos resultados de VSA e RMSVA;
- Gerar um mapa da cidade ilustrando o VSA dos trechos a partir de uma escala de cores;
- Gerar um mapa da cidade ilustrando a estimativa da irregularidade longitudinal a partir da correlação com o método do VSA;

1.2 Justificativa

Produzir dados que reflitam a condição de trafegabilidade das vias é de suma importância, especialmente se considerarmos as condições de falta de segurança que pavimentos sem a devida manutenção traz aos usuários. Desta forma, avaliar a irregularidade longitudinal de um pavimento permite evidenciar trechos que necessitem de reparos preventivos ou que já estejam com um alto índice de degradação.

Considerando que tecnologias específicas para a medição da irregularidade dos pavimentos ainda são caras, o emprego de *smartphones* vem se tornando uma

ferramenta de auxílio. Baratos, de fácil utilização e manutenção, esses dispositivos podem fornecer dados significativos capazes de acelerar o processo avaliativo do nível de serventia de um pavimento.

1.3 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado em cinco capítulos. No primeiro consta uma contextualização do tema abordado, onde estão descritos os objetivos gerais e específicos, assim como a justificativa do trabalho. No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica discutindo métodos de avaliação funcionais para determinar a qualidade dos pavimentos, uso do *smartphone* para identificar problemas em vias pavimentadas e a irregularidade longitudinal dos pavimentos.

No terceiro capítulo estão descritos os materiais utilizados na mensuração da pesquisa e a metodologia aplicada para o tratamento dos dados obtidos com o auxílio do aplicativo para *smartphone*.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos através do tratamento dos dados brutos coletados pela pesquisa, tanto para a mensuração da trafegabilidade do pavimento pelo método do Valor de Serventia Atual (VSA) quanto pela irregularidade longitudinal estimada pela Raiz Média Quadrática da Aceleração Vertical - *Root Mean Square Vertical Acceleration* (RMSVA).

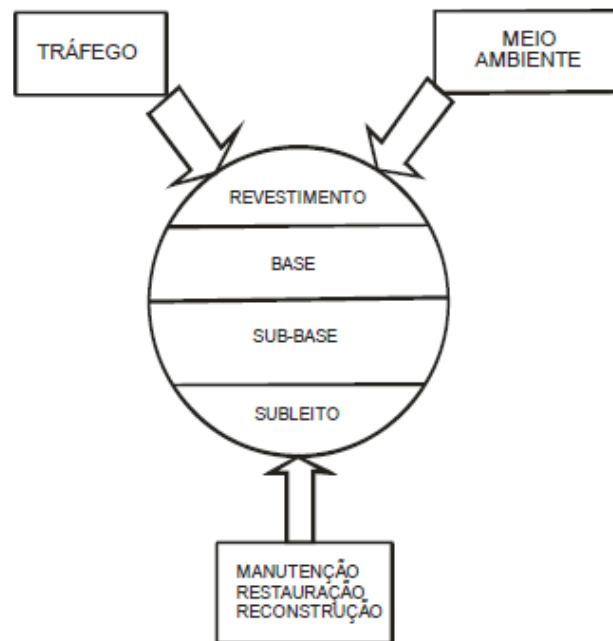
Por fim, no quinto capítulo foram expostas as considerações finais para o trabalho realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Restauração e Sistema de Gerência de Pavimentos

O DNIT (2011) caracteriza o Sistema Pavimento como um conjunto de componentes que atuam concomitantemente, sendo esses componentes descritos como revestimento, base, sub-base e subleito. Sendo esse sistema submetido a fatores externos como as condições do ambiente, ao tráfego e até a intervenção humana (manutenção) assim como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Sistema Pavimento.



Fonte: DNIT (2011).

Historicamente, foi a partir de 1980 que ocorreu um interesse no desenvolvimento e aplicação do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), por parte de diversos órgãos rodoviários, devido a diversos fatores dos quais estão a necessidade de manutenção adequada da rede rodoviária devido ao envelhecimento dos pavimentos, aos altos custos operacionais e manutenção dos veículos relativo a consumo de pneus, combustível, entre outros (DNIT, 2011).

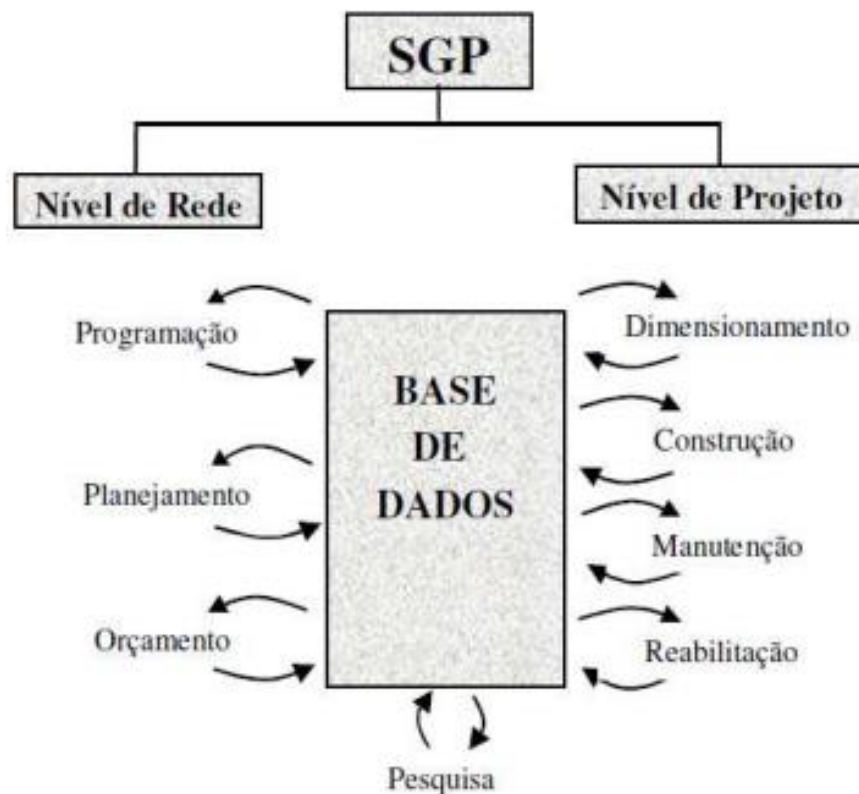
Para Barella (2008) a gerência de pavimentos pode, de forma simples, ser interpretada como um sistema de auxílio à tomada de decisões que abrange um

conjunto de modelos que, aplicados sobre certos dados característicos do pavimento, otimizam os investimentos de manutenção.

O SGP é composto pelo planejamento, projeto, construção e manutenção de pavimentos que devem agir mutuamente. Além dos componentes do sistema, ainda fazem parte dele fatores externos, os quais podem ser citados os recursos orçamentários e as diretrizes políticas e administrativas. O SGP busca a melhor aplicabilidade possível dos recursos públicos disponíveis, e assim oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico (DNIT, 2011).

O objetivo de um SGP é de coordenar e acompanhar todas as atividades a níveis de projeto e rede, a fim de que se obtenha maior aproveitamento dos recursos financeiros investidos. Garantindo pavimentos confortáveis, econômicos e seguros aos usuários, de maneira que o SGP permita a melhoria das condições do pavimento, a redução dos custos de manutenção e também dos custos operacionais para os veículos (FERNANDES JR., 2001 *apud* ALBUQUERQUE, 2017). A estrutura e componentes do SGP é ilustrada na Figura 2.

Figura 2 – Componentes de um Sistema de Gerência de Pavimentos em nível de rede e projeto.



Fonte: (Fernandes Jr., 2001 *apud* Albuquerque, 2017).

Hass *et. al.* (1994) classificam o SGP em dois diferentes níveis operacionais, assim como explícito na Figura 2. O nível de rede, que tem como princípio desenvolver programa de prioridades e cronograma de trabalho para toda a rede e são geralmente associados com tomadas de decisão orçamentária, de planejamento e programação. E o nível de projeto que tem como objetivo a decisão do momento adequado para colocar em prática todas as decisões tomadas a nível de rede, que se refere ao dimensionamento e construção de projetos ou mesmo manutenção e reabilitação de pavimento.

Embora nos últimos anos seja notável o crescimento da malha viária e o avanço tecnológico, a gerência de pavimentos urbanos das cidades brasileiras é baseada na habilidade dos engenheiros municipais, que na maioria das vezes tomam decisões de manutenção e restauração com base na prática acumulada, levando em consideração urgências de caráter político, sem utilizar procedimentos formais de gerência embasada em um método técnico-científico (FERNANDES JR. *et. al.*, 2012).

Lima (2007) elucida que de uma forma geral, um SGP é válido tanto para rodovias como para vias urbanas e rurais, depende apenas de poucas adaptações.

O DNIT (2011) estabelece sete etapas para o desenvolvimento do SGP, das quais podem ser adaptadas tanto para um sistema já existente ou para a implantação de um novo sistema, sendo elas:

- 1ª etapa: Decisão inicial;
- 2ª etapa: Organização de uma comissão de implantação do sistema;
- 3ª etapa: Indicação da equipe do sistema;
- 4ª etapa: Seleção ou desenvolvimento do sistema de manutenção dos pavimentos;
- 5ª etapa: Demonstração e funcionamento do sistema;
- 6ª etapa: Implantação do Sistema de Gerência de Pavimentos;
- 7ª etapa: Revisão periódica.

Fernandes Jr. *et. al.* (2012) descrevem que de maneira geral, a gerência dos pavimentos inicia com a coleta e análise de dados e finaliza com a seleção de estratégias de manutenção e reabilitação (M&R), entretanto, há empasses em buscar informações básicas já que não há banco de dados dos pavimentos, por motivos como a falta de *As Built*, descrição de reparos ou controles na construção.

2.2 Métodos de avaliação das condições do pavimento

De acordo com o DNIT (2006) é estabelecido dois principais conceitos de avaliação do pavimento, sendo elas a avaliação funcional e a avaliação estrutural. A primeira está relacionada ao conforto de rolamento, as condições da superfície, à interação pneu-pavimento e aos defeitos e irregularidades, já a segunda está vinculada a capacidade de carga e suporte do pavimento, logo, relacionada diretamente ao projeto e dimensionamento do pavimento.

Segundo o DNIT (2011) para a implantação de um SGP a avaliação do pavimento é uma das etapas mais importantes na tomada de decisões do sistema. Essa medida possibilita determinar como estão as condições operacionais, estruturais e funcionais da malha viária ou trechos dela. O tráfego incidente é um dos fatores mais relevantes na implantação do SGP, quanto as condições operacionais, por sua vez, essa medida leva em consideração o Número N¹, quando a análise é feita em termos de carga, ou pelo Volume Médio Diário Anual de Tráfego (VDM) quando essa análise se baseia em capacidade de tráfego, ou ambos. Para determinar as condições estruturais, a avaliação está ligada ao nível de projeto, já que esta condição está diretamente ligada ao dimensionamento do pavimento.

Por fim, para determinar as condições funcionais, ou seja, condições de rolamento e conforto da superfície do pavimento, o DNIT (2011) apresenta dois parâmetros, sendo eles, Valor de Serventia Atual (VSA) que consiste em uma avaliação subjetiva realizada por técnicos e o *International Roughness Index* (IRI) ou Índice de Irregularidade Internacional, que é um parâmetro usado para medir a irregularidade longitudinal do pavimento com o uso de equipamentos específicos para tal fim (DNIT, 2011).

2.2.1 Irregularidade Longitudinal

Gillespie et al. (1986) caracterizam a irregularidade longitudinal como uma seção vertical ao longo do trilho de rodas, a qual indica a elevação da superfície em

¹ Número de repetições de cargas equivalentes ao eixo simples de rodas duplas e carga de 8,2 tf, tomado como eixo padrão (DNIT, 2011).

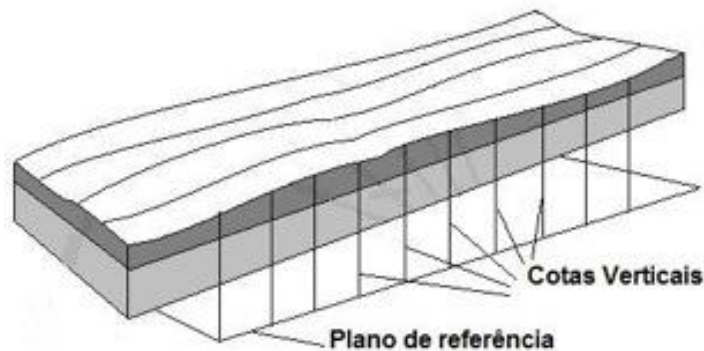
função da distância longitudinal, além disso, é um indicador da condição útil do pavimento.

Segundo a ASTM E867 (2012) a irregularidade longitudinal das rodovias é conceituada como a soma dos desvios da superfície do pavimento que afeta a dinâmica do veículo, qualidade de rolamento, as cargas dinâmicas e a drenagem superficial.

Já para o DNIT (2006), que é responsável pela gestão das vias, a irregularidade longitudinal é definida como um conjunto dos desvios da superfície de rolamento do pavimento, em relação a um plano de referência. Estes desvios, entre outros inconvenientes, afetam a qualidade de rolamento dos veículos e a ação dinâmica que as cargas exercem sobre a via.

Sayers e Karamihas (1998) explicam que a irregularidade é um valor que resume o desvio da superfície do pavimento. Dois pontos que podem ser observados em perfis longitudinais ao longo de linhas transversais, onde fica aparente a superelevação, a curvatura do projeto além de sulcos e outras disfunções da via, assim como evidenciado na Figura 3.

Figura 3 – Perfil Longitudinal da via.



Fonte: Bisconsini (2016).

Além disso, Bisconsini (2016) relata diversas outras definições relacionadas as deformações superficiais dos pavimentos, de modo a causar inconvenientes, sobretudo um desconforto facilmente percebido por usuários das vias. Por conseguinte, é visto como o principal defeito relacionado à avaliação funcional do pavimento, baseado no conceito de serventia-desempenho (Carey e Irick, 1960) resultado dos experimentos da *American Association of State Highway Officials* (AASHO).

Para o DNIT (2011) a avaliação funcional de um pavimento associa o estado da superfície e sua influência à condição de rolamento do veículo. Desta maneira, dois parâmetros surgem como consistentes métodos de avaliação, sendo eles, o VSA, cuja medida é subjetiva ao avaliador, de modo que é baseada em notas dadas por técnicos. A outra é o IRI, que é definida como um parâmetro estabelecido através da medição da irregularidade longitudinal do pavimento, gerada por aparelhos especificamente projetados para tal finalidade.

2.2.2 Valor de Serventia Atual – VSA

Concebido por *Carey e Iric*, em 1960 como resultado de experimentos para a AASHO, foi o primeiro método implantado e estabelecido de maneira sistêmica para avaliação funcional do pavimento, por definição, o VSA é uma atribuição numérica cuja medida é subjetiva e aplicada por um corpo técnico avaliador treinado, compreendido em uma escala de 0 a 5 (DNIT, 2011).

O valor final da serventia é uma média das notas dos avaliadores em cada trecho que são tratados separadamente, e pode ser observada de acordo com a Equação 1.

$$VSA = \frac{\sum X}{n} \quad \dots(1)$$

Onde:

VSA = Valor de Serventia Atual

X = Valores de Serventia Atual individuais atribuídos por membros avaliadores

n = Número de avaliadores

Para a determinação do VSA a norma recomenda que os trechos selecionados previamente devem ser homogêneos e com extensão de até 2 quilômetros percorridos em um único sentido da via, o resultado da nota dos avaliadores é então analisado de acordo com uma escala padrão, observada de acordo com a Tabela 1 (DNIT, 2003).

Tabela 1 – Níveis de Serventia.

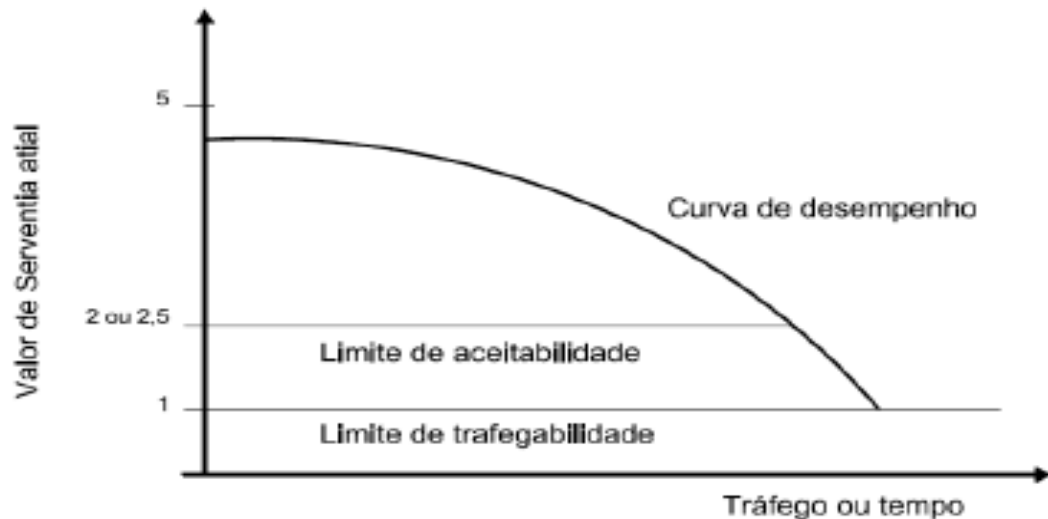
| Padrão de conforto ao rolamento | Avaliação |
|--|------------------|
| Excelente | 4 a 5 |
| Bom | 3 a 4 |
| Regular | 2 a 3 |
| Ruim | 1 a 2 |
| Péssimo | 0 a 1 |

Fonte: Adaptado de (DNIT, 2003)

Em geral, o VSA é um valor maior logo após a finalização do pavimento, um pavimento sem qualquer irregularidade, ou seja, o valor de VSA = 5 na prática não é alcançado. O VSA depende da qualidade executiva e das alternativas de pavimentação escolhidas, logo, o aprimoramento das técnicas construtivas elevam os valores da nota mais próxima possível da máxima (DNIT, 2011).

Ainda de acordo com o DNIT (2011) há dois limites no desempenho do pavimento, o limite de aceitabilidade, cujo VSA é de 2,5 para vias onde o tráfego é intenso e 2,0 para as demais sendo que o limite de trafegabilidade que possui um VSA igual ou inferior a 1,0. Na Figura 4 estão representados esses valores.

Figura 4 – Variação da serventia com o passar do tempo ou tráfego.

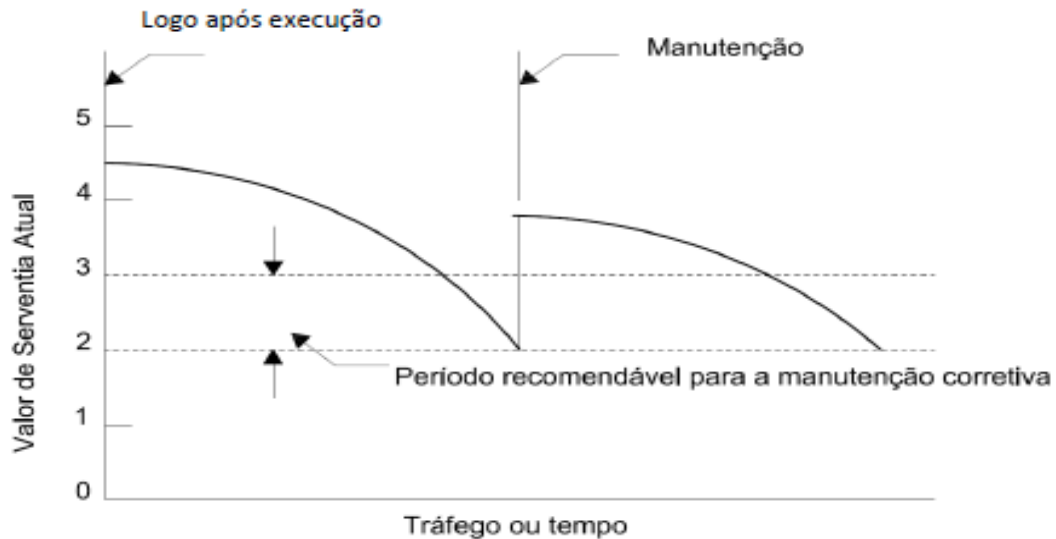


Fonte: (DNIT, 2011).

Na prática sempre que o VSA atingir os valores recomendados de aceitabilidade é necessário o reparo do pavimento. Caso não haja manutenção, ou a mesma seja inadequada, o valor de VSA pode atingir o limite de trafegabilidade. É então quando recomenda-se uma reconstrução completa do trecho analisado,

elevando assim o valor de VSA, podendo atingir valores menores, iguais ou maiores ao da serventia inicial do pavimento, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Período recomendável para manutenção do pavimento.



Fonte: (DNIT, 2011).

2.2.3 International Roughness Index - IRI

Barella (2008) evidencia a criação de muitos índices desde o início do século XX para medir a condição da superfície do pavimento, com finalidade de representar a regularidade ou irregularidade de determinado trecho do pavimento, muitos destes bastante objetivos, com o real intuito de medir as irregularidades do pavimento. Outros, entretanto, subjetivos e realizados por técnicos ou leigos, que simplesmente atribuem notas a condição do trecho do pavimento analisado. Para resolver os problemas comparativos de subjetividade e separar medida e medidor, foi estabelecido internacionalmente o índice IRI.

Sayers e Karamihas (1998) salientam que o IRI se tornou o primeiro índice utilizado internacionalmente, pois sua metodologia de análise permite a adaptação para qualquer tipo de equipamento de medição de perfil, resumindo significativamente as características de irregularidade que interferem na resposta do veículo.

De acordo com Sayers (1995), o IRI é definido como a propriedade de uma seção longitudinal obtido em função de um único segmento. Ainda de acordo com o mesmo autor, a precisão e relevância do índice está relacionada diretamente com a

capacidade de medição, que dependerá da qualidade ou tipo de equipamento e a metodologia utilizada.

Para medir a irregularidade do pavimento destaca-se o índice estatístico, designado IRI, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação ao projeto (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Além da escala para medir essa propriedade do pavimento (IRI) é importante conhecer os tipos de dispositivos medidores da irregularidade longitudinal dos pavimentos. Estes dispositivos foram caracterizados por Gillespie *et al.* (1986) em quatro classes, levando em consideração a sua capacidade de medir diretamente as irregularidades de um determinado espectro amostral. Desta maneira, um equipamento poderá ser classificado em mais de uma classe, assim como observado na Quadro 1.

Quadro 1 – Classe dos dispositivos medidores.

| Classe | Características | Exemplos de equipamentos ou medição |
|---------------|--|--|
| Classe 1 | Equipamentos que medem diretamente o perfil dos pavimentos | Nível e mira; |
| | | <i>Dipstick</i> ; |
| | | z-250; |
| | | Perfilômetro do TRL; |
| | | Perfilômetro <i>Walking Profiler</i> da ARRB. |
| Classe 2 | Outros métodos perfilométricos | Perfilógrafos; |
| | | Equipamentos com sensores a laser; |
| | | Infravermelho ou ultrassom; |
| | | APL francês. |
| Classe 3 | Sistemas medidores do tipo resposta | Integrador de irregularidade longitudinal IPR/USP; |
| | | <i>Maysmeter</i> ; |
| | | <i>MERLIN</i> ; |
| | | <i>Riley</i> ; |
| | | TRL <i>Bump integrator</i> . |
| Classe 4 | Avaliações subjetivas | Painel de avaliadores. |

Fonte: Adaptado de (Gillespie *et al.*, 1986. *Apud* Costa, 2019).

Barella (2008) destaca que além do IRI, no Brasil há a utilização de um outro índice gerado a partir de um modelo publicado por Queiroz (1981). Normalizado para a calibração de medidores do tipo resposta, e dando origem a primeira norma DNER – 164/94. O Quociente de Irregularidade (QI) é uma escala para medir a irregularidade

longitudinal do pavimento e sua unidade é (contagens/km), esse índice pode ser determinado de acordo com a Equação 2.

$$QI = -8,54 + 6,17 \text{ RMSVA}_{1,0} + 19,38 \text{ RMSVA}_{2,5} \quad \dots(2)$$

Onde:

QI = Quociente de Irregularidade

$\text{RMSVA}_{1,0}$ = Aceleração vertical média quadrática, referente a distância de base igual a 1,00 m.

$\text{RMSVA}_{2,5}$ = Aceleração vertical média quadrática, referente a distância de base igual a 2,50 m.

Bernucci *et al.* (2010) demonstram que os equipamentos tipo resposta, responsáveis por fornecer valores do QI, podem ser relacionados numericamente com o índice IRI, através da Equação 3.

$$QI = 13 \times IRI \quad \dots(3)$$

Onde:

QI = Quociente de Irregularidade

IRI = Índice de irregularidade Internacional

Embora essa correlação não seja constante, entretanto, a relação entre o QI e o IRI pode ser observada na Tabela 2.

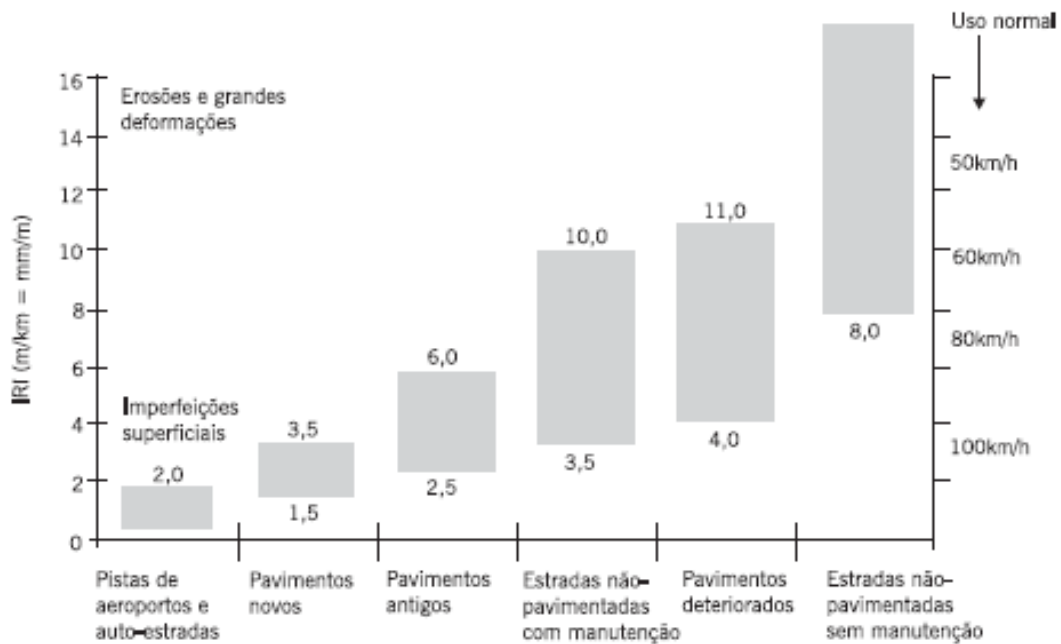
Tabela 2 – Condições de superfície do pavimento.

| Conceito | Irregularidade | |
|------------------|----------------|------------|
| | QI (cont/km) | IRI (m/km) |
| Excelente | 13 - 25 | 1 - 1,9 |
| Bom | 25 - 35 | 1,9 - 2,7 |
| Regular | 35 - 45 | 2,7 - 3,5 |
| Ruim | 45 - 60 | 3,5 - 4,6 |
| Péssimo | > 60 | > 4,6 |

Fonte: (DNIT, 2006).

O IRI quantifica a irregularidade que impacta a resposta do veículo, sendo mais apropriado quando se deseja uma medida de irregularidade relacionada ao: veículo em geral, custo operacional, qualidade geral do passeio, cargas dinâmicas e as condições gerais da superfície do pavimento (SAYERS e KARAMIHAS, 1998). A escala para quantificação do IRI descrita pelos autores é demonstrada na Figura 6.

Figura 6 – Variação do IRI de acordo com a classe da via.



Fonte: (Sayers e Karamihas, 1998 *apud* Bernucci *et al.*, 2010).

Para a norma americana ASTM E1926 (2005) a escala IRI começa em zero para uma via sem irregularidade e aumenta quanto maior for a irregularidade longitudinal do pavimento flexível. A descrição da escala IRI e a representação do significado desses valores está descrita de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Descrição da escala IRI.

| IRI | Características |
|-------|---|
| 0 - 2 | Tráfego suave, sem ondulações ou depressões; |
| 2 - 4 | Superfície defeituosa, com depressões ocasionais, remendos ou buracos; |
| 4 - 6 | Oscilações fortemente perceptíveis, associadas a defeitos, remendos e depressões; |

Continua...

...Continuação

| IRI | Características |
|---------------|--|
| 6 - 8 | Oscilações bruscas associadas a defeitos graves, depressões profundas e desiguais; |
| 8 - 10 | Depressões profundas, associadas a severa desintegração do pavimento. |

Conclusão.

Fonte: Adaptado de ASTM E1926 (2005).

A exemplo do Quadro 1, Gillespie *et. al.* (1986) explicam que existe uma diversidade de instrumentos para medir a irregularidade longitudinal da superfície dos pavimentos e, portanto, justifica a necessidade da criação de um índice que seja possível correlacionar metodologias de medição distintas.

Por fim, Sayers (1995) expõe que a principal ideia por trás da criação do IRI é que este fosse um método relevante, transportável, e se mantivesse constante durante o tempo. Para poder assegurar mobilidade, o método deveria ser compatível com uma grande variedade de equipamentos, incluindo os de tipo resposta. Para que se mantivesse constante com o tempo esse método deveria ser uma transformação matemática de um perfil medido.

2.3 Uso do *smartphone* na estimativa da serventia e da irregularidade longitudinal

Biscosini (2016) salienta que alguns pesquisadores têm estudado o uso do *smartphone* para auxiliar na avaliação funcional do pavimento, sobretudo, o uso na determinação da irregularidade longitudinal do pavimento, já que o dispositivo é de baixo custo, comparado a outros medidores semelhantes, é de fácil operação, manutenção e alta produtividade.

Segundo Schlotjes *et. al.* (2014) a introdução dos *smartphones* possibilitou uma diversificação na criação e uso de aplicativos para uso relacionados a rede de transporte, a exemplo do uso do GPS, aplicativos de informação para horários de transportes públicos, previsões do tempo e outros.

De maneira geral ainda há poucos estudos que relacionam o uso do *smartphone* para estimar a irregularidade longitudinal do pavimento, em contrapartida, há muito interesse no mapeamento de buracos e panelas nos pavimentos, que se

preocupam majoritariamente em monitorar anomalias isoladas à estimar a real condição do pavimento (DOUANGPHACHANH, 2014).

Embora vistos como medidores do tipo resposta, Bisconsini (2016) afirma que *smartphones* não funcionam como um medidor convencional da classe. O autor explica que o dispositivo não acumula os deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro do veículo em um único sentido, tampouco mede diretamente o perfil do pavimento como um perfilômetro, apenas as acelerações verticais por meio de sensores de movimento (acelerômetro, magnetômetro e barômetro) presentes no dispositivo que está fixado internamente ao veículo.

O uso dos *smartphones* tornam o método de avaliação funcional mais simples, mesmo que não sejam tão precisos quanto medidores de outras classes. Entretanto, Almeida (2018) explica que os dispositivos móveis podem fornecer atualizações quanto a condição de irregularidade do pavimento em espaços de tempo menores do que os outros métodos, que, devido ao alto custo, são frequentemente menos utilizados.

Para que haja um equilíbrio, é importante determinar quando cada método de medição deve ser usado. Ressaltando que a utilização de um equipamento não exclui o uso de outro, desta forma, é preciso que haja uma complementação entre o uso desses sistemas de medição, determinando quando um deve ser mais necessário que outro (BISCONSINI, 2016).

Bisconsini (2016) elucida que, assim que coletados os dados de aceleração e o posicionamento, pode-se então correlacionar com a irregularidade longitudinal dos pavimentos. Esta relação é obtida através do cálculo da Raiz Média Quadrática da Aceleração Vertical - *Root Mean Square Vertical Acceleration* (RMSVA) de acordo com a Equação 4.

$$\text{RMSVA} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{zi}^2} \quad \dots(4)$$

Onde:

RMSVA = Raiz Média Quadrática da Aceleração Vertical

a_z = Aceleração vertical (m/s²)

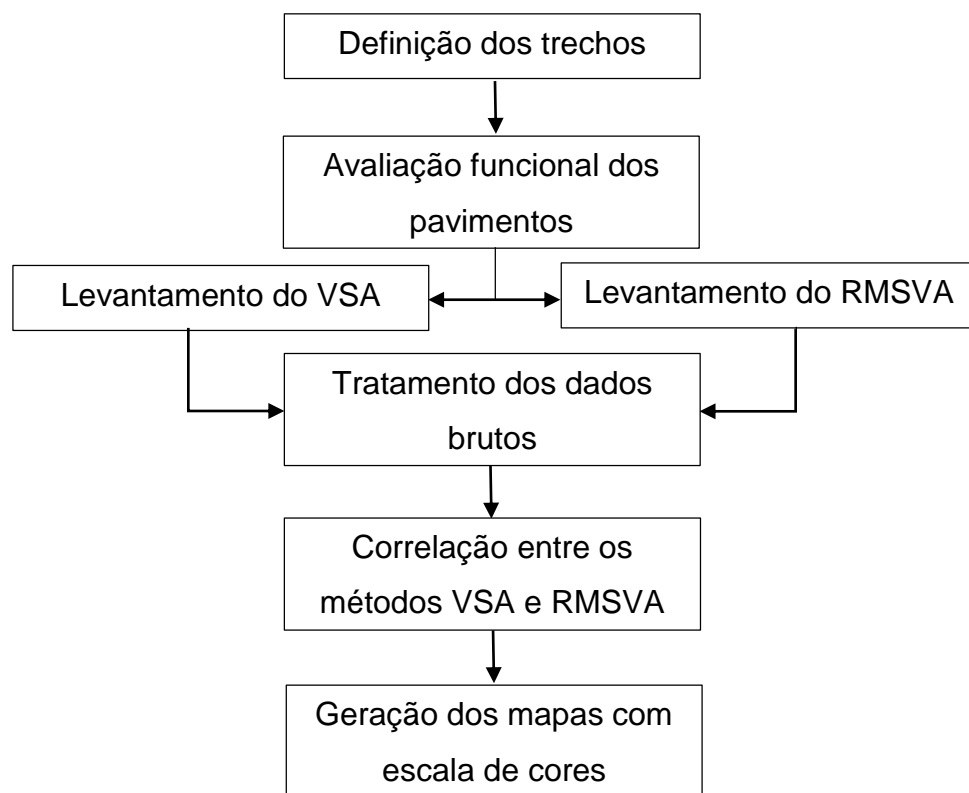
n = número de dados

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados todos os métodos e equipamentos utilizados para a obtenção e tratamento dos dados necessários e pertinentes ao estudo.

Na Figura 7 estão apresentadas as atividades a serem realizadas para a elaboração deste trabalho.

Figura 7 – Fluxograma de etapas.



Fonte: Elaboração própria.

3.1 Materiais e Métodos

Este estudo foi realizado buscando avaliar funcionalmente os trechos dos pavimentos selecionados na cidade de Alegrete – RS, e através da correlação entre os resultados do VSA e do RMSVA, gerar mapas com escalas de cores para a serventia e a estimativa da irregularidade dos pavimentos pela raiz quadrada média da aceleração vertical.

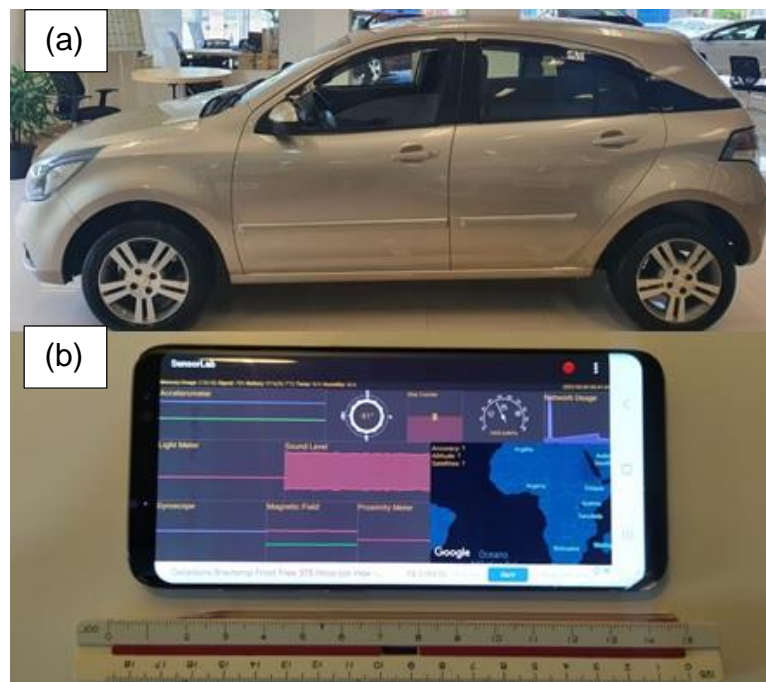
O primeiro método é baseado nos procedimentos da norma DNIT 009/2003 – PRO para a avaliação do VSA. Essa norma recomenda pelo menos cinco avaliadores, que as vias analisadas sejam subdivididas em trechos de até aproximadamente 600 metros de comprimento cada, e que todos os trechos sejam percorridos preferencialmente em sequência, e o mais próximo da velocidade operacional da via possível.

Os avaliadores devidamente orientados e cientes do propósito, deverão atribuir notas na folha de avaliação, demonstrada no Anexo A, que variam de 0 a 5, onde a nota zero representa uma condição péssima e cinco a condição é ótima.

Para a estimativa da irregularidade longitudinal foi utilizado o aplicativo *SensorLab* instalado em um *smartphone* Modelo Samsung Galaxy S8 SM-G950FD com sistema operacional *Android* versão 9.0. O veículo utilizado foi um Chevrolet Ágile LTZ 1.4 ano 2013, com revisão preventiva de suspensão e motor em dia, pneus seminovos com aproximadamente cinco mil quilômetros (5.000 km) rodados.

As medições foram realizadas com o veículo alinhado e balanceado, pneus calibrados com 30 psi (indicação do fabricante) antes da coleta de dados. Na Figura 8 estão ilustrados os equipamentos anteriormente descritos e que foram usados na avaliação dos pavimentos.

Figura 8 – Equipamentos utilizados para a medição (a) – Veículo (b) – *Smartphone*.



Fonte: Elaboração própria.

Bisconsini (2016) descreve que a maioria dos suportes veiculares fixados por ventosas no para-brisas ou painel, mesmo que com os devidos cuidados na hora da fixação do aparelho, permitem uma “flutuação” do *smartphone* devido a flexibilidade do material ou a presença de rótulas, que podem gerar vibrações ressonantes e, por consequência, gerar dados errôneos durante a leitura dos movimentos do corpo do veículo.

Por este motivo, a fixação do *smartphone* foi feita diretamente sobre o painel do veículo, utilizando uma base de suporte antiderrapante, fabricada em material de gel sílica que é conhecida como “tapete mágico”. O aparelho devidamente fixado sobre o painel é apresentado na Figura 9.

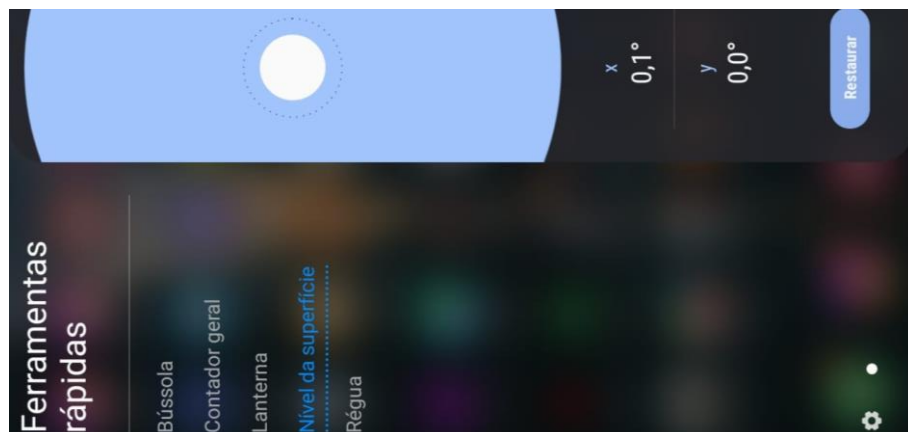
Figura 9 – *Smartphone* posicionado para a medição.



Fonte: Elaboração própria.

A conferência da posição do aparelho foi feita com o veículo sobre uma superfície plana e com auxílio do nível de superfície, ferramenta nativa do aparelho, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Ferramenta rápida – nível de superfície.



Fonte: Elaboração própria.

Todas as vias escolhidas para a análise são do tipo coletora, permitindo desenvolver velocidades de até 40 km/h, com revestimentos do tipo asfáltico e de diversas idades e estados de conservação.

As Rua Barão do Amazonas e Avenida Alexandre Lisboa são vias da região central e visualmente se encontram em um bom estado de conservação conforme Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 – Condições atuais da Rua Barão do Amazonas.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 13 – Condições da Av. Alexandre Lisboa.



Fonte: Elaboração própria.

Na Rua Mariz e Barros é possível notar a distinção em dois trechos, um deles, localizado no quarteirão da Praça Getúlio Vargas que encontra-se em um bom estado de conservação, enquanto que o outro encontra-se em um estado de conservação

muito precário, com muitas restaurações paliativas. Essa distinção no estado de conservação é notável nos métodos de avaliação do VSA e RMSVA, podendo ser observado na Figura 14.

Figura 14 – Condições da R. Mariz e Barros (a) – Trecho bom (b) – Trecho precário.



Fonte: Elaboração própria.

A Rua dos Andradas visualmente se encontra em um bom estado de conservação. Para essa via, é importante salientar que, no trecho da Praça General Osório, esse revestimento foi refeito há cerca de 1 ano, sendo possível notar uma distinção na conservação geral do restante do pavimento. Outro ponto é em um trecho, onde encontra-se um cruzamento ferroviário duplo. Os dois pontos salientados podem ser observados na Figura 15.

Figura 15 – Estado da R. dos Andradas (a) – Pavimento (b) – Cruzamento ferroviário.



Fonte: Elaboração própria.

A Rua Dr. Lauro Dornelles visualmente se encontra com um bom estado de conservação. Assim como a Rua dos Andradas essa via também possui pontos de cruzamento ferroviário, sendo esses dois pontos mais espaçados. O estado geral de conservação pode ser observado conforme a Figura 16.

Figura 16 – Conservação da R. Dr. Lauro Dornelles (a) – Pavimento (b) – Cruzamento ferroviário.



Fonte: Elaboração própria.

A Rua Barão de Cerro Largo visualmente se encontra em um estado de conservação muito ruim, é possível observar muitos buracos e restaurações paliativas conforme a Figura 17.

Figura 17 – Estado geral da R. Barão de Cerro Largo.



Fonte: Elaboração própria.

A Avenida Caverá visualmente se encontra em um estado de conservação precário, com trechos onde há muitos buracos e restaurações paliativas, bem como muitos remendos executados ao longo da vida útil do pavimento conforme é mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Estado de conservação Av. Caverá – Trecho com remendos.



Fonte: Elaboração própria.

É possível identificar na Figura 18 que há trechos em que a restauração paliativa ameniza o desconforto ao rolamento do veículo, e isso acontece alternadamente durante toda a extensão via analisada. Em contrapartida, há trechos

que o pavimento é muito irregular, devido ao excessivo número de remendos de má qualidade executados, conforme Figura 19.

Figura 19 – Estado de conservação Av. Caverá – Trecho com “tapa buracos”.



Fonte: Elaboração própria.

3.3 Avaliação do Valor de Serventia Atual - VSA

No trabalho realizado, as vias selecionadas foram divididas em trechos secundários, onde cada via foi dividida em 3 ou 6 trechos com comprimentos que variam de 190 a 600 metros. A divisão foi feita no cruzamento com vias perpendiculares, o que significa que o final do trecho analisado é o início do próximo.

Os avaliadores, cientes do propósito e procedimentos da norma, atribuíram notas conforme a ficha de avaliação modelo do ANEXO A, que variam de 0 a 5, onde 0 é um pavimento péssimo e intrafegável e 5 é um pavimento ótimo, que teoricamente é um conceito inatingível, pois trata de um pavimento perfeito. A avaliação seguiu uma sequência de ruas de maneira a evitar um tempo muito longo de percurso entre um trecho e outro. A descrição da divisão de cada trecho secundário é descrita de acordo com o Quadro 3, ou pode ser observada na Figura 20.

Quadro 3 – Descrição dos trechos analisados.

| Via | Trecho | Comp. (m) | Descrição |
|----------------------|---------------|------------------|---|
| R. Barão do Amazonas | 1 | 300 | Iniciando no cruzamento com a Av. Eurípedes Brasil Milano com final do percurso no cruzamento com a R. David Canabarro. |
| | 2 | 320 | Iniciando no cruzamento com a R. David Canabarro e final do percurso no cruzamento com a R. Tiradentes. |
| | 3 | 320 | Iniciando no cruzamento com a R. Tiradentes e final do percurso na intersecção com a Pr. Getúlio Vargas. |
| Av. Alexandre Lisboa | 4 | 300 | Iniciando após a saída da Ponte Borges de Medeiros e final do percurso no cruzamento com a R. Dr. Plínio Brasil Milano. |
| | 5 | 300 | Iniciando no cruzamento com a R. Dr. Plínio Brasil Milano e final do percurso no cruzamento com a R. David Canabarro. |
| | 6 | 320 | Iniciando no cruzamento com a R. David Canabarro e final do percurso no cruzamento com a R. Tiradentes. |
| R. Mariz e Barros | 7 | 190 | Iniciando no cruzamento com a R. Gen. Neto e final do percurso no cruzamento com a R. José Bonifácio. |
| | 8 | 530 | Iniciando no cruzamento com a R. R. José Bonifácio e final do percurso no cruzamento com a R. Joaquim Antônio. |
| | 9 | 320 | Iniciando no cruzamento com a R. Joaquim Antônio e final do percurso no cruzamento com a Av. Eurípedes Brasil Milano. |

Continua...

...Continuação

| Via | Trecho | Comp. (m) | Descrição |
|-------------------------|---------------|------------------|---|
| | 10 | 460 | Iniciando na transição da R. Maurício Cardoso para a Pr. Gen. Osório e final do percurso no cruzamento com a R. Barão de Cerro Largo. |
| R. dos Andradas | 11 | 550 | Iniciando no cruzamento com a R. Barão de Cerro Largo e final do percurso no cruzamento com a R. Venâncio Aires. |
| | 12 | 590 | Iniciando no cruzamento com a R. Venâncio Aires e final do percurso no cruzamento com a R. Simplício Jaques. |
| | 13 | 600 | Iniciando no cruzamento com a R. Simplício Jaques e final do percurso no cruzamento com a R. Venâncio Aires. |
| R. Dr. Lauro Dornelles | 14 | 540 | Iniciando no cruzamento com a R. Venâncio Aires e final do percurso no cruzamento com a R. Barão de Cerro Largo |
| | 15 | 420 | Iniciando no cruzamento com a R. Barão de Cerro Largo e final do percurso no cruzamento da Pr. Gen. Osório com a R. Daltro Filho. |
| | 16 | 290 | Iniciando no cruzamento com a R. Gen. Sampaio e final do percurso no cruzamento com a R. Nossa Sra. Do Carmo |
| R. Barão de Cerro Largo | 17 | 280 | Iniciando no cruzamento com a R. Nossa Sra. Do Carmo e final do percurso no cruzamento com a R. Visconde de Tamandaré. |
| | 18 | 300 | Iniciando no cruzamento com a R. Visconde de Tamandaré e final do percurso no cruzamento da R. Joaquim Antônio. |

Continua...

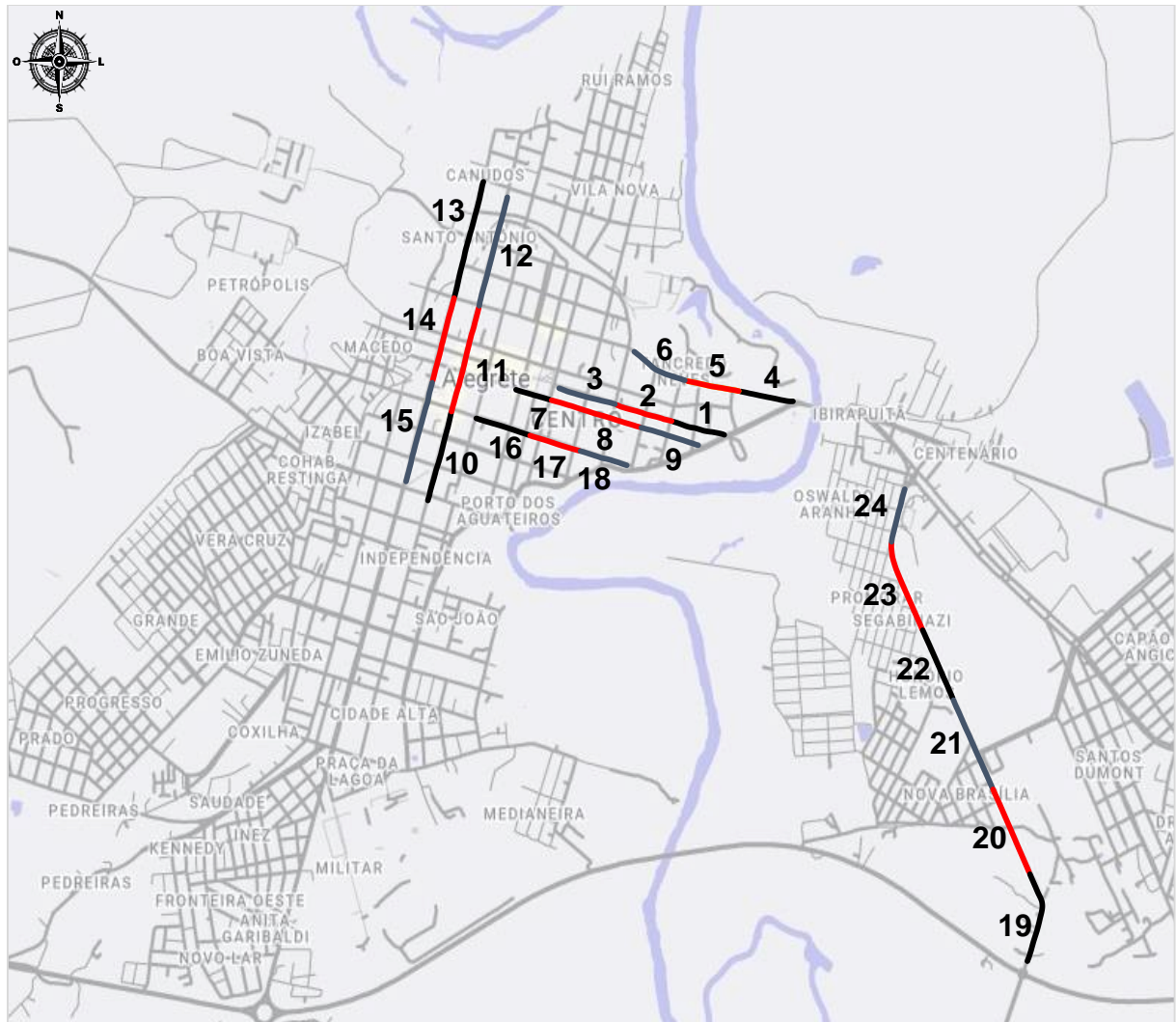
...Continuação

| Via | Trecho | Comp. (m) | Descrição |
|------------|---------------|------------------|--|
| Av. Caverá | 19 | 430 | Iniciando na Av. Caverá, nº 2600 em direção a UNIPAMPA. |
| | 20 | 430 | Iniciando na Av. Caverá s/n até o cruzamento com a R. Gentil João Pedroso. |
| | 21 | 470 | Iniciando no cruzamento da Av. Caverá com a R. Gentil João Pedroso até o cruzamento com a R. Adão Fontoura da Silva. |
| | 22 | 430 | Iniciado na cruzamento entre a Av. Caverá com a R. Adão Fontoura da Silva até a Escola Municipal Honório Lemes. |
| | 23 | 460 | Iniciando na Av. Caverá em frente à Escola Honório Lemes até o cruzamento com a R. Euclides Braz. |
| | 24 | 360 | Iniciando na AV. Caverá cruzamento com a R. Euclides Braz até a rotatória. |

Conclusão.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 20 - Mapa de localização dos trechos medidos.



Fonte: Elaboração própria.

3.4 Estimativa da irregularidade longitudinal – RMSVA

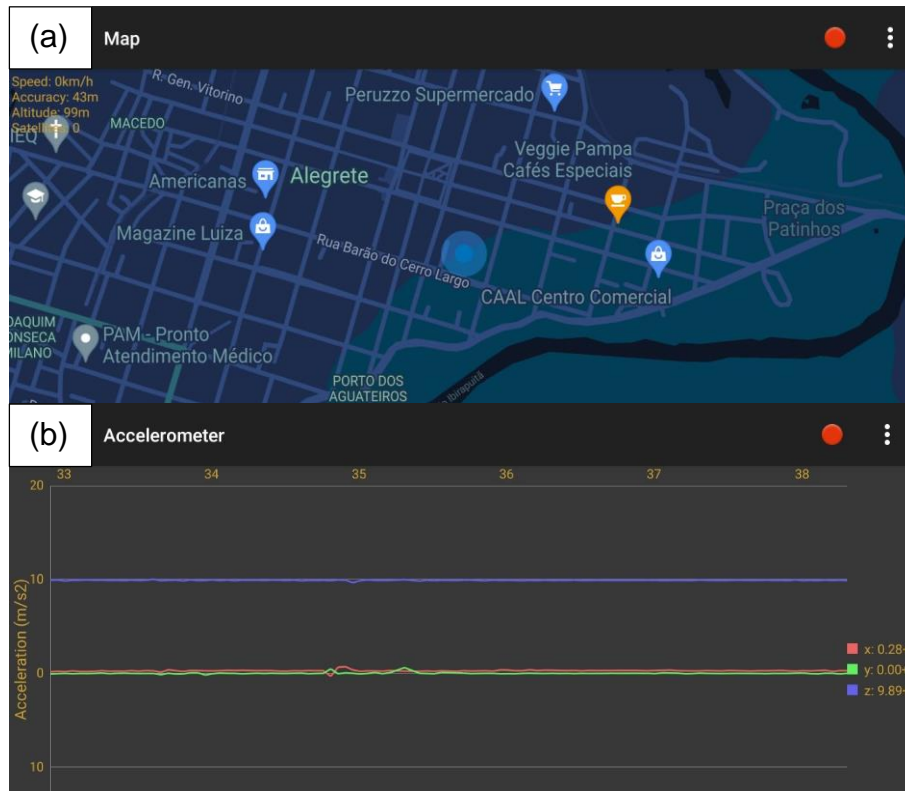
Para avaliar a irregularidade longitudinal baseada no valor eficaz da aceleração vertical, o aplicativo escolhido para a medição foi o SensorLab. Ferramenta de uso genérico, que gera um relatório com dados dos sensores presentes no *smartphone*.

Os sensores disponíveis são acelerômetro, GPS, bússola, giroscópio, umidade, luminosidade, pressão, etc. Entretanto, a disponibilidade do relatório desses sensores depende do *smartphone* em que o aplicativo está instalado e operante, outro ponto importante é manter o GPS ativado, já que é possível desativá-lo nas configurações do aparelho.

Para obter os resultados propostos por esse trabalho, os sensores de interesse para o estudo foram o GPS e o acelerômetro. O relatório gerado pelo GPS foi

importante para a elaboração dos mapas, bem como para a determinação da velocidade média de cada percurso realizado. Já o acelerômetro gera um relatório onde são medidas as acelerações, com a base no eixo de coordenadas, como indicado na Figura 21.

Figura 21 – Tela de sensores do aplicativo. (a) – GPS (b) – Acelerômetro.



Fonte: Elaboração Própria.

As coordenadas são representadas por cores diferentes para cada eixo ou sentido de leitura, dependendo da orientação do *smartphone* no momento da medição. Por exemplo, caso o *smartphone* seja colocado sobre uma superfície plana em posição horizontal, qualquer aceleração no eixo longitudinal do *smartphone* será medida e representada pelo eixo y (cor verde), para as acelerações perpendiculares ao eixo longitudinal do *smartphone*, elas serão medidas e representadas pelo eixo x (cor vermelha) e, por fim, as acelerações medidas pelo eixo z (cor azul) são as acelerações verticais, ortogonais ao plano horizontal do *smartphone*. A orientação dos eixos pode ser observada de acordo com a Figura 22.

Figura 22 – Indicação dos eixos no aplicativo.



Fonte: Elaboração própria.

A rigor do exemplo citado na Figura 22, como o *smartphone* encontra-se sobre uma superfície plana e imóvel, a leitura observada nos eixos x e y devem medir uma aceleração de aproximadamente 0 m/s^2 , entretanto, para o valor medido pelo eixo z deve ser um valor próximo de $9,81 \text{ m/s}^2$, valor estipulado para a aceleração gravitacional.

Para a coleta de dados, foram realizadas 10 passadas em cada trecho selecionado. Segundo Bisconsini (2016) é a partir de aproximadamente nove passadas, que os dados de aceleração vertical RMSVA alcançam uma repetitividade consistente.

O processamento dos dados utilizando o aplicativo *SensorLab* é um procedimento trabalhoso. Ferrari (2020) descreve que, como seu propósito de medição é genérico, o relatório de dados gerados pelo aplicativo necessita de tratamento extenso antes do resultado esperado.

Ao final de cada levantamento são disponibilizados 17 arquivos em formato *comma-separated values* (.csv). Cada arquivo é individual e referente a um sensor, portanto, para este trabalho como mencionado anteriormente, apenas os dados das tabelas de acelerômetro e GPS foram utilizados para a elaboração dos mapas com escala de cor para demonstrar o nível de irregularidade de cada trecho dos pavimentos que foram analisados.

Para dados apresentados na Tabela 3, o tempo em milissegundos é contado a partir do início da medição, ou seja, o exato momento em que é acionada a gravação no aplicativo. Os valores de aceleração são referentes aos eixos de coordenadas x, y e z.

Tabela 3 – Dados do acelerômetro.

| Tempo (ms) | x (m/s²) | y (m/s²) | z (m/s²) |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 25 | -0,28013 | -1,62092 | 10,55875 |
| 74 | -2,14527 | -1,35037 | 11,80377 |
| ... | ... | ... | ... |

Fonte: Elaboração própria.

Os dados foram separados em trechos a cada 10 metros (baseados na relação tempo e velocidade média) e então aplicada a Equação 4, onde n é o número de dados nesse intervalo de tempo, e a é a aceleração vertical.

Além desse procedimento, como o eixo z está sob influência da gravidade, para que seja possível o cálculo do valor de RMSVA, é necessário descontar $9,81 \text{ m/s}^2$ de cada valor do eixo analisado. O mesmo procedimento é descrito por Almeida (2018) e Ferrari (2020).

Com os resultados do tratamento da Tabela 3 é então possível traçar o perfil da aceleração vertical de cada passada. Como cada via é percorrida e medida 10 vezes, foram gerados 10 perfis e, a partir desses, com os valores de RMSVA foram obtidos os valores médios e gerado o perfil de irregularidade longitudinal médio para cada via.

Assim como o exemplo da Tabela 3, os dados fornecidos e apresentados na Tabela 4 começam a ser contabilizados do início da medição. Os valores fornecidos pelo GPS são em coordenadas decimais, facilitando no processo de inserção dos pontos para a confecção dos mapas de localização, avaliação da serventia atual e da irregularidade longitudinal baseada no valor eficaz da aceleração vertical. Além das coordenadas de GPS, o relatório fornece o valor da velocidade naquele instante de tempo, permitindo estimar o valor da velocidade média do percurso total.

Tabela 4 – Dados do GPS.

| Tempo (ms) | Latitude (°) | Longitude (°) | Velocidade (m/s) |
|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| 229 | -29,7856111 | -55,7779445 | 10,8012 |
| 1286 | -29,7856557 | -55,7780613 | 11,0163 |
| ... | ... | ... | ... |

Fonte: Elaboração própria.

Para determinar o nível de irregularidade do pavimento baseado na aceleração vertical, Bisconsini (2016) salienta que a velocidade de coleta dos dados e o nível de irregularidade são fatores que podem influenciar na repetitividade dos valores de RMSVA calculados, uma vez que são fatores que podem representar empecilhos à manutenção das condições de coleta, como a posição lateral do veículo, a coincidência de pontos de início e fim de coleta, constância na velocidade, além do ruído gerado pelo aparelho escolhido e a vibração intrínseca do veículo.

Dito isto, na Tabela 5 é apresentada a velocidade média de coleta de dados das 10 passadas realizadas, respeitando os limites máximos de velocidade permitidos pelas vias.

Tabela 5 – Velocidade média para coleta de dados de aceleração vertical.

| Via | Comp. (m) | Vel. Operacional (km/h) | Vel. Média (km/h) |
|-------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------|
| R. Barão do Amazonas | 940 | 40 | 37,87 |
| Av. Alexandre Lisboa | 920 | 40 | 39,44 |
| R. Mariz e Barros | 1040 | 40 | 35,03 |
| R. dos Andradas | 1600 | 40 | 39,32 |
| R. Dr. Lauro Dornelles | 1560 | 40 | 39,39 |
| R. Barão de Cerro Largo | 870 | 40 | 32,27 |
| Av. Caverá | 2580 | 40 | 38,39 |

Fonte: Elaboração própria.

A velocidade média alcançada no momento das medições ficou muito próxima a velocidade operacional das vias, com exceção das ruas Mariz e Barros e Barão de Cerro Largo, onde as velocidade ficaram pouco abaixo.

3.5 Correlação VSA x RMSVA

Com a atribuição das notas e cálculo do VSA para cada trecho das vias escolhidas e com a medição e cálculo do valor de RMSVA equivalente a esses trechos, a escala de serventia foi correlacionada ao método da estimativa da irregularidade através do RMSVA, sendo essa relação realizada através de um modelo ajustado, onde no eixo das ordenadas estão os valores na escala VSA e no

eixo das abcissas estão os valores de RMSVA dos trechos analisados. Para relacionar VSA e RMSVA, foi empregada uma linha de tendência com ajuste linear em um gráfico de dispersão.

3.6 Elaboração dos mapas com escala de cores

A criação dos mapas de VSA com as escalas de cores foi baseada no conceito atribuído a cada trecho separado das vias selecionadas. Os mapas refletem a escolha de uma escala de cores, baseada no conceito de padrão ao rolamento (Tabela 1), onde o conceito péssimo é representado pela cor preta, o conceito ruim pela cor vermelha, o regular pela laranja, o bom pela amarela e o conceito ótimo representado pela cor verde.

Para os mapas de estimativa da irregularidade longitudinal a partir do valor eficaz da aceleração vertical, foram mantidos os mesmos conceitos apresentados para o VSA, entretanto, os valores limites de RMSVA foram calculados através da correlação entre os dois métodos. A escala de cores para os conceitos estendidos para a estimativa da irregularidade longitudinal permaneceu a mesma.

Para a criação dos mapas, foram utilizadas as coordenadas fornecidas pelo GPS do *smartphone*, e para as imagens de preenchimento de fundo, foi utilizada a plataforma do Google Maps, uma ferramenta chamada *Mapstyle*, que permite a estilização de mapas que facilitam no gerenciamento do tipo de mapa desejado, baseado na necessidade do usuário.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dos procedimentos descritos anteriormente no item 3.3, estão listados os resultados obtidos neste trabalho.

4.1 Análise do Valor de Serventia Atual – VSA

As notas da avaliação dos trechos estão listadas na Tabela 6, onde é mostrado o VSA, correspondente a média das notas atribuídas pelo corpo técnico avaliador durante o levantamento de cada trecho separadamente.

Tabela 6 – VSA dos trechos analisados.

| Via | Trecho | Comprimento (m) | VSA | Conceito |
|-------------------------|--------|-----------------|------|----------|
| R. Barão do Amazonas | 1 | 300 | 3,56 | Bom |
| | 2 | 320 | 3,68 | Bom |
| | 3 | 320 | 3,76 | Bom |
| Av. Alexandre Lisboa | 4 | 300 | 3,56 | Bom |
| | 5 | 300 | 3,3 | Bom |
| | 6 | 320 | 3,02 | Bom |
| R. Mariz e Barros | 7 | 190 | 3,76 | Bom |
| | 8 | 530 | 0,70 | Péssimo |
| | 9 | 320 | 0,44 | Péssimo |
| R. dos Andradas | 10 | 460 | 3,37 | Bom |
| | 11 | 550 | 3,20 | Bom |
| | 12 | 590 | 3,70 | Bom |
| R. Dr. Lauro Dornelles | 13 | 600 | 2,74 | Regular |
| | 14 | 540 | 3,34 | Bom |
| | 15 | 420 | 4,00 | Ótimo |
| R. Barão de Cerro Largo | 16 | 290 | 1,62 | Ruim |
| | 17 | 280 | 1,42 | Ruim |
| | 18 | 300 | 1,86 | Ruim |

Continua...

Continuação...

| Via | Trecho | Comprimento (m) | VSA | Conceito |
|------------|---------------|------------------------|------------|-----------------|
| Av. Caverá | 19 | 430 | 2,60 | Regular |
| | 20 | 430 | 2,12 | Regular |
| | 21 | 470 | 2,68 | Regular |
| | 22 | 430 | 2,98 | Regular |
| | 23 | 460 | 2,44 | Regular |
| | 24 | 360 | 1,92 | Ruim |

Conclusão.

Fonte: Elaboração própria.

Das vias analisadas, as ruas Barão do Amazonas, Andradas e Avenida Alexandre Lisboa, 100% da sua extensão foi conceituada como boa, segundo o VSA. Para a rua Barão de Cerro Largo, todo comprimento do trecho analisado é considerado com conceito ruim.

A Rua Mariz e Barros possui uma distinção grande no nível de conforto ao rolamento, obtendo conceito bom no primeiro trecho analisado, representando 18,27% da extensão. O restante da via foi conceituada como péssimo estado, representando uma parcela muito grande da extensão total analisada, de 81,73%.

Da Rua Dr. Lauro Dornelles, seus conceitos ficaram distribuídos em 38,46% do comprimento total em estado regular, 34,61% em bom estado e 26,92% da via em ótimo estado.

Por fim, para a Avenida Caverá, a maior parte de sua extensão foi caracterizada como conceito regular, totalizando 86,04%, já para os 13,96% restante da via selecionada, o nível de conforto ao rolamento foi considerado ruim.

4.2 Perfis de Irregularidade Longitudinal – RMSVA

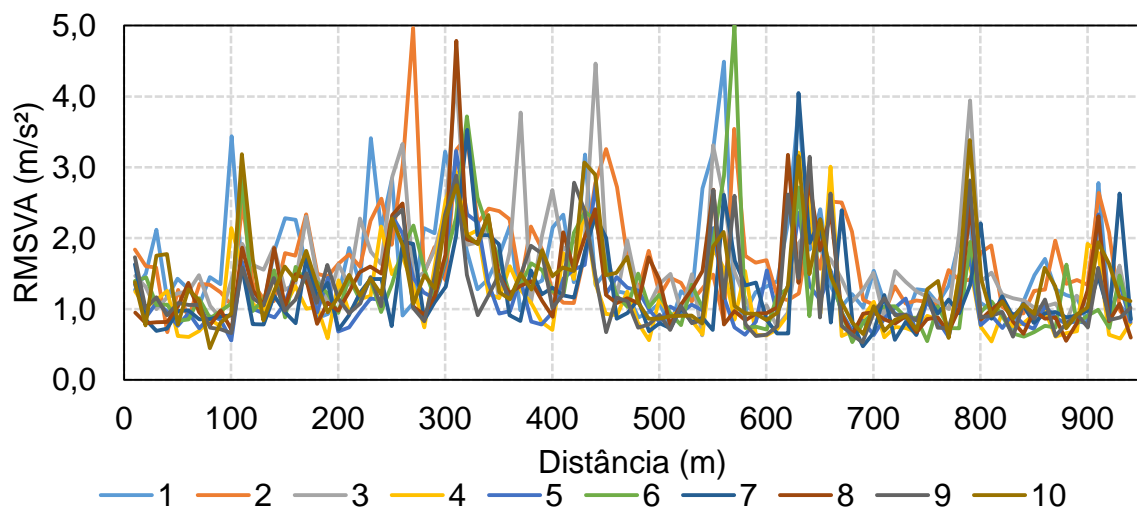
Dos procedimentos descritos anteriormente no item 3.4, estão listados os resultados obtidos neste trabalho.

4.2.1 RMSVA – R. Barão do Amazonas

Na Figura 23 estão ilustrados os perfis gerados por essas medições. Para uma melhor visualização dos perfis longitudinais de cada passada separada, os mesmos se encontram no APÊNDICE A.

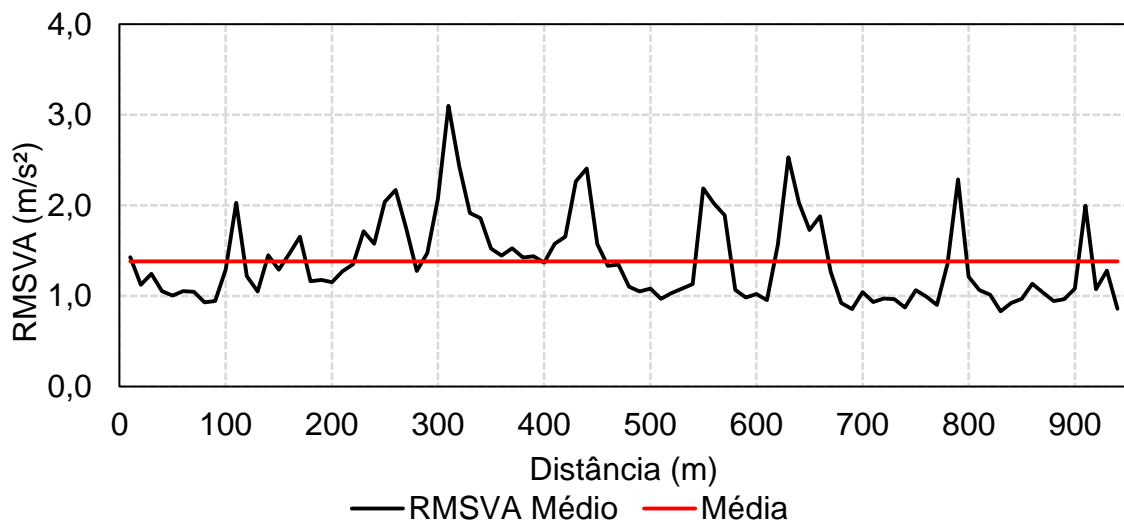
De acordo com a Figura 24 está ilustrado o perfil longitudinal médio de todas as passadas. O valor médio de RMSVA para a média das pesadas foi de $1,38 \text{ m/s}^2$.

Figura 23 – Perfis longitudinais – R. Barão do Amazonas.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 24 – Perfil longitudinal RMSVA médio – R. Barão do Amazonas



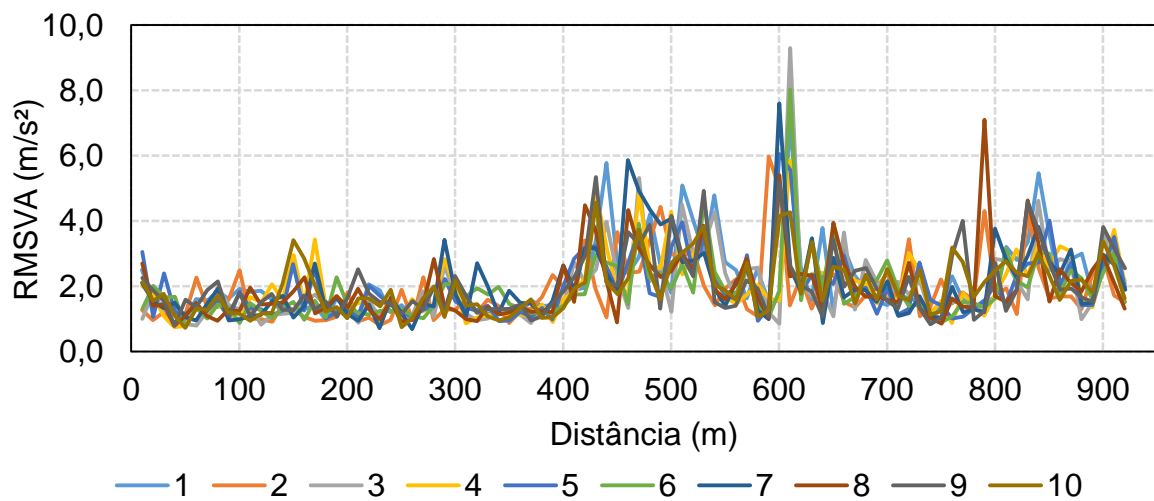
Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 RMSVA – Av. Alexandre Lisboa

Os perfis longitudinais podem ser analisados de forma separada no APÊNDICE B ou juntos na Figura 25.

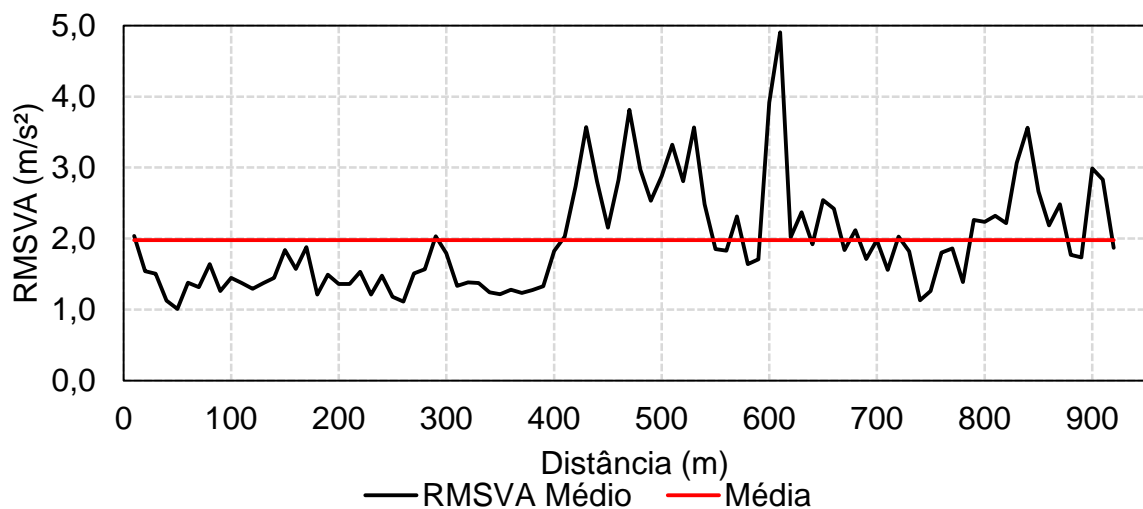
O RMSVA médio do perfil longitudinal dos trechos analisados da Av. Alexandre Lisboa pode ser observado na Figura 26, que além de demonstrar o perfil médio das medições traz o valor médio total do trecho percorrido, que foi de 1,98 m/s².

Figura 25 – Perfis longitudinais – Av. Alexandre Lisboa



Fonte: Elaboração própria.

Figura 26 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – Av. Alexandre Lisboa.



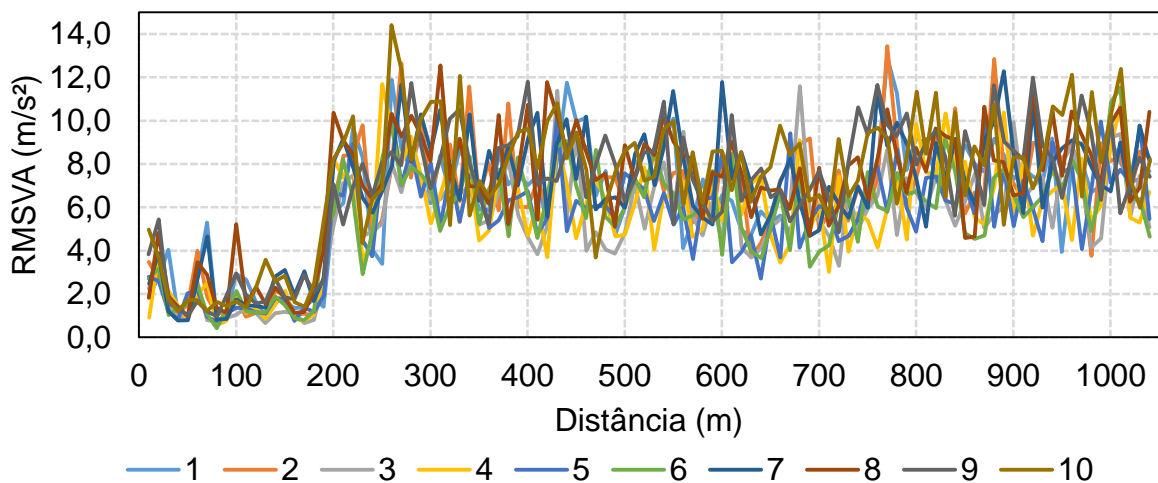
Fonte: Elaboração própria.

4.2.3 RMSVA – R. Mariz e Barros

Conforme a Figura 14, onde nota-se visualmente uma distinção na qualidade do pavimento do primeiro trecho com os demais, isso é refletido também na estimativa do perfil longitudinal da Figura 27 ou do APÊNDICE C.

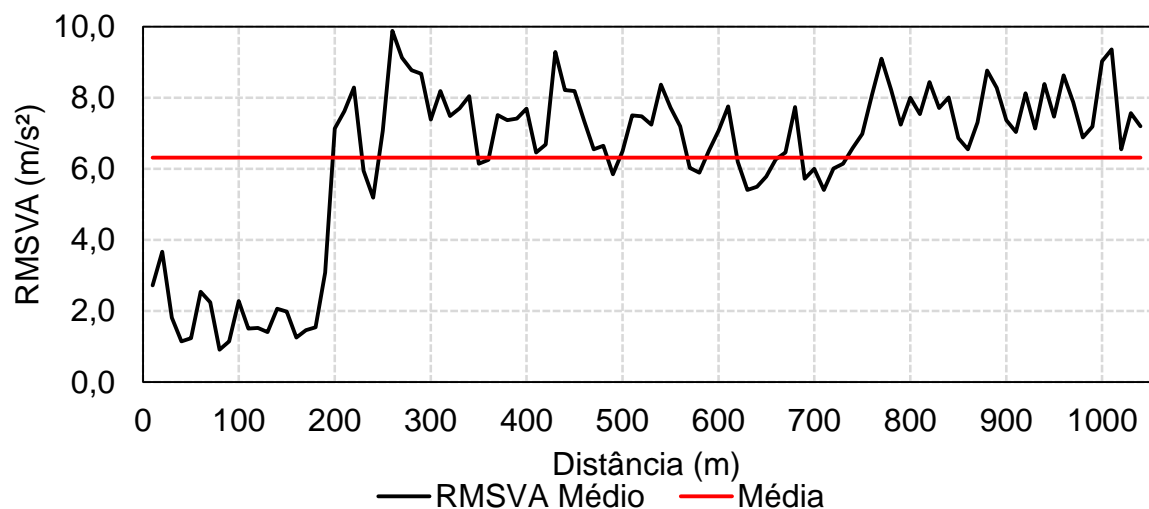
O RMSVA médio do perfil longitudinal dos trechos analisados da R. Mariz e Barros pode ser observado na Figura 28, que além de demonstrar o perfil médio das medições, mostra o valor médio total do trecho percorrido, que foi de 6,32 m/s².

Figura 27 – Perfis longitudinais – R. Mariz e Barros.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 28 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. Mariz e Barros



Fonte: Elaboração própria.

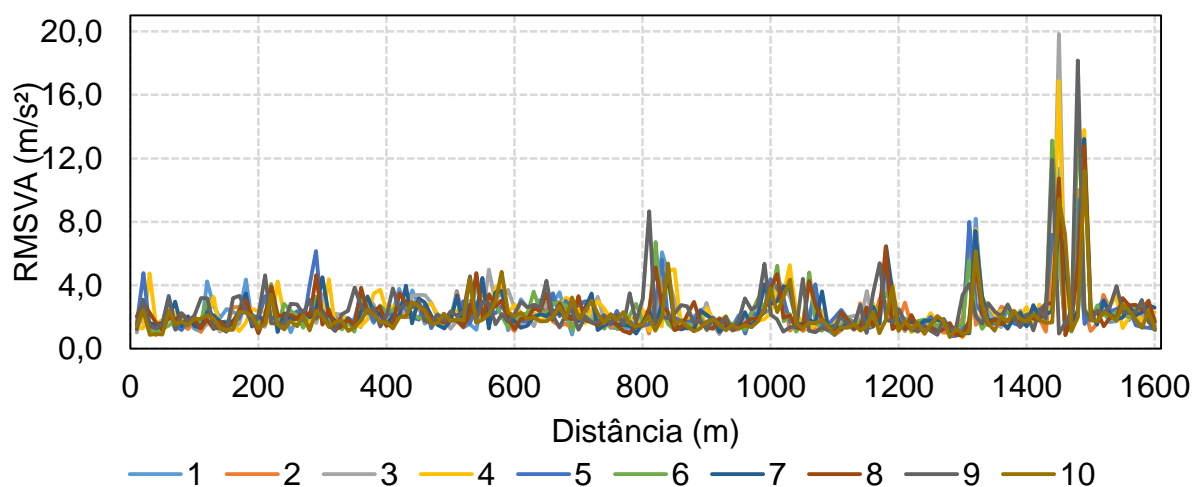
Com essa distinção na qualidade do pavimento do primeiro trecho de medição da via, em ambos os métodos de avaliação funcional desse pavimento, é possível notar que o valor da média para o RMSVA não remete a qualidade de toda a extensão do pavimento analisado.

Além da distinção da qualidade apontada pela atribuição do VSA, na medição do RMSVA isso também fica claro, uma vez que o valor da média do RMSVA para os 190 metros do primeiro trecho é de 1,87 m/s², enquanto para os outros 850 metros restantes, o valor da média é significativamente maior, chegando a 7,31 m/s².

4.2.4 RMSVA – R. dos Andradas

Na Rua dos Andradas o perfil longitudinal de cada passada é observado na Figura 29 ou no APÊNDICE D.

Figura 29 – Perfis longitudinais – R. dos Andradas.

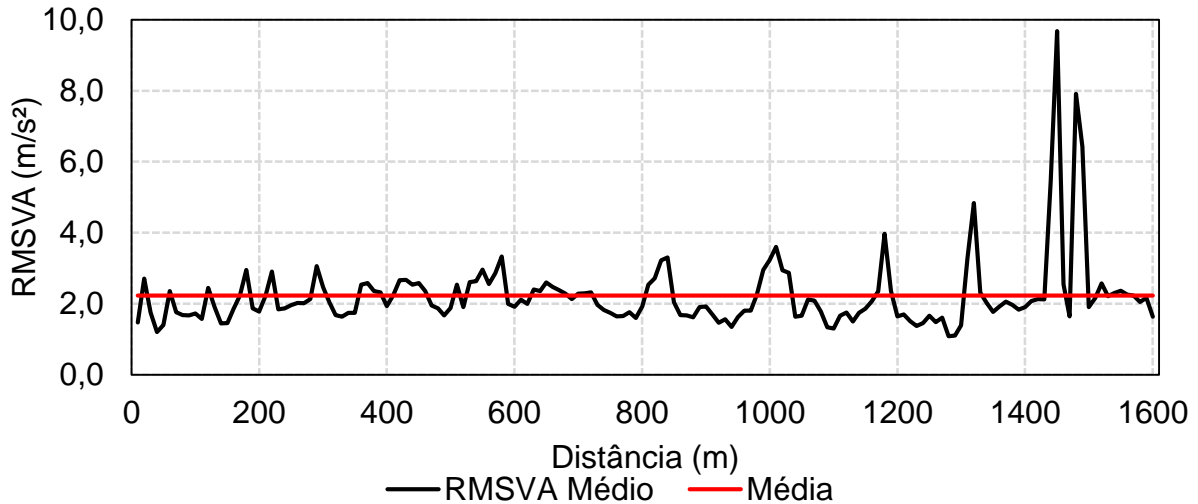


Fonte: Elaboração própria.

A Rua dos Andradas apresentou um valor médio para o RMSVA de 2,23 m/s², entretanto, há uma particularidade apresentada na Figura 15 para essa via, que em sua extensão ao longo do terceiro trecho conforme Quadro 3, há um cruzamento ferroviário duplo a uma distância aproximada de 1440 metros do início da medição da via. Esse cruzamento fica evidenciado na Figura 30 com valores de pico de 9,67 m/s² e 7,91 m/s². Caso esses valores não fossem levados em consideração para a análise de serventia do pavimento, uma vez que o método do VSA desconsidera qualquer

cruzamento ferroviário, o valor da média de RMSVA cairia para 2,10 m/s², ou seja, uma queda de 5,83% no valor médio da aceleração vertical.

Figura 30 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. dos Andradas.



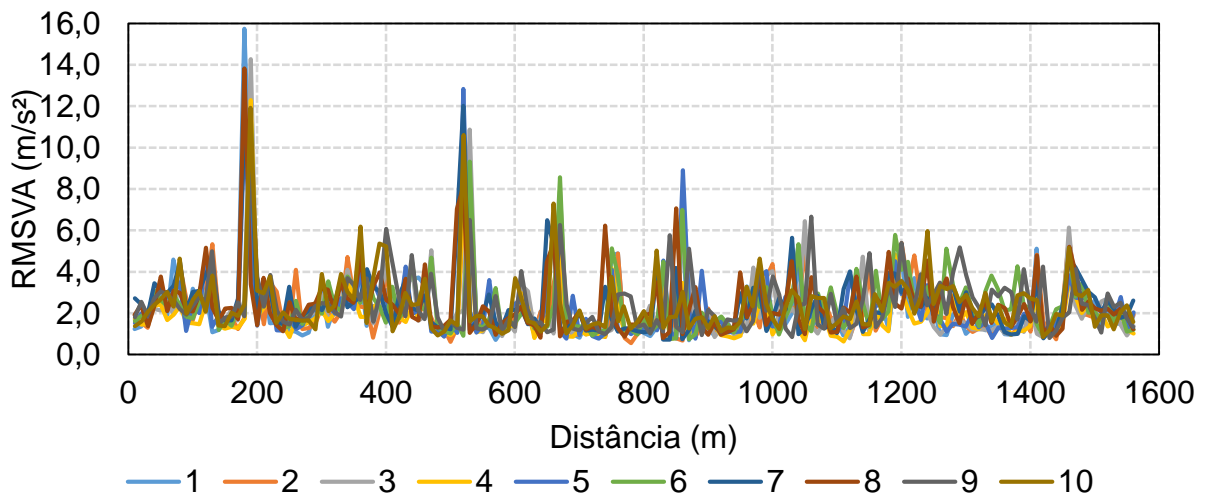
Fonte: Elaboração própria.

4.2.5 RMSVA – R. Dr. Lauro Dornelles

A Rua Dr. Lauro Dornelles, assim como a R. dos Andradas apresentada anteriormente possui dois cruzamentos ferroviários, que ficam evidentes nos perfis longitudinais das 10 passadas realizadas. Na Figura 31 ou APÊNDICE E estão demonstrados esses perfis.

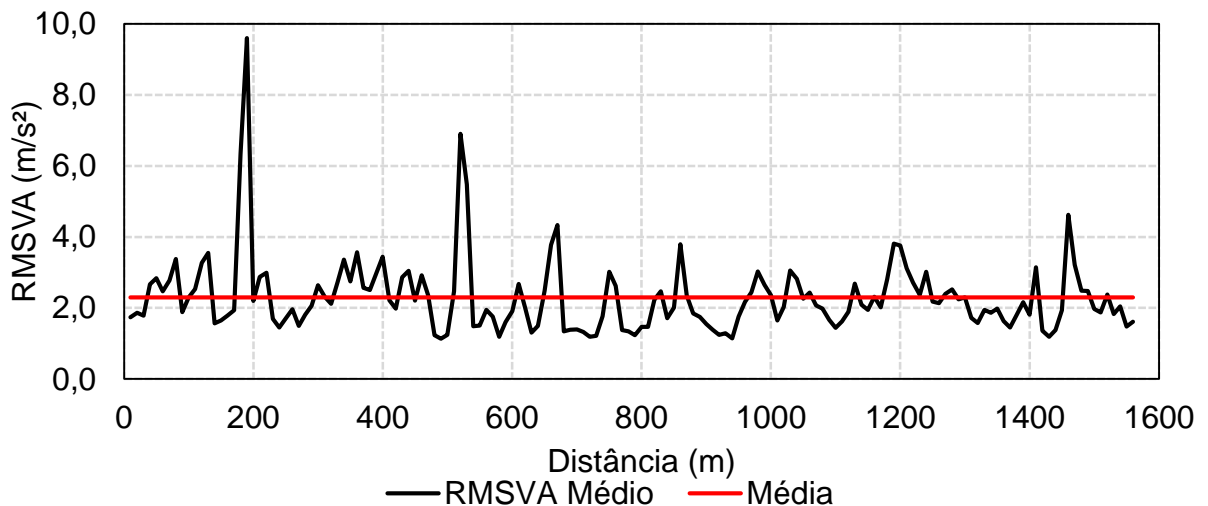
O RMSVA médio do perfil longitudinal do trecho analisado da R. Dr. Lauro Dornelles pode ser observado na Figura 32, que além de demonstrar o perfil médio das medições traz o valor médio total do trecho percorrido, que foi de 2,30 m/s².

Figura 31 – Perfis longitudinais – R. Dr. Lauro Dornelles.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 32 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. Dr. Lauro Dornelles.



Fonte: Elaboração própria.

Assim como na Rua dos Andradas, por apresentar dois cruzamento ferroviários o valor médio de RMSVA do primeiro trecho analisado da Rua Dr. Lauro Dornelles conforme Quadro 3, apresenta valores de RMSVA de 9,60 m/s² aos 190 metros e 6,90 m/s² aos 520 metros a contar do início da medição.

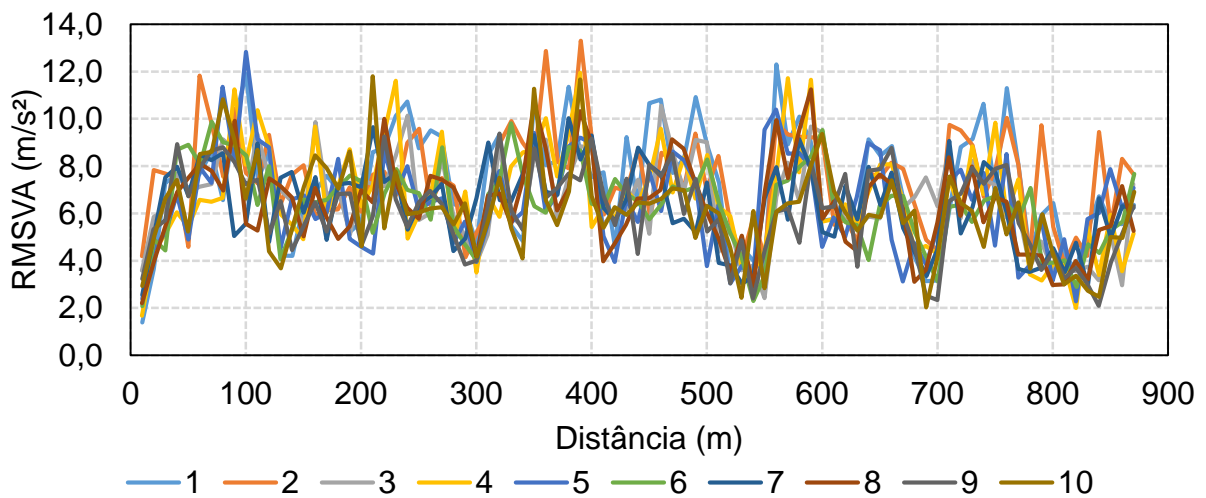
Se desconsiderado esses valores máximos para a avaliação funcional, assim como o método do VSA, o valor da média de RMSVA diminui para um valor de 2,17 m/s², isto é, uma queda de 5,65% no valor médio da aceleração vertical.

4.2.6 RMSVA – R. Barão de Cerro Largo

Para a análise da R. Barão de Cerro Largo, os resultados obtidos pelo procedimento realizado estão evidenciados segundo a Figura 33 ou no APÊNDICE F.

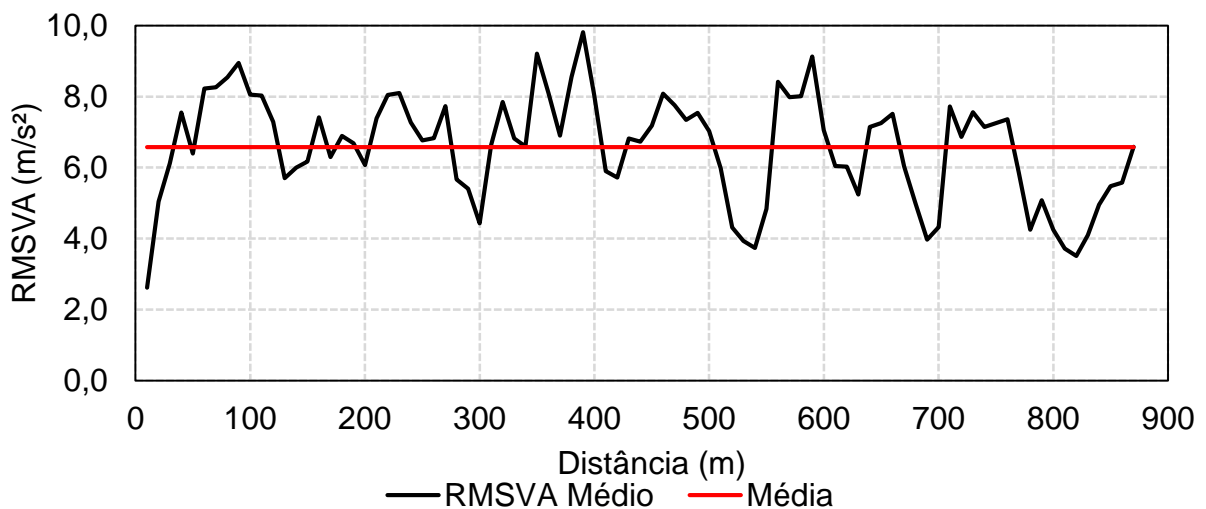
Para o RMSVA médio do perfil longitudinal dos trechos analisados da via, pode ser observado na Figura 34, que além de demonstrar o perfil médio das medições traz o valor médio total do trecho percorrido, que foi de 6,58 m/s².

Figura 33 – Perfis longitudinais – R. Barão de Cerro Largo.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 34 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – R. Barão de Cerro Largo.



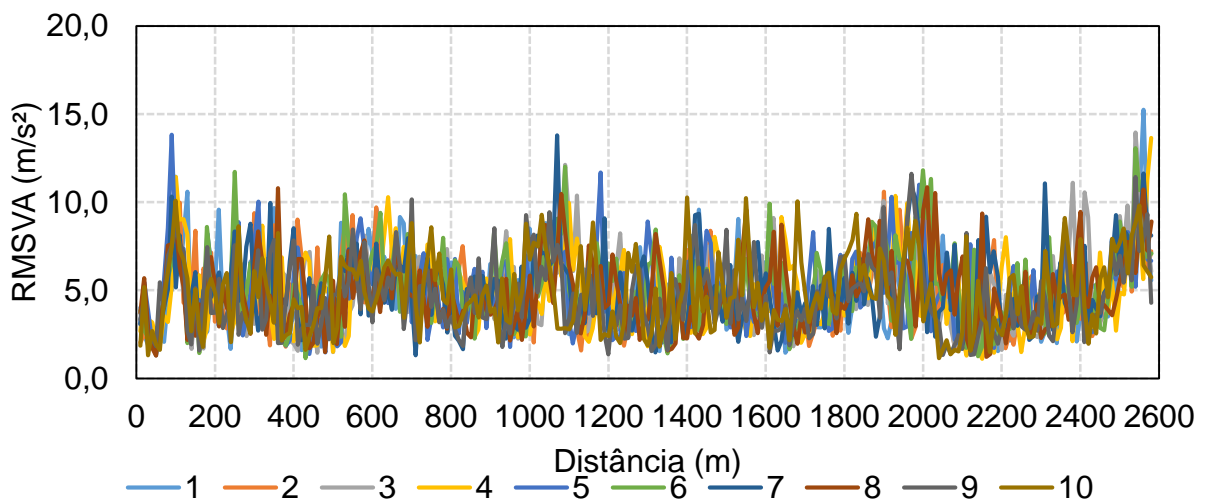
Fonte: Elaboração própria.

4.2.7 RMSVA – Av. Caverá

Para a Av. Caverá os resultados obtidos estão evidenciadas segundo a Figura 35 ou no APÊNDICE G.

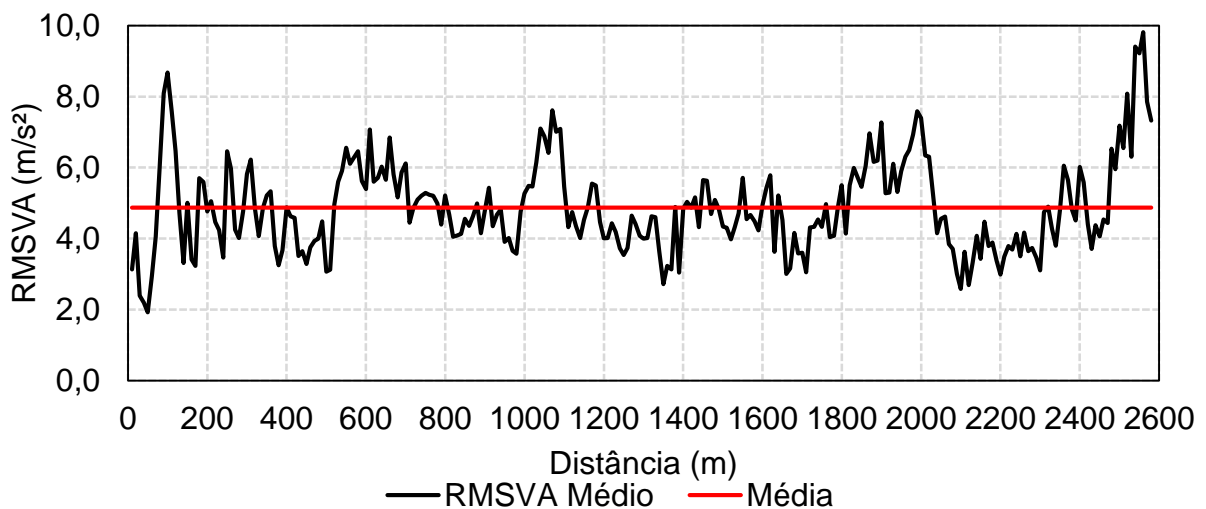
Para o RMSVA médio do perfil longitudinal dos trechos analisados da via, pode ser observado na Figura 36, que além de demonstrar o perfil médio das medições traz o valor médio total do trecho percorrido, que foi de 4,88 m/s².

Figura 35 – Perfis longitudinais – Av. Caverá.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 36 – Perfil longitudinal – RMSVA médio – Av. Caverá.



Fonte: Elaboração própria.

4.3 Análise da Irregularidade Longitudinal – RMSVA

Os valores de RMSVA para cada trecho estão listados na Tabela 7, onde é mostrado o RMSVA médio, correspondente a média das 10 medições para cada trecho conforme o Quadro 3.

Tabela 7 – RMSVA médio dos trechos analisados.

| Via | Trecho | Comp. (m) | RMSVA _{médio} (m/s ²) |
|-------------------------|--------|-----------|--|
| R. Barão do Amazonas | 1 | 300 | 1,38 |
| | 2 | 320 | 1,54 |
| | 3 | 320 | 1,22 |
| Av. Alexandre Lisboa | 4 | 300 | 1,47 |
| | 5 | 300 | 2,29 |
| | 6 | 320 | 2,23 |
| R. Mariz e Barros | 7 | 190 | 1,87 |
| | 8 | 530 | 6,92 |
| | 9 | 320 | 7,68 |
| R. dos Andradas | 10 | 460 | 2,08 |
| | 11 | 550 | 2,20 |
| | 12 | 590 | 2,00 |
| R. Dr. Lauro Dornelles | 13 | 600 | 2,25 |
| | 14 | 540 | 2,02 |
| | 15 | 420 | 2,25 |
| R. Barão de Cerro Largo | 16 | 290 | 6,88 |
| | 17 | 280 | 6,87 |
| | 18 | 300 | 6,00 |
| Av. Caverá | 19 | 430 | 4,67 |
| | 20 | 430 | 5,12 |
| | 21 | 470 | 4,85 |
| | 22 | 430 | 4,39 |
| | 23 | 460 | 4,96 |
| | 24 | 360 | 5,40 |

Fonte: Elaboração própria.

Para os valores de RMSVA medidos, os menores valores de aceleração vertical foram das ruas Barão do Amazonas, Andradas, Dr. Lauro Dornelles e Avenida Alexandre Lisboa.

Assim como a avaliação dos VSA, o RMSVA mostrou valores que distinguem bem trechos específicos, a exemplo da Rua Mariz e Barros, que possui um bom conceito de rolamento segundo o VSA para o trecho 7, e péssimo para os trechos 8 e 9. Isso também fica entendido quando se analisa os valores de RMSVA, onde no trecho 7 possui um valor de $1,87 \text{ m/s}^2$, enquanto os trechos 8 e 9 possuem valores médios muito acima, na ordem de $6,92$ e $7,68 \text{ m/s}^2$ respectivamente, sendo esses os maiores valores medidos de RMSVA entre todos os trechos.

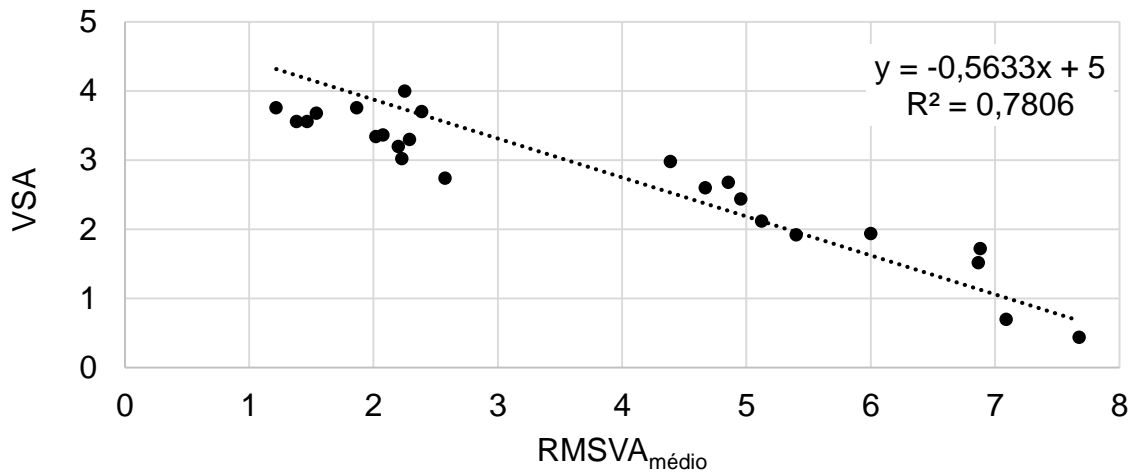
A além dos trechos 8 e 9, toda a extensão da Rua Barão de Cerro Largo possui valores elevados de RMSVA, cuja média total do trecho é de $6,58 \text{ m/s}^2$.

4.4 Correlação VSA x RMSVA

As notas do VSA atribuídas pelo corpo técnico avaliador, foram correlacionadas com os valores obtidos pelo cálculo do RMSVA, obtidos a partir das acelerações medidas pelo *smartphone*. Os valores de RMSVA correspondem a média das 10 medições para cada trecho.

Assim, para comparar e correlacionar os resultados de VSA e RMSVA, foi elaborado um gráfico de dispersão cujos valores de VSA se encontram ligados ao eixo das ordenadas e os valores de RMSVA ao eixo das abcissas. Deste gráfico foi definida uma linha de tendência cujo coeficiente linear é fixado em 5, visto que este é maior valor de VSA admitido. A dispersão dos pontos medidos e a equação ajustada para o modelo são mostradas na Figura 37.

Figura 37 – Correlação entre VSA e RMSVA médio.



Fonte: Elaboração Própria.

O coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,7806, com um coeficiente angular de -0,5633, o que indica que para maiores valores de RMSVA, menor o valor de VSA obtido, como esperado.

A partir da equação da linha de tendência, foi possível estender a escala de VSA e determinar os limites para os valores de RMSVA, utilizando então os mesmos conceitos e escala de cores para a geração dos mapas de serventia atual e irregularidade longitudinal.

4.5 Elaboração dos mapas com escala de cor

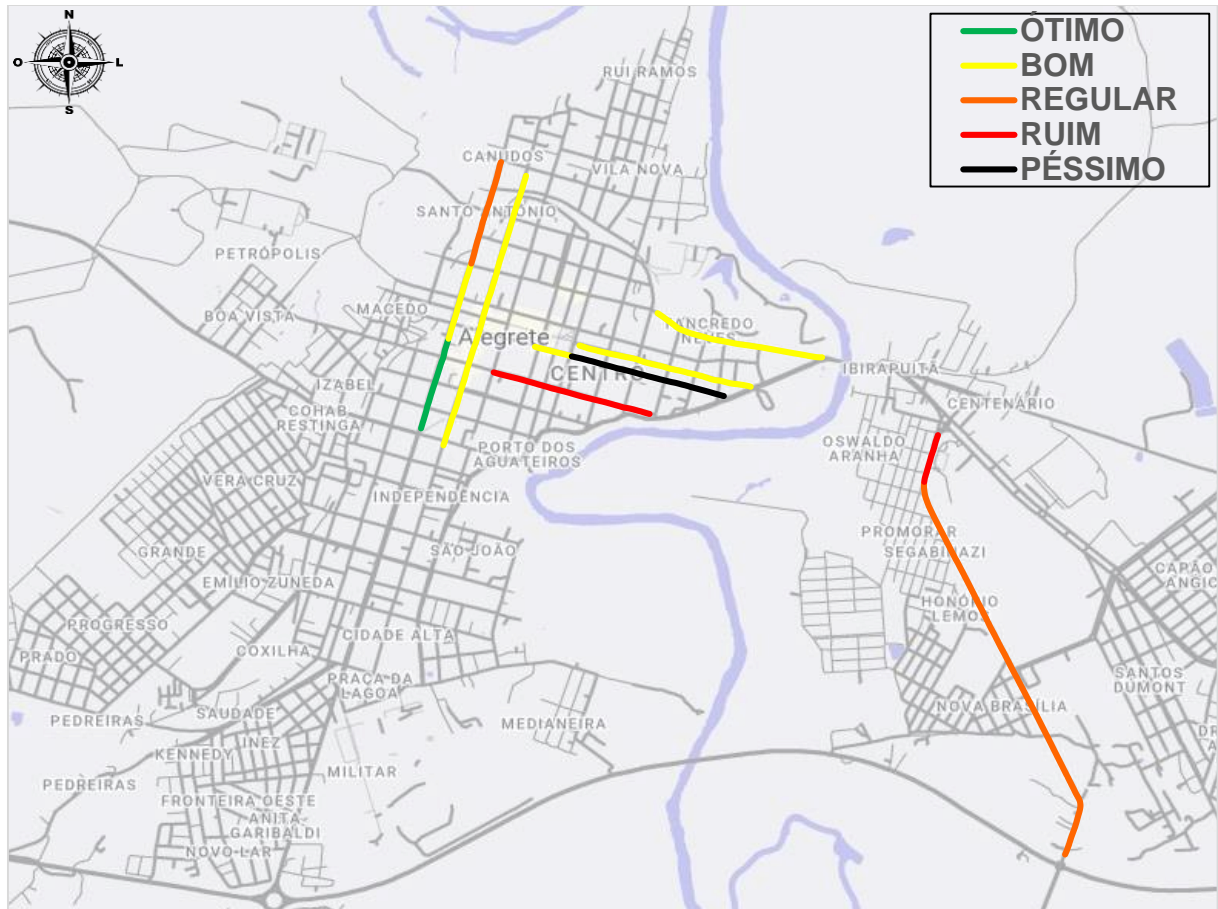
A seguir estão descritos e expostos os resultados para a geração dos mapas de serventia e de estimativa do perfil de irregularidade longitudinal das vias medidas.

4.5.1 Mapas do Valor de Serventia – VSA

Com as médias das notas atribuídas pelos avaliadores. Foi gerado um mapa com uma escala de cores partindo de preto, que representa um pavimento péssimo, e migra até verde, que representa um pavimento considerado ótimo.

A escala foi escolhida para cada faixa de notas que refletem a serventia do pavimento, conforme Tabela 1. O mapa com os conceitos de VSA para os trechos medidos está exposto na Figura 38.

Figura 38 – Mapa de cores da serventia – VSA.



Fonte: Elaboração própria.

Desses 9510 metros de via analisados, foram considerados segundo o VSA 4,42% do total como pavimentos ótimos, 44,06% como bons, 29,65% da extensão analisada como regular, 12,93% como ruins e 8,94% como péssimo. O resumo dos conceitos obtidos, a extensão e a porcentagem geral de acordo com o total avaliado pode ser observada na Tabela 8.

Tabela 8 – Níveis de serventia no total avaliado.

| Conceito | Avaliação | Comprimento (m) | % |
|-----------|-----------|-----------------|-------|
| Excelente | 4 a 5 | 420 | 4,42 |
| Bom | 3 a 4 | 4190 | 44,06 |
| Regular | 2 a 3 | 2820 | 29,65 |
| Ruim | 1 a 2 | 1230 | 12,93 |
| Péssimo | 0 a 1 | 850 | 8,94 |

Fonte: Elaboração própria.

4.5.2 Mapas da Irregularidade Longitudinal – RMSVA

Para a elaboração dos mapas da irregularidade longitudinal, a escala de cores utilizada foi a baseada na correlação entre o VSA e RMSVA determinada na Figura 37, com a equação ajustada gerada para o modelo foi possível determinar o valor limite e utilizar o mesmo tipo de conceito que o VSA. O valor para cada conceito pode ser observado do acordo com a Tabela 9.

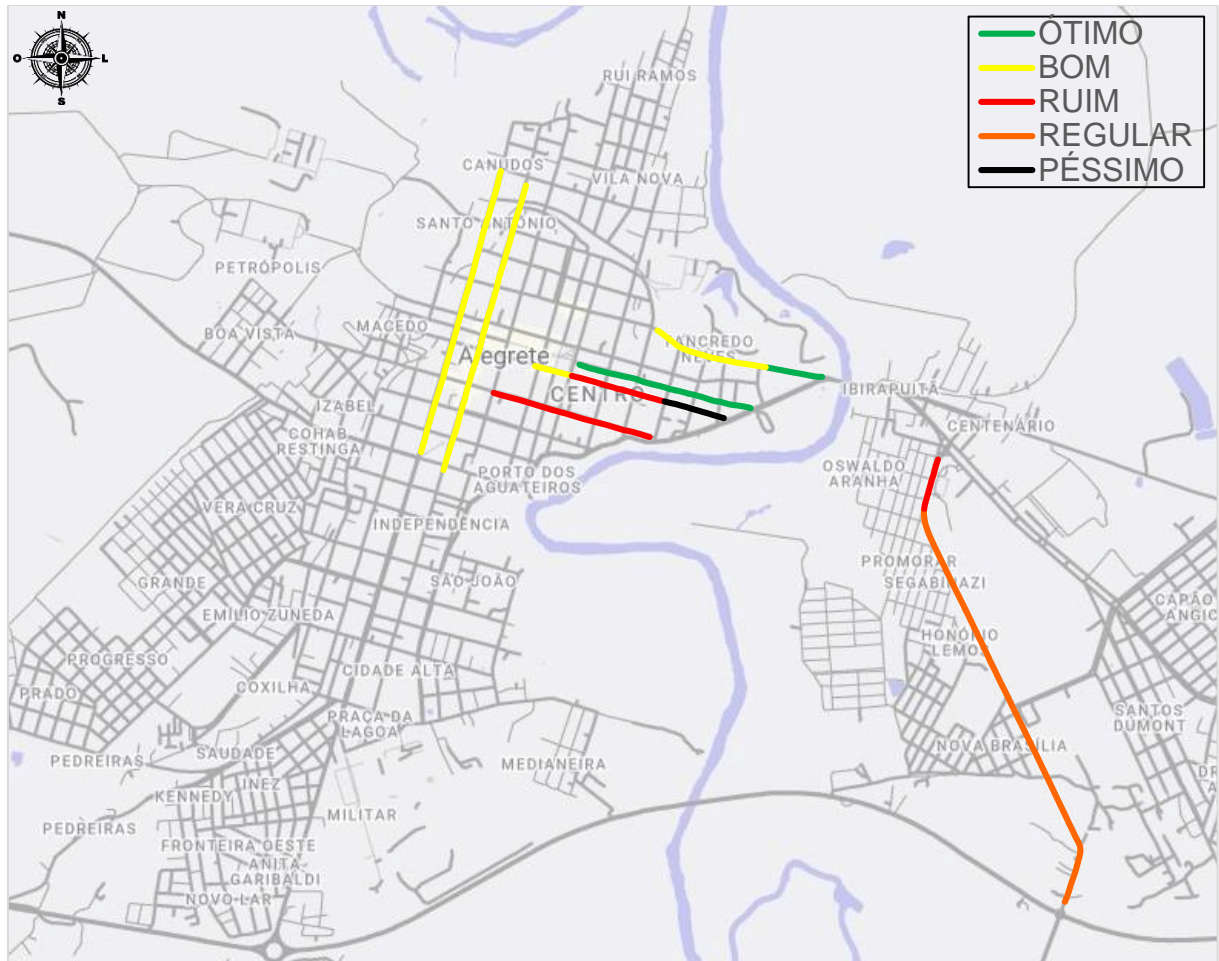
Tabela 9 – Níveis de irregularidade - RMSVA.

| Conceito VSA | Avaliação RMSVA |
|---------------------|------------------------|
| Excelente | 1,78 a 0,00 |
| Bom | 3,55 a 1,78 |
| Regular | 5,33 a 3,55 |
| Ruim | 7,10 a 5,33 |
| Péssimo | 8,88 a 7,10 |

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos conceitos estabelecidos na Tabela 9, foi possível determinar o nível de irregularidade, baseado no valor médio de RMSVA de cada trecho como apresentado na Tabela 7, e assim mapeadas a irregularidade de cada trecho separadamente, conforme a Figura 39.

Figura 39 – Mapa de cores da irregularidade longitudinal baseado no RMSVA.



Fonte: Elaboração própria.

Desses 9510 metros de via analisados e segundo o conceito proposto pela correlação do VSA com o RMSVA, 13,04% do total foram avaliados como pavimentos ótimos, 41,75% foram considerados bons, 23,35% regulares, 18,50% são ruins e 3,36% considerados em péssimo estado. A descrição da extensão e da porcentagem geral de acordo com o total avaliado pode ser observada na Tabela 10.

Tabela 10 – Níveis de irregularidade no total avaliado.

| Conceito VSA | Avaliação RMSVA | Comprimento (m) | % |
|--------------|-----------------|-----------------|-------|
| Excelente | 1,78 a 0,00 | 1240 | 13,04 |
| Bom | 3,55 a 1,78 | 3970 | 41,75 |
| Regular | 5,33 a 3,55 | 2220 | 23,35 |
| Ruim | 7,10 a 5,33 | 1760 | 18,50 |
| Péssimo | 8,88 a 7,10 | 320 | 3,36 |

Fonte: Elaboração própria.

da porcentagem geral de acordo com o total avaliado pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 – Níveis de irregularidade no total avaliado (trechos de 100m).

| Conceito VSA | Avaliação RMSVA | Comprimento (m) | % |
|---------------------|------------------------|------------------------|----------|
| Excelente | 1,78 a 0,00 | 1140 | 11,99 |
| Bom | 3,55 a 1,78 | 3980 | 41,85 |
| Regular | 5,33 a 3,55 | 2170 | 22,82 |
| Ruim | 7,10 a 5,33 | 1400 | 14,72 |
| Péssimo | 8,88 a 7,10 | 820 | 8,62 |

Fonte: Elaboração própria.

É possível notar que, de acordo com a Figura 40 a divisão dos trechos a cada 100 metros de comprimento ou frações menores, a avaliação do RMSVA pode ser observada com maior detalhe, logo, há um melhor distribuição da malha viária analisada entre os conceitos estabelecidos.

5 CONCLUSÃO

Com a ideia definida nas etapas iniciais do trabalho, entende-se que foram atendidos os objetivos específicos do trabalho, uma vez que foi possível correlacionar os valores eficazes da aceleração vertical e o valores de serventia atual e, a partir dela, gerar os mapas de serventia e da estimativa da irregularidade longitudinal das vias selecionadas na cidade de Alegrete – RS.

Foram selecionados no estudo em questão um total de 9510 metros de pavimentos com revestimentos asfálticos, de diversas idades e níveis de degradação, para que fossem aplicadas metodologias de avaliação aliando as duas técnicas distintas, porém, com um único propósito, a avaliação funcional dos pavimentos.

Para a avaliação da serventia atual, 44,06% do total avaliado foi conceituado como bom, conforme o nível de conforto ao rolamento, representando a maior fração entre todos os conceitos. Com a avaliação estendida ao valor eficaz da aceleração vertical, esse valor cai para 41,75% para a mesma divisão dos trechos, mostrando que os valores são muito próximos. Os demais conceitos também sofreram alterações na percentagem do total para cada conceito.

Empregado para diminuir a interferência humana, o *smartphone* mostra-se capaz de permitir medições em nível de rede para aumentar a produtividade, dependendo cada vez menos do avaliador e das suas subjetividades. Entretanto, ainda é necessário o estudo da influência do tipo de suspensão ou veículo utilizado, e da escolha do *smartphone*.

Diante do exposto, é possível considerar que os objetivos do trabalho foram concluídos com êxito e que o *smartphone* possui uma aplicabilidade significativa e pode ser utilizado pelos órgãos gestores, para tomadas de decisão em nível de rede, para elaboração de um plano de gerência dos pavimentos. A ressalva para o método utilizado é que, embora seja uma ferramenta útil, o aplicativo utilizado para realizar as medições é de propósito genérico, necessitando de um longo tratamento nos dados brutos.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

- a) Ampliar a amostragem das vias para criar um plano de gerência de pavimentos;

- b) Estudar a influência da escolha do tipo de veículo, suspensão e *smartphone* na estimativa da irregularidade longitudinal;
- c) Desenvolver um aplicativo para smartphones com propósito específico estimar a serventia da via baseado na relação com aceleração vertical do percurso desenvolvida neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Tairone Paz e. **Índice de condição baseado em defeitos superficiais para gerência de pavimentos urbanos**. Orientador: Dr. Ricardo Almeida de Melo. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017. 140p.
- ALMEIDA, Lucas Cavalcante de. **Aplicativo para *smartphone* destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias**. 2018. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM E1926. **Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements**. Copyright © ASTM International, United States, 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. E867: **Standard terminology relating for vehicle-Pavement systems**. Copyright © ASTM International, United States, 2012.
- BARELLA, Rodrigo Maluf. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2008. 362p.
- BISCONSINI, Danilo Rinaldi. **Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por *smartphones***. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração e Infraestrutura de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016. 176p.
- BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.
- BERTOLLO, Sandra Ap. Margarido. **Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede**. Orientador: Dr. José Leomar Fernandes Júnior. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 1997. 193p.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2021**. Brasília: CNT 2021. 231p.
- COSTA, Eurico Marcelo Coqueiro. **Avaliação da irregularidade longitudinal em pavimento flexível por meio do uso de aplicativo para *smartphone***. 33º ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Balneário Camboriú – SC, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011. 189p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. – 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006. 310p.

DOUANGPHACHANH, V. **The Development of a Simple Method for Network-wide Road Surface Roughness Condition Estimation and Monitoring Using Smartphone Sensors**. 2014. Tese de Doutorado, Tokyo Metropolitan University. Tokyo, Japão, 2014

FERNANDES JR., J. L *et al.* **Implantação de um sistema dinâmico de gerência de pavimentos urbano (SDGPU) em cidade de médio porte**. 2012.

FERRARI, Fernanda do Amaral. **Avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com uso do perfilômetro inercial a laser e smartphone**. Orientador: Maurício Silveira dos Santos. 2021. 85p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Civil, Alegrete, 2021.

GILLESPIE, T. D., PATERSON, W. D. O., SAYERS, M. W., **Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements**. World Bank Technical Paper. Nº 46, 1986. 87p.

HASS, R., HUDSON, W. R., ZANIEWSKI, J. P. **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing, Malamar, Fla, 1994.

LIMA, Josiane Palma. **Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos**. 2007. Tese (Doutorado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SAYERS, M.W., KARAMIHAS, S. M. **The Little Book of Profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles**. Universidade do Michigan. Setembro, 1998.

SAYERS, M. W. **On the calculation of international roughness index from longitudinal road profile**. Transportation Research Record, n. 1501, p. 1–12, 1995.

SCHLOTJES, M. R.; VISSER, A.; BENNET, C. **Evaluation of a smartphone roughness meter**. Southern African Transport Conference, nº 33. Petroria: 2014, 13 p.

ANEXO A

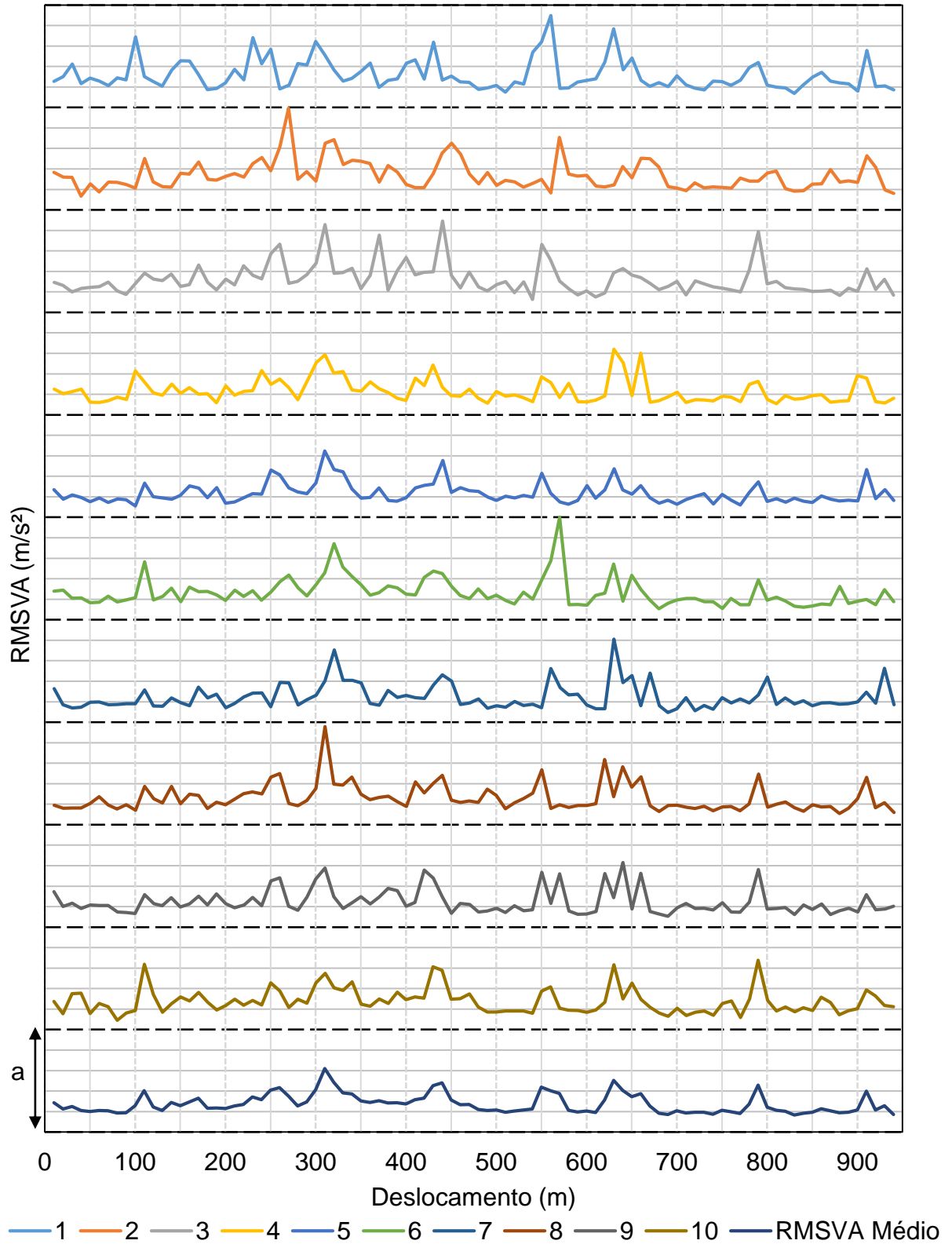
1. Folha de avaliação do VSA - DNIT 009/2003 - PRO

| | | | | | | | | |
|--|-----------------|---|--------------|-----------------|------------|----------------|-------------|----------------|
| | | <table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">ÓTIMO</td> <td rowspan="5" style="width: 5%; text-align: center; vertical-align: middle;">Conceito</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">BOM</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">REGULAR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">RUIM</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">PÉSSIMO</td> </tr> </table> | ÓTIMO | Conceito | BOM | REGULAR | RUIM | PÉSSIMO |
| ÓTIMO | Conceito | | | | | | | |
| BOM | | | | | | | | |
| REGULAR | | | | | | | | |
| RUIM | | | | | | | | |
| PÉSSIMO | | | | | | | | |
| Rodovia: _____ _____ _____ | | | | | | | | |
| Observações: _____ _____ _____ | | | | | | | | |
| Nº de Avaliador: _____ _____ _____ | | | | | | | | |
| Data: ____/____/____ | | | | | | | | |

..... Índice geral

APÊNDICE A

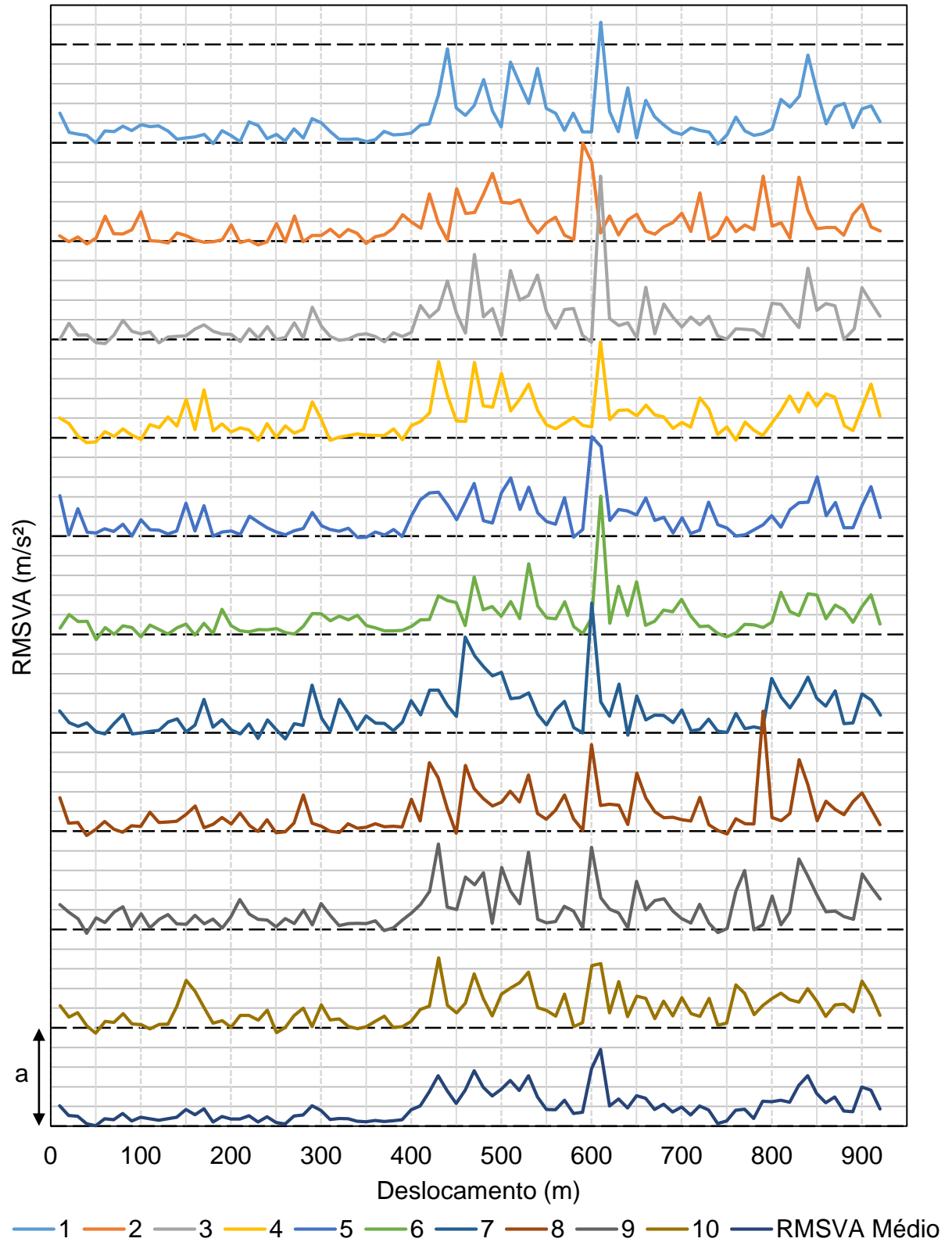
2. Rua Barão do Amazonas.



Cada barra (a) do eixo vertical principal do gráfico corresponde a uma escala de 5 RMSVA (m/s²).
 Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B

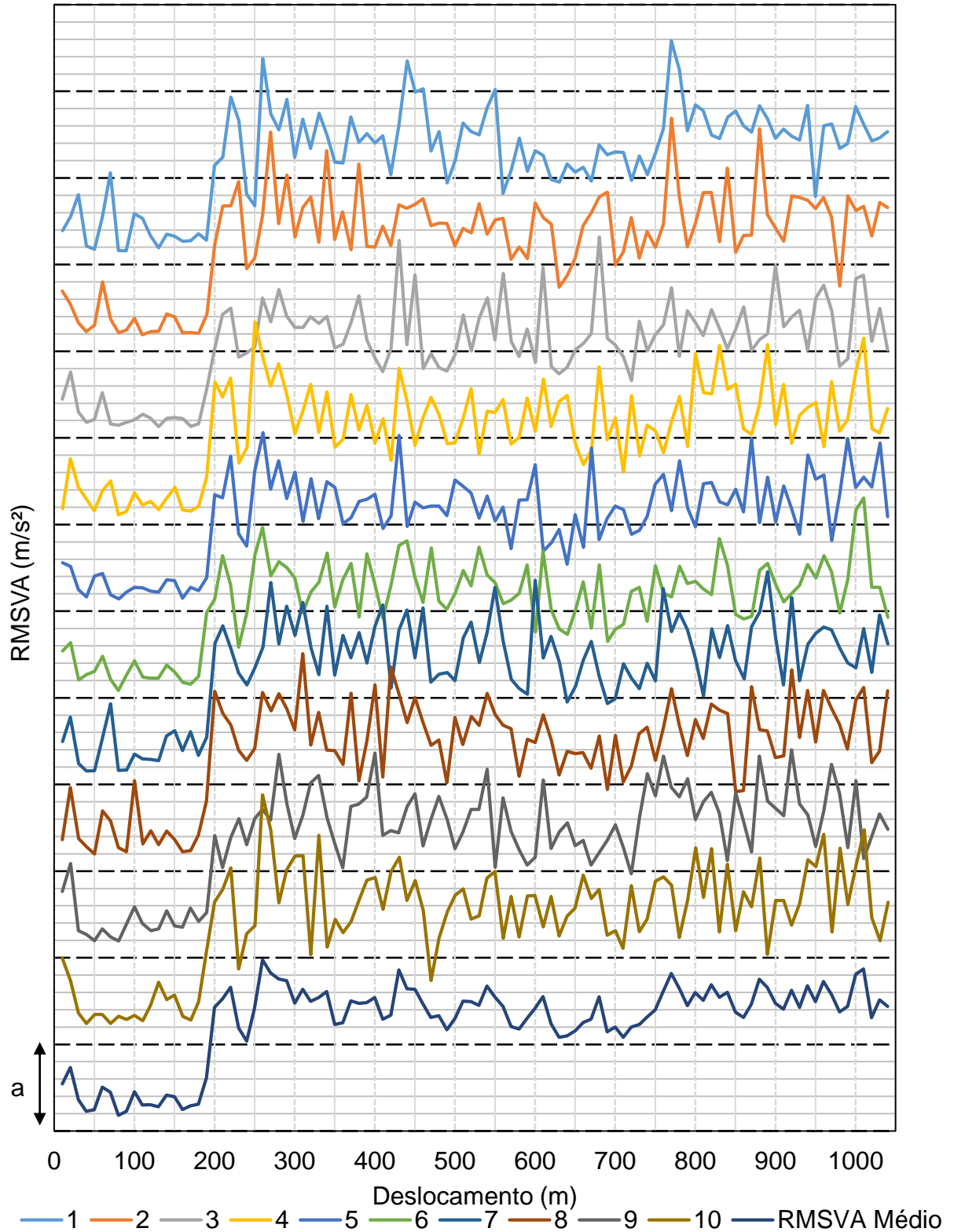
3. Avenida Alexandre Lisboa



Cada barra (a) do eixo vertical principal do gráfico corresponde a uma escala de 5 RMSVA (m/s²).
 Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE C

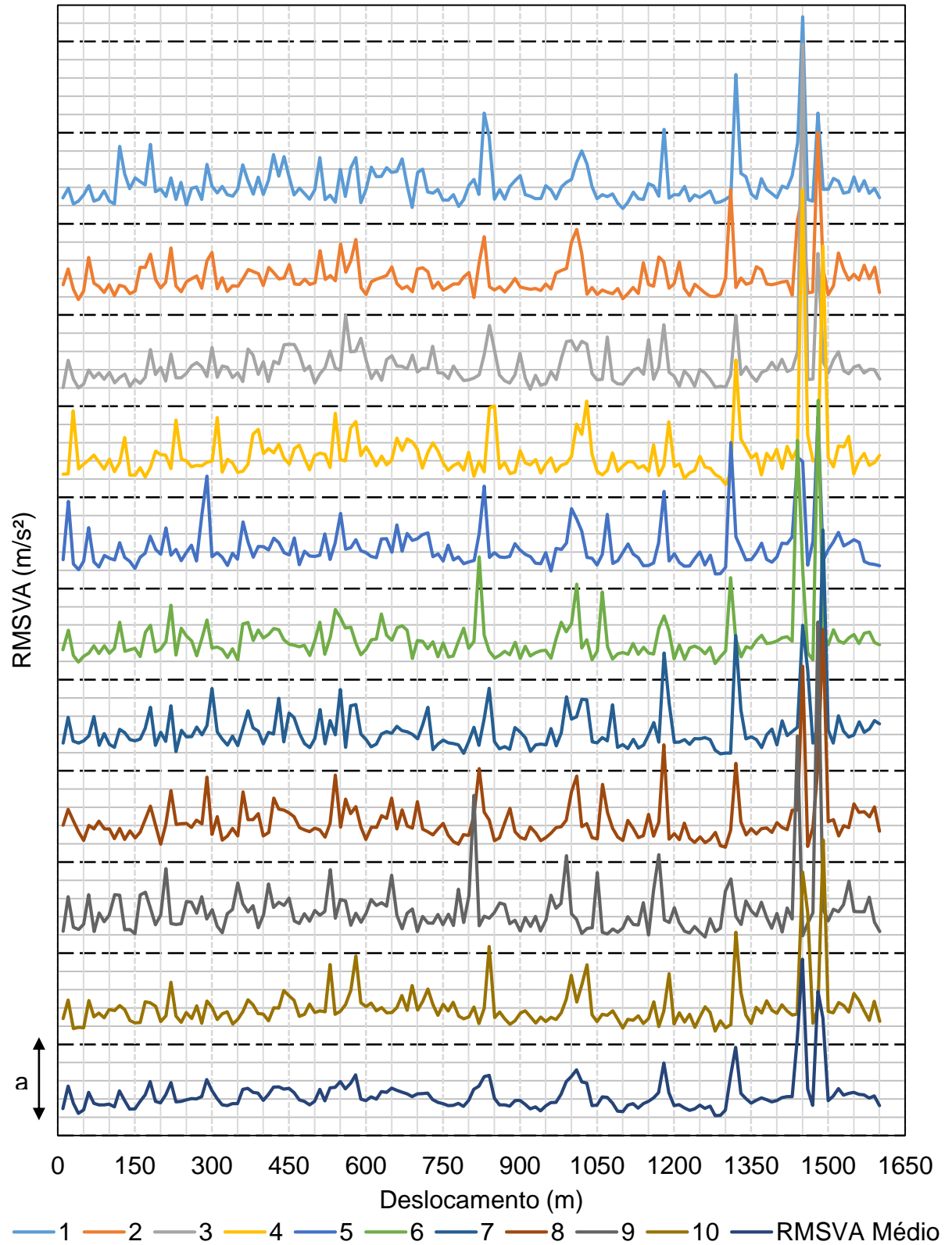
4. Rua Mariz e Barros



Cada barra (a) do eixo vertical principal do gráfico corresponde a uma escala de 5 RMSVA (m/s²).
 Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE D

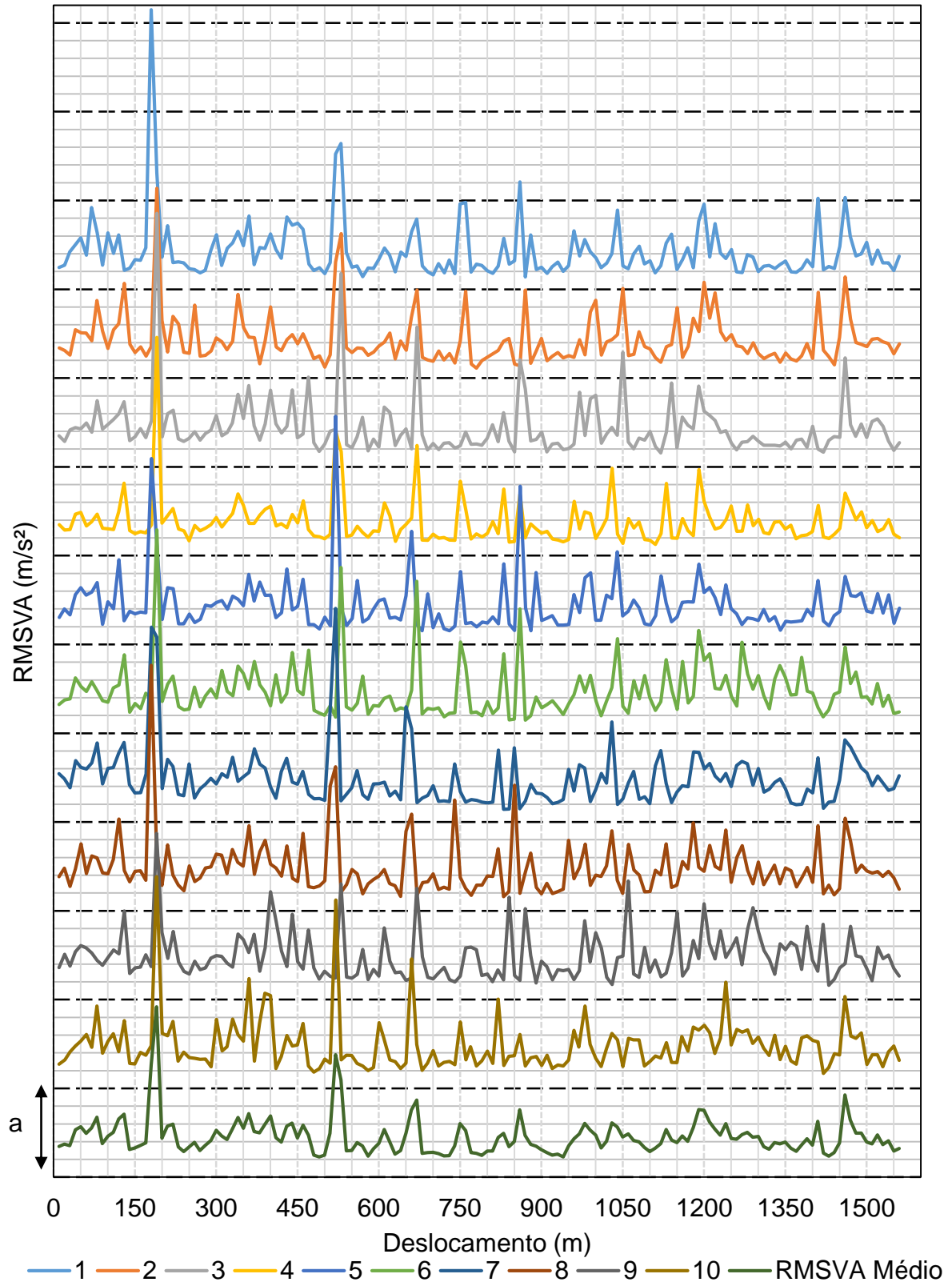
5. Rua dos Andradas



Cada barra (a) do eixo vertical principal do gráfico corresponde a uma escala de 5 RMSVA (m/s²).
 Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE E

6. Rua Dr. Lauro Dornelles

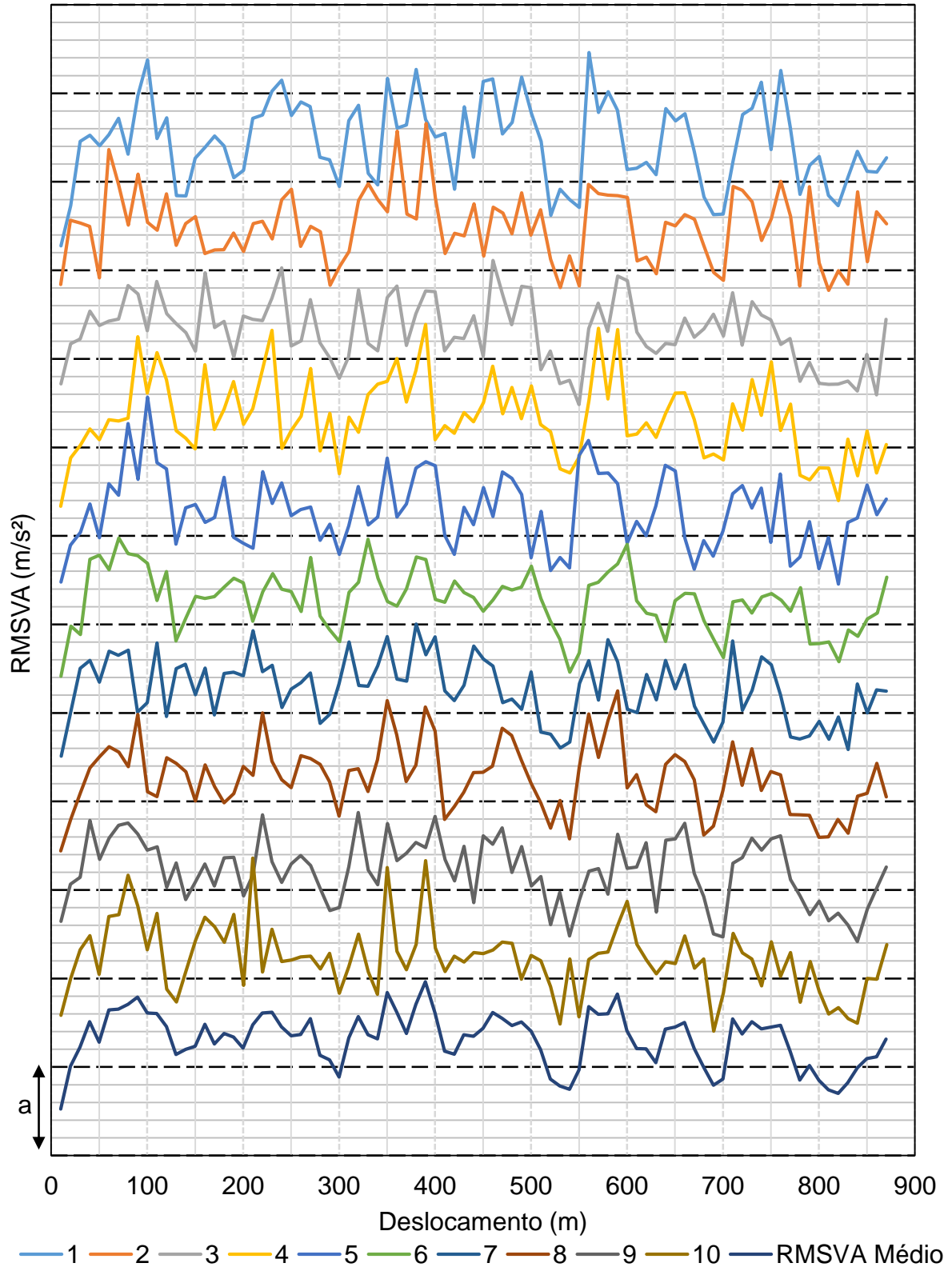


Cada barra (a) do eixo vertical principal do gráfico corresponde a uma escala de 5 RMSVA (m/s²).

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE F

7. Rua Barão de Cerro Largo

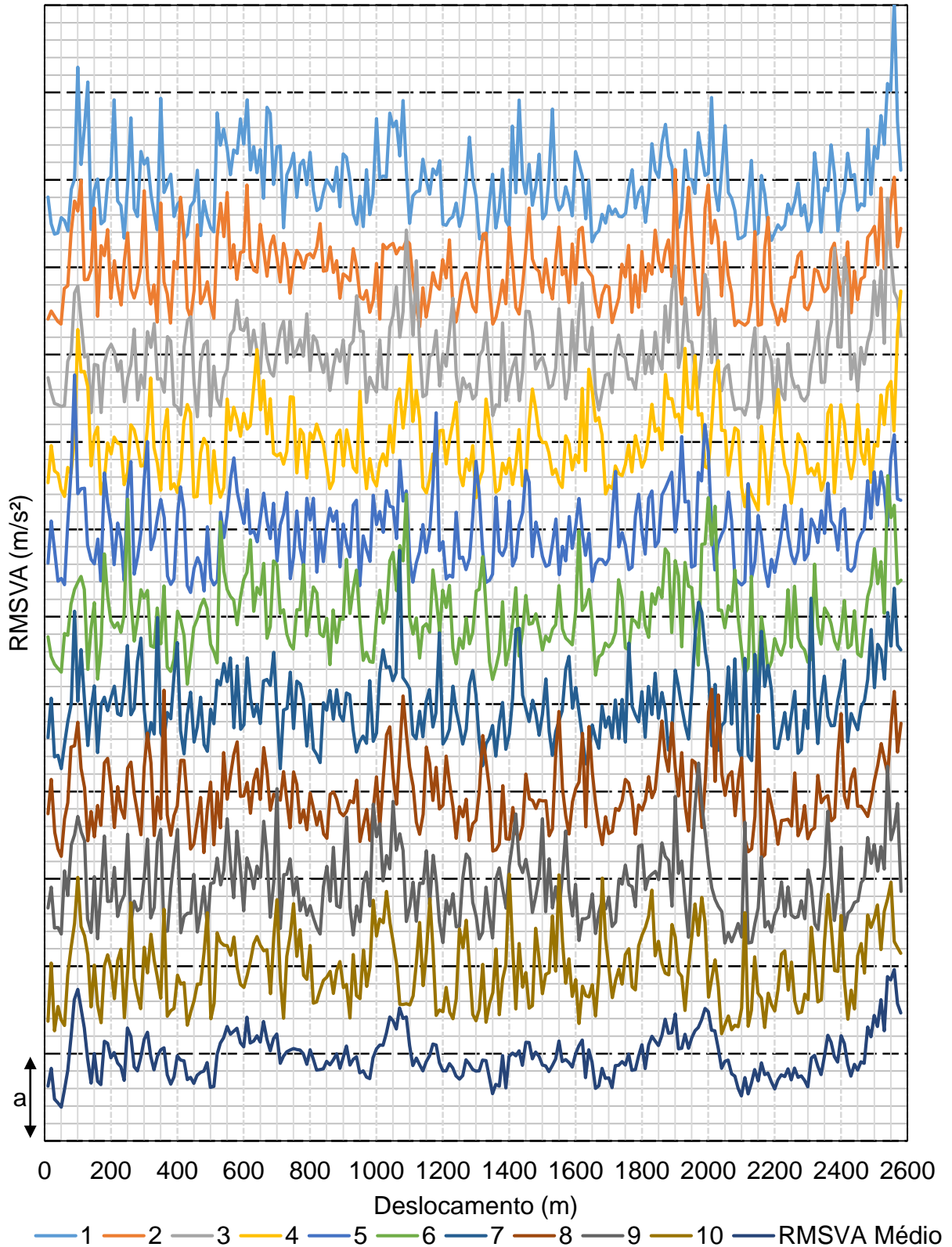


Cada barra (a) do eixo vertical principal do gráfico corresponde a uma escala de 5 RMSVA (m/s^2).

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE G

8. Av. caverá



Cada barra (a) do eixo vertical principal do gráfico corresponde a uma escala de 5 RMSVA (m/s²).
 Fonte: Elaboração própria.