



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VITOR MIDAUAR GONDIM ROCHA

**INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO NA
EMIÇÃO DE POLUENTES DE UM VEÍCULO LEVE EM FORTALEZA - CE**

FORTALEZA

2019

VITOR MIDAUAR GONDIM ROCHA

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO NA EMISSÃO
DE POLUENTES DE UM VEÍCULO LEVE EM FORTALEZA - CE

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco, Ph.D.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R577i Rocha, Vitor Midauar Gondim.
Influência da qualidade do revestimento asfáltico na emissão de poluentes de um veículos leve em Fortaleza / Vitor Midauar Gondim Rocha. – 2019.
86 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco.
1. Índice de Rugosidade Internacional (IRI). 2. Levantamento Visual Contínuo (LVC). 3. Emissões. 4. Poluentes. 5. Índice de Gravidade Global (IGG).. I. Título.

CDD 620

VITOR MIDAUAR GONDIM ROCHA

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO NAS
CONCENTRAÇÕES DE NO₂ e CO₂ NO AR DE FORTALEZA/CE

Projeto de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia de
Transportes da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovada em: 06/12/2019

BANCA EXAMINADORA

Profª. Veronica Teixeira Franco Castelo Branco, Ph.D. (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Bruno Vieira Bertoncini, D.Sc.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Demostenis Ramos Cassiano, Msc.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

“Nunca deixe que lhe digam que não vale
a pena acreditar no sonho que se tem...”

(Renato Russo)

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria, e ao meu pai, Maia. Seus ensinamentos e lições construíram meu caráter. O amor incondicional e o suporte nas decisões me fortalecem em todas as difíceis escolhas que a vida proporciona. Aos meus irmãos, Sofia e Bruno, a quem devo minhas conquistas e amor incondicional.

Às minhas avós, Leila e Altina, tias avós Saide e Sarah (sua memória estará sempre em meu coração), por demonstrarem que os momentos difíceis em que passamos na vida, nada mais são que ensinamentos para nos tornar mais fortes.

Aos meus tios, tias e primos, especialmente padrinhos, Tônico e Miguel, e madrinha, Ana que sempre estiveram do meu lado para compartilhar forças e vitórias. Além de primos mais próximos como Thais, Lara, Marcos, Caio e Yuri a quem sempre pude contar ao meu lado.

À professora Verônica, que me acolheu como mãe quando mais precisei durante o período de graduação. Compartilho meu sentimento de gratidão e admiração. Obrigado pelo apoio, conselhos e ensinamentos.

Aos meus amigos de infância, Nilo, Rafael, Caio, Mateus, Felipe, André, Pedro, Guilherme, Diego, Matheus, Lucas, Alan, Alex e Anderson. A caminhada foi possível por possuir essa fortaleza.

Aos meus amigos de início de graduação, Breder, Brenda, Luiz, Pablo, Rodrigo, Bruno, Felipe, Victor, Thiago, Esaú, Pedro, João Victor, Bruna e Matheus Rocha. Os momentos vividos serão guardados em lembranças especiais. Nossa amizade perpetuará por uma vida.

Aos meus amigos de fim de graduação, em ordem alfabética para não gerar intrigas, Arthur, Barbara, Juan, Lara, Leo, Racine, Sofia, Talys e Thais. Estaremos sempre compartilhando momentos e vivendo essa amizade. Vocês tiveram parcela fundamental nessa trajetória.

Aos meus professores que mais admiro na Universidade Federal do Ceará, Verônica Castelo Branco, Felipe Loureiro, Iran Lima Neto, Francisco de Assis, Áurea Holanda e Bruno Bertoncini. Sortudos somos nós, alunos da engenharia civil, que aprendemos com educadores que compartilham conhecimento, respeito e valores. Muito obrigado.

À Deus. Fazer o bem sem olhar a quem. A fé nos dá forças para continuar acreditando em nosso propósito em vida.

RESUMO

Tendo em vista o debate a respeito das emissões de poluentes na atmosfera e seus efeitos à saúde humana e ao meio ambiente, o presente trabalho avalia a relação entre a qualidade do revestimento asfáltico em centros urbanos e sua influência na emissão de poluentes CO₂ e NO_x no ar da cidade de Fortaleza, Ceará. Utilizou-se de uma metodologia na qual comparou-se dados do Índice de Rugosidade Internacional (do inglês, *International Roughness Index – IRI*) e dados de coleta de emissões de poluentes emitidos por queima incompleta de combustível no escapamento de veículo de passeio. Além disso, realizou-se um Levantamento Visual Contínuo (LVC) cujos resultados foram utilizados para classificação das vias estudadas quanto ao grau de deterioração do pavimento. Utilizou-se câmera de vídeo com qualidade *High Definition (HD)* para a filmagem das vias e utilização de aplicativo de *smartphone* para levantamento dos trechos estudados por meio do cálculo do IRI. As vias foram escolhidas de acordo com seu potencial de geração e de atração de viagens. A coleta de emissões foi realizada o mais próximo possível da fonte emissora de poluentes, ou seja, diretamente no escapamento do veículo leve. Com os resultados obtidos, não se descarta a relação entre a qualidade do revestimento asfáltico e sua influência direta nas emissões. Contudo, validou-se a proposta de método de cálculo devido aos graus de deterioração do revestimento das vias possuírem características semelhantes, como desgastes, remendos e fissuras. As vias estudadas foram: rua Vicente Linhares, rua Tibúrcio Cavalcante, rua Érico Mota, avenida 13 de Maio, avenida Jovita Feitosa e avenida Senador Virgílio Távora.

Palavras-chave: Índice de Rugosidade Internacional (IRI), Levantamento Visual Contínuo (LVC), emissões, poluentes, CO₂, NO₂ e Índice de Gravidade Global (IGG).

ABSTRACT

In view of the debate on air pollutant emissions and their effects on human health and the environment, this paper evaluates the relationship between the asphalt quality coating in urban centers and their influence on CO₂ and NO_x emissions in the environment. Air from the city of Fortaleza, Ceara. It was used a methodology that compared International Roughness Index (IRI) data and pollutant emissions emitted by incomplete fuel combustion in passenger car exhaust. In addition, a Continuous Visual Survey (LVC) was performed, the results of which were used to classify the roads studied for the degree of pavement deterioration. It was used a High Definition (HD) camcorder for filming the roads. Also a smartphone was applied to survey the stretches studied by calculating the IRI. The routes were chosen according to their potential for generating and attracting trips. Emissions were collected as close as possible to the pollutant source, which means it was installed at the vehicle exhaust. With the obtained results, it is not discarded the relationship between asphalt quality coating and its direct influence on air emissions. However, the proposed method of calculation was validated in regards to the degree of deterioration the roadway lining have similar characteristics, such as wear, patches and cracks. The studied roads were: Vicente Linhares Street, Tibúrcio Cavalcante Street, Érico Mota Street, 13 de Maio Avenue, Jovita Feitosa Avenue and Senador Virgílio Távora Avenue.

Keywords: International Roughness Index (IRI), Continuous Visual Survey (LVC), emissions, pollutants, CO₂, NO₂ and Global Gravity Index (IGG).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quadro resumo dos defeitos encontrados em pavimentos – codificação e classificação.....	20
Figura 2 – Quadro resumo de outros defeitos encontrados em pavimentos.....	21
Figura 3 – Notas 1 e 2 do Anexo A Norma DNIT 005:2003.....	21
Figura 4 – Ficha de Avaliação de Serventia do Pavimento.....	21
Figura 5 – Conceitos de Degradação do pavimento em função do IGG.....	22
Figura 6 – Fluxograma do passo a passo da metodologia.....	28
Figura 7 – GoPro Hero 3+ Silver.....	28
Figura 8 – Interface do aplicativo Total Pave.....	30
Figura 9 – Mapa em cores dos valores de IRI gerado pelo aplicativo TotalPave....	30
Figura 10 – Interface ProGrid.....	31
Figura 11 – Configurações selecionadas no ProGrid.....	32
Figura 12 – Bloco de notas com as coordenadas em graus.....	33
Figura 13 – Bloco de notas com as coordenadas UTM.....	33
Figura 14 – Transformação entre coordenadas UTM e distância percorrida em metros.....	34
Figura 15 – Transformação entre coordenadas UTM e distância percorrida em metros.....	34
Figura 16 – Transformação coordenadas UTM para distância percorrida em metros.....	34
Figura 17 – Mapa de cores com escala de IRI em parâmetros mundiais.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação IRI × CO ₂ da rua Vicente Linhares.....	38
Gráfico 2 – Comparação CO ₂ × NO ₂ da rua Vicente Linhares.....	39
Gráfico 3 – Ciclo de condução da rua Vicente Linhares.....	39
Gráfico 4 - Velocidade do veículo ao longo da via Vicente Linhares.....	40
Gráfico 5 - Emissão de CO ₂ na rua Vicente Linhares.....	40
Gráfico 6 – Pontos de interseção na rua Vicente Linhares.....	41
Gráfico 7 – Comparação IRI × CO ₂ na rua Tibúrcio Cavalcante.....	44
Gráfico 8 – Comparação CO ₂ × NO ₂ da rua Tibúrcio Cavalcante.....	45
Gráfico 9 – Ciclo de condução na rua Tibúrcio Cavalcante.....	45
Gráfico 10 - Velocidade do veículo ao longo da via Tibúrcio Cavalcante.....	46
Gráfico 11 - Emissão de CO ₂ na rua Tibúrcio Cavalcante.....	46
Gráfico 12 – Comparação IRI × CO ₂ na rua Érico Mota.....	49
Gráfico 13 – Comparação CO ₂ × NO ₂ na rua Érico Mota.....	49
Gráfico 14 – Ciclo de condução da rua Érico Mota.....	50
Gráfico 15 - Velocidade do veículo ao longo da rua Érico Mota.....	50
Gráfico 16 - Emissão de CO ₂ na rua Érico Mota.....	51
Gráfico 17 – Comparação IRI × CO ₂ na avenida 13 de Maio sentido “IDA”	53
Gráfico 18 – Comparação CO ₂ × NO ₂ na avenida 13 de Maio sentido “IDA”	54
Gráfico 19 – Ciclo de condução da avenida 13 de Maio sentido “IDA”	54
Gráfico 20 - Velocidade do veículo ao longo da avenida 13 de Maio sentido “IDA”	54
Gráfico 21 - Emissão de CO ₂ na avenida 13 de Maio sentido “IDA”	55
Gráfico 22 – Comparação IRI x CO ₂ para a avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”	57

Gráfico 23 – Comparação CO₂ × NO₂ da avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”	57
Gráfico 24 – Ciclo de condução da avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”	58
Gráfico 25 - Velocidade do veículo ao longo da avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”	59
Gráfico 26 - Emissão de CO₂ na avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”	59
Gráfico 27 – Comparação IRI x CO₂ para a avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”	62
Gráfico 28 – Comparação CO₂ x NO₂ para a avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”	62
Gráfico 29 – Ciclo de condução desenvolvido na avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”	63
Gráfico 30 - Velocidade do veículo ao longo da avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”	63
Gráfico 31 - Emissão de CO₂ na avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”	64
Gráfico 32 – Comparação entre IRI × CO₂ para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”	66
Gráfico 33 – Comparação entre CO₂ × NO₂ para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”	66
Gráfico 34 – Ciclo de condução para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”	67
Gráfico 35 - Velocidade do veículo ao longo da avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”	68
Gráfico 36 - Emissão de CO₂ na avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”	68
Gráfico 37 – Comparação entre IRI × CO₂ para a avenida Senador Virgílio Távora	71
Gráfico 38 – Comparação entre CO₂ × NO₂ para a avenida Senador Virgílio Távora	71
Gráfico 39 – Ciclo de condução para a avenida Senador Virgílio Távora	72

Gráfico 40 - Velocidade do veículo ao longo da avenida Senador Virgílio Távora....72

Gráfico 41 - Emissão de CO₂ na avenida Senador Virgílio Távora.....73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites do estado do pavimento.....	24
Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar.....	26
Tabela 3 – Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para Poluentes.....	26
Tabela 4 – Classificação das vias estudadas.....	27
Tabela 5 – Tipos de defeitos da superfície dos pavimentos para a rua Vicente Linhares.....	29
Tabela 6 – Cálculo do IGI e do IGG para a rua Vicente Linhares.....	30
Tabela 7 – Dados importados do aplicativo TotalPave.....	32
Tabela 8 – Resumo de resultados obtidos nas vias estudadas.....	37
Tabela 9 – Cálculo do IGG rua Vicente Linhares.....	38
Tabela 10 – Detalhes dos Defeitos encontrados na Rua Vicente Linhares.....	38
Tabela 11 – Pontos de interseção na rua Vicente Linhares.....	43
Tabela 12 - Cálculo do IGG rua Tibúrcio Cavalcante.....	44
Tabela 13 - Detalhes dos defeitos encontrados no pavimento da rua Tibúrcio Cavalcante.....	44
Tabela 14 – Cálculo do IGG do revestimento da rua Érico Mota.....	48
Tabela 15 - Detalhes dos defeitos do revestimento da rua Érico Mota.....	49
Tabela 16 – Cálculo do IGG da avenida 13 de Maio sentido “IDA”.....	53
Tabela 17- Detalhes dos defeitos encontrados na avenida 13 de Maio sentido “IDA”.....	53
Tabela 18 – Cálculo do IGG para a avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”.....	57
Tabela 19- Detalhes dos defeitos encontrados na avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”.....	57
Tabela 20 – Cálculo do IGG para a avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”.....	61

Tabela 21 - Detalhes dos defeitos encontrados na avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”.....	62
Tabela 22 – Cálculo do valor de IGG para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”.....	66
Tabela 23 - Detalhes dos defeitos encontrados na avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”.....	66
Tabela 24 – Cálculo do IGG para a avenida Senador Virgílio Távora.....	70
Tabela 25 - Detalhes dos defeitos encontrados para a avenida Senador Virgílio Távora.....	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Problema e questões motivadoras	18
1.2. OBJETIVOS.....	20
<i>1.2.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2 Objetivos Específicos</i>	<i>20</i>
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1 Levantamento Visual Contínuo (LVC).....	21
3.2 Índice de Gravidade Global (IGG).....	24
3.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI).....	25
3.4 Emissão de Poluentes.....	26
4. MÉTODO E ÁREA DE ESTUDO	28
4.1 Área de Estudo	28
4.2 Classificação por meio do LVC	29
4.3 Classificação das vias por meio do IRI	31
4.4 Poluentes atmosféricos CO2 e NO2.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1 Rua Vicente Linhares	39
5.2 Rua Tibúrcio Cavalcante	45
5.3 Rua Érico Mota.....	50
5.4 Avenida 13 de Maio	54
<i>5.4.1 Sentido avenida Jovita Feitosa (IDA).....</i>	<i>54</i>
<i>5.4.2 Sentido avenida Pontes Vieira (VOLTA)</i>	<i>59</i>
5.5 Avenida Jovita Feitosa.....	63
<i>5.5.1 Sentido Campus do Pici “IDA”</i>	<i>63</i>
<i>5.5.2 Sentido avenida Pontes Vieira “VOLTA”.....</i>	<i>67</i>
5.6 Avenida Virgílio Távora.....	71
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE 1 – Rua Vicente Linhares	81
APÊNDICE 2 – Rua Tibúrcio Cavalcante	82

APÊNDICE 3 – Rua Érico Mota.....	83
APÊNDICE 4 – Avenida 13 de Maio sentido “IDA”.....	84
APÊNDICE 5 – Avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”.....	85
APÊNDICE 6 – Avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”.....	86
APÊNDICE 7 -Avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”.....	87
APÊNDICE 8 – Avenida Senador Virgílio Távora	88

1 INTRODUÇÃO

A problemática da má qualidade da pavimentação no Brasil agrava-se ao longo do tempo. Segundo Albano (2005), o investimento público no setor de infraestrutura, ampliação e manutenção de rodovias, não tem retornado conforto e segurança aos usuários. Além disso, Gonçalves *et al.* (2015) destacam que o crescimento desordenado e mal estruturado das cidades, que prioriza o transporte motorizado individual, contribui para a alta taxa de crescimento da frota de automóveis nas cidades. Por outro lado, o relatório do plano de circulação de cargas em Fortaleza, publicado pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Infraestrutura (SEINF) em 2013, relata que o transporte de cargas dentro da cidade é limitado por peso e horário visando à diminuição do impacto de caminhões no tráfego. Desse modo, a má qualidade do revestimento pode também estar relacionada a outros fatores como falta de drenagem urbana, manutenção inadequada ou inexistente e má execução dos trechos.

Além disso, como Boareto (2008) destacou, após a conferência mundial das nações unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento, no Rio de Janeiro em 1992, a discussão sobre sustentabilidade ganhou notoriedade. A partir de então, houve uma intensificação dos investimentos e incentivos de alguns países para que houvesse mitigação das emissões de poluentes no planeta. Desse modo, difundiram-se os pilares da sustentabilidade: utilização dos recursos naturais disponíveis atualmente de modo ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente justo para garantir a sobrevivência desses recursos e sua disponibilidade para as futuras gerações.

Motivado por questões ambientais e seus impactos na qualidade de vida da população, o presente estudo pretende adaptar a metodologia do Levantamento Visual Contínuo (LVC), normatizada pelo norma do DNIT 008/2003, para comparar a análise qualitativa do revestimento de algumas vias na cidade de Fortaleza com os resultados da emissão de NO_x e de CO₂ emitidos pelo escapamento de veículos neste centro urbano. Além disso, esses dados serão sobrepostos com os valores do Índice de Irregularidade Internacional (do inglês, *International Roughness Index - IRI*), das mesmas vias, calculados com o uso de um aplicativo para *smartphone*, TotalPave. O objetivo final deste projeto é avaliar a relação entre a qualidade do revestimento asfáltico de algumas vias em um centro urbano e sua influência na emissão de poluentes CO₂ e NO_x no ar da cidade de Fortaleza, por meio do uso de metodologia de classificação rápida das vias.

Em 2011, uma pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) citou direta relação entre a combustão incompleta nos motores de veículos e a emissão de poluentes a atmosfera, principalmente, nos grandes centros urbanos. Esses poluentes são classificados em globais e locais de acordo com a abrangência dos impactos causados. Como Vallero (2008) destaca, as esferas de influência dos poluentes do ar variam de partículas moleculares em escala de gases e nanopartículas a uma escala planetária que dificulta a difusão de gases limpos na troposfera (causando o efeito estufa). Corroborando à pesquisa, o estudo conduzido por Wahlin *et al.* (2006) concluiu que o tráfego urbano desempenha importante influência na qualidade do ar em centros urbanos e, além disso, relata que diferentes pontos de coleta de emissões através do uso de amostradores passivos apresentam resultados consideravelmente distintos, com relação às concentrações de poluentes, devido à influência do meio no qual estes estão. Desse modo, ressalta-se a importância de a coleta de emissões ser feita o mais próximo possível da fonte emissora a fim de mitigar influências externas nos dados.

A tomada de decisão com relação a intervenções nas vias conecta-se a gerência da infraestrutura. O manual de gerência de pavimentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) destaca fatores que justificam a implantação de um sistema de gerência que englobe: o envelhecimento dos pavimentos, as exigências dos órgãos financiadores, os custos operacionais diretos referentes a utilização de veículos devido à condição da estrutura e a evolução dos processos de avaliação da qualidade dos revestimentos.

A infraestrutura possui forte relação com o desenvolvimento das cidades e suas paisagens. Esse impacto pode ser positivo economicamente, mas pode ser negativo do ponto de vista ambiental, como destacou Schrijnen (2000). Por isso é importante avaliar os fatores que contribuem para a emissão de poluentes.

É possível perceber que diversos fenômenos nocivos ao meio ambiente (chuva ácida, efeito *smog*, efeito estufa) e ao homem (doenças respiratórias, alergias e outros) estão associados a este tipo de poluição.

1.1 Problema e questões motivadoras

A deterioração do revestimento asfáltico da maioria das vias nos centros urbanos brasileiros, Fortaleza como o estudo de caso, gera discussões e exigências da sociedade para que um plano de ação eficiente e de baixo custo seja aplicado nas ruas das cidades

visando a oferecer condições adequadas de conforto e segurança aos usuários. Além disso, discute-se a temática da saúde da população no decorrer dos anos. Ondas de calor mais longas e frequentes, impacto destas ondas na demanda por condicionadores de ar e seus custos agregados, tempestades e desastres naturais são pontos destacados por Foster, Lowe e Winkelmann (2011) como consequências do aquecimento global.

A poluição do ar é um fator de destaque no impacto ambiental. Esta provoca alerta em pesquisadores e estudiosos e os permite pensar nos modos de transporte motorizado como a principal causa da degradação do ecossistema e, conseqüentemente, da saúde dos seres humanos. Para esta problemática, estudou-se a relação entre a qualidade do revestimento asfáltico e sua relação com a emissão de poluentes coletados no escapamento dos veículos que trafegaram sobre o mesmo.

Percebe-se a insatisfação da população com a qualidade do revestimento da cidade de Fortaleza, com o desconforto dos usuários ao trafegar pelas vias da cidade, a cerca dos prejuízos causados nos automóveis e com relação ao aumento do tempo de viagem em consequência também da má qualidade nas vias, além da influência da alta concentração das emissões de poluentes na atmosfera, por meio dos automóveis, na saúde humana. Desse modo, pretende-se desenvolver uma metodologia de classificação das vias para colaborar na elaboração de um plano de ação para priorização das intervenções na manutenção da infraestrutura rodoviária de maneira mais rápida e eficiente.

O desenvolvimento do estudo iniciou-se com questionamentos como: i) pode-se questionar os padrões técnicos referentes a qualidade do revestimento asfáltico de centros urbanos visualmente? ii) qual a relação entre o IRI e as emissões de poluentes no ar? iii) podem ser elaborados mapas temáticos para qualificar a malha viária de centros urbanos?

A justificativa deste projeto de graduação pode ser entendida como uma contribuição a elaboração de um projeto de intervenção na infraestrutura viária de Fortaleza. A análise de dados por meio do LVC é um modo normatizado utilizado para avaliar a qualidade de uma via de acordo com critérios estabelecidos pelo DNIT. O LVC e o IRI compõem a parte quantitativa referente a classificação da qualidade do revestimento asfáltico cuja comparação será feita com os dados, também quantitativos, obtidos do trabalho desenvolvido por Quintanilha (2017) referente as emissões de NO_x e de CO₂ no ar na cidade de Fortaleza.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo final deste projeto é avaliar a relação entre a qualidade do revestimento asfáltico de algumas vias em um centro urbano e sua influência na emissão de poluentes CO₂ e NO_x no ar da cidade de Fortaleza, por meio do uso de metodologia de classificação rápida das vias

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Propor o uso do Processamento Digital de Imagens (PDI) para a avaliação das superfícies viárias de centros urbanos.
- b) Verificar a correlação da condição da superfície viária por meio do IRI e do IGG com as concentrações de emissões dos poluentes NO₂ e CO₂.
- c) Elaborar mapas que visem representar a qualidade da malha viária de algumas vias na cidade de Fortaleza.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De Carvalho (2011) cita que a população elege caminhões e ônibus como os maiores emissores de poluentes no tráfego por causa da fumaça preta que eles emitem. No entanto, essa avaliação considera apenas a fumaça que é denominada de Material Particulado (MP) e não se pode concluir que a poluição por MP é a maior porque há outros poluentes também considerados relevantes no ar.

Drumm *et al.* (2014) destacam a poluição que a concentração de veículos, em grandes centros urbanos, gera por meio de emissão de poluentes originados da queima incompleta dos combustíveis dos veículos. Os principais poluentes citados por Drumm *et al.* (2014) são o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), aldeídos e MP. Notadamente, a emissão de óxido de nitrogênio (NO) prejudica o ciclo do ozônio que, sob a ação da luz solar, se transforma em NO₂ formando oxidantes fotoquímicos.

De acordo com Vallero (2008), o *smog*, fumaça fotoquímica oxidante, presente em grandes centros urbanos, é formado por meio das reações advindas da luz solar, hidrocarbonetos e radicais livres. Os hidrocarbonetos originam-se da queima incompleta de combustíveis fósseis, como gasolina e diesel, por exemplo; os componentes que viram radicais livres, *N₂ por exemplo, formam aproximadamente 75% da troposfera. Desse modo, as altas temperaturas e pressões no interior dos motores de veículos fornecem as condições ideais para que ocorram as reações químicas entre *N₂ e O₂ que fornecem elétrons para as reações fotoquímicas.

3.1 Levantamento Visual Contínuo (LVC)

O LVC é um parâmetro utilizado para prever falência, dimensionamento e desempenho dos pavimentos. Normatizado pela norma DNIT 008/2003 que determina o Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis (ICPF), o Índice de Gravidade Global (IGG) e o Índice do Estado de Superfície (IES); o LVC detecta defeitos no revestimento, qualificados e quantificados, para auxiliar posteriormente na tomada de decisão por parte dos gestores do sistema rodoviário. O Anexo A da Norma DNIT 005/2003 resume os defeitos dos pavimentos usados para essa classificação, como mostrado nas Figuras 1, 2 e 3.

Figura 1 – Quadro resumo dos defeitos encontrados em pavimentos – codificação e classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

Fonte: norma DNIT 005/2003.

Destaca-se na literatura o uso de Processamento Digital de Imagens (PDI) na caracterização de agregados que compõem o pavimento. Como Araújo, Bessa e Castelo Branco (2017) pontuaram, o uso de imagens auxilia a acelerar a caracterização da textura de misturas asfálticas com precisão e confiabilidade. Além disso, os mesmos destacam a utilização de câmeras para capturar imagens e *software* para o tratamento delas. Nesse caso, a utilização desses métodos restringiu-se à caracterização da microtextura dos agregados presentes no revestimento asfáltico. No entanto, o PDI pode ser utilizado para a avaliação da macrotextura do pavimento com a utilização de câmera com resolução adequada. A Figura 2 traz exemplos de defeitos identificados a olho nu. Godoy e Mattos (2016) utilizaram um método de conversão de *pixel* para milímetro a fim de determinar uma escala de classificação de falhas para análise de pavimento aeroportuário. A Figura 3 traz anexo da norma do DNIT 005/2003, enquanto a Figura 4 a ficha de avaliação de serventia do pavimento.

Figura 2 – Quadro resumo de outros defeitos encontrados em pavimentos

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos		Remendo Superficial		RS
		Remendo Profundo		RP

Fonte: norma DNIT 005/2003.

Figura 3 – Notas 1 e 2 do Anexo A Norma DNIT 005:2003

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

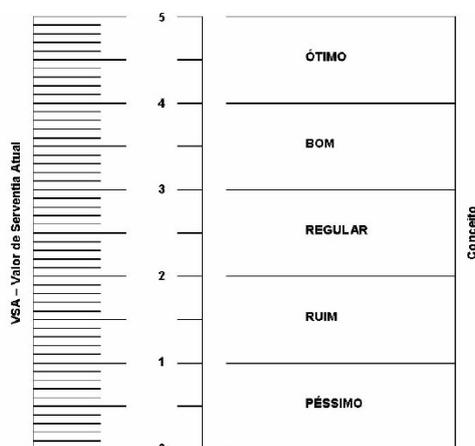
- FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.
- FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.
- FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

Fonte: norma DNIT 005/2003.

Figura 4 – Ficha de Avaliação de Serventia do Pavimento



O LVC é uma ferramenta utilizada na gerência de pavimentos para classificar o estado físico de vias e auxiliar os gestores na tomada de decisão de manutenção da infraestrutura. A gerência de pavimentos tem como objetivo elencar os defeitos das vias para que seja realizado um plano de ação de preservação e de manutenção visando a prolongar a vida útil do pavimento, preservar sua estrutura e seu valor patrimonial; segundo o manual de gerência de pavimentos (DNIT, 2011). Por outro lado, utilizar apenas o LVC como classificador de uma rodovia pode ser questionado com relação a decisão para que essa ação de preservação e/ou manutenção seja tomada, tendo em vista o alto custo das intervenções na infraestrutura viária. Desse modo, agregam-se outros parâmetros, que serão discutidos a seguir.

3.2 Índice de Gravidade Global (IGG)

O IGG é um parâmetro de classificação das condições das vias. A norma DNIT 006/2003 regula o cálculo do IGG que é uma avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis. Contrapondo o LVC, cuja avaliação é mais qualitativa, o IGG agrega valor ao IRI para classificar a condição do pavimento e, concomitantemente, facilitar a comparação entre índices numéricos para a geração de gráficos e mapas temáticos.

Vieira *et al.* (2016) argumentam que o IGG é um método de avaliação prático e ágio indicado para avaliação de grandes extensões. Após a identificação dos defeitos, localizam-se as superfícies de avaliação a cada 20m alternados nas faixas de tráfego para pistas simples e a cada 20m numa mesma faixa em pistas duplas. Demarcam-se então as estações e, desse modo, inicia-se o inventário do trecho. No procedimento de cálculo, define-se a frequência absoluta, a frequência relativa, o Índice de Gravidade Individual (IGI) e as variâncias. Os conceitos de degradação do pavimento estão expostos na Tabela 5.

Figura 5 – Conceitos de Degradação do pavimento em função do IGG

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: Norma DNIT 006/2003

3.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

O IRI avalia o pavimento longitudinalmente quanto ao seu conforto fornecido aos usuários. Os defeitos encontrados podem ser oriundos da ação de intempéries, como chuva e volume de tráfego, o que provoca deformações permanentes e irregularidades medidas por meio do IRI (Carvalho, 2018). O IRI complementarará o LVC na classificação do revestimento das vias visando à tomada de decisão.

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), o IRI é um índice estatístico, expresso em m/km, que resulta na irregularidade longitudinal entre a superfície do pavimento e o projeto geométrico da via. Essas irregularidades promovem vibrações nos veículos e desconforto aos usuários. Estas, podem ser originadas no projeto, na execução ou mesmo na má ou inexistente manutenção das rodovias.

Assim, é sensível que o IRI e o LVC estejam diretamente relacionados, ou seja, um trecho de uma rodovia que apresente resultados de LVC insatisfatórios do ponto de vista do conforto e da segurança, pode apresentar valores de IRI também considerados insatisfatórios. Com isso, a relação direta entre esses parâmetros valida a indicação do estado da via analisada.

O Manual do DNIT (2011) apresenta a escala de mensuração do IRI, demonstrada na Tabela 1. O IRI é um parâmetro internacional, ou seja, o estado do pavimento e seus números de irregularidade superficiais são iguais em todo o mundo. No entanto, os limites de aceitabilidade respeitam as normas de cada país.

Tabela 1 – Limites do estado do pavimento

Irregularidade Superficial	Estado do Pavimento
$IRI < 3,0$	BOM
$3,0 \leq IRI < 4,0$	REGULAR
$4,0 \leq IRI < 5,5$	MAU
$IRI \geq 5,5$	PÉSSIMO

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2011)

Vários equipamentos podem ser utilizados para o levantamento da condição de rodovias e a obtenção do IRI, tais como nível, mira e perfilômetro, sendo este último mais adequado para o levantamento de distâncias. Contudo, a utilização desses equipamentos demanda tempo, capacitação de pessoas e gera altos custos. Desse modo, foram desenvolvidos aplicativos em *smartphones* cuja função é determinar o IRI do pavimento,

porém com custo baixo, ou sem custo de aquisição, e maior facilidade em seu uso, dispensando a mão de obra qualificada (Fernandes *et al.*, 2018). Essa evolução permite que a classificação do estado da rodovia, quanto ao IRI, seja feita instantaneamente, implicando em uma agilidade no plano de ação.

O *software* base desses aplicativos possui coordenadas georreferenciadas que facilitam a localização dos trechos das rodovias avaliadas, além da divisão entre trechos de IRI médio. Como Albano (2005) destacou, o IRI define as características do perfil longitudinal das faixas de rolamento de uma rodovia e a necessidade de manutenção periódica para que se preserve a durabilidade e a qualidade do mesmo. Desse modo, torna-se relevante o acompanhamento periódico da situação da rodovia para que seja realizado um plano de intervenção. Nesse contexto, a utilização de *smartphones* para determinar esses parâmetros auxiliam no sentido de tornar o processo de qualificação mais rápido para a tomada de decisão dos gestores, já que o nível de severidade do revestimento asfáltico de algumas vias de centros urbanos não permite muito tempo para que a intervenção seja realizada. Desse modo, quanto mais tempo o pavimento permanecer em condições deterioradas, maior a probabilidade que acidentes possam ocorrer.

3.4 Emissão de Poluentes

A emissão de poluentes na atmosfera resultante do tráfego rodoviário em grandes cidades é um problema que se agrava à medida que a quantidade de automóveis nas cidades aumenta. Apesar da evolução da tecnologia dos carros, os efeitos prejudiciais dessas emissões a saúde da população, como problemas respiratórios, está cada vez mais intenso (Oliveira *et al.*, 2015). Além disso, Oliveira *et al.* (2015) afirmam também que os poluentes NO_x e CO estão diretamente relacionados com as emissões oriundas de veículos. A relação entre a emissão dos poluentes e o volume de tráfego é diretamente proporcional. Por isso, a relevância das emissões é maior em dias úteis, pois o Volume Médio Diário (VMD) de veículos nas vias é, consideravelmente, maior.

Os poluentes provenientes dos veículos lançados na atmosfera são, principalmente, devidos à combustão incompleta que ocorre em seus motores. Essas emissões estão relacionadas ao tipo de motor, de regulagem, a manutenção e ao modo de dirigir que tornam o uso de tecnologias, que controlam a injeção de gasolina e a rotação dos motores, importante a fim de mitigar esses fatores (Drumm *et al.*, 2014).

A resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) apresenta, em seus anexos, os padrões para classificação da qualidade do ar, como demonstrado na Tabela 2. Além disso, a resolução supracitada apresenta em seu anexo III o nível de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações (Tabela 3).

Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI - 1	PI - 2	PI - 3	PF	ppm
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora	260	240	220	200	-
	Anual	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

¹Média aritmética anual
²Média horária
³Máxima média móvel obtida no dia
⁴Média geométrica anual
⁵Medido das partículas totais em suspensão

Fonte: Resolução nº 491 de 2018 CONAMA

Tabela 3 – Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para Poluentes

Nível	Poluentes e Concentrações					
	SO ₂ µg/m ³ (média de 24h)	MP ₁₀ µg/m ³ (média de 24h)	MP _{2,5} µg/m ³ (média de 24h)	CO ppm (média móvel de 8h)	O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h)	NO ₂ µg/m ³ (média de 1h)
Atenção	800	250	125	15	200	1130
Alerta	1600	420	210	30	400	2260
Emergência	2100	500	250	40	600	3000

Fonte: Resolução nº 491 de 2018 CONAMA

4. MÉTODO E ÁREA DE ESTUDO

4.1 Área de Estudo

A área em que se realizou o presente estudo está localizada na cidade de Fortaleza, Ceará. Quintanilha (2017) fez a coleta de emissões dos poluentes CO₂ e NO_x em vias da citada cidade de acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) de Fortaleza, que data de 2015, cuja classificação das vias são divididas em arterial, coletora, expressa e local; seguindo o padrão de uso do solo. Escolheram-se as vias: avenida 13 de Maio, avenida Jovita Feitosa, avenida Virgílio Távora, rua Érico Mota, rua Tibúrcio Cavalcante, rua Vicente Linhares, rua Costa Barros e Rua Padre Valdevino. As classificações das vias estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação das vias estudadas

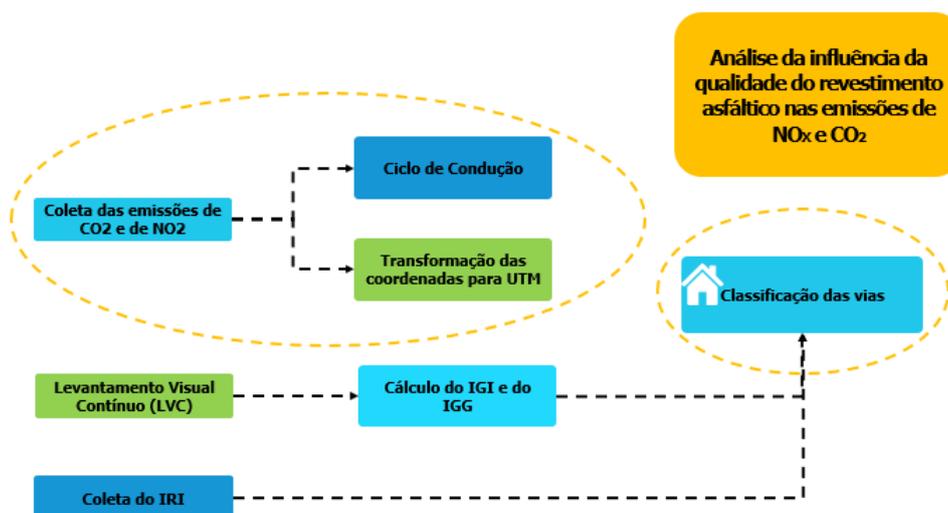
VIA	CLASSIFICAÇÃO
Av 13 de Maio	Arterial
Av Jovita Feitosa	Coletora
Av Virgílio Távora	Arterial
Rua Érico Mota	Local
Rua Tibúrcio Cavalcante	Coletora
Rua Vicente Linhares	Local

Fonte: Lei de Uso e Ocupação do Solo de Fortaleza (2015).

As vias utilizadas nesse estudo foram escolhidas a partir de sua localização em áreas da cidade com diferentes padrões de uso do solo para que se pudesse avaliar a influência do potencial de geração e atração de viagens, como citou Quintanilha (2017). A área em que as vias Érico Mota e Jovita Feitosa encontram-se possuem padrão de uso do solo, predominantemente, residencial, enquanto o restante das vias está em áreas mistas, residencial e comercial. A escolha das vias foi baseada, principalmente, no potencial de geração e atração de viagens devido aos diferentes níveis de densidade de residências e de comércios, como destacou Quintanilha (2017).

A escolha das vias deu-se devido a coleta de emissões de poluentes CO₂ e NO_x foram realizadas por meio de dispositivos alocados no escapamento dos veículos, ou seja, a coleta dos dados foi feita diretamente na fonte emissora, sem influência de outras emissões. Essa decisão foi tomada com a intenção de isolar variáveis no presente estudo. Na Figura 6, apresenta-se um fluxograma com o passo a passo da metodologia proposta.

Figura 6 – Fluxograma do passo a passo da metodologia



Fonte: o autor (2019).

4.2 Classificação por meio do LVC

Utilizou-se, para a coleta das imagens do LVC, a câmera GoPro Hero 3+ Silver, cuja qualidade de filmagem *Full High Definition* a 60 *frames* por segundo e fotos com 10 Mega *Pixels* de definição que permitem posterior análise do pavimento com nitidez satisfatória. As gravações foram realizadas em dias ensolarados a uma velocidade aproximadamente constante de 40km/h. A câmera foi acoplada a um veículo de passeio. A filmagem foi realizada a uma distância de aproximadamente 1m da superfície do pavimento. A câmera utilizada para a realização do LVC é apresentada na Figura 7.

Figura 7 – GoPro Hero 3+ Silver



Fonte: Capturada pelo autor (2019).

O estudo e a avaliação da qualidade do revestimento asfáltico das vias: rua Vicente Linhares, rua Tibúrcio Cavalcante, rua Érico Mota, avenida 13 de Maio, avenida Jovita

Feitosa e avenida Senador Virgílio Távora da cidade de Fortaleza foram realizados por meio da utilização das normas do DNIT que regulamentam a técnica do LVC. As normas DNIT 005/006/007/008/009 (2003) estabelecem os parâmetros de avaliação e classificação dos revestimentos. Os defeitos do pavimento foram classificados de acordo com o Anexo A da norma DNIT 005 (2003).

A partir da determinação da qualidade do revestimento, calculou-se o IGG de acordo com a norma DNIT 006 (2003). No entanto, realizou-se uma adaptação do IGG, nesse estudo, devido à não utilização da treliça para medição das flechas nas trilhas de roda. Ponderaram-se os defeitos de acordo com o Anexo C da citada norma e utilizou-se a Tabela 5, que contém a ponderação dos defeitos contidos na citada norma como sendo um indicativo da qualidade da superfície do pavimento antes de iniciar as correlações entre os dados coletados de IRI e de emissões de CO₂ e NO₂. A Tabela 6 foi elaborada para calcular o IGI dos trechos das vias para que posteriormente fosse possível calcular o IGG.

Tabela 5 – Tipos de defeitos da superfície dos pavimentos para a rua Vicente Linhares

Trecho	108,32m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tipo	OK	Sem Defeito													
FCI	1 FI	Fissuras	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
	TTC	Trincas Transversais Curtas								X			X	X	X
	TTL	Trincas Transversais Longas				X	X								
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas		X	X									X	
	TLL	Trincas Longitudinais Longas				X	X		X	X	X				
	TRR	Trincas Isoladas Retração				X	X	X				X	X	X	
	2 J	Couro de Jacaré									X				
FCII	TB	Trincas em Bloco	X		X	X	X	X		X	X	X		X	
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão				X									
	TBE	Trincas Bloco com erosão		X	X	X	X	X				X	X		
	4 ALP	Afundamento Plástico Local													
	ATP	Afundamento Plástico Trilha													
	5 O	Ondulação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	P	Panela	X	X	X	X	X	X				X	X	X	
	6 EX	Exsudação													
	7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	8 R	Remendo	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X
	ALC	Afundamento Consolidação Local													
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha													
	E	Escorregamento													
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)													
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)													

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Tabela 6 – Cálculo do IGI e do IGG para a rua Vicente Linhares

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC,TLL,TRR	2	15,38%	0,2	3,076923077
2	(FCI)J,TB	4	30,77%	0,5	15,38461538
3	(FCII) JE, TBE	7	53,85%	0,8	43,07692308
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0
5	O, P	10	76,92%	1,0	76,92307692
6	E	0	0,00%	0,5	0
7	D	13	100,00%	0,3	30
8	R	10	76,92%	0,6	46,15384615
9	$F = (TRI+TER)/2$ em mm	TRI= 0	TRE= 0	F= 0	0
10	$FV = (TRIV+TREV)/2$	TRIV= 0	TREV= 0	FV= 0	0,000
Nº de Estações Inventariadas		13	IGI= (F x1/4) quando F <= 30		IGI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		215	IGI= 40 quando F > 30		IGI = 50 quando FV > 50

CONCEITO DE DEGRADAÇÃO DO PAVIMENTO: Péssimo

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Enfatiza-se que o uso do Processamento Digital de Imagens (PDI), no presente trabalho, tornou-se de importância relevante devido às filmagens das vias serem em alta resolução e de fácil acesso; assim, o pesquisador pôde assistir o vídeo e classificar a qualidade do revestimento quantas vezes forem necessárias. Com isso, o grau de confiabilidade nos dados não se torna questionável e o pesquisador pôde pausar e reavaliar trechos de maior complexidade inúmeras vezes.

4.3 Classificação das vias por meio do IRI

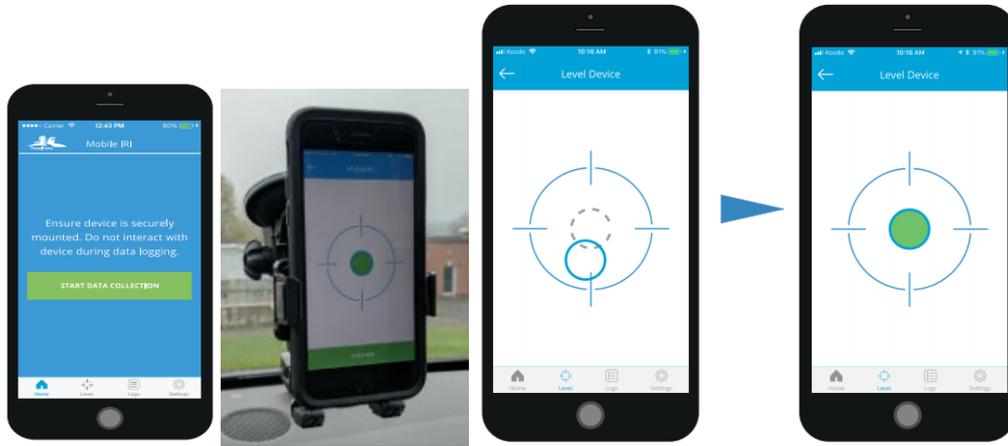
A coleta dos valores de IRI foi realizada por meio do uso de aplicativo de *smartphone* em velocidades que não excederam 40km/h. A medição aferida foi realizada com o *smartphone* acoplado em um suporte, com ventosa, no para-brisas do veículo. O mesmo possuía menos de 10.000km rodados, ou seja, sua suspensão era nova, fornecendo maior precisão à coleta dos dados.

A norma DNIT 007 (2003) rege a segmentação dos trechos em subdivisões de 100 em 100m; porém, no presente estudo, a divisão dos trechos seguiu de acordo com o que foi estabelecido pelo aplicativo utilizado para cálculo do IRI (Total Pave) cujos segmentos não puderam ser alterados já que o próprio aplicativo subdividiu as vias em trechos que representaram, aproximadamente, a extensão de 100 metros de cada quarteirão. Desse modo, permite-se a comparação entre as classificações obtidas pelos diferentes métodos, LVC e IRI, para os mesmos trechos. Os comprimentos dos trechos serão apresentados na seção de resultados e discussões deste presente trabalho.

A interface do aplicativo apresentada na Figura 8, ilustra os passos para calibração do *smartphone* antes do início da coleta dos dados de IRI. O *smartphone* que possui o

aplicativo instalado deve estar em um suporte preso ao para-brisas do veículo, devidamente calibrado para que o levantamento do trecho possa ser realizado.

Figura 8 – Interface do aplicativo Total Pave



Fonte: Manual demonstrativo Total Pave (2018)

De acordo com as informações obtidas por meio do suporte técnico do aplicativo citado, foi informado que os valores do IRI são expressos em m/km. O *software* calcula o desnível longitudinal da via em função de sua extensão por meio da vibração do sensor do *smartphone*. Após a coleta, o IRI é exibido em um mapa de cores que representa a escala levantada como apresentado na Figura 9. Além disso, é possível fazer o *download* dos dados em arquivo do Excel na Tabela 7.

Figura 9 – Mapa em cores dos valores de IRI gerado pelo aplicativo TotalPave



Fonte: elaborada pelo autor (2019).

Tabela 7 – Dados importados do aplicativo TotalPave

TPID	IRI 2019	Street Name	Length	City	Branch Name	Start Latitude	Start Longitude	End Latitude	End Longitude	Date
767644	4,9	Avenida 13 de Maio	195.732	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.383	-385.223	-375.363	-385.205	Jul 20, 2019
767645	5,13	Avenida 13 de Maio	208.168	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.347	-385.205	-375.367	-385.224	Jul 20, 2019
767646	3,45	Avenida 13 de Maio	123.52	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.367	-385.224	-375.378	-385.235	Jul 20, 2019
767647	3,72	Avenida 13 de Maio	129.961	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.394	-385.234	-375.383	-385.223	Jul 20, 2019
767648	3,19	Avenida 13 de Maio	131.593	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.378	-385.235	-375.333	-385.245	Jul 20, 2019
767649	2,92	Avenida 13 de Maio	142.561	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.346	-385.246	-375.394	-385.234	Jul 20, 2019
767650	1,92	Avenida 13 de Maio	952.125	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.333	-385.245	-375.275	-385.252	Jul 20, 2019
767651	3,33	Avenida 13 de Maio	964.395	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-37.529	-385.253	-375.346	-385.246	Jul 20, 2019
767652	4,42	Avenida 13 de Maio	95.072	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.234	-385.259	-37.529	-385.253	Jul 20, 2019
767653	4,2	Avenida 13 de Maio	953.637	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.275	-385.252	-37.522	-385.258	Jul 20, 2019
767654	4,23	Avenida 13 de Maio	868.975	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-37.522	-385.258	-375.169	-385.264	Jul 20, 2019
767655	5,99	Avenida 13 de Maio	889.475	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.182	-385.265	-375.234	-385.259	Jul 20, 2019
767656	6,03	Avenida 13 de Maio	867.458	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.169	-385.264	-375.118	-38.527	
767657	4,69	Avenida 13 de Maio	814.874	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.135	-385.271	-375.182	-385.265	Jul 20, 2019
767658	3,81	Avenida 13 de Maio	668.473	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.095	-385.276	-375.135	-385.271	Jul 20, 2019
767659	3,58	Avenida 13 de Maio	110.013	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.118	-38.527	-375.054	-385.278	Jul 20, 2019
767660	3,44	Avenida 13 de Maio	145.603	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.054	-385.278	-374.968	-385.288	Jul 20, 2019
767661	2,47	Avenida 13 de Maio	733.391	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.051	-385.281	-375.095	-385.276	Jul 20, 2019
767662	7,49	Avenida 13 de Maio	395.069	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-375.028	-385.283	-375.051	-385.281	Jul 20, 2019
767663	4,41	Avenida 13 de Maio	770.111	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-374.983	-385.289	-375.028	-385.283	Jul 20, 2019
767664	5,98	Avenida 13 de Maio	826.876	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-374.934	-385.294	-374.983	-385.289	Jul 20, 2019
767665	2,39	Avenida 13 de Maio	839.045	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-374.968	-385.288	-374.918	-385.293	Jul 20, 2019
767666	5,03	Avenida 13 de Maio	83.244	Fortaleza	Avenida 13 de Maio	-374.918	-385.293	-37.487	-385.299	Jul 20, 2019

Fonte: elaborada pelo autor (2019).

Adquire-se, por meio da Tabela 9, os dados de latitude e longitude (em graus) para cada dado coletado para que seja iniciada a correlação dos mesmos. No entanto, os dados georreferenciados foram convertidos de graus para coordenadas UTM por meio do uso do programa ProGrid disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) cujo *download* foi disponibilizado, gratuitamente, no próprio site do IBGE. A Figura 10 apresenta a interface do programa.

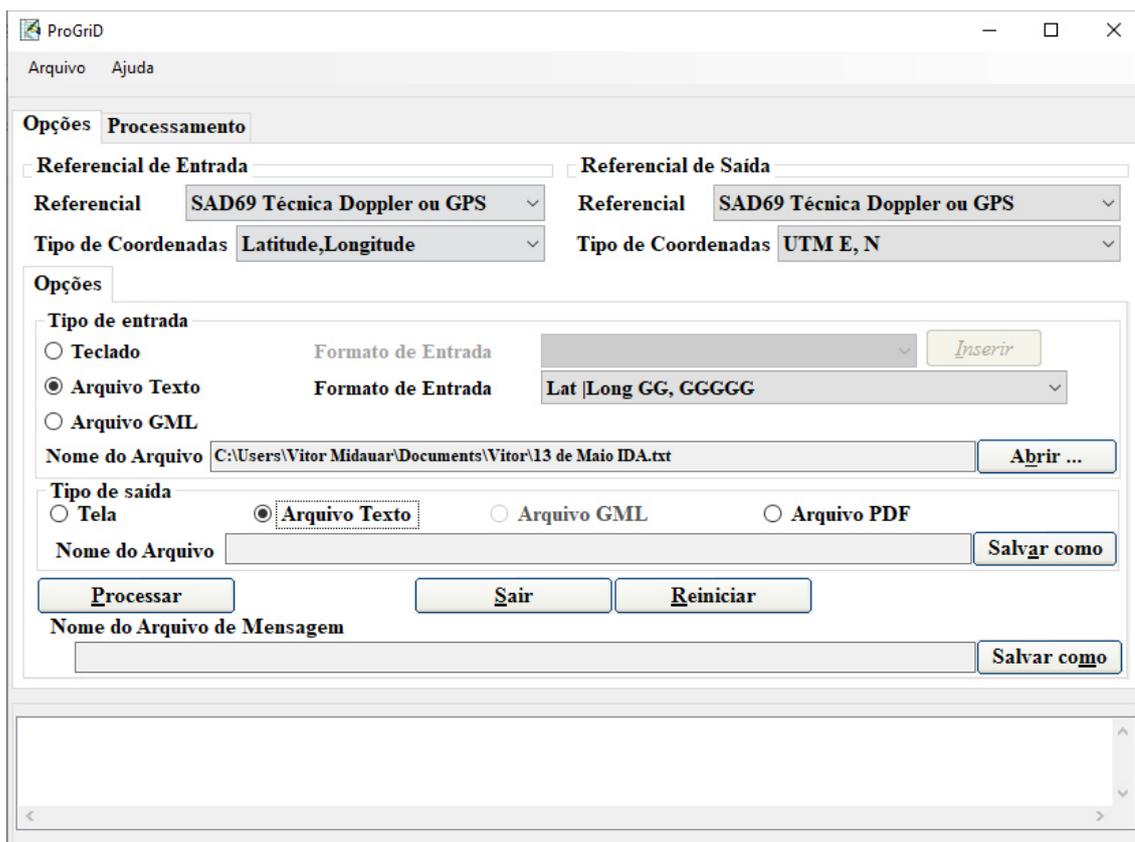
Figura 10 – Interface ProGrid



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Em seguida, na Figura 11, são apresentadas as devidas configurações a serem seguidas. Ressalta-se que as coordenadas (em graus) devem ser copiadas do Excel e coladas no bloco de notas para que estas possam ser carregadas no programa como arquivo de texto, como apresentado na Figura 12. Já a Figura 13 apresenta as coordenadas UTM após a conversão dos dados pelo citado programa.

Figura 11 – Configurações selecionadas no ProGrid



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 12 – Bloco de notas com as coordenadas em graus

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
-3,7373441			-38,54373315	
-3,7373531			-38,5436688	
-3,73736455			-38,54359515	
-3,737376			-38,5435215	
-3,7373929			-38,543452	
-3,7374098			-38,5433825	
-3,7374328			-38,54330605	
-3,7374558			-38,5432296	
-3,7374902			-38,54316035	
-3,7375246			-38,5430911	
-3,7375667			-38,5430212	
-3,7376088			-38,5429513	
-3,73765915			-38,5428777	
-3,7377095			-38,5428041	
-3,7377805			-38,5427347	
-3,7378515			-38,5426653	
-3,73793965			-38,54260555	
-3,7380278			-38,5425458	
-3,7381099			-38,54248645	
-3,738192			-38,5424271	
-3,73826425			-38,5423527	
-3,7383365			-38,5422783	
-3,73840765			-38,54218945	
-3,7384788			-38,5421006	

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Figura 13 – Bloco de notas com as coordenadas UTM

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
553163,434			9585093,262	24
553151,840			9585092,057	24
553138,848			9585090,445	24
553125,855			9585088,833	24
553111,424			9585086,978	24
553096,993			9585085,123	24
553081,496			9585083,153	24
553065,999			9585081,183	24
553049,730			9585079,053	24
553033,461			9585076,923	24
553017,165			9585074,915	24
553000,868			9585072,906	24
552986,043			9585071,267	24
552971,218			9585069,628	24
552957,509			9585068,492	24
552943,801			9585067,355	24
552930,359			9585067,495	24
552916,917			9585067,635	24
552903,416			9585069,638	24
552889,914			9585071,640	24
552876,619			9585075,334	24
552863,324			9585079,028	24
552850,124			9585084,241	24
552836,923			9585089,455	24

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Em seguida, os dados das coordenadas UTM foram colados no Excel e transformados em distância percorrida, em metros, por meio do teorema de Pitágoras das diferenças entre as latitudes e as longitudes. As Figuras 14, 15 e 16 apresentam as transformações realizadas.

Figura 14 – Transformação entre coordenadas UTM e distância percorrida em metros

G	H	I	J	K
latitude UTM	longitude UTM	Δ latitude	Δ longitude	distância em m
555055,269	9586500,551			
555053,879	9586497,634	=G5-G4	-2,917000001	3
555058,109	9586495,818	4,23	-1,816	5
555062,339	9586494,003	4,23	-1,814999999	5
555068,833	9586491,446	6,494	-2,557	7
555075,328	9586488,889	6,495	-2,557	7
555081,839	9586486,63	6,511	-2,259	7

Fonte: elaborada pelo autor (2019).

Figura 15 – Transformação entre coordenadas UTM e distância percorrida em metros

G	H	I	J	K
latitude UTM	longitude UTM	Δ latitude	Δ longitude	distância em m
555055,269	9586500,551			
555053,879	9586497,634	-1,39	=H5-H4	3
555058,109	9586495,818	4,23	-1,816	5
555062,339	9586494,003	4,23	-1,814999999	5
555068,833	9586491,446	6,494	-2,557	7
555075,328	9586488,889	6,495	-2,557	7

Fonte: elaborada pelo autor (2019).

Figura 16 – Transformação coordenadas UTM para distância percorrida em metros

G	H	I	J	K	L
latitude UTM	longitude UTM	Δ latitude	Δ longitude	distância em m	
555055,269	9586500,551				
555053,879	9586497,634	-1,39	-2,917000001	=((I5^2)+(J5^2))^(1/2)	
555058,109	9586495,818	4,23	-1,816		5
555062,339	9586494,003	4,23	-1,814999999		5
555068,833	9586491,446	6,494	-2,557		7
555075,328	9586488,889	6,495	-2,557		7

Fonte: elaborada pelo autor (2019).

4.4 Poluentes atmosféricos CO₂ e NO₂

Diferentemente dos dados do LVC e do IRI, cujos valores foram calculados e calibrados; os valores de vazão (em g/s) das emissões de poluentes CO₂ e NO_x por meio do escapamento de veículo foram obtidos anteriormente no trabalho desenvolvido por Quintanilha (2017). Um equipamento *on-board*, dispositivo também chamado de sistema portátil de medição de emissões, do inglês *Portable Emission Measurement System* (PEMS), foi acoplado no escapamento do veículo, pois o mesmo é o emissor de NO_x formados a partir das reações de combustão incompleta dos motores de veículos, e CO₂ produzido na combustão de combustíveis fósseis. Os dados adquiridos de CO₂ e de NO_x estão em g/s. Desse modo, foram gerados gráficos de linha para representar o comportamento das emissões ao longo do percurso e; assim, correlacionar o trecho onde foram emitidos as maiores concentrações de poluentes com os dados de IRI e de LVC. As extensões dos trechos serão apresentadas na sessão de resultados com extensão mínima de 1km, como determina a norma DNIT 008:2003.

Tabela 8 – Resumo de resultados obtidos nas vias estudadas

VIA	IGG	IRI	R ²	R	CO ₂ (g)	NO ₂ (g)	Distância (m)
Rua Vicente Linhares	215	8,17	0,11	0,338	914	0,078	1.476
Rua Tibúrcio Cavalcante	199	4,11	0,002	0,0489	764	0,079	2.558
Rua Érico Mota	101	6,98	0,03	0,1656	627	0,044	1.498
Av. 13 de Maio "IDA"	162	3,75	-0,048	-	1156	0,133	2.629
Av. 13 de Maio "VOLTA"	172	4,22	0,183	0,4279	1194	0,193	2.974
Av. Jovita Feitosa "IDA"	149	3,91	0,52	0,7228	899	0,02	2.399
Av. Jovita Feitosa "VOLTA"	98	3,69	0,33	0,5651	754	0,059	2.211
Av. Virgílio Távora	43	3,19	0,19	0,4362	853	0,166	2.549

Fonte: o autor (2019).

5.1 Rua Vicente Linhares

Os resultados analisados a partir dos dados coletados na rua Vicente Linhares indicaram correlações insatisfatórias, com valores de R² próximos de zero, para a relação proposta entre IRI e emissão de poluentes. Inicialmente, foi feita a classificação da via de acordo com os parâmetros do LVC contidos na Norma do DNIT 008 (2003). Desse modo, a frequência de panelas e remendos no trecho foi alta e o pavimento foi classificado como péssimo, como demonstrado na Tabela 9. A Tabela 10 apresenta o detalhamento dos defeitos levantados na filmagem da via, cujos dados foram utilizados para realização da Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo do IGG rua Vicente Linhares

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	15,38%	0,2	3,08
2	(FCII)J, TB	4	30,77%	0,5	15,38
3	(FCII)JE, TBE	7	53,85%	0,8	43,08
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0,00
5	O, P	10	76,92%	1,0	76,92
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	13	100,00%	0,3	30,00
8	R	10	76,92%	0,6	46,15
9	F = (TRI+TER)/2 em mm	TRI= 0	TRE= 0	F= 0	0
10	FV = (TRIV+TRÉV)/2	TRIV= 0	TRÉV= 0	FV= 0	0,000
Nº de Estações Inventariadas		13	IGI = (F x 1/4) quando F <= 30		IGI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		215	IGI = 40 quando F > 30		IGI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

Tabela 10 – Detalhes dos Defeitos encontrados na Rua Vicente Linhares

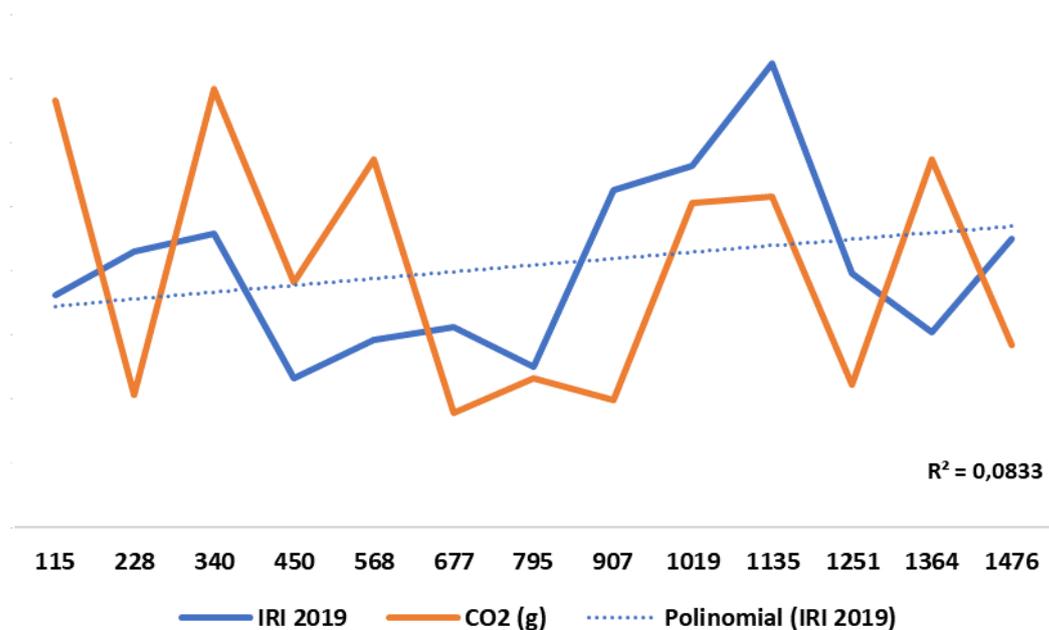
Trecho	113,50m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tipo	OK	Sem Defeito													
FCI	1 FI	Fissuras	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X
	TTC	Trincas Transversais Curtas								X			X	X	X
	TTL	Trincas Transversais Longas				X	X								
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas		X	X									X	
	TLL	Trincas Longitudinais Longas				X	X		X	X	X				
	TRR	Trincas Isoladas Retração				X	X	X					X	X	X
	2 J	Couro de Jacaré										X			
FCII	TB	Trincas em Bloco	X		X	X	X	X		X	X	X			X
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão					X								
	TBE	Trincas Bloco com erosão	X	X	X	X	X						X	X	
	4 ALP	Afundamento Plástico Local													
	ATP	Afundamento Plástico Trilha													
	5 O	Ondulação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	P	Panela	X	X	X	X	X	X					X	X	X
	6 EX	Exsudação													
	7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	8 R	Remendo	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X
	ALC	Afundamento Consolidação Local													
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha													
	E	Escorregamento													
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)													
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)													

Fonte: o autor (2019).

Em seguida, elaborou-se o Apêndice 1 para comparação entre os parâmetros de IRI e emissões de poluentes CO₂ visando à construção dos Gráficos 1 e 2 que contém os resultados de IRI e as concentrações de CO₂ e NO_x. Assim, como no LVC, o resultado do IRI médio para todo o trecho levantado no valor de 8,17 e de seus sub-trechos indicam que o pavimento possui péssima qualidade. Como esperado, a correlação (R²) entre os dados de concentração dos poluentes foi de 0,64, considerada razoável já que os mesmos foram coletados na mesma fonte emissora e ao mesmo tempo, com o mínimo de influência de agentes externos. Por outro lado, a correlação (R²) entre os dados de concentração de CO₂ e do IRI para esse trecho estudado foi de 0,11, considerada muito ruim. Desse modo, pode-se indicar que alguns fatores que não foram controlados, como o ciclo de condução, estejam influenciando a análise além do esperado. No entanto, o coeficiente de correlação de *Pearson R* foi igual a 0,338 que significa que há relação linear entre os dados analisados em mais de 30%. O Gráfico 3 apresenta o ciclo de

condução para a rua Vicente Linhares, podendo interpretar-se que os “*stop and go*” nos semáforos e cruzamentos também influenciaram os resultados. Como observado no Gráfico 3, os períodos nos quais o veículo está com velocidade igual a zero quilômetros por hora continuamente, supõem-se que as referidas paradas aconteceram.

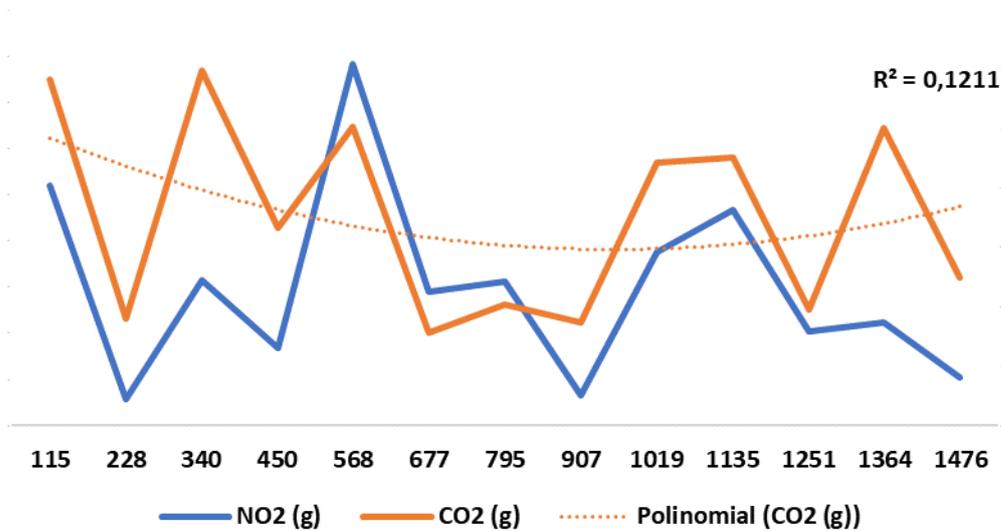
Gráfico 1 –Comparação IRI × CO₂ da rua Vicente Linhares



Fonte: o autor (2019).

Os valores do coeficiente de determinação (R^2) das equações polinomiais dos Gráficos 1 e 2 demonstram que o modelo proposto explica apenas 8,33% dos dados de IRI e 12,11% dos dados de CO₂ obtidos com as amostras. Desse modo, entende-se que o modelo de análise proposto pode estar limitado para que se façam afirmações conclusivas a respeito da utilização do método proposto já que, além do coeficiente de determinação ter sido baixo, a correlação entre os dados de IRI e de CO₂ também foi baixa.

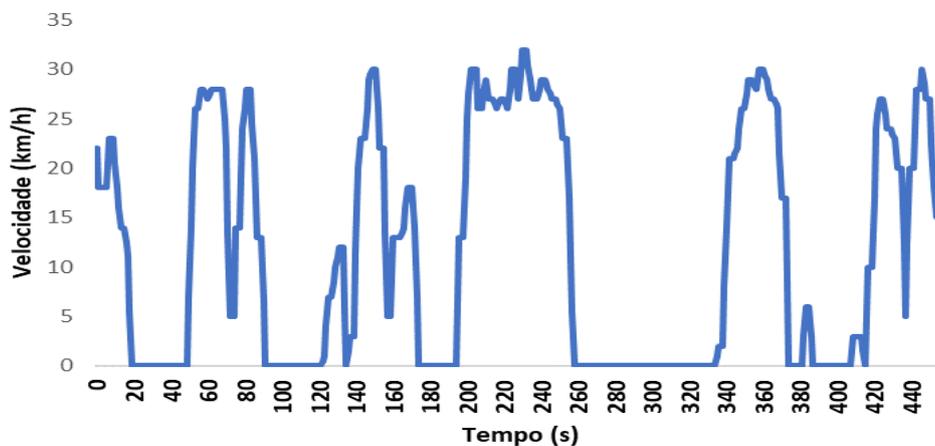
Gráfico 2 – Comparação CO₂ × NO_x da rua Vicente Linhares



Fonte: o autor (2019).

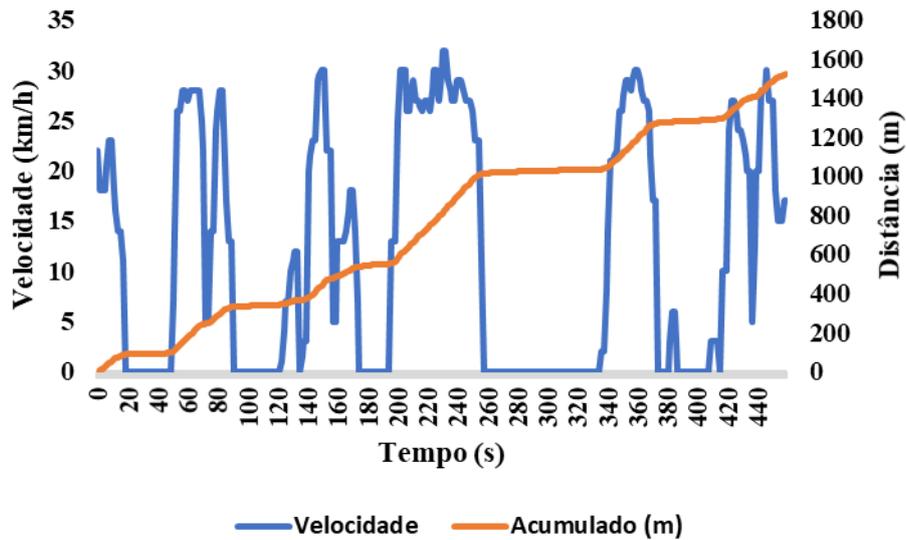
Os Gráficos 3 e 4 foram apresentados para justificar a influência do padrão de condução nos resultados obtidos devido à identificação de mudanças bruscas nas velocidades do veículo em interseções. Desse modo, através da análise dos gráficos observou-se que os intervalos de tempo em que o veículo estava com velocidade igual a zero foram suficientemente duradouros para que se inferisse a presença de semáforos ou interseções com parada obrigatória. Assim, o “*stop and go*” dos veículos foram mais influenciados pela existência de interseções do que pela qualidade do revestimento asfáltico em si.

Gráfico 3 – Ciclo de condução da rua Vicente Linhares



Fonte: o autor (2019).

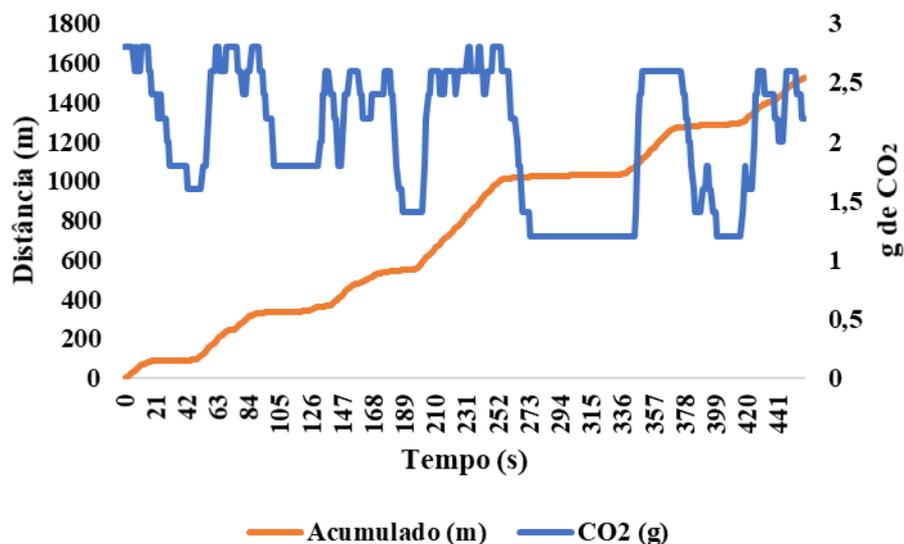
Gráfico 4 - Velocidade do veículo ao longo da via Vicente Linhares



Fonte: o autor (2019).

O Gráfico 5 demonstra a direta relação entre o padrão de condução cujo desenvolvimento de maiores velocidades apresenta maiores emissões de poluentes, enquanto há menores emissões de poluentes quando o veículo está desacelerando ou está parado.

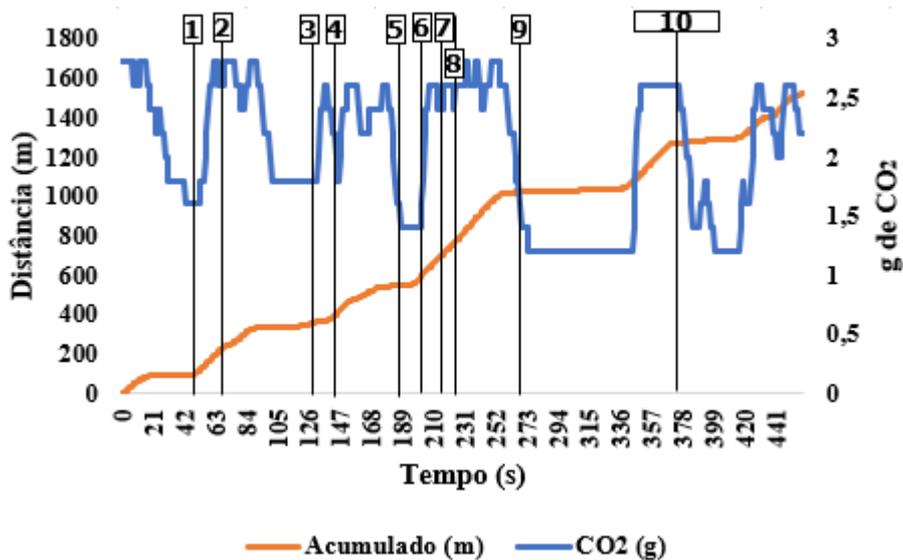
Gráfico 5 - Emissão de CO₂ na rua Vicente Linhares



Fonte: o autor (2019).

Para que fossem validadas as afirmações a respeito da influência do “*stop and go*” verificadas no ciclo de condução com possíveis interferências em interseções de vias, realizou-se um mapeamento por meio de Global Positioning System (GPS) em todas as interseções da via Vicente Linhares, como apresentado no Gráfico 6. Assim, foi possível comprovar que os momentos em que o veículo estava parado, ou seja, com velocidade igual a zero, o mesmo estava localizado em um cruzamento, com ou sem semáforo. Além disso, os pontos 3 e 7 demonstrados no gráficos são defeitos (panela e desgaste, respectivamente) do pavimento cujo padrão de condução foi alterado. Desse modo, nesses dois casos, dos pontos 3 e 7, os defeitos do pavimento foram refletidos no ciclo de condução e, por consequência, na emissão de poluente CO₂. Esse padrão de influência dos defeitos nos pavimentos e as emissões de poluentes, por meio do ciclo de condução, foram consideradas na análise dos dados de todas as vias do presente estudo.

Gráfico 6 – Pontos de interseção na rua Vicente Linhares



Fonte: o autor (2019).

Tabela 11 – Pontos de interseção na rua Vicente Linhares

PONTO	INTERSEÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
1	Semáforo Joaquim Nabuco	-3,741149	-38,503287
2	Semáforo Osvaldo Cruz	-3,741449	-38,502296
3	Panela próximo à Desembargador	-3,741944	-38,500747
4	Semáforo Desembargador Moreira	-3,742089	-38,500341
5	Semáforo Barbosa de Freitas	-3,742381	-38,499466
6	Semáforo Leonardo Mota	-3,742725	-38,498514
7	Desgaste próximo à Leonardo Mota	-3,742878	-38,498015
8	Semáforo Virgílio Tavora	-3,743077	-38,497381
9	Cruzamento Coronel Jucá	-3,74363	-38,495619
10	Cruzamento Monsenhor Catão	-3,744299	-38,493574

Fonte: o autor (2019).

A última análise da rua Vicente Linhares evidenciou que a qualidade do pavimento pode influenciar a emissão de poluentes. Para que haja maior precisão da análise, recomenda-se realizar as coletas de IRI, emissões de CO₂ e de NO_x e LVC em um mesmo veículo, durante o mesmo percurso. Desse modo, minimiza-se variáveis externas no momento da coleta. Considerou-se que o grau de degradação do pavimento entre a coleta de emissões e a coleta de IRI e LVC permaneceu aproximadamente constante devido a intervenções de manutenção na via durante o período, mas que não mudou significativamente o grau de conservação do pavimento.

5.2 Rua Tibúrcio Cavalcante

Para a análise dos dados da rua Tibúrcio Cavalcante procedeu-se da mesma maneira realizada para a rua Vicente Linhares. O resultado do LVC foi um IGG de 199, classificando o estado do pavimento do trecho como péssimo, conforme apresentado na Tabela 12. Os resultados detalhados para cada estação, no caso das ruas estudadas para o quarteirão, estão demonstrados na Tabela 13 cuja frequência de ondulação, exsudação e remendos é significativa de aproximadamente 22%; por isso o grau de degradação do pavimento, de acordo com a Norma do DNIT 006 (2003) é considerado como péssimo, já que esses tipos de defeitos possuem maior peso.

Tabela 12 - Cálculo do IGG rua Tibúrcio Cavalcante

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC,TLL,TRR	19	67,86%	0,2	13,57
2	(FCI)J,TB	6	21,43%	0,5	10,71
3	(FCII) JE, TBE	2	7,14%	0,8	5,71
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0,00
5	O, P	25	89,29%	1,0	89,29
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	26	92,86%	0,3	27,86
8	R	24	85,71%	0,6	51,43
9	$F = (TRI+TER)/2$ em mm	TRI= 0	TRE= 0	F= 0	0
10	$FV = (TRIV+TREv)/2$	TRIV= 0	TREv= 0	FV= 0	0,000
Nº de Estações Inventariadas		28	GI= (F x1/4) quando F <= 30		GI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		199	GI= 40 quando F > 30		GI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

Tabela 13 - Detalhes dos defeitos encontrados no pavimento da rua Tibúrcio Cavalcante

Trecho	111,22 m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Tipo	OK	Sem Defeito																												
FCI	1FI	Fissuras		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	TTC	Trincas Transversais Curtas				X	X	X	X														X			X	X			
	TTL	Trincas Transversais Longas		X																										
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas		X		X		X	X								X				X				X	X	X			
	TLL	Trincas Longitudinais Longas		X		X	X	X	X		X				X		X			X		X	X							
	TRR	Trincas Isoladas Retração																												
FCII	2J	Couro de Jacaré																												
	TB	Trincas em Bloco		X		X	X	X			X		X										X							
FCIII	3JE	Couro de Jacaré com Erosão																												
	TBE	Trincas Bloco com erosão					X				X																			
	4ALP	Afundamento Plástico Local																												
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																												
	5O	Ondulação		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	P	Panela		X				X							X								X	X		X		X		
	6EX	Exsudação																												
	7D	Desgaste		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	8R	Remendo		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ALC	Afundamento Consolidação Local																												
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha																												
	E	Escorregamento																												
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)																												
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)																												

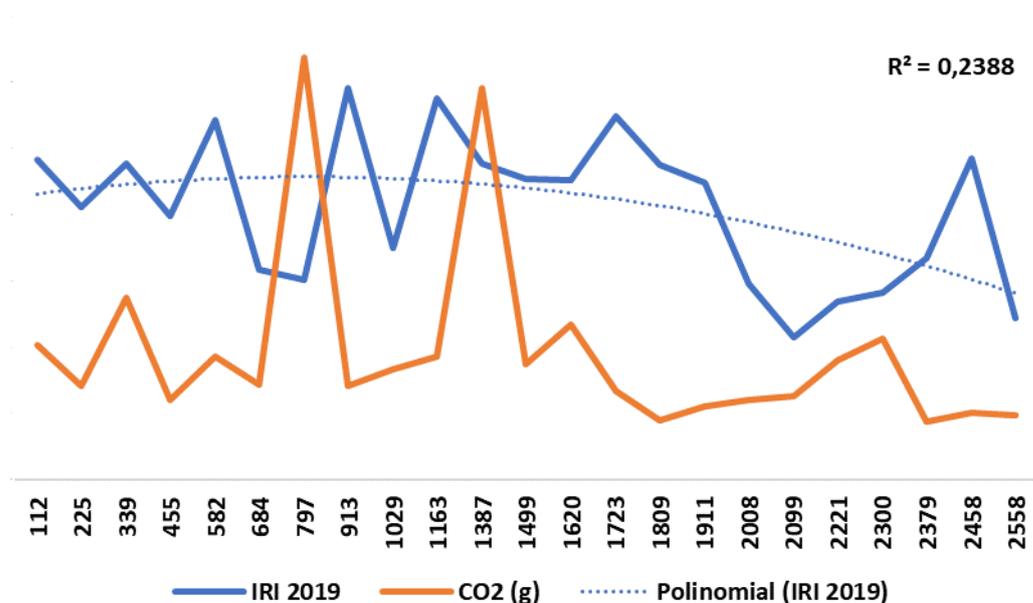
Fonte: o autor (2019).

A análise dos dados coletados por meio do aplicativo TotalPave forneceu o valor médio de 4,10 do IRI cuja classificação do estado do pavimento é considerada “mau”. O valor de correlação (R^2) entre o IRI \times CO₂ foi próximo de zero, ou seja, muito ruim e o

coeficiente de *Pearson* foi próximo a zero também. Além disso, a correlação (R^2) entre $CO_2 \times NO_x$ foi de 0,33 que significa um resultado ruim, o que pode ser considerado um resultado não esperado já que os dados foram coletados na mesma fonte emissora. Desse modo, valida-se a hipótese de que o NO_x é um poluente de difícil mensuração e correlação com a influência da qualidade do pavimento devido a existência de outros fatores que podem contribuir para sua formação, como temperatura do motor do veículo e ciclo de condução. Os Gráficos 7 e 8 demonstram as correlações geradas, enquanto o Gráfico 9 traz o ciclo de condução da rua Tibúrcio Cavalcante e o Gráfico 10 a relação entre a velocidade e a distância acumulada ao longo do tempo.

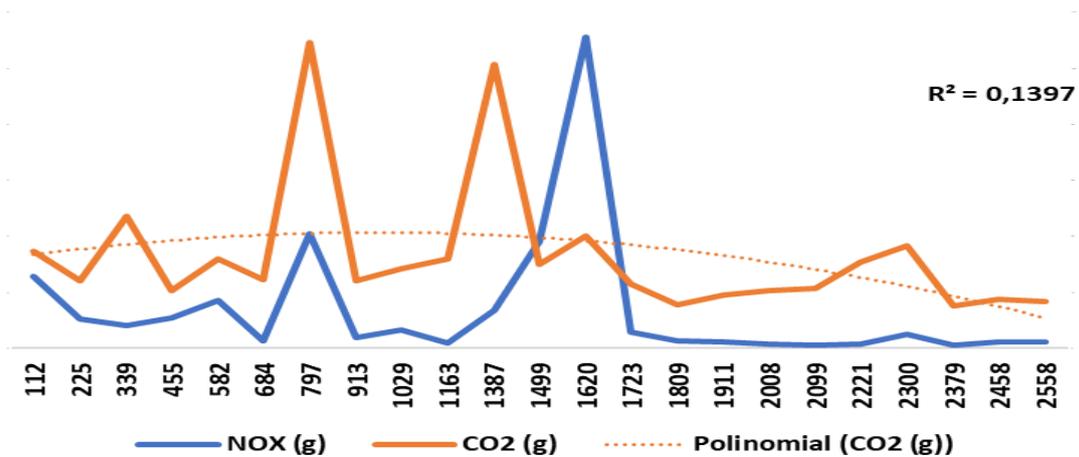
A análise do ciclo de condução na rua Tibúrcio Cavalcante indica paradas com velocidades iguais a zero quilômetros por hora durante tempos, consideravelmente, elevado, indicando a existência de semáforos e cruzamentos, já que os horários de coleta foram considerados de não pico, ou seja, não sofrem influência de congestionamentos ou formação acentuada de filas. Além disso, é possível verificar, no gráfico do ciclo de condução, que este possui momentos em que o veículo permanece em cruzeiro por tempo e velocidades, consideravelmente, elevadas, podendo-se validar a hipótese da influência do “*stop and go*” não decorrente dos defeitos do pavimento como relevante fator não considerado na análise.

Gráfico 7 – Comparação IRI \times CO_2 na rua Tibúrcio Cavalcante



Fonte: o autor (2019).

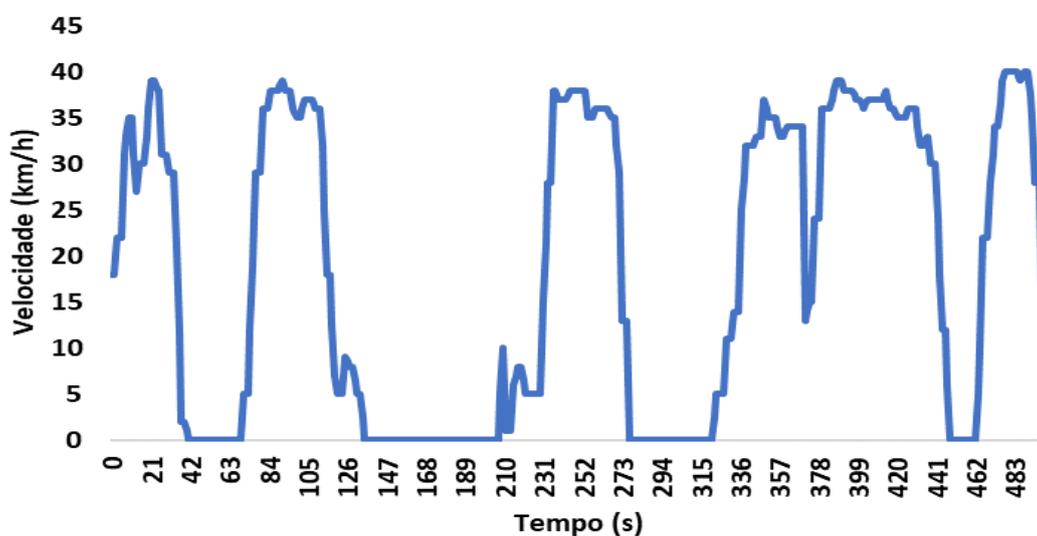
Gráfico 8 – Comparação CO₂ × NO_x da rua Tibúrcio Cavalcante



Fonte: o autor (2019).

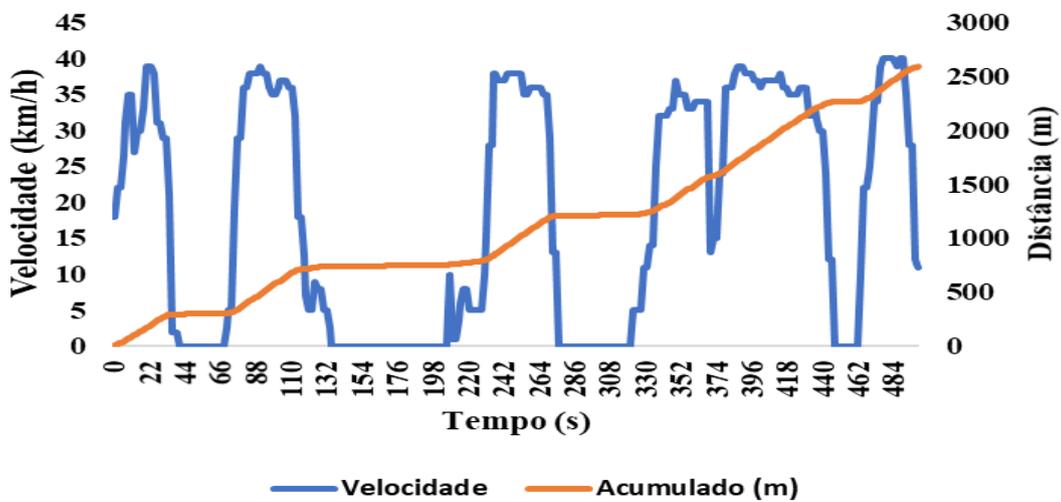
Os Gráficos 9 e 10, que apresentam o ciclo de condução na rua Tibúrcio Cavalcante demonstram a relação entre as paradas nas interseções das vias, seja por existência de semáforos ou por paradas obrigatórias não semaforizadas, que há uma agressiva mudança de velocidade. Esse padrão de condução caracteriza maior emissão de poluentes como o Gráfico 11 demonstra. Há direta relação entre o desenvolvimento de maiores velocidades e o aumento da emissão de poluentes, ao passo que o veículo emite menos poluentes enquanto permanece parado.

Gráfico 9 – Ciclo de condução na rua Tibúrcio Cavalcante



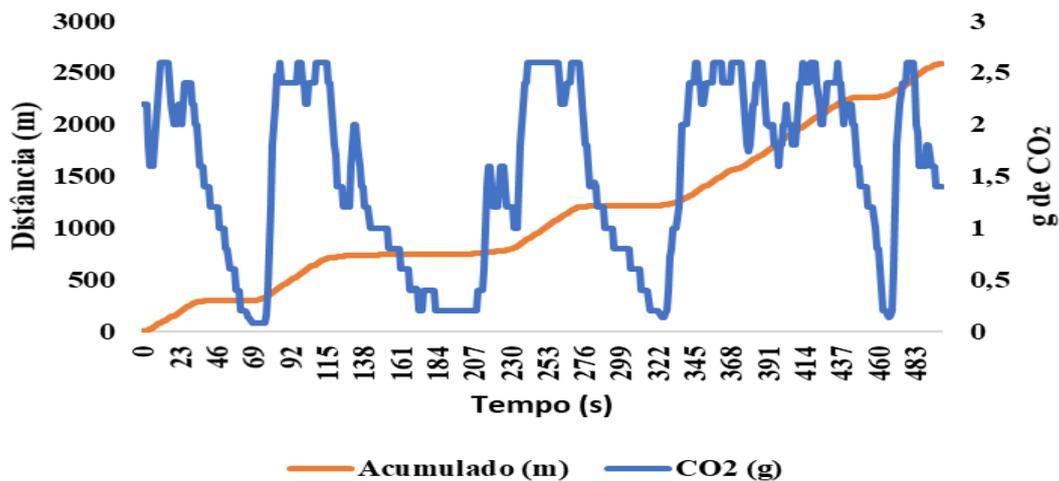
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 10 - Velocidade do veículo ao longo da via Tibúrcio Cavalcante



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 11 - Emissão de CO₂ na rua Tibúrcio Cavalcante



Fonte: o autor (2019).

Apesar dos resultados de correlação entre os dados de emissões e de IRI terem sido nulos, o ciclo de condução apresenta comportamento das emissões com tendência similar ao da via discutida no item 5.1. Seguindo o mesmo padrão de análise e as mesmas premissas de que interseções possam ter influenciado no desenvolvimento de velocidades e, conseqüentemente, emissão dos poluentes; o grau de degradação péssimo do pavimento pode ter influenciado no total de emissões no ar. A quantidade de picos e vales no ciclo de condução e a não uniformidade, como apresentado entre os segundos 336 e 432 no Gráfico 11, podem ser consequência da degradação do pavimento.

5.3 Rua Érico Mota

O grau de deterioração do revestimento da rua Érico Mota, classificado por meio do LVC, pode ser considerado ruim, com um valor de IGG igual a 101 e a classificação por meio do IRI indicou o revestimento com grau de degradação péssimo (IRI médio = 6,98). Os defeitos observados caracterizam o fim da vida útil do pavimento, sendo mais comum o aparecimento de patologias como fissuras, remendos e desgaste dos trechos. A frequência dos defeitos observados no revestimento está é apresentada na Tabela 14 e o detalhamento dos defeitos na Tabela 15.

Tabela 14 – Cálculo do IGG do revestimento da rua Érico Mota

Typo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC,TLL,TRR	15	53,57%	0,2	10,71
2	(FCI)J,TB	5	17,86%	0,5	8,93
3	(FCII) JE, TBE	1	3,57%	0,8	2,86
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0,00
5	O, P	7	25,00%	1,0	25,00
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	18	64,29%	0,3	19,29
8	R	16	57,14%	0,6	34,29
9	$F = (TRI+TER)/2$ em mm	TRI= 0	TRE= 0	F= 0	0
10	$FV = (TRIV+TRÉV)/2$	TRIV= 0	TRÉV= 0	FV= 0	0,000
Nº de Estações Inventariadas		18	IGI= (F x1/4) quando F <= 30		IGI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		101	IGI= 40 quando F > 30		IGI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

Tabela 15 - Detalhes dos defeitos do revestimento da rua Érico Mota

Trecho	83,20m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tipo	OK	Sem Defeito																		
FCI	1 FI	Fissuras	X	X				X				X	X	X		X	X	X		X
	TTC	Trincas Transversais Curtas	X										X		X					
	TTL	Trincas Transversais Longas	X		X															
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas		X				X				X	X	X				X		
	TLL	Trincas Longitudinais Longas								X	X			X	X				X	
	TRR	Trincas Isoladas Retração																		
	2 J	Couro de Jacaré						X	X		X	X								
FCII	TB	Trincas em Bloco						X	X		X	X			X					
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão																		
	TBE	Trincas Bloco com erosão													X					
	4 ALP	Afundamento Plástico Local																		
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																		
	5 O	Ondulação			X										X	X	X	X		
	P	Panela						X	X											
	6 EX	Exsudação																		
	7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	8 R	Remendo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	ALC	Afundamento Consolidação Local																		
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha																		
	E	Escorregamento																		
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)																		
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)																		

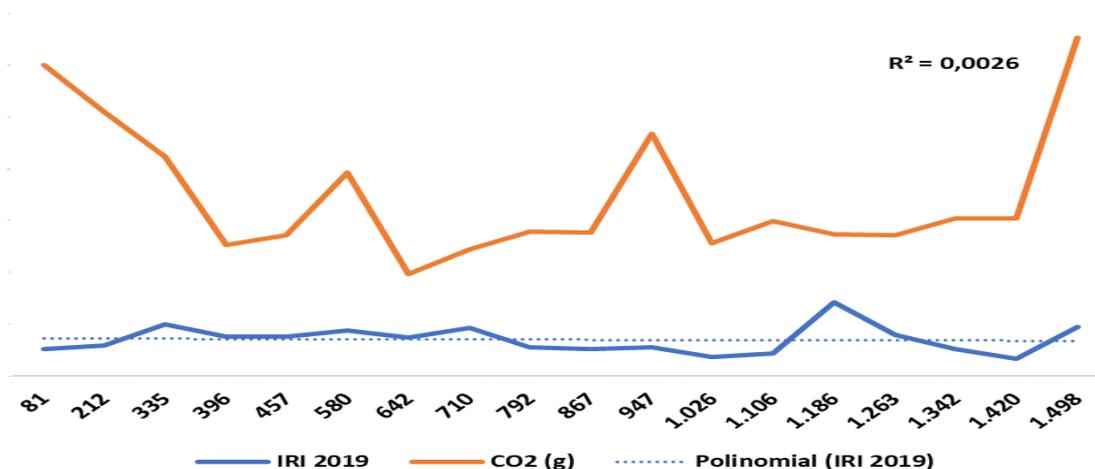
Fonte: o autor (2019).

Com relação às emissões dos poluentes CO₂ e NO_x, o acumulado emitido no trecho foi de 627,4g de CO₂ e 0,04g de NO_x em uma distância total percorrida de aproximadamente 1,5km e diferença percentual entre os trechos do levantamento pelo IRI e pela emissão menor que 5% como indicado nos Apêndices. Na resolução 491 do CONAMA, não há padrões de qualidade do ar medidos com relação a emissão de CO₂ cujas concentrações são, significativamente, mais relevantes que as emissões de NO_x avaliadas. Assim, a qualidade do ar local está dentro dos padrões de qualidade, no entanto a alta emissão de CO₂ causa efeitos globais como o efeito estufa. A correlação entre as emissões de CO₂ e de NO_x foi baixa, apenas 0,36 e a correlação entre os dados de IRI e de emissão de CO₂ foi próxima a zero; já o coeficiente de *Pearson*, que expressa a relação linear entre os dados de IRI e de CO₂, foi 0,166. Desse modo, pelo modelo proposto não se pode inferir direta relação entre a qualidade do revestimento e as emissões de poluentes; contudo, outros fatores como número de interseções entre vias influenciam a emissão desses poluentes CO₂ e NO_x avaliados. A taxa média de emissão de CO₂ por

quilômetro percorrido na rua Érico Mota foi de 0,4145g/km. Os Gráficos 12 e 13 contêm as comparações IRI × CO₂ e CO₂ × NO_x, respectivamente.

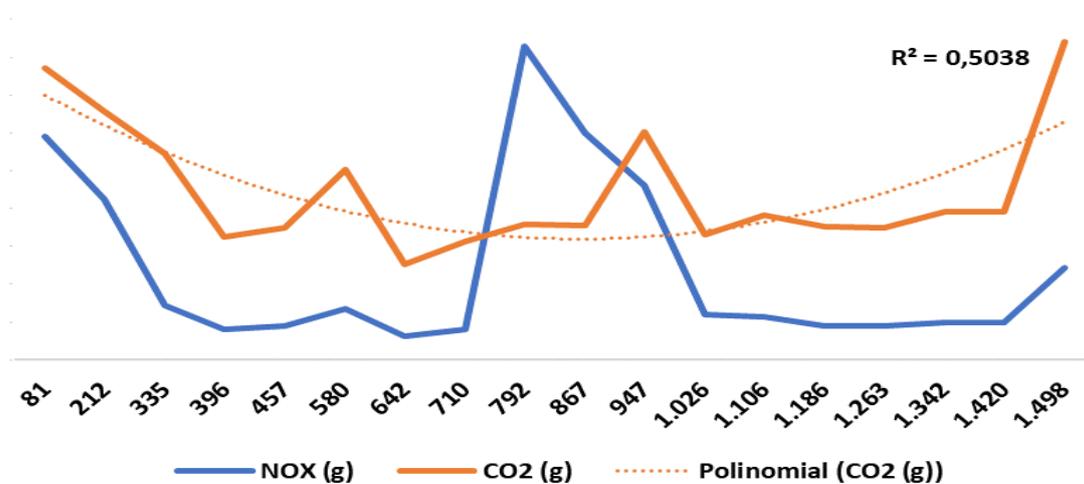
O Volume Médio Diário (VMD) de veículos na rua Érico Mota é reduzido em comparação ao VMD das outras vias analisadas; a mesma é classificada como via local com trânsito mais residencial. As equações das curvas polinomiais dos Gráficos 12 e 13, com os valores do coeficiente de determinação (R²) próximas a zero e a 5%, respectivamente, demonstram que o modelo proposto não é adequado para explicar uma parcela significativa dos resultados.

Gráfico 12 – Comparação IRI × CO₂ na rua Érico Mota



Fonte: o autor (2019).

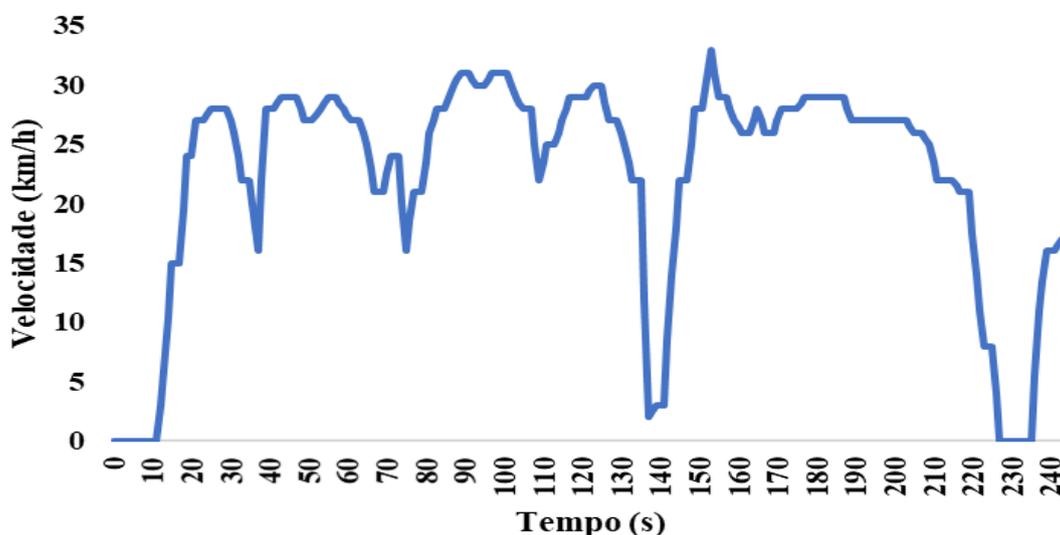
Gráfico 13 – Comparação CO₂ × NO_x na rua Érico Mota



Fonte: o autor (2019).

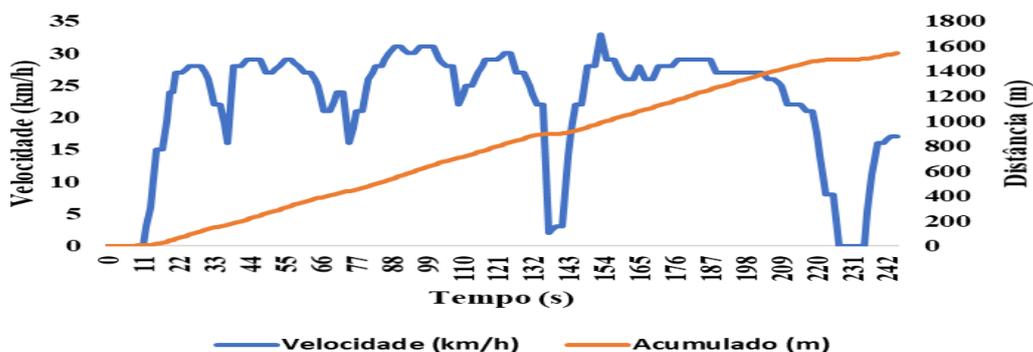
O ciclo de condução realizado na rua Érico Mota, apresentado no Gráfico 14, e posteriormente sobreposto com os dados de emissão de velocidade (Gráfico 15) e emissão de CO₂ (Gráfico 16), apresenta um pico de aceleração que pode ser relacionado ao pico de emissão. A alta emissão de poluentes ocorre no momento de desenvolvimento de velocidade do veículo, aceleração, enquanto os menores valores de emissão ocorrem nos momentos em que o veículo permaneceu parado ou em desaceleração. Com isso, pode-se afirmar a influência do padrão de condução nas emissões de poluentes. Como a qualidade do revestimento foi evidenciada como ruim, pode-se aderir a hipótese de que a má qualidade do revestimento está relacionada ao aumento das emissões já que o coeficiente de relação linear (*Pearson*) apresenta o valor de 0,166 em uma escala de -1 a +1.

Gráfico 14 – Ciclo de condução da rua Érico Mota



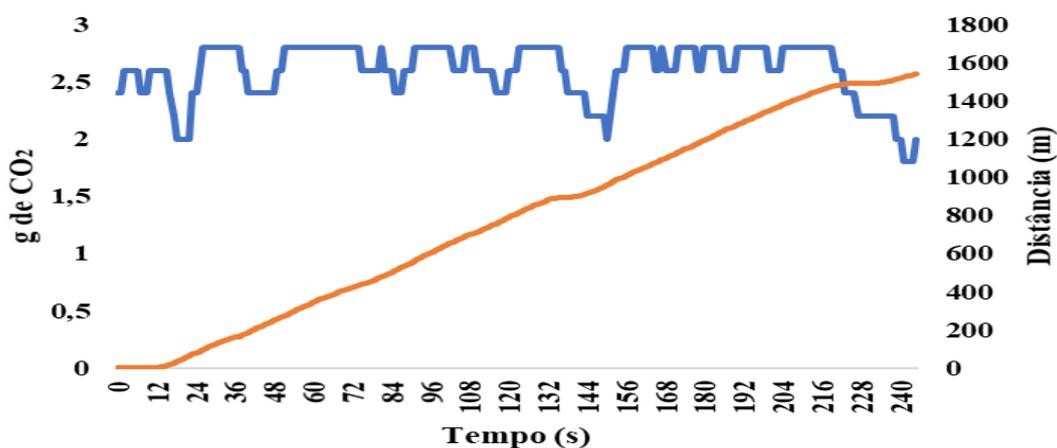
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 15 - Velocidade do veículo ao longo da rua Érico Mota



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 16 - Emissão de CO₂ na rua Érico Mota



Fonte: o autor (2019).

Devido à via apresentar uma classificação local, seu VMD tende a ser baixo; então, uma das variáveis que pode mais influenciar a emissão de poluentes, além da qualidade do revestimento, é a quantidade de interseções. Como a via apresenta interseção, semaforizada ou não semaforizada, que exige alteração na condução, essa conduta influencia na emissão de poluentes.

5.4 Avenida 13 de Maio

5.4.1 Sentido avenida Jovita Feitosa (IDA)

A análise dos dados coletados na avenida 13 de Maio foi realizada para os dois sentidos da via, calculando-se diferentes valores de IRI, dados de LVC e coletas de emissões. Os dados referentes a via analisados no sentido da avenida Pontes Vieira para a avenida Jovita Feitosa foram considerados como “IDA” e as análises dos dados no sentido da avenida Jovita Feitosa para a avenida Pontes Vieira foram considerados como “VOLTA”.

A classificação da avenida 13 de Maio, sentido “IDA”, por meio do LVC indicou que o pavimento está em condição considerada como péssima já que este apresentou IGG igual a 162, como mostrado na Tabela 16. O detalhamento desses dados está exposto na Tabela 17. Os defeitos apresentados são típicos de fim de vida útil do pavimento, tais como: desgastes, fissuras e trincas. Defeitos de início de vida útil, como: afundamento plástico por trilha de roda, foram observados apenas em trechos recapeados e localizados próximos a paradas de ônibus, ou seja, em áreas onde ocorrem ações de frenagem. O IRI

médio da via resultou em 3,75 cuja classificação é considerada como regular, segundo os parâmetros do manual do DNIT (2011).

Tabela 16 – Cálculo do IGG da avenida 13 de Maio sentido “IDA”

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	24	85,71%	0,2	17,14
2	(FCII)J, TB	11	39,29%	0,5	19,64
3	(FCIII) JE, TBE	4	14,29%	0,8	11,43
4	ALP, ATP	2	7,14%	0,9	6,43
5	O, P	15	53,57%	1,0	53,57
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	24	85,71%	0,3	25,71
8	R	13	46,43%	0,6	27,86
9	$F = (TRI+TER)/2$ em mm	TRI=	TRE=	F=	0
10	$FV = (TRIV+TRÉV)/2$	TRIV=	TRÉV=	FV=	0,000
Nº de Estações Inventariadas		24	IGI= (F x1/4) quando F <= 30		IGI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		162	IGI= 40 quando F > 30		IGI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

Tabela 17- Detalhes dos defeitos encontrados na avenida 13 de Maio sentido “IDA”

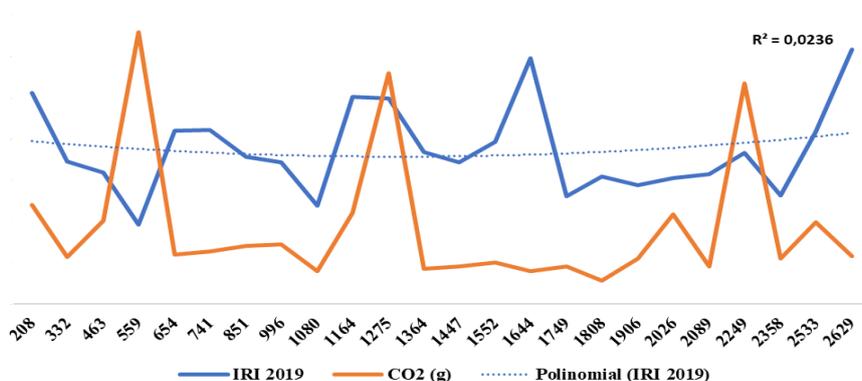
Trecho	109,5 m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tipo	OK	Sem Defeito																								
FCI	1 FI	Fissuras	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	TTC	Trincas Transversais Curtas		X						X				X	X								X			
	TTL	Trincas Transversais Longas		X													X									
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas		X	X			X						X									X		X	
	TLL	Trincas Longitudinais Longas	X		X	X				X						X							X			
	TRR	Trincas Isoladas Retração																								
FCII	2 J	Couro de Jacaré				X											X		X							
	TB	Trincas em Bloco		X								X	X				X	X		X		X			X	
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão		X	X							X														
	TBE	Trincas Bloco com erosão													X											
	4 ALP	Afundamento Plástico Local																								
	ATP	Afundamento Plástico Trilha	X					X																		
	5 O	Ondulação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	P	Panela	X																						X	
	6 EX	Exsudação																								
	7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	8 R	Remendo								X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	
	ALC	Afundamento Consolidação Local																								
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha																								
	E	Escorregamento																								
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)																								
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)																								

Fonte: o autor (2019).

O trecho da via estudada possui extensão de aproximadamente 2.600m com 24 sub-trechos como detalhado no Apêndice 4. A correlação (R^2) entre os dados de emissão de poluentes CO_2 e NO_x foi de 0,45, considerada baixa. Enquanto a comparação entre o valor de IRI e o resultado das emissões de CO_2 não apresentou correlação. Desse modo, pode-se inferir que outros fatores, não considerados na análise como as interseções entre vias, podem ter interferido de forma significativa na comparação entre esses citados dados. A taxa média de emissão de CO_2 na via foi de 0,44g por CO_2 /metro. Assim, a emissão total de CO_2 e de NO_x na avenida 13 de Maio no sentido “IDA” foi de, respectivamente, 1155,6g e 0,13g.

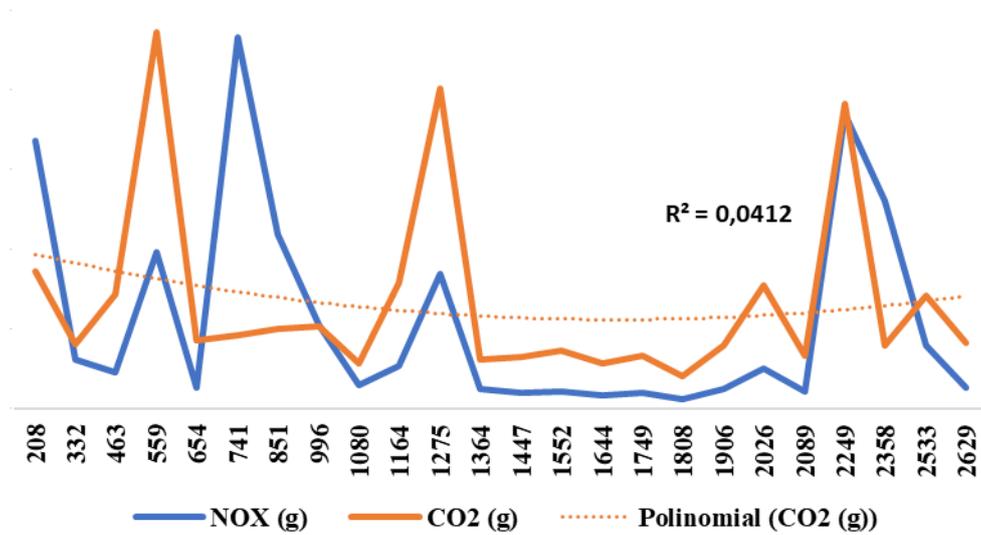
A comparação entre $IRI \times CO_2$ e $CO_2 \times NO_x$ está representada nos Gráficos 17 e 18, respectivamente. Como pode-se observar, não foi possível determinar um padrão de relação entre os dados por meio do Gráfico 17, corroborando com o resultado de correlação encontrado de aproximadamente zero. Por outro lado, o Gráfico 18 apresenta picos e vales coincidentes, embora a correlação seja baixa; esse comportamento pode significar que a aceleração e a desaceleração do veículo estão diretamente relacionadas às emissões devido aos comportamentos serem coincidentes nos mesmos tempos no eixo representado em segundos. Para complementar a análise, gerou-se o ciclo de condução expresso no Gráfico 19 que apresenta picos elevados de velocidades em um curto intervalo de tempo. A partir dos dados apresentados no Gráficos 20 e 21, o fenômeno do “*stop and go*” pode ser identificado. Esse comportamento influencia, diretamente, na emissão de poluentes. Desse modo, como evidenciado nos Gráficos 20 e 21; pode-se interpretar a relação direta entre o desenvolvimento de velocidade e o aumento da emissão de poluentes, assim como a desaceleração culmina em redução nas emissões de CO_2 .

Gráfico 17 – Comparação $IRI \times CO_2$ na avenida 13 de Maio sentido “IDA”



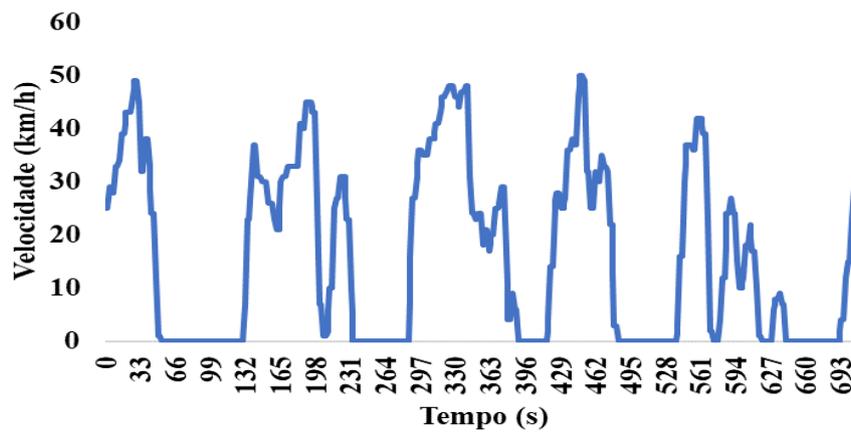
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 18 – Comparação CO₂ × NO_x na avenida 13 de Maio sentido “IDA”



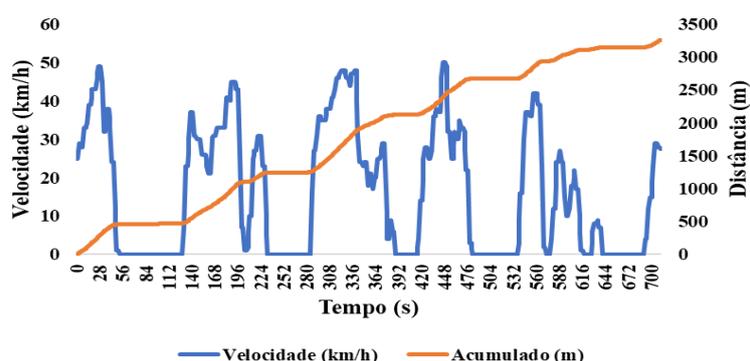
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 19 – Ciclo de condução da avenida 13 de Maio sentido “IDA”



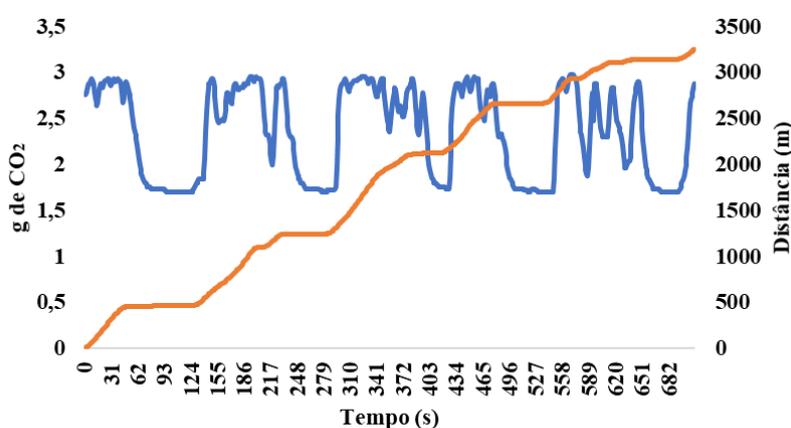
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 20 - Velocidade do veículo ao longo da avenida 13 de Maio sentido “IDA”



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 21 - Emissão de CO₂ na avenida 13 de Maio sentido “IDA”



Fonte: o autor (2019).

O valor de R entre os dados de IRI e de emissão de CO₂ não apresentaram relação linear entre si. Esse resultado indica que os valores não estão correlacionados, porém o ciclo de condução sobreposto com a emissão de poluentes, Gráfico 21, apresenta comportamento similar as vias anteriormente discutidas. Esse padrão de resultado gera uma hipótese de que outros fatores, além da qualidade do revestimento, estão influenciando significativamente esses dados. Com isso, no estudo da via 13 de Maio sentido “IDA” não foi possível inferir que a qualidade do revestimento asfáltico influencia diretamente as emissões, mas não se pode descartar que há influência devido ao padrão do gráfico seguir as tendências das vias anteriores.

5.4.2 Sentido avenida Pontes Vieira (VOLTA)

Os dados coletados para a avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”, sentido da avenida Jovita Feitosa para a avenida Pontes Vieira, são similares aqueles encontrados para o sentido “IDA”. O IRI médio da via foi de 4,22 cuja classificação, segundo o manual do DNIT (2011), quanto a sua degradação foi, na escala, considerado como “mau”. O IGG foi de 172 cuja classificação quanto ao grau de degradação do revestimento é considerada como péssima. Assim, como ocorreu no sentido “IDA”, os defeitos apresentados são típicos de fim de vida útil do pavimento, tais como: alta frequência de desgaste, fissuras e trincas. Além disso, a alta frequência de remendos também indica que o pavimento está muito degradado considerado que esse tipo de defeito surge a partir de formações do tipo painelas. As Tabelas 18 e 19 representam os defeitos encontrados na avenida 13 de Maio no sentido “VOLTA”.

A extensão do trecho estudado é de aproximadamente 3.000m. Desse modo, 28 sub-trechos foram analisados, não apenas 24, como aconteceu anteriormente. No entanto, como o cálculo do IGG é relativizado para a quantidade de sub-trechos, a análise comparativa não foi comprometida.

Tabela 18 – Cálculo do IGG para a avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC,TLL,TRR	26	92,86%	0,2	18,57
2	(FCI)J,TB	7	25,00%	0,5	12,50
3	(FCII) JE, TBE	2	7,14%	0,8	5,71
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0,00
5	O, P	19	67,86%	1,0	67,86
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	25	89,29%	0,3	26,79
8	R	19	67,86%	0,6	40,71
9	$F = (TRI+TER)/2$ em mm	TRI=	TRE=	F=	0
10	$FV = (TRIV+TRÉV)/2$	TRIV=	TRÉV=	FV=	0,000
Nº de Estações Inventariadas		28	GI= (F x1/4) quando F <= 30		GI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		172	GI= 40 quando F > 30		GI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

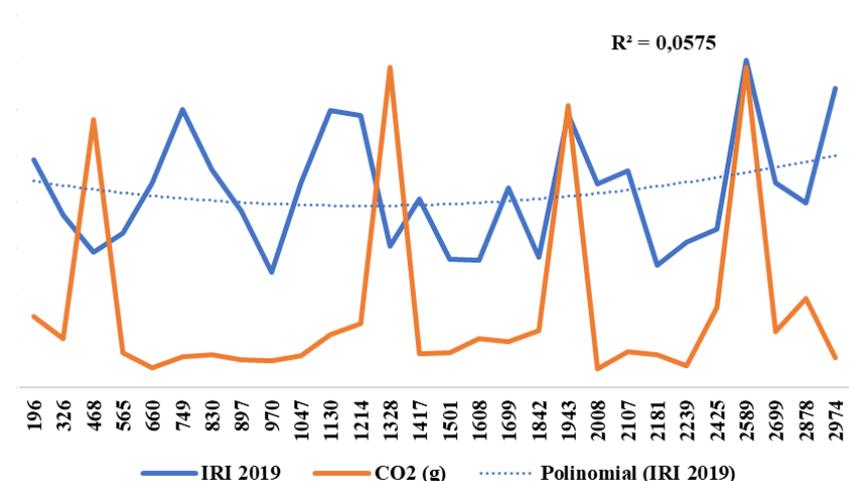
Tabela 19- Detalhes dos defeitos encontrados na avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”

Trecho	106,2 m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Tipo	OK	Sem Defeito																												
FCI	1 FI	Fissuras	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X
	TTC	Trincas Transversais Curtas																						X					X	X
	TTL	Trincas Transversais Longas																												
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas					X												X										X	
	TLL	Trincas Longitudinais Longas		X							X				X			X						X			X			
	TRR	Trincas Isoladas Retração																												
	2 J	Couro de Jacaré													X		X			X										
FCII	TB	Trincas em Bloco													X			X							X					
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão																												
	TBE	Trincas Bloco com erosão		X																									X	
	4 ALP	Afundamento Plástico Local																												
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																												
	5 O	Ondulação	X	X	X	X	X			X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	P	Panela		X	X																							X		
	6 EX	Exsudação																												
	7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	8 R	Remendo	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	ALC	Afundamento Consolidação Local																												
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha																												
	E	Escorregamento																												
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)																												
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)																												

Fonte: o autor (2019).

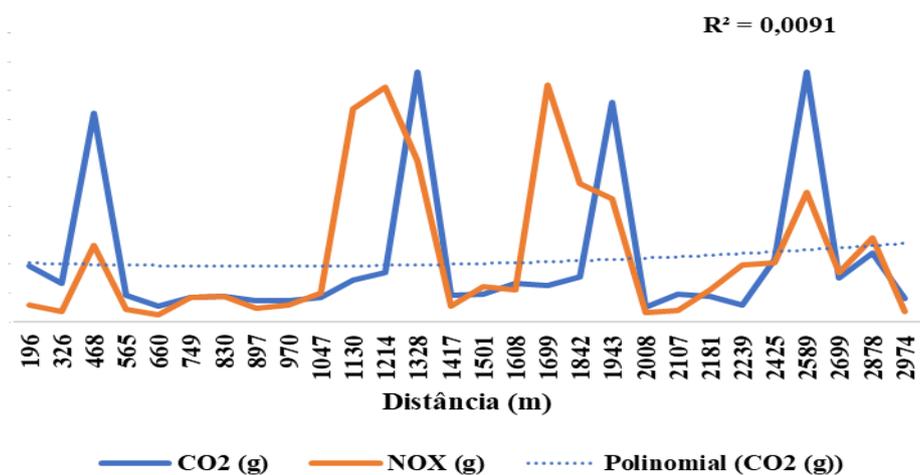
Os Gráficos 22 e 23 apresentam, respectivamente, a comparação entre os dados de emissão dos poluentes CO₂ e NO_x e os dados referentes a correlação entre IRI × CO₂, cujas correlações seguiram o mesmo padrão encontrado no sentido de “IDA”. A correlação (R²) entre CO₂ × NO_x foi de 0,41, ou seja, baixa e a correlação entre IRI × CO₂ foi de 0,183, o que pode ser considerado muito baixa. Desse modo, a hipótese de que outros fatores, como número de interseção entre vias, não considerados na presente análise, podem ter influenciado, significativamente, os resultados obtidos. A taxa média de emissão de poluentes no trecho foi de 0,40g de CO₂/m. Além disso, a emissão total no trecho estudado foi 1194,4g de CO₂ e de 0,19g de NO_x.

Gráfico 22 – Comparação IRI x CO₂ para a avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 23 – Comparação CO₂ × NO_x da avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”

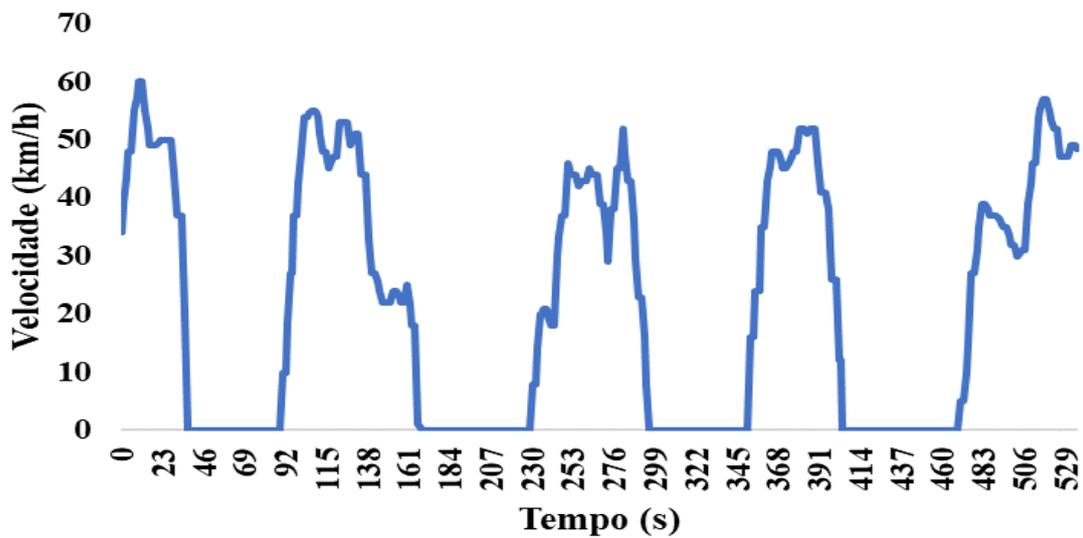


Fonte: o autor (2019).

A partir da análise do ciclo de condução apresentado no Gráfico 24, constata-se que o fenômeno do “*stop and go*”, como ocorreu no trecho no sentido “IDA” da via, fica evidente devido aos picos e vales de velocidades. Diante disso, para avaliar a influência das interseções entre vias e o impacto das mesmas na análise, os Gráficos 25 e 26, mapeiam as velocidades desenvolvidas pelo condutor em função do ciclo de condução e da emissão de CO₂, respectivamente. Desse modo, como foi identificado na avenida 13 de Maio sentido “IDA”, há direta relação entre o padrão de condução do veículo e a emissão do poluente CO₂ no ar. A emissão de CO₂ no ar não está relacionada a qualidade

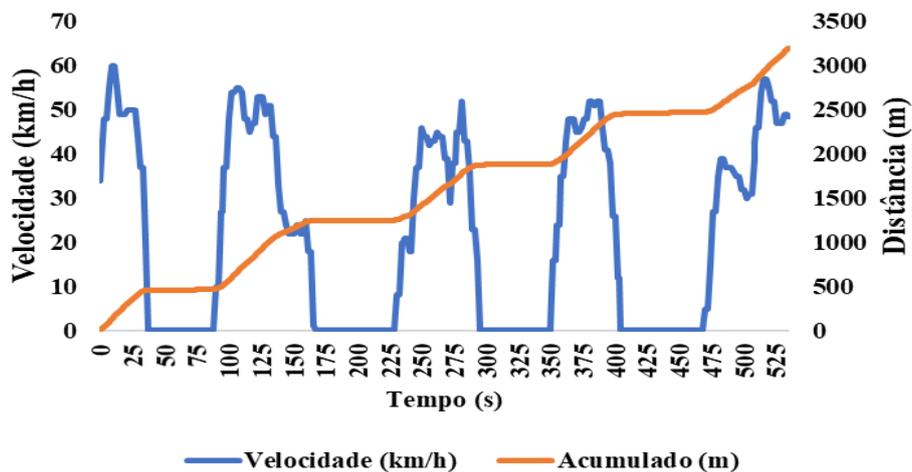
do ar local, no entanto seus efeitos estão ligados a efeitos globais de qualidade do ar e do clima, como o efeito estufa. Assim, à medida que mais CO₂ é lançado na atmosfera, mais as consequências desse efeito climático poderão ser identificadas, tais como o aquecimento global e a dificuldade de renovação do ar.

Gráfico 24 – Ciclo de condução da avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”



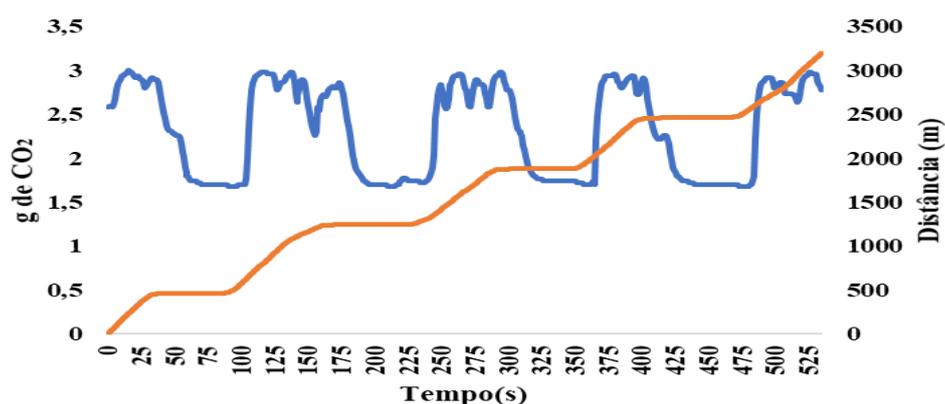
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 25 - Velocidade do veículo ao longo da avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 26 - Emissão de CO₂ na avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”



Fonte: o autor (2019).

O resultado do coeficiente de *Pearson* foi 0,428 para o sentido de volta da avenida 13 de Maio; com isso, uma mesma via avaliada em sentidos opostos apresentou resultados distintos de correlação entre os dados de emissão de poluentes e de IRI. Apesar dos ciclos de condução seguirem a tendência apresentada nas vias anteriormente discutidas, essa tendência não se refletiu nas correlações. Desse modo, outros fatores não controlados na análise podem estar influenciando os resultados. Caso as interseções entre vias possam ser desconsideradas em um outro modelo, ou outra amostra, devido a sua influência no ciclo de condução e, conseqüentemente, nas emissões, os resultados obtidos podem retratar melhor a influência da qualidade do revestimento asfáltico nas emissões.

5.5 Avenida Jovita Feitosa

5.5.1 Sentido Campus do Pici “IDA”

Para a avenida Jovita Feitosa o trecho de “IDA” é no sentido da avenida 13 de Maio ao campus do Pici, na Universidade Federal do Ceará (UFC). Logo, o trecho de “VOLTA” foi determinado no sentido do campus do Pici à avenida 13 de Maio. O trecho em estudo inicial da avenida, trecho de “IDA”, possui aproximadamente 2.400m de extensão e classificação considerada como ruim por meio do valor de IGG que foi igual a 149 e classificação considerada como regular por meio do IRI médio com valor de 3,91. A taxa média de emissão foi de 0,38g de CO₂/m, com emissão total durante a coleta de 899g de CO₂ e 0,02g de NO_x. Esse nível de emissão de dióxido de nitrogênio é considerado aceitável para os padrões de qualidade do ar expressos na resolução 491 do CONAMA de 2018. As Tabelas 20 e 21 contém o cálculo do IGG e o detalhamento dos defeitos encontrados na via.

Tabela 20 – Cálculo do IGG para a avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	17	60,71%	0,2	12,14
2	(FCII)J, TB	10	35,71%	0,5	17,86
3	(FCIII)JE, TBE	4	14,29%	0,8	11,43
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0,00
5	O, P	13	46,43%	1,0	46,43
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	19	67,86%	0,3	20,36
8	R	19	67,86%	0,6	40,71
9	$F = (TRI+TER)/2$ em mm	TRI= 0	TRE= 0	F= 0	0
10	$FV = (TRIV+TRIV)/2$	TRIV= 0	TREv= 0	FV= 0	0,000
Nº de Estações Inventariadas		19	IGI= (F x1/4) quando F <= 30		IGI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		149	IGI= 40 quando F > 30		IGI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

Tabela 21 - Detalhes dos defeitos encontrados na avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”

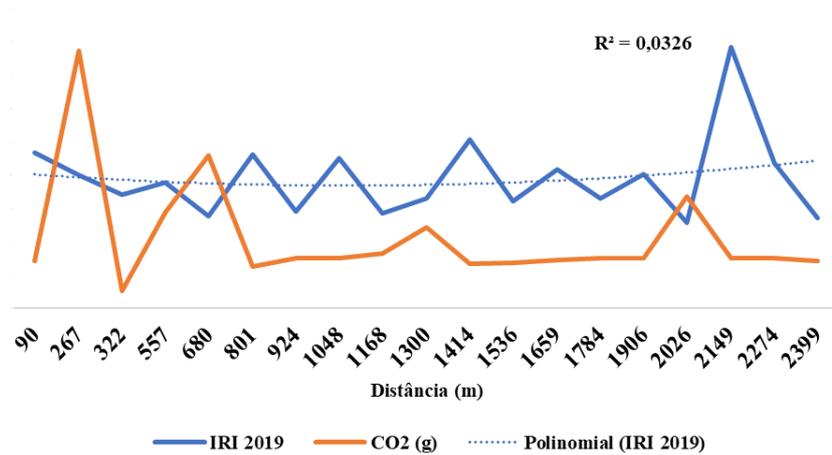
Trecho	126,3 m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo	OK	Sem Defeito																			
FCI	1 FI	Fissuras	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
	TTC	Trincas Transversais Curtas										X					X				
	TTL	Trincas Transversais Longas																			
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas						X	X		X	X		X		X					
	TLL	Trincas Longitudinais Longas				X								X			X	X	X		
	TRR	Trincas Isoladas Retração																			
	2 J	Couro de Jacaré													X						
FCII	TB	Trincas em Bloco	X				X				X	X	X			X		X	X	X	
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão																			
	TBE	Trincas Bloco com erosão									X	X			X	X					
	4 ALP	Afundamento Plástico Local																			
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																			
	5 O	Ondulação		X	X	X	X	X			X		X	X	X	X			X	X	
	P	Panela						X	X		X										
	6 EX	Exsudação																			
	7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	8 R	Remendo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ALC	Afundamento Consolidação Local																			
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha																			
	E	Escorregamento																			
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)																			
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)																			

Fonte: o autor (2019).

No trecho no sentido de “IDA” da avenida Jovita Feitosa, a correlação (R^2) entre as emissões de CO_2 e de NO_x foi considerada elevada, 0,90. Além disso, nesse mesmo trecho, a correlação (R^2) entre o IRI e a emissão de CO_2 foi considerada razoável, no valor de 0,52. Desse modo, pode-se avaliar que há correlação entre os dados, no entanto, por

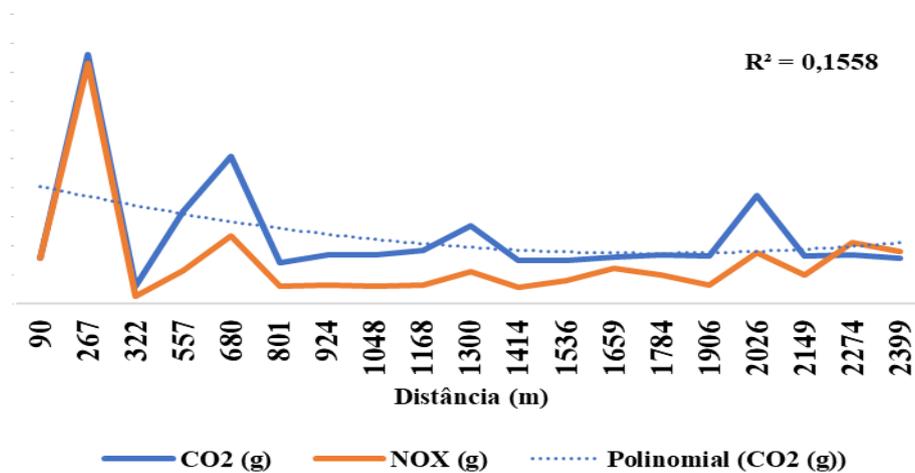
meio desses resultados, não é possível inferir que a qualidade do revestimento asfáltico influencia diretamente na geração de emissões de poluentes no ar. Os Gráficos 27 e 28 apresentam os resultados das correlações mencionadas.

Gráfico 27 – Comparação IRI x CO₂ para a avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 28 – Comparação CO₂ x NO_x para a avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”

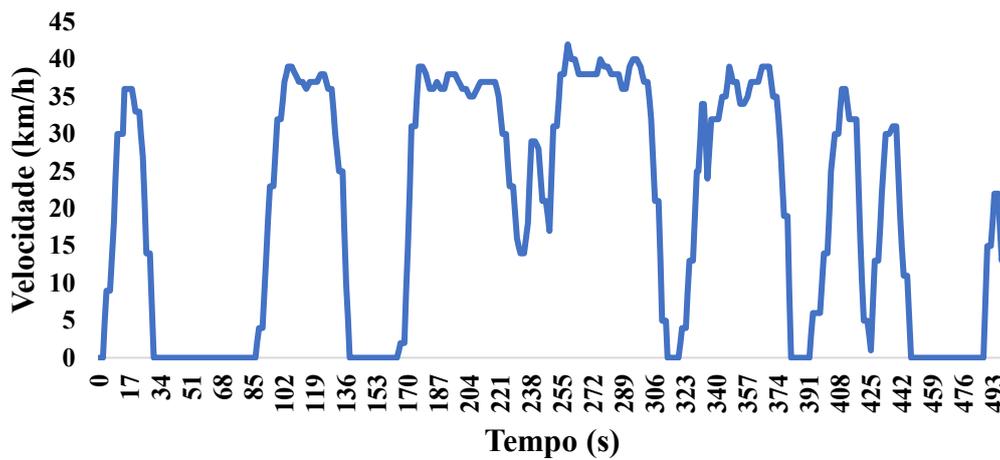


Fonte: o autor (2019).

No Gráfico 29, o ciclo de condução apresenta valores de velocidades máximas atingidas elevadas e com desenvolvimento de altas velocidades em curtos intervalos de tempo. Esse comportamento do condutor pode ser avaliado como agressivo, impactando na geração de poluentes por meio do escapamento do veículo. Apesar da influência do “*stop and go*”, como apresentado nos Gráficos 30 e 31, nas emissões de poluentes, não é

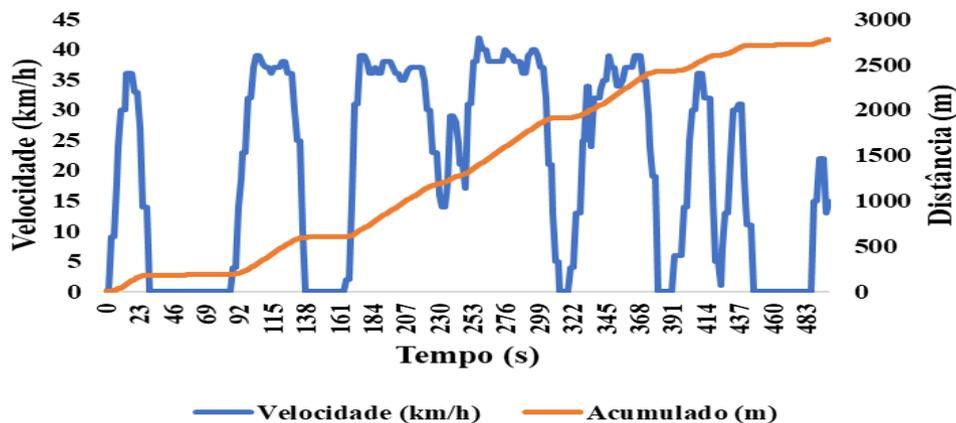
possível inferir que o único motivo de influência nas emissões de poluentes seja o padrão de condução. Percebe-se, por meio da interpretação desses gráficos, que essa relação é existente e fica evidente na sobreposição demonstrada no Gráfico 30, entre distância percorrida, tempo e emissão de CO₂; porém, não se pode afirmar que esse seja o único fator. Por isso, não se descarta a possibilidade de influência da qualidade do revestimento asfáltico na emissão de poluentes no ar em grandes centros urbanos.

Gráfico 29 – Ciclo de condução desenvolvido na avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”



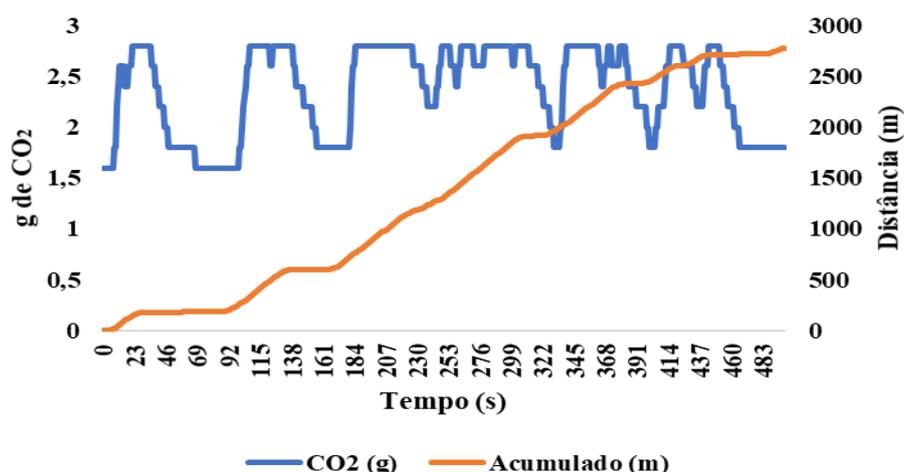
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 30 - Velocidade do veículo ao longo da avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 31 - Emissão de CO₂ na avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”



Fonte: o autor (2019).

O valor de correlação linear R entre o IRI e as emissões, coeficiente de *Pearson*, foi 0,723 para o sentido “IDA” da avenida Jovita Feitosa. Além da relação linear entre os dados, o Gráfico 31 manteve o padrão de tendência da rua Vicente Linhares cujo mapeamento das interseções foi realizado por meio de GPS. Assim, há a hipótese de que a qualidade do revestimento asfáltico influencie a emissão de poluentes para esse trecho.

5.5.2 Sentido avenida Pontes Vieira “VOLTA”

Os dados obtidos na avenida Jovita Feitosa no sentido determinado como “VOLTA” apresentaram IGG igual a 98, considerado como ruim para a classificação do revestimento como demonstrado na Tabela 22 e detalhado na Tabela 23. Com IRI médio igual a 3,69, o revestimento tem grau de degradação considerada regular (Apêndice 7). O trecho em estudo possui extensão aproximada de 2.200m e, durante a coleta de poluentes, a taxa média de emissão foi de 0,34g de CO₂/m. A quantidade total de emissão de CO₂ na via analisada foi de 753,6g, enquanto a emissão de NO_x no mesmo trecho foi de 0,1g, valor considerado como não preocupante de acordo com a resolução 491 do CONAMA de 2018.

Tabela 22 – Cálculo do valor de IGG para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC,TLL,TRR	16	57,14%	0,2	11,43
2	(FCII),TB	7	25,00%	0,5	12,50
3	(FCIII) JE, TBE	0	0,00%	0,8	0,00
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0,00
5	O, P	8	28,57%	1,0	28,57
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	16	57,14%	0,3	17,14
8	R	13	46,43%	0,6	27,86
9	F = (TRI+TER)/2 em mm	TRI= 0	TRE= 0	F= 0	0
10	FV= (TRIV+TRIV)/2	TRIV= 0	TREv= 0	FV= 0	0,000
Nº de Estações Inventariadas		17	GI= (F x1/4) quando F <= 30		GI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		98	GI= 40 quando F > 30		GI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

Tabela 23 - Detalhes dos defeitos encontrados na avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”

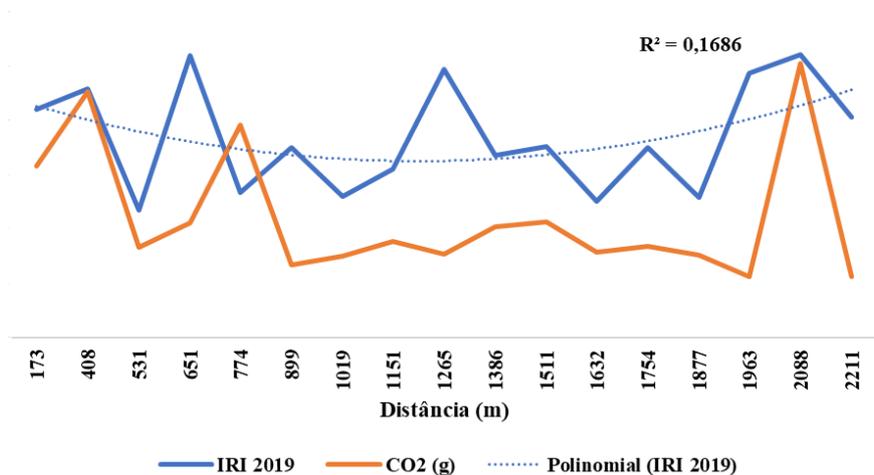
Trecho	130,1 m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Tipo	OK	Sem Defeito																		
FCI	1 FI	Fissuras	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	TTC	Trincas Transversais Curtas					X													
	TTL	Trincas Transversais Longas																		
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas	X			X	X				X		X							
	TLL	Trincas Longitudinais Longas		X							X									
	TRR	Trincas Isoladas Retração																		
FCII	2 J	Couro de Jacaré																		
	TB	Trincas em Bloco		X	X	X		X	X				X					X		
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão																		
	TBE	Trincas Bloco com erosão																		
	4 ALP	Afundamento Plástico Local																		
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																		
	5 O	Ondulação	X		X				X	X		X		X			X		X	
	P	Panela	X		X						X								X	X
	6 EX	Exsudação																		
	7 D	Desgaste	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	8 R	Remendo	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ALC	Afundamento Consolidação Local																		
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha																		
	E	Escorregamento																		
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)																		
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)																		

Fonte: o autor (2019).

As emissões de CO₂ e de NO_x apresentaram correlação (R²) considerada média (0,33), segundo Bari e Witzak (2006). A correlação (R²) entre o IRI e a emissão de CO₂

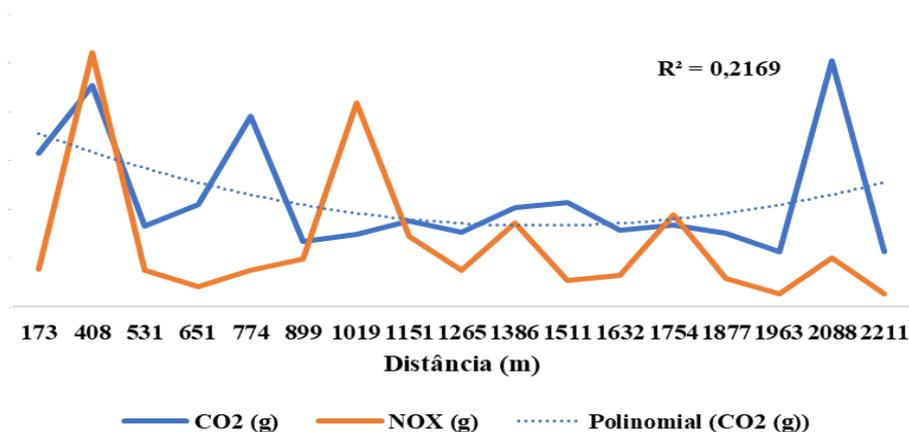
também foi considerada baixa (0,3). Esses valores de correlação considerados baixos contribuem para reforçar a hipótese de que outros fatores não observados nessa análise podem influenciar, de maneira significativa, os resultados encontrados. Os Gráficos 32 e 33 apresentam a comparação entre IRI × CO₂ e CO₂ × NO_x, respectivamente.

Gráfico 32 – Comparação entre IRI × CO₂ para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 33 – Comparação entre CO₂ × NO_x para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”

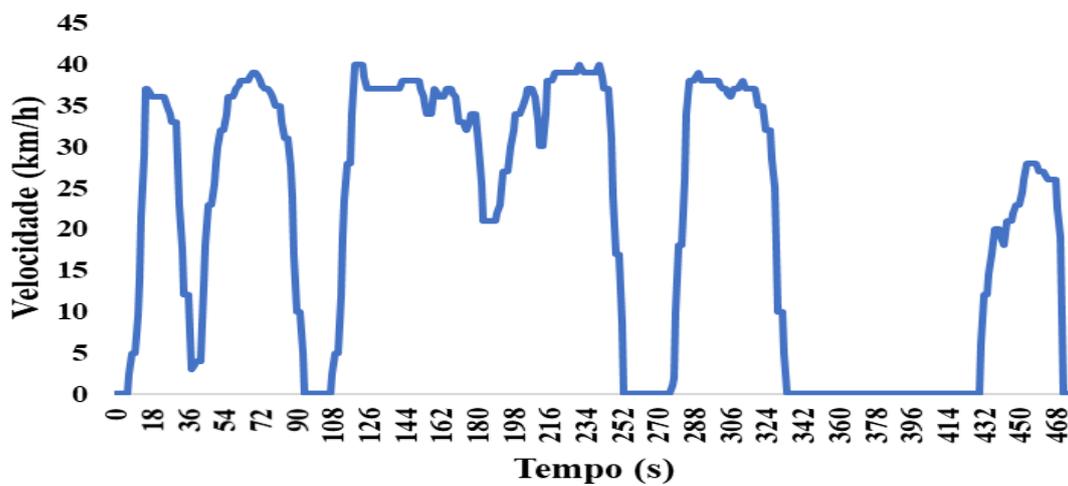


Fonte: o autor (2019).

O Gráfico 34 apresenta o ciclo de condução do veículo durante a coleta dos poluentes. O padrão de condução do motorista, com desenvolvimento de altas velocidades em curtos intervalos de tempo; ou seja, condução agressiva, influencia as

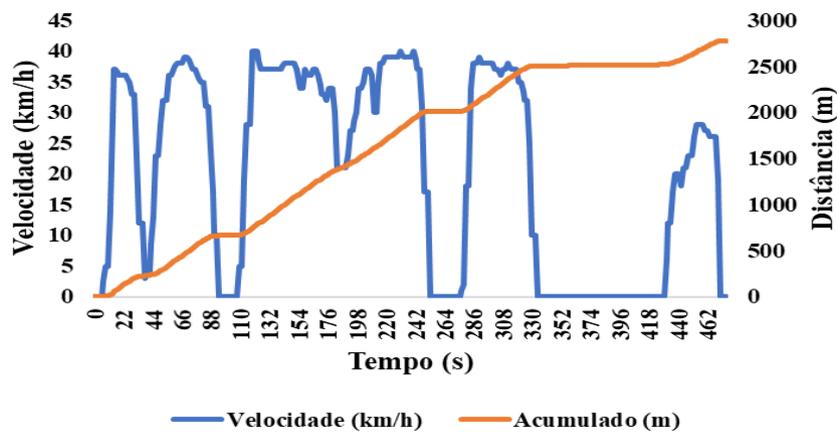
emissões de poluentes. Além disso, os Gráficos 35 e 36 demonstram, assim como os Gráficos 35 e 36, a relação entre o padrão de condução e a emissão de poluentes no ar. Com isso, pode-se afirmar a relação direta entre as interseções, semaforizadas ou não semaforizadas, com a emissão de CO₂ no ar. Porém, a influência da qualidade do revestimento asfáltico nas emissões de poluentes no ar não pode ser inferida apenas dos dados coletados. Desse modo, é necessário que novos estudos sejam realizados, como sugestão por exemplo em rodovias sem interseções, para que o efeito das interseções entre vias seja mitigado.

Gráfico 34 – Ciclo de condução para a avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”



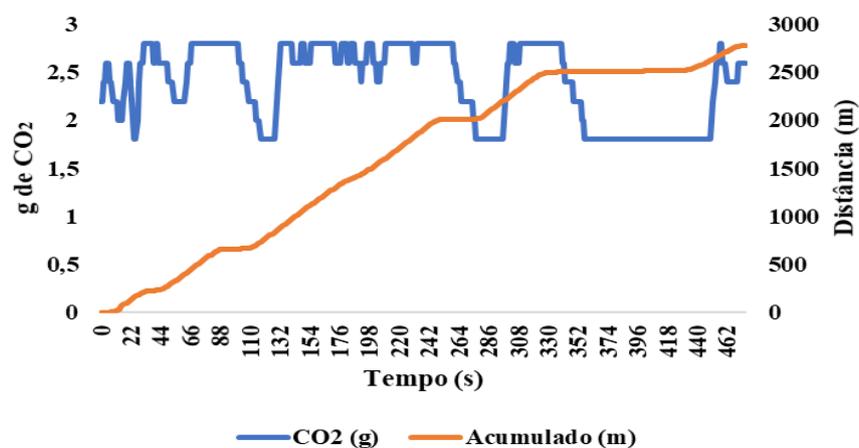
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 35 - Velocidade do veículo ao longo da avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 36 - Emissão de CO₂ na avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”



Fonte: o autor (2019).

O valor de correlação linear R entre o IRI e as emissões, coeficiente de *Pearson*, foi 0,565 para o sentido “VOLTA” da avenida Jovita Feitosa. Além da relação linear entre os dados, o Gráfico 36 manteve o padrão de tendência da rua Vicente Linhares cujo mapeamento das interseções foi realizado por meio de GPS. Assim, há a hipótese de que a qualidade do revestimento asfáltico influencie a emissão de poluentes para esse trecho, assim como influencia o trecho de “IDA”.

5.6 Avenida Virgílio Távora

A avenida Virgílio Távora foi analisada de maneira diferenciada às vias apresentadas anteriormente devido a uma intervenção que a via sofreu em sua estrutura, no intervalo entre a coleta de emissões de poluentes e a coleta de dados de IRI e a realização do LVC. Ainda assim, optou-se por manter estes resultados no presente trabalho para fins de comparação com as demais vias. Desse modo, os resultados encontrados no levantamento do IRI estão detalhados no Apêndice 7. A via possui duplo sentido com canteiro central entre eles, no entanto só foi analisado o sentido praia-sertão devido ao acesso restrito aos dados de IRI. Assim, o trecho em estudo possui extensão aproximada de 2.500m e classificação do grau de degradação do revestimento por meio do IRI médio igual a 3,19, considerado como regular. Esse resultado não foi o esperado, para a condição do pavimento considerada como excelente ou ótima, devido o tempo entre a intervenção na estrutura e a data da realização do levantamento ser inferior a 24 meses. Ademais, a classificação por meio do cálculo do IGG considerou-o, igualmente,

como regular. As Tabelas 24 e 25 expressam o cálculo do IGG e o detalhamento dos defeitos encontrados na via, respectivamente.

Tabela 24 – Cálculo do IGG para a avenida Senador Virgílio Távora

Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FCI)F, TTC, TTL, TLC,TLL,TRR	4	14,29%	0,2	2,86
2	(FCII)J,TB	0	0,00%	0,5	0,00
3	(FCIII)JE, TBE	0	0,00%	0,8	0,00
4	ALP, ATP	0	0,00%	0,9	0,00
5	O, P	6	21,43%	1,0	21,43
6	E	0	0,00%	0,5	0,00
7	D	1	3,57%	0,3	1,07
8	R	8	28,57%	0,6	17,14
9	$F = (TRI+TER)/2$ em mm	TRI= 0	TRE= 0	F= 0	0
10	$FV = (TRIV+TRIV)/2$	TRIV= 0	TRIV= 0	FV= 0	0,000
Nº de Estações Inventariadas		20	IGI= (F x1/4) quando F <= 30		IGI = FV quando FV <= 50
Índice de Gravidade Global		43	IGI= 40 quando F > 30		IGI = 50 quando FV > 50

Fonte: o autor (2019).

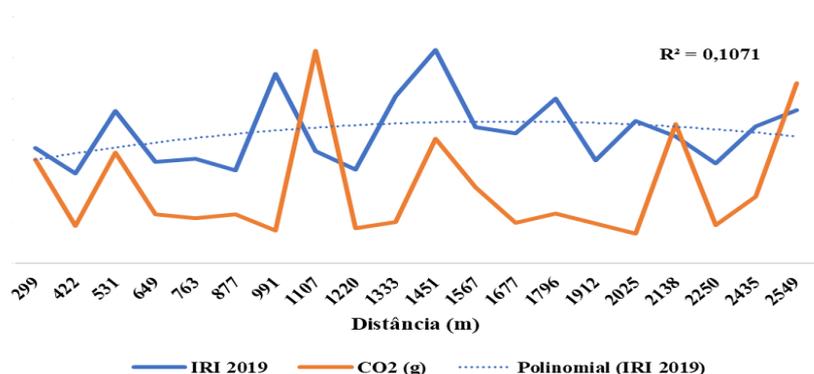
Tabela 25 - Detalhes dos defeitos encontrados para a avenida Senador Virgílio Távora

Trecho	127,4 m em média		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Tipo	OK	Sem Defeito																					
FCI	1 FI	Fissuras															X				X		
	TTC	Trincas Transversais Curtas																					
	TTL	Trincas Transversais Longas																					
	TLC	Trincas Longitudinais Curtas															X						
FCII	TLL	Trincas Longitudinais Longas						X															
	TRR	Trincas Isoladas Retração																					
	2 J	Couro de Jacaré																					
	TB	Trincas em Bloco																					
FCIII	3 JE	Couro de Jacaré com Erosão																					
	TBE	Trincas Bloco com erosão																					
4	ALP	Afundamento Plástico Local																					
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																					
5	O	Ondulação				X		X	X		X		X		X								
	P	Panela																					
6	EX	Exsudação																					
7	D	Desgaste							X														
8	R	Remendo				X					X		X		X	X	X		X	X	X		
	ALC	Afundamento Consolidação Local						X															
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha																					
	E	Escorregamento																					
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)																					
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)																					

Fonte: o autor (2019).

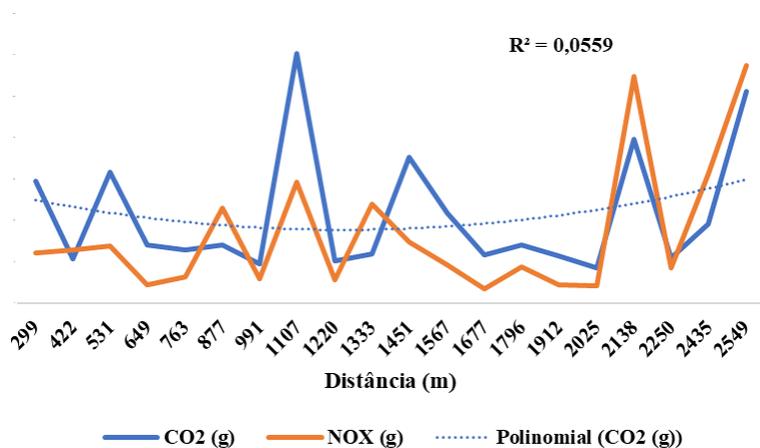
Os Gráficos 37 e 38 contém a demonstração das comparações entre IRI × CO₂ e CO₂ × NO_x, respectivamente. O resultado da correlação (R²) entre os poluentes foi de 0,70, considerada razoável e dentro do esperado já que os poluentes foram coletados ao mesmo tempo e a partir da mesma fonte emissora. Já o resultado da correlação entre IRI × CO₂ foi igual a 0,19, o que é considerada baixa, indicando que devem existir outros fatores relevantes à análise, como as interseções entre vias, que podem ter sido negligenciados e possuírem grau de influência alto. Na via, a taxa de emissão de poluente no ar foi de 0,54 g de CO₂/m, totalizando 852,8g de CO₂ emitidos no período de coleta e 0,2g de NO₂. Apesar do valor, representativamente, maior que a emissão de NO_x, o CO₂ não está contemplado nos parâmetros de controle da qualidade do ar expressos nas Tabelas 2 e 3 a partir dos dados da Resolução 491 do CONAMA.

Gráfico 37 – Comparação entre IRI × CO₂ para a avenida Senador Virgílio Távora



Fonte: o autor (2019).

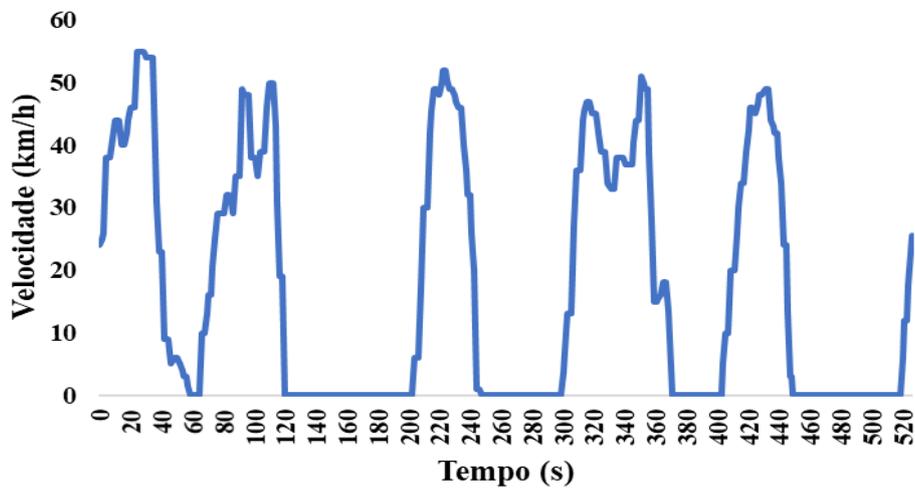
Gráfico 38 – Comparação entre CO₂ × NO_x para a avenida Senador Virgílio Távora



Fonte: o autor (2019).

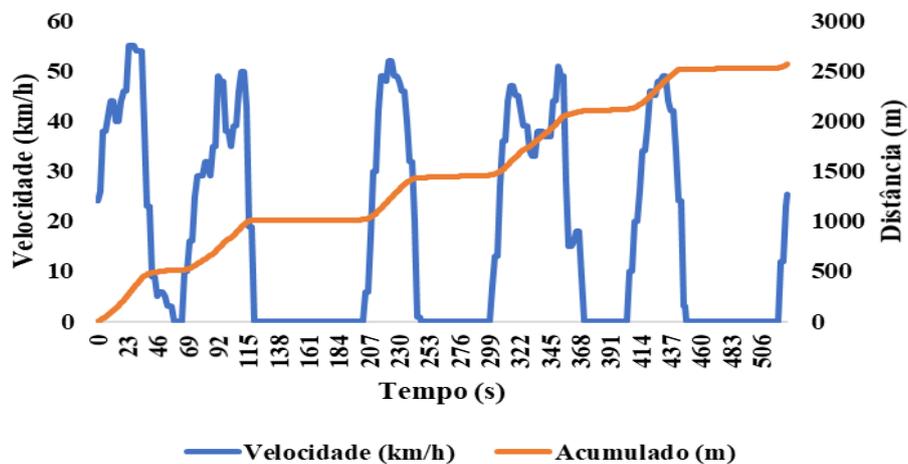
O Gráfico 39 traz a representação do ciclo de condução na avenida Senador Virgílio Távora cujo desenvolvimento de altas velocidades em curto intervalo de tempo caracteriza uma condução do tipo agressiva. Os vales e picos observados no ciclo de condução implicam em ações de “*stop and go*” cuja emissão de poluentes é mais evidente. Os Gráficos 40 e 41 demonstram as mesmas informações apresentadas anteriormente em relação a influência do “*stop and go*”, nesses casos estudados, as interseções entre vias; e corroboram com a hipótese de que o desenvolvimento de velocidade e a desaceleração até a parada do veículo, provocam, respectivamente, aumento e diminuição nas emissões de poluentes CO₂.

Gráfico 39 – Ciclo de condução para a avenida Senador Virgílio Távora



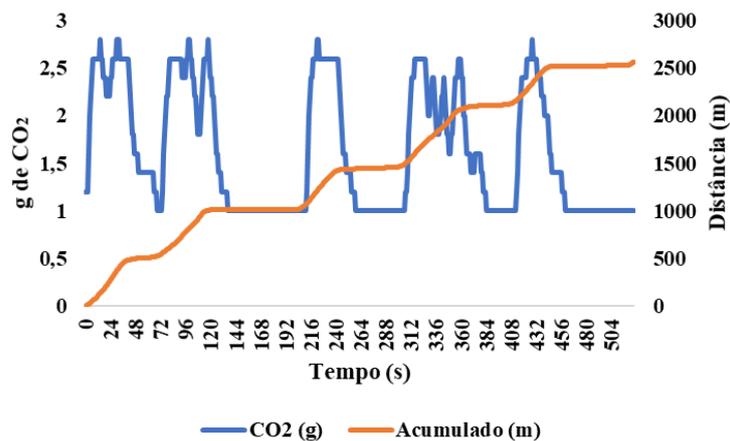
Fonte: o autor (2019).

Gráfico 40 - Velocidade do veículo ao longo da avenida Senador Virgílio Távora



Fonte: o autor (2019).

Gráfico 41 - Emissão de CO₂ na avenida Senador Virgílio Távora



Fonte: o autor (2019).

Apesar de intervenção na superestrutura da avenida Virgílio Távora entre as coletas de emissão de poluentes e de IRI, realizou-se a análise para a validação do método de estudo. Considerando-se apenas os Gráficos 40 e 41, antes da intervenção na superestrutura, a influência do ciclo de condução na emissão de poluentes pode ser observada assim como em todas as vias analisadas no presente trabalho. Além disso, o valor de R entre o IRI e as emissões foi de 0,436 cujo resultado foi representativo comparando-se com os resultados das vias anteriores. Por outro lado, o valor de R não pode ser considerado para fins conclusivos devido a mudança no revestimento asfáltico afetar significativamente os valores de IRI. Ainda assim, é importante ressaltar que as interseções, fator não considerado no momento de coleta, pode explicar o coeficiente de *Pearson* entre IRI e emissão de CO₂.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As análises entre as emissões de CO₂ e o fenômeno do “*stop and go*” mostrados neste trabalho apresentaram a forte relação entre o desenvolvimento de velocidade ao longo da via, ou seja, a agressividade de aceleração do condutor e o aumento na geração das emissões de CO₂. Desse modo, pôde-se avaliar a possível influência da existência de interseções entre vias no estudo de emissões de poluentes realizado, como foi observado na rua Vicente Linhares com o mapeamento das interseções.

Após as análises dos dados coletados em todas as vias; Rua Vicente Linhares, Rua Tibúrcio Cavalcante, Rua Érico Mota, Av. 13 de Maio, Av. Jovita Feitosa e Av. Virgílio Távora, e verificadas suas correlações, não foi observado que a qualidade do revestimento asfáltico das vias analisadas no centro urbano de Fortaleza influencia, diretamente, nas emissões dos poluentes CO₂ e NO_x, por meio do escapamento de veículos automotores, no ar. No entanto, o “*stop and go*” foi sendo evidenciado, e o comportamento das emissões de poluentes ter sido, diretamente, relacionado ao padrão de condução. A relação de causa-efeito entre qualidade do revestimento asfáltico e emissão de poluente CO₂ não pôde ser evidenciada em grau desejado devido a influência de fatores externos, como as interseções entre vias e a diferença de períodos de coleta.

Iniciando a análise por meio do LVC, percebeu-se que os defeitos mapeados são, majoritariamente, classificados como típicos de fim de vida útil do pavimento; tais como fissuras, desgastes, trincas do tipo couro de jacaré e trincas em bloco. Desse modo, os resultados do IGG das vias foram elevados, com classificações de degradação do pavimento consideradas de regular a péssima, devido não só ao peso que esses defeitos possuem no cálculo do IGG, como também a alta frequência registrada para os mesmos. Seguindo o levantamento do IRI, foram observados altos valores, acima de 4,0, que categorizaram as vias em faixas de classificação consideradas como ruim e péssima, de acordo com os resultados obtidos no LVC. Desse modo, como contribuição do presente trabalho, foi possível validar a metodologia de cálculo já que as classificações apresentaram resultados iguais ou próximos entre os dois métodos, LVC e IRI. Além disso, o uso do PDI para o cálculo do LVC representou significativa importância devido a possibilidade de revisão do levantamento realizado.

Em sequência, com os resultados do LVC e do IRI realizou-se a correlação dos dados obtidos por Quintanilha (2017) para as emissões de poluentes CO₂ e NO_x. Correlacionaram-se as emissões de CO₂ e NO_x, resultados que foram considerados

baixos, com valores de R^2 menores que 0,36. Então, as principais relações, consideradas como objetivos específicos do trabalho, $IRI \times CO_2$, demonstraram que não houve correlação entre os dados avaliados ou, as relações foram consideradas baixas, da ordem de 0,1, embora seja possível relacionar os dados de emissões com o padrão de condução. Por outro lado, os coeficientes de *Pearson* discutidos para as vias apresentaram, em alguns casos, valores que indicaram relação linear entre o IRI e a emissão de CO_2 .

Diante disso, foi concluído que houve influência, não foi encontrada relação direta entre a qualidade do revestimento asfáltico para as vias avaliadas nesse trabalho, nas emissões dos poluentes CO_2 e NO_x . No entanto, para os resultados encontrados, apesar de indicarem correlação quase inexistente, quando analisadas as correlações R^2 , pode-se encontrar a relação linear entre qualidade do revestimento asfáltico e emissão de poluentes. Para análise mais efetiva, recomenda-se que a variável das interseções entre vias seja corretamente desconsiderada, ou retirada da análise. Os fatores que afetam as emissões, como interseções entre vias, que levam ao frequente “*stop and go*”, devem ser destacados, porém estes não foram levados em consideração no momento da coleta e da análise dos dados; assim, podem ter impactado, significativamente, os resultados obtidos. Os fatores de maior relevância que, possivelmente, podem afetar nos resultados das análises são as interseções entre as vias, alterando o padrão de emissão dos poluentes, e os defeitos dos pavimentos; além de fatores que não ocorrem recorrentemente durante a coleta, como mudanças no tráfego ou no entorno das vias.

Devido aos fatores citados, sugere-se para trabalhos futuros a aplicação da metodologia descrita neste trabalho em ambientes cujo controle de fatores externos possa ser executado. Sugere-se a aplicação da metodologia em rodovias estaduais ou federais que não possuem interseções frequentes, ou seja, o fenômeno do “*stop and go*” poderá sofrer influência direta nas emissões devido a defeitos nos pavimentos. Além disso, sugere-se comparar vias com pouca influência de tráfego no seu entorno e que possuem características parecidas, como capacidade de tráfego e velocidade máxima permitida.

REFERÊNCIAS

ALBANO, J. **Efeitos dos excessos de cargas sobre a durabilidade de pavimentos**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

BARI, J e WITCZAK, M. **Development of a new revised version of the Witczak E Predictive Model for hot mix asphalt mixtures**, Arizona State University, 2006.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS/ABEDA, 2008.

BOARETO, R. **A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis**, Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 30/31 – 2008.

Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal, 2015.

ARAÚJO, V. M. C. **Avaliação da textura de misturas asfálticas para uso em revestimentos aeroportuários a partir do uso do processamento digital de imagens**. 2017. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DE CARVALHO, C. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Gerência de Pavimentos**. –Rio de Janeiro, 2011.

DNIT 005 (2003) –ES –**Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes –Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT 006 (2003) –ES – **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes–Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT 007 (2003) –ES–**Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos Procedimento**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes –Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT 008 (2003) –ES– **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento**. Departamento Nacional de

Infraestrutura de Transportes –Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT 009 (2003) –ES– **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes– Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DRUMM, F *et al.* **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores**, Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas -UFSM, Santa Maria Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental -REGET, p. 66-78, 2014.

FOSTER, J.; LOWE, A; WINKELMAN, S. **The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaption**, The Center for Clean Air Policy, 2011.

GUARIEIRO, L, Vasconcellos, P e Solci, M. **Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão**, Revista Virtual de Química, p.434-445, 2011.

MATTOS, N e Godoy, P. **Processamento de imagens aplicado à análise das condições do pavimento asfáltico de aeroportos**. Revista de Iniciação Científica da ULBRA, p.152-165, 2016.

OLIVEIRA, C. *et al.* **Contribuição das emissões Rodoviárias na qualidade do ar da cidade do Porto**, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, PODKOWA, L. **Levantamento Visual Contínuo em duas rodovias estaduais da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, 2015.

QUINTANILHA, W. *Análise de consumo de combustível e emissão de poluentes de veículos flex fuel em diferentes tipos de via na cidade de Fortaleza – Ceará*, Monografia – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2017.

SCHRINJEN, P., **Infrastructure networks and red-green patterns in city regions**. Infrastructure Planning Section, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, Landscape and Urban Planning 48 (2000) 191-204. 2000.

SILVA, R. *et al.* **Procedimento para Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo método da varredura**, ENGGEOTECH, Juiz de Fora.

SILVA, S e Ante, J. **Análise da propagação de trincas em misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos mediante o processamento digital de imagens**. Asfalto, 2018.

SOUSA, D. *Caracterização da área urbana por concentração de NO₂* (2017) Monografia – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.

VALLERO, D. A. **Fundamentals of Air Pollution**. 4. Ed. San Diego: Elsevier Inc., 2008.

VIEIRA, S. **Análise Comparativa de Metodologias de Avaliação de Pavimentos através do IGG e PCI**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção Civil, Universidade de Fortaleza, Centro Ciências Tecnológicas, 2016.

Wahlin, P, Berkowicz, R e Palmgren, F. **Characterisation of traffic-generated particulate matter in Copenhagen**, Atmospheric Environment, p. 2151-2159 (2006).

APÊNDICE 1 – Rua Vicente Linhares

Trecho	Código IRI 2019	Nome da Via	Distância IRI	Latitude inicial	Longitude inicial	Latitude final	Longitude final	Data	Distância poluentes	NO2 (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	Δ% Distância
1	76/577	Rua Vicente Linhares	114,6	-374.119	-385.082	-37.415	-385.022	Aug 6, 2019	114,0	0,01041	116,6	115	0,6%
2	76/602	Rua Vicente Linhares	112,9	-374.467	-384.925	-374.499	-384.915	Aug 6, 2019	112,4	0,0011	36,0	228	0,5%
3	76/603	Rua Vicente Linhares	112,8	-374.436	-384.934	-374.467	-384.925	Aug 6, 2019	112,9	0,0063	119,6	340	-0,1%
4	76/604	Rua Vicente Linhares	110,0	-374.404	-384.944	-374.436	-384.934	Aug 6, 2019	114,3	0,0033	66,8	450	-3,9%
5	76/605	Rua Vicente Linhares	117,3	-374.374	-384.954	-374.404	-384.944	Aug 6, 2019	115,3	0,0157	100,6	568	1,7%
6	76/606	Rua Vicente Linhares	109,1	-374.343	-384.963	-374.374	-384.954	Aug 6, 2019	113,8	0,0058	31,2	677	-4,4%
7	76/607	Rua Vicente Linhares	118,8	-374.311	-384.973	-374.343	-384.963	Aug 6, 2019	120,0	0,0062	40,8	795	-1,0%
8	76/608	Rua Vicente Linhares	111,9	-37.428	-384.983	-374.311	-384.973	Aug 6, 2019	111,9	0,0013	34,6	907	0,0%
9	76/609	Rua Vicente Linhares	111,6	-37.425	-384.993	-37.428	-384.983	Aug 6, 2019	111,8	0,0075	88,4	1019	-0,1%
10	76/610	Rua Vicente Linhares	115,9	-374.215	-385.002	-37.425	-384.993	Aug 6, 2019	118,5	0,0094	90,4	1135	-2,2%
11	76/611	Rua Vicente Linhares	116,3	-374.179	-385.012	-374.215	-385.002	Aug 6, 2019	114,8	0,0041	39,0	1251	1,3%
12	76/612	Rua Vicente Linhares	112,8	-37.415	-385.022	-374.179	-385.012	Aug 6, 2019	110,4	0,0044	100,4	1364	2,1%
13	76/613	Rua Vicente Linhares	112,0	-374.089	-385.041	-374.119	-385.032	Aug 6, 2019	111,5	0,0021	49,6	1476	0,4%
Média:	8,17	Total:	1476,0	Correlação IRI x CO2= 0,11	Correlação CO2 x NO2= 0,64	Total:	1481,5	0,1	914,0	Distância total:	-0,4%		

APÊNDICE 2 – Rua Tibúrcio Cavalcante

Trecho	Código	IRI 2019	Nome da Via	Distância IRI	Latitude Inicial	Longitude Inicial	Latitude final	Longitude final	Data	Distância poluentes	NOx (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	Δ% Distância
1	767616	4,82	Rua Tibúrcio Cavalcante	112,28	-372,806,00	#CAMPOI	-37,271,00	-384,997,00	Aug 13, 2019	116,25	0,00639	34,80	112	-3,54%
2	767617	4,11	Rua Tibúrcio Cavalcante	112,97	-372,903,00	-385,004,00	-372,806,00	-385,004,00	Aug 13, 2019	108,50	0,00258	24,20	225	3,86%
3	767618	4,78	Rua Tibúrcio Cavalcante	113,89	-373,002,00	-385,007,00	-372,903,00	-385,004,00	Aug 13, 2019	111,96	0,00204	47,14	339	1,70%
4	767619	3,99	Rua Tibúrcio Cavalcante	115,47	-373,102,00	-38,501,00	-373,002,00	-385,007,00	Aug 13, 2019	112,39	0,00273	20,68	455	2,67%
5	767620	5,43	Rua Tibúrcio Cavalcante	127,78	-373,211,00	-385,013,00	-373,102,00	-38,501,00	Aug 13, 2019	132,76	0,00429	31,80	582	-3,90%
6	767621	3,17	Rua Tibúrcio Cavalcante	101,22	-373,298,00	-385,016,00	-373,211,00	-385,013,00	Aug 13, 2019	98,89	0,00072	24,40	684	2,30%
7	767622	3,01	Rua Tibúrcio Cavalcante	113,23	-373,396,00	-385,019,00	-373,298,00	-385,016,00	Aug 13, 2019	114,92	0,01026	109,26	797	-1,50%
8	767624	5,91	Rua Tibúrcio Cavalcante	116,29	-373,595,00	-385,026,00	-373,495,00	-385,022,00	Aug 13, 2019	117,75	0,00096	24,20	913	-1,25%
9	767625	3,49	Rua Tibúrcio Cavalcante	115,75	-373,695,00	-385,029,00	-373,595,00	-385,026,00	Aug 13, 2019	114,75	0,00168	28,60	1029	0,86%
10	767626	5,75	Rua Tibúrcio Cavalcante	124,27	-37,381,00	-385,033,00	-373,695,00	-385,029,00	Aug 13, 2019	132,05	0,00048	31,80	1163	1,65%
11	767628	4,77	Rua Tibúrcio Cavalcante	223,40	-374,089,00	-385,041,00	-373,897,00	-385,035,00	Aug 13, 2019	224,80	0,00036	101,16	1387	-0,63%
12	767629	4,54	Rua Tibúrcio Cavalcante	112,67	-374,186,00	-385,045,00	-374,089,00	-385,041,00	Aug 13, 2019	117,12	0,00957	29,80	1499	-3,96%
13	767630	4,51	Rua Tibúrcio Cavalcante	121,18	-374,291,00	-385,048,00	-374,186,00	-385,045,00	Aug 13, 2019	124,57	0,02775	40,14	1620	-2,80%
14	767631	5,48	Rua Tibúrcio Cavalcante	102,50	-374,379,00	-385,051,00	-374,291,00	-385,048,00	Aug 13, 2019	103,14	0,00150	22,80	1723	-0,62%
15	767632	4,75	Rua Tibúrcio Cavalcante	86,17	-374,453,00	-385,053,00	-374,379,00	-385,051,00	Aug 13, 2019	84,69	0,00066	15,38	1809	1,72%
16	767633	4,47	Rua Tibúrcio Cavalcante	101,74	-37,454,00	-385,056,00	-374,453,00	-385,053,00	Aug 13, 2019	105,39	0,00060	19,00	1911	-3,59%
17	767634	2,96	Rua Tibúrcio Cavalcante	97,23	-374,624,00	-385,059,00	-374,54,00	-385,056,00	Aug 13, 2019	92,82	0,00036	20,60	2008	4,54%
18	767635	2,14	Rua Tibúrcio Cavalcante	90,62	-374,702,00	-385,061,00	-374,624,00	-385,059,00	Aug 13, 2019	88,13	0,00027	21,40	2099	2,76%
19	767636	2,69	Rua Tibúrcio Cavalcante	122,07	-374,807,00	-385,065,00	-374,702,00	-385,061,00	Aug 13, 2019	120,55	0,00039	30,80	2221	1,24%
20	767637	2,82	Rua Tibúrcio Cavalcante	79,58	-374,876,00	-385,067,00	-374,807,00	-385,065,00	Aug 13, 2019	83,20	0,00123	36,46	2300	-4,56%
21	767638	3,34	Rua Tibúrcio Cavalcante	78,59	-374,943,00	-385,069,00	-374,876,00	-385,067,00	Aug 13, 2019	79,15	0,00033	15,00	2379	-0,71%
22	767639	4,85	Rua Tibúrcio Cavalcante	79,49	-375,011,00	-385,071,00	-374,943,00	-385,069,00	Aug 13, 2019	79,21	0,00060	17,40	2458	0,35%
23	767640	2,44	Rua Tibúrcio Cavalcante	99,78	-375,098,00	-385,074,00	-375,011,00	-385,071,00	Aug 13, 2019	101,75	0,00057	16,72	2558	-1,97%
Média:		4,10	Total:		Z558,2	Correlação IRI x CO2 = 0,002		Correlação CO2 x NOX = 0,33		Total:	Z564,7	0,1	763,5	Distância total: -0,3%

APÊNDICE 3 – Rua Érico Mota

Trecho	Código IRI 2019	Nome da Via	Distância IRI	Latitude inicial	Longitude inicial	Latitude final	Longitude final	Data	Distância poluentes	NOX (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	Δ% Distância
1	767574	5,24 Rua Érico Mota	80,5	-3,74868	-38,56020	-3,74797	-38,56040	Jul 20, 2019	79,33	0,00591	60	81	1,5%
2	767742	5,82 Rua Érico Mota	131,1	-3,73657	-38,56270	-3,73541	-38,56300	Jul 20, 2019	131,23	0,0042	51	212	-0,1%
3	767743	9,91 Rua Érico Mota	123,0	-3,73766	-38,56250	-3,73657	-38,56270	Jul 20, 2019	126,28	0,0014	42,40	335	-2,6%
4	767744	7,49 Rua Érico Mota	61,0	-3,73820	-38,56240	-3,73766	-38,56250	Jul 20, 2019	61,95	0,0008	25,20	396	-1,5%
5	767745	7,59 Rua Érico Mota	61,4	-3,73874	-38,56230	-3,73820	-38,56240	Jul 20, 2019	58,56	0,0009	27,20	457	4,8%
6	767746	8,68 Rua Érico Mota	122,7	-3,73983	-38,56210	-3,73874	-38,56230	Jul 20, 2019	121,69	0,0014	39,20	580	0,9%
7	767747	7,43 Rua Érico Mota	62,7	-3,74039	-38,56190	-3,73983	-38,56210	Jul 20, 2019	59,85	0,0006	19,60	642	4,8%
8	767748	9,32 Rua Érico Mota	67,3	-3,74098	-38,56180	-3,74039	-38,56190	Jul 20, 2019	66,49	0,0008	24,40	710	1,1%
9	767749	5,47 Rua Érico Mota	82,5	-3,74171	-38,56160	-3,74098	-38,56180	Jul 20, 2019	84,33	0,0083	27,80	792	-2,1%
10	767750	5,24 Rua Érico Mota	74,3	-3,74237	-38,56150	-3,74171	-38,56160	Jul 20, 2019	76,87	0,0060	27,60	867	-3,3%
11	767751	5,53 Rua Érico Mota	80,9	-3,74309	-38,56140	-3,74237	-38,56150	Jul 20, 2019	83,58	0,0046	46,80	947	-3,2%
12	767752	3,59 Rua Érico Mota	78,6	-3,74378	-38,56120	-3,74309	-38,56140	Jul 20, 2019	82,18	0,0012	25,60	1,026	-4,3%
13	767753	4,39 Rua Érico Mota	80,2	-3,74449	-38,56110	-3,74378	-38,56120	Jul 20, 2019	83,17	0,0011	29,80	1,106	-3,6%
14	767754	14,20 Rua Érico Mota	79,6	-3,74520	-38,56090	-3,74449	-38,56110	Jul 20, 2019	79,75	0,0009	27,40	1,186	-0,1%
15	767755	7,82 Rua Érico Mota	77,1	-3,74588	-38,56080	-3,74520	-38,56090	Jul 20, 2019	79,87	0,0009	27,20	1,263	-3,5%
16	767756	5,16 Rua Érico Mota	78,7	-3,74658	-38,56070	-3,74588	-38,56080	Jul 20, 2019	81,95	0,0010	30,40	1,342	-3,9%
17	767757	3,35 Rua Érico Mota	78,3	-3,74728	-38,56050	-3,74658	-38,56070	Jul 20, 2019	77,03	0,0010	30,40	1,420	1,6%
18	767758	9,46 Rua Érico Mota	78,0	-3,74797	-38,56040	-3,74728	-38,56050	Jul 20, 2019	79,36	0,0024	65,40	1,498	-1,7%
Média:	6,98	Total:	1498,0	Correlação IRI x CO2 = 0,03	Correlação CO2 x NOX = 0,36	Total:	1513,5	0,04	627,4	Distância total:	-1,0%		

APÊNDICE 4 – Avenida 13 de Maio sentido “IDA”

Trecho	Código	RI 2019	Nome da Via	Distância (m)	Latitude Inicial	Longitude Inicial	Latitude Final	Longitude Final	Data	Distância poluentes	NOx (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	% Distância
1	767646	5,13	Avenida 13 de Maio - Ida	208,2	-37,5 347	-386, 205	-37,5 367	-385, 224	Jul 20, 2019	203,39	0,0168	62,0	208,2	2,3%
2	767646	3,45	Avenida 13 de Maio - Ida	123,5	-37,5 367	-386, 224	-37,5 378	-385, 235	Jul 20, 2019	123,94	0,0031	29,1	331,7	-0,4%
3	767649	3,19	Avenida 13 de Maio - Ida	131,6	-37,5 378	-386, 235	-37,5 333	-385, 245	Jul 20, 2019	128,91	0,0023	51,74	463,30	2,0%
4	767650	1,92	Avenida 13 de Maio - Ida	95,2	-37,5 333	-386, 245	-37,5 275	-385, 252	Jul 20, 2019	94,18	0,0098	169,82	558,50	1,1%
5	767653	4,20	Avenida 13 de Maio - Ida	95,4	-37,5 275	-386, 252	-37,5 222	-385, 258	Jul 20, 2019	93,40	0,0013	30,82	653,90	2,1%
6	767654	4,23	Avenida 13 de Maio - Ida	86,9	-37,5 222	-386, 258	-37,5 169	-385, 264	Jul 20, 2019	88,70	0,02	32,84	740,80	-2,1%
7	767659	3,58	Avenida 13 de Maio - Ida	110,0	-37,5 169	-385, 278	-37,5 054	-385, 278	Jul 20, 2019	114,26	0,0110	36,00	850,80	-3,9%
8	767660	3,44	Avenida 13 de Maio - Ida	146,6	-37,5 054	-386, 278	-37,4 968	-385, 288	Jul 20, 2019	146,95	0,0053	37,08	996,40	-0,9%
9	767665	2,39	Avenida 13 de Maio - Ida	83,9	-37,4 968	-386, 288	-37,4 918	-385, 293	Jul 20, 2019	84,71	0,0015	20,56	1080,30	-1,0%
10	767666	5,03	Avenida 13 de Maio - Ida	83,2	-37,4 918	-386, 299	-37,4 87	-385, 299	Jul 20, 2019	86,55	0,0027	56,84	1163,50	-4,0%
11	767669	4,98	Avenida 13 de Maio - Ida	111,2	-37,4 87	-386, 299	-37,4 806	-385, 307	Jul 20, 2019	114,82	0,0084	144,28	1274,70	-3,3%
12	767670	3,69	Avenida 13 de Maio - Ida	88,8	-37,4 806	-386, 307	-37,4 752	-385, 313	Jul 20, 2019	92,29	0,0012	22,12	1363,50	-3,9%
13	767673	3,44	Avenida 13 de Maio - Ida	83,7	-37,4 752	-386, 313	-37,4 704	-385, 319	Jul 20, 2019	82,49	0,0010	23,12	1447,20	1,4%
14	767674	3,93	Avenida 13 de Maio - Ida	104,8	-37,4 704	-386, 319	-37,4 641	-385, 326	Jul 20, 2019	105,80	0,0011	25,88	1552,00	-1,0%
15	767677	5,96	Avenida 13 de Maio - Ida	92,2	-37,4 641	-386, 326	-37,4 588	-385, 332	Jul 20, 2019	91,58	0,0008	20,58	1644,20	0,7%
16	767681	2,61	Avenida 13 de Maio - Ida	104,4	-37,4 588	-386, 342	-37,4 443	-385, 349	Jul 20, 2019	102,31	0,0010	23,54	1748,60	2,0%
17	767682	3,09	Avenida 13 de Maio - Ida	59,5	-37,4 443	-386, 349	-37,4 409	-385, 353	Jul 20, 2019	64,19	0,0006	14,68	1808,10	-7,9%
18	767685	2,88	Avenida 13 de Maio - Ida	98,2	-37,4 409	-386, 353	-37,4 351	-385, 356	Jul 20, 2019	97,24	0,0012	28,26	1906,30	0,9%
19	767689	3,06	Avenida 13 de Maio - Ida	120,1	-37,4 305	-386, 355	-37,4 234	-385, 374	Jul 20, 2019	121,18	0,0025	55,84	2026,40	-0,9%
20	767691	3,16	Avenida 13 de Maio - Ida	62,3	-37,4 234	-386, 374	-37,4 198	-385, 378	Jul 20, 2019	60,86	0,0011	23,56	2088,70	2,3%
21	767694	3,67	Avenida 13 de Maio - Ida	160,4	-37,4 086	-386, 391	-37,3 992	-385, 402	Jul 20, 2019	166,37	0,0185	137,78	2249,10	-3,7%
22	767697	2,64	Avenida 13 de Maio - Ida	108,8	-37,3 992	-386, 402	-37,3 929	-385, 409	Jul 20, 2019	113,88	0,0131	28,50	2257,90	-4,7%
23	767698	4,18	Avenida 13 de Maio - Ida	175,3	-37,3 929	-386, 409	-37,3 826	-385, 421	Jul 20, 2019	179,62	0,0040	51,14	2533,20	-2,5%
24	767701	6,18	Avenida 13 de Maio - Ida	95,9	-37,3 826	-386, 421	-37,3 761	-385, 427	Jul 20, 2019	96,97	0,0013	29,56	2629,10	-1,1%
Média:	3,75	Total:	2629,1	Correlação RI x CO2 = -0,048	Correlação CO2 x NOK = 0,45	Total:	2654,7	0,133	1155,6	Distância total:	-1,0%			

APÊNDICE 5 – Avenida 13 de Maio sentido “VOLTA”

Trecho	Código	RI/2019	Nome da Via	Distância (m)	Latitude Inicial	Longitude Inicial	Latitude Final	Longitude Final	Data	Distância polígonos	NOx (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	% Distância
1	767644	4.90	Avenida 13 de Maio - Volta	195,7	-37,5.383	-38,5.222	-37,5.363	-38,5.205	Jul/20.2019	199,67	0,0017	38,48	196	1,0%
2	767647	3,72	Avenida 13 de Maio - Volta	130,0	-37,5.394	-38,5.234	-37,5.393	-38,5.229	Jul/20.2019	129,48	0,0011	26,64	325,70	5,0%
3	767649	2,92	Avenida 13 de Maio - Volta	142,6	-37,5.346	-38,5.246	-37,5.394	-38,5.294	Jul/20.2019	147,79	0,0079	144,26	468,30	-3,6%
4	767651	3,33	Avenida 13 de Maio - Volta	96,4	-37,5.529	-38,5.253	-37,5.346	-38,5.246	Jul/20.2019	89,49	0,0013	18,56	594,70	7,2%
5	767652	4,42	Avenida 13 de Maio - Volta	95,1	-37,5.234	-38,5.259	-37,5.29	-38,5.259	Jul/20.2019	88,724	0,0007	10,580	659,80	6,7%
6	767655	5,99	Avenida 13 de Maio - Volta	88,9	-37,5.182	-38,5.265	-37,5.234	-38,5.259	Jul/20.2019	88,56	0,0025	16,42	748,70	0,8%
7	767657	4,69	Avenida 13 de Maio - Volta	81,5	-37,5.135	-38,5.271	-37,5.182	-38,5.265	Jul/20.2019	76,87	0,0026	17,80	830,20	5,7%
8	767658	3,81	Avenida 13 de Maio - Volta	66,8	-37,5.095	-38,5.276	-37,5.135	-38,5.271	Jul/20.2019	71,00	0,0014	14,84	897,00	-6,3%
9	767661	2,47	Avenida 13 de Maio - Volta	73,3	-37,5.051	-38,5.281	-37,5.095	-38,5.276	Jul/20.2019	71,96	0,0017	14,46	970,30	1,8%
10	767663	4,41	Avenida 13 de Maio - Volta	77,0	-37,4.993	-38,5.289	-37,5.028	-38,5.288	Jul/20.2019	82,74	0,0030	17,14	1047,30	-7,5%
11	767664	5,98	Avenida 13 de Maio - Volta	82,7	-37,4.934	-38,5.294	-37,4.993	-38,5.288	Jul/20.2019	82,10	0,0221	28,68	1130,00	0,7%
12	767667	5,86	Avenida 13 de Maio - Volta	84,0	-37,4.885	#CAMPO1	-37,4.934	-38,5.294	Jul/20.2019	83,44	0,0244	34,26	1214,00	0,7%
13	767668	3,04	Avenida 13 de Maio - Volta	113,5	-37,4.818	-38,5.308	-37,4.885	#CAMPO1	Jul/20.2019	117,77	0,0167	172,60	1327,50	-3,8%
14	767671	4,06	Avenida 13 de Maio - Volta	89,9	-37,4.765	-38,5.314	-37,4.818	-38,5.308	Jul/20.2019	84,46	0,0016	18,14	1417,40	6,1%
15	767672	2,76	Avenida 13 de Maio - Volta	83,4	-37,4.716	-38.522	-37,4.765	-38,5.314	Jul/20.2019	84,76	0,0037	18,74	1500,80	-1,6%
16	767675	2,75	Avenida 13 de Maio - Volta	107,5	-37,4.653	-38,5.327	-37,4.716	-38.532	Jul/20.2019	110,54	0,0033	26,32	1608,30	-2,8%
17	767676	4,30	Avenida 13 de Maio - Volta	90,2	-37,4.601	-38,5.333	-37,4.653	-38,5.327	Jul/20.2019	89,05	0,0246	24,70	1698,50	1,3%
18	767679	2,82	Avenida 13 de Maio - Volta	143,3	-37,4.518	-38,5.343	-37,4.601	-38,5.333	Jul/20.2019	139,22	0,0143	30,86	1841,80	2,8%
19	767680	5,87	Avenida 13 de Maio - Volta	100,7	-37,4.458	-38.535	-37,4.518	-38,5.343	Jul/20.2019	104,14	0,0227	151,94	1942,50	-3,4%
20	767683	4,38	Avenida 13 de Maio - Volta	65,3	-37.442	-38,5.354	-37,4.458	-38.535	Jul/20.2019	71,53	0,0009	10,22	2007,80	-9,5%
21	767684	4,68	Avenida 13 de Maio - Volta	99,5	-37,4.362	-38,5.361	-37,4.42	-38,5.354	Jul/20.2019	109,08	0,0012	19,22	2107,30	-3,6%
22	767687	2,63	Avenida 13 de Maio - Volta	73,4	-37,4.319	-38,5.366	-37,4.362	-38,5.361	Jul/20.2019	77,88	0,0033	17,60	2187,70	-6,1%
23	767690	3,14	Avenida 13 de Maio - Volta	58,6	-37,4.211	-38,5.379	-37,4.245	-38,5.375	Jul/20.2019	56,68	0,0059	11,80	2239,30	3,3%
24	767693	3,42	Avenida 13 de Maio - Volta	185,6	-37,4.102	-38,5.392	-37,4.211	-38,5.379	Jul/20.2019	194,58	0,0061	43,26	2424,90	0,5%
25	767695	7,05	Avenida 13 de Maio - Volta	164,1	-37,4.006	-38,5.403	-37,4.102	-38,5.392	Jul/20.2019	170,45	0,0135	172,50	2589,00	-3,9%
26	767696	4,41	Avenida 13 de Maio - Volta	109,8	-37.394	-38.541	-37,4.006	-38,5.409	Jul/20.2019	111,42	0,0052	30,40	2698,80	-1,5%
27	767699	3,98	Avenida 13 de Maio - Volta	179,5	-37,3.835	-38,5.423	-37,394	-38.541	Jul/20.2019	178,68	0,0087	47,80	2878,30	0,5%
28	767700	6,44	Avenida 13 de Maio - Volta	95,8	-37,3.771	-38,5.428	-37,3.835	-38,5.423	Jul/20.2019	93,95	0,0011	16,16	2974,10	1,8%
Média:	4,22	Total:	2974,1	Correlação IIR X CO2= 0,183	Correlação CO2 X NOx= 0,41	Total:	2978,0	0,199	1194,4	Distância total:	-0,1%			

APÊNDICE 6 – Avenida Jovita Feitosa sentido “IDA”

Trecho	Código	RNI 2019	Nome da Via	Distância RNI	Latitude Inicial	Longitude Inicial	Latitude Final	Longitude Final	Data	Distância poluentes	NOx (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	% Distância
1	767703	4,68	Avenida Jovita Feitosa - IDA	90,0	-37,372	-385,439	-373,735	-385,447	Jul 20, 2019	87,26	0,00093	31,40	89,95	3,0%
2	767704	4,00	Avenida Jovita Feitosa - IDA	177,3	-373,735	-385,447	-373,739	-385,463	Jul 20, 2019	181,87	0,00498	172,40	267,22	-2,6%
3	767707	3,42	Avenida Jovita Feitosa - IDA	55,1	-373,739	-385,463	-373,778	-385,468	Jul 20, 2019	51,17	0,00015	11,80	322,33	7,1%
4	767708	3,79	Avenida Jovita Feitosa - IDA	234,9	-373,778	-385,468	-373,822	-385,489	Jul 20, 2019	235,42	0,00069	64,00	557,21	-0,2%
5	767711	2,78	Avenida Jovita Feitosa - IDA	123,1	-373,822	-385,489	-373,845	-385,499	Jul 20, 2019	118,84	0,00141	102,00	680,29	3,4%
6	767713	4,64	Avenida Jovita Feitosa - IDA	120,7	-373,845	-385,499	-373,868	-385,521	Jul 20, 2019	122,15	0,00036	28,00	800,98	-1,2%
7	767714	2,92	Avenida Jovita Feitosa - IDA	122,6	-373,868	-385,521	-37,389	-385,521	Jul 20, 2019	126,59	0,00039	33,60	923,63	-3,2%
8	767717	4,53	Avenida Jovita Feitosa - IDA	124,1	-37,389	-385,521	-373,912	-385,532	Jul 20, 2019	121,26	0,00036	33,60	1047,76	2,3%
9	767719	2,86	Avenida Jovita Feitosa - IDA	120,4	-373,912	-385,532	-373,933	-385,542	Jul 20, 2019	117,70	0,00039	36,40	1168,17	2,3%
10	767720	3,30	Avenida Jovita Feitosa - IDA	131,7	-373,933	-385,542	-373,957	-385,554	Jul 20, 2019	129,49	0,00066	53,80	1299,85	1,7%
11	767723	5,09	Avenida Jovita Feitosa - IDA	114,2	-373,957	-385,554	-373,978	-385,564	Jul 20, 2019	110,18	0,00033	29,80	1414,04	3,5%
12	767724	3,22	Avenida Jovita Feitosa - IDA	121,5	-373,978	-385,564	-373,999	-385,575	Jul 20, 2019	117,09	0,00048	30,00	1535,50	3,6%
13	767721	4,19	Avenida Jovita Feitosa - IDA	124,0	-373,999	-385,575	-37,402	-385,586	Jul 20, 2019	129,68	0,00072	32,20	1659,48	-4,6%
14	767732	3,31	Avenida Jovita Feitosa - IDA	124,3	-37,402	-385,586	-374,043	-385,597	Jul 20, 2019	127,87	0,00060	33,60	1783,76	-2,9%
15	767733	4,03	Avenida Jovita Feitosa - IDA	122,1	-374,043	-385,597	-374,065	-385,608	Jul 20, 2019	119,61	0,00039	33,20	1905,89	2,1%
16	767734	2,56	Avenida Jovita Feitosa - IDA	120,6	-374,065	-385,608	-37,409	-385,618	Jul 20, 2019	119,86	0,00105	74,80	2026,44	0,6%
17	767735	7,86	Avenida Jovita Feitosa - IDA	123,0	-37,409	-385,618	-374,111	-385,629	Jul 20, 2019	118,90	0,00060	33,20	2149,45	3,3%
18	767736	4,37	Avenida Jovita Feitosa - IDA	124,6	-374,111	-385,629	-374,134	-38,564	Jul 20, 2019	123,70	0,00126	33,60	2274,02	0,7%
19	767737	2,70	Avenida Jovita Feitosa - IDA	124,7	-374,134	-38,564	-374,155	-385,651	Jul 20, 2019	126,75	0,00108	31,60	2399,77	-1,6%
Médias:	3,91		Total:	2399,8	Correlação RNI x CO2 = 0,523		Correlação CO2 x NOx = 0,90		Total:	2385,4	0,02	899,0	Distância total:	0,6%

APÊNDICE 7 -Avenida Jovita Feitosa sentido “VOLTA”

Trecho	Código	IRI 2019	Nome da Via	Distância IRI	Latitude inicial	Longitude inicial	Latitude final	Longitude final	Data	Distância poluentes	NOx (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	Δ% Distância
1	767705	4,20	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	173,5	-373,784	-385,462	-373,752	-385,447	Jul 20, 2019	175,51	0,0020	63,20	173,49	-1,2%
2	767709	4,58	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	234,9	-373,839	-385,488	-373,795	-385,468	Jul 20, 2019	234,97	0,0139	90,60	408,36	0,0%
3	767710	2,33	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	122,2	-373,862	-385,499	-373,839	-385,488	Jul 20, 2019	127,05	0,0020	33,00	530,57	-4,0%
4	767712	5,19	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	120,5	-373,884	-38,551	-373,862	-385,499	Jul 20, 2019	121,88	0,0011	42,00	651,05	-1,2%
5	767715	2,67	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	123,2	-373,906	-38,552	-373,884	-38,551	Jul 20, 2019	123,01	0,0020	78,20	774,26	0,2%
6	767716	3,50	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	124,7	-373,929	-385,532	-373,906	-38,552	Jul 20, 2019	126,69	0,0026	26,60	898,98	-1,6%
7	767718	2,59	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	119,8	-373,951	-385,542	-373,929	-385,532	Jul 20, 2019	116,92	0,0112	29,80	1018,81	2,4%
8	767721	3,09	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	132,5	-373,974	-385,554	-373,951	-385,542	Jul 20, 2019	133,22	0,0038	35,40	1151,27	-0,6%
9	767722	4,94	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	113,5	-373,994	-385,564	-373,974	-385,554	Jul 20, 2019	111,17	0,0020	30,80	1264,81	2,1%
10	767725	3,36	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	121,3	-374,015	-385,575	-373,994	-385,564	Jul 20, 2019	120,34	0,0046	40,60	1386,07	0,8%
11	767726	3,51	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	124,8	-374,038	-385,586	-374,015	-385,575	Jul 20, 2019	123,84	0,0015	42,60	1510,88	0,8%
12	767728	2,50	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	120,7	-374,106	-385,618	-374,082	-385,607	Jul 20, 2019	116,22	0,0017	31,40	1631,59	3,7%
13	767729	3,50	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	122,0	-374,082	-385,607	-37,406	-385,596	Jul 20, 2019	128,04	0,0050	33,60	1753,63	-4,9%
14	767730	2,58	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	123,6	-37,406	-385,596	-374,038	-385,586	Jul 20, 2019	124,01	0,0015	30,20	1877,19	-0,4%
15	767739	4,87	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	86,3	-374,188	-385,658	-374,171	-385,651	Jul 20, 2019	86,82	0,0007	22,40	1963,46	-0,6%
16	767740	5,21	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	124,3	-374,171	-385,651	-37,415	-38,564	Jul 20, 2019	126,08	0,0027	100,80	2087,79	-1,4%
17	767741	4,05	Avenida Jovita Feitosa - VOLTA	123,4	-37,415	-38,564	-374,128	-385,629	Jul 20, 2019	126,08	0,0007	22,40	2211,22	-2,1%
Média:	3,69	3,69	Total:	2211,2	Correlação IRI x CO₂ = 0,319	Correlação CO₂ x NOx = 0,33	Total:	2221,9	0,059	753,6	Distância total:	-0,5%		

APÊNDICE 8 – Avenida Senador Virgílio Távora

Trecho	Código	IRI 2019	Nome da Via	Distância IRI	Latitude inicial	Longitude inicial	Latitude final	Longitude final	Data	Distância poluentes	NOx (g)	CO2 (g)	Distância percorrida	Δ% Distância
1	767567	2,81	Av Senador Virgílio Távora	298,6	-374,825	-384,988	-375,083	-384,976	Aug 15, 2019	290,6	0,0061	58,8	298,6	2,7%
2	767582	2,20	Av Senador Virgílio Távora	123,4	-372,886	-384,907	-372,994	-38,491	Aug 15, 2019	125,6	0,0065	21,4	422,0	-1,8%
3	767583	3,71	Av Senador Virgílio Távora	109,5	-372,994	-38,491	-373,088	-384,913	Aug 15, 2019	109,8	0,0088	63,0	531,5	-0,3%
4	767584	2,47	Av Senador Virgílio Távora	117,5	-373,088	-384,913	-373,189	-384,916	Aug 15, 2019	115,0	0,0022	27,8	649,0	2,2%
5	767585	2,54	Av Senador Virgílio Távora	114,1	-373,189	-384,916	-373,288	-384,919	Aug 15, 2019	112,0	0,0031	25,6	763,1	1,8%
6	767586	2,27	Av Senador Virgílio Távora	113,9	-373,288	-384,919	-373,386	-384,922	Aug 15, 2019	119,3	0,0115	27,8	877,1	-4,7%
7	767587	4,61	Av Senador Virgílio Távora	114,4	-373,386	-384,922	-373,485	-384,925	Aug 15, 2019	116,6	0,0029	18,8	991,5	-1,9%
8	767588	2,73	Av Senador Virgílio Távora	115,6	-373,485	-384,925	-373,584	-384,929	Aug 15, 2019	113,9	0,0146	120,4	1107,1	1,6%
9	767589	2,28	Av Senador Virgílio Távora	113,1	-373,584	-384,929	-373,681	-384,932	Aug 15, 2019	109,7	0,0028	20,2	1220,3	3,1%
10	767590	4,06	Av Senador Virgílio Távora	112,9	-373,681	-384,932	-373,779	-384,935	Aug 15, 2019	116,7	0,0119	23,6	1333,2	-3,3%
11	767591	5,19	Av Senador Virgílio Távora	118,1	-373,779	-384,935	-37,388	-384,938	Aug 15, 2019	118,7	0,0074	70,6	1451,3	-0,5%
12	767592	3,31	Av Senador Virgílio Távora	115,2	-37,388	-384,938	-373,979	-384,941	Aug 15, 2019	115,4	0,0046	43,2	1566,6	-0,2%
13	767593	3,16	Av Senador Virgílio Távora	110,5	-373,979	-384,941	-374,074	-384,944	Aug 15, 2019	113,3	0,0017	23,0	1677,0	-2,5%
14	767594	4,00	Av Senador Virgílio Távora	118,9	-374,074	-384,944	-374,177	-384,948	Aug 15, 2019	121,3	0,0043	28,2	1795,9	-2,0%
15	767595	2,50	Av Senador Virgílio Távora	116,3	-374,177	-384,948	-374,277	-384,951	Aug 15, 2019	116,7	0,0022	22,6	1912,2	-0,4%
16	767596	3,45	Av Senador Virgílio Távora	113,0	-374,277	-384,951	-374,374	-384,954	Aug 15, 2019	118,4	0,0020	17,0	2025,2	-4,8%
17	767597	3,08	Av Senador Virgílio Távora	113,0	-374,374	-384,954	-374,472	-384,957	Aug 15, 2019	114,4	0,0273	79,2	2138,2	-1,2%
18	767598	2,43	Av Senador Virgílio Távora	111,6	-374,472	-384,957	-374,568	-38,496	Aug 15, 2019	115,7	0,0043	21,6	2249,8	-3,7%
19	767599	3,34	Av Senador Virgílio Távora	185,1	-374,568	-38,496	-374,727	-384,965	Aug 15, 2019	191,4	0,0156	38,0	2435,0	-3,4%
20	767600	3,72	Av Senador Virgílio Távora	113,8	-374,727	-384,965	-374,825	-384,968	Aug 15, 2019	111,0	0,0286	102,0	2548,8	2,5%
Média:		3,19	Total:	2548,8	Correlação IRI x CO2= 0,190		Correlação CO2 x NOx= 0,70		Total:	1576,6	0,166	852,8	Distância total:	38,1%