



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DÁLETE MARIA LIMA DE SOUSA**

**CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA URBANA POR CONCENTRAÇÃO DE NO<sub>2</sub>**

**FORTALEZA**

**2017**

DÁLETE MARIA LIMA DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA URBANA POR CONCENTRAÇÃO DE NO<sub>2</sub>

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini.

FORTALEZA

2017

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)

---

- S696 Sousa, Dálete Maria Lima de.  
Caracterização da área urbana por concentração de NO<sub>2</sub> / Dálete Maria Lima de Sousa. – 2017.  
67 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini.
1. Poluição atmosférica. 2. Tráfego. 3. Geoprocessamento. 4. Gabarito das Edificações. 5. WRPLOT. I.  
Título.

CDD 628

---

DÁLETE MARIA LIMA DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA URBANA POR CONCENTRAÇÃO DE NO<sub>2</sub>

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Carlos Augusto Uchôa da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jefferson Pereira Ribeiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus pela sua misericórdia infinita na minha vida. Por ele ter me concedido forças para superar todas as adversidades que cruzaram meu caminho, fé para confiar nos seus planos e propósito para me manter fiel aos seus caminhos.

Agradeço aos meus pais e meu irmão Davi, que sempre foram reflexo de amor e compaixão, exemplos de integridade, fé e temor à Deus. Por todo o amor que me devotaram, todo o suporte e apoio em todas as minhas escolhas, por terem me ensinado a lutar pelos meus sonhos e me orientado em todos os momentos.

Aos meus avós, Amélia e José que hoje vivem junto ao pai, por todos os princípios, amor, fé e esperança que me transmitiram durante toda a minha vida, tudo que sou hoje é reflexo dos ensinamentos que recebi durante todos os abençoados anos que Deus permitiu estar ao vosso lado. Essa vitória é por vocês. E a minha avó Maria, por todos os cuidados, amor devotado, pela senhora ser esse exemplo de mulher, mãe e avó.

Ao meu orientador Bruno, por toda a atenção, paciência e dedicação ao projeto. Por ter me dado à oportunidade de aprender e trabalhar com o competente profissional que és.

Aos amigos do Laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos (LACOR) e alunos da disciplina de pós-graduação em Operação e Sistemas de Transportes do DET, responsáveis pela realização e análise das campanhas de coleta, agradecendo a todos na pessoa do Jefferson e do prof. Rivelino.

Aos meus amigos, colegas de curso, por todos os momentos compartilhados juntos, todo apoio, suporte durante todas as dificuldades, comprometimentos, choros e risos.

E por último, mas não menos importante a todos aqueles que cruzaram o meu caminho, que me ensinaram a ser mais forte e me apoiaram nas batalhas diárias.

“Nada te perturbe,  
nada te amedronte.  
Tudo passa,  
a paciência tudo alcança.  
A quem tem Deus nada falta.  
Só Deus basta!”  
(Santa Teresa D’Ávila)

## RESUMO

O crescimento da poluição mundial alcançará cerca de 9,8 bilhões de pessoas até 2050, das quais cerca de 70% residirá em zonas urbanas (UNITED NATIONS, 2015). No Brasil, o último censo de 2010 relevou que dos 190 milhões de habitantes, 85% residia em zonas urbanas. Em consonância com o aumento da população, houve também o crescimento da frota de veículos, saltando de 44 para 93 milhões em 2016, um aumento de 107% na última década. Com o aumento da frota, houve um acréscimo significativo no consumo de combustíveis, o que eleva as emissões de gases poluentes na atmosfera, ocasionando impactos negativos na qualidade do ar, clima, solo e infraestruturas no entorno. Diante disso, houve a criação e aprimoramento de políticas públicas, tecnologias de medição e monitoramento das emissões de poluentes atmosféricos, otimização dos transportes, entre outros. O presente estudo tem por objetivo principal o levantamento de hipóteses acerca das características do ar atmosférico em uma região urbana da cidade de Fortaleza e a sua relação com as possíveis variáveis diretamente influentes na sua manutenção e dispersão dos gases poluentes. Através de dados de NO<sub>2</sub> coletados em diferentes pontos da cidade de Fortaleza, a partir do ano de 2010, permitiu a caracterização da região a partir dos índices de poluição disponíveis. Para tal, uma série de parâmetros foram analisados, como gabarito das edificações, velocidade e direção dos ventos, classificação das vias e fluxos de automóveis na via, avaliando cada um desses e sua relação com as faixas de concentração de NO<sub>2</sub> (ppm), coletadas na presente área de estudo. Durante as análises, dentre os 38 pontos amostrados, oito destes encontram-se em concentrações mais elevadas entre 7,2ppm a 11ppm, dentre esses quatro encontram-se na região da secretária regional executiva centro e quatro na secretária regional executiva dois. Em gabaritos na faixa de mais alta, de 31m a 85m, observa-se que 40% das amostras estão com concentração acima de 5ppm. Quanto aos ventos há predominância na direção leste durante a maior parte do ano, responsável por 55% das recorrências. Na classificação das vias 72% das amostras em vias arteriais concentram-se na faixa acima de 5ppm, seguido de 33% em vias coletoras, e 27% quando em vias locais. Em vias de até 1.000 automóveis 58,3% das amostras possui valores de até 5ppm e outros 41,7% acima desse. Contudo, observou-se que existem correlações entre os parâmetros analisados e as concentrações de NO<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** Poluição atmosférica; Geoprocessamento; Tráfego; Gabarito das Edificações; WRPLOT.

## ABSTRACT

Global pollution growth will reach about 9.8 billion people by 2050, of which about 70% will be in urban areas (UNITED NATIONS, 2015). In Brazil, the last census of 2010 revealed that of the 190 million inhabitants, 85% lived in urban areas. In line with the increase in population, there was also the growth of the vehicle fleet, jumping from 44 to 93 million in 2016, an increase of 107% in the last decade. With the increase of the fleet, there has been a significant increase in fuel consumption, which increases the emissions of polluting gases in the atmosphere, causing negative impacts on air quality, climate, soil and surrounding infrastructure. In view of this, there was the creation and improvement of public policies, technologies for measuring and monitoring atmospheric pollutant emissions, and optimization of transportation, among others. The main objective of this study is to study the hypotheses about the characteristics of atmospheric air in an urban region of the city of Fortaleza and its relation with the possible directly influential variables in its maintenance and dispersion of the polluting gases. Through data from NO<sub>2</sub> collected in different points of the city of Fortaleza, from 2010, allowed the characterization of the region from the available pollution indices. To do this, a series of parameters were analyzed, such as building model, speed and direction of the winds, classification of roadways and car flows in the road, evaluating each one of them and its relation with the concentration bands of NO<sub>2</sub> (ppm) collected in the present study area. During the analysis, of the 38 points sampled, eight of these are in higher concentrations between 7.2ppm and 11ppm, among these four are in the region of the regional executive secretary center and four in the regional executive secretary two. In jigs in the highest range, from 31m to 85m, it is observed that 40% of the samples are with concentration above 5ppm. As for the winds, there is predominance in the eastern direction during most of the year, responsible for 55% of the recurrences. In the classification of the routes 72% of the samples in arterial ways concentrate in the range above 5ppm, followed by 33% in collecting ways, and 27% when in local roads. In up to 1,000 cars, 58.3% of the samples had values up to 5ppm and 41.7% higher than that. However, it was observed that there are correlations between the parameters analyzed and the NO<sub>2</sub> concentrations.

**Keywords:** Atmospheric pollution; Geoprocessing; Traffic; Building Information, WRPLOT.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Fluxograma do método de análise. ....                      | 22 |
| Figura 2 - Densidade Demográfica na cidade de Fortaleza. ....         | 25 |
| Figura 3 - Pontos Coletados NO <sub>2</sub> . ....                    | 26 |
| Figura 4 - Bairros Fortaleza. ....                                    | 34 |
| Figura 5 - Uso do Solo na área de estudo ....                         | 41 |
| Figura 6 - Plumas de concentração e Uso do Solo ....                  | 42 |
| Figura 7 - Gabarito da área de estudo. ....                           | 47 |
| Figura 8 – Plumas de concentração de NO <sub>2</sub> e Gabarito. .... | 48 |
| Figura 9 - Rosa dos Ventos Fortaleza. ....                            | 49 |
| Figura 10 - Classificação das vias na área de estudo. ....            | 52 |
| Figura 11 - Plumas e Classificação das vias. ....                     | 53 |
| Figura 12 - Fluxo de veículos na área de estudo ....                  | 56 |
| Figura 13 - Pluma de dispersão e Fluxo de veículos ....               | 57 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Renda da população por Secretária Regional Executiva.....   | 32 |
| Tabela 2 - Descrição da Regional 01.....   | 35 |
| Tabela 3 - Descrição da Regional 02.....   | 35 |
| Tabela 4 - Descrição da Regional 03.....   | 35 |
| Tabela 5 - Descrição da Regional 04.....   | 36 |
| Tabela 6 - Descrição da Regional 05.....   | 36 |
| Tabela 7 - Descrição da Regional 06.....   | 36 |
| Tabela 8 - Descrição da Regional Centro.....   | 37 |
| Tabela 9 - Classificação dos bairros por percentual de comércios e residências. ....                         | 37 |
| Tabela 10 - Caracterização do uso do solo em lotes.....  | 39 |
| Tabela 11 - Características dos pontos de coleta quanto ao uso e concentração.....                           | 43 |
| Tabela 12 - Índice de recorrência das faixas de concentração. ....   | 44 |
| Tabela 13 - Características dos pontos de coleta quanto ao gabarito e concentrações de NO <sub>2</sub> ..... | 45 |
| Tabela 14 - Relação gabarito das edificações e concentração de NO <sub>2</sub> .....                         | 46 |
| Tabela 15 - Características dos pontos coletados quanto a classificação da via.....                          | 50 |
| Tabela 16 - Distribuição das vias em função da concentração e classificação da via.....                      | 51 |
| Tabela 17 - Características dos pontos coletados quanto ao fluxo de veículos.....                            | 54 |
| Tabela 18 - Relação fluxo de automóveis e concentração de NO <sub>2</sub> .....                              | 55 |
| Tabela 19 - Características dos pontos amostrados.....   | 59 |
| Tabela 20 - Correlação entre pontos amostrados.....  | 60 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 12 |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....   | 14 |
| <b>2.1. Gerais</b> .....  | 14 |
| <b>2.2. Específicos</b> .....                                       | 14 |
| <b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                               | 15 |
| <b>3.1. O processo de Urbanização</b> .....                         | 15 |
| <b>3.2. Poluição atmosférica proveniente de fontes móveis</b> ..... | 16 |
| <b>3.2.1. Material Particulado (MP):</b> .....                      | 18 |
| <b>3.2.2. Óxidos de Nitrogênio (NOx):</b> .....                     | 19 |
| <b>3.3. Efeitos da Poluição do Ar na Saúde Humana</b> .....         | 19 |
| <b>3.4. Os Custos da Poluição do Ar</b> .....                       | 20 |
| <b>4. METODOLOGIA</b> .....   | 22 |
| <b>4.1. Escolha da área de estudo</b> .....                         | 23 |
| <b>4.2. Uso do Solo</b> .....                                       | 24 |
| <b>4.3. Ventos da região</b> .....                                  | 27 |
| <b>4.4. Infraestrutura da área de estudo</b> .....                  | 28 |
| <b>4.5. Tráfego da área</b> .....                                   | 28 |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                              | 30 |
| <b>5.1. Análise Socioeconômica da área de estudo</b> .....          | 30 |
| <b>5.2. Uso do Solo</b> .....                                       | 37 |
| <b>5.3. Ventos da região</b> .....                                  | 49 |
| <b>5.4. Classificação das Vias</b> .....                            | 50 |
| <b>5.5. Fluxo de Veículos</b> .....                                 | 54 |
| <b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....                          | 61 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 62 |

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos realizados pelo departamento de assuntos econômicos e sociais dos Estados Unidos da América revelam que, em meados de 2017, a população mundial atingiu a marca de 7,6 bilhões de pessoas, anualmente, mesmo com a redução nas taxas de fertilidade, nascem no mundo 83 milhões de habitantes (UNITED NATIONS, 2017). No ano de 2014, em torno de 54% da população total residia em áreas urbanas, em 1950, esse percentual correspondia a apenas 30% da população total, nota-se aí um aumento significativo na população que vive em áreas urbanas (UNITED NATIONS, 2015).

Com o crescimento da população urbana, houve um processo de urbanização, em parte dos casos, desordenado das cidades, o que impacta negativamente no desenvolvimento sustentável, como por exemplo, quando as políticas públicas não são implementadas corretamente e a infraestrutura necessária não é desenvolvida (UNITED NATIONS, 2015).

Em âmbito nacional, o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) revelou uma população de 190 milhões de habitantes, nos quais 85% residiam em zonas urbanas e estima-se que, em 2030, a população brasileira seja de 223 milhões de pessoas.

Em consonância com o processo de êxodo rural (migração da população de zonas rurais para centros urbanos) e a urbanização, um fator que se torna essencial é a mobilidade dessa população. Segundo o IBGE (2016) a frota veicular brasileira sofreu um aumento de 107% na última década. Esse aumento elevou os níveis de emissão de poluentes atmosféricos, muitas vezes pelo processo de combustão incompleta dos combustíveis usados nos veículos.

No presente contexto, com o aumento dos níveis de emissão, revelou-se a necessidade da preocupação com a qualidade do ar, visto que, muitos estudos epidemiológicos constataram que a exposição prolongada ao tráfego está associada ao desenvolvimento ou intensificação de problemas cardiovasculares adversos e doenças respiratórias (GAN, 2010). Além disso, diante da constituição federal brasileira em vigência torna-se um direito de todos os cidadãos, a manutenção adequada da qualidade do meio ambiente, no qual está incluso a qualidade do ar, fazendo uso das mais diversas técnicas e tecnologias para atingir tal finalidade.

Alguns fatores são responsáveis por acréscimos significativos no número de casos adversos de doenças relacionados a poluentes atmosféricos, a saber: o rápido crescimento do número de veículos a motor, a expansão da urbanização e a dependência da população em relação a este meio de transporte. Todos estes fatores resultaram também em aumento na

parcela da população trabalhando ou vivendo próximo a grandes rodovias ou ruas de alta circulação de veículos. (HEI, 2010).

À medida que a população sofre com os efeitos nocivos das emissões veiculares, crescem a preocupação e as pressões populares para com a figura do Estado, visando a tomada de medidas regulamentares legais por parte desse. Sendo assim, os países passaram a criar e implementar leis que restringem a circulação de veículos, tornando-se cada vez mais rigorosas e restritivas, em concomitância a obtenção de avanços na redução das emissões de veículos e na melhoria da qualidade do ar, através de estratégias que envolve padrões de emissões, combustíveis mais limpos e programas de inspeção veicular (HEI, 2010).

No território nacional, a primeira medida de controle a poluição do ar foi implementada pelo Decreto-Lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975, que dispõe sobre o controle da poluição provocada pelas atividades industriais, seguindo a Lei nº 6.803/1980, que estabelece o zoneamento industrial nas áreas críticas e suas providências, regras para a localização e limitações de uso no entorno das áreas industriais que surgiram em decorrência de graves problemas de poluição do ar em regiões densamente industrializadas.

No ano seguinte, surge a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e apresenta-se como resposta a diversas pressões da sociedade e da comunidade internacional. Um marco ambiental foi a Conferência de Estocolmo em 1972. A partir daí organismos multilaterais de financiamento, como o Banco Mundial (BIRD) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), passam a exigir que estudos de viabilidade de empreendimentos incluam o quesito ambiental.

Segundo a mesma Lei nº 6.938/81, em seu artigo oitavo, inciso sexto, delega ao Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA a competência de “estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle da poluição por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios competentes” além das atividades de “estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos” (art. 8º, inciso VII).

Diante do atual cenário, uma série de estudos avaliando a qualidade do ar vem sendo realizados em diversos centros urbanos e áreas de interesse. Sendo assim, destaca-se a importância de serem realizados estudos semelhantes na cidade de Fortaleza, visto sua relevância como capital do Ceará, uma metrópole na qual residem cerca de 2,5 milhões de habitantes, sujeitos aos efeitos nocivos do crescimento da frota veicular local, além da sua urbanização desordenada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Gerais**

Diante da problemática apresentada, o presente estudo objetiva a caracterização da área de estudo de Fortaleza, através da análise da do gabarito urbano, confrontando os valores das concentrações de NO<sub>2</sub> com a classificação funcional viária.

### **2.2. Específicos**

- Avaliar o tipo de uso do solo da região de estudo correlacionando com valores de gabarito médio das edificações e concentração de poluentes.
- Correlacionar valores de infraestrutura, tráfego e parâmetros ambientais na área de estudo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. O processo de Urbanização

Com a crescente urbanização, os recursos ambientais são submetidos a estresses quanto a sua disponibilidade, surgindo desafios ambientais, demográficos e socioeconômicos nas cidades. Estima-se que, até 2030, seis a cada dez pessoas residam em ambientes urbanos e que as áreas edificadas serão triplicadas (UNHABITAT, 2015; UNITED NATIONS, 2015). No entanto, o espaço urbano não cresce na mesma proporção que a necessidade de residências, o que acaba resultando em um adensamento do mesmo e verticalização das cidades (AGUIAR, 2016).

Este crescimento desordenado resulta em uma série de problemas de infraestrutura do meio urbano, além de alterar significativamente o clima, pois há o aumento do número de superfícies térmicas absorvedoras, a impermeabilização do solo, a redução ou modificação das áreas verdes, que acabam por contribuir para o microclima local e para a evapotranspiração do meio. Já que a contaminação do ar por meio das diversas fontes poluidoras já citadas, o que contribui para a absorção e re-emissão das ondas longas incidentes na superfície terrestre, além das condições de adensamento das edificações que podem colaborar para a formação de ondas de calor (LOMBARDO, 1985; OKE, 1987).

A cidade é a resposta da correlação homem e natureza, originando assim suas próprias características, dentre elas o “clima urbano” que reflete o próprio clima do local, acrescido das contribuições da urbanização, a saber: alterações no balanço energético e estresse hídrico nas cidades (PINHEIRO; AMORIM, 2009). Estas modificações nas características climáticas ocorrem devido à substituição do espaço natural pelo ambiente construído, reflexo do crescimento das necessidades da população residente na área (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003; MENDONÇA, 1994).

As ações antrópicas representadas pelo processo de urbanização vêm por contribuir de forma significativa para diversos fatores que interferem direta ou indiretamente no clima da região. Autores como Katschener, Reinold e Lourenço (1999) listaram motivos de interferência das áreas construídas urbanas no clima regional:

- a) as edificações atuam como barreira contra os ventos regionais;
- b) a cidade possui uma rugosidade não homogênea;
- c) o conjunto das edificações resulta na criação de ilhas de calor na cidade e no seu entorno, função das superfícies de revestimento e da quantidade de edifícios;

d) modifica o balanço de radiação o que causa um alto desconforto térmico nas cidades;

e) a cidade atua como um sistema emissor de poluição do ar.

Diante das diversas alterações, o balanço de energia sofre acentuadas mudanças, afetando de forma mais significativa os elementos climáticos, como temperatura e umidade relativa do ar, regime de ventos (os grandes responsáveis pela dispersão da poluição) e a precipitação (casos extremos de secas ou cheias) (MENDONÇA, 1994; BRANDÃO 1996; GONÇALVES, 1992).

As interferências no clima, provocadas pela urbanização, se expressam na forma de ilhas de calor, evidenciadas pelo aumento da temperatura do ar devido aos diversos fatores supracitados, como a estrutura urbana, áreas arborizadas, revestimento dos solos, modificações no balanço da radiação, entre outros (SILVEIRA, 2007).

O fenômeno da ilha de calor é mais acentuado no período noturno, em situação ausente de ventos e sem nuvens. Alguns parâmetros são relevantes para o controle desse evento, a saber: albedo das superfícies (interfere na distribuição da temperatura na camada vertical de ar), presença de áreas verdes, a geometria urbana e a emissão antropogênica de calor (emissão veicular, industrial, entre outras) (OKE, 1987).

### **3.2. Poluição atmosférica proveniente de fontes móveis**

Os veículos a motor são vistos como contribuintes majoritários para a poluição do ar, além de responsáveis pela variabilidade espacial dos poluentes (GAN, 2011). Alguns aspectos influenciam a menor ou maior emissão de poluentes pelo veículo, como: características de velocidade e peso, caso sejam mais rápidos ou mais pesados; condições de operação e manutenção; tipo e qualidade do combustível; desgastes da peça (como freios e pneus) e motor lubrificantes utilizados (HEI, 2010) e idade da frota, que se torna um agravante, pelo fato de veículos mais antigos não possuírem sistemas de controle de poluição (TOLEDO, 2011).

A frota veicular emite grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), material particulado (MP), além de toxinas aéreas de origem móvel (COVs), como benzeno, formaldeído, acetaldeído, 1,3-butadieno e chumbo (nos locais onde a gasolina com chumbo ainda está em uso). Há ainda a formação de subprodutos secundários, como: ozônio e

aerossóis secundários como nitratos, ácidos inorgânicos e orgânicos. Cada um destes pode causar efeitos nocivos à saúde humana e meio ambiente (HEI, 2010).

Além disso, há a emissão de material particulado por fontes não combustíveis como é o caso do pó ressuspenso, proveniente do desgaste dos pneus e freios. Através de estudos realizados que analisou os gradientes de poluentes em função da distância de vias movimentadas, constatou-se que a zona diretamente afetada se encontra na faixa entre 50m e 1500m de estradas principais, dependendo dos poluentes e das condições meteorológicas (HEI, 2010).

Em zonas urbanas, os veículos rodoviários são responsáveis pelas maiores emissões de NO<sub>2</sub> e benzeno; quando a diesel, esses são grandes emissores de NO<sub>x</sub>, como os caminhões. Já veículos a gasolina são os maiores responsáveis pelas emissões de benzeno. Essas concentrações de NO<sub>x</sub> e benzeno podem ser simuladas pela contagem dos caminhões e carros circulando na área e interesse (NAMEGHI, 2014).

Um fator relevante a ser levado em consideração é a fluidez do trânsito, visto que um veículo produz maior quantidade de gases de combustão quando se encontra em um regime no qual para e posteriormente segue, do que em fluxo contínuo, pois no ato de frear apresenta-se um movimento de inercia induzida, ao reiniciar com a aceleração do veículo intensifica a emissão de poluentes, visto que é necessário à queima de uma maior quantidade de combustível. Esses ciclos de aceleração e marcha lenta dos veículos são mais comuns em vias arteriais, nas quais estão presentes cruzamentos sinalizados, faixas de pedestres, entre outros, que vem por interromper temporariamente ou reduzir o fluxo do trânsito na via (NAMEGHI, 2014).

Estudos revelam que, em rotas de baixas velocidades, o catalisador do veículo trabalha de forma mais eficiente, sendo este responsável pela transformação dos gases resultantes do processo de combustão do veículo, como o NO<sub>x</sub> e o CO, em outros menos poluentes como o CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e água. (DAEMME, 2014). Veículos com emissões elevadas geralmente emitem mais gases, mas não consomem mais combustível que os veículos normais. Uma hipótese seria que a eficiência do catalisador estaria reduzida quanto maior a intensidade das emissões, para um mesmo consumo de combustível (AHN, 2008).

Pesquisas da Environmental Protection Agency (EPA), estima que fontes veiculares contribuam com 34% das emissões de NO<sub>x</sub> em rodovias, sendo 42% deste resultante de veículos com motor ciclo diesel. Pode ser explicado pelo fato de motores a diesel serem encontrados principalmente em veículos de grande porte, como caminhões que

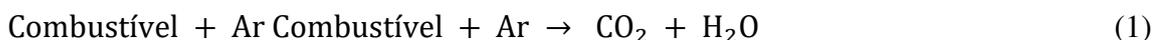
transportam cargas pesadas, exigindo um maior esforço do motor, causando um maior aquecimento do mesmo e oxidação do nitrogênio do ar, que resulta na formação de NO<sub>x</sub>.

Visando a adequação, as atuais políticas de redução da poluição, o escapamento dos veículos deve converter eficientemente cerca de 90% de NO produzido, reduzindo assim sua liberação para a atmosfera. Vale salientar que os níveis de gases poluentes na atmosfera como óxidos de carbono (CO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), material particulado diâmetro menor que 10µm (MP10) e compostos orgânicos voláteis (COVs) são influenciados por diferentes fatores, como; meteorologia local, em períodos de inverno a convecção da camada de ar é comprometida não havendo inversão dos gases que permanecem retidos próximo ao solo.

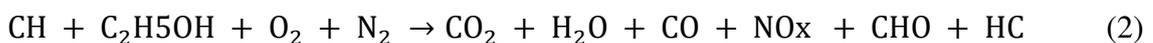
Além disso, o máximo de concentração ocorre em períodos de baixa irradiação solar em comparação com os meses de verão. A topografia do local é outra ferramenta importante nos casos de dispersão dos poluentes, uma vez que locais de acentuados perfis topográficos alteram o perfil de convecção, velocidades e dispersão dos poluentes atmosféricos ao longo da camada de ar, principalmente em períodos de inverno como citado acima (SCHNITZHOFFER, 2009).

Diversos são os elementos poluentes resultantes do tráfego de veículos em áreas urbanas, sejam de transporte de cargas ou pessoas. Os principais componentes responsáveis pela poluição são originados pela combustão incompleta de motores ciclo diesel. De uma forma geral podemos destacar Material Particulado e Óxidos de Nitrogênio, principais responsáveis por doenças humanas do trato respiratório.

- Combustão Completa:



- Combustão Incompleta:



### 3.2.1. *Material Particulado (MP):*

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 436 de 22 de dezembro de 2011, Material Particulado (MP) é todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado.

Tais partículas são constituídas de um núcleo sólido de carbono elementar que funciona como uma matriz na aderência de outros compostos orgânicos e óxidos, sua origem é decorrente principalmente da reação de combustão incompleta em motores a diesel, cerca de 100 vezes maior que aqueles do ciclo Otto.

Essas podem se apresentar como pequenas partículas da ordem de 0,1 a  $100\mu\text{m}$  de diâmetro e são fragmentadas em duas categorias: partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis menores que  $10\mu\text{m}$  (PM10) (REIS, 2008). Quanto menor o diâmetro das partículas, maior o seu potencial prejudicial à saúde, visto que o trato respiratório humano filtra de forma mais eficientemente quanto maior as partículas, limitando de forma eficiente a diâmetros até  $10\mu\text{m}$ , a cerca de  $1\mu\text{m}$  a eficiência se torna praticamente zero, o que facilita a inalação das mesmas pelo trato respiratório humano, atingindo seu sistema pulmonar.

### **3.2.2. Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>):**

Os óxidos de nitrogênio podem se apresentar em duas categorias dióxido e monóxido de nitrogênio. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2011), refere-se à soma das concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), sendo expresso como (NO<sub>x</sub>).

Esses compostos são formados quando ocorre o processo de combustão em condições de alta pressão e temperatura, o que resulta na dissociação e subsequente recombinação de N<sub>2</sub> atmosférico e O<sub>2</sub>, que produzem NO<sub>x</sub>. Em 95% das recorrências formam-se compostos NO, que reagem com a umidade do ar, amônio e demais compostos originando ácidos, fonte de graves problemas respiratórios. Além disso, sua dissociação é responsável pela formação de ozônio troposférico (DIAS, 2014).

### **3.3. Efeitos da Poluição do Ar na Saúde Humana**

As exposições a elevadas concentrações de NO<sub>2</sub> quando em curta duração podem agravar doenças respiratórias como o caso da asma, causando tosses, sibilos ou dificuldade de respirar. Exposições mais prolongadas podem contribuir para desenvolver asma e intensificar a sensibilidade às infecções respiratórias, podendo levar a casos de bronquite crônica. Outro aspecto preocupante são as reações químicas que ocorrem entre os compostos NO<sub>x</sub> e as partículas presentes no ar, formando ozônio gás também nocivo ao ser humano quando inalado. (EPA, 2012a).

Estudos divulgados em 2013, pela Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC), vinculada a OMS, revelam que a exposição a ar poluído externo pode ser considerada um dos principais causadores de câncer, enquadrada nos agentes carcinogênicos do grupo 1. Sendo assim, o próprio ar poluído foi classificado como carcinogênico, não apenas os seus componentes, mas sim todo o conjunto. Além disso, a agência afirma que apesar das diferentes composições de atmosferas que existe, esse estudo é representativo em todas as regiões do mundo.

Outros estudos realizados no Brasil identificaram grupos da população mais susceptível aos casos das doenças, revelando que crianças até os 13 anos de idade são os mais propícios a desenvolver doenças respiratórias, já para as doenças cardiovasculares destacaram-se pessoas na faixa de 45 a 64 anos. Além disso, constatou-se que a maior incidência de doenças do trato respiratório ocorreu durante o período do inverno (BRAGA, 2007).

No norte da Suécia estudos foram realizados a fim de analisar o uso do NO<sub>2</sub> como fator indicador da presença de benzeno e 1,2-butadieno, para tal formulou-se duas hipóteses, a primeira delas foi que o NO<sub>2</sub> poderia servir para indicar a exposição pessoal a substâncias cancerígenas, na outra hipótese o mesmo serviria para estimar os níveis ambientais medidos em um ponto estacionário. Diante disso, foram realizados testes com 40 pessoas escolhidas de forma aleatória durante o inverno na cidade, e realizaram-se semanalmente medições pessoais de 1,3-butadieno, benzeno e NO<sub>2</sub>. (MODIG, SUNESSON, LEVIN *et al.*, 2004).

Paralelamente, medidas estacionárias foram realizadas no centro da cidade. Como resultado, os autores obtiveram uma pobre relação entre os gases estudados quando se tratou das medições individuais na população, já nas de fundo urbano relevou-se fortes relações entre 1,3-butadieno, benzeno e NO<sub>2</sub> tanto dentro como entre a rua e a estação de fundo urbano. Portanto os autores apoiaram o NO<sub>2</sub> como um indicador potencial para os níveis de 1,3-butadieno e benzeno nas ruas ou no ar urbano, mas não como indicador dos mesmos a nível pessoal (MODIG, SUNESSON, LEVIN *et al.*, 2004).

### **3.4. Os Custos da Poluição do Ar**

Segundo a Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OCDE) a poluição ambiental tem um custo mais alto em países emergentes, um caso é a China e a Índia que juntas possuem um custo econômico anual maior que o conjunto de países desenvolvidos. Estima-se que nesse conjunto de países há perda de três trilhões e meio de

dólares por ano em mortes prematuras, doenças como câncer, problemas respiratórios e do coração.

Outro fator são os constantes crescimentos das taxas de mortalidade; estima-se que entre 2005 e 2010, houve um aumento de 4% globalmente, 5% na China e 12% na Índia. No mesmo intervalo de anos quanto aos custos econômicos elevou-se 10% (estimado em 1,7 trilhões por ano) nos 34 países participantes da OCDE, já no mesmo período na China cresceu 90% (estimado em 1,4 trilhão por ano). Com as políticas de restrições ambientais principalmente de emissões veiculares, houve um decréscimo na poluição do ar nos países desenvolvidos, no entanto na China e na Índia (países em desenvolvimento) houve aumento das suas taxas, pois o rápido crescimento do tráfego supera o efeito das políticas de controle de emissões (OECD, 2012).

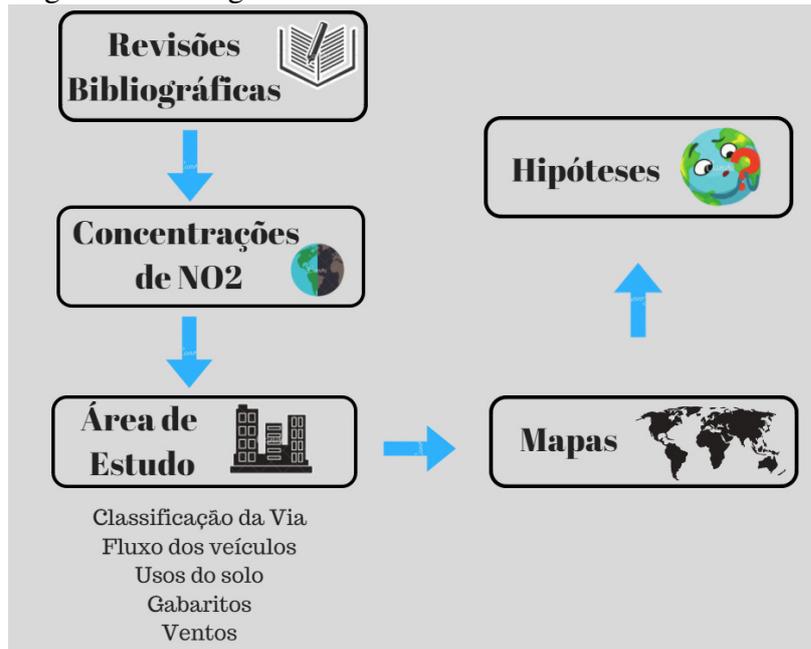
A OECD afirma ainda, que até o ano de 2050, se nenhuma medida de controle da poluição for tomada, a principal causa de mortes, exceto por doenças crônicas não evitáveis, será relacionado a complicações do sistema respiratório devido à má qualidade do ar por emissão de material particulado e ozônio troposférico, vindo a superar problemas como malária, ingestão de água insalubre e falta de saneamento básico (OECD, 2012).

Os efeitos dos poluentes não se restringem aos humanos, a deposição de poluentes nas plantas pode levar a redução da sua capacidade de fotossintetizantes provocando a queda da sua produtividade agrícola, além de causar a acidificação das águas das chuvas e poeira contaminando os recursos hídricos, os biomas aquáticos e o solo (SANTANA, 2012).

#### 4. METODOLOGIA

Visando o alcance dos objetivos do presente trabalho, essa seção destina-se a descrever os métodos e procedimentos utilizados, a metodologia proposta se baseia em uma série de etapas, descritas no fluxograma na Figura 01 a seguir.

Figura 1 - Fluxograma do método de análise.



Fonte: elaborada pelo autor.

Sendo assim, a metodologia foi proposta para analisar as relações entre os parâmetros escolhidos na qual consistiu em uma série de etapas, a saber:

- a) **Revisões Bibliográficas:** Buscou-se correlações entre os dados de poluição do ar, visando direcionar as pesquisas em função de três pilares, o ambiental, a infraestrutura e o tráfego das vias.
- b) **Dados de NO<sub>2</sub>:** Uma busca de dados de NO<sub>2</sub> foi realizada, visando à obtenção de dados de campanhas de coleta na cidade de Fortaleza, que serviram de tomada de decisão para a escolha posterior da área de estudo.
- c) **Área de Estudo:** Delimitada em função dos pontos coletados nas campanhas de coleta, na qual foram delimitados seis parâmetros e houve a aquisição dos dados de interesse para cada parâmetro, dentre esses dois parâmetros de tráfego (classificação da via e fluxo dos veículos), dois de Infraestrutura (usos do solo e gabarito das edificações) e dois ambientais (ventos e concentrações de NO<sub>2</sub>).

- d) Mapas: Elaboração de mapas que permitiram uma análise espacial da representatividade e comportamento dos parâmetros.
- e) Hipóteses: Elaboração de hipóteses em função das correlações entre os parâmetros analisados e sua variação espacial.

Para fins de análise reconheceu-se a importância do NO<sub>2</sub> como gás poluente, intensificador do efeito estufa, nocivo à saúde humana, tóxico quando inalado durante longos períodos, além de atuar como indicador a presença de outros gases tóxicos como o benzeno e 1,2-butadieno. Sendo assim, optou-se por analisar dados inerentes a concentrações de NO<sub>2</sub> na cidade de Fortaleza.

Para a elaboração da proposta entende-se que alguns fatores influenciam as concentrações ambientais de poluentes atmosféricos coletados como é o caso dos padrões de tempo-atividade, condições meteorológicas, volume e tipo do veículo, padrões de condução, padrões de uso do solo, a taxa de transformações químicas que ocorrem e o grau temporal e espacial das mesmas (HEI, 2010). Sendo assim, optou-se por analisar seis grandes influenciadores das condições locais, como: Fluxo dos veículos na via, Classificação das vias, Uso do Solo, Ventos na região, Gabaritos das Edificações e Concentrações de NO<sub>2</sub>. O método proposto será descrito nas etapas subsequentes.

#### **4.1. Escolha da área de estudo**

Fortaleza, capital do estado do Ceará localizada no litoral norte do estado, segundo o IBGE (2010) é a quinta maior cidade do país em termos populacionais, possuindo uma área de aproximadamente 314 km<sup>2</sup> e altitude média de 16m em relação ao nível médio dos mares. A mesma encontra-se localizada em Latitude Sul (S): 03° 43' 02" e Longitude Oeste (W): 38° 32' 35".

Possui o tipo climático Aw' pela classificação de Koppen (1918). Logo, está inserida numa zona de clima tropical chuvoso, quente e sub – úmido com chuvas de verão e de outono, apresentando temperaturas médias da ordem de 26°C com mínimas de 23,5°C e máximas de 30,3°C. Em função da sua localização litorânea sofre influência marítima e detém altas taxas de evaporação, máximas da ordem de 163 mm no mês de outubro, resultando em um elevado índice de umidade relativa do ar média de 78%, com mínima e máxima, respectivamente, 73% e 84%. Caracteriza-se com uma quadra chuvosa nos primeiros meses do ano de fevereiro a maio, apresentando uma pluviosidade média anual de 1.608,4 mm (MOURA, 2008).

Segundo Campos e Studart (2003) é formada majoritariamente por sertões circundantes, planícies litorâneas e tabuleiros pré-litorâneos. Sua vegetação é composta por complexo vegetacional da zona litorânea e floresta perenifólia paludosa marítima. O mapa de localização da cidade de Fortaleza no Estado do Ceará e no Brasil encontra-se representado pelas malhas digitais, tanto das Unidades Federativas como do limite entre os bairros do município em estudo, apresentadas na Figura 02.

Segundo Dias apud Maia (2007), para o estabelecimento da área de estudo devem ser levados em consideração dois critérios principais, o primeiro deles é o tipo de intervenção que se pretende avaliar. Para esse parâmetro geralmente resulta na escolha de áreas mais extensas, nas quais se permite avaliar uma porção mais representativa a fim de considerar todos os aspectos relevantes como entradas e saídas da rede, além de seus deslocamentos, modelando de maneira sólida os impactos avaliados.

Outro critério é o adensamento social, função da abrangência do impacto na saúde da população que frequenta ou reside esses locais, conhecimento sobre os prejuízos a saúde humana e ambiental, além de cenários físicos causados pelas emissões de veículos do transporte urbano. Para cumprimento de ambos os critérios, fatores serão estabelecidos e analisados na área escolhida e são descritos a seguir.

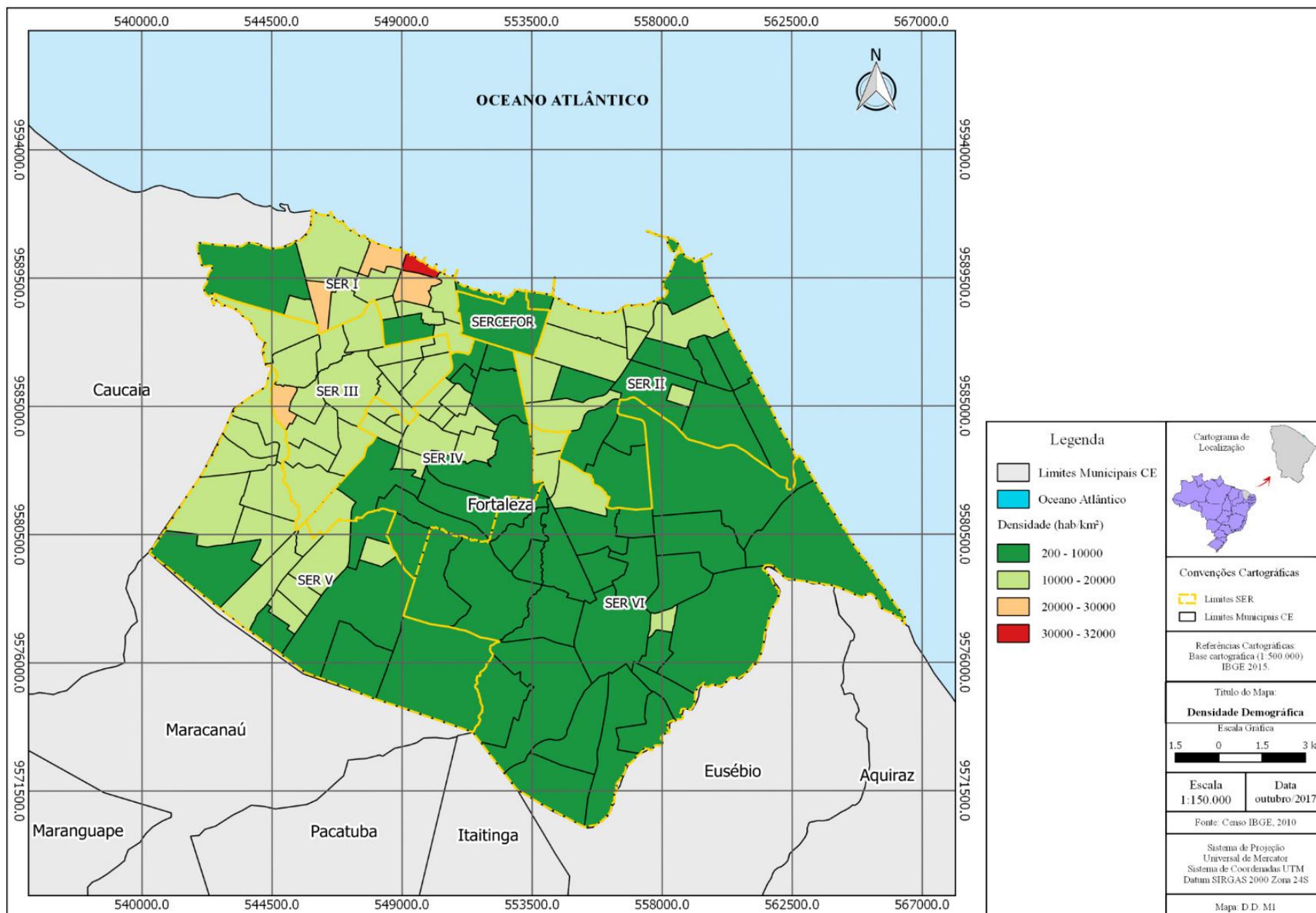
A área de estudo escolhida para o presente projeto se deu a partir da presença de pontos de amostragem de NO<sub>2</sub> e compreendeu as regionais do Centro e Regional 2, pois a totalidade dos pontos de coleta das campanhas encontravam-se totalmente inseridos nessas regionais, abrangendo uma área total de 49,36 km<sup>2</sup>, como apresentado na Figura 04.

## **4.2. Uso do Solo**

A fonte de dados de uso do solo da análise originou de estudos realizados pela prefeitura municipal de Fortaleza para o Plano de Desenvolvimento Fortaleza 2040 (IPLANFOR, 2016), o que estabeleceu uma série de estratégias a serem implementadas na cidade à curto, médio e longo prazo.

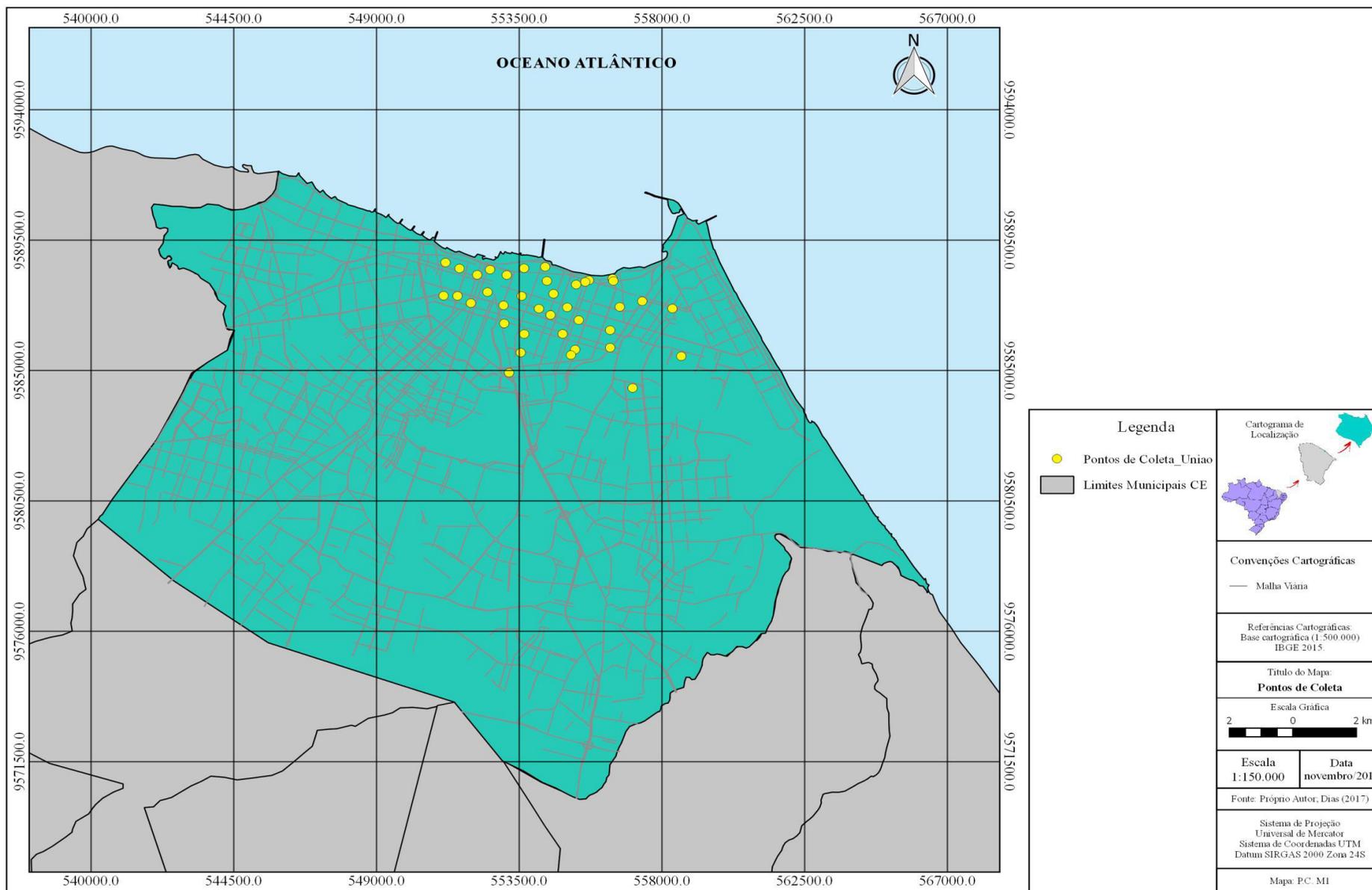
Para análise dos usos do solo, os dados iniciais continham descrições dos usos, lote a lote, como a visualização e análise seria de difícil observação optou-se por originar um uso por quadra que obteria o uso predominante em função da área, ou seja, caso a maior área dos lotes fossem residenciais o uso majoritário do lote também possuiu uso residencial.

Figura 2 - Densidade Demográfica na cidade de Fortaleza.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 3 - Pontos Coletados NO2.



Fonte: elaborada pelo autor.

### 4.3. Ventos da região

Os dados brutos de orientação e velocidade dos ventos foram obtidos nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), selecionados através de medições horárias, dados estes disponíveis no site do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Outra fonte é a Plataforma de Coleta de Dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Diante disso, deve-se selecionar a estação meteorológica mais próxima do local de estudo, seja esta do INMET ou da FUNCEME e selecionar o período de tempo que se deseja analisar.

O tratamento dos dados para análise da orientação e velocidades dos ventos da região se deu por uso do software gratuito Wind Rose Plots for Meteorological Data (WRPLOT) view, em sua versão 8.0.0, desenvolvido pelo Lakes Environmental Software. Para tal, o software foi utilizado na compilação dos dados importados (obtidos no BDMEP) por meio do WRPLOT através de dados ordenadamente dispostos em colunas em planilha no Microsoft Excel 2010 (Ano, Mês, Dia, Hora, Direção dos Ventos, Velocidade dos Ventos, Precipitação anual).

Sendo assim, a planilha (.csv) foi convertida em um arquivo Surface Met Data (SAMSON) (.sam), sendo este último identificado pela interface do software de origem, e posteriormente exportado em um arquivo Keyhole Markup Language (KML) utilizado para acesso ao software gratuito Google Earth Pro. Visto a natureza de acessibilidade da ferramenta, permitiu-se identificar a área diretamente afetada pela dispersão de odores, além de ser utilizada na tomada de decisão do presente estudo.

Os fatores componentes da meteorologia local influem de forma significativa no nível de poluição atmosférica, regulando o tempo de permanência dos gases poluidores no volume de ar onde o poluente foi lançado. Ao atingir a atmosfera o poluente está sujeito à ação das variantes locais que determinará sua permanência ou não próxima à fonte de emissão, como: velocidade e direção dos ventos, precipitação, temperatura, instabilidade da camada de ar, entre outras (GUERRA, 2011).

Os ventos na cidade manifestam-se de forma inversa à quadra chuvosa, com baixos e altos gradientes no primeiro e segundo semestre respectivamente. Nos meses de março e abril são registradas as menores velocidades, da ordem de 2,5 m/s. No entanto, nos meses de setembro e outubro são observados velocidades de 4,7 m/s. Possuindo como velocidade média anual dos ventos 3,7 m/s (MOURA, 2008).

#### **4.4. Infraestrutura da área de estudo**

Na cidade de Fortaleza, o processo de verticalização dos edifícios ocorreu de forma mais intensa com o crescimento do mercado imobiliário principalmente na parte litorânea no centro urbano da cidade em torno dos bairros Meireles e Aldeota, detentores de boas condições de infraestruturas (saneamento, drenagem, abastecimento, tráfego), boa movimentação comercial e de serviços, o que contribuiu para uma verticalização da área do seu entorno. (RUFINO, 2012).

Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará - IPECE (2015), desde 1970, proliferou-se a construção de residências unifamiliares e multifamiliares nessa região e atualmente é a área da cidade que mais concentra edifícios residenciais verticais de alta renda (VASCONCELOS, 2014). A pavimentação da área é ampla, majoritariamente as vias que a compõe possuem pavimentação asfáltica, suas edificações são constituídas de concreto armado, aço estrutural e revestimentos cerâmicos. A vegetação presente na área é limitada e concentrada em praças, parques e centros das vias, mas estas últimas de forma bastante reduzida (AGUIAR, 2016).

Nessas regiões há predominância de superfícies de baixo albedo e emissividade, o que vem atuar como fatores intensificadores da retenção de calor por parte dos materiais, o que vem incrementando o ganho de temperatura na região do seu entorno.

A verticalização dessas regiões formou uma superfície elevada na área, o que está sendo assumido neste estudo como “relevo urbano edificado”, visto que não unicamente o relevo natural influenciaria nos padrões de dispersões dos poluentes gasosos na camada de ar, mas sim o gabarito das edificações que foram espécies de barramentos verticais para esses gases, atuando como contentores de espécies de gases mais densos, por atuar no barramento das ações dos ventos nessas zonas. Sendo assim, as medições dos gabaritos médios das quadras foram obtidas com uso de ferramentas de geoprocessamento (Google Earth Pro) obtidos por meio de uma média ponderada o valor de referência da verticalização da quadra.

#### **4.5. Tráfego da área**

Na esfera do planejamento de transportes, uma série de instrumentos de modelagem contribui para a estimativa das matrizes origem/destino, quantidade de viagens, divisão modal de viagens, entre outros. Através do princípio que reconhece que as decisões de

viagens e de localização se relacionam entre si e com base em limitações impostas pelas decisões sobre incerteza, visando assim compreensão e prevenção das escolhas locais residenciais e de empregos em função do padrão diário de viagens, modo e rota das mesmas (ACHEAMPONG e SILVA, 2015).

Para o estudo de tráfego do presente estudo baseou-se no método de modelagem da demanda de tráfego desenvolvido pelo Dias, Sousa, Paula *et al.* (2016), a qual é fundamentada na plataforma de modelagem TRANUS (DE LA BARRA, 1989) largamente utilizada para a modelagem de relações internas no meio urbano e suas inter-relações abrangendo desde a influência do mercado imobiliário, das políticas de ocupação territorial, da localização e interação de atividades até pelo sistema de transportes e fluxos de pedestres (DIAS, 2016; LOPES, 2015).

Segundo o princípio da modelagem da rede multimodal, a mesma via pode ser composta por dois grupos de características físicas (largura, comprimento, capacidade, direção, nome, entre outros) ou modo (velocidade). Recalculando-se ambas as características de acordo com a demanda e capacidade de modificar-se (tempo da rota e velocidades). Obtendo-se como resultado a quantidade de veículos e a quilometragem percorrida por veículo (DIAS, 2016).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise Socioeconômica da área de estudo

Essa primeira análise possui cunho metodológico, nos quais serão analisados dados socioeconômicos da cidade de Fortaleza, através de estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no último censo de 2010 no qual diferentes fatores socioeconômicos da cidade foram avaliados, a saber:

- População

População estimada [2017] 2.627.482 pessoas

População no último censo [2010] 2.452.185 pessoas

Densidade demográfica [2010] 7.786,44 hab/km<sup>2</sup>

A densidade demográfica da população residente na cidade apresenta-se como uma média do conjunto de todos os bairros, no entanto a análise por unidade do bairro como apresentado na Figura 03 permite a verificação das maiores concentrações da população de Fortaleza, possibilitando a tomada de decisões em função do parâmetro densidade populacional e correlaciona-los com demais parâmetros relevantes ao presente estudo, para tal os bairros mais densos estão presentes nas regionais um, dois e três.

- Trabalho e Rendimento

Percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salários mínimos [2010] 36,9 %

Salário médio mensal dos trabalhadores formais [2015] 2,7 salários mínimos

Pessoal ocupado [2015] 880.791 pessoas

População ocupada [2015] 34 %

Em relação aos demais municípios cearenses, o mesmo ocupava 3<sup>a</sup> de 184 em relação a salários e a 2<sup>a</sup> de 184 posições em relação à população ocupada. Já na comparação com cidades do país todo, ficava na posição 370<sup>a</sup> de 5570 e 354<sup>a</sup> de 5570, respectivamente. Um aspecto importante é a análise da quantidade de domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, na qual 36,9% da população encontrava-se nessa faixa, o que conferiu a cidade a última posição 184<sup>a</sup> de 184 no estado e 3197<sup>a</sup> de 5570 no país.

- Educação

Taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade [2010] 96,1 %

\*IDEB – Anos iniciais do ensino fundamental [2015] 5,4

IDEB – Anos finais do ensino fundamental [2015] 4,2

Matrículas no ensino fundamental [2015] 315.211 matrículas

\*IDEB – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica, criado em 2007, pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) com o objetivo de avaliar a educação brasileira.

Em relação às notas do IDEB para ensino fundamental nos anos iniciais e finais da escolaridade fundamental temos que a cidade se encontra na posição no estado 127ª de 184 e 139ª de 184, respectivamente. A taxa de escolarização (para pessoas de 6 a 14 anos) foi de 96,1% em 2010, encontrando-se na posição 161ª de 184 dentre as cidades do estado e 4499ª de 5570 dentre as cidades do Brasil.

- Economia

Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,754

PIB per capita [2014]: R\$ 22.057,2

Percentual das receitas oriundas de fontes externas [2015]: 54,4 %

O PIB da cidade em comparação com os demais municípios do estado ocupava a 6ª de 184 posições, no Brasil era de 1487ª de 5570. Em 2015, em relação receitas de fontes externas estava na posição 176ª de 184 no estado e 4902ª de 5570 no país.

- Saúde

Estabelecimentos de Saúde SUS [2009] 187 estabelecimentos

Mortalidade Infantil [2014] 11,5 óbitos por mil nascidos vivos

Internações por diarreia [2016] 1,4 internações por mil habitantes

A taxa de mortalidade infantil média na cidade correspondia a 11,5 a cada 1.000 nascidos vivos, o que garantiu as posições de 102ª de 184 no estado e 2883ª de 5570 no país. Já em relação a casos de internações por diarreias são de 1,4 a cada 1.000 habitantes, estando na posição 66ª de 184 e 1967ª de 5570, no estado e no país respectivamente.

- Território e Ambiente

Área da unidade territorial [2016] 314,93 km²

Esgotamento sanitário adequado [2010] 74 %

Arborização de vias públicas [2010] 74,8 %

Urbanização de vias públicas [2010] 13,2 %

Em relação à infraestrutura sanitária da cidade ocupa 3ª de 184 e 1207ª de 5570; Arborização de vias 157ª de 184 e 2779ª de 5570; Vias públicas com urbanização adequada

(presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio) 14<sup>a</sup> de 184 e 2456<sup>a</sup> de 5570; Todos os índices respectivamente no estado e no país.

É de considerável relevância a caracterização da cidade de Fortaleza em relação as suas Secretárias Executivas Regionais (SER). De acordo com dados do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) pode-se analisar cada regional, em relação ao número de bairros contidos, população da regional, renda média, o ranking da regional em relação à renda, principais dados socioeconômicos da área, entre outros.

Tabela 1 - Renda da população por Secretária Regional Executiva

| SER | Número de bairros | População | % População Total da cidade | Renda Média | Rk |
|-----|-------------------|-----------|-----------------------------|-------------|----|
| I   | 15                | 363.912   | 14,8                        | 587,7       | 5  |
| II  | 21                | 363.406   | 14,8                        | 1850,1      | 1  |
| III | 16                | 360.551   | 14,7                        | 658,0       | 4  |
| IV  | 20                | 281.645   | 11,5                        | 845,2       | 2  |
| V   | 18                | 541.511   | 22,1                        | 471,7       | 6  |
| VI  | 29                | 541.160   | 22,1                        | 715,4       | 3  |

Fonte: Censo Demográfico, 2010 do IBGE. Elaboração \*Rk = Ranking IPECE.

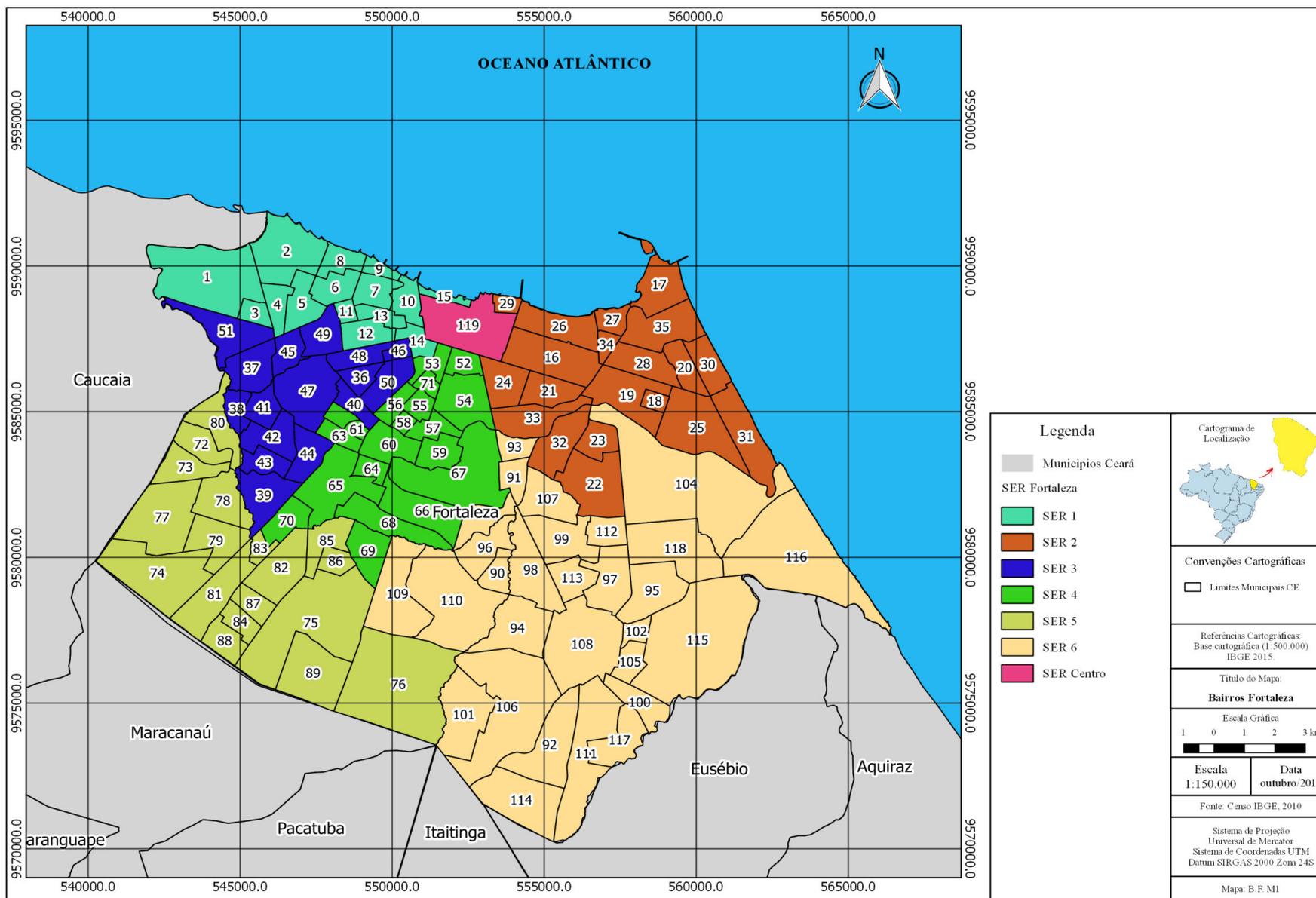
Segundo estudos realizados pelo IPECE, pode-se observar que é a SER II e a SER V são as regionais administrativas com maior e menor renda média pessoal, respectivamente. Em termos de população total, a SER VI corresponde a 22% da população total, no entanto, é apenas a terceira regional em relação à renda média pessoal, o que pode relevar uma tendência à desigualdade econômica na cidade. Aproximadamente 75% dos bairros de Fortaleza apresentam uma renda média pessoal inferior a dois salários mínimos. Analisando-se através de termos de renda média pessoal por bairro, tem-se que a população dos dez bairros mais ricos de Fortaleza que corresponde a 7% da população total da cidade concentra 26% da renda pessoal total da cidade, já os 44 bairros de menor renda que abriga 49% do total de habitantes da cidade, correspondem também a 26% da renda. (CAVALCANTE, 2012).

A cidade de Fortaleza subdivide-se em sete secretarias executivas regionais, como apresentada na Figura 03, cada regional possui características próprias de predominância do uso do solo, horizontalidade, verticalidade, presença de ondas de calor, circulação dos ventos, economia local o que confere a cada um, fatores próprios que devem ser considerados para análise dos pontos amostrados.

Para a escolha da área de estudo, analisou-se as coletas de NO<sub>2</sub> na cidade de Fortaleza a partir do ano de 2010, diante de revisões bibliográficas obteve os dados de duas

grandes campanhas de coletas de NO<sub>2</sub> que serão apresentadas a seguir. A subdivisão da cidade de Fortaleza em bairros foi apresentada na Figura 2.

Figura 4 - Bairros Fortaleza



Fonte: elaborada pelo autor.

Segundo o IPECE (2015), os dados acerca do perfil socioeconômico de cada secretária regional executiva estão descritos nas Tabelas (3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9), subdivididos em bairros de acordo com a Figura 2 e por características locais como: população, área, número de domicílios, número de estabelecimento, atividades econômicas predominantes, entre outros.

Tabela 2 - Descrição da Regional 01.

| Regional 1  |   |   |
|---|---|---|
| Bairros   | População/Área  | Dados Econômicos  |
| 1.Vila Velha, 2.Barra do Ceará, 3.Jardim Guanabara, 4.Jardim Iracema, 5.Floresta, 6.Álvaro Weyne, 7.Carlito Pamplona, 8.Cristo Redentor, 9.Pirambu, 10.Jacarecanga, 11.Vila Ellery, 12.São Gerardo, 13.Monte Castelo, 14.Farias Brito e 15. Moura Brasil.<br>Fonte: IPECE (2015). | Área: 24,4 Km <sup>2</sup> ;<br>População 2010: 363.912; Domicílios 2010: 109131. | Possui 3.693 estabelecimentos na capital e gera 48398 empregos. A atividade predominante na regional é a indústria da transformação, tendo gerado 14337 empregos em 2008. |

Tabela 3 - Descrição da Regional 02.

| Regional 2   |   |   |
|--|---|---|
| Bairros  | População/Área  | Dados Econômicos  |
| 16.Aldeota, 17.Cais do Porto, 18. Cidade 2000, 19.Cocó, 20.Bairro De Lourdes, 21.Dionísio Torres, 22.Luciano Cavalcante, 23.Guararapes, 24. Joaquim Távora, 25.Manuel Dias Branco, 26.Meireles, 27.Mucuripe, 28.Papicu, 29.Praia de Iracema, 30.Praia do Futuro I, 31.Praia do Futuro II, 32.Salinas, 33.São João do Tauape, 34.Varjota e 35.Vincente Pinzón<br>Fonte: IPECE (2015). | Área: 44,42 Km <sup>2</sup> ;<br>População 2010: 334868; Domicílios 2010: 119855. | Responde por 18572 dos estabelecimentos da capital. Tendo gerado no ano de 2008, 241669 empregos. O setor de serviços possui maior destaque na regional, tendo empregado em 2008 125498 pessoas num total de 9044 estabelecimentos. |

Tabela 4 - Descrição da Regional 03.

| Regional 3  |   |   |
|---|---|---|
| Bairros   | População/Área  | Dados Econômicos  |
| 36.Amadeu Furtado, 37.Antônio Bezerra, 38.Autran Nunes, 39.Bonsucesso, 40.Bela Vista, 41.Dom Lustosa, 42.Henrique Jorge, 43. João XXIII, 44. Jôquei Clube, 45.Padre Andrade, 46.Parque Araxá, 47.Pici, 48.Parquelândia, 49.Presidente Kennedy, 50.Rodolfo Teófilo e 51.Quintino Cunha<br>Fonte: IPECE (2015). | Área: 25,82 Km <sup>2</sup> ;<br>População 2010: 360551; Domicílios 2010: 112167. | Responde por 22388 empregos formais em Fortaleza, num total de 2338 estabelecimentos. Predomina o setor de serviços que correspondeu em 2008 a 9145 postos de trabalho gerados. |

Tabela 5 - Descrição da Regional 04.

| Regional 4   |   |  |
|--|---|--|
| Bairros  | População/Área  | Dados Econômicos   |
| 52.José Bonifácio, 53.Benfica, 54.Bairro de Fátima, 55.Jardim América, 56.Damas, 57.Parreão, 58.Bom Futuro, 59.Vila União, 60.Montese, 61.Couto Fernandes, 62.Panamericano, 63. Demócrito Rocha, 64.Itaoca, 65.Parangaba, 66.Serrinha, 67.Aeroporto, 68.Itaperi, 69.Dendé, 70.Vila Pery e 71.Gentilandia | Área: 33,07 Km <sup>2</sup> ;<br>População 2010: 281645; Domicílios 2010: 9270. | Agrega 99.968 trabalhadores em 5.571 estabelecimentos. A atividade de destaque é o serviço, com 45.859 empregados gerados em 2008. No tocante ao número de estabelecimentos, destaca-se o setor de comércio, com 2.441 postos de trabalho criados em 2008. |

Fonte: IPECE (2015).

Tabela 6 - Descrição da Regional 05.

| Regional 5   |   |   |
|--|---|---|
| Bairros  | População/Área  | Dados Econômicos  |
| 72.Conjunto Ceará I, 73.Conjunto Ceará II, 74. Siqueira, 75.Mondubim, 76.José Walter, 77.Granja Lisboa, 78.Granja Portugal, 79.Bom Jardim, 80.Genibau, 81.Canindezinho, 82.Vila Manoel Sátiro, 83.Parque São José, 84.Parque Santa Rosa, 85. Maraponga, 86.Jardim Cearense, 87.Conjunto Esperança, 88.Parque Presidente Vargas e 89.Planalto Ayrton Senna. | Área: 56,11 Km <sup>2</sup> ;<br>População 2010: 541511; Domicílios 2010: 167170. | Responsável pela geração de 19.421 empregados, a Regional V registra 2.777 empresas, de acordo com dados do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A atividade econômica de maior destaque da Regional é o comércio, responsável por 6.980 empregos num total de 1.448 estabelecimentos. |

Fonte: IPECE (2015).

Tabela 7 - Descrição da Regional 06.

| Regional 6   |  |  |
|--|--|--|
| Bairros  | População/Área   | Dados Econômicos   |
| 90.Castelão, 91.Aerolândia, 92.Ancuri, 93.Alto da Balança, 94.Barroso, 95.José de Alencar, 96.Boa Vista, 97.Cambeba, 98.Cajazeiras, 99.Cidade dos Funcionários, 100.Coaçu, 101.Conjunto Palmeiras, 102.Curió, 103.Dias Macedo, 104.Edson Queiroz, 105.Guajeru, 106.Jangurussu, 107.Jardim das Oliveiras, 108.Messejana, 109.Parque Dois Irmãos, 110.Passaré, 111.Paupina, 112.Parque Manibura, 113. Parque Iracema, 114. Pedras, 115.Lagoa Redonda, 116.Sabiaguaba, 117.São Bento e 118.Sapiranga/Coité. | Área: 119,98 Km <sup>2</sup> ;<br>População 2010: 541160; Domicílios 2010: 167347. | Possui 3.728 empresas e 39.952 empregos formais. A atividade mais significativa é a de serviços, com 14.488 postos de trabalho, num total de 1.151 estabelecimentos. |

Fonte: IPECE (2015).

Tabela 8 - Descrição da Regional Centro

| Regional Centro |  |  |
|-----------------|--|--|
| Bairros         | População/Área   | Dados Econômicos   |
| 119.Centro.     | Área: 4,85 Km <sup>2</sup> ;<br>População 2010: 28538;<br>Domicílios 2010:<br>12078. | O Centro é frequentado em 80% por classes C e D. Quem vai de carro ao Centro corresponde a 5% dos frequentadores; ônibus, 70%; trem, 15%. O Centro abriga 20% dos empregos formais do município. |

Fonte: IPECE (2015).

## 5.2. Uso do Solo

Em concomitância com a prefeitura municipal de Fortaleza houve um levantamento dos usos por bairro, priorizando nesse quadro os usos residenciais e comerciais, que foram convergidos na Tabela 09 a seguir:

Tabela 9 - Classificação dos bairros por percentual de comércio e residências.

| BAIRROS                      | %COMER<br>CIO | CARACTERIZ<br>AÇÃO | %RESIDEN<br>CIAL | BAIRROS                            | %COMER<br>CIO | CARACTERIZA<br>ÇÃO | %RESIDEN<br>CIAL |
|------------------------------|---------------|--------------------|------------------|------------------------------------|---------------|--------------------|------------------|
| Aerolândia                   | 0.71%         | Misto              | 0.61%            | Itaóca                             | 0.71%         | Misto              | 0.61%            |
| Aeroporto<br>(Base<br>AÉREA) | 0.13%         | Misto              | 0.10%            | Itaperi                            | 0.13%         | Misto              | 0.10%            |
| Alagadiço                    | 0.60%         | Misto              | 0.43%            | Jacarecang<br>a                    | 0.60%         | Comercial          | 0.43%            |
| Aldeota                      | 4.40%         | Comercial          | 1.07%            | Jangurussu                         | 4.40%         | Comercial          | 1.07%            |
| Alto da<br>Balança           | 0.66%         | Residencial        | 0.95%            | Jardim<br>América                  | 0.66%         | Misto              | 0.95%            |
| Álvaro<br>Weyne              | 1.48%         | Residencial        | 1.78%            | Jardim<br>Cearense                 | 1.48%         | Misto              | 1.78%            |
| Amadeo<br>Furtado            | 0.80%         | Misto              | 0.98%            | Jardim das<br>Oliveiras            | 0.80%         | Residencial        | 0.98%            |
| Ancuri                       | 0.31%         | Misto              | 0.37%            | Jardim<br>Iracema                  | 0.31%         | Residencial        | 0.37%            |
| Antônio<br>Bezerra           | 1.33%         | Residencial        | 1.65%            | Joquei<br>Clube (são<br>Cristovão) | 1.33%         | Misto              | 1.65%            |
| Arraial<br>Moura<br>Brasil   | 0.27%         | Misto              | 0.38%            | José<br>Bonifácio                  | 0.27%         | Residencial        | 0.38%            |
| Aufran<br>Nunes              | 0.37%         | Misto              | 0.56%            | José de<br>Alencar                 | 0.37%         | Residencial        | 0.56%            |
| Barra do<br>Ceará            | 1.41%         | Residencial        | 2.01%            | Lagoa<br>redonda                   | 1.41%         | Misto              | 2.01%            |
| Barroso                      | 0.68%         | Misto              | 0.71%            | Lagoa da<br>Sapiranga<br>(Coité)   | 0.68%         | Residencial        | 0.71%            |
| Bela Vista                   | 0.69%         | Residencial        | 0.97%            | Manoel<br>Sátiro                   | 0.69%         | Residencial        | 0.97%            |
| Benfica                      | 1.42%         | Comercial          | 0.66%            | Manuel<br>Dias<br>Branco           | 1.42%         | Misto              | 0.66%            |
| Bom Futuro                   | 0.94%         | Comercial          | 0.56%            | Marapong<br>a                      | 0.94%         | Misto              | 0.56%            |
| Bom Jardim                   | 1.07%         | Residencial        | 1.35%            | Mata                               | 1.07%         | Misto              | 1.35%            |

| BAIRROS                               | %COMERCIO | CARACTERIZAÇÃO | %RESIDENCIAL | BAIRROS                             | %COMERCIO | CARACTERIZAÇÃO | %RESIDENCIAL |
|---------------------------------------|-----------|----------------|--------------|-------------------------------------|-----------|----------------|--------------|
|                                       |           |                |              | <b>Galinha</b>                      |           |                |              |
| <b>Bonsucesso</b>                     | 1.60%     | Residencial    | 1.89%        | <b>Messejana (Sede)</b>             | 1.60%     | Residencial    | 1.89%        |
| <b>Cais do Porto</b>                  | 0.49%     | Misto          | 0.44%        | <b>Mondubim (Sede)</b>              | 0.49%     | Comercial      | 0.44%        |
| <b>Cajazeiras</b>                     | 0.38%     | Misto          | 0.38%        | <b>Montese</b>                      | 0.38%     | Residencial    | 0.38%        |
| <b>Misto Cambeba</b>                  | 0.48%     | Misto          | 0.48%        | <b>Mucuripe</b>                     | 0.48%     | Misto          | 0.48%        |
| <b>Canindezinhão</b>                  | 0.43%     | Residencial    | 0.73%        | <b>Padre Andrade (Cachoeirinha)</b> | 0.43%     | Misto          | 0.73%        |
| <b>Carlito Pamplona</b>               | 1.15%     | Residencial    | 1.56%        | <b>Pan-americano</b>                | 1.15%     | Misto          | 1.56%        |
| <b>Castelão</b>                       | 0.22%     | Misto          | 0.17%        | <b>Papicú</b>                       | 0.22%     | Misto          | 0.17%        |
| <b>Centro</b>                         | 17.10%    | Comercial      | 1.96%        | <b>Parangaba</b>                    | 17.10%    | Comercial      | 1.96%        |
| <b>Cidade 2000</b>                    | 0.38%     | Residencial    | 0.87%        | <b>Parque Dois Irmãos</b>           | 0.38%     | Residencial    | 0.87%        |
| <b>Cidade dos Funcionários</b>        | 1.20%     | Misto          | 1.07%        | <b>Parque Iracema</b>               | 1.20%     | Misto          | 1.07%        |
| <b>Coaçu</b>                          | 0.21%     | Misto          | 0.13%        | <b>Parque Manibura</b>              | 0.21%     | Misto          | 0.13%        |
| <b>Cocó</b>                           | 0.50%     | Comercial      | 0.21%        | <b>Parque Presidente Vargas</b>     | 0.50%     | Misto          | 0.21%        |
| <b>Conjunto Ceará I</b>               | 0.72%     | Residencial    | 1.74%        | <b>Parque Santa Rosa (Apolo XI)</b> | 0.72%     | Misto          | 1.74%        |
| <b>Conjunto Ceará II</b>              | 1.10%     | Residencial    | 2.16%        | <b>Parque São José</b>              | 1.10%     | Misto          | 2.16%        |
| <b>Conjunto Esperança</b>             | 0.41%     | Misto          | 0.61%        | <b>Parreão</b>                      | 0.41%     | Residencial    | 0.61%        |
| <b>Misto Misto Conjunto Palmeiras</b> | 0.21%     | Residencial    | 1.22%        | <b>Passaré</b>                      | 0.21%     | Misto          | 1.22%        |
| <b>Couto Fernandes</b>                | 0.23%     | Misto          | 0.17%        | <b>Paupina</b>                      | 0.23%     | Misto          | 0.17%        |
| <b>Cristo Redentor</b>                | 0.65%     | Residencial    | 1.70%        | <b>Pedras</b>                       | 0.65%     | Misto          | 1.70%        |
| <b>Curió</b>                          | 0.15%     | Misto          | 0.17%        | <b>Pici (Parque Universitário)</b>  | 0.15%     | Misto          | 0.17%        |
| <b>Damas</b>                          | 0.88%     | Comercial      | 0.58%        | <b>Pirambú</b>                      | 0.88%     | Comercial      | 0.58%        |
| <b>De Lourdes</b>                     | 0.09%     | Misto          | 0.07%        | <b>Planalto Ayrton Senna</b>        | 0.09%     | Misto          | 0.07%        |
| <b>Demócrito Rocha</b>                | 0.77%     | Misto          | 0.91%        | <b>Praia do Futuro I</b>            | 0.77%     | Misto          | 0.91%        |
| <b>Dendê</b>                          | 0.09%     | Misto          | 0.05%        | <b>Praia do Futuro II</b>           | 0.09%     | Misto          | 0.05%        |
| <b>Dias Macedo</b>                    | 0.43%     | Residencial    | 0.80%        | <b>Prefeito José Walter</b>         | 0.43%     | Residencial    | 0.80%        |
| <b>Dom Lustosa</b>                    | 0.60%     | Misto          | 0.78%        | <b>Presidente Kennedy</b>           | 0.60%     | Residencial    | 0.78%        |
| <b>Edison Queiroz</b>                 | 0.43%     | Residencial    | 0.69%        | <b>Quintinho Cunha</b>              | 0.43%     | Residencial    | 0.69%        |
| <b>Engenheiro Luciano Cavalcante</b>  | 0.61%     | Residencial    | 0.93%        | <b>Rodolfo Teófilo</b>              | 0.61%     | Residencial    | 0.93%        |
| <b>Estância (Dionísio Torres)</b>     | 2.01%     | Comercial      | 0.53%        | <b>Sabiaguaba</b>                   | 2.01%     | Misto          | 0.53%        |
| <b>Farias Brito</b>                   | 1.20%     | Comercial      | 0.92%        | <b>Salinas</b>                      | 1.20%     | Misto          | 0.92%        |

| BAIRROS         | %COMERCIO | CARACTERIZAÇÃO | %RESIDENCIAL | BAIRROS            | %COMERCIO | CARACTERIZAÇÃO | %RESIDENCIAL |
|-----------------|-----------|----------------|--------------|--------------------|-----------|----------------|--------------|
| Fátima          | 1.99%     | Comercial      | 0.91%        | São Bento          | 1.99%     | Misto          | 0.91%        |
| Floresta        | 0.50%     | Residencial    | 1.22%        | São João do Tauapé | 0.50%     | Residencial    | 1.22%        |
| Genibaú         | 0.04%     | Misto          | 0.01%        | Serrinha           | 0.04%     | Misto          | 0.01%        |
| Gentilândia     | 0.41%     | Misto          | 0.27%        | Siqueira           | 0.41%     | Misto          | 0.27%        |
| Granja Lisboa   | 0.97%     | Residencial    | 1.89%        | Varjota            | 0.97%     | Residencial    | 1.89%        |
| Granja Portugal | 1.03%     | Residencial    | 1.64%        | Vincente Pinzon    | 1.03%     | Residencial    | 1.64%        |
| Guajeru         | 0.18%     | Misto          | 0.28%        | Vila Ellery        | 0.18%     | Residencial    | 0.28%        |
| Guarapes        | 0.28%     | Misto          | 0.16%        | Vila Pery          | 0.28%     | Comercial      | 0.16%        |
| Henrique Jorge  | 1.50%     | Residencial    | 1.83%        | Vila Velha         | 1.50%     | Residencial    | 1.83%        |
|                 |           |                |              | SOMA               | 100.00%   | ---            | 100.00%      |

Fonte: prefeitura municipal de Fortaleza.

Os usos do solo para a presente área de estudo são apresentados na Tabela 10 a seguir, a qual demonstra a predominância do uso como residencial que corresponde 68% da área estudada, outros 19% da área é de uso comercial, a qual se concentra principalmente na SER do Centro, os 13% restantes do uso da área subdividem-se em hotelaria, industrial, institucional, misto, prestação de serviços, religioso, residencial e comercial, residencial e serviço, saúde e transporte, nas seguintes proporções apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Caracterização do uso do solo em lotes

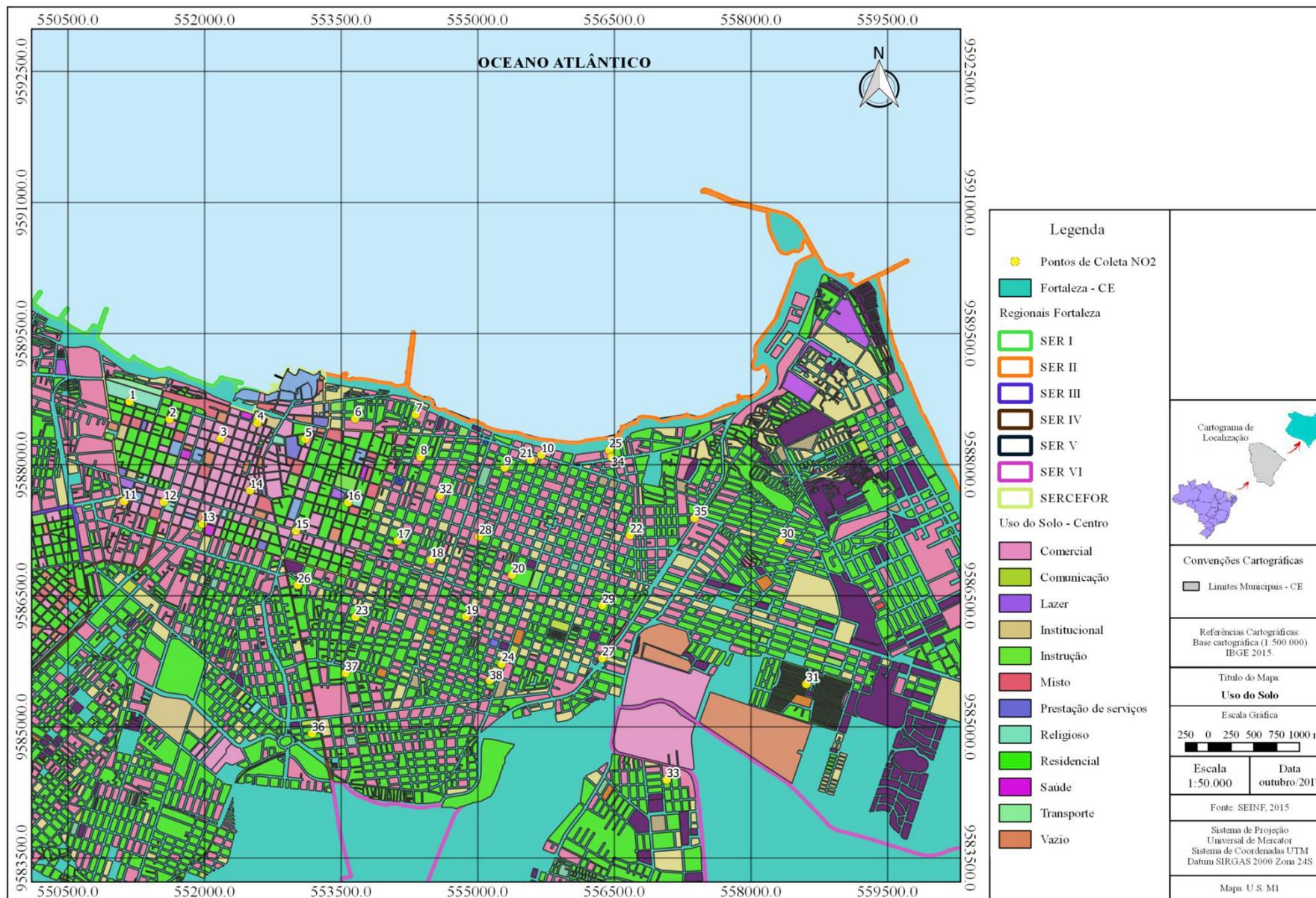
| Tipo de Uso             | Número de Lotes | % dos Lotes Total |
|-------------------------|-----------------|-------------------|
| Comercial               | 8356            | 18,83             |
| Hotelaria               | 81              | 0,18              |
| Industrial              | 82              | 0,18              |
| Institucional           | 136             | 0,31              |
| Instrução               | 204             | 0,46              |
| Misto                   | 3003            | 6,77              |
| Prestação de Serviços   | 910             | 2,05              |
| Religioso               | 103             | 0,23              |
| Residencial             | 30218           | 68,08             |
| Residencial e Comercial | 955             | 2,15              |
| Residencial e Serviço   | 93              | 0,21              |
| Saúde                   | 223             | 0,50              |
| Transporte              | 21              | 0,05              |

Fonte: elaborado pelo autor.

Conhecendo-se as características da área observa-se através da Figura 05 que as áreas comerciais, se concentram na SER Centro, o que remete a um grande fluxo de veículos nessa região. Nas particularidades dessa regional podemos destacar o elevado fluxo de ônibus de transporte coletivo, além dos veículos de carga para abastecimento e retirada de

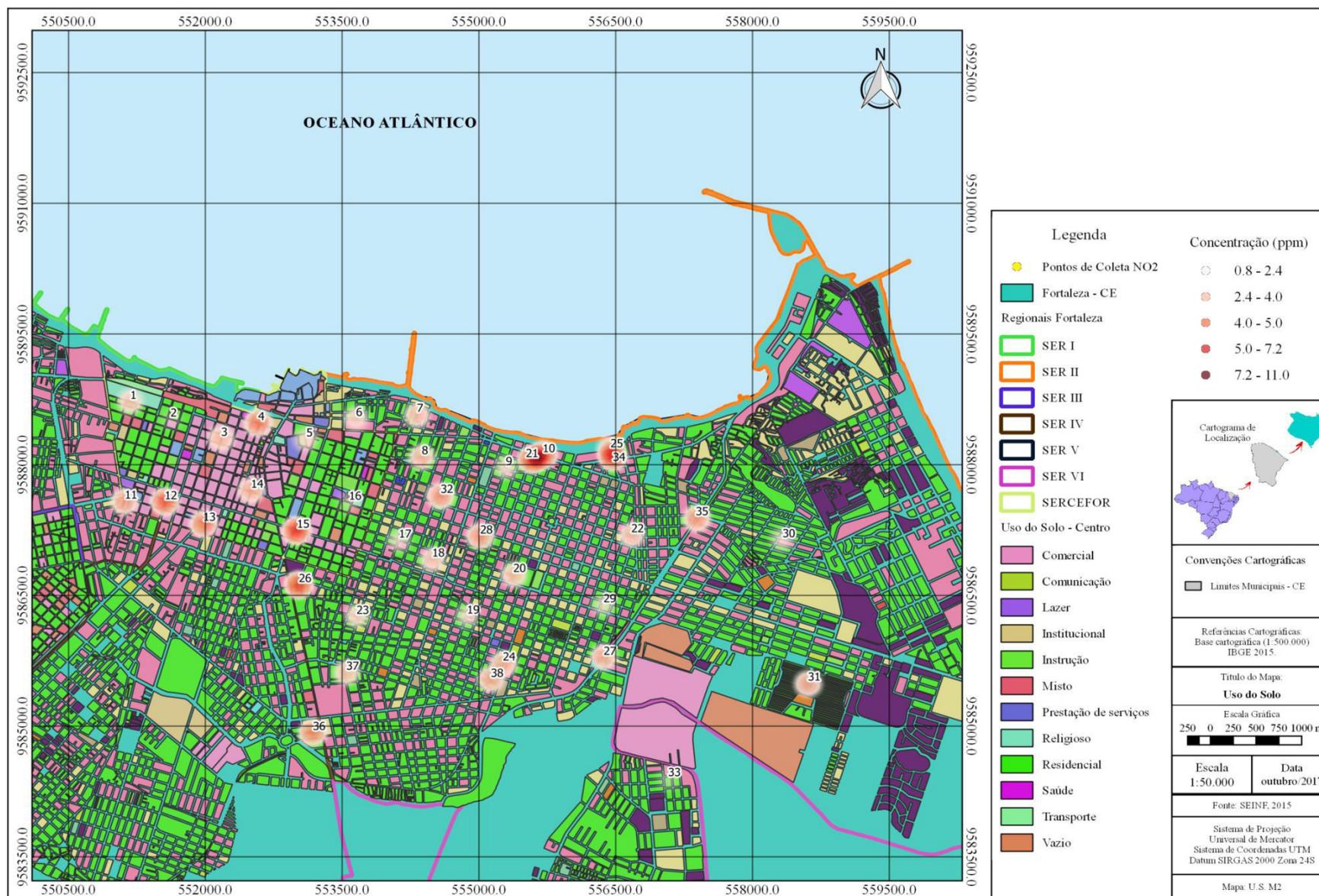
mercadorias nessa região. Já a SER II constituída principalmente de uso residencial há maior fluxo de veículos de transporte e de passeio, visto a concentração nessa área de um elevado número de residentes com uma renda per capita média mais elevada o que pode por resultar em um maior número de veículos.

Figura 5 - Uso do Solo na área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 6 - Plumagens de concentração e Uso do Solo



Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme a Figura 05 e 06, os usos do solo da região de interesse são subdivididos em classes de uso, de acordo com o uso majoritário da quadra em função da área. Em análise do mapa e nomeando os Pontos de 1 a 38 observou-se os usos descritos na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 - Características dos pontos de coleta quanto ao uso e concentração.

| Ponto Amostrado | Uso da quadra | Uso majoritário entorno | Faixa de concentração (ppm) | Ponto Amostrado | Uso da quadra | Uso majoritário entorno | Faixa de concentração (ppm) |
|-----------------|---------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1               | Residencial   | Residencial             | 2,4 - 4,0                   | 20              | Residencial   | Comercial e Residencial | 4,0 - 5,0                   |
| 2               | Comercial     | Residencial             | 0,8 - 2,4                   | 21              | Comercial     | Residencial             | 7,2 - 11                    |
| 3               | Comercial     | Comercial               | 4,0 - 5,0                   | 22              | Residencial   | Comercial               | 2,4 - 4,0                   |
| 4               | Institucional | Comercial               | 7,2 - 11                    | 23              | Residencial   | Residencial             | 0,8 - 2,4                   |
| 5               | Comercial     | Residencial             | 2,4 - 4,0                   | 24              | Residencial   | Institucional           | 5,0 - 7,2                   |
| 6               | Comercial     | Residencial             | 0,8 - 2,4                   | 25              | Residencial   | Comercial               | 5,0 - 7,2                   |
| 7               | Comercial     | Residencial             | 0,8 - 2,4                   | 26              | Residencial   | Residencial             | 7,2 - 11                    |
| 8               | Comercial     | Residencial             | 4,0 - 5,0                   | 27              | Institucional | Residencial             | 5,0 - 7,2                   |
| 9               | Comercial     | Residencial             | 2,4 - 4,0                   | 28              | Comercial     | Residencial e Comercial | 5,0 - 7,2                   |
| 10              | Comercial     | Comercial               | 7,2 - 11                    | 29              | Residencial   | Residencial             | 2,4 - 4,0                   |
| 11              | Comercial     | Comercial               | 5,0 - 7,2                   | 30              | Comercial     | Residencial             | 2,4 - 4,0                   |
| 12              | Religioso     | Comercial               | 7,2 - 11                    | 31              | Residencial   | Residencial             | 5,0 - 7,2                   |
| 13              | Instrução     | Comercial               | 7,2 - 11                    | 32              | Comercial     | Comercial               | 5,0 - 7,2                   |
| 14              | Comercial     | Comercial               | 4,0 - 5,0                   | 33              | Residencial   | Comercial e Residencial | 0,8 - 2,4                   |
| 15              | Comercial     | Comercial               | 7,2 - 11                    | 34              | Residencial   | Comercial               | 7,2 - 11                    |
| 16              | Misto         | Residencial             | 0,8 - 2,4                   | 35              | Comercial     | Comercial               | 5,0 - 7,2                   |
| 17              | Comercial     | Residencial             | 0,8 - 2,4                   | 36              | Residencial   | Residencial             | 7,2 - 11                    |
| 18              | Comercial     | Comercial               | 2,4 - 4,0                   | 37              | Residencial   | Residencial             | 4,0 - 5,0                   |
| 19              | Comercial     | Residencial             | 2,4 - 4,0                   | 38              | Comercial     | Residencial             | 2,4 - 4,0                   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Os pontos amostrados estão contidos em duas secretarias regionais executivas da cidade de Fortaleza (SER), SER-2 e SER-CEFOR. A SER-CEFOR abrange os Pontos 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 15 e 16, um total de onze pontos amostrados. Já na SER-2 estão contidos os Pontos 6, 7, 8, 9, 10, 17 ao 38, um total de vinte e sete pontos de coleta de NO<sub>2</sub>. Há então a amostragem de 2,27 pontos a cada quilometro quadrado na SER-CEFOR e 1,02 na SER-2.

Dentre os 38 pontos amostrados, oito deles (4, 10, 12, 13, 15, 26, 34, 36) encontram-se na faixa mais elevada entre 7,2 ppm a 11ppm, dentre esses quatro encontram-se

na região da secretária regional executiva centro (SER CEFOR) e quatro na secretária regional executiva dois (SER 2). Tem-se como número de recorrência a quantidade de vezes que um evento acontece, no caso a presença de pontos amostrados na área. Sendo assim criou-se um índice de abrangência correlacionando o número de pontos por área da SER. No que esse índice deve-se observar a que a SERCEFOR possui uma área de 4,85 km<sup>2</sup>, ou seja, a cada 1,21km<sup>2</sup> há a recorrência de um ponto na faixa mais alta de concentração coletada. Já na área coletada da SER 2 as coletas abrangeram uma área de 21,5km<sup>2</sup>, ou seja 5,37km<sup>2</sup> a cada um ponto recorrente. Os dados para cada faixa são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Índice de recorrência das faixas de concentração.

| Faixas de Concentração (ppm) | Pontos Coletados                  | Nº recorrências |       | Área/nº recorrências |       |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|----------------------|-------|
|                              |                                   | SER CEFOR       | SER 2 | SER CEFOR            | SER 2 |
| 0,8 - 2,4                    | 2, 6, 7, 16, 17, 23, 33           | 2               | 5     | 2,43                 | 4,3   |
| 2,4 - 4,0                    | 1, 5, 9, 18, 19, 22, 29, 30       | 2               | 6     | 2,43                 | 3,58  |
| 4,0 - 5,0                    | 3, 8, 14, 20, 37                  | 2               | 3     | 2,43                 | 7,2   |
| 5,0 - 7,2                    | 11, 24, 25, 27, 28, 31, 32, 35    | 1               | 7     | 4,85                 | 3,1   |
| 7,2 - 11                     | 4, 10, 12, 13, 15, 21, 26, 34, 36 | 4               | 5*    | 1,21                 | 5,37  |

Fonte: elaborado pelo autor.

(\*) sobreposição dos efeitos

Importante salientar que os Pontos 10 e 21 foram levados em consideração apenas uma vez, visto que sua proximidade e semelhante faixa de concentração de NO<sub>2</sub> poderiam contribuir de forma errônea para o índice de expressão das concentrações, por meio da sobreposição dos seus efeitos somando-se as concentrações de ambos os ponto manifestando-se apenas como um só ponto, tornando essa área mais poluída do que ela realmente se apresenta.

Dos oito pontos em análise, cinco destes em seu entorno são predominantes zonas comerciais e outros três em zonas residenciais. Diante disso, os menores índices limitam-se a SER-CEFOR na qual há a maior ocorrência de altas concentrações de NO<sub>2</sub>, visto que o índice é inversamente proporcional a número de ocorrências.

Na região da SER-CEFOR pode-se observar a presença de comércio intensivo. Uma possibilidade para justificar as concentrações pode ser a distribuição de cargas nessa região por ser um polo de comércio da cidade de Fortaleza, além do tráfego de veículos de transporte coletivo, visto que essa região é responsável por ampla parcela dos empregos da cidade. Diante do seu uso comercial, pode-se verificar a correlação do uso da área com a

concentração local em função de maiores faixas de concentrações. Os constantes congestionamentos de veículos na área, elevando os ciclos de aceleração e frenagem (stop-go) na área, podem intensificar o aumento das taxas de concentrações.

No entanto, o uso do solo da área não influi de maneira isolada nas faixas de concentração de NO<sub>2</sub>, esse se encontra atrelado a outros aspectos correlacionados com a infraestrutura local, dentre eles o gabarito das edificações como se observa nas Figuras 07 e 08, os dados observados no mapa foram apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Características dos pontos de coleta quanto ao gabarito e concentrações de NO<sub>2</sub>

| Ponto Amostrado | Gabarito lote (m) | Gabarito do entorno (m) | Faixa de concentração (ppm) | Ponto Amostrado | Gabarito lote (m) | Gabarito do entorno (m) | Faixa de concentração (ppm) |
|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1               | 2.0 – 6.0         | 2.0 – 6.0               | 2,4 - 4,0                   | 20              | 31.0 - 85.0       | 12.0 - 31.0             | 4,0 - 5,0                   |
| 2               | 8.0 – 12.0        | 8.0 – 12.0              | 0,8 - 2,4                   | 21              | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 7,2 – 11                    |
| 3               | 8.0 – 12.0        | 8.0 – 12.0              | 4,0 - 5,0                   | 22              | 8.0 – 12.0        | 12.0 - 31.0             | 2,4 - 4,0                   |
| 4               | 8.0 – 12.0        | 8.0 – 12.0              | 7,2 – 11                    | 23              | 8.0 – 12.0        | 8.0 – 12.0              | 0,8 - 2,4                   |
| 5               | 12.0 - 31.0       | 12.0 - 31.0             | 2,4 - 4,0                   | 24              | 12.0 - 31.0       | 12.0 - 31.0             | 5,0 - 7,2                   |
| 6               | 31.0 - 85.0       | 8.0 – 12.0              | 0,8 - 2,4                   | 25              | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 5,0 - 7,2                   |
| 7               | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 0,8 - 2,4                   | 26              | 6.0 – 8.0         | 6.0 – 8.0               | 7,2 – 11                    |
| 8               | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 4,0 - 5,0                   | 27              | 6.0 – 8.0         | 12.0 - 31.0             | 5,0 - 7,2                   |
| 9               | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 2,4 - 4,0                   | 28              | 31.0 - 85.0       | 12.0 - 31.0             | 5,0 - 7,2                   |
| 10              | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 7,2 – 11                    | 29              | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 2,4 - 4,0                   |
| 11              | 2.0 – 6.0         | 8.0 – 12.0              | 5,0 - 7,2                   | 30              | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 2,4 - 4,0                   |
| 12              | 8.0 – 12.0        | 12.0 - 31.0             | 7,2 – 11                    | 31              | 2.0 – 6.0         | 8.0 – 12.0              | 5,0 - 7,2                   |
| 13              | 12.0 - 31.0       | 12.0 - 31.0             | 7,2 – 11                    | 32              | 31.0 - 85.0       | 12.0 - 31.0             | 5,0 - 7,2                   |
| 14              | 12.0 - 31.0       | 12.0 - 31.0             | 4,0 - 5,0                   | 33              | 12.0 - 31.0       | 12.0 - 31.0             | 0,8 - 2,4                   |
| 15              | 12.0 - 31.0       | 12.0 - 31.0             | 7,2 – 11                    | 34              | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 7,2 – 11                    |
| 16              | 2.0 – 6.0         | 12.0 - 31.0             | 0,8 - 2,4                   | 35              | 2.0 – 6.0         | 31.0 - 85.0             | 5,0 - 7,2                   |
| 17              | 31.0 - 85.0       | 8.0 – 12.0              | 0,8 - 2,4                   | 36              | 8.0 – 12.0        | 12.0 - 31.0             | 7,2 – 11                    |
| 18              | 31.0 - 85.0       | 31.0 - 85.0             | 2,4 - 4,0                   | 37              | 12.0 - 31.0       | 8.0 – 12.0              | 4,0 - 5,0                   |
| 19              | 31.0 - 85.0       | 12.0 - 31.0             | 2,4 - 4,0                   | 38              | 2.0 – 6.0         | 12.0 - 31.0             | 2,4 - 4,0                   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 14 - Relação gabarito das edificações e concentração de NO<sub>2</sub>.

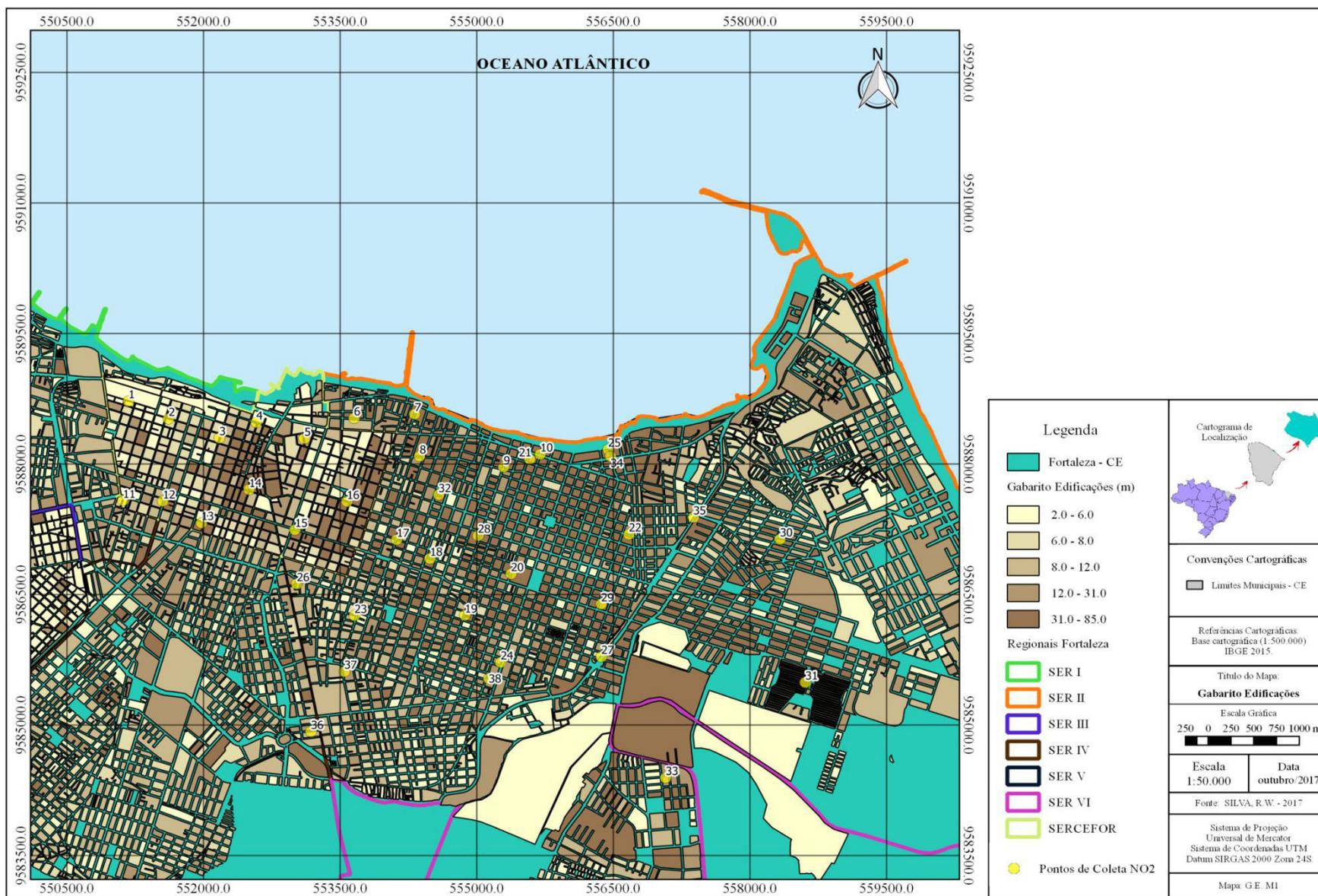
| Concentração<br>NO <sub>2</sub> |             | Gabarito  |           |           |           |          |
|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|                                 |             | 0,8 - 2,4 | 2,4 - 4,0 | 4,0 - 5,0 | 5,0 - 7,2 | 7,2 - 11 |
| Gabarito                        | 2,0 - 6,0   | 2,63%     | 5,26%     |           | 7,89%     |          |
|                                 | 6,0 - 8,0   |           |           |           | 2,63%     | 2,63%    |
|                                 | 8,0 - 12,0  | 5,26%     | 2,63%     | 2,63%     |           | 5,26%    |
|                                 | 12,0 - 31,0 | 2,63%     | 2,63%     | 5,26%     | 2,63%     | 5,26%    |
|                                 | 31,0 - 85,0 | 7,89%     | 13,16%    | 2,63%     | 7,89%     | 7,89%    |

Fonte: elaborado pelo autor.

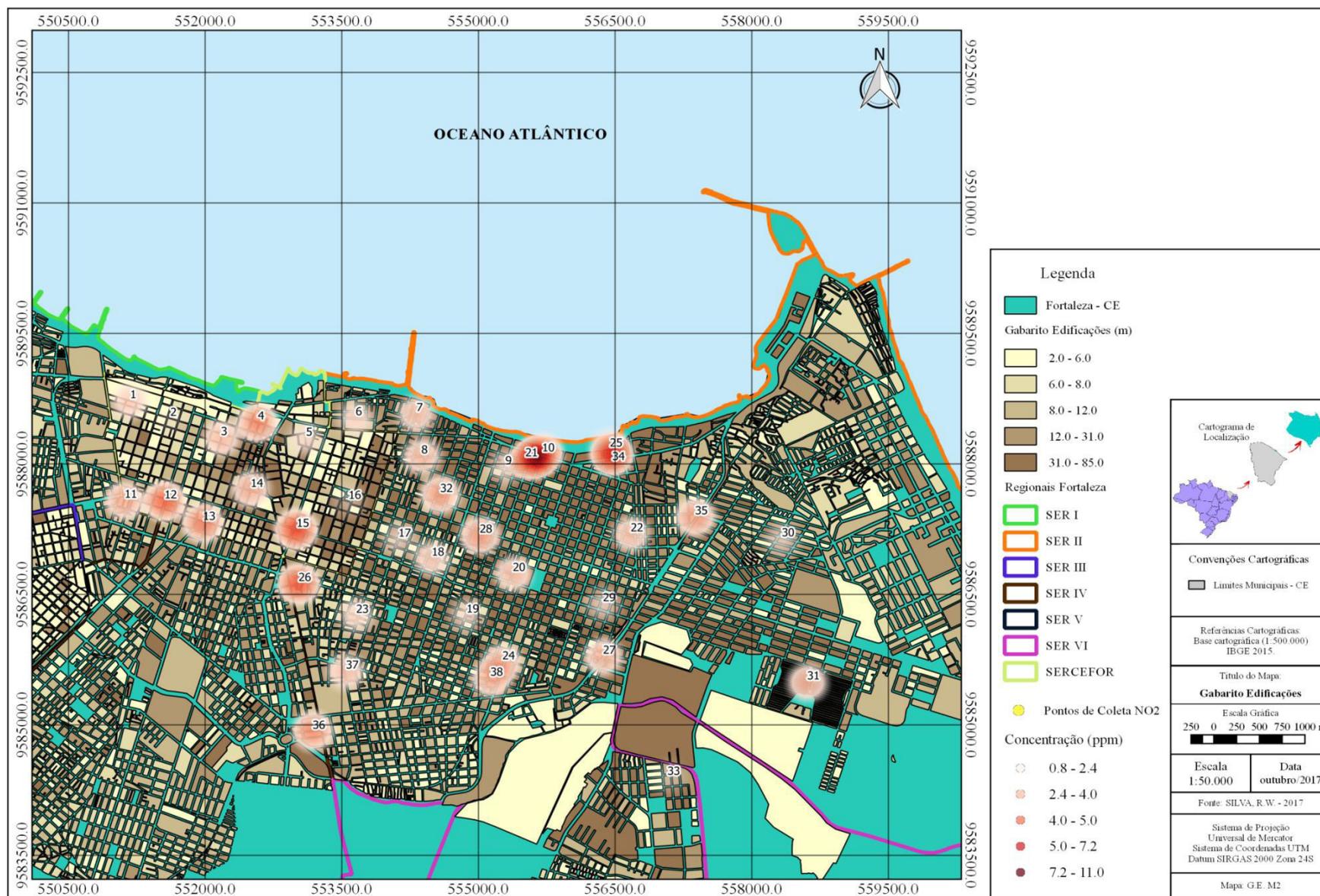
Os dados apresentados na Tabela 14 indicam que dos pontos amostrados, seis possuem gabaritos na faixa entre 2m e 6m (15,79%), dois na faixa de 6m a 8m (5,26%), sete de 8m a 12m (18,42%), sete de 12m a 31m (18,42%) e dezesseis na faixa de 31m a 85m (42,11%). Um aspecto importante é o entorno da área amostrada, pois este determina o possível aprisionamento dos gases na área, além do período de dispersão dos mesmos, pois quando maior a profundidade do vale urbano (região mais baixa formada entre as edificações), maior será o tempo de permanência dos gases no local, em função da sua densidade e das variáveis climatológicas locais.

A subdivisão nas faixas de gabarito se deu por quartis, no primeiro quartil encontram-se até 25% das recorrências abaixo e 75% acima, no terceiro ocorrem o contrário 75% estão abaixo e 25% acima, enquanto o segundo quartil encontra-se a mediana. As recorrências, apresentadas na Tabela 14 representam os dados de gabarito no ponto. Analisando-se a faixa de gabaritos mais alta de 31m a 85m observa-se que 40% das amostras estão em faixas de concentração acima de 5ppm. Nos gabaritos de 12m a 31m as amostras acima de 5ppm passam a ocupar 43% do total na faixa. Sendo assim observa-se uma relação entre o gabarito e as concentrações de NO<sub>2</sub>, no entanto esse não é parâmetro isolado, devendo ser analisados com os outros fatores, como condições de tráfego e vento predominante.

Figura 7 - Gabarito da área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 8 – Plumas de concentração de NO<sub>2</sub> e Gabarito

Fonte: elaborada pelo autor.

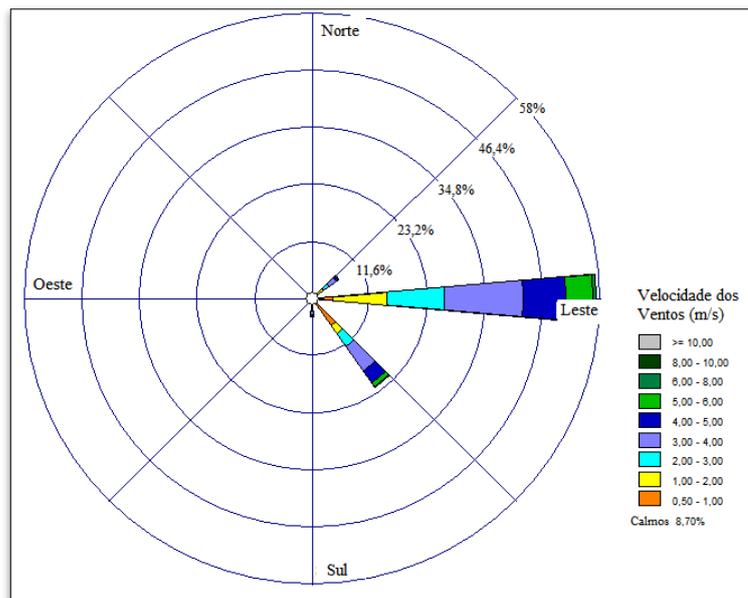
### 5.3. Ventos da região

O deslocamento dos poluentes atmosféricos próximo a uma fonte emissora é fortemente influenciado pela relação dos ventos atuantes na região do seu entorno, formando padrões de dispersão ou estagnação dos gases poluentes em função da presença ou ausência dos ventos. Outro fator importante é a velocidade da emissão que influi na posição dos poluentes na camada de ar vertical.

Para alicerçar o presente estudo, fez-se necessário a análise dos ventos atuantes na região. Devido à indisponibilidade de tempo, de deslocamentos e de equipamentos durante o período de estudo, optou-se por analisar dados históricos da região, garantindo assim uma maior confiabilidade dos dados. Para tal, analisou-se uma série histórica de 20 anos, dados coletados pelo portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 1997 a 2017.

Na Figura 9 é apresentada a rosa dos ventos da cidade de Fortaleza, obtida por meio do WRPLOT view. Nessa é demonstrada a predominância dos ventos na direção leste durante a maior parte do ano, sendo essa responsável por 55% das recorrências, seguido à orientação sudeste com 22% dos casos. Houve também a incidência de ventos nas orientações nordeste e sul com 6,7% e 3,8% dos casos respectivamente, outros 6,0% são momentos de calmaria onde não há a incidência de ventos na região, além disso, 4% das amostras possuem dados ausentes, seja por erros ou ausência de medições.

Figura 9 - Rosa dos Ventos Fortaleza.



Fonte: elaborada pelo autor.

## 5.4. Classificação das Vias

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro as vias são classificadas sob o ponto de vista funcional em quatro categorias, a saber: Expressa, Arterial, Coletora, Local. Diante dessas categorias das vias da área de interesse, analisou-se a presença dos pontos amostrados nas diferentes funcionalidades da via. Sendo assim, os dados foram apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Características dos pontos coletados quanto a classificação da via

| Ponto Amostrado | Classificação da Via | Faixa de concentração (ppm) | Ponto Amostrado | Classificação da Via | Faixa de concentração (ppm) |
|-----------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| 1               | Local                | 2,4 - 4,0                   | 20              | Local                | 4,0 - 5,0                   |
| 2               | Local                | 0,8 - 2,4                   | 21              | Local                | 7,2 - 11                    |
| 3               | Local                | 4,0 - 5,0                   | 22              | Local                | 2,4 - 4,0                   |
| 4               | Local                | 7,2 - 11                    | 23              | Local                | 0,8 - 2,4                   |
| 5               | Local                | 2,4 - 4,0                   | 24              | Arterial             | 5,0 - 7,2                   |
| 6               | Local                | 0,8 - 2,4                   | 25              | Arterial             | 5,0 - 7,2                   |
| 7               | Local                | 0,8 - 2,4                   | 26              | Local                | 7,2 - 11                    |
| 8               | Local                | 4,0 - 5,0                   | 27              | Expressa             | 5,0 - 7,2                   |
| 9               | Local                | 2,4 - 4,0                   | 28              | Local e Arterial     | 5,0 - 7,2                   |
| 10              | Arterial             | 7,2 - 11                    | 29              | Local e Arterial     | 2,4 - 4,0                   |
| 11              | Local                | 5,0 - 7,2                   | 30              | Arterial             | 2,4 - 4,0                   |
| 12              | Arterial             | 7,2 - 11                    | 31              | Local                | 5,0 - 7,2                   |
| 13              | Local e Arterial     | 7,2 - 11                    | 32              | Local                | 5,0 - 7,2                   |
| 14              | Local                | 4,0 - 5,0                   | 33              | Local                | 0,8 - 2,4                   |
| 15              | Arterial             | 7,2 - 11                    | 34              | Arterial             | 7,2 - 11                    |
| 16              | Local                | 0,8 - 2,4                   | 35              | Expressa             | 5,0 - 7,2                   |
| 17              | Local                | 0,8 - 2,4                   | 36              | Local e Coletora     | 7,2 - 11                    |
| 18              | Arterial             | 2,4 - 4,0                   | 37              | Local e Coletora     | 4,0 - 5,0                   |
| 19              | Local e Coletora     | 2,4 - 4,0                   | 38              | Local                | 2,4 - 4,0                   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Dentre os 38 pontos analisados como observado na Figura 10 e 11, onze amostragens foram localizados em vias arteriais (28,95%), três em vias coletoras (7,89%), duas em expressa (5,26%) e vinte e duas em vias locais (57,9%). Diante disso, dos onze pontos em vias arteriais quatro encontram-se nas concentrações mais elevadas, três em concentrações de 5 ppm a 7,2 ppm e as demais de 2,4 ppm a 4,0 ppm, ou seja, 65% concentrações acima de 5 ppm. As distribuições foram apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Distribuição das vias em função da concentração e classificação da via

| Concentração (ppm) | Arterial        |         |       | Coletora        |         |       | Expressa        |         |       | Local           |         |       |
|--------------------|-----------------|---------|-------|-----------------|---------|-------|-----------------|---------|-------|-----------------|---------|-------|
|                    | Nº recorrências | % Total | % Via | Nº recorrências | % Total | % Via | Nº recorrências | % Total | % Via | Nº recorrências | % Total | % Via |
| 0,8 - 2,4          | -               | -       | -     | -               | -       | -     | -               | -       | -     | 7               | 18,4    | 31,8  |
| 2,4 - 4,0          | 3               | 7,9     | 27,3  | 1               | 2,6     | 33,3  | -               | -       | -     | 5               | 13,2    | 22,7  |
| 4,0 - 5,0          | -               | -       | -     | 1               | 2,6     | 33,3  | -               | -       | -     | 4               | 10,5    | 18,2  |
| 5,0 - 7,2          | 3               | 7,9     | 27,3  | -               | -       | -     | 2               | 5,3     | 100   | 3               | 7,9     | 13,6  |
| 7,2 - 11           | 5               | 13,2    | 45,6  | 1               | 2,6     | 33,3  | -               | -       | -     | 3               | 7,9     | 13,6  |

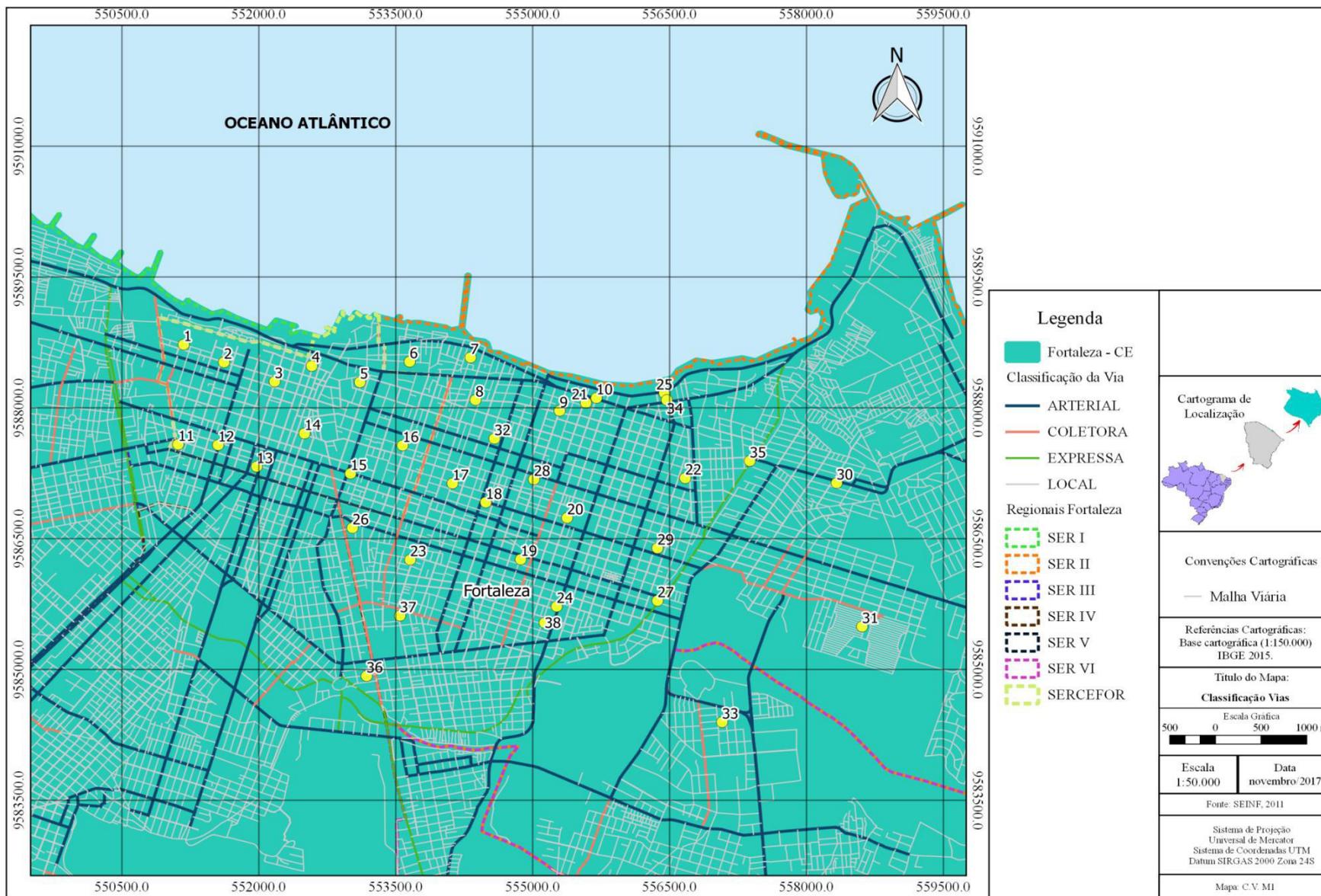
Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se observar a partir dos dados da Tabela 16 que 72% das amostras em vias arteriais concentram-se na faixa acima de 5ppm, seguido de 33% em vias coletoras, e 27% quando em vias locais, mostrando que quanto mais abrangente o uso da via, mais intensas são as concentrações de NO<sub>2</sub>, possivelmente devido ao fluxo de veículos que transitam nessas vias.

As recorrências mais elevadas foram em vias arteriais, podendo ser explicadas por seu uso ser destinados a interligar pontos estratégicos da cidade, funcionando como vias centrais ao fluxo de veículos, marcadas por interseções em nível, geralmente controladas por semáforos e com acessibilidade a lotes lindeiros e às vias coletoras, marcando assim uma combinação de elevado número de veículos, sequencias de aceleração e frenagem, elevado tempo de permanência na via, características que podem ter conferido a essas vias a recorrência mais elevada quanto a níveis de NO<sub>2</sub>.

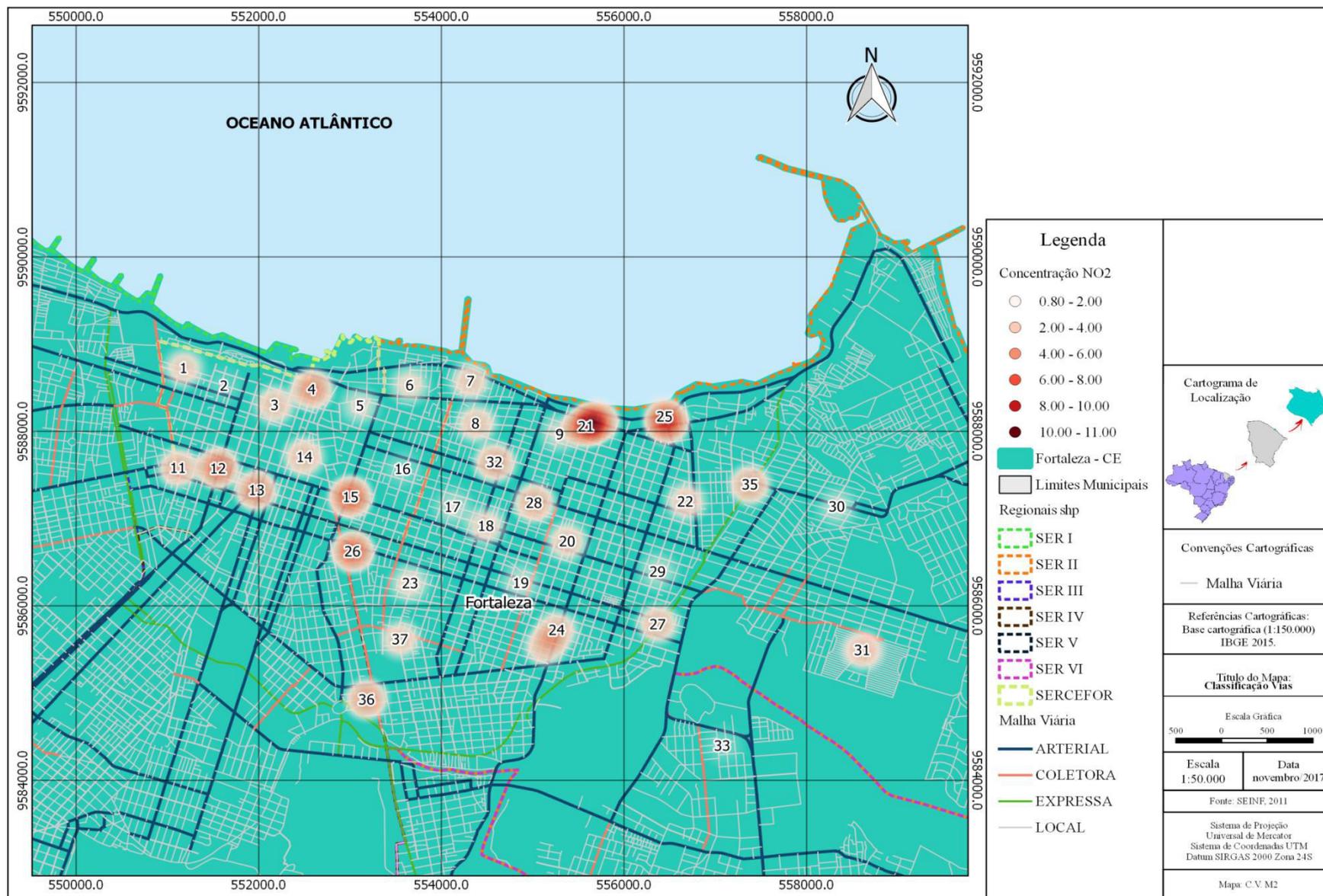
As menores recorrências ocorreram em vias expressas e locais, a primeira pode ser explicada pelo número reduzido de amostragens nessas vias, além do fluxo contínuo de veículos, não marcada por sequências de aceleração e frenagens, pois essas levam a queima da gasolina que ocasiona um aquecimento do motor e posterior oxidação do nitrogênio do ar em altas temperaturas liberando de maiores emissões de NO<sub>2</sub>. Enquanto isso as vias locais, recebem uma quantidade de fluxo de veículos reduzida, visto que são destinadas a acessos a lotes restritos e são pouco utilizadas para acesso a outras vias.

Figura 10 - Classificação das vias na área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 11 - Plumas e Classificação das vias



Fonte: elaborada pelo autor.

## 5.5. Fluxo de Veículos

O fluxo dos veículos na cidade de Fortaleza é classificado em função da quantidade de veículos por dia. Para tal, a Tabela 17 apresenta o fluxo dos veículos em função do ponto amostrado como apresentados na Figura 12, correlacionando-se com as concentrações de NO<sub>2</sub> amostradas. A concentração de NO<sub>2</sub> não é função exclusiva da via que está localizada, mas pode sofrer influência das avenidas ao seu entorno, visto que os ventos podem dispersar as concentrações de vias de maior tráfego para vias menos utilizadas, esse é caso de vias locais próximas a vias arteriais ou coletoras.

Tabela 17 - Características dos pontos coletados quanto ao fluxo de veículos

| Ponto Amostrado | Fluxo de Veículos | Fluxo de Veículos entorno | Faixa de concentração (ppm) | Ponto Amostrado | Fluxo de Veículos | Fluxo de Veículos entorno | Faixa de concentração (ppm) |
|-----------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1               | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 2,4 - 4,0                   | 20              | 0 – 1.000         | 1.000 – 2.000             | 4,0 - 5,0                   |
| 2               | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 0,8 - 2,4                   | 21              | 0 – 1.000         | 3.000 – 4.000             | 7,2 – 11                    |
| 3               | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 4,0 - 5,0                   | 22              | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 2,4 - 4,0                   |
| 4               | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 7,2 – 11                    | 23              | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 0,8 - 2,4                   |
| 5               | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 2,4 - 4,0                   | 24              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 5,0 - 7,2                   |
| 6               | 1.000 – 2.000     | 1.000 – 2.000             | 0,8 - 2,4                   | 25              | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 5,0 - 7,2                   |
| 7               | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 0,8 - 2,4                   | 26              | 2.000 – 3.000     | 1.000 – 2.000             | 7,2 – 11                    |
| 8               | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 4,0 - 5,0                   | 27              | 1.000 – 2.000     | 1.000 – 2.000             | 5,0 - 7,2                   |
| 9               | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 2,4 - 4,0                   | 28              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 5,0 - 7,2                   |
| 10              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 7,2 – 11                    | 29              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 2,4 - 4,0                   |
| 11              | 3.000 – 4.000     | 4.000- 7.000              | 5,0 - 7,2                   | 30              | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 2,4 - 4,0                   |
| 12              | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 7,2 – 11                    | 31              | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 5,0 - 7,2                   |
| 13              | 1.000 – 2.000     | 1.000 – 2.000             | 7,2 – 11                    | 32              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 5,0 - 7,2                   |
| 14              | 1.000 – 2.000     | 1.000 – 2.000             | 4,0 - 5,0                   | 33              | 1.000 – 2.000     | 1.000 – 2.000             | 0,8 - 2,4                   |
| 15              | 2.000 – 3.000     | 4.000 – 7.000             | 7,2 – 11                    | 34              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 7,2 – 11                    |
| 16              | 0 – 1.000         | 0 – 1.000                 | 0,8 - 2,4                   | 35              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 5,0 - 7,2                   |
| 17              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 0,8 - 2,4                   | 36              | 2.000 – 3.000     | 4.000 – 7.000             | 7,2 – 11                    |
| 18              | 0 – 1.000         | 1.000 – 2.000             | 2,4 - 4,0                   | 37              | 1.000 – 2.000     | 3.000 – 4.000             | 4,0 - 5,0                   |
| 19              | 1.000 – 2.000     | 1.000 – 2.000             | 2,4 - 4,0                   | 38              | 1.000 – 2.000     | 0 – 1.000                 | 2,4 - 4,0                   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Por meio da análise da Tabela 18, observa-se a relação entre o fluxo dos veículos e as concentrações em ppm de pontos amostrados, como observados na Figura 13. A maior parcela (86,85%) dos pontos amostrados encontra-se em vias de fluxo com até 2.000 automóveis por dia.

Tabela 18 - Relação fluxo de automóveis e concentração de NO<sub>2</sub>.

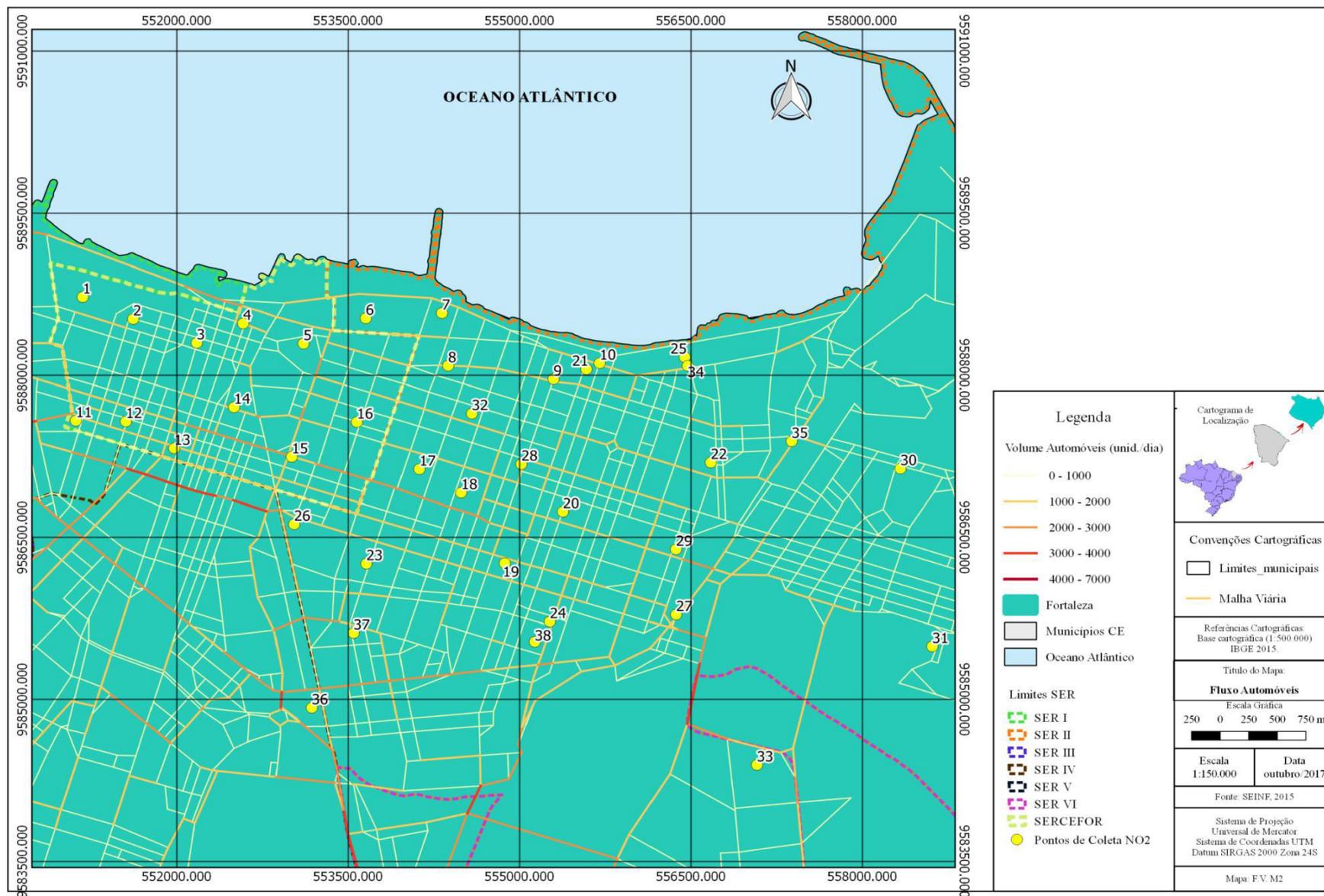
| Fluxo<br>(unid./dia) | 0-1.000 |         |       | 1.000-2.000 |         |       | 2.000-3.000 |         |       | 3.000-4.000 |         |       | 4.000-7.000 |         |       |
|----------------------|---------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------|---------|-------|
|                      | Unid.   | % Total | % Via | Unid.       | % Total | % Via | Unid.       | % Total | % Via | Unid.       | % Total | % Via | Unid.       | % Total | % Via |
| 0,8 - 2,4            | 5       | 13,2    | 20,8  | 2           | 5,3     | 22,2  | -           | -       | -     | -           | -       | -     | -           | -       | -     |
| 2,4 - 4,0            | 7       | 18,4    | 29,2  | 2           | 5,3     | 22,2  | -           | -       | -     | -           | -       | -     | -           | -       | -     |
| 4,0 - 5,0            | 2       | 5,3     | 8,3   | 2           | 5,3     | 22,2  | 1           | 2,63    | 100   | -           | -       | -     | -           | -       | -     |
| 5,0 - 7,2            | 6       | 15,8    | 25,0  | 1           | 2,6     | 11,1  | -           | -       | -     | -           | -       | -     | 1           | 2,63    | 33,3  |
| 7,2 - 11             | 4       | 10,5    | 16,7  | 2           | 5,3     | 22,2  | -           | -       | -     | 1           | 2,63    | 100   | 2           | 5,26    | 66,7  |
| Total                | 24      | 63,2    | 100   | 9           | 23,7    | 100   | 1           | 2,63    | 100   | 1           | 2,63    | 100   | 3           | 7,89    | 100   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Em vias de até 1.000 automóveis 58,3% das amostras possui valores de até 5ppm valores condizentes com a literatura, visto que os menores fluxos dos veículos mantem concentrações menores de NO<sub>2</sub>, e outros 41,7% acima de 5ppm englobando todas as faixas de concentração. Ao analisar vias de maior fluxo acima de 3.000, há expressão apenas de faixas acima de 5ppm uma explicação seria que o elevado fluxo de automóveis na via contribui de forma positiva a concentrações de NO<sub>2</sub> aumentando assim o seu valor de concentração.

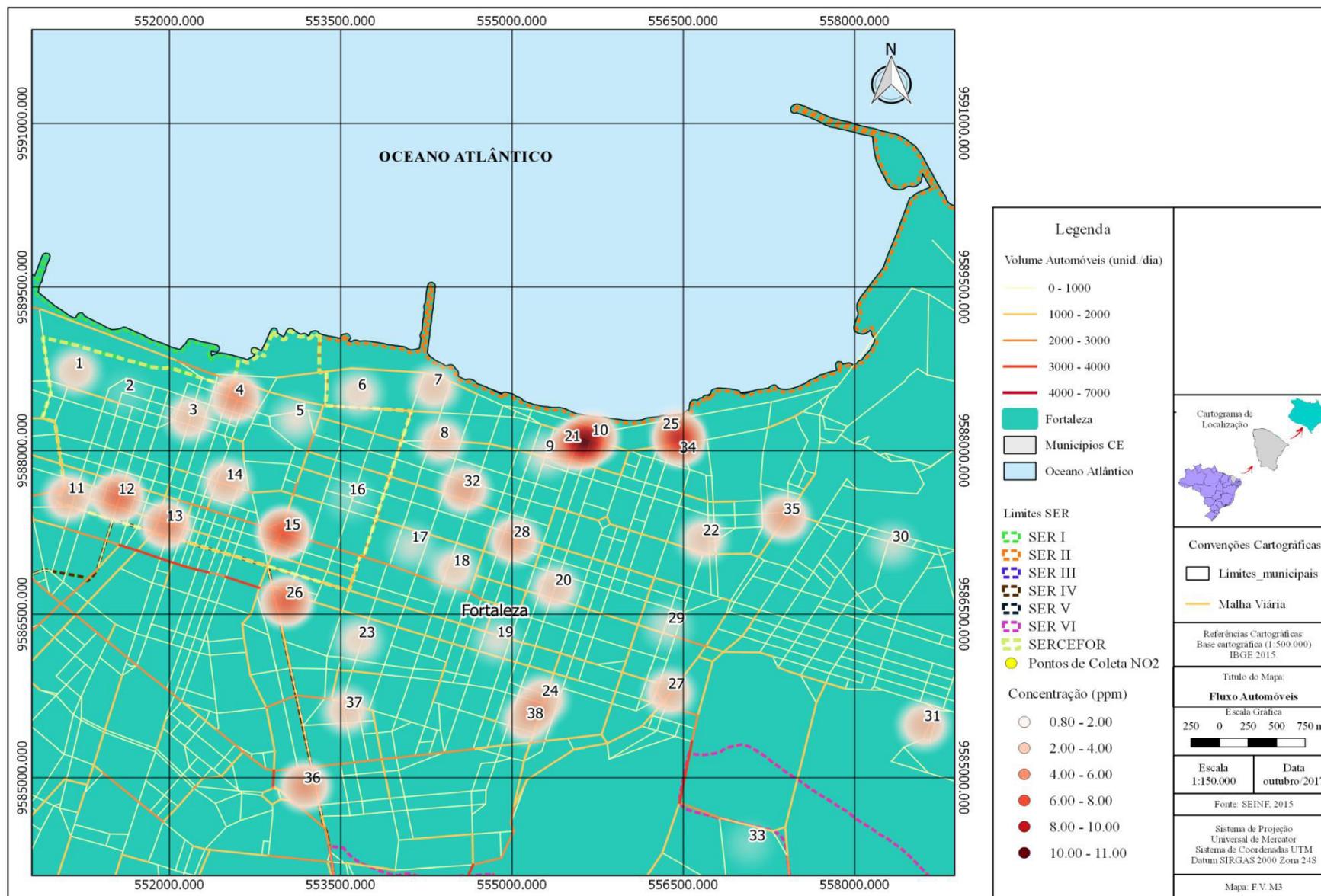
O fluxo dos veículos na via é parâmetro importante nas concentrações de NO<sub>2</sub>, visto que a queima dos combustíveis gera calor e eleva as temperaturas no motor o que ocasiona a oxidação do nitrogênio presente no ar, formando compostos nitrogenados. No entanto ele não deve ser verificado de forma pontual e isolado, visto que atua de modo diretamente relacionado com os demais parâmetros analisados, além de sofrer fortes interferências das vias no seu entorno.

Figura 12 - Fluxo de veículos na área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 13 - Pluma de dispersão e Fluxo de veículos



Fonte: elaborada pelo autor.

## **5.6. Correlações dos parâmetros**

Após a análise dos diferentes parâmetros observa-se que eles atuam de forma combinada para o resultado das concentrações nos pontos amostrados, sendo assim foram unidos os dados de infraestrutura (uso do solo e gabarito das edificações), tráfego (classificação da via e fluxo de veículos) e ambientais (concentração de NO<sub>2</sub>). Os dados confrontados foram apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Características dos pontos amostrados

| Ponto Amostrado | Fluxo de Veículos | Uso da quadra | Gabarito lote (m) | Classificação da Via | Faixa de concentração (ppm) | Ponto Amostrado | Fluxo de Veículos | Uso da quadra | Gabarito lote (m) | Classificação da Via | Faixa de concentração (ppm) |
|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1               | 0 – 1.000         | Residencial   | 2.0 – 6,0         | Local                | 2,4 – 4,0                   | 20              | 0 – 1.000         | Residencial   | 31.0 – 85.0       | Local                | 4,0 – 5,0                   |
| 2               | 0 – 1.000         | Comercial     | 8.0 – 12.0        | Local                | 0,8 – 2,4                   | 21              | 0 – 1.000         | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local                | 7,2 – 11                    |
| 3               | 0 – 1.000         | Comercial     | 8.0 – 12.0        | Local                | 4,0 – 5,0                   | 22              | 0 – 1.000         | Residencial   | 8.0 – 12.0        | Local                | 2,4 – 4,0                   |
| 4               | 1.000 – 2.000     | Institucional | 8.0 – 12.0        | Local                | 7,2 – 11                    | 23              | 0 – 1.000         | Residencial   | 8.0 – 12.0        | Local                | 0,8 – 2,4                   |
| 5               | 0 – 1.000         | Comercial     | 12.0 – 31.0       | Local                | 2,4 – 4,0                   | 24              | 1.000 – 2.000     | Residencial   | 12.0 – 31.0       | Arterial             | 5,0 – 7,2                   |
| 6               | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local                | 0,8 – 2,4                   | 25              | 0 – 1.000         | Residencial   | 31.0 – 85.0       | Arterial             | 5,0 – 7,2                   |
| 7               | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local                | 0,8 – 2,4                   | 26              | 2.000 – 3.000     | Residencial   | 6.0 – 8.0         | Local                | 7,2 – 11                    |
| 8               | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local                | 4,0 – 5,0                   | 27              | 1.000 – 2.000     | Institucional | 6.0 – 8.0         | Expressa             | 5,0 – 7,2                   |
| 9               | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local                | 2,4 – 4,0                   | 28              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local e Arterial     | 5,0 – 7,2                   |
| 10              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Arterial             | 7,2 – 11                    | 29              | 1.000 – 2.000     | Residencial   | 31.0 – 85.0       | Local e Arterial     | 2,4 – 4,0                   |
| 11              | 3.000 – 4.000     | Comercial     | 2.0 – 6,0         | Local                | 5,0 – 7,2                   | 30              | 0 – 1.000         | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Arterial             | 2,4 – 4,0                   |
| 12              | 0 – 1.000         | Religioso     | 8.0 – 12.0        | Arterial             | 7,2 – 11                    | 31              | 0 – 1.000         | Residencial   | 2.0 – 6,0         | Local                | 5,0 – 7,2                   |
| 13              | 1.000 – 2.000     | Instrução     | 12.0 – 31.0       | Local e Arterial     | 7,2 – 11                    | 32              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local                | 5,0 – 7,2                   |
| 14              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 12.0 – 31.0       | Local                | 4,0 – 5,0                   | 33              | 1.000 – 2.000     | Residencial   | 12.0 – 31.0       | Local                | 0,8 – 2,4                   |
| 15              | 2.000 – 3.000     | Comercial     | 12.0 – 31.0       | Arterial             | 7,2 – 11                    | 34              | 1.000 – 2.000     | Residencial   | 31.0 – 85.0       | Arterial             | 7,2 – 11                    |
| 16              | 0 – 1.000         | Misto         | 2.0 – 6,0         | Local                | 0,8 – 2,4                   | 35              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 2.0 – 6,0         | Expressa             | 5,0 – 7,2                   |
| 17              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local                | 0,8 – 2,4                   | 36              | 2.000 – 3.000     | Residencial   | 8.0 – 12.0        | Local e Coletora     | 7,2 – 11                    |
| 18              | 0 – 1.000         | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Arterial             | 2,4 – 4,0                   | 37              | 1.000 – 2.000     | Residencial   | 12.0 – 31.0       | Local e Coletora     | 4,0 – 5,0                   |
| 19              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 31.0 – 85.0       | Local e Coletora     | 2,4 – 4,0                   | 38              | 1.000 – 2.000     | Comercial     | 2.0 – 6,0         | Local                | 2,4 – 4,0                   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados apresentados na Figura 19, abordam os pontos amostrados e suas características específicas. Quanto aos parâmetros analisados cada um deles influi de forma combinada na área estudada. O **fluxo dos veículos** relaciona-se de modo que quanto maior o fluxo, maiores as emissões de NO<sub>2</sub>, contudo para um mesmo fluxo de veículos relacionando-se com a **classificação da via**, espera-se que se em vias arteriais as emissões de NO<sub>2</sub> sejam superiores que em vias expressas, devido aos ciclos de aceleração e frenagem citados anteriormente, assim como se estima um fluxo de veículos em vias arteriais, superior ao de vias coletas e estes superiores as vias locais. Já quanto ao **uso do solo**, para um mesmo fluxo espera-se que zonas comerciais emitam maiores quantidades de NO<sub>2</sub> que as zonas residenciais, visto que o transporte de cargas é predominante nas primeiras. Quanto ao **gabarito das edificações** para um mesmo fluxo de veículos suponha-se que quanto maior os gabaritos, maior o barramento dos ventos nessas regiões e menor a dispersão dos poluentes na camada vertical de ar, elevando assim as concentrações de NO<sub>2</sub> na área.

Sendo assim observa-se que a análise combinada desses parâmetros atua na tomada de decisões em relação à via. Podemos observar na Tabela 20 a comparação dos Pontos 3 e 23. Para um mesmo fluxo de veículos, mesmo gabarito das edificações, mesma classificação da via, o uso o comercial contribui com valores de concentração superiores ao de uso residencial, comportando-se como o esperado. No entanto nem sempre essas relações são decisórias, visto que as características do seu entorno como fluxo de veículos nas vias próximas, uso das quadras circunvizinhas, gabarito das edificações no entorno, velocidade e direção dos ventos influem diretamente na concentração de NO<sub>2</sub> no ponto amostrado.

Tabela 20 - Correlação entre pontos amostrados

| Ponto Amostrado | Fluxo de Veículos | Uso da quadra | Gabarito lote (m) | Classificação da Via | Faixa de concentração (ppm) |
|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|
| 3               | 0 – 1.000         | Comercial     | 8,0 – 12,0        | Local                | 4,0 – 5,0                   |
| 23              | 0 – 1.000         | Residencial   | 8,0 – 12,0        | Local                | 0,8 – 2,4                   |

Fonte: elaborado pelo autor.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo analisou uma série de parâmetros abrangendo fatores climáticos, locais e de tráfego, como: Uso do Solo, Gabarito das Edificações, Ventos da Região, Classificação da Via e Fluxo dos Veículos na via. Cada um desses parâmetros foi analisado em função dos trinta e oito pontos amostrados, buscando-se uma correlação entre estes e valores de concentração de NO<sub>2</sub> coletados na via.

Diante disso, levantou uma série de hipóteses acerca dos parâmetros analisados, como esses se comportam, buscando correlacionar de forma significativa ou não sua relação com os dados de concentração de NO<sub>2</sub>. Sendo assim, o primeiro parâmetro analisado foi o uso do solo, que revelou uma possível relação entre os pontos amostrados e a sua proximidade com zonas de uso comercial, possuindo assim na SER-CEFOP possíveis relações com a mobilidade de pessoas e cargas na área amostrada, visto que se trata de um centro comercial da cidade de Fortaleza, que abrange um considerável número de empregos, assim como é foco mercantil para a comercialização de produtos na área.

O segundo parâmetro analisado foi o gabarito das edificações, no qual as maiores concentrações expressam-se próximos a edifícios elevados, apresentando uma tendência de permanência dos gases poluentes em camadas próximas ao solo, visto que o provável barramento dos ventos por essas edificações interfere nos padrões de convecção das camadas de ar verticais.

A terceira correlação expressou-se com a velocidade e direção dos ventos, analisando os ventos predominantes que direcionam os gases poluentes, no entanto tal parâmetro sofre interferência de outros fatores, como gabarito das edificações.

Os dados de classificação das vias foi o quarto parâmetro analisado, mostrando-se uma correlação entre esse e o tráfego de veículos por essas vias (quinto parâmetro analisado), e as faixas de concentração referentes às amostragens. Na quais, em vias arteriais, 65% das amostras apresentaram valores superiores a 5ppm. Revelando-se uma tendência na qual as maiores concentrações expressam-se em vias arteriais, ou seja, zonas mais susceptível a um elevado fluxo de veículos.

Contudo, levantam-se as hipóteses que os padrões de uso do solo, gabarito das edificações, classificação e fluxo das vias atuam de forma expressiva na intensificação das concentrações de NO<sub>2</sub> nos locais, assim como a ausência ou barramento dos ventos atuam elevando essas concentrações. Disto, tem-se como sugestão para futuros estudos, avaliar e analisar estas relações, buscando outras regiões da cidade como referência.

## REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, R. A., SILVA, E. A. Land Use-Transport Interaction Modelling: A Review of the Literature and Future Research Directions. **Journal of Transport and Land Use**. 6 de julho de 2015. Vol. 8. No. 3. p 11-38.

AGUIAR L.F.M.C. **CARACTERIZAÇÃO DE CÂNIONS URBANOS EM ÁREA COM INTENSO PROCESSO DE VERTICALIZAÇÃO NA CIDADE DE FORTALEZA-CE**. 2006. 82f. Monografia (Graduação em Ciências Ambientais). Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

AHN, K.; RAKHA, H. **The effects of route choice decision on vehicle energy consumption and emissions**. Transportation Research Part D Transport and Environment · May 2008. Vol. 13. p 151-167.

BATTISTA, G. *et al.* On the Influence of Geometrical Features and Wind Direction over an Urban Canyon Applying a FEM Analysis. Energy Procedia, **69ª Conferência da Associação Italiana de Engenharia Térmica**. Dez. 2015. v. 81, dez. 2015, p.11-21.

BARBIRATO, G.M.; SOUZA, L.C.L.; TORRES, S.C. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceio: Ufal, 2007. 164 p.

BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil** [recurso eletrônico]. -- Brasília : Supremo Tribunal Federal, Secretaria de Documentação, 2017. 514 p. Atualizada até a EC n. 96/2017. ISBN: 978-85-61435-84-4

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Acesso em 21 de novembro de 2017. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 005, de 19 de junho de 1989**. Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR. Publicada no D.O.U, de 30/08/89, Seção I, Pág. 15.048. Acesso em 21 de novembro de 2017. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>> .

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Acesso em 21 de novembro de 2017. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>> .

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 24 set. 1997. Acesso em 21 de novembro de 2017. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm)>

BRASIL. Gestão da qualidade do ar e o controle das fontes móveis de poluição atmosférica: Direito ambiental 34:502.7(81)

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. Síntese de Evidências para Políticas de Saúde: reduzindo a emissão do poluente atmosférico: material particulado em benefício da saúde no ambiente urbano / Ministério da Saúde – Brasília: Ministério da Saúde, 2016. 52 p.

BRAGA, A.L.F. *et al.* Association between air pollution and respiratory and cardiovascular diseases in Itabira, Minas Gerais State, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, vol. 23, 2007.

BRANDÃO, A.M.P.M. **O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro**. 1996. 362f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Letras, Filosofia e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CAMPOS, J.N.B.; STUART, T. **Climatologia. In: A zona costeira do Estado do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada**. Coord. Alberto Alves Campos [*et al.*]. Fortaleza. AQUASIS: 2003, p: 51-53.

CAVALCANTE A.L., *et al.* PERFIL SOCIOECONÔMICO DE FORTALEZA v-2 – **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE**, 2012 - Fortaleza – CE.

**CENSO DEMOGRÁFICO 2010**. Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: . Acesso em: mar. 2013.

**CENSO DEMOGRÁFICO 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: . Acesso em: mar. 2013.

CETESB. Emissões Veiculares no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB – **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2013.

CORREA, E.N. *et al.* **EVALUACIÓN DEL FACTOR DE VISIÓN DE CIELO A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES HEMIESFÉRICAS. INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN DEL CANÓN URBANO EN LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO SOLAR**. Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente, Salta Capital, v. 9, p.11.43-11.48, 2005.

CORREA, E.N.; RUIZ, M.A.; CANTÓN, M.A. **Morfología florestal y confort térmico en “ciudades oasis” de zonas áridas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.119-137, out. 2010.

CRUZ, L.P. dos S.; CAMPOS, V. P. AMOSTRAGEM PASSIVA DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS. APLICAÇÃO AO SO<sub>2</sub>. V. P.; **Quim. Nova** 2002, 25, 406.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P.; ALVES, E. M.; TAVARES, T. M.; Resumos da 30<sup>a</sup> **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Águas de Lindóia, Brasil, 2007

DAEMME L. C., NETO R.A.P, ERRERA M.R., & ZOTIN F.M.Z. **Estudo preliminar sobre a influência do teor de enxofre do combustível na emissão de amônia em motocicletas e**

**veículos leves dos ciclos Otto e Diesel.** Blucher Engineering Proceedings (SIMEA 2013). No. 1, Volume 1, fevereiro 2014.

DE LA BARRA, T. (1989) **Integrated land use and transport modelling: Decisions chains and hierarchies.** Cambridge, UK: Cambridge University Press.

DIAS, H.L.F., SOUSA, F.F.L.M., PAULA, F.S.M, BERTONCINI, B.V.. **ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES INTEGRADA A MODELAGEM DA DEMANDA POR VIAGENS: FORTALEZA-CE.** XXV Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes ANPET , 2016.

DIAS, H.L.F., BERTONCINI, B.V., *et al.*, **Procedimento para coleta dinâmica embarcada de emissões provenientes de veículos transportadores de carga em área urbana.** Revista Transportes, 2015.

EPA, 2012a. Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) web page. <<https://www.epa.gov/no2-pollution>> (Acesso Setembro 2017).

EPA, 2012b. Benzene web page. <<https://www.epa.gov/haps/health-effects-notebook-hazardous-air-pollutants>> (Acesso Setembro 2017).

FERM, M.; A sensitive diffusional sampler. IVL Report L91-172. **Swedish Environmental Research Institute**, Göteborg, Sweden, 1991.

FERREIRA, C.C.M. **MODELO PARA ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE COBERTURA DA TERRA E A IDENTIFICAÇÃO DE MICROCLIMAS, EM CENTROS URBANOS.** Revista Brasileira de Climatologia. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica). Ano 10 – Vol. 14 – JAN/JUL 2014

FORTALEZA. **Lei Complementar nº 062, de 02 de fevereiro de 2009.** Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Fortaleza e dá outras providências. Plano Diretor Participativo do Município de Fortaleza. Fortaleza, CE, Disponível em: <[http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/pdp\\_com\\_alteracoes.pdf](http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/pdp_com_alteracoes.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2015.

FUNCEME. Previsão Diária do Tempo. 2016. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/28-previsão/meteorológica/533-previsao-diaria-dotempo>>. Acesso em: 07 fev. 2016.

FUNCEME. Sistemas meteorológicos causadores de chuvas na região nordeste do Brasil – Boletim especial, 2006. Disponível em <http://www.funceme.com.br>. Acesso em 05 fev. 2016.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Resolução nº 01/2015, de 24 de fevereiro de 2015.** Define a Data de Término do Período de Transição Definido na Rpr 01/2005 e Dá Outras Providências Sobre Aa Transformação Entre Os Referenciais Geodésicos Adotados no Brasil. Brasília, DF, 2015.

GALO, A.L., COLOMBO, M.F. **Espectrofotometria de longo caminho óptico em espectrofotômetro de duplo-feixe convencional: uma alternativa simples para**

**investigações de amostras com densidade óptica muito baixa.** V. P.; Quim. Nova 2009, no 2, 488-492.

GAN W.Q., KOEHOORN M., DAVIES H.W., DERMES P.A., & TAMBURIC L. *et al.*, 2011. Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution and the Risk of Coronary Heart Disease Hospitalization and Mortality. **Environ Health Perspect** 119(4): 501-507.

GAN WQ, TAMBURIC L, DAVIES HW, DEMERS PA, KOEHOORN M, BRAUER M. 2010. . **Changes in residential proximity to road traffic and the risk of death from coronary heart disease.** **Epidemiology** 21::642.-649.

GONÇALVES, N.M.S. **Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador- Bahia**, 1992, 269f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

GRIMMOND, S *et al.* **Surface heating in relation to air temperature, wind and turbulence in an urban street canyon.** *Boundary Layer Meteorology*, n.122, p. 273-292, 2006.

GUILHOTO, J. J. M. (2011) **Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos MPRA** Paper 32566, University Library of Munich, Germany.

**HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. 2010.** Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. HEI Special Report 17. Health Effects Institute, Boston, MA.

HIGHT, J.; KIRKPATRICK, G. **The impact of monitoring equipment air quality management capacity in developing countries.** **OECD Trade and Environment Working Papers**, Paris, n. 2, 2006. Disponível em: <[http://www.oecd-ilibrary.org/trade/the-impact-of-monitoring-equipment-on-air-quality-management-capacity-in-developing-countries\\_350127644870](http://www.oecd-ilibrary.org/trade/the-impact-of-monitoring-equipment-on-air-quality-management-capacity-in-developing-countries_350127644870)>. Acesso em: 2 ago. 2017.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.** Sinopse do Senso Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 26 out. 2015.

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET)** Normais climatológicas. 1992.

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET)** Atlas de irradiação solar do Brasil. Brasília: 1998.

**IPECE.** Perfil básico municipal 2015. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2015/Fortaleza.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2015/Fortaleza.pdf)>. Acesso em: 17 dez. 2015.

JOHNSON, G.T.; WATSON, I.D. Determination of view-factors in urban canyons. **American Meteorological Society**, Ryde, p.329-335, fev. 1984.

KATZSCHNER, L; REINHOLD, M; LOURENCO, L.D. URBAN CLIMATE IN THE CONTEXT OF A SUSTAINABLE DEVELOPMENT. University Kassel. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Fortaleza, 1999.

KRÜGER, E. L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. **Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil**. *Building and Environment*, v. 46, n. 3, p. 621-634, 2011.

KRÜGER, E.L. **Impacto do adensamento e da orientação solar de cânions urbanos na demanda por condicionamento térmico de edificações sob condições de clima desértico**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p.65-87, 7 mar. 2008.

LODGE, J.P. **Methods of air sampling and analysis**. Lewis Publishers, Inc. 3rd ed. 1988. ISBN 0-87371-141-6

LOMBARDO, M.A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: O exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244 p.

LOMBARDO, M.A; CORTEZ, ATC., and ORTIGOZA, SAG., orgs. **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano [online]**. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 146 p. ISBN 978-85-7983-007-5. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

LOPES, A. S. (2015) **Transportes, Uso do Solo e Atividades - Modelagem Conceitual para o Planejamento da Acessibilidade Urbana**. Fortaleza: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes - UFC.

MAIA, F. V. B. **Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microsimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático - Operacionais na Malha Viária Urbana**. 2007, 110f. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE.

MENDONÇA, F.A. **O Clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: Proposição metodológica para o estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. 1994, 300f. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MODIG, L., SUNESSON, A.L, LEVIN, J.O. *et al.* Can NO<sub>2</sub> be used to indicate ambient and personal levels of benzene and 1,3-butadiene in air? **Journal Environment Monitorament**, 5 de novembro de 2004, p. 957-962.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192p.

MOURA, M.O. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. 2008. 282 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MOURA, M.O.; ZANELLA, M.E.; SALES, M.C.L. ILHAS TÉRMICAS NA CIDADE DE FORTALEZA/CE. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiás, v. 28, n. 2, p.33-45, jul. 2008. Semestral.

NAMEGHI, H.M. **A case study of integrated modelling of traffic, vehicular emissions, and air pollutant concentrations for Huron Church Road, Windsor.** (2014). Electronic Theses and Dissertations. Paper 5069.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy And Buildings**, Vancouver, n. 11, p.103-113, 1988.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. Great Britain: Routledge, 1987. 431 p.

OKE, T.R. **INITIAL GUIDANCE TO OBTAIN REPRESENTATIVE METEOROLOGICAL OBSERVATIONS AT URBAN SITES**. Vancouver: World Meteorological Organization, 2004. 51 p.

**ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD)**. **OECD Environmental Outlook to 2050: the consequences of inaction**. OECD: Paris, 2012. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/oecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

PALMES, E.D.; LINDENBOOM, R. H. **Ohm's law, fickes law, and diffusion samplers for gases**. New York University Medical Center, Institute of Environmental Medicine, 550 First Avenue, New York, New York 10016.

PANAO, M.JN. O.; GONÇALVES, H.JP; FERRAO, P.MC. **Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate**. *Building and Environment*, v. 44, n. 1, p. 177-187, 2009.

PEREIRA, J.S., **Legislação Brasileira sobre Poluição do Ar**. Câmara dos Deputados, Biblioteca Digital Câmara, 2007. Acesso em 21 de setembro de 2017. Disponível em: <[http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1542/legislacao\\_poluicao\\_ar\\_jose\\_pereira.pdf?sequence=4](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1542/legislacao_poluicao_ar_jose_pereira.pdf?sequence=4)>

PINHEIRO, G.M; AMORIM, MCCT. O estudo de clima urbano em cidade de pequeno porte no oeste paulista. **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, p. 1-12, 2009.

PORFIRIO, M. **Proposta metodológica para o monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores em centros urbanos**. Brasília-DF, 2008, 133f. Dissertação (Mestrado em Transportes – Universidade de Brasília – DF).

POSSANZINI, M.; FEBO, A.; CECCHINI, F.; **Anal. Lett.** 1984, 17, 887.

REIS, F.L. **Avaliação da qualidade do ar sobre a ética da Deliberação Normativa no município de Itabira (MG), quanto ao material particulado**. 2008, 45f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

ROMERO, M.A.B. **CORRELAÇÃO ENTRE O MICROCLIMA URBANO E A CONFIGURAÇÃO DO ESPAÇO RESIDENCIAL DE BRASÍLIA. Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 1, 2013.

ROMERO, M.A.B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 19. ed. São Paulo: Projeto, 1988. 128 p.

RUFINO, M.B.C. **Incorporação da metrópole: Centralização do capital no imobiliário e a nova produção do espaço de Fortaleza**. 2012. 334 f. Tese (Doutorado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SALTZMAN, B. E.; *Anal. Chem.* 1954, 26, 1949.

SANTANA, E., CUNHA, K.B., FERREIRA, A.L., ZAMBONI, A., **Padrões de qualidade do ar : experiência comparada Brasil, EUA e União Européia**. São Paulo : Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012. ISBN 978-85-63187-08-6

SANTOS, F.M.M. **INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO DO SOLO NA VARIAÇÃO TERMO-HIGROMÉTRICA NA CIDADE DE CUIABÁ-MT**. 2012. 102 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

SCHNITZHOFFER, R.; NORMAN M., *et al.* **A multimethodological approach to study the spatial distribution of air pollution in an Alpine valley during wintertime**. *Atmospheric Chemistry and Physics*. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 3385–3396, 2009

SILVA, C.F. **O CONFORTO TÉRMICO DE CAVIDADES URBANAS: CONTEXTO CLIMÁTICO DO DISTRITO FEDERAL**. 2013. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SHERMAN GE, SUTTON T, BLAZEK R, HOLL S, DASSAU O, MORELY B, MITCHELL T AND LUTHMAN L. 2011. **Quantum GIS User Guide - Version 1.7** “Wroclaw”. Acesso em: "DATA". Disponível em: <[http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0\\_user\\_guide\\_en.pdf](http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0_user_guide_en.pdf)>

SILVEIRA, A.L.R.C. **Bioclimatic Parameters For The Evaluation Of Housing Projects In The Subhumid Region Of Brazil**. Universidade Federal do Piauí e Instituto Camillo Filho, Teresina, PI, 2007.

SOZZI, R.; GEORGIADIS, T.; VALENTINI, M. **Introduzione alla turbolenza atmosferica: Milano/bologna: Aroalazio**, 2002. 538 p. Disponível em: <<http://www.arpalazio.net/main/aria/didattica/>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

TOLEDO G.L.F.M. de; NARDOCCI A.C. **Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil**. Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP) – São Paulo (SP), Brasil. *Rev Bras Epidemiol* 2011; 14(3): 445-54

**UNHABITAT. FOR A BETTER FUTURE.** 2015. Disponível em: <<http://unhabitat.org/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

UNITED NATIONS, **Department of Economic and Social Affairs, Population Division** (2015). **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**, (ST/ESA/SER.A/366).

\_\_\_\_\_. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). **World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables**. Working Paper No. ESA/P/WP/248.

VASCONCELOS, A.C.S. **Dinâmicas de ocupação territorial em Fortaleza: intervenções urbanas na Av. Beira Mar e a ocupação do bairro Meireles. In: Seminário de História da Cidade e do Urbanismo**, 13, 2014, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF: Universidade Brasília- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2014. Disponível em: <<http://www.shcu2014.com.br/content/dinamicas-ocupacao-territorial-em-fortaleza-intervencoes-urbanas-na-av-beira-mar-e-ocupacao>>.

WANG S., TANG X., FAN Z., WU X., Liou P.J., & Georgopoulos P.G. 2009. Modeling of Personal Exposures to Ambient Air Toxics in Camden, New Jersey: An Evaluation Study. **Journal of Air & Waste Management Association**. 6 de junho de 2009. p 733–746.