



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARIA LUIZA CAVALCANTE DE SOUSA

A TECNOLOGIA A SERVIÇO DA MOBILIDADE URBANA EM FORTALEZA – CE

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Faculdade Ari de Sá
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S725a Sousa, Maria Luiza Cavalcante de.

A TECNOLOGIA A SERVIÇO DA MOBILIDADE URBANA EM FORTALEZA – CE / Maria Luiza Cavalcante de Sousa. – 2021.

58 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Me. Eduardo Aquino de Araújo.

1. SCOOT. 2. Análise de desempenho. 3. Desempenho de tecnologias no ambiente urbano. 4. Trânsito. 5. Controle semafórico. I. Título.

CDD 620

MARIA LUIZA CAVALCANTE DE SOUSA

A TECNOLOGIA A SERVIÇO DA MOBILIDADE URBANA EM FORTALEZA – CE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Msc. Eduardo Aquino de
Araújo

Aprovada em: 21/12/21

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Eduardo Araújo de Aquino.
Faculdade Ari de Sá

Prof. Me. Ilania Maria Nascimento Mascarenhas
Faculdade Ari de Sá

Prof. Me. Janailson Queiroz Souza
Universidade Federal do Ceará

*Dedico este trabalho a Deus, que me presenteia todos os dias com a energia da vida
que me dá forças e coragem para atingir todos os meus objetivos*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por ter sido sempre o meu suporte nas horas mais difíceis para que todos os meus objetivos fossem alcançados.

À minha mãe por toda sua ternura, apoio, compreensão e amor incondicional que me devotou durante toda a minha vida e compreensão pela ausência durante a elaboração deste trabalho.

Ao meu pai por todo o suporte financeiro, moral, ensinamentos e paciência que sempre investiu em mim para que eu me tornasse uma mulher forte e independente.

A minha família, em especial, a minha prima Flavia que me inspira como pessoa, por todo apoio e forma como me acolheu como irmã.

Ao Professor Eduardo Araújo, pela paciência, apoio, ensinamentos, dedicação, tempo empenhado e humanidade que me conduziu durante a orientação deste trabalho, dando condições para que ele fosse finalizado. Sou muito grata em ser sua orientanda, por toda paciência e conhecimento a mim repassados.

Aos professores da Faculdade Ari de Sá por todos os ensinamentos durante a graduação que me permitiram apresentar bom desempenho profissional.

RESUMO

Nos últimos anos, Fortaleza assim como em outras cidades, vem experimentando um aumento considerável na frota de veículos circulantes e uma das consequências é a diminuição do uso do transporte público e o aumento de congestionamentos, o que tem gerado muitos problemas de mobilidade. Com a vinda da 4ª revolução industrial, onde tem se procurados soluções para os problemas cotidianos com o uso da tecnologia no auxílio desta evolução. Diante deste cenário, este trabalho busca avaliar o desempenho da tecnologia aplicada dentro do sistema de controle semaforico de trânsito na cidade de Fortaleza, comparando o desempenho da operação em horários específicos e em momentos que o controle semaforico opera em regime de tempo fixo, contra o controlador semaforico por demanda em tempo real. O método está dividido entre a etapa de consolidação de dados do SCOOT e a análise gráfica do desempenho do tráfego em cada cenário, através da avaliação das variáveis de velocidade, capacidade, volume, tempo de deslocamento e nível de serviço. Os resultados evidenciam a melhoria no tráfego em áreas onde são utilizados sistemas inteligentes de transportes.

Palavras-chave: SCOOT. Análise de desempenho. Desempenho de tecnologias no ambiente urbano. Transito. Controle semaforico.

ABSTRACT

In recent years, Fortaleza, as in other cities, has been experiencing a considerable increase in the fleet of circulating vehicles and one of the consequences is the decrease in the use of public transport and the increase in congestion, which has generated many mobility problems. With the coming of the 4th industrial revolution, where solutions to everyday problems have been sought with the use of technology to help this evolution. Given this scenario, this work seeks to evaluate the performance of the technology applied within the traffic light control system in the city of Fortaleza, comparing the performance of the operation at specific times and at times when the traffic light control operates in a fixed time regime, against the real-time demand traffic light controller. The method is divided between the SCOOT data consolidation stage and the graphical analysis of the traffic performance in each scenario, through the evaluation of speed, capacity, volume, travel time and service level variables. The results show the improvement in traffic in areas where intelligent transport systems are used.

Keywords: SCOOT. Performance analysis. Technology performance in the urban environment. Traffic. Traffic light control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Arquitetura para ITS.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2 - Evolução das Tecnologias para gestão de Tráfego.	Erro! Indicador não definido.
Figura 3 - Controle de Tráfego em Área.....	28
Figura 4 – Radar de fiscalização eletrônica de velocidade.	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 - Equipamentos de fiscalização eletrônica..	42
Figura 6 - Posicionamento dos laços detectores sob o pavimento. Erro! Indicador não definido.	
Figura 7 - Esquema de posicionamento de laços detectores no pavimento..	33
Figura 8 - População por bairro.....	36
Figura 9 - Densidade populacional.....	36
Figura 10 - Mapa com a classificação viária.....	37
Figura 11 - Espacialização de semáforos em Fortaleza. Erro! Indicador não definido.	
Figura 12 - Videomonitoramento. Fonte: Elaborado pelo Autor	41
Figura 13 - Trecho correspondente a Av. Bezerra de Menezes.....	45
Figura 14 - Trecho de análise. Fonte: Elaborado pelo autor.	46
Figura 15 - Seção transversal média da Avenida Bezerra de Menezes.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Áreas de aplicação de sistemas ITS e suas respectivas funcionalidades...	24
Tabela 2 - Relação V/C	49
Tabela 3 - Amostra de volume da hora pico e fora pico.	51
Tabela 4 - Cálculo do nível de Serviço. Fonte elaborado pela autora.	52
Tabela 5 - Resumo das condições de fluxo veicular avaliada.	53
Tabela 6 - Tempo de Viagem com a programação por demanda em tempo real.	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa Da Pesquisa	14
1.2 Aspectos Metodológicos	
ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
1.4 Técnicas de Coleta e Análise dos Dados.....	15
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Mobilidade Urbana.....	17
3.2 Sistemas ITS.....	21
3.2.1 Sistemas de Informação	26
3.2.2 Sistemas de CFTV.....	27
3.2.3 Sistemas de Monitoramento Eletrônico	28
3.2.4 Sistemas de Controle Semafórico.....	30
3.3 Tecnologias aplicadas a mobilidade utilizadas em Fortaleza-ce.....	34
3.3.1 Caracterização da cidade	34
3.3.2 Sistemas ITS	37
3.4 Conclusão	43
4 MÉTODO	44
4.1 Base de dados	44
4.2 Obtenção dos Dados	46
4.3 Análise e Comparação de Cenários	48
5 RESULTADOS	50
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O uso de novas tecnologias promoveu durante a história diversas transformações na sociedade, desde a sua organização estrutural e até na forma em que se distribuíram estrategicamente nos territórios, promovendo mudança na vida cotidiana. No decorrer de toda a história os deslocamentos de pessoas e mercadorias sofreram diversas modificações, originárias das diversas revoluções tecnológicas dos modos operantes de viagens, que proporcionavam deslocamentos mais eficientes e rápidos. Simultaneamente, também, conduziram a sociedade para um campo de degradação socioeconômica e principalmente ambiental, o que torna os problemas de mobilidade um desafio para a sustentabilidade das Cidades.

Dentre os causadores dos problemas de mobilidade, não somente no Brasil, mas em praticamente em todos os países do planeta, a imigração de pessoas do campo para a cidade, gera o esvaziamento das zonas rurais e o aumento da concentração de atividades, bens e serviços nas regiões urbanas.

Segundo dados do IBGE, numa nova aproximação para os dados de 2010 modificando a tipologia de classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos, no Brasil a distribuição da concentração populacional urbano-rural chega a ter cerca de 76% da população em centros urbanos, enquanto 60,4% dos municípios são rurais e concentram apenas 17% da população.

Com a grande concentração populacional nos centros urbanos nas últimas décadas, houve um crescimento do número de veículos circulando, o que provocou diversos problemas relacionados à mobilidade. Dentre eles, a velocidade média dos veículos nas cidades passou a diminuir a cada ano, devido aos enormes congestionamentos.

E diante das adversidades causadas pelo aumento de veículos circulando, juntamente com a falta de planejamento e gerenciamento adequado do tráfego, o controle de tráfego inteligente torna-se um aliado para a promoção da mobilidade urbana e para muitos autores, não é possível existir uma cidade inteligente, sem que haja um controle de tráfego eficiente inteligente com o uso da Tecnologia da Informação.

As cidades inteligentes está entre as evoluções da 4ª revolução industrial (revolução digital), a chamada Indústria 4.0, cenário de uma expansão tecnológica dramática, onde, sistemas e “coisas” conectadas e inteligentes, agregando velocidade, reduzindo custos, para que pessoas possam trabalhar de um jeito mais eficiente, auxiliadas por tecnologias como *cloud computing*, internet das coisas (IoT), inteligência artificial (IA), mobilidade, em conjunto com maior eficácia computacional e dados (DAMERI,2013).

A cidade contemporânea sofre o efeito dessa revolução digital, a qual impacta na sua organização espacial e dinâmica remodelando-a em distintas esferas, inclusive sobre a mobilidade urbana. Diante a um cenário em que, para grande número de serviços e atividades não é mais preciso deslocar-se fisicamente, faz-se necessário refletir acerca do impacto causado pelas Tecnologias da informação e comunicação – TIC na mobilidade urbana, bem como a sua utilização enquanto potencial instrumento dirigido para a promoção de sustentabilidade mediante redução de viagens, congestionamentos, mudanças nos padrões de viagens, eficiência no uso do tempo e energética. Nesse sentido, diversas estratégias de mobilidade sustentável consideram diretrizes que articulam a virtualização ao gerenciamento da mobilidade.

Neste sentido o escopo deste projeto apresenta com ideia central, analisar a influência e as transformações produzidas na mobilidade urbana resultantes da revolução digital, refletindo sobre as possibilidades e eventuais desafios colocados pelo uso das TIC's na gestão da mobilidade urbana da cidade de Fortaleza - CE.

1.1 Justificativa da Pesquisa

Considerando que a mobilidade tem grande influência no cotidiano de pessoas, mercadorias e outros serviços, além da grande importância socioeconômica para a sociedade, estudos sobre mobilidade tem grande importância. A partir desses estudos pode-se planejar e gerenciar melhor o trânsito e mobilidade nas cidades.

Soma-se o fato de que ter o domínio sobre o assunto é importantíssimo para que o engenheiro civil agregue qualidade aos seus serviços, pois uma vez ciente da importância do emprego da tecnologia para a soluções de trânsito.

Há ainda que se destacar que ao se ter tecnologias empregadas para solucionar, identificar problemas no trânsito e promover mobilidade, evita-se gastos,

congestionamentos e até mesmo problemas sociais relacionados a inacessibilidade dos transportes.

Neste contexto, o presente trabalho se justifica por ser um estudo que tem por objetivo apontar as tecnologias utilizadas para melhoria e gestão do tráfego da cidade de Fortaleza-CE.

1.2 TÉCNICAS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para a coleta de dados foram realizadas interferências na programação semaforizada de algumas interseções semaforizadas integrantes do Sistema Centralizado de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza, a fim de se obter dados de ordem quantitativo, esta coleta de dados dos sistemas que contam com a tecnologia voltadas para a melhoria da mobilidade desenvolvidos para a cidade e trabalham com o uso de tecnologias voltadas para a melhoria do fluxo de veículos na cidade, segurança e promoção da igualdade no trânsito a fim de entender a sua percepção sobre a atuação dos sistemas ITS nestas regiões.

A partir das análises de dados de tráfego obtidos de sistemas ITS implantados na região estudada, pretende-se, estabelecer indicadores de melhorias no tráfego, segurança e mobilidade no geral, identificando o desempenho médio destas regiões, tendo como resultado os níveis de serviço médios, densidade, capacidade e outros.

Espera-se no final da pesquisa além da obtenção dos indicadores de melhorias na mobilidade relacionadas ao uso das tecnologias, a possibilidade da indicação de implantação de novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas para a melhoria/auxílio dos deslocamentos em grandes cidades do mundo.

2 OBJETIVOS

Os objetivos que orientam o presente estudo são:

2.1 Objetivo geral

A busca constante de melhorias na mobilidade urbanas pelas grandes cidades, induzem a implantação de soluções tecnológicas, as conhecidas ITS (Sistemas de Transportes Inteligentes). Assim, este trabalho tem por finalidade identificar a efetividade do SCOOT e outras tecnologias implantadas para o tráfego urbano, tendo como estudo de caso uma área de destaque da cidade de Fortaleza – CE.

2.2 Objetivos específicos

Para obtenção do objetivo geral estimado para esse trabalho, foi traçado a seguinte linha de outros objetivos que darão embasamento as análises e sucesso nos resultados.

- Identificar na literatura os principais sistemas ITS, que tem por finalidade as melhorias das condições de mobilidade com ênfase no tráfego urbano de veículos.
- Caracterizar a cidade de Fortaleza – CE, na busca de identificar os sistemas de ITS utilizados em consonância com as melhorias de mobilidade.
- Analisar os sistemas ITS implantados e em operação na cidade de Fortaleza – CE, buscando identificar as efetivas melhorias no tráfego urbano de veículos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mobilidade urbana

Durante o século 19 as pessoas foram estimuladas a deixar as zonas rurais da cidade para morarem nos ambientes urbanos, em busca de mais oportunidade. E conforme projeções feitas pela ONU (Organização das Nações Unidas) a chamada World Urbanization Prospect, o relatório que em tradução é significava “Perspectivas de Urbanização Mundial”, no presente ano, 2021 cerca de 54% da população mundial vive em áreas urbanas, até o ano de 2050 a população vivendo em ambiente urbano representará 68% da população mundial, mais de 1/3 dos habitantes.

No Brasil, segundo dados estimados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2010), 84,36% das pessoas vivem em ambiente urbano, conforme tipologia utilizada para classificação e caracterização no ano de 2010. Já no Ceará no que se refere à distribuição da população, segundo situação do domicílio, tem-se uma taxa de urbanização para no ano 2010 igual a 75,09%, percentual inferior ao registrado para o Brasil, mas superior ao da região Nordeste (73,13%).

Comparando com os valores das taxas de urbanização referentes aos anos de 1970, 1980, 1991 e 2000, os quais foram iguais a 40,84%, 53,14%, 65,37% e 71,53%, percebe-se que o Ceará vem aumentando sua taxa de urbanização no decorrer dos anos, acompanhando a tendência brasileira, apresentando um maior número de habitantes em áreas urbanas a partir da década de 1980, segundo dados do IBGE. Em termos quantitativos, tem-se em 2010 um total de 6.343.990 pessoas residindo em áreas urbanas e 2.104.065 em áreas rurais no Estado do Ceará.

Preparar as cidades para esse crescimento tem sido pauta nas reuniões entre grandes líderes no mundo todo, mostrando sua relevância política e social, que buscam planejá-las de forma sustentável, igualitária e prosperas para o futuro. E de acordo com Carvalho, a complexa problemática da mobilidade urbana envolve o aumento da demanda de passageiros no transporte público, frota de veículos particulares e de carga e acessibilidade e o conjunto de soluções que devem ser adotadas para a preparação das cidades para o futuro, com o objetivo de reduzir o tempo de deslocamento, congestionamentos, acidentes e o impacto ambiental, para

que assim a população, bens e serviços possam se deslocar de maneira eficiente nos centros urbanos (2013, p. 346).

Para o Ministério das Cidades, mobilidade não é, em sim só, sinônimo de transportes ou o simples movimento, desejo de ir de local ao outro. Mobilidade envolve todos os deslocamentos diários envolvendo um dos meios de transportes disponíveis, ou não, para fins de estudo, trabalho, lazer e serviços e seu papel é viabilizar todos eles de forma sustentável. Segundo a extinta Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana “a mobilidade urbana é ao mesmo tempo a causa e a consequência do desenvolvimento econômico-social, da expansão urbana e distribuição espacial das atividades” (2015, p.19).

Já na visão de MATORELLI *et al.* (2020, p.52), mobilidade urbana deve ser entendida como a capacidade de dar suporte aos deslocamentos de pessoas e bens no espaço urbano para a realização das atividades diárias.

A rede em que se compõe a mobilidade é um complexo sistema que envolve a infraestrutura urbana, normas jurídicas, procedimentos de fiscalização, organizações, controle do uso da infraestrutura por pedestres, veículos de carga e transportes coletivos. Sendo assim, a capacidade de dar suporte aos deslocamentos para manter e promover o desenvolvimento da cidade e centros urbanos.

Ainda para MATORELLI *et al.* (2020) tendo em vista a definição de mobilidade e tudo que a representa e a forma como impacta diretamente na qualidade de vida das pessoas e nas gerações futuras o poder público deve investir em melhores práticas de mobilidade urbana e na sustentabilidade nas ações e intervenções voltadas para atender à necessidade das gerações presentes e futuras, de forma que o impacto ambiental seja mínimo, daí surge a mobilidade urbana como um serviço.

A mobilidade urbana para ser sustentável precisa ter capacidade de prover deslocamentos por meio de infraestruturas e serviços com: (1) como menor impacto ambiental (em termos de energia e poluição) e que melhorem a qualidade dos ambientes urbanos; (2) com modicidade tarifária e sem comprometer a saúde financeira dos provedores; e (3) buscando a inclusão social e com equidade no uso do espaço urbano. (MATORELLI *et al.*, 2020, p.58).

O tema mobilidade ganhou destaque nacional a partir das manifestações ocorridas em junho de 2013, que inicialmente tratava apenas dos aumentos nas tarifas do transporte público logo se tornou um discurso sobre promoção de políticas públicas relativas à mobilidade, que antes era tratada a cada 4 anos.

Inicialmente, as discussões relativas à mobilidade urbana e as demandas eram sempre associadas à garantia do acesso ao transporte público, especificamente sobre a capacidade (ou falta dela) da população em arcar com os valores das tarifas. Desta forma a ligação quase biunívoca entre mobilidade e transporte coletivo culminou em políticas públicas e decisões que ao invés de mitigar, ampliaram as externalidades negativas nos deslocamentos urbanos, gerando mais congestionamentos, poluição e sinistros de trânsito.

Na interpretação de MARTORELLI *et al.*, dificuldades no compartilhamento das vias entre pessoas, carros, motos, bicicletas, caminhões e ônibus, gera cada vez mais poluição, sinistros e congestionamento, na qual o transporte público é protagonista, sendo considerado um serviço/modo ineficiente e desconfortável, fazendo com que as pessoas prefiram os carros, aumentando a quantidade de carros na vias.

Antes de aplicar qualquer mudança que tenha impacto direto ou indireto nos deslocamentos de uma cidade, deve-se verificar se está associada ao conjunto de políticas de desenvolvimento urbano, submetendo-se às diretrizes expressas nos Planos Diretores Participativos.

A Lei Nacional 10.257/2001 estabeleceu em seu artigo 41, § 2º, a obrigatoriedade das cidades com mais de 500 mil habitantes elaborarem seus Planos de Transporte Urbano Integrado, compatível com o seu Plano Diretor, ou nele inserido. Porém, considerando que o planejamento estratégico é condicionante de uma gestão pública eficiente, é recomendável que todos os Municípios elaborem de maneira democrática-participativa seus Planos de Mobilidade Urbana.

Lei de Diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012), determina que deve ser observada pelos Planos Locais de Mobilidade Urbana que serão elaborados por cada Município e Região Metropolitana, notadamente no que se refere aos objetivos, princípios e diretrizes.

- a) **Objetivos das Políticas de Mobilidade Urbana:** Com eficácia de vinculação finalística, juridicamente exigível e controlável, definiu-se pelo artigo 7º da Lei 12.587/12 que as políticas públicas de mobilidade urbana serão democraticamente estruturadas e implementadas em todos os entes federativos (Municípios, Estados, Distrito Federal, União) e deverão sempre ter por objetivo: I – reduzir as desigualdades e promover a inclusão social; II – promover o acesso aos serviços básicos e equipamentos sociais; III – proporcionar melhoria nas condições urbanas da população no que se refere à acessibilidade e à mobilidade; IV – promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades; V – consolidar a gestão democrática como instrumento e garantia da construção contínua do aprimoramento da mobilidade urbana.
- b) **Princípios Reitores:** Também restou definido (artigo 5º da Lei 12.587/2012) que toda e qualquer política pública de mobilidade urbana, seja de qual Município, Região Metropolitana ou Estado for, deverá pautar-se, sob pena de invalidade jurídica, pelos seguintes princípios: I – acessibilidade universal; II – desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais; III – equidade no acesso dos cidadãos ao transporte coletivo público; IV – eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano; V – gestão democrática e controle social no planejamento e avaliação da política pública de mobilidade; VI – segurança no deslocamento das pessoas; VII – justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços; VIII – equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros; e IX – eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana.
- c) **Diretrizes:** E como diretrizes necessárias para manter a coerência nacional das políticas locais, regionais, metropolitanas, estaduais e federais de mobilidade urbana, estabeleceu-se no artigo 6º da Lei 12.587/2012, as seguintes: I – integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos; II – prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado; III – integração entre os

modos e serviços de transporte urbano; IV – mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade; V – incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes; VI – priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado; VII – integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.

A precariedade da mobilidade urbano no Brasil reflete diretamente no PIB, segundo dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), aponta que todos os anos devido a ineficiência dos transportes, congestionamentos, infraestrutura viária precária e vias mal planejadas, tiram da economia brasileira R\$ 267 bilhões de reais o que equivale a quase 4,00% do Produto Interno Bruto (PBI) do Brasil, isso sem considerar com os custos com acidentes para a saúde, que custam mais de R\$ 19 bilhões por ano (GORGOLHO *et al.* , 2020).

Por isso é importante assegurar a assertividade das proposições das novas e atuais políticas públicas de transportes, os modelos precisam estar devidamente calibrados e validos para as condições locais.

A quantificação do volume de tráfego, acessibilidade, são elementos críticos para as medidas de impacto e redução das condições de tráfego e influenciam diretamente na qualidade dos projetos. Já no tocante das análises operacionais, o volume de tráfego é necessário para análises de acidentes, programação semafórica, avaliação do nível de serviços, bem como avaliação de melhorias operacionais como as faixas de prioridade, redução/aumento da velocidade operacional, faixas reversíveis, restrições de fluxo, avaliação de emissão de gases no ar e no auxílio de sistemas de informações ao usuário.

3.2 Sistemas ITS

Conforme demonstrado anteriormente, soluções de trânsito e mobilidade urbana tem se mostrado muito importante para a qualidade de vida das pessoas, economia e outros fatores relevantes das cidades. Juntamente com todos os avanços que têm surgido durante na indústria 4.0, o termo cidades inteligente tem sido

frequente, visto a gama de sistemas inteligentes que são empregados para a melhoria da infraestrutura urbana e na qualidade de serviços públicos, possibilitando estimular o desenvolvimento sustentável, aumentar a capacidade de crescimento e outros.

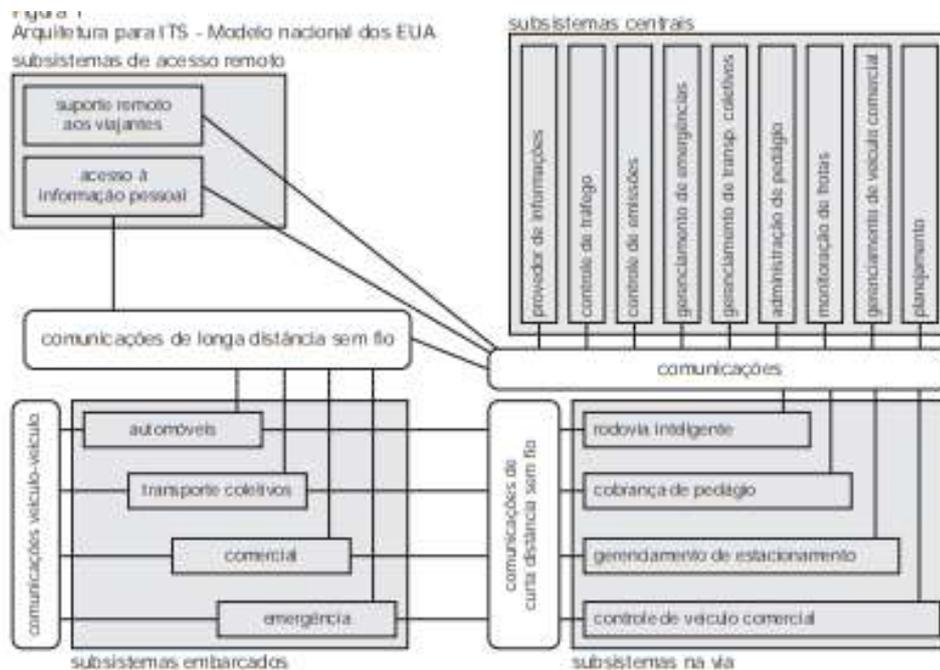
Para DAMERI (2013), o uso intensivo dos recursos tecnológicos é o alicerce das cidades inteligentes, especialmente, da TIC, a qual possibilita conectar os diferentes atores do espaço urbano e suportar os serviços digitais provisionados pelas organizações públicas e privadas.

Ainda para DAMERI (2013), importância da engenharia e de outras tecnologias na sustentação de áreas relacionadas à logística, mobilidade e sustentabilidade do meio ambiente. Entre os diversos atores envolvidos, é importante citar as empresas de alta tecnologia, universidades e institutos de pesquisa, pois estes utilizam suas competências para planejar e implementar soluções inteligentes para melhorar a vida urbana disponibilizadas sobre a forma de projetos e iniciativas.

No mercado é crescente o desenvolvimento de ferramentas que auxiliam o movimento de pessoas e gerenciam o tráfego com o sistema de INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITS), utilizada para processamento e armazenamento de dados de tráfego a partir de detectores automáticos.

ITS são sistemas de gestão que integram informações de infraestrutura, serviços de trânsito, tráfego, transporte, vias e veículos para permitir a gestão e provisão de informações para gestores e cidadãos – ATMS. Segundo, TANIGUCHI *et al.* (2001) os sistemas ITS consistem num conjunto de tecnologias aplicadas ao gerenciamento de sistemas de transportes para melhorar a eficiência (apud, MENEZES, H. B., 2003). A Figura 1 mostra a relação entre elas.

Figura 1. Arquitetura para ITS.



Fonte: AQUINO, et al., 2001.

A Tabela 1 mostra as principais soluções de ITS e a sua relação com os serviços prestados aos usuários.

A aplicação dessas tecnologias gera inúmeros benefícios para a operação e controle de tráfego urbano. Dentre eles:

- Aumento da capacidade viária;
- Melhor gestão de tráfego, a partir de dados colhidos e armazenados;
- Melhoria da qualidade do ar;
- Facilita a integração dos sistemas de transportes públicos;
- Maior segurança viária com o monitoramento de acidentes;
- Priorização de veículos de emergência e que transportam cargas perigosas

Tabela 1: Áreas de aplicação de sistemas ITS e suas respectivas funcionalidades.

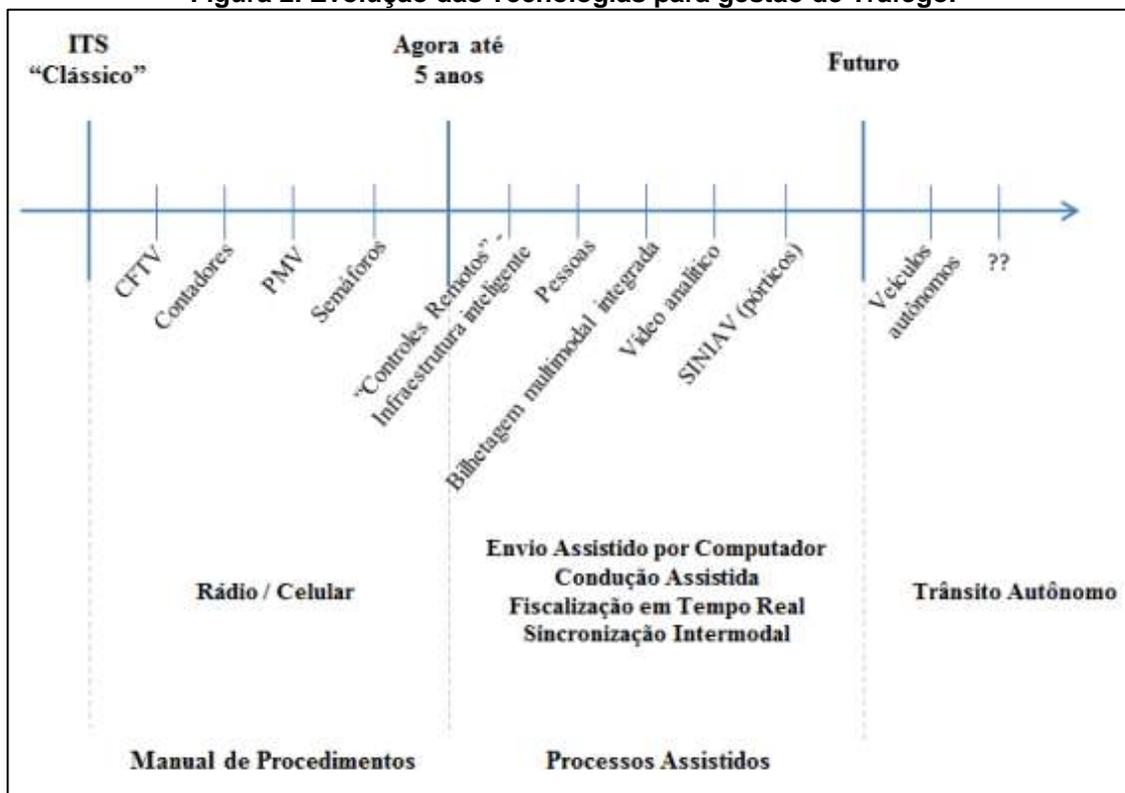
Área de aplicação	Serviços ao usuário
Advanced traffic Management System (ATMS)	Gerenciamento da demanda e planejamento de transportes. Controle e fiscalização do tráfego e monitoramento de incidentes
Advanced Traveler Information Systems (ATIS)	Navegação e orientação aos motoristas. Informações aos usuários de transporte coletivo
Advanced Vehicle Control and Safety Systems (AVCS)	Operação automática de veículos Prevenção de colisões laterais e longitudinais
Advanced Public Transportation Systems (APTS)	Gerenciamento de transportes públicos e priorização de transportes públicos
Commercial Vehicle Operations (CVO)	Gerenciamento de frota, rastreamento de veículos comerciais e monitoramento de cargas perigosas
Emergency Management Systems (EM)	Gerenciamento de Veículos de Emergência
Electronic Paymen (EP)	Transações financeiras eletrônicas
Autoatic Emission Control (AEC)	Controle automático da emissão de poluentes

Fonte: Aquino *et al.*, 2001.

No Brasil, as tecnologias aplicadas ao controle e gerenciamento do tráfego urbano tem apresentado grande evolução ao longo do tempo. A Figura 2, mostra a evolução das tecnologias ao longo do tempo, tomando como referência o ano de 2014. Gorgolho *et al.* (2020), afirmam que as tecnologias evoluíram dos Sistemas de Transportes Inteligentes (ITS), que utilizam antigos contadores, semáforos, Circuito Fechado de Televisão (CFTV) e Painéis de Mensagens Variáveis (PMV), passando em seguida pelos contemporâneos processos assistidos representados pelas

tecnologias de bilhetagem multimodal integrada, vídeos analíticos, pórticos analíticos e infraestrutura inteligente.

Figura 2. Evolução das Tecnologias para gestão de Tráfego.



Fonte: Figura adaptada (Gonçalves, 2014)

Segundo Teixeira (2004, p27, apud TANIGUCHI), há uma necessidade crescente pela melhoria da eficiência do tráfego urbano para a sustentabilidade das grandes cidades. Vale destacar os sistemas ATMS (*ADVANCED TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS*) que usam basicamente 3 elementos básicos para realizar suas atividades: A aquisição, processamento e disseminação de dados de tráfego (Adaptado, TANIGUCHI *et al.*, 2001). E a aplicação eficiente das ATMS consiste no seu uso em sistemas centralizados de tráfego urbano, como o controle semafórico em tempo real.

Além dos sistemas apresentados diversas outras tecnologias existentes podem ser utilizadas para melhoria no trânsito são: controle de semáforos, fiscalização por vídeo monitoramento e estudo de tráfego através de coleta de dados em tempo real. A partir dessas tecnologias pode-se tratar os dados para que o planejamento da manutenção na infraestrutura seja correto a fim de otimizar o trânsito e torná-lo seguro para as pessoas. Tecnologias da Informação e Comunicação por sua vez oferecem informações para que os gestores possam ter subsídios para

melhorar a mobilidade e segurança no trânsito. Dentre as principais ferramentas da área de TIC de apoio à mobilidade urbana temos:

3.2.1 *Sistemas de Informação*

Com o avanço da internet, as informações são obtidas e circulam de forma rápida. E todos os dias surgem novas ferramentas para que as tarefas do cotidiano sejam executadas de forma mais rápida com o auxílio da internet.

Ferramentas de navegação como o waze, moovit e outros da mesma categoria, viabiliza a mobilidade dos mais diversos usuários do transporte motorizado e ativo, mostrando os pontos de paradas mais próximos aliados aos itinerários do transporte público, incentivando a integração entre os modos de transporte para um deslocamento mais rápido, se assim desejar. Para os usuários do transporte ativo com bicicletas algumas ferramentas indicam a localização de locais que dispõem do serviço de bicicletas compartilhadas, bem como a rota com disposição de infraestrutura cicloviária no trajeto até o local de destino, além da possibilidade de utilizar da integração entre outros meios de transporte coletivo disponíveis na cidade.

A variedade de informação que é fornecida pelos usuários de forma georreferenciada norteia a tomada de decisões das autoridades competentes do trânsito, como a ocorrência e frequência de acidentes, dados de logística de cargas e outros dados relacionados a operação e segurança viária. Um exemplo é a plataforma “VIDA”, da prefeitura de Fortaleza, que dispõe de dados sobre acidentes na malha viária do município, também, classificando-os quanto a severidade, horário, tipo de veículo envolvido e região, auxiliando a gestão na tomada assertivas de decisões de modo a diminuir a ocorrência de sinistros de trânsito.

Muitas outras possibilidades de uso dessas ferramentas ainda estão sendo exploradas, o big date e a inteligência analítica utilizada para auxiliar na tomada de decisões, atingindo um bom grau de satisfação do usuário, agregando ao cotidiano facilidades e eficácia nos deslocamentos.

3.2.2 Sistemas de CFTV

Os sistemas de circuito fechado de televisão têm por finalidade monitorar vias e cruzamentos em pontos estratégicos como pontos de grande circulação de pessoas e veículos, pontos de interesse comum de deslocamento, via de acesso para portos, aeroportos, rodoviárias e hospitais, entre outros. E tem por finalidade a rápida identificação de incidentes de forma remota por parte do agente que se encontra na central.

O CFTV propicia que a gestão utilize da malha viária de forma racional, de modo objetivo possibilitando que o sistema viário existente seja mais eficiente no atendimento da demanda diária, postergando ou até mesmo afastando totalmente a possibilidade de intervenções na infraestrutura viária, avisando o aumento da capacidade viária e a solução de pontos de congestionamentos.

Além da rápida identificação e localização do incidente, o CFTV tem sua eficiência ligada a operação de trânsito dos agentes de fiscalização, onde o operador da central tem condições de coordenar as equipes para a localidade para o auxílio em campo durante a intercorrência, não sendo mais essas operações condicionadas a comunicação do acontecimento através de solicitação por telefone, rádio ou internet. A figura 3 mostra como o centro de controle de tráfego em operação com CFTV.

Figura 3. Controle de Tráfego Centralizado.



Fonte: (Autarquia Municipal de Trânsito)

O sistema que inicialmente tem por finalidade o monitoramento de trânsito e operações relacionadas ao tráfego, também pode ser integrada aos sistemas de segurança pública e atendimento de urgência e emergência, funcionando dentro da mesma metodologia utilizada pela gestão de tráfego, os operadores que possuem expertise na coordenação de operações táticas de segurança e de atendimento de urgência e emergência, respectivamente, ordenam a equipe de campo.

3.2.3 Sistemas de Monitoramento Eletrônico

A segurança no trânsito é sem dúvidas o tema maior preocupação na gestão e controle de tráfego. A segurança no trânsito é colocada em risco a partir do momento em que os usuários descumprem alguma das regulamentações de trânsito vigente. As infrações de trânsito segundo o Código Nacional de Trânsito podem ser constatadas de forma válida de 3 formas, conforme o código 280, § 2º:

- I) Declaração da própria autoridade de trânsito (dirigente máximo do órgão ou entidade executivos, ou pessoa por ele expressamente designada);
- II) declaração do agente da autoridade de trânsito (servidor civil, estatutário (Menezes,

2015) ou celetista, ou policial militar designado, mediante convênio firmado); e III) equipamento previamente regulamentado pelo Conselho Nacional de Trânsito. (Brasil, 1997)

Conforme o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) a fiscalização se dar de 2 maneiras, a metrológica e a não metrológica, a primeira forma se usa quando só se é possível constatar a infração quando se mede em grandezas físicas, um bom exemplo seria a fiscalização eletrônica de velocidade. Os equipamentos de fiscalização metrológicos são estruturas fixas na via ou portáteis usados em blitzes que, baseado nas tecnologias de laço indutivo, doppler (ultrassom), laço virtual (cálculo sobre imagem) ou laser, são capazes de capturar informações quanto à presença e tempo de passagem dos veículos, conforme ilustra a figura 4.

Figura 4. Radar de fiscalização eletrônica de velocidade.



Fonte: (Autarquia Municipal de Trânsito, 2021)

São equipamentos que capturam a velocidade de passagem dos veículos na via e a apresentam aos condutores por meio de uma estrutura fixa com um painel digital comumente afixada nas laterais das vias de tráfego. Esses equipamentos também registram infrações quando associados a radares.

Alguns dos equipamentos, permitem com ou sem intervenção física na via, fazer a contagem e por vezes classificação (veículo de passeio, veículo médio, veículo pesado) do fluxo viário. Esses equipamentos são ferramentas importantes para a gestão do tráfego urbano, permitindo que os gestores, entendam a sazonalidade e intensidade do fluxo viário.

Além de toda a contribuição para a segurança viária, através da fiscalização, o monitoramento eletrônico é capaz de armazenar dados que contribuem com estudos futuros e com a segurança pública, uma vez que o sistema memoriza a passagem de veículos e possibilita o traçado de padrões de deslocamento de veículos suspeitos.

3.2.4 *Sistemas de Controle Semafórico*

As interseções em nível, diretas ou rotatórias, são uma das principais causas dos congestionamentos, onde, geralmente se concentram os movimentos conflitantes entre pedestres e veículos e veículos com veículos gerando um ponto crítico na malha viária, onde ocorre com maior frequência acidentes e redução na capacidade de tráfego. Em todos os casos, é necessário definir a forma de controle da passagem de veículos e pedestres para reduzir os conflitos (LOUREIRO *et al.*, 2002).

Para a redução de conflitos em pontos mais críticos, os semáforos, se aliados com um projeto operacional eficiente e um sistema de controle adequado é uma solução para otimizar o desempenho da operação geral de tráfego numa cidade, resultando na redução de acidentes, tamanho de filas e a eliminação ou delongar necessidade de construção de novas vias para aumentar a capacidade.

O controle da duração de fases de um semáforo necessita ser eficiente e bem planejado, para que as sequências de indicações luminosas atendam com êxito sua finalidade na ordenação de veículos e pedestres. Esse comando é realizado através de dois tipos de controladores: o de tempo fixo e em tempo real por demanda.

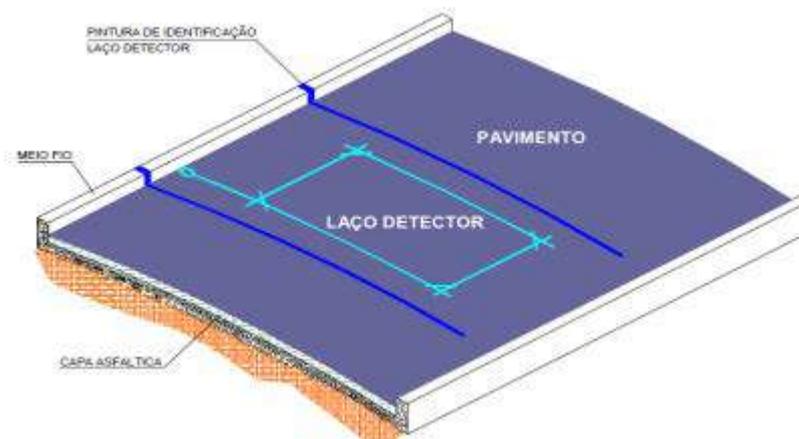
Esses controladores podem ser inseridos dentro de sistemas de controle centralizado de tráfego e se utilizar de sistemas inteligentes para garantir a operação de um conjunto de equipamentos de controle centralizado que possa interagir de acordo com a demanda captada, visando sempre otimizar a capacidade viária.

Conforme afirma Bezerra (2007, p.39), nos controladores de tempo fixo a duração do ciclo semafórico é constante, significando que independentemente da variação do fluxo de veículos na interseção, o tempo de verde e vermelho no ciclo será sempre o mesmo. E em alguns equipamentos mais modernos é possível alterar a programação em alguns períodos do dia através de planos de operação que adequam a duração dos ciclos e fases de acordo com a demanda estimada para cada período. Podendo ainda dispor de um mecanismo de seleção dinâmica que através de informações dos detectores, os planos semafóricos pré-calculados são implementados através da central de forma dinâmica, combinando a atuação veicular com a seleção do plano atuante (OLIVEIRA DE SOUSA et al., 2020)

Sobre os controladores por demanda, Bezerra (2007, p.40) discorre que os controladores por demanda de tráfego são mais complexos que os de tempo fixo por possuírem detectores de veículos no pavimento e calculam os ciclos de forma instantânea, em tempo real, podendo ajustar a programação a qualquer momento, com base nos dados e informações enviadas pelos detectores. E possuem eficiência superior a 15% quando comparados com os semáforos de tempo fixo numa avaliação de tempo de espera e duração de tempo de pico (OLIVEIRA DE SOUSA et al., 2020)

Aquino explica para que as informações vindas dos detectores sejam recebidas pelos computadores do Centro de Controle em Área (CTA) é necessário o SCOOT, um sistema que é integrados aos controladores semafóricos que calculam o fluxo das vias por meio de laços indutivos (registradores implantados na via) e adaptam dinamicamente os tempos semafóricos às condições de trânsito da via e propiciando um trânsito controlado e fluido – Sistema SCOOT, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5. Posicionamento dos laços detectores sob o pavimento.



Fonte: AQUINO, E.A., 2012.

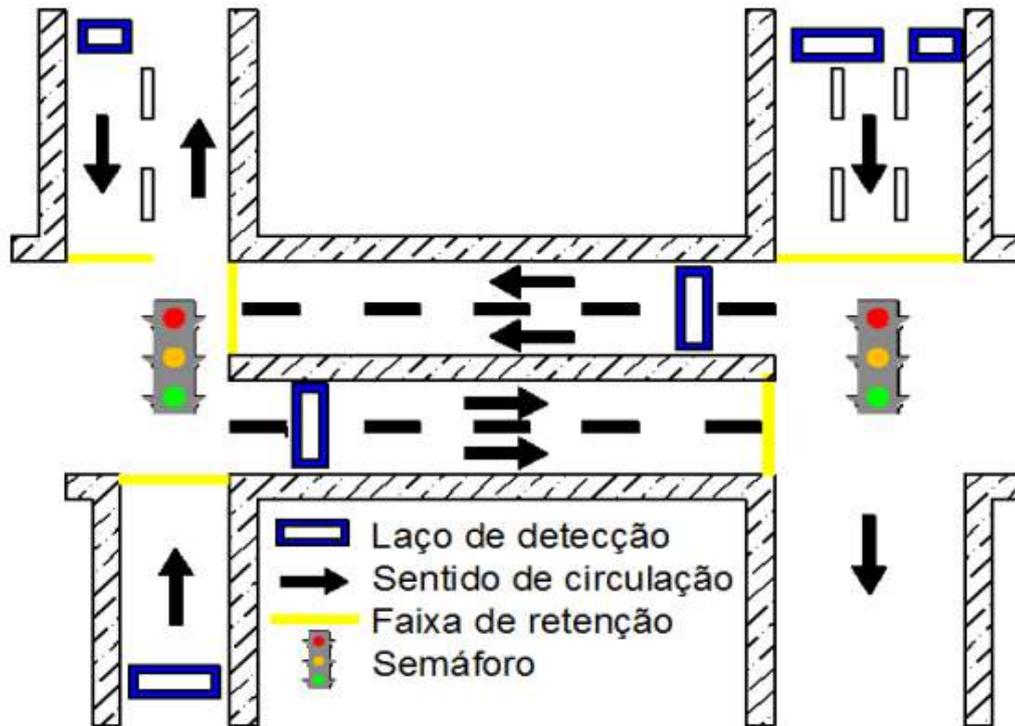
Durante o processo de otimização semafórica, o SCOOT modela e armazena os dados coletados pelos detectores veiculares numa base de dados denominada ASTRID, que fica à disposição dos técnicos. Esta base viabiliza informações das condições de tráfego na forma de 18 variáveis distintas, disponíveis em até sete tipos de entidades viárias modeladas pelo SCOOT (LOUREIRO, et al., 2003).

A coleta de dados do sistema SCOOT é através de laços detectores instalados no pavimento no sentido do tráfego viário. Segundo Aquino (2012) esses detectores são fios indutivos e geralmente situados à montante da interseção semafórica que se deseja representar. Os dados coletados através dos laços indutivos são chamados de Unidade de perfil do Link (LPU – Link Profile Unit), calculadas através de medições de presença e ocupação veicular no laço, onde o SCOOT é capaz de medir a demanda de tráfego. A Figura 6 mostra um esquema do posicionamento dos laços detectores de acordo com a geometria viária.

Segundo Menezes (2003, apud AQUINO, 2012) o modelo de tráfego gerado a partir das informações obtidas pelo SCOOT estima diversas medidas de desempenho do tráfego com base em seu sistema de detecção. Estas medidas são armazenadas em um banco de dados denominado de Automatic SCOOT Traffic 33 Information Database (ASTRID). Este banco de dados foi projetado para compilar todos os dados do tráfego a partir de mensagens periódicas geradas pelo sistema SCOOT. O ASTRID armazena dados do tráfego compilados em períodos agregados

de 15 minutos, em uma base de dados específica no sistema SCOOT (AQUINO, 2012).

Figura 6. Esquema de posicionamento de laços detectores no pavimento.



Fonte: Aquino (2012).

Montgomery et al. (1998) advertem que, embora informações de contagens de volume de tráfego possam ser obtidas nesses sistemas de detecção e possam ser consideradas eficientes, a atividade de contagem volumétrica é uma função derivada, ou seja, os dados coletados por esse método não são precisamente dados de fluxo, mas uma variável mista, baseada em medições de presença e ocupação veicular no laço indutivo, chamadas de Unidade de Perfil do Link LPU (apud AQUINO, 2012, p.30).

Com os dados coletados é possível representar o fluxo ininterrupto de veículos da rede semafórica além de possibilitar uma simulação mesoscópica da rede, que é uma classe intermediária entre os níveis de simulação de tráfego, onde o nível de detalhamento utilizado na representação é menor do que no modelo de simulação microscópico e mais bem detalhado do que nos macroscópico. No modelo mesoscópico o detalhamento pode mudar ao longo do tempo e espaço, dependendo das condições de tráfego.

3.3 Tecnologias aplicadas a mobilidade utilizadas em Fortaleza – CE.

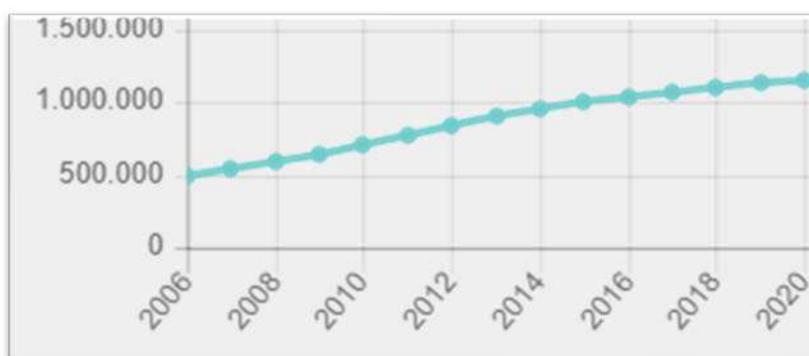
3.3.1 Caracterização da cidade.

A cidade de Fortaleza é a capital do estado do Ceará e está inserida dentro da região metropolitana de Fortaleza, possui uma população de aproximadamente 2.703.391 pessoas, conforme estimativa para 2021 com os dados do último censo do IBGE (2010); com área territorial correspondendo a 314,93 km², com densidade de 8584,10 hab./km², com 13,2% das vias públicas urbanizadas, ainda considerando os dados de 2010.

Como está situada dentro da região metropolitana, a cidade se encontra fortemente conurbada com os municípios de Caucaia, Eusébio e Maracanaú, gerando grande interação quando a questão é mobilidade e economia. Se fazendo necessário planejar o cenário urbano, pensando na mobilidade de pessoas e veículos, não somente para atender a demanda do município e sim de toda a área de influência.

A frota segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) a frota de veículos é de aproximadamente 1.175.700 veículos, maior frota do estado e a 7^a do Brasil. Acompanhando o ritmo de crescimento mundial, quando se fala de motorização de cidades, a frota de Fortaleza cresce a cada ano, conforme mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1. Crescimento da frota em Fortaleza-CE.

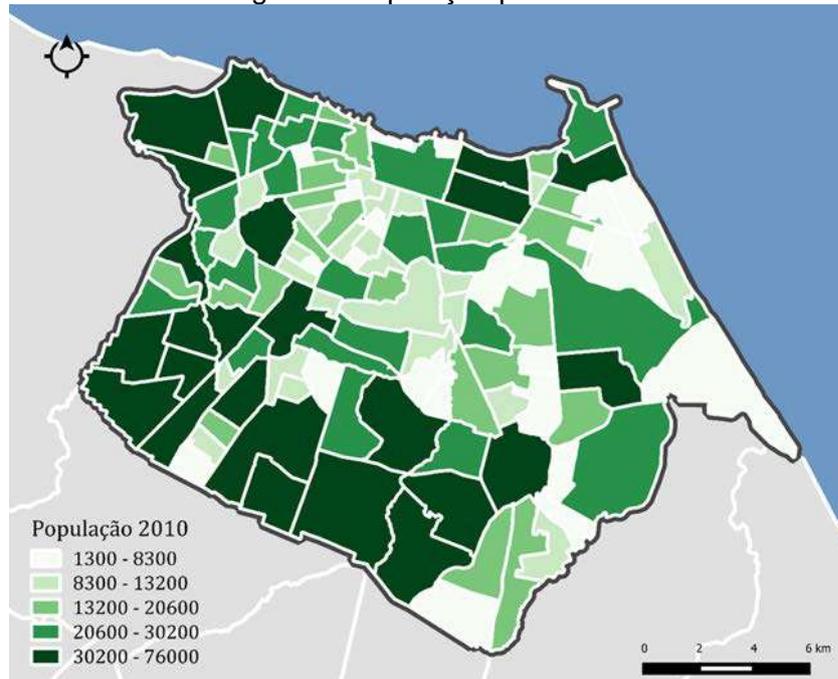


Fonte: IBGE (2010).

Além da grande frota a cidade conta com uma malha viária tem um desenho que contém vários gargalos, que diminuem a acessibilidade e aumentam a impedância durante os deslocamentos, dificultando a mobilidade e gerando pontos de congestionamentos, diminuição da fluidez e causam acidentes nos pontos que contornam esses grandes equipamentos urbanos.

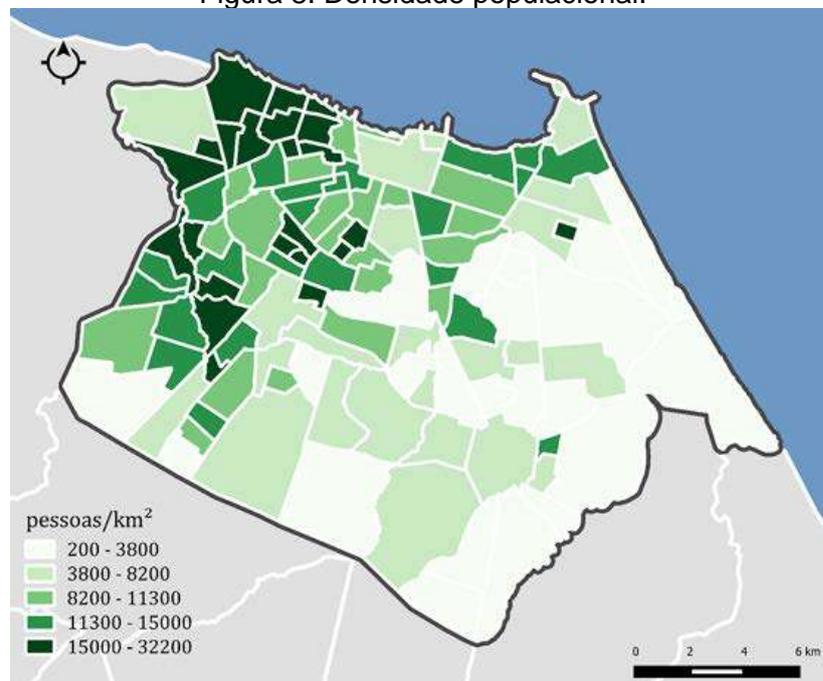
Sabe-se que grande parte dos deslocamentos de uma cidade são por motivo trabalho e educação, embora a maior parte da população esteja concentrada na zona mais ao sul e leste do território municipal, como mostra a Figura 7 e a distribuição espacial dos empregos formais se concentram no centro e nos bairros adjacentes ao oeste, gerando nesses locais, onde há de grande oferta de emprego pontos críticos na malha viária urbana.

Figura 7. População por bairro.



Fonte: Plano de Mobilidade Urbana de Fortaleza (IPLAM)

Figura 8. Densidade populacional.

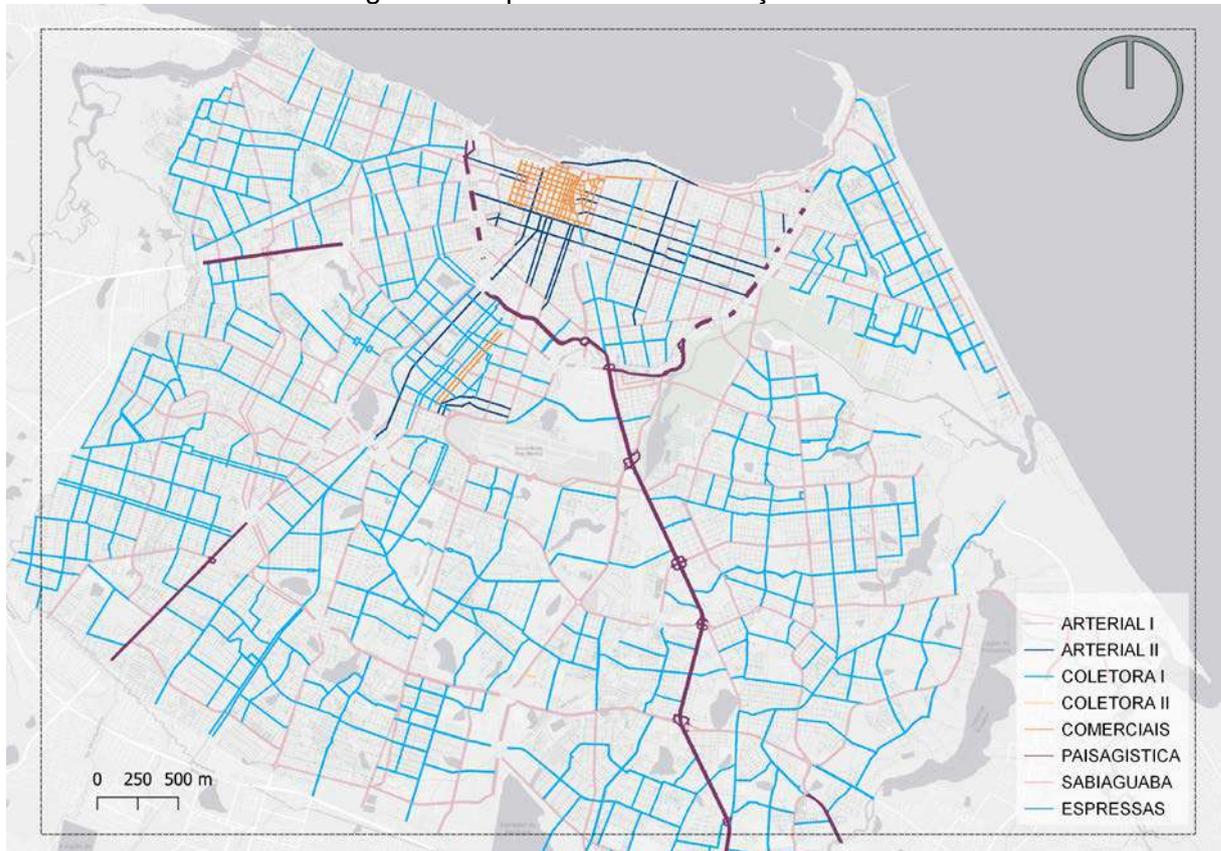


Fonte: (IPLAM, 2015)

Fortaleza conta com a infraestrutura de uma malha viária onde sua hierarquia é definida de acordo com a Lei de Uso e Ocupação do solo (LUOS), que (São Paulo Public Transportation Statistics, s.d.) segundo a própria LUOS o modelo segue premissas modernistas que prevê a expansão do sistema viário. A figura 9

mostra a classificação viária conforme a LUOS, destacando as vias expressas, arteriais I, arteriais II, coletoras e paisagísticas (PLAMOB, 2015).

Figura 9. Mapa com a classificação viária.



Fonte: Elaborado pela Autora

3.3.2 Sistemas ITS

O município de Fortaleza tem se tornado referência quanto ao uso de tecnologias de monitoramento e gerenciamento de trânsito que contribuem para um trânsito mais igual, sustentável e acessível a todos.

Fortaleza tem enfrentado diversas mudanças, dentre elas o grande crescimento da população (pela migração de pessoas da zona rural para zona urbana), ocupação desordenada do solo e adensamento urbano, que juntas, causaram a degradação operacional da malha viária. E por muito tempo foi investido em melhorias na infraestrutura viária, visando aumentar a capacidade das vias e conseqüentemente a redução de congestionamentos na cidade (PLAMOB, 2015).

A partir do ano de 2000, como destaca o Plano de Mobilidade Urbana de Fortaleza, a política voltada para a melhoria da infraestrutura viária foi revista pela prefeitura, que decidiu implantar um sistema de controle centralizado de tráfego, o CTAFOR (Controle de tráfego em Área de Fortaleza) que tinha como objetivo dar suporte e maior permanência da infraestrutura existente, a fim de evitar novas grandes intervenções e garantir que o trânsito da cidade fluísse com mais racionalidade.

O CTAFOR é composto por três subsistemas distintos que na central são operacionalizados de forma integrada o CFTV (Circuito Fechado de Televisão), PMV (Painéis de Mensagens Variadas) e o sistema de gerenciamento da rede semaforica com o SCOOT.

As expectativas com relação aos benefícios operacionais do CTAFOR baseiam-se na premissa de que as obstruções à fluidez do tráfego possam ser rapidamente detectadas e removidas, e que seja alcançada uma redução da ordem de 20% nos atrasos das interseções semaforizadas, proporcionando um aumento na velocidade média do tráfego, diminuição no consumo de combustíveis e na poluição por emissão de gases (PLAMOB, 2015). A Figura 10 mostra a espacialização dos semáforos na cidade.

Grandes cidades como Fortaleza que sofrem diariamente com os pontos críticos dentro da malha urbana, fazem o uso de sistemas de controle de tráfego urbano que fazem o controle e o monitoramento dos sinais de trânsito em sua jurisdição. Um desses sistemas e o que é utilizado em Fortaleza é um sistema de controle em tempo real, o SCOOT– Split Cycle Offset Optimisation Technique (Técnica de otimização de deslocamento de ciclo dividido), que é considerado mais eficiente que os sistemas mais antigos de controle em tempo fixo e o adaptativo.

Figura 10 - Espacialização de semáforos em Fortaleza.



Fonte: Elaborado pela Autora

De acordo com Loureiro, Gomes e Leandro (2003) o funcionamento do SCOOT é fundamentado em um modelo de tráfego que tem por fim minimizar atrasos e paradas sob determinada programação semafórica, simulando os efeitos das alterações dessa programação sobre o tráfego dentro da área controlada. Com base nesses dados, é possível efetuar modificações nos parâmetros operacionais do sistema, que envia automaticamente a informação ao controlador de campo, refletindo assim em alterações nos tempos semafóricos (AQUINO, 2013).

O modelo gerado através do SCOOT com base no sistema de detecção em campo segundo Aquino (2013), estima diversas variáveis de desempenho do tráfego. Estas medidas são armazenadas em um banco de dados denominado de Automatic SCOOT Traffic 33 Information Database (ASTRID). Este banco de dados foi projetado para compilar todos os dados do tráfego a partir de mensagens periódicas geradas pelo sistema SCOOT. O ASTRID armazena dados do tráfego compilados em períodos agregados de 15 minutos, em uma base de dados específica no sistema SCOOT.

Ainda de acordo com Aquino (2013, p.34, apud PEEK, 2001), as 15 variáveis no banco de dados do ASTRID. Com base em PEEK (2001), são descritas as variáveis básicas e derivadas que compõem a base de dados modelada pelo SCOOT.

- a. Fluxo veicular (veículos/h): representa o fluxo de veículos modelado pelo SCOOT, medido em link profile unit (lpu);
- b. Paradas veiculares (veículos/h): representa o número de paradas modelado pelo SCOOT, é medido em lpu/h;
- c. Atraso ((Veículos*h) /h): representa o atraso modelado pelo SCOOT. A variável atraso é medida em lpu*h/h, e convertido em (Veículos*h) /h;
- d. Congestionamento (%): representa um percentual de ocupação de um laço detector;
- e. Variáveis históricas: consistem em quatro parâmetros distintos: histórico de fluxo por ciclo (HFC); histórico de fluxo durante o estágio de verde (HFV), ambos medidos em lpu; histórico de comprimento (tempo) de ciclo HCC; histórico de comprimento (tempo) de estágio de verde (HCV), ambos medidos em unidade de segundos (s). Estes dados permitem ao SCOOT, produzir arquivos profile, para efetuar o controle semaforico, quando os detectores veiculares estão em falha;
- f. Fluxo veicular no detector (veículos/h): representa um valor para o fluxo de veículos;
- g. Ocupação veicular no detector (%): representa o valor percentual de ocupação de um detector, por um veículo padrão.
- h. Comprimento de estágios (s): corresponde ao comprimento de estágio demandado pelo sistema SCOOT;
- i. Atraso veicular (s): representa o atraso de um veículo padrão.
- j. Tempo de jornada (s): consiste na estimativa do tempo de viagem de um veículo padrão num link específico;
- k. Velocidade (km/h): representa a estimativa de velocidade de um veículo padrão num link específico, como modelado pelo SCOOT. Este parâmetro é calculado através da Equação

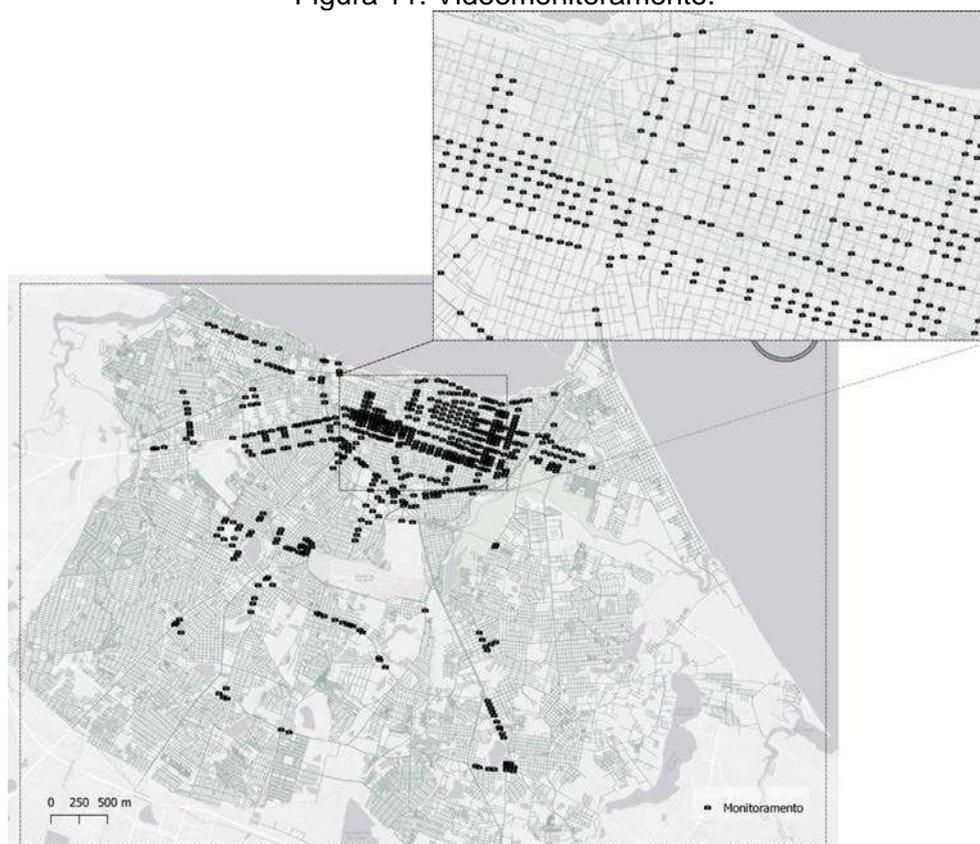
$$3.1: () 6.3 t d l V + x = (3.1) \text{ em que,}$$

V: velocidade (km/h); l: comprimento do link (m); t: parâmetro tempo de cruzeiro no link (s); d: variável atraso veicular no link (s);

- I. Ocupação veicular (ms/veículo): representa uma taxa média de tempo de ocupação de um detector por um veículo;
- m. Fator LPU (lpu/veículo): representa uma estimativa da relação de equivalência entre um veículo padrão e o parâmetro link profile unit. Esta variável é derivada da variável ocupação veicular, no detector.

A fiscalização remota também é realizada dentro do CTAFOR, onde um circuito de câmeras distribuídas nos principais pontos da malha viária para o videomonitoramento integrado e fiscalização de trânsito através de agentes que monitoram em tempo real o tráfego na central de controle a ocorrência de sinistros, infrações e funcionam como apoio tático para operações de segurança pública. A Figura 11 mostra a distribuição dos equipamentos de videomonitoramento na malha municipal.

Figura 11. Videomonitoramento.



Fonte: Elaborado pela Autora

Entre as aplicações da fiscalização não metrológica estão as mais relevantes ferramentas para garantir a segurança e mobilidade, como a detecção de movimentos não regulamentados da pista, como trafegar em vias exclusiva de ônibus, transitar na contramão, o avanço do sinal vermelho, retorno e conversão em local

proibido, parada sobre a faixa de pedestres a circulação de veículos proibidos. A Figura 12 mostra a distribuição dos equipamentos eletrônicos de fiscalização na malha viária de fortaleza.

Figura 12. Equipamentos de fiscalização eletrônica.



Fonte: Elaborado pela autora.

A priorização do transporte público e a implantação de ciclovias na malha viária para a promoção do transporte ativo, que tem tornado a cidade referência em mobilidade na região, com a adoção de corredores exclusivos para o ônibus e para a garantia dessa exclusividade regras diferenciadas de circulação são adotadas para o funcionamento (PLAMOB, 2015). As câmeras de videomonitoramento e radares auxiliam na fiscalização do funcionamento das faixas preferenciais.

Os dados obtidos através de cada sistema utilizado para o controle e fiscalização do trânsito, gera um grande banco de dados que é utilizado para estudos de tráfego e intervenções a nível de projeto, operacional e político, validando ou não ações que geram algum tipo de interferência no trânsito, sempre com o objetivo de melhoria no fluxo de veículos, pessoas e cargas e principalmente a diminuição de sinistros.

3.4 Conclusão

No capítulo 3 foram abordados temas relativos à mobilidade urbana, iniciando uma discursão sobre sua importância, no contexto histórico, para a formação da humanidade, desenvolvimento econômico e tecnológico. Este estudo buscou contextualizar o leitor sobre a importância da mobilidade e como ela afeta diretamente o desenvolvimento de uma cidade.

Em seguida foram conceituadas as cidades inteligentes e definições que uma cidade possa ser considerada inteligente, com isso o principal objetivo foi apresentar as tecnologias utilizadas para o controle, fiscalização e operação no trânsito. Por último foi apresentado o software utilizado para o controle e operação dos semáforos inteligentes da cidade de Fortaleza, que será avaliado quanto aos impactos da sua implementação.

4 MÉTODO

Após uma visão geral sobre a utilização de tecnologias para a melhoria do tráfego urbano, este capítulo apresenta o procedimento para a avaliação de desempenho do sistema de controle de semáforo SCOOT, em operação na malha viária de Fortaleza. O objetivo é integrar a fundamentação teórica com a análise comparativa de cenários na observação do uso do sistema de ITS para controle e otimização de semáforos SCOOT com o sistema de controle em tempo fixo.

No capítulo que segue se inicia com um resumo do procedimento, com a apresentação em ordem cronológica do processo de estudo. Ele está dividido em três etapas. A primeira trata da caracterização e consolidação da base de dados do SCOOT, que será utilizada, posteriormente haverá uma etapa de obtenção e tratamento dos indicadores entre os cenários e então a terceira parte traz uma análise gráfica dos resultados obtidos.

4.1 Base de dados

Para uma definição abrangente das facilidades dos sistemas de ITS, tem sobre o tráfego urbano das grandes cidades, mais especificamente nos ganhos operacionais elencados aos sistemas de controle e otimização de semáforos, no detrimento a melhoria da fluidez e conseqüentemente nos ganhos de tempos de viagem, a definição da área de estudo deve considerar alguns fatores importantes para a abrangência heterogênea do tráfego.

Um primeiro elemento para a definição da área de estudo é o fluxo veículos, esse fluxo deve conter veículos suficientes as grandes avenidas de áreas urbanas, deve ter em sua composição veículos de diversas classes, deve possuir via segregada para o transporte coletivo, além de semáforos e grande movimentação de pessoas e atividades comerciais.

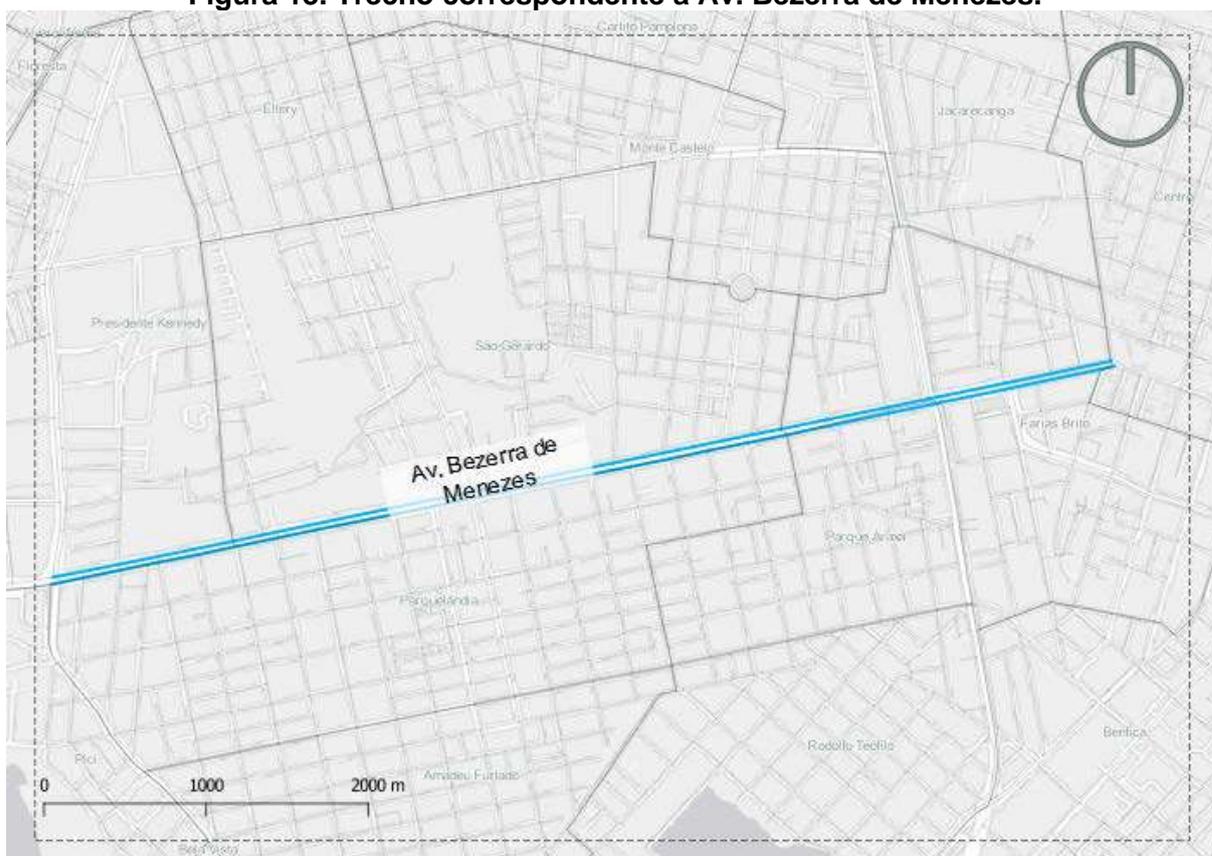
Diante da necessidade de um cenário observacional do tráfego de características heterogêneas e verificando os principais corredores de tráfego pertencentes a cidade de Fortaleza - CE, bem como a existência e a plena operacionalidade do sistema de controle semaforico, atuante na otimização do tráfego, definimos como a via escolhida a Avenida Bezerra de Menezes em seus dois

sentidos de fluxo de tráfego, visto que a qualidade e a representatividade dos resultados dependem de uma confiável coleta.

Sobre a Avenida Bezerra de Menezes, é dotada de corredor expresso de ônibus, o sistema Bus Rapid Transit (BRT), o sistema de faixas preferenciais para o transporte coletivo é totalmente segregado dos demais veículos, com o embarque e desembarque realizado no canteiro, típicos de sistema BRT.

A seção viária é composta por 2 faixas de tráfego preferencial de ônibus e 2 faixas convencionais, além de contar com infraestrutura cicloviária segregada em toda sua extensão. Uma via classificada como via arterial, conforme o art. 60 do CBT, e é o principal eixo de ligação entre a cidade de Fortaleza e Caucaia, na região metropolitana. Na Figura 13 está destacado todo o trecho viário da Av. Bezerra de Menezes.

Figura 13. Trecho correspondente a Av. Bezerra de Menezes.



Fonte: Elaborado pela Autora

O sistema centralizado de semáforos juntamente com outros equipamentos que o compõe, em seus períodos de pleno funcionamento coleta os dados de velocidade, volume médio, comprimento de estágio e outros, como foi exposto no

referencial, através dos laços indutivos instalados no pavimento, registrando essas informações de forma contínua e ininterrupta.

Os dados utilizados para a análise serão os arquivos do mês de novembro/2021, fornecidos pela Autarquia Municipal de Trânsito de Fortaleza, onde serão coletados os dados de um dia típico com a operação plena do SCOOT e outro sem o uso da ITS. Para a escolha dos dias de análise, foram escolhidos dias típicos, para a análise dos 2 cenários, com as atividades comerciais e institucionais funcionando normalmente.

4.2 Obtenção dos dados

Para a obtenção dos dados necessários para a avaliação do corredor de tráfego da Av. Bezerra de Menezes, no tocando a otimização do sistema de semáforos em tempo, foi necessário a identificação de outros subsistemas de monitoramento do tráfego ao qual fosse possível a obtenção das informações pertinente a aplicabilidade desta análise. A Figura 14 mostra os pontos de pesquisa e o trecho analisado.

Figura 14. Trecho de análise.



Fonte: Elaborado pela autora.

A principal variável de coleta, definida para esse estudo, é a variável tempo de viagem dos veículos ao longo do corredor de tráfego. Para obtenção desta medida, deve-se observar a passagem de um veículo em um determinado ponto de controle e

anotar o seu momento horário da passagem e registrar a passagem deste mesmo veículo em outro ponto extremo do corredor de avaliação, diante desta lógica é possível obter o tempo de percurso (tempo de viagem) entre os pontos extremos da avenida, todos os equipamentos analisados possuem sincronização de data e hora de forma online, não cabendo a preocupação quanto a sincronização entre os equipamentos.

Outra característica para definir a coleta de dados é a definição do período de coleta e o tipo de otimização semaforica utilizada naquele período. Tendo isso como ideia, foi definido coletar períodos de picos e entre picos de tráfego. Esses períodos horários foram definidos observado o volume médio diário (VMD) da área de estudo, no qual foi possível verificar os períodos do dia ao qual se tinha picos de tráfego no período da manhã e da tarde, bem como a mesma observação para os períodos de entre picos. Assim essa relação horária ficou definida para o período da manhã 7:00 horas para o pico e 10:00 horas para o entre picos, já para o período da tarde ficou definido como as 14:00 horas o entre pico e as 17:00 o período de pico de tráfego.

Mais uma facilidade definida para essa coleta é que na Avenida Bezerra de Menezes apresenta entre os pontos de controle definidos na análise o sistema de monitoramento do tráfego, no qual coleta continuamente dados como, fluxo veicular, velocidade, classificação, placa do veículo e data hora da passagem pelo local. Através da informação da placa, que é capturada de forma pictografada para todos os veículos e juntamente associado ao horário é possível correlacionar os dois postos de pesquisa e realizar a comparação entre as passagens, definir o tempo de viagem e velocidade no trecho.

As variáveis foram definidas com base nos dados retirados do equipamento e as análises foram concebidas a partir delas, também houve limitações relacionadas ao levantamento de campo e que devido a impossibilidade da realização de medições em campo, dados como número de faixas e largura média da seção viária foram obtidos através do google Earth.

Todo dado levantado de procedimentos amostrais requer tratamentos estatísticos. Diante desta afirmação, os métodos de tratamento não são diferentes para dados de tráfego coletados de sistema inteligentes de transportes. Os dados levantados para esse trabalho devem passar por tratamento estatístico, retirando os

pontos extremos, que destoam de uma média observacional e que representem de forma bem aproximada a realidade do tráfego.

Os dados coletados foram organizados em uma planilha de MS Excel, para facilitar a organização e análises dos dados, e gerar os gráficos e tabelas que compõem o estudo.

4.3 Análise e comparação de cenários

Esta seção tem o objetivo de realizar uma análise dos períodos de pico e entre pico de tráfego observando a variabilidade do tempo de viagem, quando o sistema de otimização de semáforos está em operação com os momentos em que o sistema não está em operação.

A primeira etapa é a determinação da variáveis que iram auxiliar as análises entre os cenários com o uso do SCOOT e o outro sem o uso da tecnologia, onde a relação entre espaço, tempo, velocidade, capacidade, volume e nível de serviço serão comparadas a fim de avaliar os cenários.

Determinada as variáveis, foi realizada uma análise de como elas se comportam nos diferentes cenários, utilizando-se de gráficos e tabelas para facilitar a visualização.

Algumas da variáveis interferem diretamente na velocidade de todos os veículos e mesmo sendo morfologicamente adequada para proporcionar maior fluidez no tráfego, tendo em vista que não há conflitos com o transporte público e nem com ciclistas e pedestre, fatores que influenciam diretamente na velocidade, a Avenida Bezerra de Menezes possui acessos a lotes, unidades comerciais e uma quantidade razoável de interseções, que contribuem para a diminuição da velocidade.

Dessa forma, além do critério da velocidade é adequado adotar nas análises a relação volume/capacidade, onde uma situação é considerada saturada quando a demanda é próxima a capacidade viária do trecho. Analisando a relação volume/capacidade viária pode ser ter ideia das condições de tráfego e o nível de serviço da via para volumes veiculares diferentes, já que a coleta de dados foi realizada em dias distintos. A Tabela 2 demonstra como a relação volume/capacidade é utilizada para determinar as características do fluxo veicular.

Tabela 2 - Relação V/C

V/C	Nível de serviço	Condição do fluxo veicular
0,0 – 0,21	A	Trânsito livre e sem restrições
0,22 – 0,37	B	Trânsito livre e com liberdade de manobras
0,38 – 0,50	C	Condições satisfatórias
0,51 – 0,81	D	Velocidade diminui / manobras limitadas
0,82 – 0,94	E	Trânsito altamente instável, possíveis congestionamentos
0,95 – 1,00	F	Colapso do fluxo veicular

Fonte: Highway Manual, 1999.

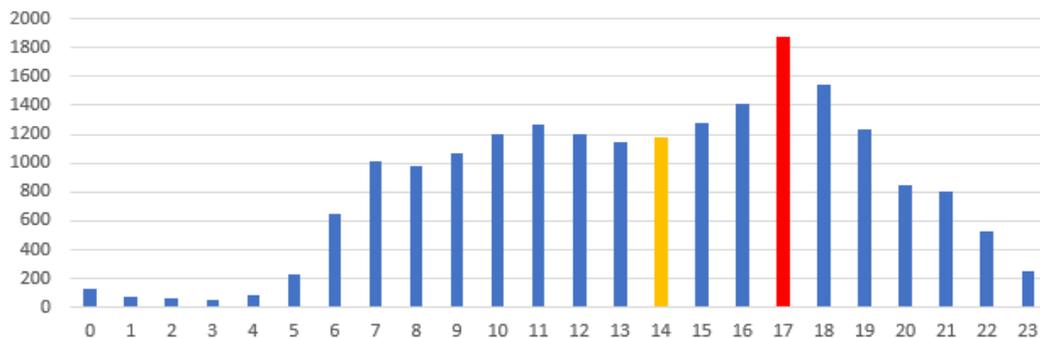
Por fim, as considerações feitas em cima da correlação de cada variável escolhida anteriormente e a comparação entre os cenários em que cada uma foi avaliada será determinante para a avaliação de eficiência do uso desses equipamentos no trânsito e dos ganhos de desempenho com o seu uso.

5 RESULTADOS

Como destacado no capítulo anterior, as informações aqui tratadas foram obtidas através dos equipamentos de fiscalização e disponibilizadas pelo órgão municipal de trânsito. Os dados serão apresentados em forma de gráficos e tabelas, distinguindo os cenários onde o controle semafórico está operando em tempo real por demanda e quando está operando com a programação de tempo fixo, onde serão exibidas as descrições e médias de cada variável.

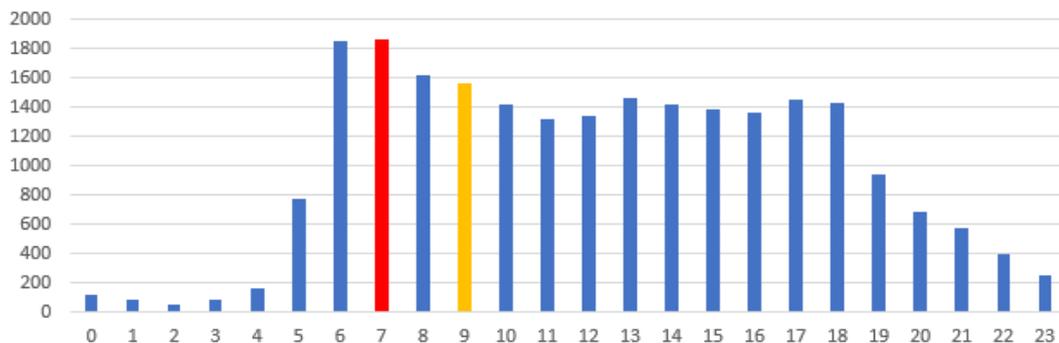
Os gráficos 2 e 3 mostram a variação diária de volume de tráfego ao longo do dia. É possível observar a inversão do horário mais carregado, sendo o sentido Leste-Oeste o mais carregado no período da manhã e o oeste-leste mais carregado no período da tarde no ponto observado.

Gráfico 2. Volume médio diário no sentido Leste-Oeste (Fortaleza - Caucaia).
VMD - Av. Bezerra de Menezes (Leste/Oeste)



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 3. Volume médio diário no sentido Oeste-Leste (Caucaia-Fortaleza).
VMD - Av. Bezerra de Menezes (Oeste/Leste)



Fonte: Elaborado pela autora.

Para uma análise inicial e para melhor caracterizar os cenários, é importante ressaltar que os volumes de tráfego de veículos na faixa são variáveis entre os dias do mês e da semana. E mesmo com os cuidados da realização da pesquisa em dias típicos as amostras possuem uma diferença considerável entre os cenários, como mostra a Tabela 3.

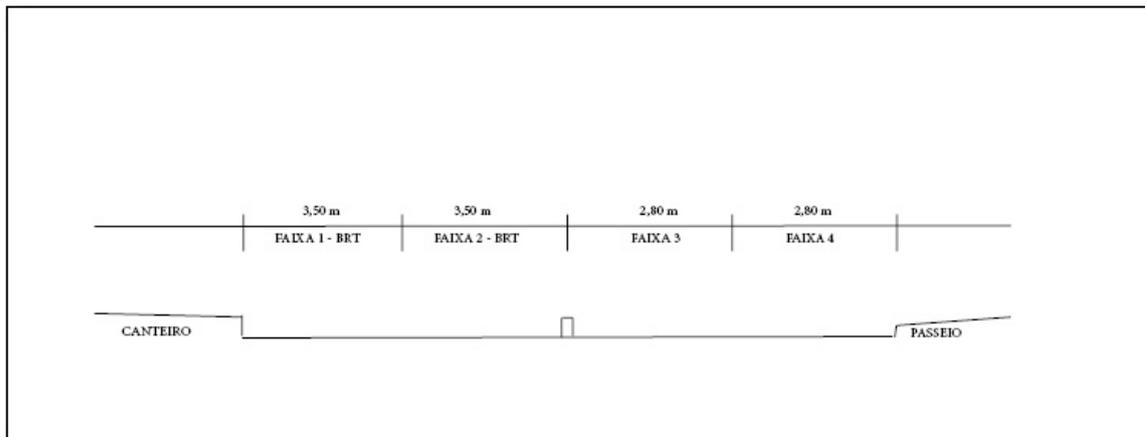
Tabela 3 - Amostra de volume da hora pico e fora pico.

	COM ITS	SEM ITS
Hora de Pico (07:00)	Amostra (Veículos)	Amostra (Veículos)
Leste/Oeste	1019	487
Oeste/Leste	1888	1436
Hora de Pico (17:00)	Amostra (Veículos)	Amostra (Veículos)
Leste/Oeste	1956	1542
Oeste/Leste	1216	1250
Hora Fora Pico (09:00)	Amostra (Veículos)	Amostra (Veículos)
Leste/Oeste	1311	594
Oeste/Leste	1941	1759
Hora fora Pico (14:00)	Amostra (Veículos)	Amostra (Veículos)
Leste/Oeste	1716	1748
Oeste/Leste	1221	752

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando somente o volume nos horários de pico, a amostra do cenário sem o uso da ITS é 11,3% menor do que o volume registrado no com o uso da ITS, sendo o volume uma característica mais sensível do tráfego que apresenta mutação contínua, principalmente em vias urbanas. E para contornar a situação e demonstrar melhor as condições de tráfego que interferem diretamente nas variáveis de tráfego, a avaliação do nível de serviço da via foi analisada sob o critério da relação entre geometria da via e o volume de veículos em tráfego, a Figura 15 demonstra a largura média da seção transversal da via, obtidas através do google Earth.

Figura 15. Seção transversal média da Avenida Bezerra de Menezes (sem escala).



Elaboração: Autor.

As Tabela 4 e Tabela 5 e demonstram o cálculo do nível de serviço para os cenários e o resumo da condição do fluxo veicular da análise, com base na amostra da hora pico e fora pico dos dados compilados.

Tabela 4 - Cálculo do nível de Serviço.

Hora Pico	Sentido	Capacidade viária	Com ITS			Sem ITS		
			Volume	Grau de Saturação (V/C)	Nível de Serviço	Volume	Grau de Saturação (V/C)	Nível de Serviço
07:00:00	Leste - Oeste	2940	1019	0,35	B	487	0,17	A
	Oeste - Leste	2940	1880	0,64	D	1436	0,49	C
17:00:00	Leste - Oeste	2940	1956	0,67	D	1542	0,52	D
	Oeste - Leste	2940	1216	0,41	C	1250	0,43	C
09:00:00	Leste - Oeste	2940	1311	0,45	C	594	0,20	A
	Oeste - Leste	2940	1941	0,66	D	1759	0,60	D
14:00:00	Leste - Oeste	2940	1716	0,58	D	1748	0,59	D
	Oeste - Leste	2940	1221	0,42	C	752	0,26	A

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5 - Resumo das condições de fluxo veicular avaliada.

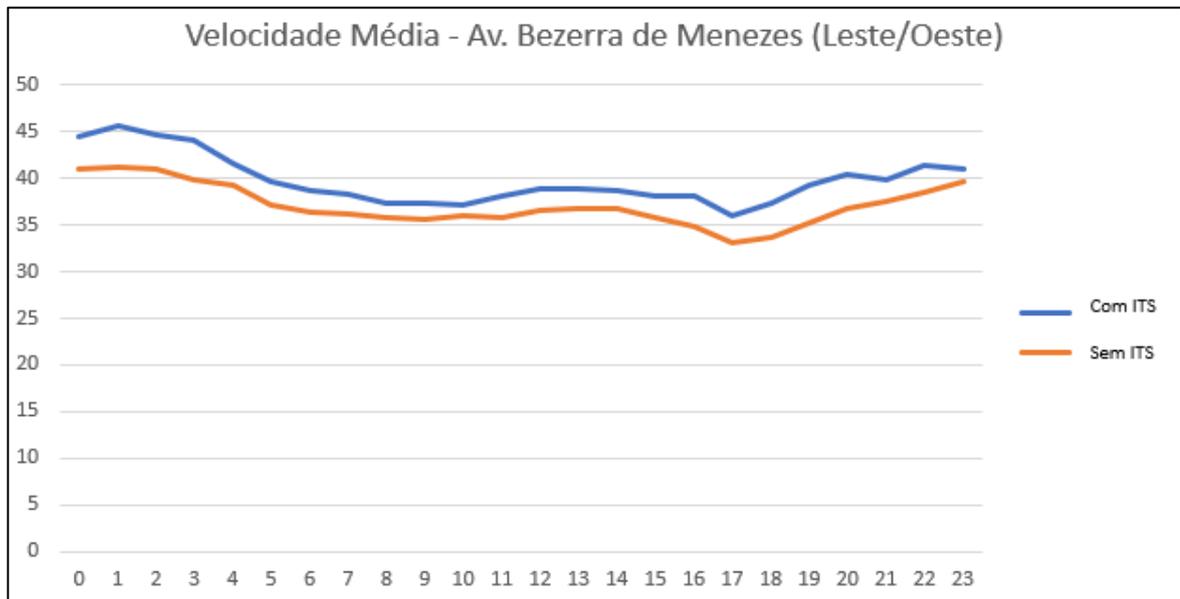
Hora Pico	Sentido	Condição do fluxo veicular	
		Com ITS	Sem ITS
07:00:00	Leste - Oeste	Trânsito livre e com liberdade de manobras	Trânsito livre e sem restrições
	Oeste - Leste	Velocidade diminui / manobras limitadas	Condições satisfatórias
17:00:00	Leste - Oeste	Velocidade diminui / manobras limitadas	Velocidade diminui / manobras limitadas
	Oeste - Leste	Condições satisfatórias	Condições satisfatórias
09:00:00	Leste - Oeste	Condições satisfatórias	Trânsito livre e sem restrições
	Oeste - Leste	Velocidade diminui / manobras limitadas	Velocidade diminui / manobras limitadas
14:00:00	Leste - Oeste	Velocidade diminui / manobras limitadas	Velocidade diminui / manobras limitadas
	Oeste - Leste	Condições satisfatórias	Trânsito livre e sem restrições

Fonte: Elaborado pela Autora.

Num resumo entre essas condições é possível afirmar que as condições de fluxo no cenário sem ITS se mostram melhores, visto que o grau de saturação é menor quando comparados com o outro cenário, devido o volume de veículos reduzido e melhor avaliação do nível de serviço da via dentro dos horários de pico e fora pico.

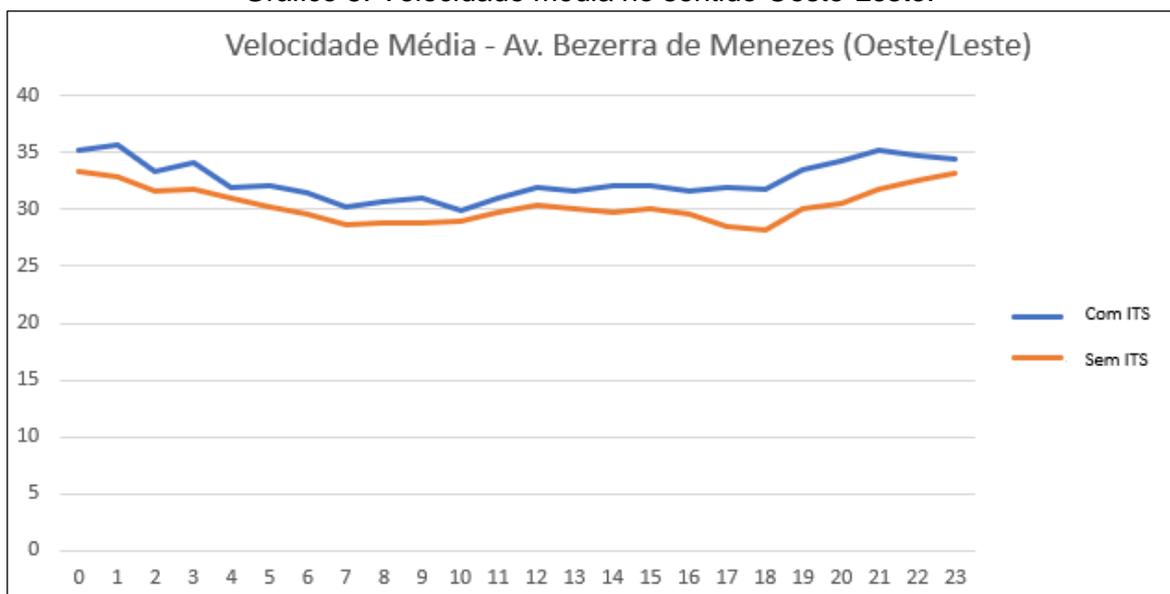
Mostrada a variação do volume ao longo do dia e o nível de serviço a velocidade é outro parâmetro importante para a quantificação da capacidade e influenciam diretamente no tempo de viagem além de ser um indicador de efetividade da operação para os três níveis de decisões. A partir dos dados dos equipamentos nos pontos de pesquisa foi possível determinar a velocidade e o tempo de percurso no trecho analisado, os Gráficos 4 e 5

Gráfico 4. Velocidade média no sentido Leste-Oeste.



Fonte elaborado pela autora.

Gráfico 5. Velocidade média no sentido Oeste-Leste.



Fonte: Elaborado pela autora.

A velocidade se mostra com perfis similares em ambos os cenários e sentidos, sendo que, os valores médios de velocidade no cenário com o uso de ITS são superiores ao cenário sem o uso de ITS, mesmo com o tráfego neste cenário se mostrando mais favorável, quando são avaliados os resultados de nível de saturação.

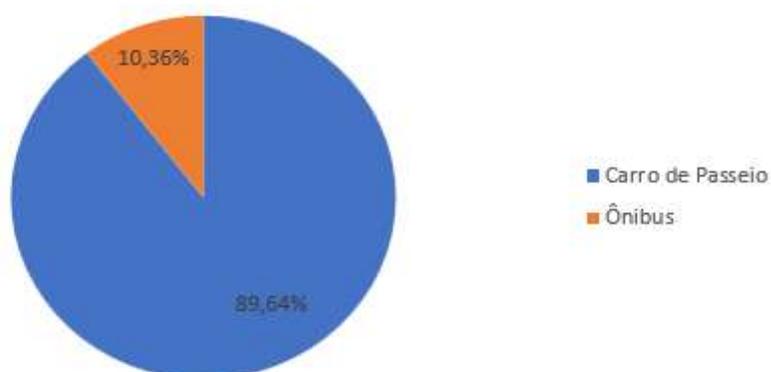
A partir dos dados de velocidade, obtidos através dos equipamentos, expostos nos Gráficos 4 e 5, é possível determinar que valores da velocidade nos

horários de pico e fora pico, são abaixo da velocidade regulamentada para o trecho, porém variam pouco ao longo do dia e apresentam a sua menor média no pico das 17:00 horas, que é o mais carregado conforme os resultados de volume, evidenciando um desempenho reduzido na rede de transportes, considerando as condições de velocidade reduzida no cenário com a programação em tempo fixo.

No Gráfico 6, pode ser observa a composição da frota de veículos passantes no ponto de pesquisa, identificando um junto mais volumosos de veículos de passeio, com uma representação de 89,64% em média, uma tipificação importante para o tempo de deslocamento e velocidade.

Gráfico 6. Tempo de viagem agregado.

Proporção de Veiculos (Av. Bezerra de Menezes)



Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores médios de tempo de viagem para corredores do tráfego, em dias típicos da semana são influenciados também pelos parâmetros de velocidade, volume e fluxo são determinantes na composição do tempo de viagem, a tabela 6 mostra o tempo de viagem médio que o usuário precisa para se deslocar entre os pontos de pesquisa, que estão aproximadamente 2,1 km entre si, nos dois sentidos de circulação e em ambos os cenários.

Tabela 6 - Tempo de Viagem com a programação por demanda em tempo real.

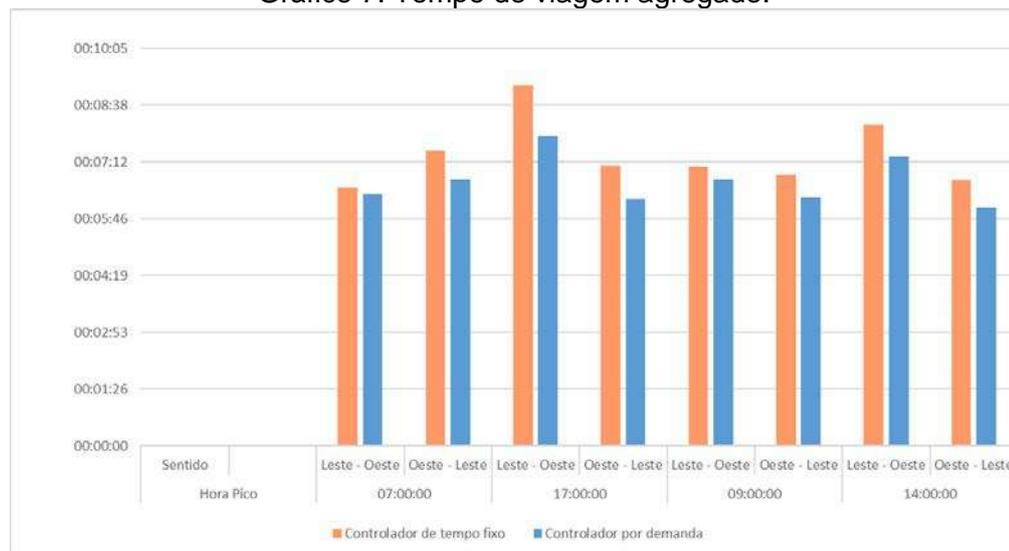
Hora Pico	Sentido	Tempo real por demanda	Tempo fixo
		Tempo de Viagem	Tempo de Viagem
07:00:00	Leste - Oeste	00:06:23	00:06:33
	Oeste - Leste	00:06:46	00:07:29

17:00:00	Leste - Oeste	00:07:52	00:09:08
	Oeste - Leste	00:06:16	00:07:06
09:00:00	Leste - Oeste	00:06:46	00:07:05
	Oeste - Leste	00:06:18	00:06:52
14:00:00	Leste - Oeste	00:07:21	00:08:09
	Oeste - Leste	00:06:03	00:06:45

Fonte: Elaborado pela autora.

O tempo de viagem no com o uso do controlador por demanda em tempo real foi otimizado reduzindo em média o tempo de viagem em 42 segundos quando comparado com a medição de tempo com o controlador de tempo fixo. Isso representa uma redução de 7,28% no tempo médio de deslocamento. O Gráfico 7 demonstra o comparativo entre os tempos de deslocamento.

Gráfico 7. Tempo de viagem agregado.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Os indicadores de tráfego para o cenário com o uso de ITS se mantiveram melhores mesmo com as condições de fluxo mais desfavoráveis, com volume de veículos bem maior, quando com parado com o outro cenário. Apontando que se os panoramas fossem avaliados nas mesmas condições de fluxo, diante do mesmo comportamento de tráfego, os indicadores de velocidade e tempo de viagem com o uso do SCOOT seriam ainda melhores na comparação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto de graduação apresentou uma análise quantitativa das variáveis relacionadas a eficiência e melhorias das tecnologias para a mobilidade, na cidade de Fortaleza-CE, com ênfase na programação semafórica inteligente, que controla os estágios do semáforo através da demanda em tempo real.

A caracterização do fluxo de tráfego ajudou a caracterizar melhor os cenários, foi possível uma visão espacial das condições de fluxo em que cada um se encontrava no dia da coleta dos dados. E assim, numa conclusão inicial considerando apenas a geometria da via e a demanda de veículos, o cenário sem o uso da ITS se mostrou melhor, com um nível de serviço sempre superior, quando comparado com o outro. Concluindo que o cenário avaliado com o uso da ITS a demanda estava maior.

Podemos levantar a hipótese de que a velocidade é mais ao volume, já que as variáveis têm influência na capacidade da via. Desta forma estamos considerando a capacidade continua para um uso do solo predominantemente comercial que ao longo do dia ao aumentar a quantidade de conflitos implica na diminuição da capacidade e logo no aumento da relação volume/capacidade e na redução da velocidade, o contrário para a densidade nos pontos semafóricos.

Para a análise da velocidade e tempo de percurso, com os dados dos pares de sensores e com o auxílio do sistema de monitoramento do tráfego e informação do registro de passagem dos veículos foram obtidos a velocidade média do percurso durante o dia e que mesmo com uma demanda maior o cenário com o uso da ITS se saiu melhor, observando que em ambos nos horários de maior pico a velocidade cai e o tempo de percurso aumenta.

Nesse caso o impacto das variáveis pode contribuir para uma estabilidade maior do tráfego e que o impacto do SCOOT juntamente com todas as tecnologias elencadas no capítulo 3, que auxiliaram para a coleta de dados, é positivo e contribui para a melhoria dos níveis de serviço além de auxiliar na tomada de decisão relativa a novos investimentos na infraestrutura de controle semafórico.

Em resumo, o uso de ITS no tráfego resultou em um menor tempo de deslocamento e menor tempo envolvido para operações burocráticas, como a reprogramação semafórica e conseqüentemente menores custos operacionais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL [ABDI]. **Cidades Inteligentes**. [Brasília]: ABDI. [sítio da internet]. Disponível em: <<https://cidadesinteligentes.abdi.com.br/>>. Acesso em fev. 2021

AGUIAR, G. V., MARTORELLI, M.; LOPES, D.R. **Mobilidade Urbana: Conceito e planejamento no ambiente brasileiro**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020. 205 p. ISBN 9786558203438.

AQUINO, E.A, **Validação do modelo mesoscópico de tráfego do scoot para o desenvolvimento de redes viárias urbanas microssimuladas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

AQUINO, Willian; DE AQUINO, Nino Bott; PEREIRA, Wallace Fernandes. Considerações sobre o uso de ITS. **Revista dos Transportes Públicos - ANTP**, [s. l.], ano 23, p. 33 E 34, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS [ANTP]. **Sistemas Inteligentes de Transportes**. [Brasília]: ANTP. Série Cadernos Técnicos, v. 8, maio 2012.

BANCO MUNDIAL. Indicadores. The World Bank. **12th anual report**. [EUA]: **The World Bank Group**. 29 out. 2014. [Sítio da internet]. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/>. Acesso em mar. 2019

BEZERRA, B. S. (2007). **Semáforos: Gestão técnica, Percepção do desempenho, Duração dos tempos**. TESE (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana**. Brasília: Ministério das Cidades, 2015.

BRASIL. Lei nº. 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece **diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Material de referência sobre medição e qualidade ou material de referência certificado**. [S. l.], 200?. Disponível em: <https://www.gov.br/pt->

br/servicos/obter-material-de-referencia-sobre-medicao-e-qualidade-ou-material-de-referencia-certificado. Acesso em: 23 jun. 2021.

BRASIL. **Diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. LEI Nº 12.587, DE 3 DE JANEIRO DE 2012. [S. /], 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 22 mar. 2021.

BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro. nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997. [S. /], 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm. Acesso em: 10 maio 2021.

CARVALHO, C. H. R. **Mobilidade Urbana: avanços, desafios e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2013.

DAMERI, Renata Paola; COCCHIA, Annalisa. **Smart city and digital city: twenty years of terminology evolution**. In: X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS. 2013. p. 1-8.

DENATRAN. Departamento nacional de trânsito. **Frota de Veículos - 2021**. [S. /], 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2021>. Acesso em: 28 out. 2021.

FORTALEZA. IPLANFOR: Instituto de Planejamento de Fortaleza. **Plano de Mobilidade de Fortaleza (PLANMOB)**. Fortaleza, CE, 2015

GORGOLHO, C., E TRENDINNICK, M. **O controle de tráfego em Cidades Inteligentes: um panorama dos depósitos de patente no Brasil e no Mundo**. INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Rio de Janeiro, 2020.

IBGE. **Censo demográfico**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica>. Acesso em: 10 maio 2021.

INSTITUTO DAS CIDADES INTELIGENTES [ICI]. [Curitiba]: ICI. Disponível em: <https://www.ici.curitiba.org.br/>, Acesso em set. 2021.

LOUREIRO, C. F.; G.; M. J. T. L. GOMES e C. H. P. LEANDRO (2002) **Avaliação do Desempenho nos Períodos de Pico do Tráfego de Interseções Semaforizadas com Controle Centralizado em Tempo Fixo e Real**. Anais do XVI Congresso de pesquisa e ensino em Transportes, ANPET, RN, vol.1.

MEDEIROS, F. CC.; M. S. LUNA E C. F. G. LOUREIRO (2001) **Controle do Tráfego em Área de Fortaleza: Uma Nova Experiência na Gerência do Trânsito**. Anais do 13º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, ANTP (CD-Rom), Porto Alegre, RS.

MENEZES, H.B. **INTERFACE LÓGICA EM AMBIENTE SIG PARA BASES DE DADOS DE SISTEMAS CENTRALIZADOS DE CONTROLE DO TRÁFEGO URBANO EM TEMPO REAL**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

OLIVEIRA DE SOUSA, Klinger Luiz de *et al.* **Sistema inteligente de controle de tráfego de Santo André**. *Revista dos Transportes Públicos – ANTP*, [s. l.], ano 22, v. 2º semestre, p. 91-100, 2020. Disponível em: http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/5D522E2F-8BD3-47B4-91CE-203C195AA0D5.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais**. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/>>. Acesso em :07 nov.2021.