

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ARTHUR PERASSOLI ROJO

**ANÁLISE ESPACIAL DO *BLACK CARBON* E MATERIAL PARTICULADO
ORIUNDOS DE EMISSÕES VEICULARES NO MUNICÍPIO DE CURITIBA /
PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2019

ARTHUR PERASSOLI ROJO

ANÁLISE ESPACIAL DO *BLACK CARBON* E MATERIAL
PARTICULADO ORIUNDOS DE EMISSÕES VEICULARES NO
MUNICÍPIO DE CURITIBA / PR

Trabalho de conclusão de curso de
Graduação, apresentado à disciplina de
TCC, do Curso Superior de Engenharia
Ambiental da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Câmpus Londrina,
Como requisito parcial para título
de “Engenheiro Ambiental”.

Orientadora: Dra. Ligia Flávia Antunes
Batista

LONDRINA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**ANÁLISE ESPACIAL DO *BLACK CARBON* E MATERIAL PARTICULADO
ORIUNDOS DE EMISSÕES VEICULARES NO MUNICÍPIO DE CURITIBA / PR**

por

Arthur Perassoli Rojo

Monografia apresentada no dia 03 de maio de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

_____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Aulus Roberto Romao Bineli
UTFPR

Prof. Dr.. Mauricio Moreira dos Santos
UTFPR

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família. Minha mãe, a pessoa que mais me inspira e me orgulha em toda a minha vida, meu pai (*in memoriam*) que me apoiou e participou dos momentos mais importantes, aos meus queridos irmãos Caroline e Alexandre, que me deram força e compartilharam dos bons e maus momentos sempre ao meu lado, à minha Tia Cecília, que deu suporte por toda a minha vida.

À minha orientadora Prof^a Dr^a. Ligia Flavia Antunes Batista, que sempre esteve presente com conselhos e incentivos, buscando aprimorar constantemente o trabalho. Sou grato por ter sido orientado no TCC.

Ao Prof^o Dr. Admir Créso Targino, que cedeu gentilmente os dados para que pudéssemos propor nosso trabalho. Agradeço ao professor também por compartilhar e ser um grande amigo por toda essa jornada.

Aos professores que tive a oportunidade de conviver e acrescentaram à minha formação. Agradeço especialmente à Prof^a Dr^a. Tatiane Cristina Dal Bosco, uma profissional e pessoa em que me espelho diariamente e que tive a oportunidade de conviver tanto no estágio obrigatório quanto no não obrigatório.

Por fim, agradeço por todas as amizades feitas nesse longo percurso no período da universidade. Em especial agradeço minha grande amiga e conselheira Fernanda Silva, sempre me apoiando nos momentos bons e difíceis. Aos meus amigos e companheiros de moradia Arthur D'Elia, Alberto de Alcantara e Lucas Pohl, que além de me abrigarem, proporcionaram momentos únicos. Ao meu grande parceiro de toda a vida, Rafel Homse, aquele abraço. Não poderia deixar de agradecer a amizade e companheirismo da professora/amiga Raquel Ratz. A minha amiga Rhaisa Rodrigues e meu grande amigo Rafel Abreu, sempre presente e atencioso. Obrigado a todos, sem vocês tudo teria sido mais difícil.

RESUMO

Devido ao aumento da concentração da população em centros urbanos, principalmente nas últimas décadas, a emissão de poluentes atmosféricos tem se intensificado, ocasionando em problemas para a população e cidades em todo o globo. Por isso, estudos que buscam quantificar a exposição dos indivíduos aos poluentes atmosféricos, em especial o *Black Carbon* e Material particulado, de forma em que se possa entender o comportamento espacial dessas concentrações na malha urbana são extremamente importantes. Os dados da poluição do ar no centro de Curitiba (PR) foram medidos por meio de equipamentos portáteis instalados em bicicletas adaptadas no mês de agosto de 2016, no período de sete dias consecutivos e, portanto a aquisição de tais dados não fez parte deste trabalho. O Objetivo geral do estudo foi determinar a variabilidade espacial das concentrações de partículas finas (*Black Carbon*, Material Particulado) para toda a região de interesse. Fez-se uma análise da estatística descritiva para observar sua distribuição, além da análise de autocorrelação entre os poluentes obtidos. Para espacializar a distribuição dos poluentes em toda a área de estudo foi feita análise de tendência e geração de superfícies por interpolação com os métodos: Média simples, ponderação pelo inverso das distância e Krigagem ordinária. Como resultados, geraram-se mapas das concentrações de *Black Carbon* e Material particulado e identificaram-se áreas onde há maiores concentrações, locais estes, que podem oferecer risco para a saúde humana. Constatou-se que o período da manhã registra valores mais altos desses poluentes na área em questão. Constatou-se que para valores mínimos e máximos, sem *outliers*, de concentração de *Black Carbon* o período da manhã possuía, respectivamente, 70% e 84% maior concentração do poluente em comparação com a tarde. Para o Material particulado, o período da manhã obteve a mesma concentração mínima em relação ao período da tarde, já para valores máximos, verificou-se que a tarde apresentava 14% a mais desse poluente. Utilizando o Erro Quadrático Médio como forma de comparação entre os métodos, chegou-se à conclusão que a Média Simples apresenta um mapa que melhor representa a distribuição dos dados medidos.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica, PM_{2,5}, Black Carbon, SIG, Interpolação, Distribuição espacial.

ABSTRACT

ROJO, Arthur P. Spatial analysis of black carbon and fine particulate matter from vehicular emissions in the city of Curitiba/PR. 2019. 58F. Term Paper Undergraduate in Environmental Engineer - Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2018.

Due to the increasing concentration of population in urban centres, especially in recent decades, the emission of air pollutants has intensified, resulting in problems for the population and cities across the globe. So, studies that seek to quantify the exposure of individuals to air pollutants, in particular the Black Carbon and particulate matter, studies which aim to quantify the human exposition to these air pollutants in order to comprehend the spatial behavior of these concentrations in the urban network are extremely important. In this work, the data of air pollution in the Centre of Curitiba (PR) were measured by means of portable equipment installed on bicycles adapted, during August 2016, for the period of seven consecutive days. The overall objective of this study was to determine the spatial variability of concentrations of fine particles (Black Carbon, Fine Particulate Matter) for the entire region of the study area in order to observe your dispersion. The descriptive statistics were analyzed to observe data distribution, besides the analysis of autocorrelation. In order to spatialize the pollutants distribution throughout the study area, several methods were used, such as trend and interpolation analysis (Simple Average, Inverse Distance Weighted – IDW, Ordinary Kriging Method). As results, maps of air pollutant have been generated and areas where there are higher concentrations have been identified, which may pose a risk to human health. It was found that the studied area was more affected by these pollutants in the morning. In addition, it was found that the minimum and maximum concentration values of Black Carbon in the morning are respectively 70% and 84% higher than those observed in the afternoon. Concerning Particulate Matter, the same minimum concentration was obtained in both periods; however, the maximum value obtained in the morning was 14% higher than this pollutant concentration in the afternoon. Lastly, using the Mean Square Deviation as a way of comparing methods, it was concluded that Simple Average presents a map which represents the measured data distribution better than the others.

Keywords: Air Pollution; Black Carbon; GIS; Interpolation; PM2,5; Spatial Distribution.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística descritiva dos dados dos poluentes.....	34
Tabela 2: Comparação dos poluentes medidos em outras localidades.....	35
Tabela 3: REMQ obtidos por meio das regressões.....	38
Tabela 4: Índice de Moran do BC e PM _{2,5}	43
Tabela 5: Número de Lags, passo, tolerância e raio de busca.....	45
Tabela 6: Raiz quadrada do erro médio quadrático das interpolações	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura geral de sistemas de Informação Geográficas.	9
Figura 2: Representação Vetorial e matricial.....	11
Figura 3: Exemplo de modelo numérico de terreno (grade regular e triangular).	12
Figura 4: Exemplo de Semivariograma.	17
Figura 5: Modelo simples de variograma.Fonte: Fonte: Pebesma (1992).....	18
Figura 6: Interpolação pelo método da média local.	19
Figura 7: Mostra uma superfície de tendência.....	21
Figura 8: Percurso das medições na cidade de Curitiba	23
Figura 9: Análise de dados.....	24
Figura 10: Histogramas de BC e PM _{2,5} no período da manhã e tarde	27
Figura 11: Boxplots das concentrações de BC e PM _{2,5}	28
Figura 12: Regressão quadrática para o BC no período da manhã.....	30
Figura 13: Regressão quadrática para o BC no período da tarde	31
Figura 14: Regressão planar para o PM _{2,5} no período da manhã	32
Figura 15: Regressão cúbica para o PM _{2,5} no período da tarde	32
Figura 16: Mapas de agrupamento	35
Figura 17: Variograma gerado para o BC no período da manhã por meio da Krigagem Ordinária.....	37
Figura 18: Interpolação do BC no período da manhã por meio da média simples com raio igual a 250m.....	38
Figura 19: Interpolação do BC no período da tarde por meio da média simples com raio igual a 1000m.....	39
Figura 20: Interpolação do PM _{2,5} no período da manhã por meio da média simples com raio igual a 250m.....	40
Figura 21: Interpolação do PM _{2,5} no período da tarde por meio da média simples com raio igual a 250m.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 CLIMATOLOGIA	4
3.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS	5
3.2.1 TRABALHOS RELACIONADOS	6
3.3. GEOPROCESSAMENTO.....	8
3.3.1 TIPOS DE DADOS EM SIG	10
3.3.2 ANÁLISE ESPACIAL.....	13
3.3.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	14
3.4 MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO	15
3.5 KRIGAGEM ORDINÁRIA	16
3.6 MÉTODOS DA MÉDIA SIMPLES	18
3.7 INTERPOLAÇÃO PELA PONDERAÇÃO DO INVERSO DA DISTÂNCIA (IDW)	19
3.8 SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
4.2 ANÁLISE DOS DADOS.....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES	25
5.2 SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA	28
5.3 ÍNDICE DE MORAN.....	34
5.4 INTERPOLAÇÕES.....	35
5.5 COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DETERMINÍSTICOS E ESTOCÁSTICOS.....	41
6. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

Com o significativo aumento populacional e desenvolvimento das cidades, principalmente nas últimas décadas, além da migração dos habitantes rurais em direção aos centros urbanos, a degradação da qualidade do ar vem recebendo cada vez mais atenção (TARGINO et al., 2016). Segundo a Organização das Nações Unidas (2016) cerca de 55% da população mundial vive em centros urbanos. Considerando apenas a América Latina, a parcela da população que reside em centros urbanos é de cerca de 80% (ONU 2014).

Segundo Souza (2008) a urbanização é um processo que acarreta uma série de problemas, pois geralmente o desenvolvimento não ocorre de forma ordenada e com o planejamento adequado. As primeiras aglomerações urbanas combinavam um alto índice de poluição atmosférica, falta de saneamento básico e condições precárias de vida para a população. O problema ainda encontra-se persistente na atualidade, desencadeado pela falta de planejamento do processo de expansão e o enfoque nas demandas econômicas da sociedade. Souza (2008), no que diz respeito à qualidade de vida, salienta que é indispensável à manutenção e controle de emissões de poluentes no meio ambiente e em todo o ecossistema, para que estes tenham um nível de bem-estar adequado.

A problemática da qualidade do ar nas grandes cidades se dá em função da circulação de automóveis, densidade das construções e outras atividades que produzem contaminantes e poluentes atmosféricos, acarretando a degradação do meio ambiente e conseqüentemente na qualidade da saúde da população (CHOW et al., 2004).

Hinds (1999) salienta que o material particulado e seus componentes, são uma das mais importantes variáveis percebidas a fim de avaliar e quantificar a poluição em centros.

Recentemente as partículas ultrafinas vêm sendo motivo de estudo, devido sua alta taxa de concentração encontrada nos centros urbanos. Estas partículas são classificadas como primárias, quando sua fonte advém dos processos de combustão e secundárias, quando são formadas por processos

na atmosfera, onde são convertidas em partículas (KULMALA et al., 2004; KELLY e FUSSELL, 2012).

Sexton e Ryan (1998) salientam a dificuldade de se estimar de forma precisa a variação de poluentes no espaço e como eles se comportam ao longo do tempo, principalmente pelo fato de serem monitorados em estações fixas onde estes dados tendem a serem subestimados ou superestimados.

A disponibilidade dos equipamentos que não só registram dados pontualmente sobre os poluentes atmosféricos, mas também permitem o monitoramento no espaço-tempo, com alta resolução, tem aumentado. Assim, estes poluentes podem ser monitorados também em microambientes, onde os níveis de *Black Carbon* e $PM_{2,5}$ podem ser medidos em um exato momento e apresentam como propriedade estatística a uniformidade dos dados no instante medido (SEXTON e RYAN, 1998).

Carvalho (2017) afirma a fim de diminuir o grau de incerteza das estimativas em que a população é exposta, este monitoramento deve ser feito o mais próximo possível da fonte poluidora, dessa forma, é necessário que a realização deste monitoramento seja efetuada por intermédio de equipamentos móveis e que haja uma predeterminação por meio de uma rota para que se possa medir efetivamente, em um intervalo, a concentração desses poluentes atmosféricos.

Por meio de métodos do geoprocessamento e estatística é possível estimar e gerar mapas de dispersão desses poluentes no espaço e por meio de modelos determinísticos, mensurar a qualidade do ar (Monteiro et al. 2007).

Desse modo, é de extrema importância a caracterização e o estudo da oscilação destes componentes no espaço por meio de ferramentas de geoprocessamento, a fim de facilitar o processo de análise da distribuição das concentrações, quantificá-las e classificá-las, para que haja a distribuição das áreas de maior risco e das possíveis consequências a saúde da população exposta.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e análises estatísticas a variabilidade espacial das concentrações de partículas finas (*Black Carbon*, $PM_{2,5}$) a partir de dados produzidos por meio de monitoramento móvel em Curitiba (PR).

2.2 ESPECÍFICOS

- i. Verificar se há um padrão espacial das concentrações de poluentes atmosféricos na área central de Curitiba de BC e $PM_{2,5}$;
- ii. Identificar as zonas mais poluídas da área que podem oferecer riscos para a saúde humana;
- iii. Determinar a existência da autocorrelação dos dados de concentrações de BC e $PM_{2,5}$ com as peculiaridades existentes no percurso da manhã e tarde, no espaço.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CLIMATOLOGIA

A climatologia pode ser definida como a ciência física que estuda o clima e o tempo. Dentre suas vertentes, um dos principais itens de estudo é o ar e sua interação com alterações de parâmetros devido à ação antrópica ou natural (EPA 2015). Vale ressaltar que o ar é um recurso valioso e, portanto, sua qualidade deve ser assegurada a fim de garantir o suporte da vida.

A problemática da qualidade do ar afeta a maioria das cidades do mundo e seu monitoramento tem recebido cada vez mais atenção nos últimos anos. Sua degradação e problemas devido às emissões indevidas ou em concentrações superiores ao estabelecido em legislação não afetam apenas grandes centros urbanos, mas também cidades de médio e pequeno porte. Dentre os fatores que interferem negativamente na qualidade do ar urbano, está o crescimento e migração da população e o excesso de natalidade frente à mortalidade (MAYER, 1999).

Esse crescimento, geralmente desordenado, sem o devido planejamento e precário em infraestrutura influencia diretamente na qualidade do ar. Havendo o crescimento desordenado, observa-se um aumento significativo na utilização de combustíveis fósseis, demanda energética e frota de veículos (ONU – 2014).

A poluição atmosférica pode ser dividida em dois níveis, o local que pode ser ocasionado a partir da dispersão de partículas em suspensão, como por exemplo, devido ao aumento do tráfego de veículos ou emissão de material particulado pela ação industrial; e a nível global, como por exemplo, o lançamento do dióxido de carbono na atmosfera e sua influência no aquecimento global (VALLERO, 2007).

A poluição do ar advém de duas fontes, na forma natural ou antrópica. Na forma natural a poluição ocorre sem a interferência direta do homem, como incêndios florestais naturais, tempestades de poeira e erupção de vulcões. Como forma antrópicas, pode-se citar as atividades industriais, usinas de produção de energia, queima de resíduos e o tráfego no setor de transportes como principais fontes (VALLERO, 2007).

São inúmeros os efeitos da poluição para a saúde da população. Segundo a OMS – Organização Mundial da Saúde, ocorrem anualmente cerca de 10 milhões de mortes devido a doenças respiratórias e cardiovasculares (OMS, 2016).

A partir desse contexto, Abraham e Pandan (2013), afirmam que o monitoramento da qualidade e dos padrões de emissão dos poluentes atmosféricos deve ser prioridade e necessitam de grandes esforços para que haja a conscientização de toda a sociedade e ocorra uma sensibilização e atenuação dos níveis de poluição do ar.

3.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A climatologia pode ser definida como a ciência física que estuda o clima e o tempo. Dentre suas vertentes, um dos principais itens de estudo é o ar e sua interação com alterações de parâmetros devido à ação antrópica ou natural (EPA 2015). Vale ressaltar que o ar é um recurso valioso e, portanto, sua qualidade deve ser assegurada a fim de garantir o suporte da vida.

A problemática da qualidade do ar afeta a maioria das cidades do mundo e seu monitoramento tem recebido cada vez mais atenção nos últimos anos. Sua degradação e problemas devido às emissões indevidas ou em concentrações superiores ao estabelecido em legislação não afetam apenas grandes centros urbanos, mas também cidades de médio e pequeno porte. Dentre os fatores que interferem negativamente na qualidade do ar urbano, está o crescimento e migração da população e o excesso de natalidade frente à mortalidade (MAYER, 1999).

Esse crescimento, geralmente desordenado, sem o devido planejamento e precário em infraestrutura influencia diretamente na qualidade do ar. Havendo o crescimento desordenado, observa-se um aumento significativo na utilização de combustíveis fósseis, demanda energética e frota de veículos (ONU – 2014).

A poluição atmosférica pode ser dividida em dois níveis, o local que pode ser ocasionado a partir da dispersão de partículas em suspensão, como por exemplo, devido ao aumento do tráfego de veículos ou emissão de material particulado pela ação industrial; e a nível global, como por exemplo, o

lançamento do dióxido de carbono na atmosfera e sua influência no aquecimento global (VALLERO, 2007).

A poluição do ar advém de duas fontes, na forma natural ou antrópica. Na forma natural a poluição ocorre sem a interferência direta do homem, como incêndios florestais naturais, tempestades de poeira e erupção de vulcões. Como forma antrópicas, pode-se citar as atividades industriais, usinas de produção de energia, queima de resíduos e o tráfego no setor de transportes como principais fontes (VALLERO, 2007).

São inúmeros os efeitos da poluição para a saúde da população. Segundo a OMS – Organização Mundial da Saúde, ocorrem anualmente cerca de 10 milhões de mortes devido a doenças respiratórias e cardiovasculares (OMS, 2016).

A partir desse contexto, Abraham e Pandan (2013), afirmam que o monitoramento da qualidade e dos padrões de emissão dos poluentes atmosféricos deve ser prioridade e necessitam de grandes esforços para que haja a conscientização de toda a sociedade e ocorra uma sensibilização e atenuação dos níveis de poluição do ar.

3.2.1 TRABALHOS RELACIONADOS

No que se refere a metodologias similares na medição dos poluentes, por meio do deslocamento espacial e dispersão destes poluentes por uma distância ou rota pré-determinada, destacam-se inúmeros trabalhos.

Um trabalho realizado em Londres por Rivas et al. (2017) investigou as concentrações de carbono preto (BC), concentrações de partículas ultrafinas e PM_{10} , $PM_{2,5}$ e PM_1 a que viajantes estavam, em diferentes modos de locomoção (carro, ônibus, a pé e de metro), expostos a estes componentes.

Concluíram que os passageiros dos diversos meios de transporte são afetados de diferentes formas pela poluição. A concentração dos poluentes e as características do ambiente o qual estes são dispersos são fatores relevantes ao analisar o seu comportamento, ou seja, em locais com uma menor circulação e ocorrência de ventos, há uma maior concentração de

poluentes, frente a locais abertos os quais possibilitam a circulação mais efetiva dos ventos.

No trabalho realizado por, Kaur e Nieuwenhuijsen (2007), foram medidas as concentrações de partículas ultrafinas, $PM_{2,5}$ e monóxido de carbono em microambientes de transporte urbanos. Segundo o estudo, os diferentes meios de transporte (caminhar, andar de bicicleta, ônibus, carro e táxi) interferiram diretamente na exposição dos poluentes. Os pedestres e ciclistas foram expostos a uma menor concentração de partículas finas e monóxido de carbono do que os que se utilizaram como modo de transporte automotivo.

Também se identificou que a proximidade com as fontes de poluentes tiveram um impacto significativo sobre os níveis de concentração de exposição. Em um estudo elaborado na cidade de Londrina – Paraná, por Targino et al. (2018), foram feitas medições das concentrações de BC em viagens realizadas de ônibus, a pé e bicicleta.

Foi encontrada uma grande variabilidade espacial em toda a área pesquisada, foi observado que as concentrações de BC aumentaram quando se estava perto de sinais de trânsito ou paradas de carros, ocasionando grandes picos. Caminhando os maiores valores dos poluentes coincidiram com os locais em que os carros diminuía a velocidade e paradas devido aos semáforos de trânsito, enquanto as medições localizadas em ciclovias a 12 m da calçada foram menos afetados. Os valores de BC extremos ocorreram frequentemente dentro da cabine do ônibus durante aberturas das portas e paradas em sinais de trânsito.

Wagner et al. (2012) destacam o uso de satélites para o monitoramento do clima, pois sua detecção remota se mostra uma ferramenta eficaz para tal finalidade. Davis (2008) destaca que a análise da dispersão dos poluentes é de extrema importância, a fim de descobrir a distribuição espacial destes poluentes, que podem ser provenientes de uma ou mais fontes emissoras, com intuito de indicar quais os locais perturbados pela fonte de emissão específica.

Davis (2008) afirma que a dispersão se dá pela propagação dos poluentes em relação ao sistema em que ele se encontra, dependendo de inúmeros fatores, entre eles as propriedades físicas e químicas dos contaminantes, meteorologia do ambiente estudado, local onde o poluente se transporta e se difunde e a propriedade da procedência da emissão. Como

forma de equacionar a dispersão Davis (2008) salienta o modelo de dispersão gaussiano. Esse modelo parte da premissa de que a velocidade e direção do vento permanecem constantes, sem interagir com chuva ou partículas, por fim, a dispersão se comporta da forma de distribuição de Gauss.

Um trabalho que se utilizou desta metodologia para a medição da dispersão de poluentes é o trabalho de Saavedra (2017), onde se buscou uma proposição de uma ferramenta para a gestão da qualidade do ar. Foi estudado um motor gerador que estava localizado na Universidade Federal de Goiás e se buscava encontrar o alcance das concentrações de NOx. Foi realizado o processamento dos dados advindos dos ventos e por fim, foi gerado os resultados do modelo proposto e geoferrenciado os resultados.

Como resultado, Saavedra (2017) afirma que a modelagem de dispersão gaussiana pode ser considerada eficaz e passível de ser utilizada como instrumento de modelagem atmosférica, pois em condições distintas a influência e dispersão dos poluentes presentes no ar, se comportou de forma mais suscetível à acumulação em locais onde os ventos são mais calmos, do que em locais mais afetados pelo regime intensos de ventos, como encontrado na literatura.

3.3. GEOPROCESSAMENTO

Segundo FITZ (2008) o geoprocessamento é definido como um conjunto de tecnologias, que por meio de sua manipulação, modelagem e determinadas análises geram novas informações associadas a dados georreferenciados.

Outra definição encontrada é a de que o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para transformá-los em informação relevante (Xavier da Silva, 2001). As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Segundo Rocha (2000) o SIG é definido por um sistema que possibilita a análise da correspondência espacial dos dados com sua respectiva localização na superfície terrestre, por meio do armazenamento de dados

georreferenciados na forma de planilhas alfanuméricas, matrizes e representações gráficas vetoriais. Pazini (2005) afirma que os SIG's são ferramentas de investigação espacial, predispostos à análise e exploração dos dados georreferenciados. Análises como autocorrelação espacial, *buffering* (áreas de influência) ou *overlay* (sobreposição de diferentes coberturas geográficas, criando novas coberturas) são operações características dos SIG.

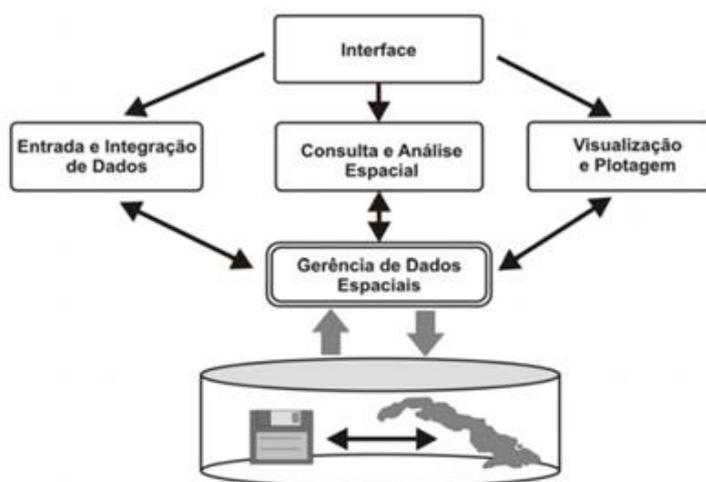
Os SIG's também estabelecem um caminho ou um complemento aos métodos de medições e tratamento de dados, por meio da utilização do método de interpolação desses dados, mediante ferramentas como Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW) e *Ordinary kriging* (Ferreira et al. 2003; Mesquita et al. 2004).

Câmara et al. (2001) relatam que em uma visão geral os dados SIG's tem os seguintes componentes em sua configuração:

- i Interface com usuário;
- ii Entrada e integração de dados;
- iii Funções de processamento gráfico e de imagens;
- iv Visualização e plotagem;
- vi Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Os componentes presentes em um SIG estão explicitados na Figura 1:

Figura 1: Estrutura geral de sistemas de Informação Geográficas.



Fonte: Câmara e Davis (2004)

Rosa (2013) afirma que o objetivo geral de um SIG é, servir como ferramenta eficaz de estudo em todas as áreas e que resultam em mapas, em conjunto com a integração destes, uma base de dados as informações da área de estudo, possibilitando combinar a entrada de dados de diversas fontes, gerando novos tipos de informação, sendo passível analisá-los e por fim gerar mapas, relatórios, documentos gráficos, etc.

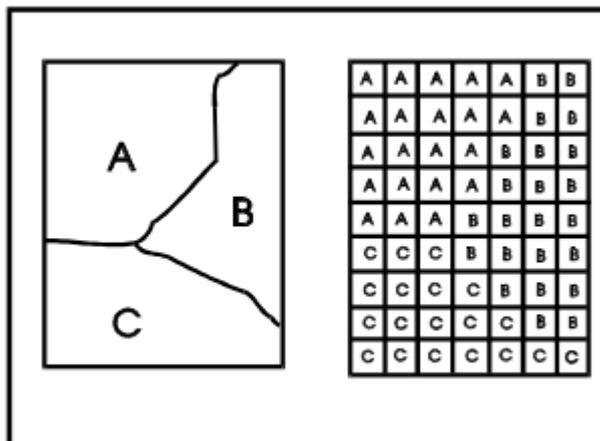
3.3.1 TIPOS DE DADOS EM SIG

Botelho (1995) afirma que há duas formas de exibições de dados em um SIG, que são as formas vetorial e matricial.

Segundo Borges (2002), a representação em formato matricial ou raster é definida por meio de uma matriz de superfícies regulares, na qual cada célula está interligada a um conjunto de valores representando as características específicas geográficas do local. As ligações dos dados no espaço estão contidas entorno das células e as coordenadas geográficas (longitude, latitude) ou planas (x,y) são adquiridas indiretamente com base na posição da célula na matriz (coluna, linha).

Segundo Borges (2002) no formato vetorial utiliza-se de pontos, linhas e polígonos que representam a geometria dos locais e dados. Nos dados que contém pontos, estes são apresentados em um par de coordenadas; nos polígonos, que geralmente representam a geometria, estes são determinados por uma sucessão de linhas onde o ponto inicial e final coincidem em suas coordenadas; já as linhas são formadas por uma série de pontos.

Figura 2: Representação Vetorial e matricial.



Fonte: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.; D'Alge, J.C. (2001).

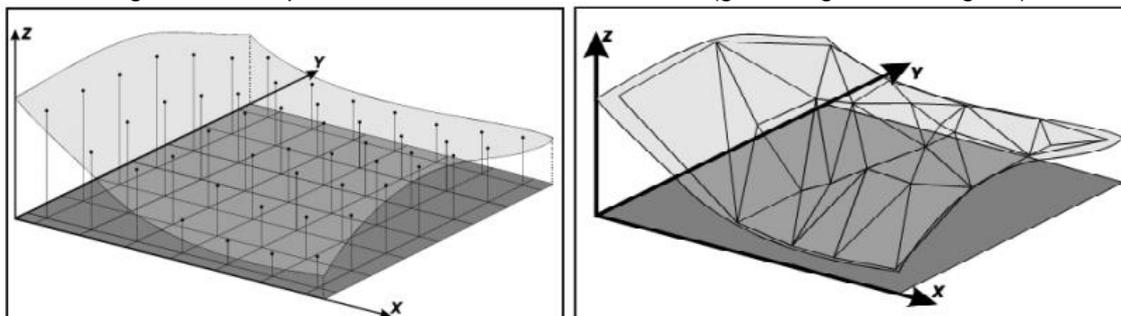
Segundo Câmara (2005) os dados geográficos podem ser representados espacialmente na forma de modelo numérico de terreno, mapas temáticos e dados cadastrais.

Na forma de dados cadastrais, cada elemento é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar associada a várias representações gráficas, a parte gráfica destes mapas cadastrais é armazenada em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia associada. Não sendo usual a representação na forma matricial. (INPE, 2016).

Segundo Neris (2011) na geração de dados temáticos descreve-se a distribuição espacial de uma dada grandeza geográfica, de modo qualitativo. No Modelo Numérico do Terreno (MNT) sua utilização é na forma de representar quantitativamente uma grandeza que varia constantemente no espaço, neste meio as informações espaciais podem ter, por exemplo, dados de altimetria e do relevo. Alguns autores sugerem o termo DEM (*Digital Elevation Model*) como modo mais coerente de sua representação, podendo assim apresentar outros atributos além da altitude (Weibel & Heller, 1999).

O método de desenvolvimento do MNT envolve as seguintes etapas segundo Felgueiras (1998): amostragem, modelagem (matemática, por meio de funções de interpolação), emprego do modelo gerado frente à área estudada. Um exemplo de MNT é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Exemplo de modelo numérico de terreno (grade regular e triangular).



Fonte: Neris (2011).

De acordo com Namikawa et al. (2003), a geração de um MNT pode ser realizada por meio de modelos de grade regular retangular e os modelos de grade irregular triangular. Na construção do modelo de grade, ocorre a construção de uma malha, regular ou irregular, por meio de funções interpoladoras. Para cada elemento presente na grade, tem-se como resultado uma função interpoladora válida para todos os pontos presentes no elemento, sendo denominado esse processo de ajuste de superfície.

Para Câmara e Monteiro (2001), no modelo de grade regular retangular, cada ponto da matriz de dados está associado a um único valor numérico e para a sua geração é necessária a utilização de interpoladores para que se estime o valor de dados não amostrados.

Já no modelo de grade triangular (TIN), Câmara e Monteiro (2001) o definem como uma estrutura vetorial, que é representada na forma de uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares conectadas, para cada vértice do triângulo são armazenadas as suas respectivas coordenadas (x,y) e no eixo z é armazenado o valor de altitude. A grade triangular é formada por meio de conexões entre os dados amostrados, com sua distribuição espacial geralmente irregular, utilizando-se de métodos de triangulação. (CÂMARA et al., 1996, p. 43).

Por fim, Câmara (2005) afirma que os MNT têm como objetivo a representação espacial de qualquer tipo de fenômeno, como meteorológico, geofísico, geoquímico e altimetria.

3.3.2 ANÁLISE ESPACIAL

Segundo Leite (2016), quando se objetiva realizar análises de dados com ordenamentos espaciais, deve-se primeiramente verificar qual o grau de correlação espacial da variável estudada com suas unidades amostrais mais próximas.

Câmara et al. (2004) definem a análise espacial como uma forma de medir relacionamento entre os dados, considerando sua localização espacial.

A análise espacial consiste em um conjunto de métodos que permitam avaliar a influência do espaço no conjunto amostral. Deve ser precedida de uma análise exploratória dos dados, comumente por meio de mapas, assim possibilitando a observação da existência ou não de dados atípicos (*outliers*), visando encontrar padrões de distribuição desses pontos amostrais. Pode-se assim, estabelecer hipóteses sobre o comportamento desses dados (CÂMARA et al., 2004).

Para Bonat (2007) as desvantagens desses estimadores são a forte dependência do raio de busca e a excessiva suavização da superfície que pode, em alguns casos, esconder variações locais importantes.

Outro estimador utilizado, de acordo com Câmara et al. (2004) é o índice de Moran, que além de correlacionar espacialmente as amostras, indica o quanto as variáveis estão associadas espacialmente. Esse índice possibilita a caracterização da dependência espacial, como a tendência de uma variável relativa a uma localização assemelhar-se mais ao valor das amostras adjacentes do que às distantes e é calculado para cada ordem de vizinhança conforme Equação 1.

$$I^K = n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}^k \quad (1)$$

Onde n é o número de áreas,

z_i é o valor do atributo considerado na área i ,

\bar{z} é o valor médio do atributo na região de estudo,

w_{ij} os elementos da matriz normalizada de proximidade espacial e k é a ordem de vizinhança.

Por meio do índice de Moran, obtêm-se valores entre -1 a +1, assim quanto mais próximo o valor de 1, maior a correlação entre os dados. Para que se possa determinar a relevância do índice de Moran, geralmente se aplica a distribuição normal no conjunto de dados. Deste modo, há a construção de uma distribuição empírica do valor Moran, e se nesse caso o índice corresponder a um valor do extremo da distribuição normal simulada, atribui-se um valor com validade estatística (CÂMARA et al., 2004).

A função de autocorrelação local (índice LISA) associa espacialmente uma região com sua vizinhança, sendo possível observar se há a existência de agrupamentos dos dados nessa área.

Anteriormente ao cálculo do índice de LISA é realizado um diagrama de Voronoi. Segundo Aurenhammer (1991), o Diagrama de Voronoi é gerado por meio de um conjunto de pontos em determinado plano, que gera um mosaico em que se divide esse plano utilizando o método do vizinho mais próximo, localizando um ponto ou vértice vizinho ao ponto em que se está analisando. O mosaico gerado representa a decomposição de um espaço métrico por meio das distâncias entre os pontos estudados.

O índice de LISA computa a significância estatística dos dados de maneira semelhante ao de Moran, determinando sua significância no local e assim, se tornando uma ferramenta útil para a identificação da existência ou não da autocorrelação local dos dados (BAILEY e GATRELL, 1995).

3.3.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Carvalho (1997) afirma que a análise exploratória dos dados tem por definição o estudo das distribuições no espaço, buscando por padrões e associação espacial, além da identificação da presença de dados atípicos (*outliers*).

A análise estatística dos resultados das interpolações é realizada por meio da média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão, variância e medidas de distribuição (achatamento e simetria da curva de distribuição). (SILVEIRA; PORTUGAL; SÁ, 2014).

3.4 MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

A interpolação é uma técnica que se utiliza de padrões e estimativas de valores em locais não amostrados. Ou seja, a interpolação usa o conceito de que a tendência dos valores já medidos seja similar a valores próximos a estes pontos (Lindley et. al., 2005).

Câmara e Medeiros (1998) definem a interpolação como uma superfície com valores de dados que tendem a serem semelhantes quanto mais próximos entre si, do que quando estes dados se afastam.

Alvarenga et al., (2010) dizem que os métodos de interpolação são utilizados quando pretende-se realizar um estudo geoestatístico, em que se busca encontrar um menor erro amostral e uma melhor estimativa dos dados estudados.

Burrough (1986) caracteriza os métodos de interpolação em três grupos: globais ou locais, exatos; e determinísticos ou estocásticos. Nos Modelos de Interpoladores globais todas as amostras são utilizadas nas estimativas. Segundo Michael e Triveloni (2006), o interpolador polinomial global ocorre quando há um ajuste das equações que retratam a variação espacial dos dados por meio de polinômios. Assim, este interpolador gera uma superfície progressiva, que se modifica conforme o grau obtido na interpolação dos dados.

Já em modelos locais, cada dado é interpolado apenas por meio das amostras mais próximas, onde os dados interagem entre si e predomina o efeito no local. Jakob e Young (2006) apontam que a principal diferença entre interpolador global e local é que o interpolador global ajusta um polinômio a uma superfície toda, distintivamente do interpolador polinomial local que se ajusta, por meio de numerosos polinômios considerando a particularidade de sua vizinhança.

Como métodos de interpolação locais, pode-se citar o método de Krigagem, métodos da média simples e IDW, que foram propostos nesse trabalho como forma de se obter uma superfície que represente a qualidade do ar.

Uma forma de aplicar o geoprocessamento e suas ferramentas para análise e interpretação de dados de materiais particulados presentes na

atmosfera é o método de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW), o qual implementa uma estimativa das variáveis dos poluentes medidos e, ao longo do espaço, admite pesos a cada um dos dados medidos, seguindo a lógica de que, quanto mais próximo um dado medido no ponto que será estimado, maior o peso a ser atribuído a esse dado amostrado. Assim, o IDW estabelece que cada ponto medido tem uma influência local que diminui com a distância (JIMENEZ; DOMECCQ, 2008).

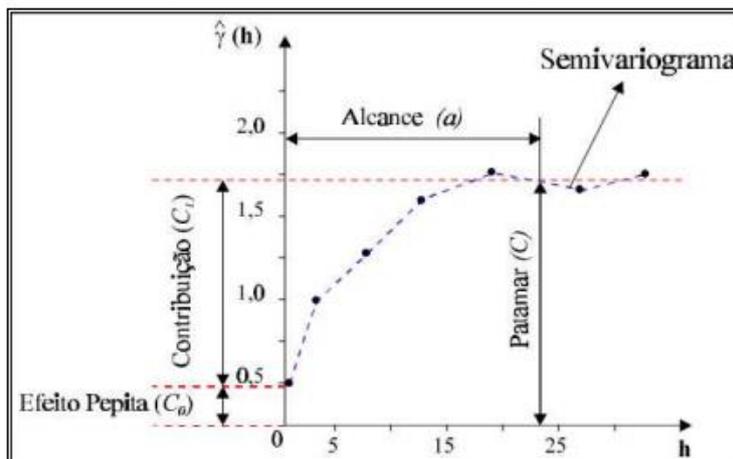
3.5 KRIGAGEM ORDINÁRIA

Deutsch e Journel (1998) definem a krigagem como uma técnica de regressão linear generalizada, em que se visa a minimização de uma variância a partir de um modelo predefinido de covariância dos dados. A hipótese pressuposta neste método é que o processo estudado se comporta de forma estacionária (CAMARGO et al., 2004). Há numerosas formas de Krigagem, dentre elas a mais comumente utilizada é a krigagem ordinária. Nesse caso, não se exige o conhecimento da média (LANDIM, 1998).

O procedimento da krigagem é determinado por meio de análise espacial, baseada no semivariograma (CAMARGO, 1997). Segundo Andriotti (2003) o semivariograma é uma função em que se busca descrever os dados analisados por meio da covariância existente no fenômeno estudado, abrangendo a correspondência entre a estatística dos dados e as amostras espaciais coletadas.

Deste modo, espera-se que entre dados mais próximos entre si sejam mais semelhantes do que aqueles que estão em distâncias maiores. Assim sendo, é previsto que a semivariância ($\gamma(h)$) aumente com a distância h , como exemplificado na figura 4 (CAMARGO, 1997).

Figura 4: Exemplo de Semivariograma.



Fonte: Camargo (1997).

Onde,

Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente;

Patamar (C): valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). A partir desse ponto considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras;

Efeito Pepita (C_0): por definição $g(0)=0$, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $g(h)$ se aproxima de um valor positivo;

Contribuição (C_1): diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0).

Deste modo, a Krigagem capta as informações necessárias por meio do semivariograma, encontrando assim os pesos a serem associados do conjunto amostral para que se possa determinar o valor em um dado ponto. A figura 5 demonstra os componentes do variograma, e seus principais modelos. Dentre estes, os mais comuns são o esférico e o exponencial.

Figura 5: Modelo simples de variograma.

Modelo	Sintax	$\gamma(h)$	h range (alcance)
Nugget (Efeito Pepita)	1 Nug (0)	0 1	h = 0 h > 0
Spherical (Esférico)	1 Sph (a)	$\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a}\right)^3$ 1	$0 \leq h \leq a$ h > a
Gaussian (Gaussiano)	1 Gau (a)	$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right)$	h ≥ 0

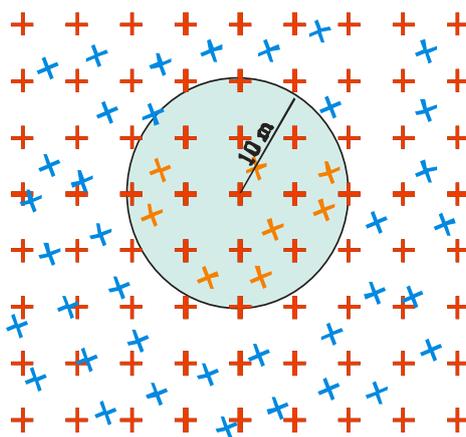
Fonte: Fonte: Pebesma (1992)

Andriotti (2003) afirma que quando os semivariogramas se comportarem da mesma forma, em distintas direções, há isotropia variável. Se não houver o mesmo comportamento, tem-se a anisotropia. Sendo que quando ocorre a isotropia, Andriotti relata que $\gamma(h)$ não depende da direção em que se estuda os dados visto que seu comportamento será o mesmo em todas as direções. Já na anisotropia, segundo Andriotti, $\gamma(h)$ terá influência também na direção de h e não apenas no seu módulo.

3.6 MÉTODOS DA MÉDIA SIMPLES

Este interpolador determina os valores de pontos da grade regular utilizando somente a média de pontos localizando ao redor de cada nó. Os pontos são escolhidos em função do número de vizinhos ou do raio de busca. No exemplo demonstrado na Figura 6, neste caso os critérios para a interpolação são: raio de busca = 10 m ou número de vizinhos = 8 (VARELLA, 2016).

Figura 6: Interpolação pelo método da média local.



Fonte: Varella (2016).

3.7 INTERPOLAÇÃO PELA PONDERAÇÃO DO INVERSO DA DISTÂNCIA (IDW)

Esse interpolador utiliza o modelo estatístico denominado ‘inverso das distâncias’. Este modelo se baseia no fato de haver uma dependência espacial dos dados, ou seja, ele parte do preceito de que quanto mais próximo um ponto estiver do outro, mais correlacionados eles estão. Sendo assim, este método atribui um maior peso para dados mais próximos do que aqueles que estão distantes. Assim, o modelo consiste em multiplicar os dados das observações pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores, expresso na equação (2) (VARELLA, 2016).

$$z = \frac{\sum \frac{1}{d_i} z_i}{\sum \frac{1}{d_i}} \quad (2)$$

Onde,

z = valor estimado para o ponto z ;

n = número de amostras;

z_i = valores conhecidos;

d_i = distâncias entre os valores conhecidos e o estimado (z_i e z).

A Equação 2 deve ser adequada para a inclusão da potência para as distâncias, pois assim se pode atribuir pesos distintos para a estimativa do valor de uma observação para uma mesma distância.

Com essa alteração, pode se atribuir múltiplos valores para a potência “p”, uma vez que quanto maior for os valores dessa potência, maior será a influência dos vizinhos mais próximos (z_i) no valor estimado para o ponto z .

3.8 SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

É definida por Burrough (1986) como uma superfície contínua que é ajustada aos pontos assimetricamente dispostos no espaço, pelo método de regressão por mínimos quadrados. Este ajuste é realizado por meio de polinômio de diversos graus. Podendo ser descrito como a Equação 3 (nesse exemplo uma superfície de grau dois):

$$F(x, y) = \sum_{(r+s) \leq p} (Brs \cdot X^r \cdot Y^s) \quad (3)$$

Onde,

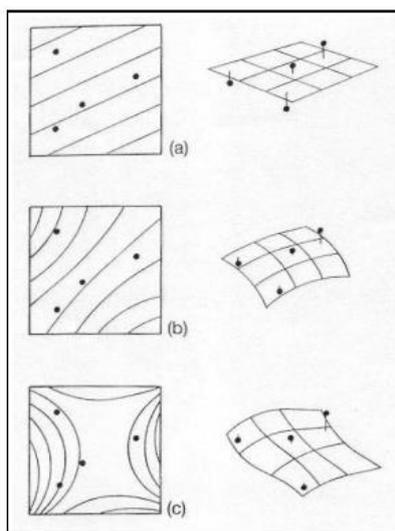
B_0 (plano com Z constante – Figura 8a)

$B_0 + B_1 \cdot X + B_2 \cdot Y$ (plano qualquer no espaço – Figura 8b)

$B_0 + B_1 \cdot X + B_2 \cdot Y + B_3 \cdot X^2 + B_4 \cdot XY + B_5 \cdot Y^2$ (paraboloide – Figura 8c)

A Figura 7 mostra uma superfície de tendência.

Figura 7: Mostra uma superfície de tendência.



Fonte: Burrough (1986).

O número inteiro p é a ordem do polinômio, e seus coeficientes são calculados segundo a equação 4:

$$P = \frac{(p+1)(p+2)}{2}, \quad (4)$$

São explícitos de forma a minimizar a soma dos quadrados dos desvios:

$$\sum_{i=1}^n (Z(X, Y) - f(X, Y))^2 \quad (5)$$

Burrough (1986) afirma que a superfície de tendência passa apenas pelos pontos se o número de coeficientes for exatamente igual ao número de pontos amostrados e salienta que a forma mais usual do método é o de se retirar tendências das amostras, anteriormente à utilização de algum método de interpolação para que seja possível a análise do comportamento global dos dados coletados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná, que se situa a latitude 25°25'S e longitude 49°16'W. Sua população estimada no ano de 2017 é de aproximadamente dois milhões de habitantes segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). A temperatura média anual registrada entre os anos de 1986 e 2016 foi de 17,8 °C, e a umidade relativa média anual da cidade foi de 81% (INMET, 2017).

Segundo Contreras (2017), a principal fonte emissão de poluentes na atmosfera na cidade de Curitiba é advinda dos veículos seguida por processos industriais, visto que a cidade conta com uma frota veicular de 1.401.053 (DETRAN-PR, 2017).

O estudo foi executado em Curitiba, no contexto do projeto de pesquisa “Concentração ambiente e exposição pessoal aos poluentes climáticos de vida curta”, entre 01 e 14 de agosto de 2016. A metodologia de medição da concentração dos poluentes ($PM_{2,5}$, BC) na região central de Curitiba, consistia em percorrer o trajeto de aproximadamente 20Km, como demonstra a Figura 8, por meio de bicicletas adaptadas com a aparelhagem necessária para a realização das medições (CIPOLI, 2017). A área investigada foi delimitada ao norte pela Rua Inácio Lustosa, ao sul pela Rua Brasília Itiberê, a oeste pela Rua Alferes Ângelo Sampaio e a leste pela Rua Mariano Torres, compreendendo cerca de 20m extensão.

Para que fossem gerados os mapas de superfície de tendência dos dados de BC e $PM_{2,5}$ nos períodos da manhã e tarde, foram utilizadas regressões planar, bilinear, cúbica e quadrática. Após isto, fez-se análise dos histogramas e resíduos gerados por cada método. Após a geração dos mapas pelas regressões, anteriormente citadas, foram determinados quais os melhores mapas e regressões para o conjunto de dados estudado.

No caso do índice local de Moran, primeiramente foi criada uma grade de diagramas de Voronoi, em que se é considerado que cada ponto amostrado tem uma região de influência. Posteriormente foi calculada a autocorrelação dos dados e a geração dos mapas de significância e categorias que indicam a

autocorrelação espacial entre os dados: alto - alto em vermelho, ou seja, uma região que tem altas concentrações do poluente estudado possui uma vizinhança com altos valores desse poluente; baixo – baixo em azul, em que as regiões próximas ao poluente em questão apresentam baixas concentrações; baixo- alto em cinza, significa que um local com baixas concentrações de poluentes possui em seu entorno altas concentrações desse mesmo poluente; e alto – baixo em cinza, local onde uma região mostra altas concentrações, do BC, por exemplo, e sua vizinhança possui baixas concentrações desse poluente.

Para que se realizassem as interpolações dos poluentes no período da manhã e tarde, foram considerados dois raios de influência para cada método: 250m e 1000m, possibilitando assim a comparação e determinação de qual o melhor raio que se ajustasse a área do estudo.

Para obter os mapas pelo método da Krigagem Ordinária, primeiramente foi criada uma grade para que posteriormente fossem gerados os variogramas necessários para que fosse possível a geração do mapa. Utilizou-se como sentido de busca direção omni directional, ou seja, a busca pelos pontos ocorreu em todas as direções.

Figura 8: Percurso das medições na cidade de Curitiba



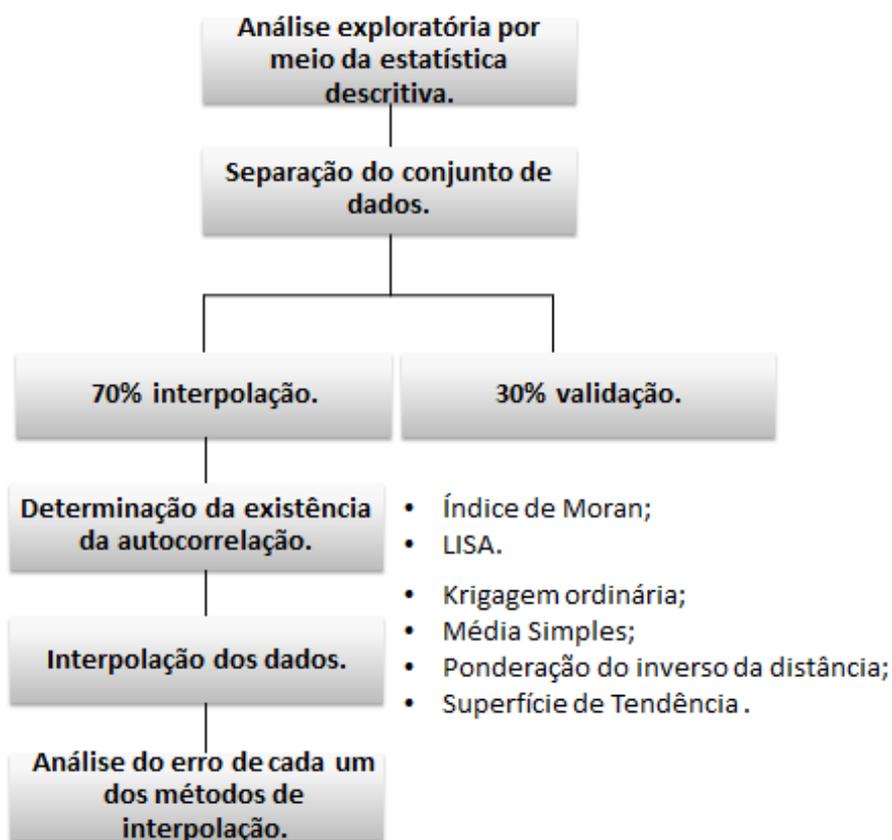
Fonte: Google Maps (2018).

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada conforme o fluxograma representado na Figura 9. Primeiramente foi feita a análise da estatística descritiva, seguida da separação dos dados para a realização da interpolação e validação, de modo que esses conjuntos fossem independentes. Verificou-se a existência ou não da autocorrelação dos dados e na sequência, por meio de interpoladores globais e locais, obteve-se ou mapas da distribuição dos poluentes na região central de Curitiba.

Após esses processos, foi realizada uma análise por meio do REMQ, a fim de se determinar qual método resultou em uma melhor superfície, podendo assim validar os resultados obtidos.

Figura 9: Análise de dados



Fonte: Autoria própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES

Para o BC coletado na manhã foram obtidos 5032 pontos amostrais, já para o BC na parte da tarde foram obtidos 5373. Para o PM_{2,5} coletado pela manhã foram obtidos 5300 pontos amostrais e 4390 no período da tarde. A diferença entre os dados coletados por período se deu pelo número de paradas e velocidade obtida no decorrer do trajeto.

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das concentrações de poluentes utilizando os dados brutos, incluindo os *outliers*, no percurso realizado pela manhã e na tarde.

Tabela 1: Estatística descritiva dos dados dos poluentes

Estatística Descritiva - Com <i>Outliers</i>				
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
	BC	BC	PM_{2,5}	PM_{2,5}
	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$
MÍNIMO	0,273	0,192	0,510	0,510
MÁXIMO	919,391	309,734	1464,720	19647,226
Q1	2,755	1,770	9,180	5,100
MEDIANA	5,251	2,942	21,930	7,650
Q3	8,602	5,699	28,560	12,240
IQR	5,847	3,929	19,380	7,140
MÉDIA	8,330	5,453	21,772	9,886
DESVIO PADRÃO	19,566	10,193	26,988	298,045
PERCENTIL 95	22,245	42,840	16,273	32,130
MÉDIA SEM OUTLIERS	5,775	19,240	3,901	9,616

Fonte: Autoria própria

Para evitar que valores discrepantes pudessem gerar uma influência que não representa o comportamento geral dos dados, definiu-se como sendo *outliers* qualquer valor acima do percentil 95. Com a retirada dos *outliers* calculou-se novamente a estatística descritiva das medições.

Como forma de comparação dos dados medidos no local de estudo, a Tabela 2 apresenta os valores coletados em outras cidades.

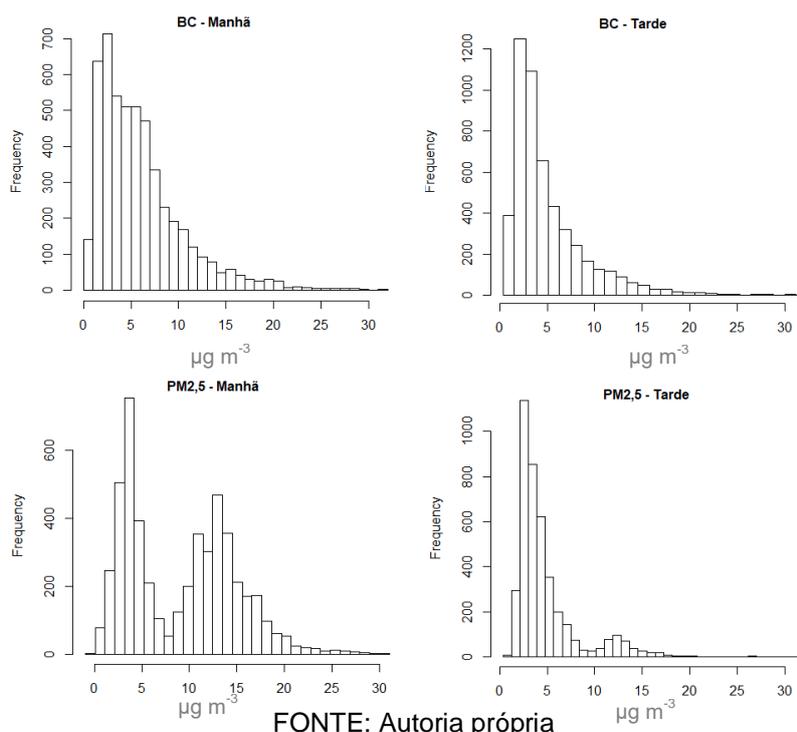
Tabela 2: Comparação dos poluentes medidos em outras localidades

Cidade	Poluente	Concentração Média	Referência
Arnhem	BC	9,000 $\mu\text{g m}^{-3}$	ZUURBIER et al. (2010)
	PM_{2,5}	73,000 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Barcelona	BC	7,600 $\mu\text{g m}^{-3}$	DE NAZELLE et al. (2012)
	PM_{2,5}	25,900 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Hong Kong	BC	11,600 $\mu\text{g m}^{-3}$	YANG et al. (2015)
	PM_{2,5}	8,200 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Curitiba	BC	4,838 $\mu\text{g m}^{-3}$	Autoria própria
	PM_{2,5}	14,428 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Londrina	BC	9,600 $\mu\text{g m}^{-3}$	TARGINO et al. (2018)
	PM_{2,5}	84,500 $\mu\text{g m}^{-3}$	

FONTE: Autoria própria

Em comparação aos dados medidos, sem *outliers*, e os dados encontrados na literatura, o BC atingiu valores de 4,838 $\mu\text{g m}^{-3}$, valor esse abaixo do que encontrado em todas as cidades. Já o PM_{2,5} a concentração média foi de 14,428 $\mu\text{g m}^{-3}$, o que se aproxima a valores medidos em Hong Kong (8,200 $\mu\text{g m}^{-3}$) e se difere das demais localidades apresentadas na Tabela 2, sendo que as medições em Londrina (84,500 $\mu\text{g m}^{-3}$) e Arhem (73,000 $\mu\text{g m}^{-3}$) mostram os mais altos valores de concentrações médias desse poluente.

A Figura 10 apresenta o histograma dos dados sem os *outliers* para cada poluente medido no período da manhã e tarde.

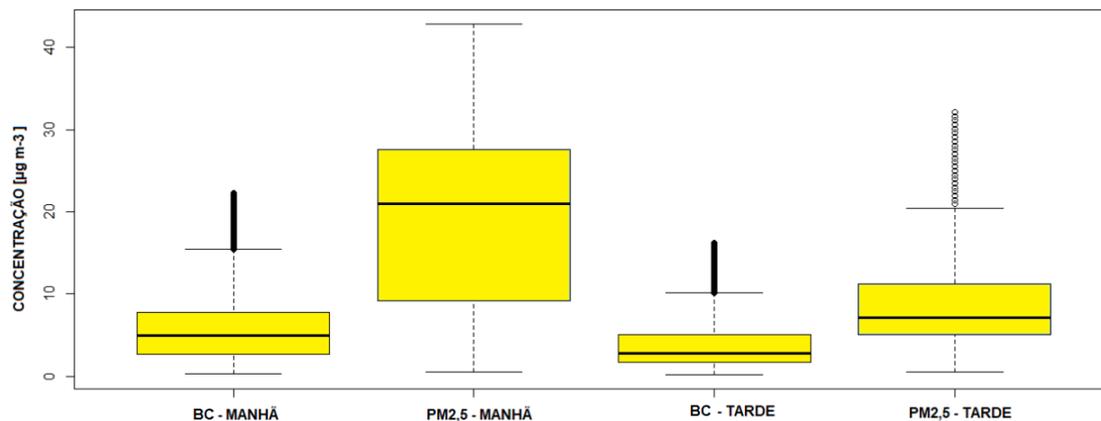
Figura 10: Histogramas de BC e PM_{2,5} no período da manhã e tarde

Com a análise dos histogramas é possível observar que para o BC tanto no período da manhã quanto no da tarde, há uma tendência de concentração dos poluentes, com altas frequências, à esquerda do histograma. Nota-se também que para o PM_{2,5} há a existência de altas frequências deslocadas à esquerda do histograma e mais ao centro, sendo que o período da manhã onde tais frequências ao centro é mais evidenciada.

Isso demonstra que para o BC há uma predominância de valores menores das concentrações desse poluente, com baixa variância em suas medições. Já para o PM_{2,5} há uma maior variância dos dados, o que pode ser observado pelo desvio padrão.

Comparando por período, nota-se que o período da manhã possui maiores frequências de altas concentrações de PM_{2,5} em relação ao período da tarde, o que sugere que em tal período a população sofra mais com a ação desses poluentes.

A Figura 11 apresenta os boxplots das concentrações de BC e PM_{2,5} no período da manhã e tarde.

Figura 11: Boxplots das concentrações de BC e PM_{2,5}

Fonte: Autoria própria

A diferença entre os quartis do BC e PM_{2,5} em ambas os períodos indica que os fatores que influenciam esses poluentes não agem simultaneamente entre essas duas variáveis. Ou seja, algum evento que leve o aumento de BC, pode não gerar influência direta no sentido do aumento do PM_{2,5}. Observa-se que para o PM_{2,5}, mesmo que haja suspensão em excesso desse poluente, o BC pode não atingir níveis tão altos.

Desta forma, por meio da análise descritiva dos dados, pode-se observar que tanto para o BC, quanto para o PM_{2,5}, o período da tarde é qual apresenta um valor menor de amplitude dos dados e variância dos mesmos. Sendo o período da manhã, por consequência, o período em que há maiores concentrações e maior variação na distribuição dos poluentes.

5.2 SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

A superfície de tendência apresenta o comportamento global dos dados na área de estudo. A Tabela 3 apresenta a raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) gerados por meio das seguintes regressões: planar, bilinear, cúbica e quadrática dos poluentes coletados em ambos os períodos.

Tabela 3: REMQ obtidos por meio das regressões

REMQ				
Regressão	BC – manhã	BC – tarde	PM _{2,5} – manhã	PM _{2,5} – tarde
Planar	18,386	9,767	102,762	42,422
Bilinear	23,920	9,923	105,451	46,375
Cúbica	26,898	9,657	136,515	41,909
Quadrática	18,337	9,641	104,564	46,496

Fonte: Autoria própria

Desta forma, o modelo de regressão que apresenta o menor REMQ para o BC no período da manhã é a regressão quadrática. Para o BC coletado no período da tarde a regressão quadrática também gerou um menor erro. Para o PM_{2,5} medido no período da manhã a regressão planar foi a que retornou um menor valor do REMQ. Já para o PM_{2,5} medido no período da tarde, a regressão que gerou o menor erro foi a regressão cúbica.

O Quadro 1 apresenta as equações geradas por cada um das melhores regressões geradas.

Quadro 1: Equações das superfícies de tendência com menor REMQ

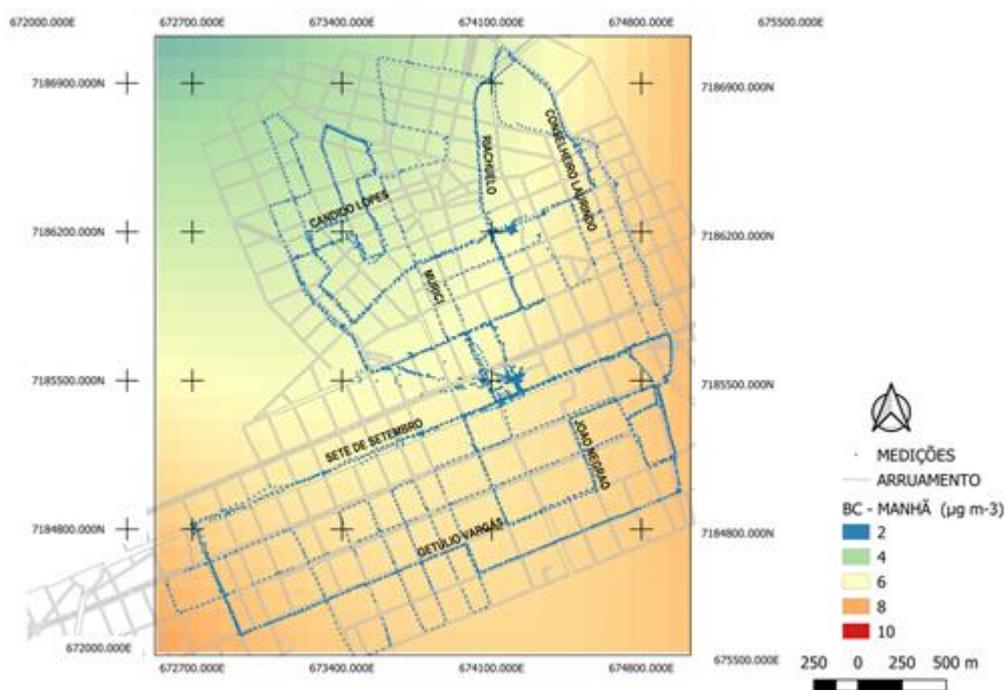
	REGRESSÃO	EQUAÇÃO
BC Manhã	Quadrática $z = A + Bx + Cx^2 + Dy + Exy + Fy^2$	$z = 1257066.722422 - 5.770863*x + 0.192013*y + 0.000001*xy$
BC- Tarde	Quadrática $z = A + Bx + Cx^2 + Dy + Exy + Fy^2$	$z = 455780.651403 - 1.522349*x + 0.000001*x^2 + 0.016230*y$
PM_{2,5} Manhã	Planar $z = A + Bx + Cy$	$z = 30828.022093 - 0.000532*x - 0.004238*y$
PM_{2,5} Tarde	Cúbica $z = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + Ey + Fxy + Gx^2y + Hy^2 + lxy^2 + Jx^2y^2 + Ky^3$	$z = 1195188.790035 - 0.240540*x - 0.000003*x^2 + 0.139044*y$

Fonte: Autoria própria

Destaca-se que, embora o modelo de regressão para Bc no período da manhã tenha sido ajustado com equação quadrática, o termo elevado ao quadrado ficou nulo, por isso não aparece na equação gerada. De forma análoga, o modelo para $PM_{2,5}$ para o período da tarde não mostra o termo cúbico, o que permite classificá-lo como um modelo quadrático.

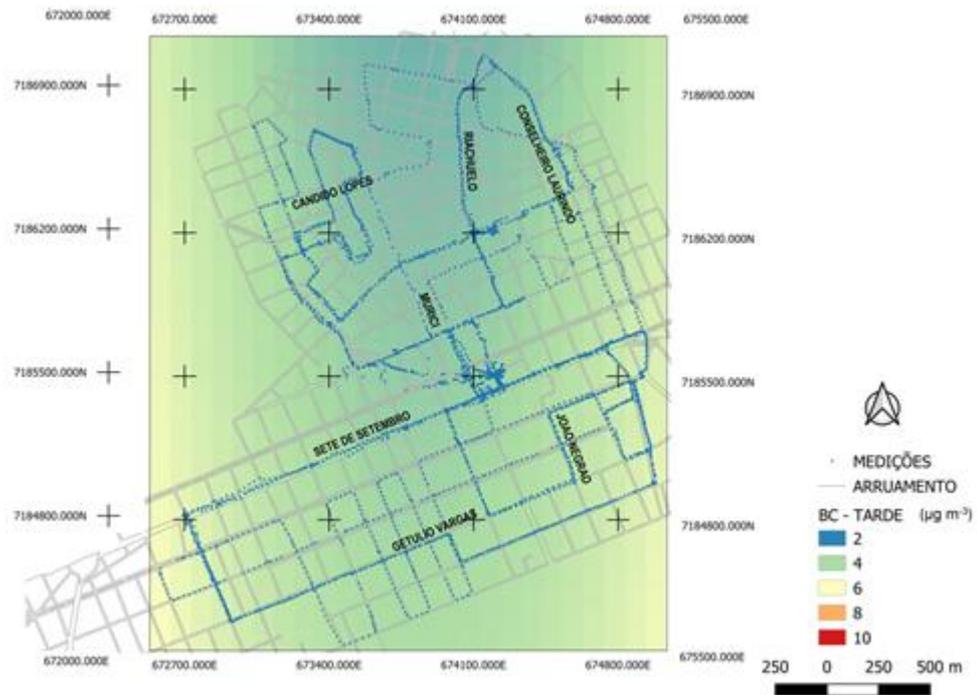
As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam os melhores mapas de superfície de tendência gerados pelas regressões.

Figura 12: Regressão quadrática para o BC no período da manhã

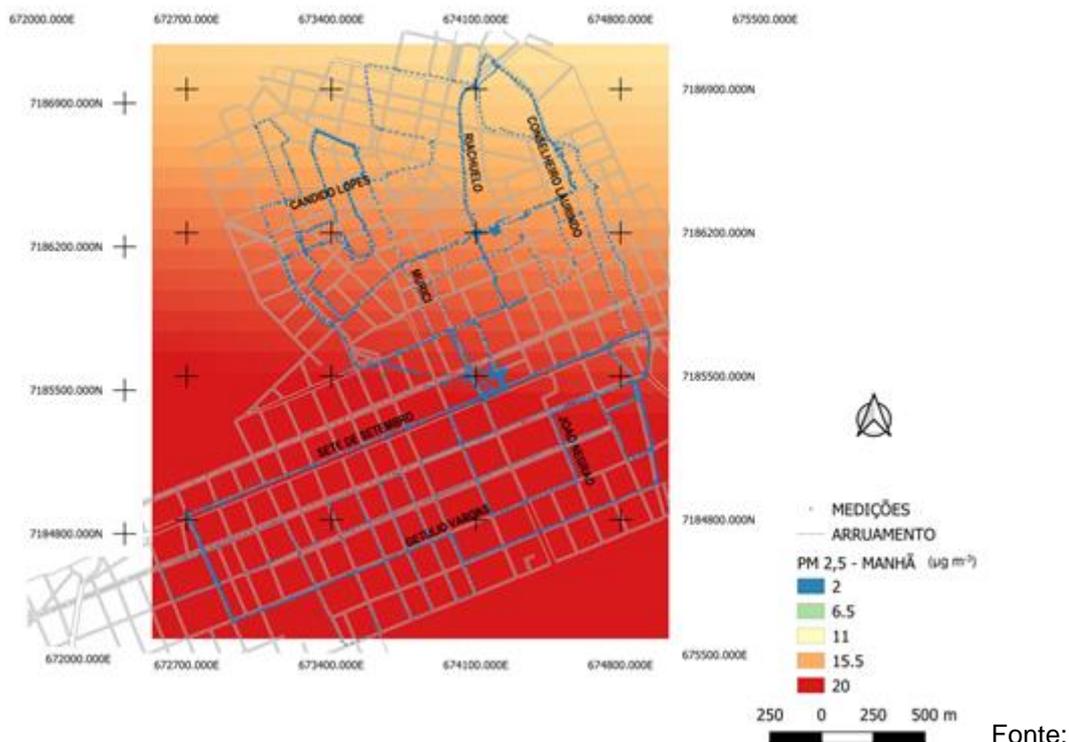


Fonte: Autoria própria

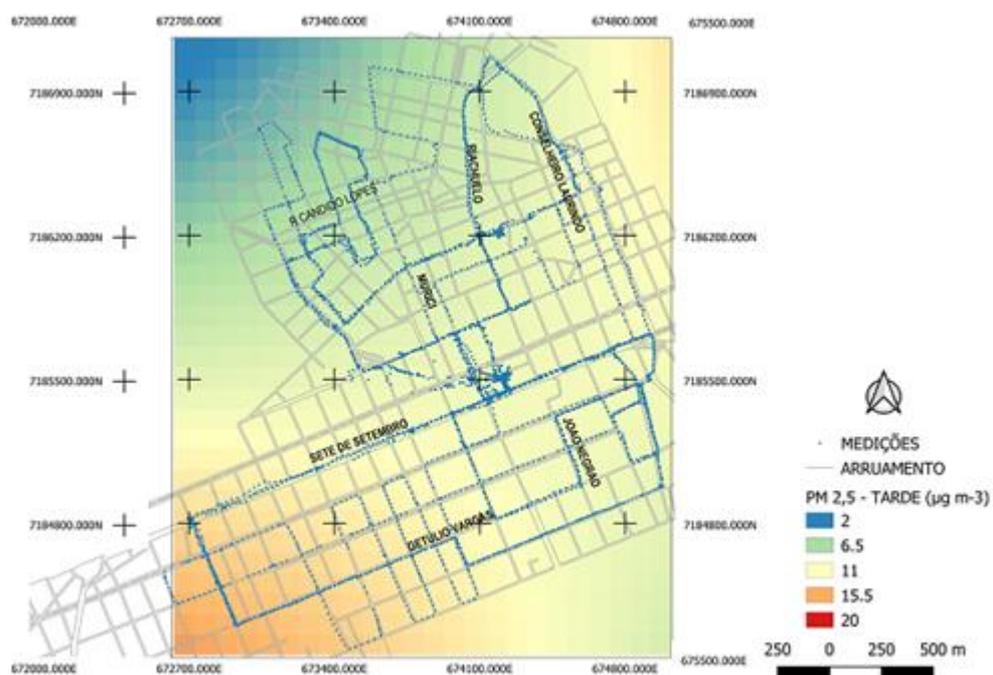
Figura 13: Regressão quadrática para o BC no período da tarde



Fonte: Autoria própria

Figura 14: Regressão planar para o $PM_{2,5}$ no período da manhã

Autoria própria

Figura 15: Regressão cúbica para o $PM_{2,5}$ no período da tarde

Como resultados de avaliação para qual método da regressão linear mostra um mapa de superfície de tendência que melhor se assemelha à realidade e produz um menor resíduo, tem-se para o BC na manhã a regressão quadrática, em que o mapa gerado apresenta valores baixos de concentrações localizados ao norte e localiza as altas e médias concentrações na parte sul do mapa. Para o BC medido no período da tarde, a regressão que mais representou a distribuição dos dados foi novamente a regressão quadrática, em que apresentou como locais de altas concentrações pouco presentes por todo o mapa, sendo o local destinado às concentrações menores ao centro e parte sul do mapa.

A comparação entre o BC medido na manhã e na tarde demonstra que no período da manhã há uma maior concentração desse poluente por todo o mapa e há uma menor dispersão do mesmo. Por consequência, o período da tarde é menos poluído pelo BC quando se analisado pelo mapa de tendência. Já para o $PM_{2,5}$ no período da manhã a regressão que melhor representou a variação dos dados foi a planar, sendo possível observar que o mapa, em quase sua totalidade foi representado em concentrações altas do poluente em questão, sendo a parte sul e central do mapa, locais onde predominam as altas concentrações e a parte norte a localidade onde estão concentrações médias desse poluente.

No caso do $PM_{2,5}$ medido na tarde, a escolha do mapa de tendência que melhor se assemelha com a realidade e distribuição dos dados foi o realizado pela regressão cúbica. Essa regressão apresentou um resíduo menor, representando o canto sudeste como sendo a localidade das maiores concentrações e a parte noroeste do mapa como o local onde as baixas concentrações estão. O centro é o local onde as concentrações médias estão representadas.

De maneira geral o período da manhã apresentou uma maior tendência, se comparado com o período da tarde, de altas concentrações tanto para o $PM_{2,5}$ quanto o BC. No período da tarde, ambos os poluentes se mantiveram em menores concentrações por todo o percurso.

5.3 ÍNDICE DE MORAN

A Tabela 4 apresenta o Índice global de Moran do BC e $PM_{2,5}$ medidos no período da manhã e tarde.

Tabela 4: Índice de Moran do BC e $PM_{2,5}$

ÍNDICE DE MORAN			
BC –MANHÃ	BC – TARDE	$PM_{2,5}$ - MANHÃ	$PM_{2,5}$ - TARDE
0,210907	0,27226	0,224348	0,312282

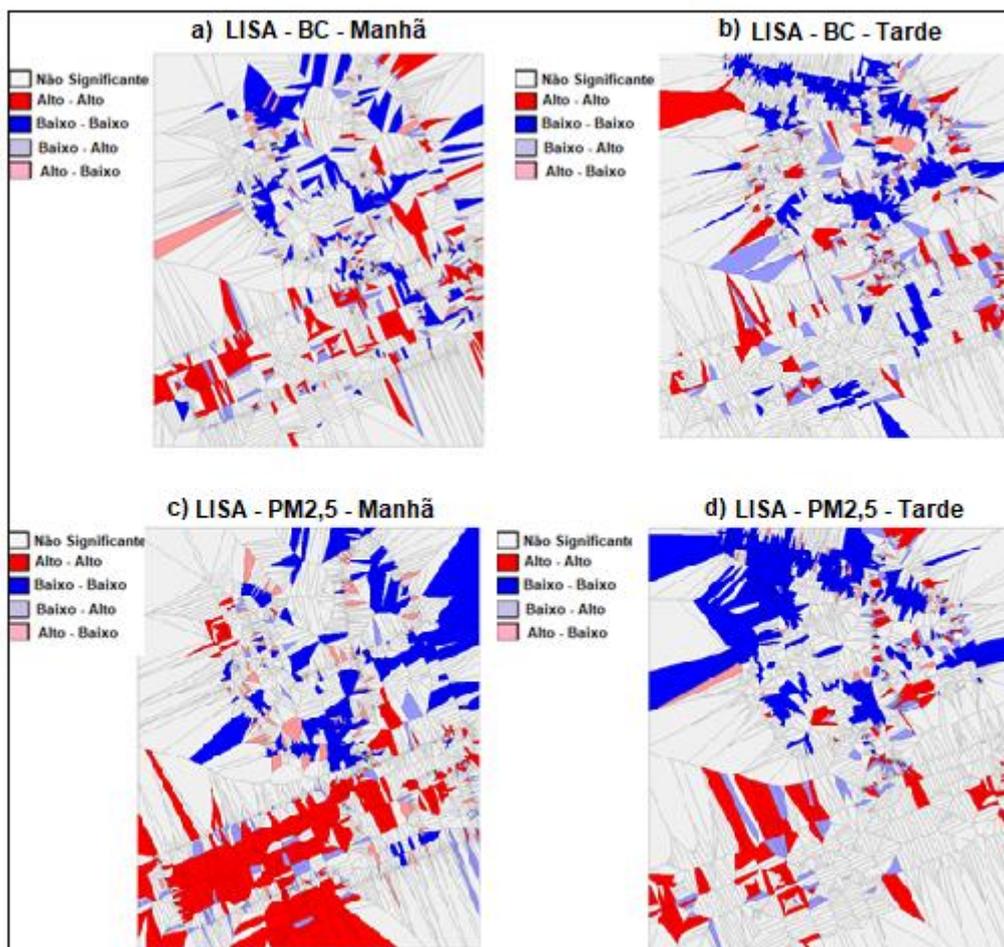
Fonte: Autoria própria

O índice global de Moran calculado tanto para o BC quanto para o $PM_{2,5}$ no período da manhã e tarde mostra que os dados desses poluentes não possuem autocorrelação espacial, ou seja, os dados medidos no decorrer do percurso não estão agrupados ou possuem relação forte entre suas vizinhanças.

Para que houvesse alta autocorrelação espacial entre os dados, os valores deveriam ser próximos de 1, o que indicaria um agrupamento espacial dos dados, o que não ocorreu em nenhum dos dados coletado.

A análise do índice local de Moran (LISA), onde se analisa espacialmente o conjunto de dados, foi realizada por meio de mapas de agrupamentos. A Figura 16 apresenta os mapas de agrupamento de cada poluente por período medido.

Figura 16: Mapas de agrupamento



Fonte: Autoria própria

Anselin (2005) afirma que cada quadrante amostrado no mapa de agrupamento representa a um tipo de autocorrelação espacial entre os dados: Alto-Alto, Baixo-Baixo, Baixo-Alto e Alto-Baixo.

De modo geral há uma predominância de clusters classificados como não significantes, ou seja, na maior parte dos mapas de agrupamento não identificou autocorrelação dos dados ou uma grande influência dos agrupamentos, em concordância com o que ocorreu com o Índice de Moran.

Nota-se também que os mapas apresentam principalmente na parte superior uma autocorrelação de Baixo-Baixo, ou seja, nesses locais há predominância de concentrações baixas do poluente. Há ainda a representação de locais de Alto-Alto, mais concentradas ao centro do mapa, principalmente para o PM_{2,5} medidos no período da manhã e tarde, onde a região apresenta localmente agrupamentos de altas concentrações desse

poluente. Mas de maneira geral, o mapa de agrupamento gerado não indica que haja autocorrelação espacial entre os dados.

5.4 INTERPOLAÇÕES

Foram gerados mapas da distribuição dos poluentes a partir dos seguintes interpoladores: Média Simples, ponderação pelo inverso da distância e Krigagem Ordinária, para que se possa avaliar a dispersão dos poluentes em toda a área de estudada, por meio de superfícies.

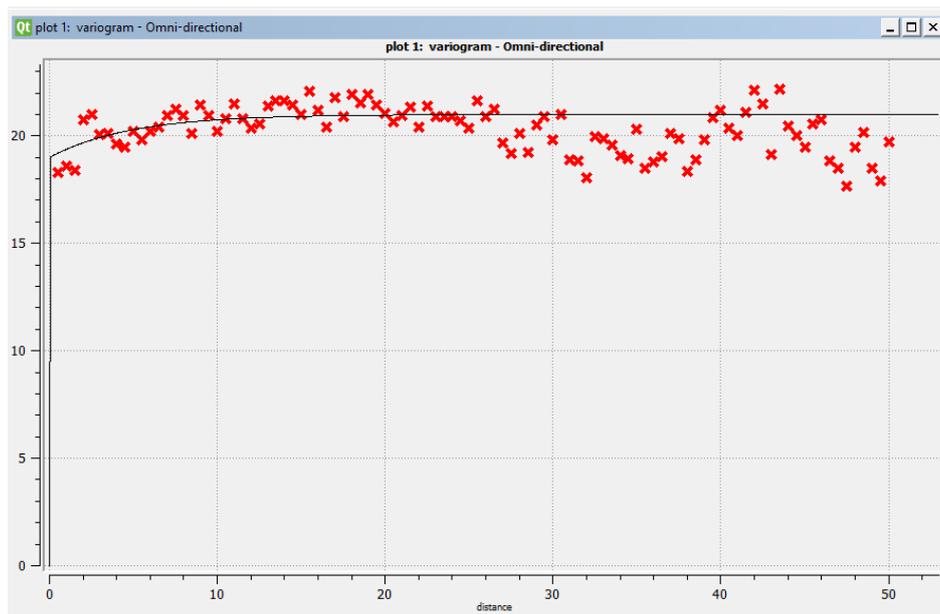
Para classificar a qual o melhor método e o que mais se assemelha com a realidade é necessário observar os erros e compará-los. Só assim pode-se determinar com maior exatidão se os métodos determinísticos (média simples e inverso da distância) ou estocásticos (Krigagem) se aplicam melhor aos poluentes medidos nessa área.

Para as interpolações por média simples e ponderação pelo inverso da distância, definiu-se o raio de busca variando de 250m a 1000m, como forma de comparação dos erros e qual melhor raio de busca retrata melhor a dispersão dos poluentes na área estudada.

No caso da Krigagem Ordinária, utilizou-se um variograma com distância de busca até 50m no sentido omnidirecional, pelo motivo da grande variabilidade espacial dos dados. Não se utilizou o mesmo raio das outras interpolações, pois os valores de 250m a 1000m não geraram variogramas bem estruturados em termos de correlação que permitisse um bom ajuste de modelo.

Como forma de ilustrar os parâmetros adotados para a realização da interpolação por meio da Krigagem Ordinária, a Figura 17 mostra o variograma, já a tabela 5 o Lag, passo, tolerância e raio de busca utilizado no método para o BC medido no período da manhã.

Figura 17: Variograma gerado para o BC no período da manhã por meio da Krigagem Ordinária



Fonte: Autoria própria

Tabela 5: Número de Lags, passo, tolerância e raio de busca

Número de Lags	Passo	Tolerância	Raio de busca
100	0,5	0,1	>90°

Fonte: Autoria própria

A tabela 6 apresenta o REMQ gerados por meio das interpolações realizadas.

Tabela 6: Raiz quadrada do erro médio quadrático das interpolações

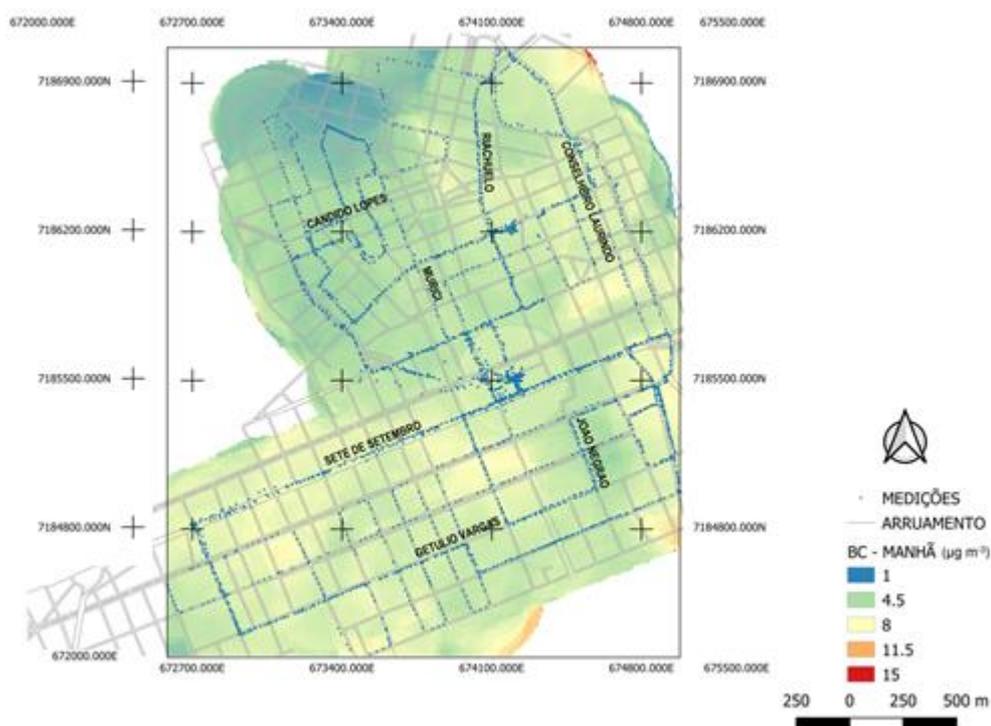
	REMQ				
	Média Simples		Inverso da distância		Krigagem Ordinária
	raio = 250m	raio = 1000m	raio = 250m	raio = 1000m	raio = 50m
BC – manhã	5,983	5,998	5,993	5,989	14,182
BC – tarde	3,909	3,883	8,311	28,248	10,645
PM_{2,5} – manhã	19,186	19,075	110,734	109,901	79,536
PM_{2,5} – tarde	9,486	9,613	36,840	37,089	29,314

Fonte: Autoria própria

A aplicação da média simples com raio de 250 m resultou em menor REMQ para BC manhã e $PM_{2,5}$, no período da tarde. Já para o BC no período da tarde e $PM_{2,5}$ medido no período da manhã, o melhor método de interpolação foi a média simples novamente, mas com o raio de 1000m.

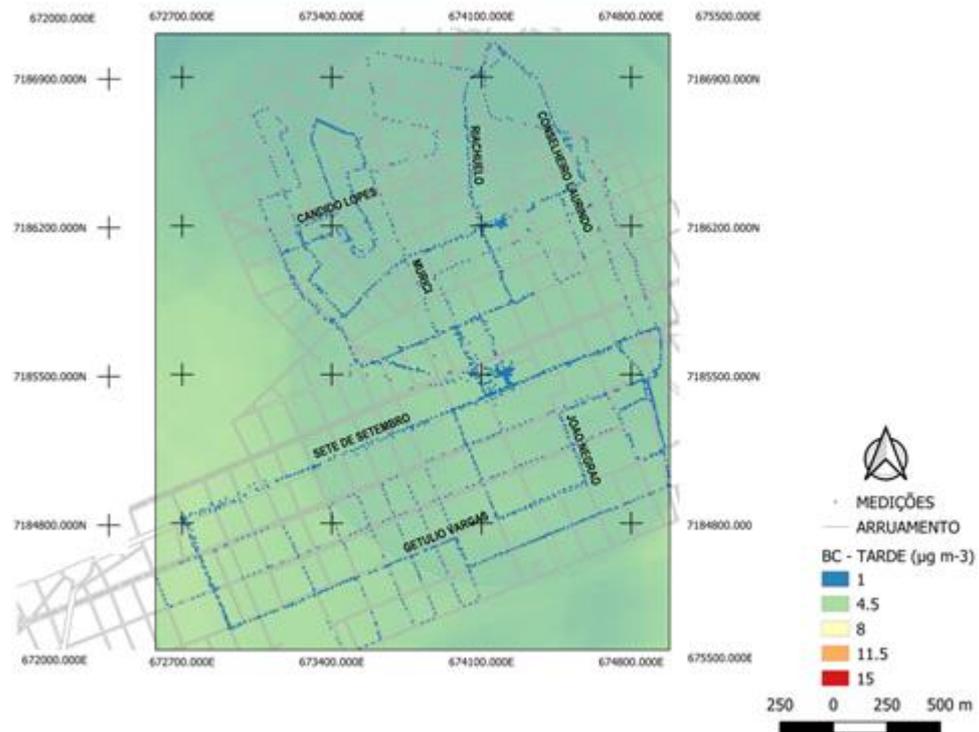
Dessa forma, as Figuras 18, 19, 20 e 21 apresentam os mapas da distribuição dos poluentes na área estudada, dos métodos que apresentam os menores erros para cada poluente em seu período estudado.

Figura 18: Interpolação do BC no período da manhã por meio da média simples com raio igual a 250m



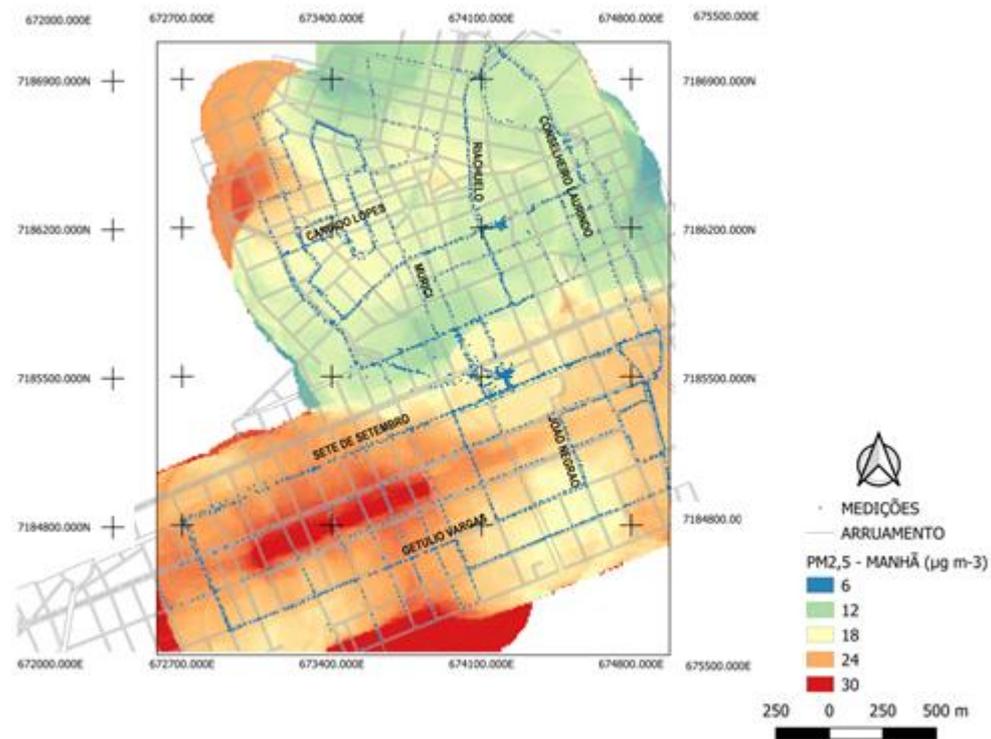
Fonte: Autoria própria

Figura 19: Interpolação do BC no período da tarde por meio da média simples com raio igual a 1000m



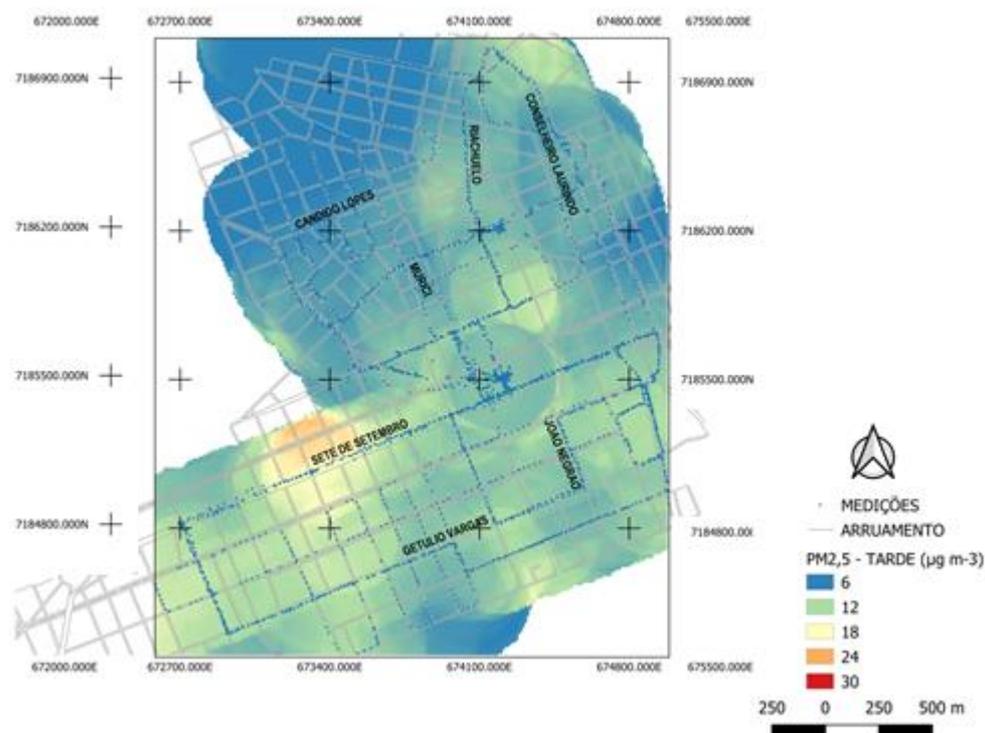
Fonte: Autoria própria

Figura 20: Interpolação do PM2,5 no período da manhã por meio da média simples com raio igual a 1000m



Fonte: Autoria própria

Figura 21: Interpolação do PM_{2,5} no período da tarde por meio da média simples com raio igual a 250m



Fonte: Autoria própria

Na Figura 18 tem-se que na região inferior do mapa estão as concentrações médias desse poluente e na parte superior esquerda há baixas concentrações.

Na Figura 19 observa-se uma distribuição do poluente BC quase uniforme por todo o mapa. Esta homogeneidade deve-se principalmente devido ao alto valor do raio adotado neste caso.

Na Figura 20, referente ao PM_{2,5} medido na manhã, a grade interpolada possui valores mais distribuídos desse poluente, sem que fossem omitidos os valores mais extremos, onde é possível observar regiões que possuem altas concentrações do poluentes ao centro e abaixo do mapa, localizando as concentrações média e baixas mais acima do mapa.

Para o PM_{2,5} medido no período da tarde (Figura 21) observa-se regiões pontuais onde há a presença de concentrações médias, e o restante do mapa com baixas concentrações de PM_{2,5}.

De forma geral, observa-se que não há coincidência de regiões de altas e baixas concentrações de um período para outro, para ambos os poluentes, o que denota um padrão espacial aleatório.

5.5 COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DETERMINÍSTICOS E ESTOCÁSTICOS

Em comparação entre as interpolações realizadas por meio do método determinístico (Média simples e ponderação do inverso das distâncias) e estocástico (Krigagem Ordinária) o modelo determinístico mostrou valores menores de REMQ, por isso o motivo da escolha desse interpolador.

A Krigagem Ordinária, por ser um método que depende da modelagem estatística e por sua vez, da definição de vários parâmetros, pode gerar um erro maior quando o ajuste do semivariograma não é eficiente.

Desta forma, no presente trabalho, conclui-se que de maneira geral a média simples calculou um menor REMQ tanto para o BC quanto para o $PM_{2,5}$ nos períodos da manhã e tarde. Sendo assim, o método que melhor representa a distribuição espacial dos poluentes na região central de Curitiba.

6. CONCLUSÃO

Por meio da análise descritiva dos dados, superfície de tendência, índice de Moran, interpolações e Krigagem, o presente trabalho alcançou a proposta inicial em que se buscava entender o comportamento desses poluentes na área central de Curitiba e como BC e $PM_{2,5}$ variava espacialmente na região, assim encontrando as áreas ou períodos em que a população está mais exposta a altas concentrações desses poluentes, aumentando o risco para problemas de saúde.

Chegaram-se as seguintes conclusões sobre a distribuição espacial e concentração desses poluentes:

- A dispersão dos poluentes não é constante no tempo, tanto quanto na manhã como na tarde os poluentes variam de forma aleatória;
- A alta variabilidade espacial dos poluentes gera uma baixa autocorrelação dos dados;
- O período da manhã, para a região estudada, é a qual possui maior concentração dos poluentes BC e $MP_{2,5}$ oferecendo assim um maior risco à saúde;
- No período da tarde a presença dos poluentes se dá de maneira menos concentrada e mais dispersa, sendo um período em que a população está exposta de maneira menos prejudicial à saúde.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se a realização de coleta e separação dos dados por dia, realizando todo o procedimento de análise descritiva dos dados, mapas de tendência e interpolações para descobrir se há a influência na dispersão desses poluentes diariamente. Também se faz necessário a contagem de veículos por dia e/ou período para ter-se uma possível e esperada correlação da quantidade de carros com a concentração dos poluentes.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, K.; PANDIAN, S. A low –Cost Mobile Urban Environmental Monitoring System. In: 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation. IEEE, 2013. p. 659-664.

AETHLABS. Disponível em: <<https://aethlabs.com/microaeth/ae51/overview>>. Acesso em: 26 jul 2017.

ALVARENGA, R. G.; COSTA, L. M. da; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175- 185, 1995.

ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo, RS: Unisinos, 2003.

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. *Interactive spatial data analysis*. New York: Prentice-Hall, 1995.

BORGES, Karla Albuquerque de Vasconcelos. CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO. Belo Horizonte: Ufmg, 2002. Color. Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.; D'Alge, J.C. 2001. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, INPE. (2 edição revista e ampliada) <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>.

Burrough, P. A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon Press, 1986. 193p.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. Anatomia de sistemas de informação geográficas. INPE. (Instituto de Pesquisas Espaciais). São José dos Campos, 1996. Disponível em: . Acesso em: 27/05/2018.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos da ciência geoinformação. INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais). São José dos Campos, 2001. Disponível em: . Acesso em: 25/05/2018.

CAMARGO, E. C. G. Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING). 1997. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: . Acesso: 18/05/2018.

CAMARGO, E. C. G; FUKS, S. D. (2001). Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G. Geoprocessamento: teoria e aplicações. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

Camargo, E.C.G.; Monteiro, A.M.V.; Felgueiras, C. A.; Fuks, S.D. Integração de Geoestatística e Sistemas de Informação Geográfica: Uma Necessidade. [CD-ROM]. In: V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina, 7, Salvador, 1999. Anais. Bahia, gisbrasil'99. Seção de Palestras Técnico-Científicas.

CARVALHO, Amanda Maria. MONITORAMENTO DA EXPOSIÇÃO PESSOAL AO POLUENTE ATMOSFÉRICO BLACK CARBON. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

CARVALHO, M.S. Aplicação de Métodos de Análise Espacial na Caracterização de Áreas de Risco à Saúde. Tese de Doutorado em Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ. (<http://www.procc.fiocruz.br/~marilia>), acessado em 21/05/2018. 1997.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, n.8, p.871–880, 2010.

CETESB_SP. Disponível em <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 15 fev 2018.

CIPOLI, Yago Alonso. Distribuição espacial de poluentes atmosféricos no centro de Curitiba (PR). Londrina: Utfpr – Câmpus Londrina, 2017.

CONTRERAS, Julián Felipe Segura. CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS FINAS EM ÔNIBUS DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO NO BRASIL. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

COSTA, Carlos Cezar Lobo da. METEOROLOGIA. Brasil: Universidade Federal do Paraná, 2006.

COWEN, D.J. *GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* v. 54, p. 1551-1554, 1988.

DAVIS, Mackenzie Leo *Introduction to environmental engineering 4th ed* Dubuque, IA: McGraw-Hill Companies, c2008. xvi, 1008 p., ill., 24 cm. Includes bibliographical references and index ISBN 0072424117.

DETRAN-PR Disponível em:
<<http://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/anuario/Anuario2014.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2018.

DETRAN-PR Disponível em:
<<http://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/anuario/Anuario2014.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2018.

Deutsch, C.V.; Journel, A. G. *GSLIB: Geostatistical Software Library and user's guide*. New York, Oxford University Press, 1992. 339p.

Deutsch, C.V.; Journel, A. G., 1992, *GSLIB: Geostatistical Software Library and user's guide*. Oxford University Press, New York, 339p.

FALIVENE, O.; CABRERA, L.; TOLOSANA DELGADO, R.; SÁEZ, A. *Interpolation algorithm ranking using cross-validation and the role of smoothing effect: a coal zone example*. *Computers and Geosciences*, v.36, p.512-519, 2010.

FELGUEIRAS, C. A. "Modelagem Numérica de Terreno". In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (eds.). "Geoprocessamento para Projetos Ambientais". São José dos Campos: INPE, 1998. cap. 4, p. 4-1 – 4-38.

Ferreira, F., Nogueira, L., Meireles, P., Mesquita, S., Almeida, C., Tente, J. Torres, P., 2003. *Diffusive sampling and monitoring stations to evaluate air quality in urban áreas*, In *Proceedings of the UAQ4 conference, Charles University Prague, Czech Republic, 25-28 March 2003*.

FITZ, Paulo R. *Geoprocessamento sem Complicação*. Ed: Oficina de Textos. São Paulo, 2008.

HANKEY, S.; MARSHALL, J.D. *On-bicycle exposure to particulate air pollution: Particle number, black carbon, PM 2,5 , and particle size*. *Atmospheric Environment*, v. 122, p.65-73, 2015.

IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 10 de fev . 2017.

JAKOB, A. A. E. & YOUNG, A. F. *Uso de Métodos de Interpolação Espacial de Dados nas Análises Sociodemográficas*. XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambú: ABEP, 2006.

JIMENEZ, K. Q.; DOMECCQ, F. M. *Estimação de chuva usando métodos de interpolação*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.16, 2008 [S.l].

LANDIM, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo: Editora UNESP, 1998.

Leite, MS, Galliez M, Queiroz TL, Mendonça PP, Fernandez FAS. 2016a. *Data from: Spatial ecology of the water opossum Chironectes minimus in Atlantic Forest streams. Movebank Data Repository. doi:10.5441/001/1.4rr97k10*
Lindley, S.J., Walsh T. 2005. *Inter-comparison of interpolated background nitrogen dioxide concentrations across. Greater Manchester, UK. Atmospheric Environment* 39 (2005) 2709- 2724.

LIMA, Caroline Hatada de. DETERMINAÇÃO DE MP2,5 E BLACK CARBON EM DECORRÊNCIA DA QUEIMA ILEGAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. 2018. 26 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

Lombardo, M. A. Qualidade ambiental e planejamento urbano: considerações de método. Tese de livre-docência. São Paulo : USP, 1995.

MAYER, H. Introduction: Innovation in the city and innovative cities. *Innovation*, v. 10, n. 2-3, p. 136-145, 2008.

MEDIDAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM UM AMBIENTE FECHADO. Boa Viagem, 24210-340, Niteroi, Rj, Brasil: Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, 2003.

Mesquita, S., Ferreira, F., Tente, H., Torres, P., 2004. *Using systematic diffusive sampling campaigns and geostatistics to map air pollution in Portugal. In Proceedings of the GEOENV2004. Centre for Hydrogeology, University of Neuchâtel, Switzerland, On October 13-15.*

MESQUITA, Sandra Maria Pereira. Modelação da Distribuição Espacial da Qualidade do Ar em Lisboa usando sistemas de informação Geográfica. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Sistema de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade de Nova Lisboa, Lisboa, 2009.

MICHAEL, R. & TRIVELONI, C. A. P. Uso de Inferência Estatística e Análise de Superfície de Tendência para Avaliação em Massa de Imóveis. UFSC – Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis/SC. COBRAC 2006 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - UFSC - Florianópolis - 15 a 19 de Outubro 2006.

Monteiro, A., Miranda, A.I., Borrego, C., Vautard, R., 2007. *Air quality assessment for Portugal, Science of Total Environment*. 373p (2007).

MOOSMÜLLER, H.; CHAKRABARTY, R.K.; ARNOTT, W.P. *Aerosol light absorption and its measurement: a review. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. v. 110, n° 11, p. 844-878, 2009.

NAMIKAWA, L. M.; FELGUEIRAS, C. A.; MURA, J. C.; ROSIM, S.; LOPES, E. S. S. Modelagem numérica de terreno e aplicações. INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais). São José dos Campos, 2003. Disponível em: .Acesso em: 28/05/2018.

NERIS, Fabiano Luiz. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. Projetos Ambientais. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2011.

PATTINSON, W.; LONGLEY, I.; KINGHAM, S. *Using mobile monitoring to visualise diurnal variation of traffic pollutants across two near-highway neighbourhoods. Atmospheric Environment*, v. 94, p. 782-792, 2014.

Pazini, D. L. G; Montanha, E P. Geoprocessamento no ensino fundamental: utilizando SIG no ensino de geografia para alunos de 5.a a 8.a série. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, anais, p. 1330.
PEBESMA, E. J. Gstat user's manual. Departamento de geografia física. Universidade de Utrecht University. Holanda, 1992. Disponível em: Acesso: 17/01/2011.

RIVAS, Ioar et al. *Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments. Atmospheric Environment*. [s.l.], p. 1-3. 04 maio 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231017302960>>. Acesso em: 20 maio 2018.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000. 220p

ROSA, Roberto. INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO. 2013. Elaborado por UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA INSTITUTO DE GEOGRAFIA LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO. Disponível em: <http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf>. Acesso em: 11 maio 2018.

ROTTA, Luiz Henrique da Silva. INFERÊNCIA ESPACIAL PARA MAPEAMENTO DE MACRÓFITAS SUBMERSAS – ESTUDO DE CASO. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - Sp, 2011.

S, Kaur; M.J., Nieuwenhuijsen; R.N., Colville. *Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments. Atmospheric Environment*. [s.l.], p. 1-4. 02 fev. 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007001343>>. Acesso em: 14 maio 2018.

SAAVEDRA, M. *Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes Centrales Peruanos: Valle del Río Mantaro. Revista Tecnia*, 19: 13- 22, 2009.

SILVEIRA, Thyago de Almeida; PORTUGAL, Jose Luiz; SÁ, Lucilene Antunes Correia Marques de. ANÁLISE ESTATÍSTICA ESPACIAL APLICADA A CONSTRUÇÃO DE SUPERFÍCIES BATIMÉTRICAS. Recife: Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Engenharia Cartográfica, 2014.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO -SBSR, 18., 2018, Goiânia - Go. Modelagem da dispersão atmosférica dos poluentes empregando o modelo de dispersão gaussiano. Santos - Sp: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -sbsr, Anais. Santos - Sp, 2017. 8 p. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2017/10.27.14.03.59>>. Acesso em: 15 maio 2018.

Tadano Y.S.;Mazza R.A.; Tomas E. MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (BRASIL) EMPREGANDO O ISCST3. Mecânica Computacional Vol XXIX, p 8125-8148, 2010.

TARGINO, A.C. et al. *Commuter exposure to black carbon particles on diesel buses, on bicycles and on foot: a case study in a Brazilian city. Environmental Science And Pollution Research*, v. 25, n. 2, p.1132-1146, 2017.

TARGINO, A.C. et al. *Deterioration of air quality across Sweden due to transboundary agricultural burning emissions*. 2013.

TARGINO, A.C. et al. *Hotspots of black carbon and PM 2.,5 in an urban area and relationships to traffic characteristics. Environmental Pollution*, v. 218, p.475-486, 2016.

TARGINO, A.C.; KRECL, P. *Local and regional contributions to black carbon aerosols in a mid-sized city in southern Brazil. Aerosol and Air Quality Research*, v. 16, n. 1, p. 125-137, 2016.

TARGINO, Admir et al. *Commuter exposure to black carbon particles on diesel buses, on bicycles and on foot: a case study in a Brazilian city. Environmental Science And Pollution Research. Berlin*, p. 1-3. 18 out. 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29079981>>. Acesso em: 21 maio 2018.

TRIVELONI, C. A. P. *Uso de Inferência Estatística e Análise de Superfície de Tendência para Avaliação em Massa de Imóveis*. UFSC – Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis/SC. COBRAC 2006 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - UFSC - Florianópolis - 15 a 19 de Outubro 2006.

VALLERO, D. *Fundamentals of Air Pollution*. Academic Press, p. 77-317,2007.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. *MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL*. Seropédica – Rj: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

VIEIRA, S.R. *Geoestatística aplicada à agricultura de precisão*. In: BOREM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. *Agricultura de Precisão*. Viçosa: Editora UFV, 2000. p.93-108.

VIRKKULA, A.; MÄKELÄ, T.; HILLAMO, R.; YLI-TUOMI, T.; HIRSIKKO, A.; HÄMERI, K.; KOPONEN, I.K. *A simple procedure for correcting loading effects of aethalometer data. Journal of the Air & Waste Management Association.* v. 57, n° 10, p. 1214-1222, 2007.

WAGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. *Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions, Journal Hydrometeorology,* 464–465, 388–400, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.07.026, 2012.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. *Geostatistics for environmental scientists. England: John Wiley & Sons,* 2007.

WEIBEL, R. & HELLER, M. "Digital Terrain Modelling". In: LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. (eds.). *"Geographic Information Systems and Science"*. 2nd ed. 1999. v. 1, cap. 19, p. 269- 297.

XAVIER DA SILVA, J. *Geoprocessamento para análise ambiental.* Rio de Janeiro: Ed. do autor, 2001. 227 p.