

AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE INUNDAÇÕES NO ABC PAULISTA – UMA ANÁLISE ENTRE 1993 E 2013

Leonardo Rossatto Queiroz¹,

¹ Doutorando em Ciências do Sistema Terrestre (INPE)

42

RESUMO

Esse artigo analisa a autocorrelação espacial entre inundações no ABC Paulista entre os anos de 1993 e 2013, com base em observações feitas pelo Instituto Geológico. A utilidade do mesmo é descrever a progressão dos eventos na região nesse período de tempo, com vistas a verificar mudanças tendenciais e a compreender como as inundações se agrupam em *hubs* dentro da região e de seus subdistritos.

Palavras-chave: ABC Paulista; autocorrelação espacial; eventos extremos; inundações.

INTRODUÇÃO

A Análise Espacial de Dados Geográficos é a ciência que insere o componente da localização nas informações produzidas, o que oferece um novo escopo de análise sobre essas informações. A espacialização dos dados permite compreender as possíveis correlações entre esses dados e as influências uns sobre os outros, bem como as influências dos dados sobre os próprios regimes espaciais, isto é, como os dados afetam a própria organização dos dados no espaço. Com isso, é capaz de contribuir para a elucidação de questões-chave em diversas áreas do conhecimento, com vantagens comparativas relevantes, como a mensuração visual dos fenômenos ou problemas abordados e o esforço para traduzir padrões existentes em objetivos mensuráveis.

O espaço é o elemento distintivo da análise espacial de dados geográficos de outras modalidades de análise de dados, não sendo apenas um componente a mais na análise, mas aquilo que estabelece a própria natureza dos dados. No espaço é possível conceber o agrupamento dos dados em pontos e em polígonos, por exemplo, e, à partir daí, analisar as relações entre esses dados.

Nesse contexto, os usos das técnicas de análise espacial de dados geográficos para a obtenção de informações sobre eventos relevantes para a sociedade são cada vez mais imprescindíveis. Esses usos abrangem diversas áreas: epidemiologia, desenvolvimento social, dependência econômica, redes e fluxos. E também eventos geodinâmicos.

Eventos geodinâmicos são eventos que têm potencial de causarem desastres de natureza hidrológica, meteorológica, geológica, climatológica ou geofísica (Nunes & Ferreira, 2015). Dentre esses eventos, os que fazem parte da alçada desse artigo são um tipo específico dentro dos eventos de natureza hidrológica: a inundação. E em uma região específica dentro da base de dados utilizada no trabalho: o ABC Paulista, que concentra boa parte dos casos de inundação dentro da base completa do Instituto Geológico.

Com a região definida, foi possível utilizar vários métodos para tentar inferir as relações de autocorrelação espacial em relação ao evento inundação e como elas evoluíram no decorrer do tempo.

1.1. Eventos Geodinâmicos Hidrológicos

Eventos geodinâmicos hidrológicos possuem como causas a ação de processos naturais que resultam em excesso de água no sistema afetado, sendo normalmente associados a extremos de cheias em áreas de várzea ou a problemas e limitações na drenagem urbana (MIGUEZ et. al., 2017)

1.2. A Base de Dados Utilizada

Para compreender o que está sendo considerado, nesse artigo, como evento geodinâmico hidrológico, é preciso reportar a base de dados que está sob análise, 1993 e 2013, o Instituto Geológico do Estado de São Paulo mapeou os eventos geodinâmicos em 50 municípios na Baixada Santista, Litoral Norte e Região Metropolitana de São Paulo, com exceção da capital (Figura 1). O cadastro de eventos foi feito com o objetivo de promover a incorporação de parâmetros e atributos da gestão de risco de desastres a eventos geodinâmicos nos planos estratégicos, gerenciais e operacionais do Setor de Logística e Transporte do governo, e também como instrumento de monitoramento do nível de implantação do Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e Redução de Riscos Geológicos do Estado de São Paulo.

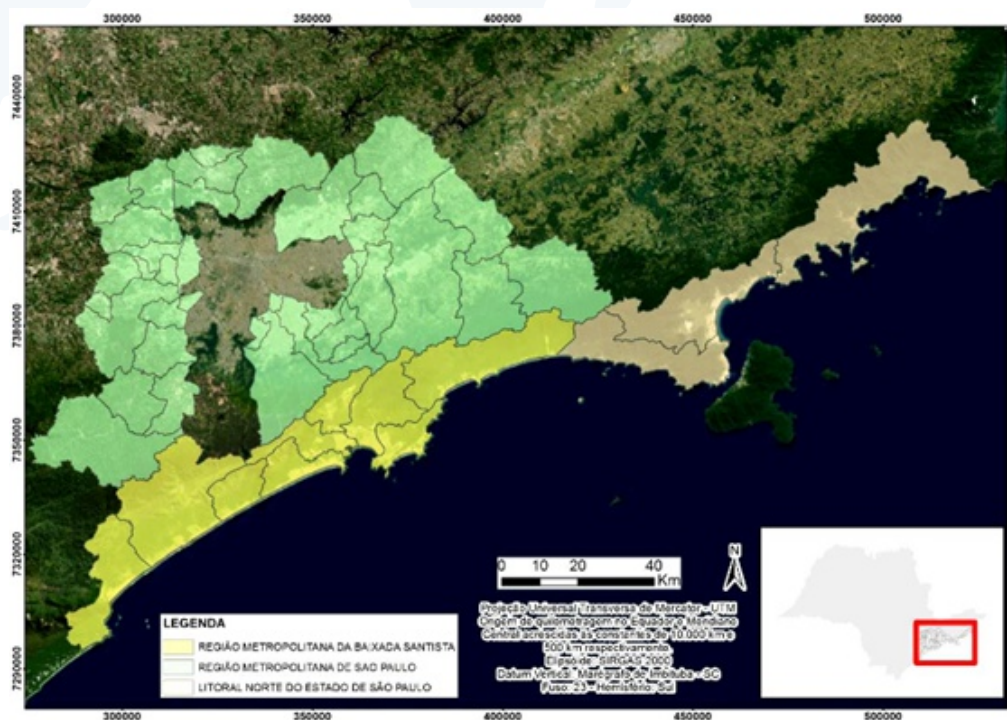
O Cadastro Georreferenciado de eventos geodinâmicos do Instituto Geológico foi construído em três etapas, através de diferentes fontes de dados. Essas etapas foram:

Etapas 1: coleta de notícias veiculadas na mídia impressa e eletrônica;

Etapas 2: junção das notícias com os dados obtidos em bancos de dados e/ou cadastros (formato digital ou não) disponíveis em instituições públicas e privadas, em particular de órgãos estaduais e municipais de defesa civil, operadoras e concessionárias das rodovias estaduais e federais; Incorporação de produtos de sensoriamento remoto de alta resolução.

Etapas 3: consolidação dos eventos reportados em um relatório final e a criação de um plano de informação para a divulgação da pesquisa e para a utilização da mesma para fins científicos.

Figura 1 – Mapa dos municípios que tiveram seus eventos geodinâmicos mapeados pelo Instituto Geológico entre 1993 e 2013.



Fonte: Instituto Geológico, 2015

Em relação à tipificação, o Instituto Geológico catalogou três diferentes tipos de evento: geológico (deslizamento, erosões), meteorológico (chuva intensa, vendaval, raio) e hidrológico (enchente, alagamento e inundação). Esses eventos foram tipificados de acordo com as descrições recebidas em cada reporte, de acordo com os critérios da Tabela 1.

Dentre os eventos geodinâmicos catalogados pelo Instituto Geológico, o interesse da pesquisa é por um evento de natureza hidrológica específico: a inundação. A definição de inundação em geral se confunde com a definição de enchente, por serem eventos normalmente correlacionados, mas, para a base de dados, a inundação é considerado o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal a ponto de ocorrer o transbordamento da água para as várzeas. Essas áreas além do leito do rio que são atingidas pela água são chamadas de planícies de inundação. (KOBİYAMA et. al., 2006). As inundações são provocadas por chuvas intensas e concentradas em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais escoam-se de forma rápida e intensa. (CASTRO, 2003).

O objetivo desse artigo é analisar a autocorrelação espacial nas ocorrências de inundação no ABC paulista entre 1993 e 2013.

Tabela 1: Correspondência entre os processos/fenômenos conforme descritos em notícias de jornais, arquivos e boletins de ocorrência (em linguagem coloquial) e os eventos geodinâmicos.

EVENTO GEODINÂMICO CORRESPONDENTE	TIPO DE EVENTO	DESCRIÇÃO DO FENÔMENO NA NOTÍCIA DE JORNAL OU BOLETIM DE OCORRÊNCIA
Deslizamento	geológico	Morro cedeu, encosta cedeu ou similar
Enchente	hidrológico	Cheia de rios, córregos e demais cursos hídricos
Alagamento	hidrológico	Problemas relacionados à drenagem urbana
Inundação em Geral	hidrológico	Transbordamento de cursos hídricos
Chuva Intensa	meteorológico	Fortes chuvas, queda de árvore ou muro em que as causas sejam somente as chuvas (sem qualquer outra especificação do evento), buracos agravados por chuvas
Vendaval	meteorológico	Fortes ventos
Raio	meteorológico	Pessoa ou estrutura atingida por raio ou relatos de tempestades de raios
Erosão	geológico	Buracos causados pelas chuvas, quando não está clara a distinção entre erosão e colapso/subsidência (em decorrência de vazamentos de galerias, por exemplo)

A Região Estudada

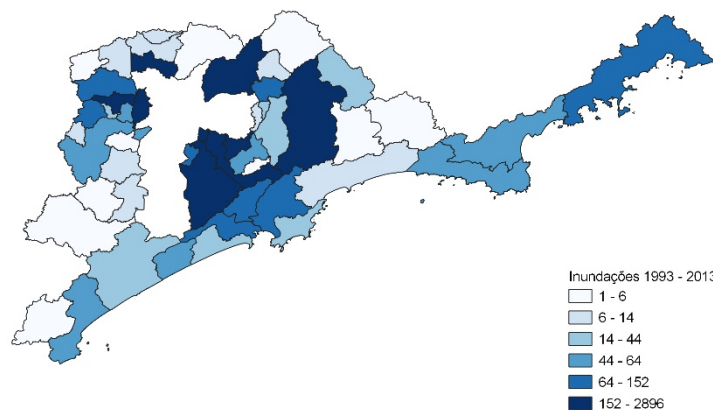
A recorrência das inundações na região tem trazido prejuízos econômicos, sociais e humanos em toda a Região Metropolitana de São Paulo e Baixada Santista. Os efeitos das inundações também são estimáveis e muito consideráveis nos municípios ao redor da cidade de São Paulo, sendo maiores nas cidades com produção industrial e coeficiente de renda mais relacionados à capital, como é o caso do ABC Paulista (HADDAD e TEIXEIRA, 2015). Essa recorrência, que justifica o estudo, pode ser comprovada pelos mapas à seguir, relativos ao período entre 1993 e 2013 (Figura 2).

Além do mapa, também é possível observar, pela análise do Índice Local de Moran (Figura 3 e Figura 4), que há significância em considerar o regime espacial diferenciado em relação ao restante da área da pesquisa, o que torna o ABC Paulista especialmente relevante para uma análise de autocorrelação espacial sobre a questão da inundação. Esse dado é corroborado pela hidrologia da região: o rio Tamanduateí, afluente do rio Tietê, é o principal

curso de água da área urbana do ABC Paulista, com uma extensão de 35 km, e uma área de drenagem de 320 km². Este rio percorre os municípios de Mauá, Santo André e São Caetano do Sul e deságua no rio Tietê, na cidade de São Paulo. A nascente do Tamanduateí encontra-se no Parque Ecológico Gruta Santa Luzia no município de Mauá (RAMALHO, 2007).

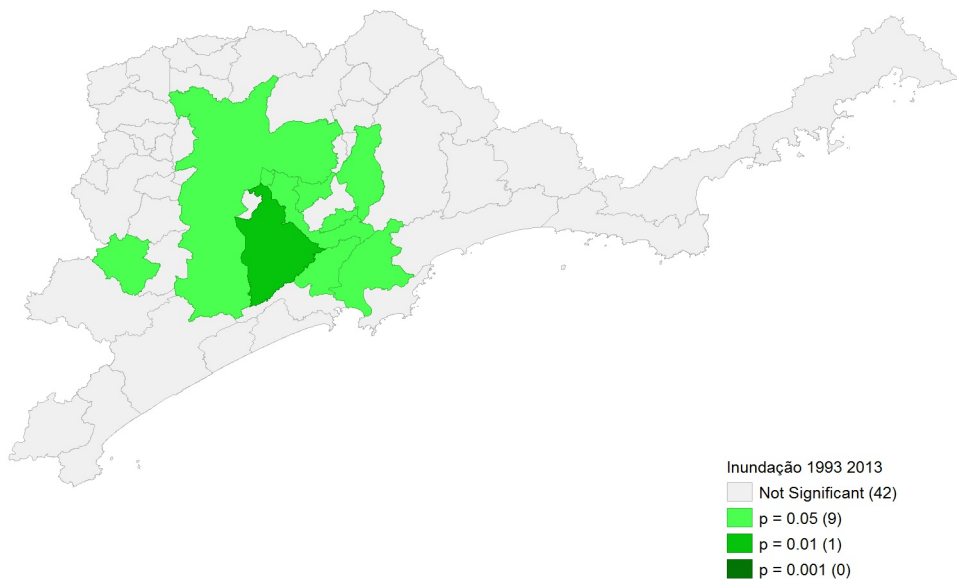
Figura 2 – Mapa de ocorrência de inundações por município na região Metropolitana de SP, Baixada Santista e Litoral Norte entre 1993 e 2013

Ocorrência de Inundações entre 1993 e 2013



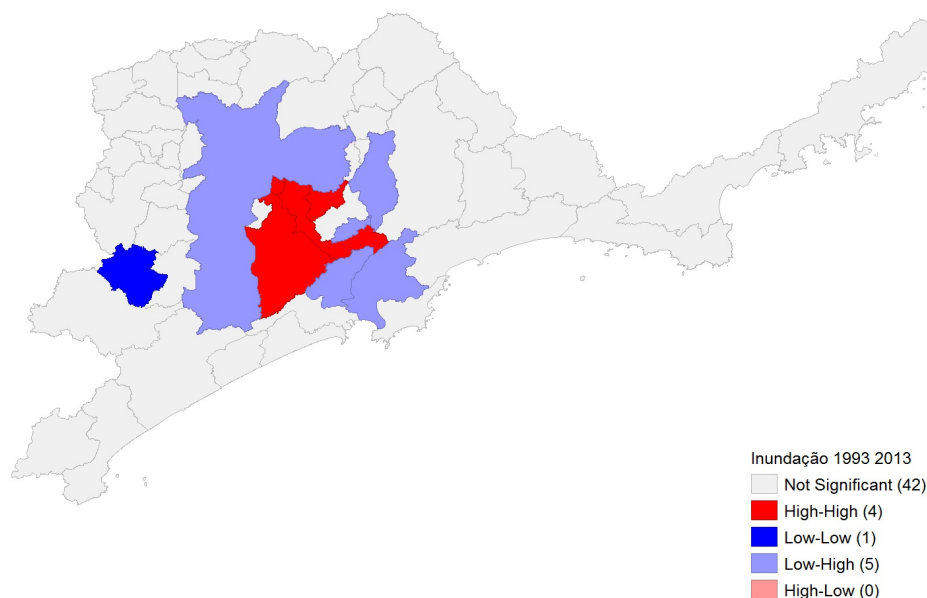
Fonte: Autor

Figura 3 – Teste de significância de inundações por município na região Metropolitana de SP, Baixada Santista e Litoral Norte entre 1993 e 2013 de acordo com o Índice Local de Moran



Fonte: Autor

Figura 4 – Teste de autocorrelação de inundações por município na região Metropolitana de SP, Baixada Santista e Litoral Norte entre 1993 e 2013 de acordo com o Índice Local de Moran



Fonte: Autor

Com todos esses dados, é perceptível a gravidade da questão das inundações no ABC Paulista. A própria base de estudo corrobora essa análise, mostrando que a região merece atenção especial em análises sobre o tema.

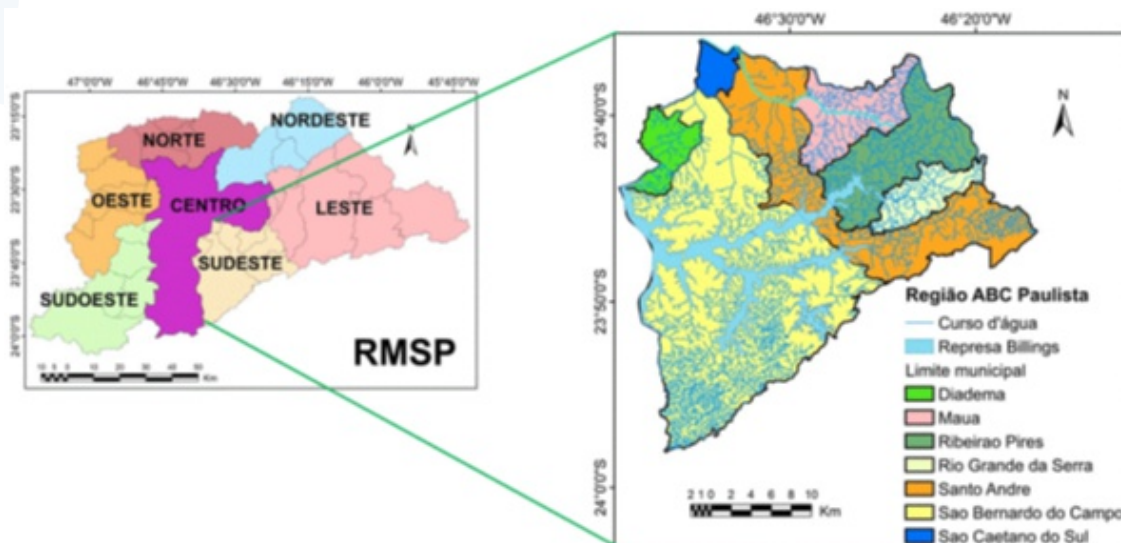
O ABC Paulista fica no Sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (Figura 5), e é composta por sete municípios (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Mauá, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra). A localização da região, entre a Serra do Mar e a capital paulista, proporciona um cenário distinto da capital em relação aos fenômenos hidrológicos, com uma grande quantidade de cursos d'água, proporcionando uma recorrência acima da média em inundações. (FERNANDES, 2017; VALVERDE, 2018).

Essa percepção de que o ABC é uma região vulnerável às inundações é tão forte que o termo “Enchente ABC” foi tão pesquisado quanto o termo “Enchente São Paulo” entre julho de 2018 e junho de 2019 (Figura 6), com destaque para as épocas de maior precipitação (de janeiro a março de 2019, em especial). O mapa de áreas urbanizadas no ABC Paulista (VALVERDE & DE PAIVA JUNIOR, 2018) mostra as regiões com maior densidade populacional da região (Figura 6).

É necessário esclarecer que esse é mais um indício da confusão da população entre os termos enchente e inundação: para a população e para a imprensa, praticamente todo evento geodinâmico de natureza hidrológica é tratado como “enchente”, enquanto cientificamente grande parte dos eventos são inundações. De acordo com Goerl e Kobiyama, “Quando as

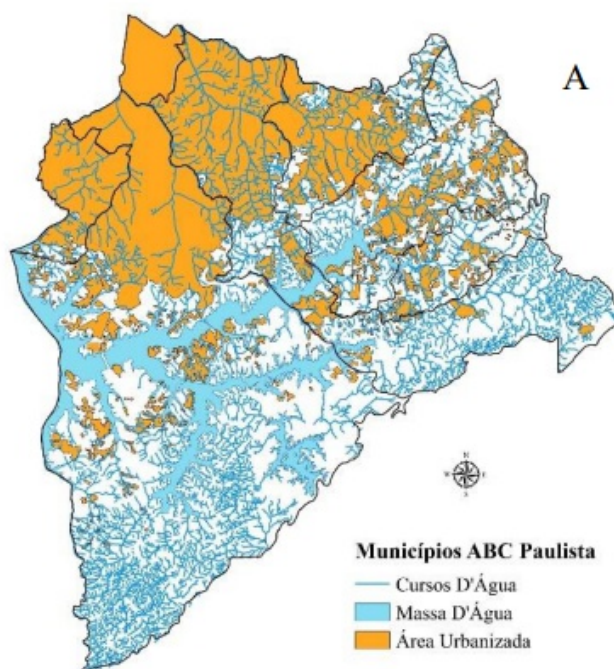
águas do rio elevam-se até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação” (GOERL & KOBİYAMA, 2005).

Figura 5 – Mapa da localização da Região do ABC Paulista na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua rede hidrográfica Tamanduateí- Billings



Fonte: Valverde, 2018

Figura 6 – Mapa das áreas urbanizadas e dos cursos de água da Região do ABC Paulista na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)

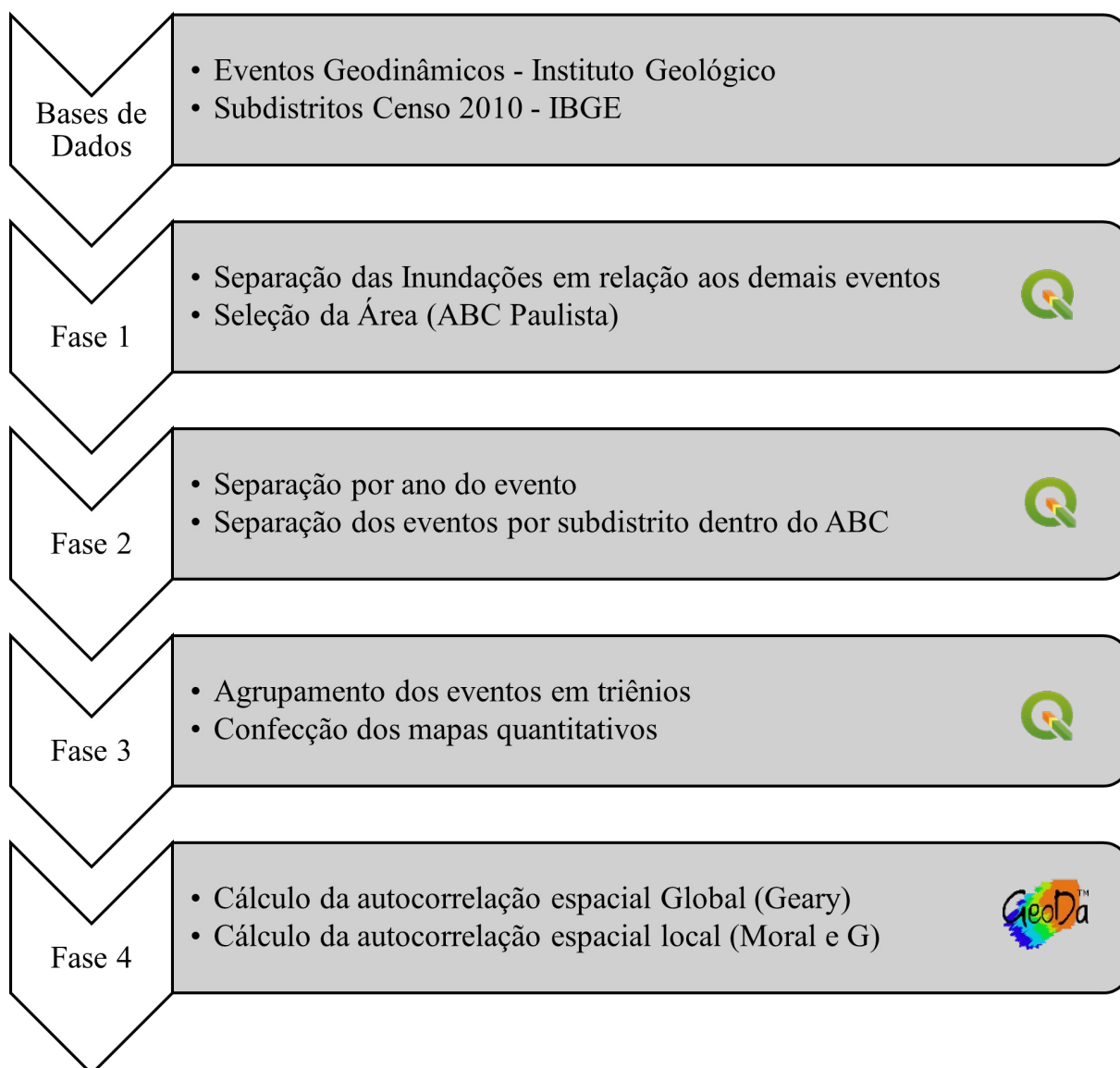


Fonte: Valverde e De Paiva Junior, 2017

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a confecção do trabalho, além da base de dados do Instituto geológico, também foi utilizado o mapa de subdistrito do Censo 2010 do IBGE, para aumentar a quantidade de polígonos no modelo e assim oferecer relações mais confiáveis de autocorrelação espacial. No entanto, esse aumento não foi muito proveitoso, uma vez que a divisão do IBGE estabeleceu a existência de apenas 12 subdistritos na região do ABC Paulista, o que limitou a significância dos dados.

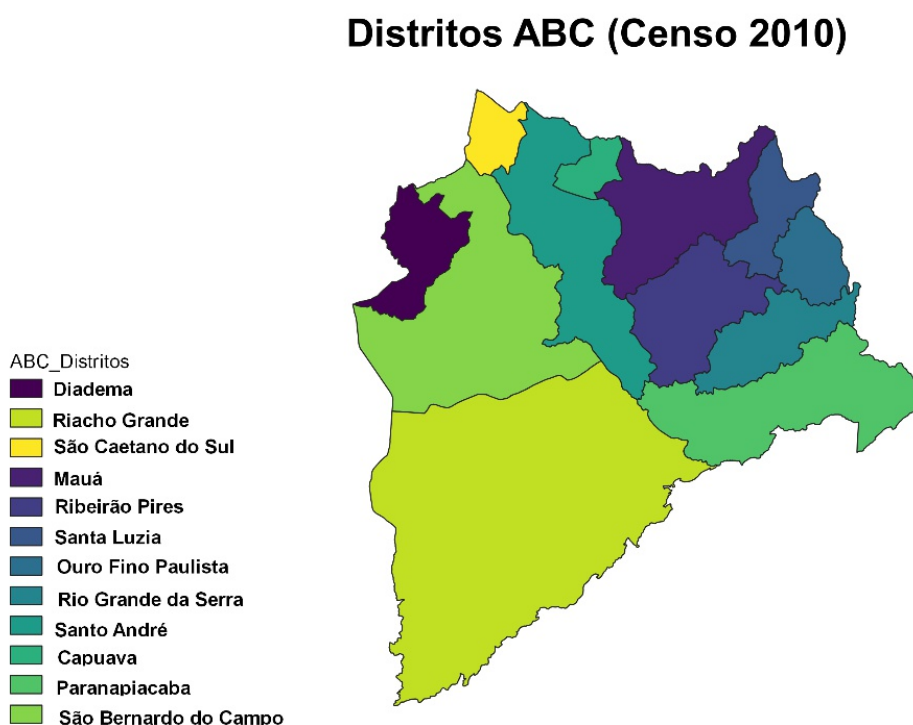
Fluxograma 1: passos do trabalho



Fonte: Autor

Com essas limitações, foi estabelecida a área escolhida: o ABC Paulista, dividido em 12 subdistritos: Santo André, Capuava, Paranapiacaba, São Bernardo do Campo, Riacho Grande, São Caetano do Sul, Mauá, Diadema, Ribeirão Pires, Santa Luzia, Ouro Fino Paulista e Rio Grande da Serra. (Figura 7).

Figura 7 – Mapa de subdistritos do ABC



Fonte: Autor

Dentro da base de dados utilizada, só um fenômeno é estudado: inundação em geral, de natureza hidrológica. O modelo de dados utilizado foi o EPSG: 5880 - SIRGAS 2000 / Brazil Polyconic – Projetado.

Para melhor detecção dos efeitos de vizinhança, a matriz de vizinhança foi a Queen, também chamada de Moore, que tem melhor efeito na maximização dos efeitos de vizinhança.

O mapa de eventos de inundação é um mapa de pontos. Foi feita a separação do mapa de inundações em bases anuais, e, em seguida, foi feita a contagem de pontos por subdistrito em cada um dos sete triênios analisados (1993-1995, 1996-1998, 1999-2001, 2002-2004, 2005-2007, 2008-2010 e 2011 – 2013)

A contagem de pontos fez com que o mapa de pontos se transformasse em um mapa de polígonos, em que as informações estão dentro de cada polígono (o subdistrito).

A partir daí, foi possível calcular a correlação entre os subdistritos em relação ao tema da inundação. Para calcular a autocorrelação global, foi utilizada a mensuração do índice C de Geary, que se assemelha ao variograma do modelo. Para calcular a autocorrelação local, foram utilizadas duas técnicas: a mensuração do Índice Local de Moran, para identificação dos polígonos de alta e baixa incidência e das relações espaciais com os vizinhos. Também foi utilizada a mensuração o índice G, que é melhor que o índice local de Moran na identificação de clusters de alta ou baixa incidência dos eventos.

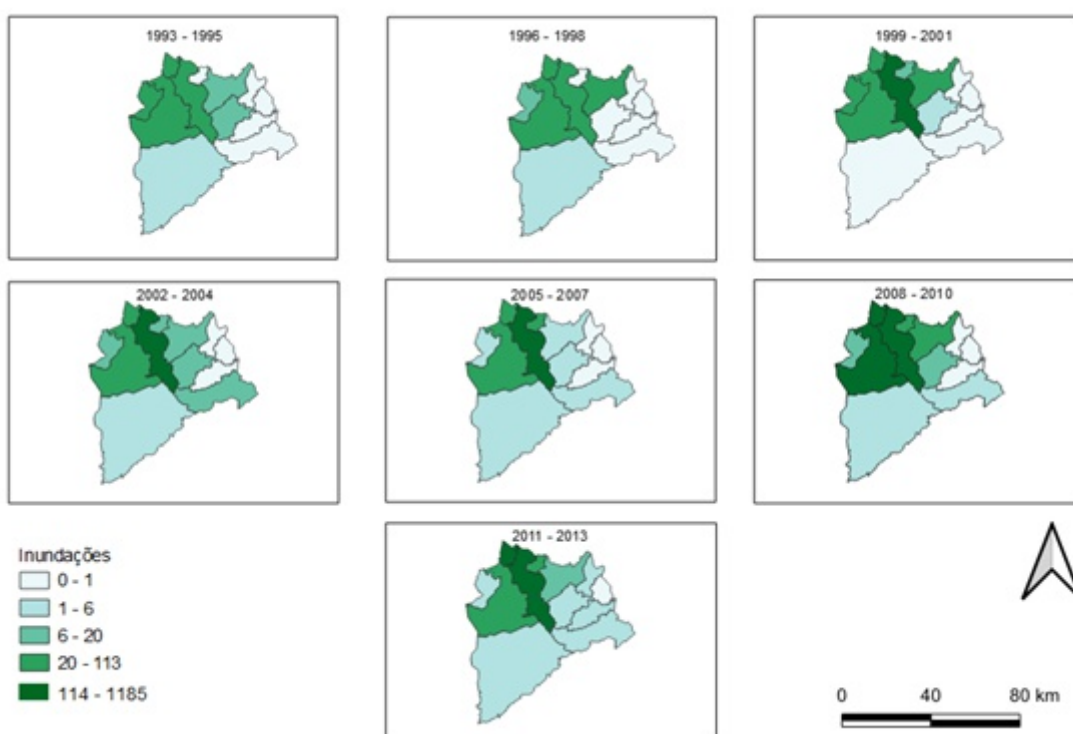
Também foi feito um mapa com a quantidade total de eventos por triênio, para comparação dos resultados absolutos com as relações espaciais.

3. RESULTADOS

3.1. Análise Inicial - Dados quantitativos de Inundações

Para a compreensão do contexto, é necessário expor os dados de inundações na região do ABC paulista captados pela base do Instituto Geológico nesses 21 anos. Esses dados ficam explícitos na Figura 8, que mostra como Santo André passou a centralizar boa parte das inundações da região a partir de 2002:

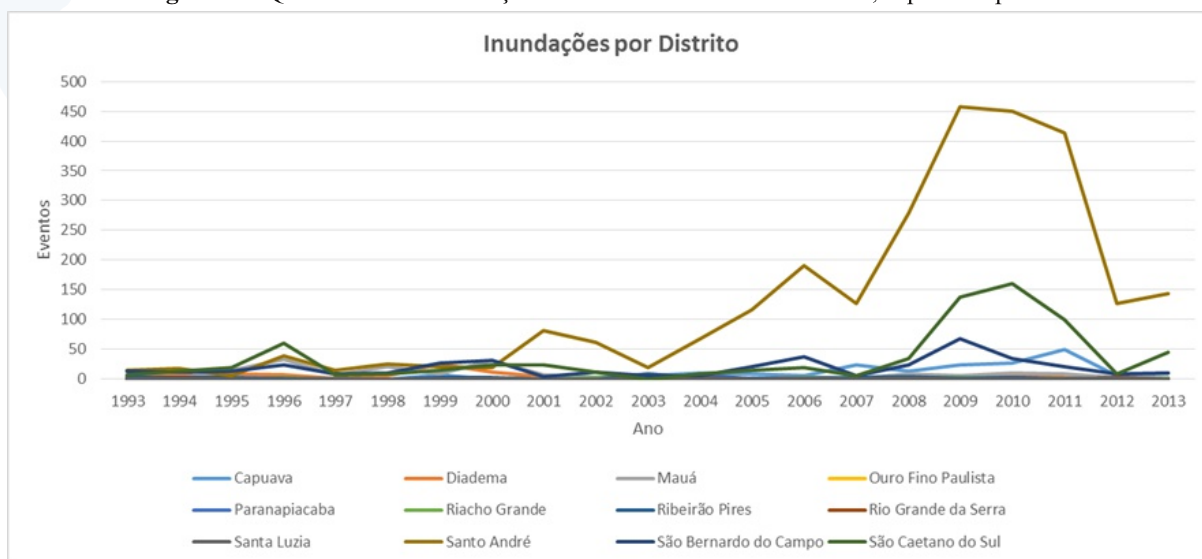
Figura 8 – Mapas quantitativos de inundações no ABC Paulista 1993 e 2013, separados por triênio



Fonte: Autor

Também é possível vislumbrar o mesmo dado em gráfico, com dados anuais. É possível ver como Santo André se destaca na quantidade de inundações à partir do início dos anos 2000 (e São Caetano do Sul também), como é possível verificar na Figura 9:

Figura 9 – Quantidade de inundações no ABC Paulista 1993 e 2013, separadas por ano.



Fonte: Autor

Os dados desses gráficos também podem ser conferidos em números. Santo André, com 2.684 inundações, está muito à frente dos demais distritos da região na ocorrência de inundações (o segundo distrito com maior ocorrência é São Caetano do Sul, com 722 inundações).

Tabela 2 – Quantidade de inundações no ABC Paulista 1993 e 2013, separadas por ano.

Subdistrito/Ano	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
Capuava	0	0	0	0	0	0	7	0	5	3	5	10	8	5	23	13	23	26	50	5	10	193
Diadema	6	6	9	7	1	5	25	12	4	0	0	6	1	3	0	3	4	8	3	1	0	104
Mauá	1	1	14	33	7	21	8	31	7	2	9	3	0	2	1	8	6	10	9	2	3	178
Ouro Fino Paulista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Paranapiacaba	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	8	0	2	1	0	0	2	1	1	0	19
Riacho Grande	0	2	0	2	0	0	0	0	0	3	0	1	0	2	1	2	2	1	1	0	1	18
Ribeirão Pires	2	2	3	1	0	0	2	3	0	0	8	3	1	1	2	4	1	2	0	3	0	38
Rio Grande da Serra	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3	0	6
Santa Luzia	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	7
Santo André	14	17	5	39	14	25	20	19	81	61	19	67	116	191	127	278	457	450	414	127	143	2684
São Bernardo do Campo	13	12	13	23	9	10	27	31	4	11	5	6	21	37	6	24	67	35	21	8	10	393
São Caetano do Sul	7	13	19	60	7	8	15	24	24	12	0	9	14	19	5	35	137	160	100	9	45	722
Total	43	54	63	165	39	69	105	121	125	95	46	116	161	263	166	369	697	694	600	160	212	4363

Fonte: Autor

Algo notório em relação aos dados quantitativos é o fato de que todos os distritos que tiveram mais de cem inundações relatadas entre 1993 e 2013 (Capuava, Diadema, Mauá, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) são predominantemente

urbanos, enquanto todos os distritos que tiveram menos de cem eventos de inundação entre 1993 e 2013 (Ouro Fino Paulista, Paranapiacaba, Riacho Grande, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e Santa Luzia) são predominantemente rurais. Para complementar a análise, no entanto, é preciso verificar os dados de autocorrelação espacial global e local na região.

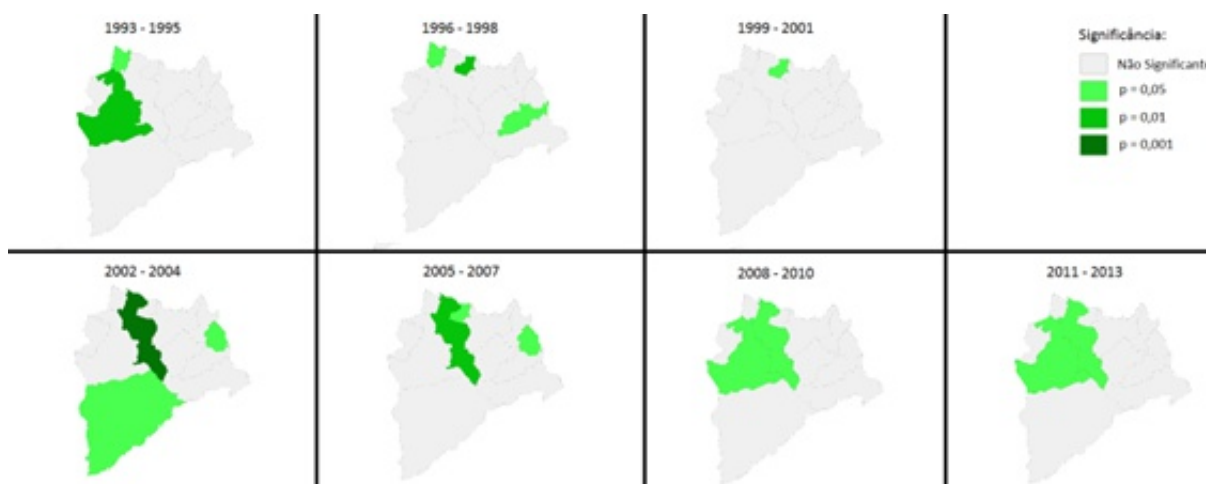
3.2. Autocorrelação Espacial Global – Geary

O teste de autocorrelação espacial global baseado no índice C de Geary parte do princípio de que “quando existir não-estacionariedade de primeira ordem (tendência), os vizinhos tenderão a ter valores mais parecidos que áreas distantes, pois cada valor é comparado à média global, inflacionando o índice. Da mesma forma, se a variância não é constante, nos locais de maior variância o índice será mais baixo, e vice-versa. Quando o dado é não-estacionário, a função de autocorrelação continua decaindo mesmo após ultrapassar a distância onde há influências locais.” (DRUCK et. al., 2004). Para análise dos dados, é feito um teste de significância por triênio acompanhado de um teste de autocorrelação espacial por triênio, para análise das variações no período.

3.3. Teste de Significância

A figura 10 mostra o teste de significância do Índice C de Geary para os sete períodos analisados. É possível notar um predomínio de significâncias mais baixas ($p = 0,05$), bem como a mudança das áreas com significância no decorrer do tempo. Santo André esteve entre as áreas com significância nos quatro últimos triênios da análise, e São Bernardo do Campo nos dois últimos triênios.

Figura 10 – Mapas de Testes de Significância entre 1993 e 2013 – Índice C de Geary.

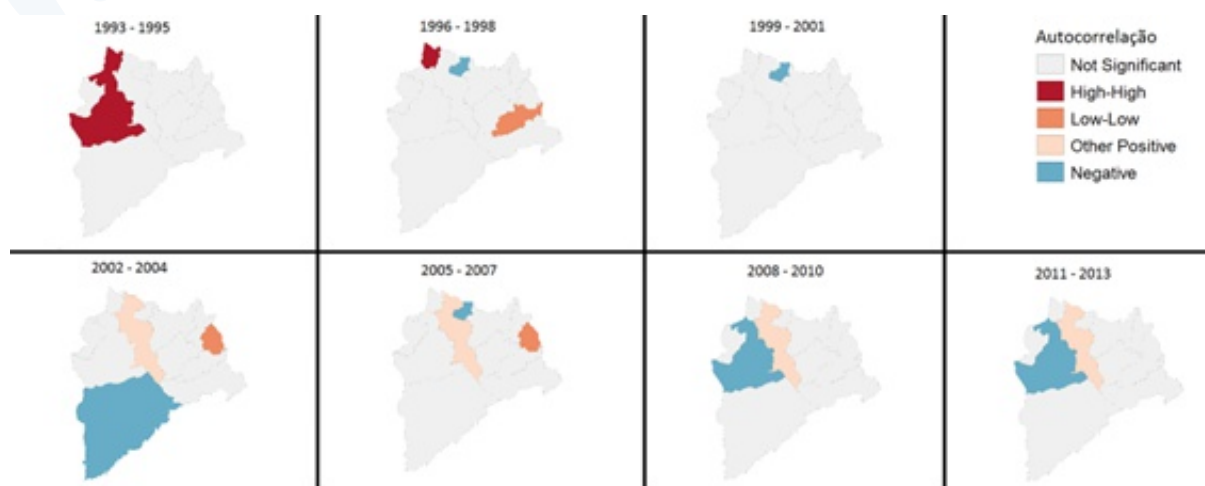


Fonte: Autor

3.3. Autocorrelação Espacial - Geary

A figura 11, por sua vez, mostra uma concentração de autocorrelações positivas em torno de Santo André a partir de 2002, o que confere um papel de centralidade ao distrito em questão. Os demais subdistritos acabam tendo suas significâncias mensuradas em torno da significância de Santo André no período.

Figura 11 – Mapas de Autocorrelação Espacial Global entre 1993 e 2013 – Índice C de Geary.



Fonte: Autor

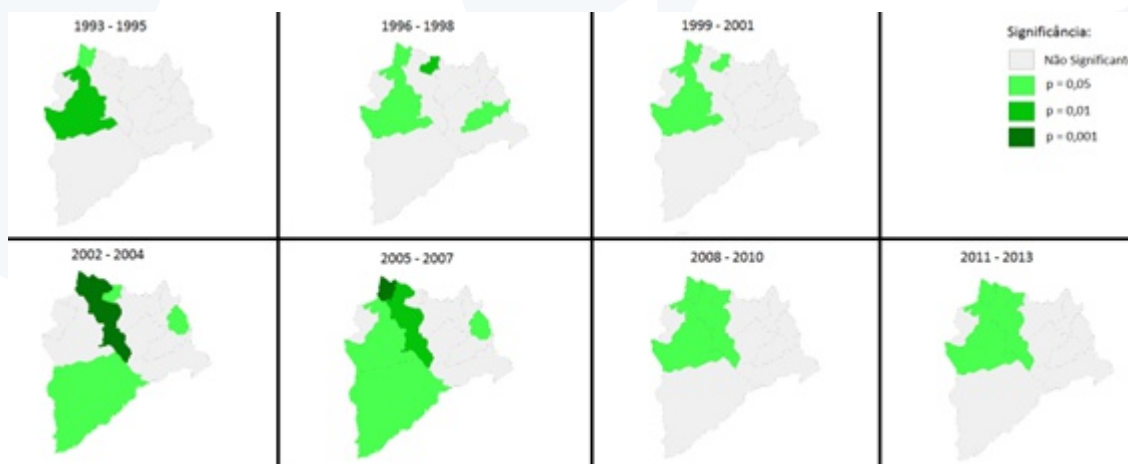
3.4. Autocorrelação Espacial Local

A ideia de uma autocorrelação espacial local, além da autocorrelação espacial global, foi desenvolvida por Anselin (1995) como uma forma de tentar detectar os diferentes regimes espaciais presentes na análise de um fenômeno descrito por áreas. Para isso, Anselin desenvolveu o Índice Local de Moran, que tenta captar essas diferenças de regimes espaciais em âmbito local. O Índice Local de Moran avalia a covariância entre um polígono e sua vizinhança definida em função de uma distância euclidiana. Nesse sentido, é uma ferramenta estatística que possibilita uma indicação sobre a extensão da significância de um “cluster” de iguais valores. Nesse trabalho em específico, além do Índice Local de Moran, foi utilizado o Índice G Local, que funciona melhor que o Índice Local de Moran para a detecção de picos de alta e baixa incidência dos fenômenos, sendo melhor para a identificação de clusters.

3.5. Teste de Significância – Índice de Moran Local

No teste de significância do Índice de Moran local, à exemplo do que ocorreu no teste de significância da autocorrelação global de Geary, é possível detectar a predominância de baixas significâncias de análise ($p = 0,05$). No entanto, o papel de Santo André como centralizador das autocorrelações a partir de 2002 também fica claro pelo índice, como é possível ver na figura 12:

Figura 12 – Mapas de Testes de Significância entre 1993 e 2013 – Índice Local de Moran.

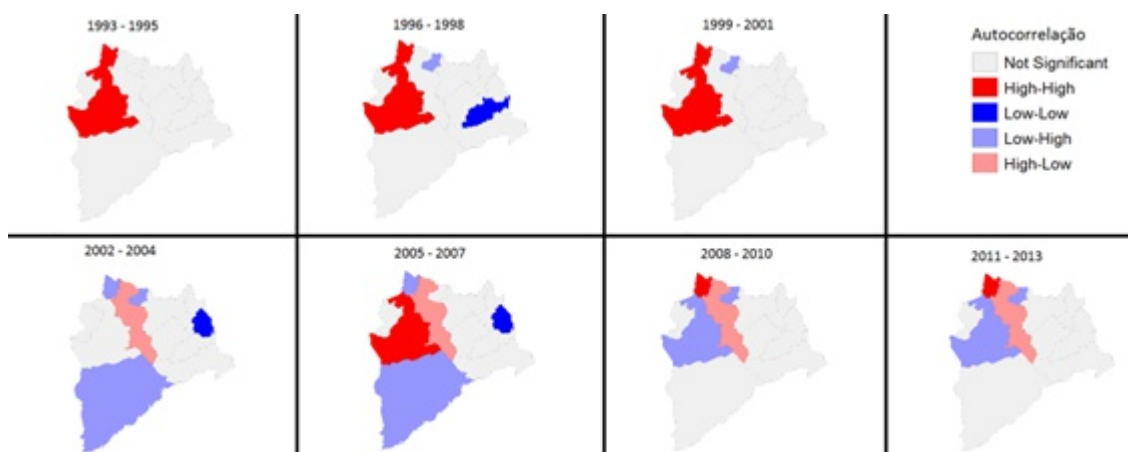


Fonte: Autor

3.6. Autocorrelação Espacial – Índice de Moran Local

Na figura 13, é possível ver a variação da autocorrelação espacial local no decorrer do tempo, com a emergência de Santo André como polo high low a partir de 2002. Essa emergência fez com que os demais subdistritos tivessem autocorrelações espaciais significantes com Santo André, seja como polo high high (São Caetano) ou como polo low high (São Bernardo do Campo e Capuava).

Figura 13 – Mapas de Testes de Significância entre 1993 e 2013 – Índice Local de Moran.



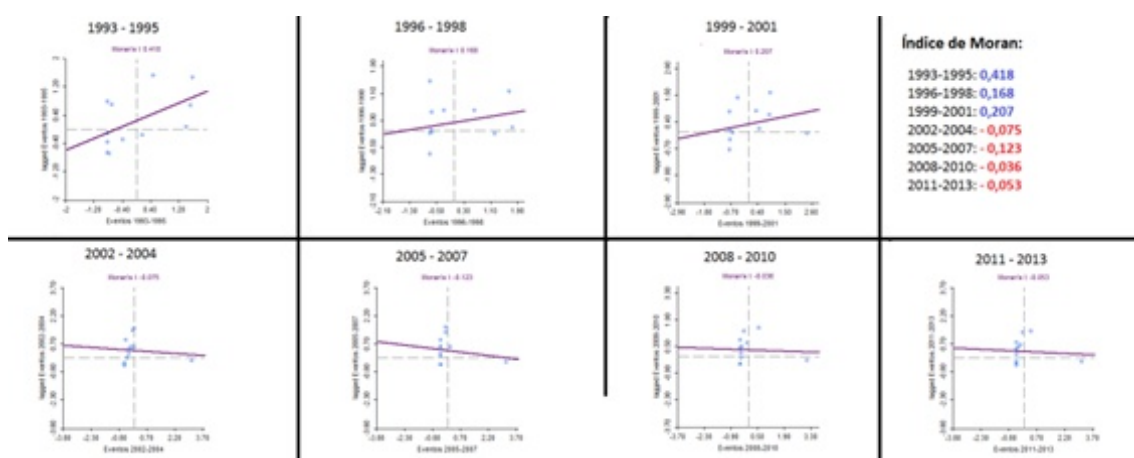
Fonte: Autor

3.7. Diagrama de Espalhamento

O diagrama de espalhamento é especialmente elucidativo nesse caso. À partir do momento em que Santo André se torna um hub de inundações, em 2002, a autocorrelação espacial local se inverte: o índice de Moran, que era positivo até então, se torna negativo. Isso quer dizer

que a diferença de valores entre polígonos contíguos passou a ser maior que a semelhança de valores, o que é uma situação típica de um cenário onde um dos polígonos tem uma quantidade de eventos muito superior às demais (como ocorre, de fato, à partir de 2002). Essa inversão no Índice de Moran mostra o tamanho do efeito de uma área central em um modelo com poucos polígonos. Como essa área tem muitos vizinhos, o local pode facilmente se confundir com o global. É possível verificar essa inversão na figura 14:

Figura 14 – Diagramas de Espalhamento do período entre 1993 e 2013 – Índice Local de Moran.



Fonte: Autor

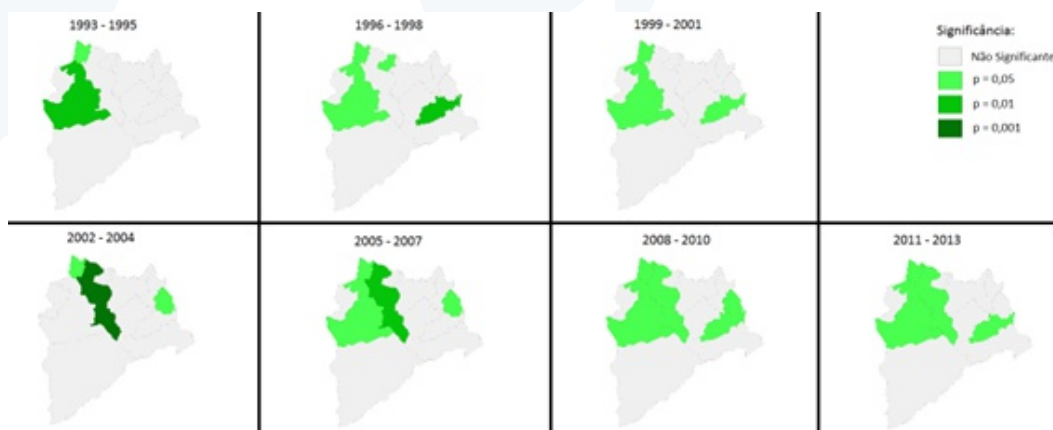
3.8. Autocorrelação Espacial Local – G

A autocorrelação espacial local G e G^* é uma ferramenta estatística apresentada por Getis e Ord como um indicador de associação espacial local. A estatística G tem similaridades com o índice local de Moran, mas as informações apontadas por Moran e pela estatística de Getis e Ord são conceitualmente diferentes. Enquanto o Índice Local de Moran é baseado na análise das covariância entre áreas contíguas, o Índice G pode ser definido como uma somatória de valores vizinhos definidos a partir de uma matriz de vizinhança conhecida. (Getis & Ord, 1992).

3.9. Teste de Significância – Índice G Local

A análise do teste de significância do índice G local mostra mais uma vez a predominância de valores de baixa significância ($p = 0,05$). É possível, também, ver, assim como nas demais análises, a mudança do padrão espacial a partir de 2002, quando Santo André começa a ter uma quantidade de inundações muito maior que os demais distritos. A diferença do índice G local para os demais índices é a emergência de um hub de significância entre Ouro Fino Paulista e Rio Grande da Serra, o que demonstra a capacidade da ferramenta de análise em identificar clusters. É possível ver as significâncias a partir da figura 15.

Figura 15 – Mapas de Testes de Significância entre 1993 e 2013 – Índice G Local.

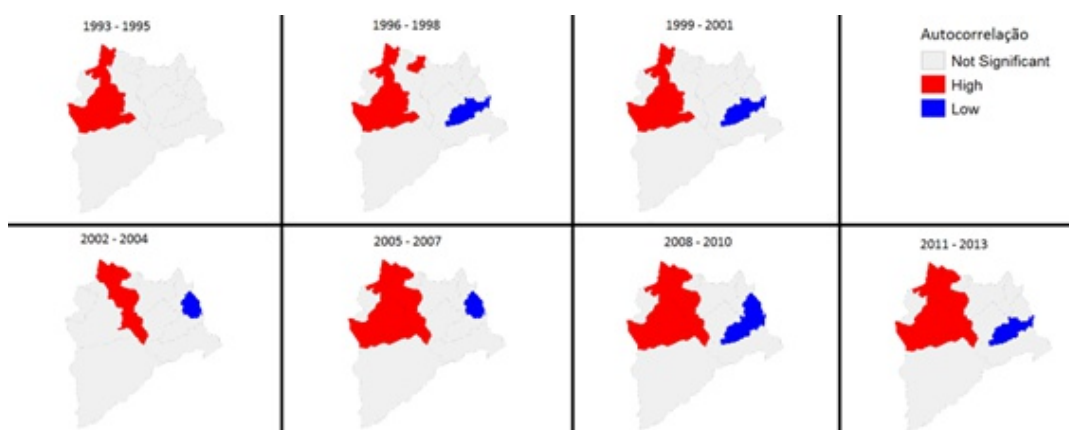


Fonte: Autor

3.10. Autocorrelação Espacial Local – G

A sequência de mapas de autocorrelação espacial (Figura 16) mostra com maior clareza a presença de dois clusters: um de alta ocorrência de inundações, entre Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul, e um de baixa ocorrência de inundações, entre Rio Grande da Serra e Ouro Fino Paulista. Isso mostra com mais clareza como o índice G capta melhor os extremos altos e baixos dentro de uma região, identificando a clusterização com precisão.

Figura 16 – Mapas de Autocorrelação Espacial Global entre 1993 e 2013 – Índice G Local.



Fonte: Autor

Também é preciso ressaltar certa similaridade entre os dados de autocorrelação local no comparativo entre o Índice de Moran Local e o Índice G Local, especialmente nas correlações positivas (high-high, no caso do Moran Local, e High, no caso do G Local), reafirmando o papel de Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul como centralizadores de inundações na escala regional.

DISCUSSÃO

As diferentes análises oferecem pontos de vista complementares sobre o mesmo fenômeno, o da autocorrelação espacial nas inundações registradas na região do ABC Paulista, e os dados quantitativos corroboram a extensão do fenômeno.

O cálculo do índice de Geary mostra que, a partir de 2002, Santo André surge como outlier, isto é, como sendo responsável por grande parte das inundações da região e estabelecendo uma diferença de valores persistente com os demais subdistritos.

O índice local de Moran, por sua vez, mostra o mesmo fenômeno: a autocorrelação espacial registrada até 2001 era entre os distritos de São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul, e passou a ser dependente de Santo André nos triênios seguintes. O aumento das inundações em Santo André proporcionou a inversão do diagrama de espalhamento de Moran, que deixou de ter valores positivos e passou a ter valores negativos. Essa inversão demanda estudos adicionais.

O índice G local, por sua vez, mostrou de forma mais clusterizada essa mudança de perfil, destacando com clareza a consolidação de um cluster com alta ocorrência de inundações (Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) e um cluster com baixa ocorrência de inundações (Rio Grande da Serra e Ouro Fino Paulista)

A quantidade de inundações por ano e o aumento expressivo do registro de inundações à partir dos anos 2000 é coerente com as mensurações globais (Geary) e locais (Moran e G), que identificaram com clareza o surgimento de um cluster espacial onde se concentram a grande maioria das inundações da região. A pouca quantidade de subdistritos da amostra, por sua vez, teve impacto no valor de significância da amostra, mas não impediu a detecção dos clusters e outliers.

Essas análises vão de encontro aos resultados de outras análises, como a de Valverde (VALVERDE, 2017), que identifica um grau relevante de interdependência entre a vulnerabilidade climática e socioeconômica no ABC paulista. O fato de que os hubs de inundações estão nas principais áreas urbanas da região (Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) sugerem que a região do ABC Paulista sofre com a excessiva impermeabilização de áreas contíguas aos leitos dos rios e córregos que atravessam áreas urbanas de alta densidade demográfica. Isso é corroborado pelo fato de que as áreas mais sujeitas a inundações no ABC paulistas são as mesmas que aparecem em laranja na figura 6 como áreas urbanizadas (VALVERDE & DE PAIVA JUNIOR, 2017)

A análise de Hossaki et. al. (HOSSAKI et. al., 2022) mostra, por sua vez, a importância do Rio Tamanduateí como centralizador dos eventos de inundação na região do ABC Paulista e

na Zona Leste de São Paulo. A percepção de Santo André e São Caetano do Sul como centralidades em relação às inundações no ABC paulista corroboram a análise do autor em questão e sugerem que o principal elemento centralizador de eventos de inundações no ABC Paulista pode ser o próprio Rio Tamanduateí e seus afluentes.

CONCLUSÕES

A variação de cenário sugere que mudanças importantes no uso e na ocupação do solo ocorreram na região do ABC Paulista, especialmente nos distritos de Santo André e São Caetano do Sul. Estudos futuros poderão analisar essas mudanças no uso do solo e identificar outros fatores que explicam o aumento de inundações em Santo André nesse período, proporcionando uma maior impermeabilização das planícies de inundação da Bacia do Rio Tamanduateí e facilitando o aumento expressivo de inundações nessas áreas, que se tornaram mais vulneráveis a esses eventos geodinâmicos.

Para estudos futuros, uma sugestão é a utilização de modelos digitais de elevação para verificar quais regiões no ABC Paulista estão mais sujeitas a esse tipo de fenômeno, bem como verificar as ações das prefeituras e das demais institucionalidades da região para mitigar esses eventos. Do ponto de vista da Análise Espacial, é preciso verificar se existem bases de dados mais recentes para estudar eventuais mudanças na autocorrelação espacial das inundações no ABC Paulista.

Finalmente, esse trabalho contribui para corroborar a hipótese de que a centralidade espacial das inundações na região do ABC Paulista se encontra em torno do Rio Tamanduateí e de sua bacia, especialmente em locais mais distantes da nascente do rio e com maior densidade urbana e impermeabilização do solo, o que ajuda a explicar os papéis centrais dos distritos de Santo André e de São Caetano do Sul nas inundações ocorridas no ABC Paulista entre 1993 e 2013.

REFERÊNCIAS

- ANSELIN, L., Local Indicators of Spatial Association – LISA. In: *Geographical Analysis*, Vol. 27, No. 2 (April 1995)
- BACK, Adalberto Gregório, **Urbanização, planejamento e mudanças climáticas: desafios da capital paulista e da Região Metropolitana de São Paulo**, São Carlos : UFSCar, 2016
- CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004
- FERNANDES, Rafael Amorim; VALVERDE, María Cleofé. Análise da resiliência aos extremos climáticos de chuva: Estudo preliminar na região de Mauá no ABC Paulista–São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 44, p. 1-17, 2017
- HADDAD, Eduardo Amaral; TEIXEIRA, Eliane. Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, v. 45, p. 106-113, 2015.
- GETIS, A. & ORD, J. K., The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. In: *Geographical Analysis*, Vol. 24, No. 3 (July 1992)
- GOERL, Roberto Fabris; KOBIYAMA, Masato. Considerações sobre as inundações no Brasil. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2005.
- HOSSAKI, Vitor Y. et al. Rain-related Tweets in flooding days: a brief analysis on Tamanduateí river basin. In: *Proceedings of the Brazilian Symposium on GeoInformatics*. 2022. p. 378-383.
- INSTITUTO GEOLÓGICO, **Cadastro Georreferenciado de Eventos Geodinâmicos** –Notas Explicativas, Instituto Geológico, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, São Paulo, 2015
- KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006
- NUNES, Rafael & FERREIRA, Claudio., Cadastro de desastres e eventos geodinâmicos no Estado de São Paulo no período 2010-2015., 14º Simpósio de Geologia do Sudeste, **Anais**, Campos do Jordão, 2015
- VALVERDE, MARÍA CLEOFÉ. A Interdependência Entre Vulnerabilidade Climática e Socioeconômica no ABC Paulista. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, p. 39-60, 2017.
- VALVERDE, María Cleofé; DE PAIVA JUNIOR, Humberto. Temperatura do ar e emissões urbanas em região industrial de São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 45-52, 2018.
- VALVERDE, María Cleofé; DE OLIVEIRA CARDOSO, Andréa; BRAMBILA, Ricardo. O padrão de chuvas na região do ABC Paulista: os extremos e seus impactos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018