

# **ANÁLISE ESPACIAL ATRAVÉS DO ESTIMADOR DE INTENSIDADE KERNEL PARA AS ÁREAS SUJEITAS A RISCOS HIDROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE SALVADOR-BA**

**Luciana Santiago Rocha**

**Universidade Federal da Bahia - UFBA**  
**Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana**  
Campus Federação, Rua Aristides Novis, 02 - 6º andar  
Federação - CEP: 40210-630, Salvador/BA  
lurocha.geo@hotmail.com

**Vivian de Oliveira Fernandes**

**Universidade Federal da Bahia - UFBA**  
**Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana**  
Campus Federação, Rua Aristides Novis, 02 - 6º andar  
Federação - CEP: 40210-630, Salvador/BA  
vivian.fernandes@ufba.br

**Patrícia Brito Lustosa**

**Universidade Federal da Bahia - UFBA**  
**Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana**  
Campus Federação, Rua Aristides Novis, 02 - 6º andar  
Federação - CEP: 40210-630, Salvador/BA  
britopatricia@hotmail.com

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo da aplicação de análise espacial através do estimador de intensidade Kernel para representação e avaliação das áreas sujeitas a riscos hidrológicos no município de Salvador (Bahia-Brasil). Tal município é marcado por sérios problemas ambientais decorrentes da ausência ou falha nos planejamentos urbanos, no controle da ocupação do solo e na implantação de infra-estrutura adequada, onde se vem observando a ampliação de ambientes altamente degradados e de riscos para a qualidade de vida da população. O estudo tem como objetivo central analisar espacialmente as áreas em situação mais crítica a riscos hidrológicos em Salvador que, por consequência, estão merecendo maior atenção do poder público e dos órgãos de planejamento. Para isso esse estudo iniciou-se com a realização de um inventário das ocorrências de inundações e alagamentos registradas nas notícias de jornais do município entre os anos de 1997 e 2010. Seguidamente, elaborou-se um banco com os dados alfanuméricos e, a partir da definição das coordenadas espaciais desses dados, foi possível conhecer a distribuição desses eventos no espaço geográfico e avaliá-los, predominantemente, em ambiente SIG. O estimador Kernel foi utilizado com o objetivo de gerar uma grade em que cada célula representa o valor estimado da densidade de probabilidade de ocorrência de inundações ou alagamentos. Dessa forma, a análise espacial, permitiu a composição de um mapa temático para visualização das concentrações das áreas sujeitas a riscos hidrológicos no município nesses últimos 13 anos.

Palavras chaves: Análise Espacial, Estimador Kernel, Riscos Hidrológicos

## **ABSTRACT**

This work presents a application of spatial analysis study of through the Kernel intensity estimator in the representation and evaluation areas affected to the hydrological risks Salvador city (Bahia-Brazil). The city of Salvador has serious environmental problems due the lack of urban planning, urban control and appropriate infrastructure, causing the rise of urban degradation and affecting its population life quality. Our main goal is to identify where the areas of higher

hydrological risks are and which ones deserve more attention of the government. In order to do so, local newspaper's news about flooding and overflows occurred between 1997 and 2010 were systematically registered at an alphanumeric database, which later was used to identify the geographical coordinates of the events and to analyze its spatial distribution at a GIS (Geographic Information System) environment. A Kernel function was used to estimate intensity of hydrological risk occurrence by generating a grid, over the city of Salvador, where each cell corresponds to a probability rate influenced by neighbor events. The estimated intensity map allowed an exploratory spatial analysis of the city, which permitted the identification of areas that concentrates flooding and overflow events notified by the local newspaper along the last 13 years.

Keywords: Spatial Analysis; Kernel Estimator; Hydrological Risks.

## 1. INTRODUÇÃO

Os espaços urbanos estão em contínua transformação com mudanças que podem causar impactos positivos e/ou negativos à sua população. Para que a verificação dessas transformações sejam melhor observadas, os fatores relevantes da dinâmica de uma cidade devem ser conhecidos e novas ferramentas devem ser incorporadas para uma boa gestão desses territórios.

Salvador, a exemplo de outras cidades no Brasil, apresenta um cenário de significativas alterações do ambiente natural e de intenso adensamento populacional, o desenvolvimento urbano das últimas décadas vem se mostrando deficiente no que diz respeito à drenagem das águas pluviais, com áreas cada vez maiores sendo impermeabilizadas, a capacidade de infiltração do solo sendo reduzida e a velocidade do escoamento superficial, acelerado. Processo que tem resultado na ampliação das áreas de riscos hidrológicos.

De acordo com BRASIL (2009), riscos hidrológicos são aqueles em que a água atua de modo direto na instalação do risco, seja através de enchente, inundações (transbordamento de rios) ou alagamentos. Eles são resultados de fenômenos de natureza hidrometeorológica, que fazem parte da dinâmica natural, são intensificados pelas alterações ambientais e intervenções urbanas produzidas pela sociedade, através da impermeabilização do solo, retificação dos cursos d'água e redução no escoamento dos canais devido obras.

Os impactos dos eventos de enchente, inundações ou alagamentos atacam à integridade urbana, sendo percebidos pelos transtornos na circulação de transportes, na comunicação, nas atividades e nos serviços, pelos problemas sanitários e de abastecimento, pelas perdas e pelos danos econômicos e sociais, dentre muitos outros.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo estimar áreas sujeitas a riscos hidrológicos no município de Salvador/Bahia, o qual é afetado por eventos como alagamentos, deslizamentos e congestionamentos. Neste trabalho serão utilizados dados coletados de notícias do jornal de maior tiragem do município: Jornal A Tarde, referente aos registros de alagamentos, inundações e transbordamento de rios

que ocorreram no período de 1997 a 2010 e será aplicada a técnica de análise espacial de eventos pontuais: o estimador de intensidade Kernel.

A ênfase da análise espacial de dados, de acordo com Câmara *et al.* (2002) é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo. Por meio de suas variadas técnicas é possível avaliar tanto dados ambientais quanto socioeconômicos. Ela é composta por um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere os relacionamentos espaciais presentes no fenômeno

### 1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade do Salvador foi fundada em 1549, destacando-se na época da colônia como importante centro comercial da América Latina. Ao longo do tempo passou por diversas transformações e, atualmente, junto com sua região metropolitana representa o principal centro econômico do estado da Bahia.

Desde 1950 o crescimento populacional vem aumentando neste município e segundo dados do IBGE, em 2010 o número de habitantes ultrapassou os 3 milhões, caracterizando esta cidade como a mais populosa do nordeste, a sétima do país e uma das 120 maiores do mundo.

O município situa-se na região litorânea do Brasil (Figura 1), possui clima tropical predominantemente quente com o período de concentração de chuvas no outono-inverno (meses de março a agosto).

Ao longo de vários anos a atuação dos elementos climáticos, aliado a outros fatores, contribuíram para caracterizar as formas de relevo desse município, cujo sítio apresenta uma diversidade de elementos topográficos

Com uma topografia bastante acidentada, seu território é marcado por muitas encostas que são bastante ocupadas e muitas delas consideradas áreas de perigo. Junto a essas áreas de riscos geológicos, estão as de riscos hidrológicos, presentes, predominantemente, nas áreas de baixadas e configuram-se em locais que merecem especial atenção

tanto do poder público quanto da comunidade científica.

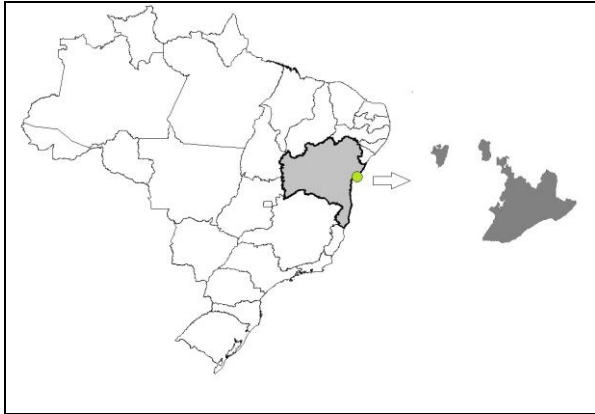


Figura 1. Mapa de Localização de Salvador

## 2. ABORDAGEM CONCEITUAL

### 2.1 ANÁLISE ESPACIAL

A análise espacial tem como ênfase mensurar propriedades e relacionamentos, levando-se em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita. Ela pode ser definida como uma técnica que busca descrever os padrões existentes nos dados espaciais e estabelecer, preferencialmente de forma quantitativa, os relacionamentos entre as diferentes variáveis geográficas.

Segundo Carvalho (1997), essa técnica compreende três métodos: métodos de visualização; métodos exploratórios e métodos que auxiliem a escolha de um modelo estatístico e a estimação dos parâmetros desse modelo. Esses métodos utilizam como procedimentos, de acordo com Anselin (1999), a seleção, a manipulação, a análise exploratória e a confirmação (modelagem).

- seleção: compreende os processos de navegação num banco de dados geográficos, realizando consultas e apresentando mapas cloropléticos simples;
- manipulação: envolve todas as funções que criam dados espaciais;
- análise exploratória: permite descrever e visualizar distribuições espaciais descobrir padrões de associação espacial (aglomerados espaciais), sugerir a existência de instabilidade espaciais (não-estacionaridade) e identificar observações atípicas (outliers);
- análise confirmatória: envolve o conjunto de modelos de estimação e procedimentos de validação, necessários para implementar análises multivariadas com componentes espaciais.

Câmara e Carvalho (2004), afirmam que existem três tipos de dados para caracterizar os problemas de análise espacial, conforme indicado abaixo.

- eventos ou padrões espaciais: ocorrências

identificadas como pontos localizados no espaço, denominados processos pontuais.

- superfícies contínuas: estimadas a partir um conjunto de amostras de campo, que podem estar regularmente ou irregularmente distribuídas.
- áreas com contagem e taxas agregadas: tratam-se de dados associados e levantados populacionais, como censos, e que se referem a indivíduos localizados em pontos específicos do espaço.

No presente trabalho será utilizado, prioritariamente, o método exploratório para identificar os padrões espaciais das ocorrências de alagamento, inundação e/ou transbordamento de rios, que são por essência eventos pontuais.

### 2.2 ANÁLISE DE PADRÕES PONTUAIS

Os processos pontuais são caracterizados como um conjunto de pontos irregularmente distribuídos em um terreno, cuja localização foi gerada por um mecanismo estocástico (CÂMARA e CARVALHO, 2004). Este processo pode ser descrito em termos dos efeitos de primeira ordem e de segunda ordem.

Os de primeira ordem correspondem à variação no valor médio do processo no espaço. O interesse neste caso é a intensidade do processo, ou seja, o número de eventos por unidade de área. Já os de segunda ordem, representam a dependência espacial no processo, proveniente da estrutura de correlação espacial.

Na análise de padrões de pontos, a localização espacial do evento em estudo é o objeto de interesse principal. Dessa forma, os dados relacionados ao evento podem ou não ter qualquer valor a ele agregado, ou seja, seu único atributo pode ser a localização. Foi considerando apenas a localização no espaço que este estudo analisou os registros de eventos hidrológicos em Salvador.

### 2.3 ESTIMADOR DE INTENSIDADE (“KERNEL ESTIMATION”)

Com base em Câmara e Carvalho (2004), uma alternativa simples para analisar o comportamento de padrões de pontos é estimar a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo. Para isto, pode-se ajustar uma função bi-dimensional sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Para obter o mapa das áreas de risco do município do Salvador, optou-se pelo estimador de intensidade Kernel, por este ser um método muito útil, de fácil uso e interpretação para o conhecimento da distribuição de eventos de primeira ordem.

Esse estimador realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência,

ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse, representado conforme a figura 02 abaixo.

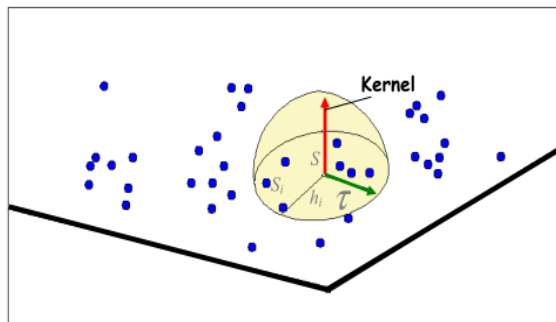


Figura 02. Estimador de intensidade para um padrão de pontos  
Fonte: Jesus & Miura (2009)

A função que o representa é dada por:

$$\hat{\lambda}_\tau(u) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (1)$$

Onde:

$\tau$  é o raio de influência;

$h$  é a distância entre o ponto  $S$  e o ponto observado  $S_i$ .

O raio de influência define a área centrada no ponto de estimação “u” que indica quantos eventos “ui” contribuem para a estimativa da função intensidade “ $\lambda$ ”. Um raio muito pequeno irá gerar uma superfície muito descontínua; se for grande demais, a superfície poderá ficar muito suavizada, o resultado pode sugerir uma homogeneidade na região. Já “h”, representa a distância entre a localização em que desejamos calcular a função e o evento observado (CÂMARA e CARVALHO, 2004).

### 3. METODOLOGIA

Os dados referentes ao registro de eventos de alagamentos, inundações e/ou transbordamentos de rios utilizados na realização deste trabalho, foram obtidos por meio de pesquisa no acervo digital do jornal A Tarde. A escolha deste meio de comunicação de imprensa justifica-se pelo fato deste jornal ser um dos mais antigos e de maior circulação em Salvador e sua região, além de possuir referência e credibilidade entre os habitantes do local.

O período disponível para consulta de informações neste acervo começa no ano de 1997. Desta forma, foram levantados todos os registros de ocorrências a partir deste ano até o de 2010, obtendo-se um total de 218.

Em seguida todos os registros foram organizados em planilha eletrônica excel e, seguidamente, foi utilizado o programa Google Earth para que as coordenadas geográficas das ocorrências dos eventos fossem identificadas. Visando minimizar

falhas na definição dessas coordenadas, as localizações oferecidas por aquele programa foram comparadas com os endereços que constam na base de dados de localidades e cadastro de logradouros no Mapa Digital da Prefeitura Municipal do Salvador. Ao serem detectados conflitos, prevaleceu a localização da base da prefeitura municipal.

Nesta etapa de cadastro dos endereços, foram identificadas algumas inconsistências, por exemplo, nomes de logradouros errados, nomes que são comuns a diferentes bairros, dentre outros; assim decidiu-se buscar na notícia referente à ocorrência, outros indícios para definição final do local. Quando não foram encontradas outras referências nela que oferecessem com segurança a definição do local, este registro de ocorrência foi descartado. Desta forma, no final da organização dos dados passou-se de 218 para 199 ocorrências.

Tabulados e organizados através de planilha eletrônica, os dados foram convertidos por meio do software ArcGis 9.3 em arquivos vetoriais tipo *shapefile*. Essa etapa do trabalho tornou possível identificar a distribuição geográfica das ocorrências, conforme mostra o mapa na figura 3 abaixo.

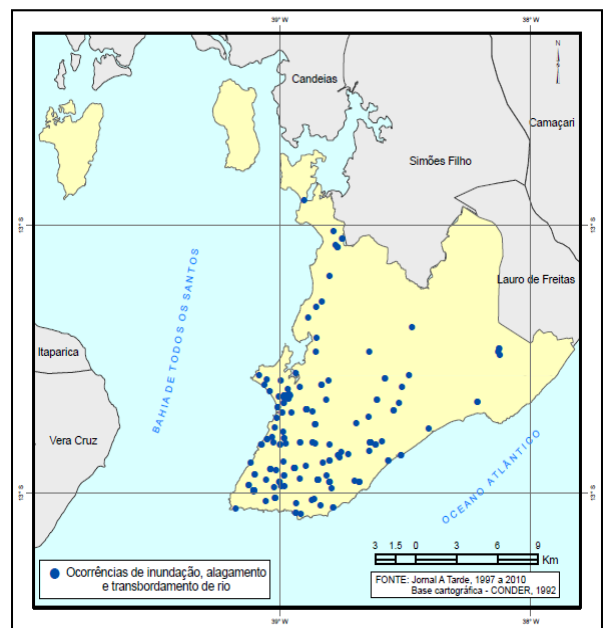


Figura 3. Locais com registros pontuais de ocorrências de eventos hidrológicos no município de Salvador de 1997 a 2010

Após montagem do banco de dados, pôde-se aplicar o estimador kernel para avaliar o fenômeno em questão. Para tal foi utilizado o programa ArcGis 9.3 que oferece para o cálculo de intensidade de eventos os tipos kernel e simple. Optou-se pelo primeiro tipo de cálculo e como parâmetros para a estimação foi usado para a célula de saída o valor de 50 e para o raio, o de 500m.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um dos objetivos da análise de padrões pontuais é verificar se os eventos avaliados apresentam comportamento sistemático como agrupamento ou irregularidade. Os resultados do trabalho em questão, expressos na figura 4, demonstram que as ocorrências de alagamentos, inundações e/ou transbordamentos de rios, ao longo dos 13 anos considerados, possui uma distribuição irregular no espaço geográfico do município do Salvador.

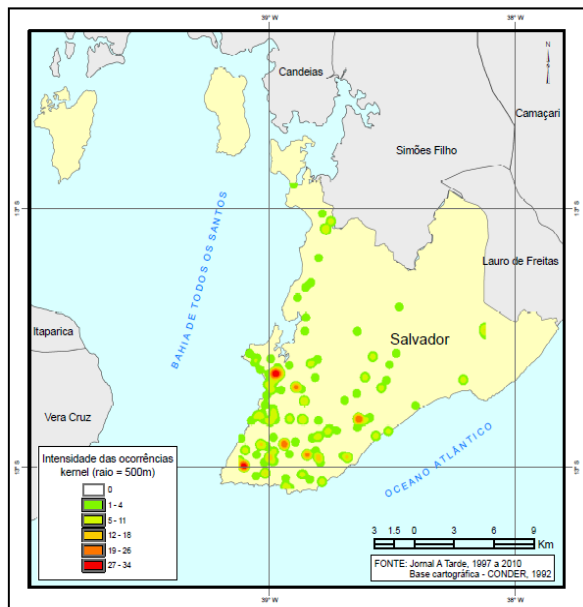


Figura 4. Intensidade pontual das ocorrências de eventos hidrológicos no município de Salvador de 1997 a 2010

A estimação das áreas sujeitas a riscos através de Kernel revelou que há seis áreas de precaução sendo a mais crítica entre estas, uma que está situada bem distante dos centros importantes da cidade, nos bairros do Uruguai e Calçada. Locais com uma boa concentração de atividades comerciais e de serviços, que quando são atingidas por alagamentos, tem o fluxo do trânsito e desses serviços, bastante alterados.

Os outros locais, com concentração dos casos, possuem boa infra-estrutura em drenagem urbana sugerindo que as intervenções urbanísticas até então adotadas pela administração municipal não estão evitando que tais eventos provoquem transtornos no dia-a-dia dos cidadãos. Nesses pontos, localizados nos bairros de Brotas, Imbuí, Graça, Itagira e Santa Mônica/IAPI, além das alterações que são provocadas no trânsito em função dos eventos hidrológicos avaliados, há grandes consequências em áreas residenciais, onde moradores ficam “ilhados” e com grande dificuldade de locomoção.

#### 5. CONCLUSÕES

O estimador kernel apresentou grande viabilidade para a identificação de áreas sujeitas a riscos hidrológicos no município de Salvador/Bahia e apresentou-se como um bom recurso para a realização da análise espacial das ocorrências dos eventos de alagamentos, inundações e/ou transbordamentos de rios.

Vale destacar que a utilização de eventos georreferenciados para análise ambiental urbana, tem se tornado cada vez mais útil como ferramenta para planejamento e gestão e, neste sentido, a ocorrência de eventos de responsabilidade da defesa civil tem especial apelo para o georreferenciamento, possibilitando uma melhor localização de áreas de risco. Este estudo mostrou que é possível trabalhar com dados de alagamentos, inundações e transbordamento de rios, registrados em jornais, e espacializá-los, entretanto, deve-se ter especial atenção na montagem do banco de dados no que concerne à identificação dos endereços e sugere-se uma associação com outros elementos que possam oferecer mais segurança como uma base de localização de órgãos oficiais.

Vale destacar ainda que a escolha dos parâmetros a serem adotados para a estimação, a exemplo do raio, são de responsabilidade do avaliador, assim este deve se preocupar em verificar àquele que melhor represente e que possa oferecer maior contribuição para a compreensão do fato que está sendo investigado.

Os resultados deste estudo apontam para a importância da continuidade deste tipo de análise que podem subsidiar a tomada de decisões para um melhor planejamento urbano e a consequente intervenção no espaço e na definição de políticas que regulem seu uso e ocupação entendendo, que a identificação de áreas de risco é fundamental para a ação e o controle eficiente dos setores responsáveis pela questão.

Assim, destaca-se que as técnicas de análise de dados espaciais oferecem grandes capacidades para produção de novas informações. Finalmente, é importante registrar que o planejamento e a execução de políticas públicas serão tão mais eficientes e eficazes quanto mais adequadas for a “localização” dos problemas a serem resolvidos.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSELIN, L. Interactive techniques and Exploratory Spatial Data Analysis. In: P. Longley, et al. **Geographical Information Systems: principles, techniques, management and applications**. Cambridge: Geoinformation International, 1999.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Gestão e mapeamento de riscos socioambientais: curso de capacitação**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/secretariasnacionais/progra>

mas-urbanos/biblioteca/prevencao-de-riscos/materiais-decapitacao/capitacao-de-equipes municipais/Curso\_UFPE\_apostila.pdf. Acesso em: 15 out. 2010.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial de eventos.** Disponível em <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.07.14.53/doc/cap2-eventos.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2011.

CÂMARA, G., et al., **Análise Espacial e Geoprocessamento.** 2a edição, 2002. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/analise/cap1.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2011.

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. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/referencias/tese-msc.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2011

CARNEIRO, E., et al. **Análise espacial aplicada na determinação de áreas de risco para algumas doenças endêmicas: o uso de técnicas de geoprocessamento na saúde pública.** Disponível em [http://www.cartografia.org.br/xxi\\_cbc/093-sg29.pdf](http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/093-sg29.pdf). Acesso em: 20 de maio de 2011.

DRUCK, S.; et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos.** Brasília, EMBRAPA, 2004.

JESUS, S. C.; MIURA, A. K. **Análise espacial de fragmentos de Cerrado como subsídio para a seleção de áreas prioritárias para conservação.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3943-3950.

SAMPAIO, Tony V. Moreira. **Índice e concentração da rugosidade (ICR): uma proposta para o mapeamento morfométrico via emprego de geotecnologias.** Disponível em [http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo1/094.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/094.pdf). Acesso em: 20 de abril de 2011.