



Revista Cerrados (Unimontes)
ISSN: 1678-8346
ISSN: 2448-2692
revista.cerrados@unimontes.br
Universidade Estadual de Montes Claros
Brasil

ANÁLISE DAS VARIAÇÕES ESPACIAIS NO MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ (PARANÁ – BRASIL), ENTRE OS ANOS DE 1980 e 2032 DECORRENTES DA INSTALAÇÃO DO COMPLEXO PORTUÁRIO

Silva, Jean Jesus Ilsuk da; Caneparo, Sony Cortese

ANÁLISE DAS VARIAÇÕES ESPACIAIS NO MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ (PARANÁ – BRASIL),
ENTRE OS ANOS DE 1980 e 2032 DECORRENTES DA INSTALAÇÃO DO COMPLEXO PORTUÁRIO

Revista Cerrados (Unimontes), vol. 15, núm. 2, 2017

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576960998014>

DOI: <https://doi.org/10.22238/rc24482692v15n22017p263a290>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Este trabalho está sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Não Derivada 4.0
Internacional.

ANÁLISE DAS VARIAÇÕES ESPACIAIS NO MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ (PARANÁ – BRASIL), ENTRE OS ANOS DE 1980 e 2032 DECORRENTES DA INSTALAÇÃO DO COMPLEXO PORTUÁRIO

ANALYSIS OF SPACE VARIATIONS IN THE MUNICIPALITY OF PONTAL DO PARANÁ (PARANÁ - BRAZIL), BETWEEN 1980 AND 2032 ARISING FROM THE PORT COMPLEX INSTALLATION

ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES ESPACIALES EN EL MUNICIPIO DE PONTAL DO PARANÁ (PARANÁ - BRASIL), ENTRE LOS AÑOS 1980 Y 2032 RESULTANTE DE LA INSTALACIÓN DEL COMPLEJO PORTUARIO

Revista Cerrados (Unimontes), vol. 15, núm. 2, 2017

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Recepção: 10 Julho 2017
Aprovação: 04 Dezembro 2017

DOI: <https://doi.org/10.22238/rc24482692v15n22017p263a290>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576960998014>

Jean Jesus Ilsuk da Silva jeansilva02@hotmail.com

Universidade Federal do Paraná – UFPR, Brasil

Sony Cortese Caneparo sony@ufpr.br

Universidade Federal do Paraná – UFPR, Brasil

Resumo: O município de Pontal do Paraná está localizado no litoral do estado do Paraná, na região sul do Brasil. Em 1995, foi aí instalado o Porto de Pontal Importação e Exportação LTDA e, em 2013, foi aprovada a licença ambiental para a construção de um complexo portuário neste município. Tal obra se apresenta como um desafio, devido ao potencial que o mesmo apresenta em produzir impactos ambientais e mudanças nos padrões de uso da terra. Essa pesquisa objetiva analisar as mudanças espaciais que podem ocorrer futuramente no uso da terra e na cobertura vegetal em Pontal do Paraná (2032), em virtude da instalação deste complexo. Foram utilizadas rotinas de sistemas de informações geográficas, inseridas no IDRISI TAIGA, da Clark University, dentre elas se destacam a Cadeia de Markov e os Autômatos Celulares para a geração do cenário futuro. O resultado da modelagem preditiva (2032), em função da expansão portuária, foi um aumento nas áreas urbanas, fator que poderia impactar diretamente as áreas de Restingas, de Mangues e da Floresta Ombrófila Densa. O presente trabalho revelou que o uso da modelagem preditiva pode ser uma ferramenta bastante útil para a avaliação e interpretação de cenários futuros.

Palavras-chave: Modelagem Preditiva, Ambiente Litorâneo, Dinâmica Espaço-Temporal.

Abstract: The city of Pontal do Paraná is located on the coast of the state of Paraná, in the southern region of Brazil. In 1995, the Port of Pontal Importação e Exportação Company was installed there, and in 2013, the environmental license was approved for the installation of a port complex in this municipality. This Port presents itself as a challenge, due to its potential in producing environmental impacts and changes in land use patterns. This research aims to analyze the spatial changes that may occur in the future of land use and vegetation cover of Pontal do Paraná (2032), due to the

installation of this complex. Routines of geographic information systems, inserted in the IDRISI TAIGA, of Clark University, among them, the Markov Chain and the Cellular Automatics were used to generate the future scenario. The result of predictive modeling (2032), caused by the port expansion, was an increase in urban areas, a factor that could directly impact the areas of restingas, mangroves, and the atlantic rainforest. The present study revealed that the use of predictive modeling can be a very useful tool for the evaluation and interpretation of future scenarios.

Keywords: Predictive Modeling, Coastal Environment, Spatio-Temporal Dynamics.

Resumen: El municipio de Pontal do Paraná está ubicado en la costa del estado de Paraná, en la región sur de Brasil. En 1995, se instaló el Puerto de Importación y Exportación de Pontal Ltd. y, en 2013, se aprobó el permiso ambiental para la construcción de un complejo portuario en este municipio. Esta obra se presenta como un desafío, debido a la posibilidad de producir impactos ambientales y cambios en los patrones de uso de la tierra. El objetivo de este estudio es analizar los cambios espaciales que puedan ocurrir en el futuro uso de la tierra y la vegetación en el Pontal do Paraná (2032), debido a la instalación de este complejo. Las rutinas se utilizan sistemas de información geográfica, insertado en el IDRISI TAIGA, Clark University, entre ellos se encuentran la Cadena de Markov y Autómatas Celulares para la generación de escenarios futuros. Los resultados de la modelización predictiva (2032), dependiendo de la expansión de lo puerto, fue un aumento en las zonas urbanas, un factor que podría tener un impacto directo sobre las áreas de Restinga, Manglares y Bosque Ombrophilous Denso. El presente estudio demostró que el uso de modelado predictivo puede ser una herramienta muy útil para la evaluación e interpretación de escenarios futuros.

Palabras clave: Modelado Predictivo, Costero, Dinámica Espacio-Temporal.

INTRODUÇÃO

O município de Pontal do Paraná (estado do Paraná – Brasil) está localizado no litoral do estado do Paraná, na região sul do Brasil, distante 115 km da capital do estado Curitiba. Situa-se em uma área ambientalmente frágil, composta por praias, manguezais, restingas e porções de floresta ombrófila densa. Trata-se de um município litorâneo, com função, predominantemente, turística no verão, com uma população de 20.920 habitantes.

Em 1995 foi aí instalada a Porto de Pontal Importação e Exportação LTDA, em 2013, foi aprovada a licença ambiental para a instalação de um complexo portuário neste município, com a implantação do Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná (TCPP), cuja finalidade foi o de promover a melhoria dos serviços portuários e a concorrência com os terminais já instalados, elevar os índices de produtividade e qualidade e reduzir os custos de operação para os usuários desses serviços. Tal obra é um desafio, devido ao potencial que o mesmo apresenta em produzir impactos ambientais e mudanças nos padrões de uso da terra.

Essa pesquisa objetiva analisar as mudanças espaciais que podem ocorrer no uso da terra e na cobertura vegetal em Pontal do Paraná, em virtude da instalação deste complexo. Para atingir o objetivo proposto foram realizados levantamentos do meio físico e socioeconômico, e a elaboração de uma base de dados geográficas, que permitiu construir um modelo digital do ambiente para contextualizar a área de estudo. Foram utilizados produtos de sensoriamento remoto, fotografias aéreas dos anos de 1980 e 1996 e, para 2012, imagens de satélite. As rotinas

de sistemas de informações geográficas empregadas, foram as do IDRISI TAIGA, da Clark University, dentre elas se destacam a Cadeia de Markov e os Autômatos Celulares para a geração do cenário futuro (2032). Estas rotinas prevêm as mudanças do uso e cobertura da terra, gerados digitalmente por duas técnicas contíguas de modelagem têmporo-espacial: a modelagem temporal dos algoritmos da cadeia de Markov de segunda ordem, complementados com a aplicação da modelagem espacial dos Autômatos Celulares.

Para elaboração da modelagem preditiva, foram elaborados três planos de informação a partir das fotografias aéreas e imagens de satélite: uso da terra e cobertura vegetal para os anos de 1980, 1996 e 2012, com as áreas portuárias (10 classes). Como classes de uso da terra e cobertura vegetal foram definidas: 1-áreas urbanas; 2- copos d'água, 3-manguezais, 4-floresta ombrófila densa, 5-restinga, 6-agricultura/pecuária, 7-sucessão inicial, 8-reflorestamento, 9-solo exposto e 10-áreas portuárias. Foram então realizadas as simulações, ou seja, as modelagens preditivas, geradas com a aplicação destas rotinas, a partir de dois planos de informações, de duas datas contíguas, do uso da terra e cobertura da vegetal.

Essa pesquisa tem como resultado a tendência de como ficará a organização espacial da área de estudo. O mapeamento preditivo foi para 2032, ou seja, 20 anos a frente do mapa de 2012. A escolha desse intervalo temporal reside no fato de que, segundo o manual do software IDRISI TAIGA, simulações com intervalos temporais muito extensas tendem a apresentar um exagero em seus resultados, por outro lado, como o complexo portuário ainda se encontra em implantação descartou-se realizar simulações a curto prazo. No total foram gerados dois mapas preditivos, um resultante das interações dos planos de informações de 1980 e 2012, e o outro de 1996 e 2012. Apesar de cada mapa preditivo apresentar um resultado específico, a análise espacial dos mesmos permitiu encontrar alguns comportamentos e tendências semelhantes nas mudanças de uso da terra e cobertura vegetal, as quais serão descritas nos resultados desse.

Localização e caracterização geral da área de estudo

A área de estudo é o município Pontal do Paraná, que está localizado no litoral do Paraná, na região sul do Brasil, entre os paralelos 25°32'42" e 25°45'02" de latitude sul e os meridianos 48°20'52" a 48°35'12" de longitude oeste de Greenwich. Ocupa uma área de 202,03 km², e limita-se ao norte com a baía de Paranaguá, ao sul com o município de Matinhos, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com a Serra do Mar em sua porção denominada de Serra da Prata (município de Paranaguá) (FIGURA 1).

Conforme classificação elaborada pela Mineropar (2006) e Maack (1968), a área do município de Pontal do Paraná se encontra na subunidade morfo-escultural denominada Planície Litorânea e Planícies Flúvio – Marinhas. Essa subunidade ocupa uma área total de 2038,70 km², apresentando um baixo índice de dissecação, com declividade predominante menor do que 6 %. O relevo apresenta altitudes variando

entre 0 m (mínimo) e 200 m (máximo) de altitude. As formas predominantes são as planícies de restingas e flúvio-marinhas, terraços arenosos e praias, modeladas em sedimentos de origem marinhas e flúvio-marinhas (MINEROPAR, 2006).

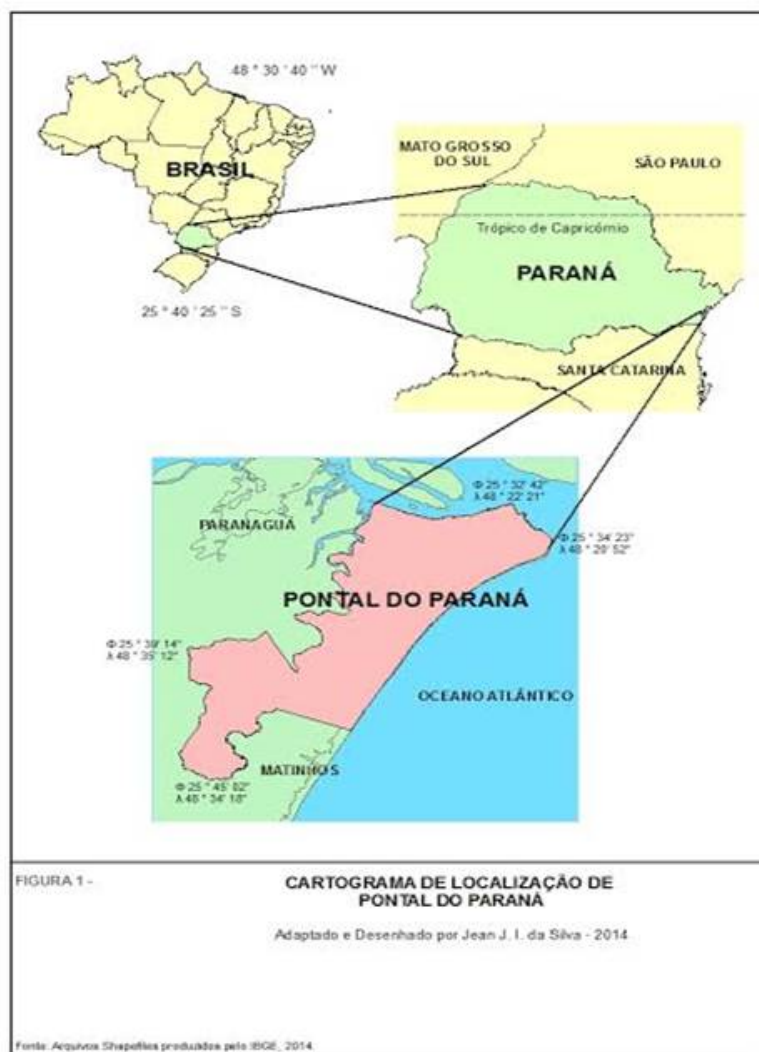


Figura 1
Cartograma de localização de Pontal Paraná
IBGE, 2014.

Á área de estudo se localiza na Bacia Hidrográfica da Baía de Paranaguá, a qual possui 607 km². Trata-se de uma bacia composta por rios de menor porte, com força de erosão insignificantes. Correm do sul para o norte e apresentam-se fortemente influenciados pelas marés (MAACK, 1968). Os principais rios encontrados em Pontal do Paraná são os rios Guaraguaçu, Maciel, Biguaçu, Penedo, Perequê, Perequê Mirim, Barrancos, Olho d'Água, Pai Antônio, Peri, Caruçu e Rio das Pombas. Complementa também o desenho hidrográfico do município uma série de intervenções antrópicas para fins de saneamento e para a navegação, como por exemplo a abertura de canais realizada pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS (COLIT, 2004).

Tendo por referência o sistema de classificação climática proposto por Köppen, o município de Pontal possui um clima Subtropical (Cfa). Esse Clima Subtropical (Cfa) apresenta entre as suas principais características, segundo o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) (1994): temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

Segundo Veloso et al[1] (1991 citado por COLIT, 2004) em Pontal do Paraná a vegetação se divide em dois grandes grupos: o Sistema de Vegetação Primária e o Sistema de Vegetação Secundária. O primeiro é composto por formações pioneiras de influência flúvio – marinha (manguezais e os campos salinos), de influência marinha (restingas), e de influência fluvial (caxetais, maricais, taboais e várzeas). Ainda nesse grupo se encontra a floresta ombrófila densa fluvial e a floresta ombrófila densa de terras baixas. O segundo grupo é composto por áreas que sofreram algum tipo de intervenção humana.

Para entender a ocupação e delimitação do território de Pontal do Paraná, é preciso retomar a ocupação do litoral paranaense que iniciou a partir do final do século XVI e início do século XVII, quando povos vindos da Europa e de outras capitanias brasileiras se dirigiram as ditas “Minas de Paranaguá”, buscando a exploração do ouro. Durante esse período a região de Pontal do Paraná foi provavelmente utilizada como base de acampamento para imigrantes europeus e escravos negros. (COLIT, 2004).

A maior ocupação do município ocorreu a partir da década de 50, onde foi realizada a abertura dos primeiros loteamentos da região. A especulação imobiliária fez com que os pequenos núcleos de moradores locais migrassem para áreas mais distantes da praia, a medida que o núcleo urbano formado por casas de veraneio, foi se consolidando e as propriedades valorizando. Nos anos 80 foram instalados na região um canteiro industrial e também estruturas universitárias, como o Centro de Biologia Marinha (CBM) e o Centro de Estudos do Mar (CEM), ambos ligados a Universidade Federal do Paraná (UFPR) (COLIT, 2004).

Ainda na década supracitada começaram as primeiras tentativas por parte dos moradores da região de desmembrar Pontal do Paraná do município de Paranaguá. A primeira vitória veio com a Lei Estadual nº 8915 de 15 de Dezembro de 1988, a qual transformou Pontal do Paraná em um distrito subordinado ao município de Paranaguá. Por fim o município de Pontal do Paraná foi criado em outubro de 1996, após aprovação na Assembleia Legislativa do Estado do Paraná, e a consequente realização de eleições para os cargos do Legislativo e do Executivo (IBGE, 2014).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2014), o município de Pontal do Paraná tinha em 2010 uma população de 20.920 habitantes, o que o coloca como o quarto município mais populoso do litoral paranaense, atrás de Paranaguá, Matinhos e Guaratuba. O município apresenta praticamente a totalidade de sua

população vivendo no perímetro urbano, com índice de urbanização de 99,15%, e densidade demográfica de 115,06 hab/km². O município de Pontal do Paraná possui um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de 0,738, sendo classificado como alto, segundo a metodologia estabelecida pelo Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil de 2010, elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

O município de Pontal do Paraná gerou em 2010 um Produto Interno Bruto (PIB) total de R\$ 220,164 milhões, desse total R\$ 7,868 milhões foram gerados por atividades agropecuárias, R\$30,799 milhões por atividades industriais e R\$ 181,497 milhões por atividades comerciais e de prestação de serviços (IBGE, 2014). Conforme IPARDES (2015) o número de pessoas envolvidas por setor da economia, totaliza 509 indivíduos nas atividades primárias (agrícolas e extrativistas), 525 em atividades secundárias (indústrias) e 8.511 em atividades terciárias (comércio e prestação de serviços). As atividades comerciais e de prestação de serviços compõem 82,44 % e são dessa forma as principais responsáveis pela dinâmica econômica do município (IPARDES, 2015). O turismo se constitui em importante atividade econômica para o município, sendo porém, uma atividade de caráter sazonal. Durante o verão, época denominada de alta temporada (entre os meses de Dezembro e Fevereiro e no Carnaval) o principal atrativo aos turistas são as praias, com destaque para os Balneários de Praia de Leste, Pontal do Sul, Barrancos, Ipanema, Santa Terezinha e Shangri-Lá.

No presente momento, algumas obras de maior porte estão sendo realizadas no município, entre elas a construção de uma unidade offshore[2] da companhia italiana Techint Engenharia de Construção S/A, que terá como função a construção de plataformas petrolíferas para a extração de petróleo do pré-sal.

O Complexo Portuário de Pontal do Paraná, constitui-se em um conjunto de estruturas físicas a serem aí instaladas, com potencial para gerar mudanças na sua dinâmica ambiental e socioeconômica. O processo para a construção do Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná (TCPP) começou em 1995 com a fundação da empresa “Porto Pontal Paraná Importação e Exportação LTDA” (IBAMA, 2008).OTCPPvisa promover a melhoria dos serviços portuários e a concorrência com os terminais já instalados, elevar os índices de produtividade e qualidade e reduzir os custos de operação para os usuários desses serviços (ABM, 2008, p.2-3).Nesse cenário o TCPP seria uma alternativa ao Porto de Paranaguá, o qual, sem concorrência apresenta hoje um dos maiores custos de operação de contêineres do país, com o valor de R\$ 514,34. (ANTAQ, 2008).

A área total do empreendimento é de cerca de 450 000 m², os quais incluem armazéns cobertos e descobertos, prédios administrativos e vias internas (ABM, 2008). Entre as principais cargas que serão movimentadas estão incluídas: madeira, papel, couro, cristais, cerâmica, móveis, subprodutos florestais, produtos eletrônicos, peças em geral,

carnes congeladas, objetos componentes para usinas hidrelétricas e indústrias pesadas (ABM, 2008).

De acordo com os Estudo de Impacto ambiental e o Relatório de Impacto Ambiental (2012), os aspectos físicos da região, somadas a localização privilegiada e estratégica, na costa Atlântica da América do Sul, e a proximidade com grandes centros produtores industrializados, conferem um alto potencial de desenvolvimento às atividades portuárias na região (ABM, 2008, p. 2-2). Nesse contexto, segundo o projeto do complexo portuário de Pontal do Paraná, o mesmo resultará em mudanças expressivas para o meio físico uma vez que estão previstas operações de dragagem e aterramento, os quais modificarão o desenho da linha de costa, somando-se ainda o fato de que o cais do porto será uma estrutura rígida construída em concreto. Tais elementos segundo Souza (2009) podem alterar drasticamente os processos de erosão e assoreamento na área em questão, aumentando consideravelmente os impactos ambientais causado pela instalação dessa estrutura.

A área proposta para a instalação do Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná no litoral do estado do Paraná se enquadra em um local de alta fragilidade natural, circundada por manguezais, restingas e floresta ombrófila densa aluvial e de terras baixas, além da questão do acesso viário, uma vez que o único acesso existente, tem baixa capacidade de tráfego de veículos, e é utilizada pela população local e por turistas na temporada de verão. Tal cenário colaborou para que nos casos específicos dos terminais portuários do litoral do estado do Paraná, uma série de entraves ambientais dificultasse o processo de licenciamento desses empreendimentos.

Outros empreendimentos serão instalados e operados paralelamente ao Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná, entre os quais ganham destaque pelo seu maior porte as estruturas planejadas pelas Companhias Subsea 7 do Brasil, Melport Terminais Marítimos, Construtora Norberto Odebrecht S/A e Techint Engenharia e Construção S/A.

MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização dessa pesquisa foram utilizados os seguintes materiais cartográficos: - Folhas Topográficas (do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), SG.22-X-D-VI-1 e SG.22-X-D-VI-2, ambas de 1992, escala 1:50.000 e Datum Palimétrico SAD-69; - Fotografias Aéreas do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná, escala 1:25.000, ano 1980 e escala 1:50.000, ano 1996; e - Imagens de Satélite, obtidas através do Google Earth Versão Pró – Digital Globe, Resolução: 2 m, Ano 2012. As bases cartográficas foram padronizadas para o SIRGAS 2000, como referencial planimétrico.

Os softwares utilizados foram IDRISI TAIGA e o CARTALINX desenvolvidos pela Clark Labs, Global Mapper 11 e o O ARCGIS 9.3 desenvolvido pela Environmental Systems Research Institute -ESRI (Califórnia - Estados Unidos). Para atingir os objetivos propostos

dessa pesquisa, a mesma foi dividida em três etapas, na primeira etapa foi realizado levantamento do referencial teórico, a delimitação e caracterização da área de estudo. Na segunda etapa foram realizadas a criação de uma base de dados geográficas e as operações de geoprocessamento. Na terceira foram realizadas as manipulações, as simulações e as análises para gerar a modelagem preditiva.

Na primeira etapa também foi pesquisada a teorização acerca da metodologia a ser adotada para a modelagem preditiva: a Cadeia de Markov e os Autômatos Celulares. Cabe aqui se fazer entender cada um desses dois elementos da modelagem preditiva.

Segundo Garcia (2005, p.20) a Cadeia de Markov é um processo estocástico é definido por um modelo matemático que descreve a estrutura de probabilidades de uma série de observações, distribuídas no tempo ou no espaço.

A Cadeia de Markov se baseia na utilização dos processos estocásticos. Segundo RICOBOM, (2012), os processos estocásticos utilizados no modelo (Cadeia de Markov) são interessantes para descrever a dinâmica de um sistema, operando sobre algum período de tempo, com isso em termos formais, a variável aleatória $X(t)$ representa o estado do sistema no parâmetro t (geralmente o tempo). Portanto pode-se afirmar que a variável $X(t)$ é definida em um espaço denominado espaço de estados.

Nesse contexto, segundo o mesmo autor, a cadeia de Markov passa a ser uma sequência $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ de variáveis aleatórias, onde o conjunto de valores que elas podem assumir passa a ser chamada de espaço de estados, sendo que $X(t)$ denota o espaço de tempo do processo (t). Dessa forma a identidade que define a Cadeia de Markov é a distribuição da probabilidade condicional de $X(t+1)$ do estado passado sendo uma função apenas de $X(t)$, então:

$$\Pr [X(t+1) = x | X_0, X_1, X_2, \dots, X_n]$$

$$\Pr [X(t+1) = x | X_1, \dots, X_n], i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Segundo RUHOFF et al[3](2010 citado por BARROS, 2012), a Cadeia de Markov pode apresentar vantagens e desvantagens quando da sua utilização como método de predição de mudanças na paisagem. A simplicidade operacional e matemática deste modelo, a aplicação direta a dados oriundos de sensoriamento remoto e implementados em SIG assim como o volume reduzido de dados geralmente necessários à sua execução são alguns dos pontos positivos de sua utilização. Porém, a Cadeia de Markov não explica o que está se alterando, tampouco espacializa onde estão ocorrendo as mudanças, apenas informa as probabilidades de transição entre as classes envolvidas. Outro ponto negativo deste método está relacionado à limitação de se incluírem variáveis exógenas à análise. Para suprir tal desvantagem, após sua aplicação deve ser aplicado os autômatos celulares.

Os estudos a respeito dos Autômatos Celulares foram iniciados na década de 50 pelo matemático americano John Von Neumann, o qual ganhou importância científica por suas contribuições em diversas áreas do conhecimento, entre elas a matemática (análise funcional, teoria

ergódica), física (mecânica quântica, hidrodinâmica), economia (teoria dos jogos), computação (Arquitetura Von Neumann) entre outras.

Segundo Wolfram[4] (1983 citado por BASTOS, 2011), os autômatos celulares podem ser considerados como idealizações discretas das equações diferenciais parciais que podem ser utilizados para descrever sistemas naturais, consistindo de uma rede de células idênticas onde cada célula assume um conjunto finito de valores que evoluem em períodos discretos conforme regras determinísticas, as quais determinam o valor de cada célula de acordo com as células vizinhas. Devido a esta natureza discreta, é possível fazer uma analogia com os computadores digitais, relacionando os autômatos celulares com computadores de processamento paralelos.

Os sistemas com autômatos celulares se constituem em entidades complexas que possuem uma série de propriedades que os definem, nesse contexto para Weimar[5] (1998 citado por RICOBOM, 2012):a) o sistema deve apresentar-se em forma de uma matriz ou grade regular de células ndimensionais; b) o sistema deve apresentar uma evolução em passos discretos de tempo; c) cada célula pertencente à grade regular é caracterizada por um estado pertencente a um conjunto finito de estados;d) cada célula da grade de um autômato celular evolui de acordo com as mesmas regras, as quais dependem somente do estado em que a célula se encontra e de um número finito de vizinhos; e) a relação de uma célula com a sua vizinhança é local e uniforme.

A primeira propriedade diz respeito à questão da geometria espacial dos autômatos celulares. Para a existência de um sistema com os mesmos é necessária a existência de uma rede na qual todas as células devem possuir o mesmo tamanho.

Quanto à segunda propriedade segundo Weimar[6] (1998 citado por RICOBOM, 2012):expressa que a evolução deve se dar em espaços discretos de tempo. Assim, a interação entre as células de um autômato celular ocorre quando a célula ativa faz uma leitura dos estados atuais de suas vizinhas do tempo (t). Após essa leitura a célula executa as instruções características que lhe foram conferidas pelas vizinhas em seu tempo ($t + 1$).

A terceira propriedade define que os autômatos celulares devem pertencer a um conjunto definido de estados iniciais. O estado inicial de um autômato está intimamente ligado ao conteúdo inicial de suas células, normalmente qualquer valor (entre 0 e 1) pode ser atribuído às mesmas, e é a partir desses valores que se desencadeia o processo de evolução dos autômatos. A variação do estado inicial de um autômato possui um impacto direto nos seus estados subsequentes.

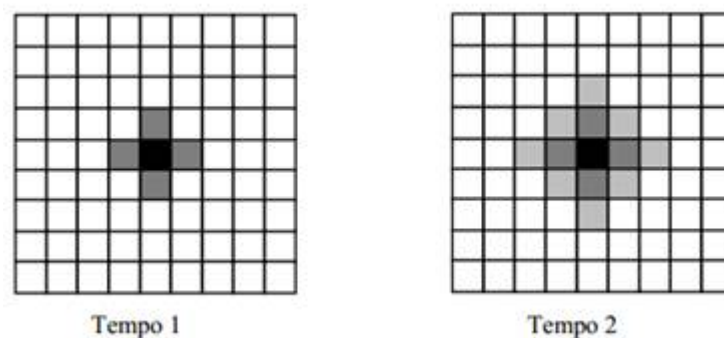
A quarta propriedade está relacionada à evolução dos autômatos celulares, a qual depende de um conjunto de regras pré-determinado. Entre os estudos realizados nessa temática se destaca a Classificação de Wolfram, elaborada pelo matemático inglês Stephen Wolfram, e que se constitui em uma das variações dos autômatos celulares de Von Neuman. Assim, segundo Sousa (2002, p.10): com um anel distribuído por n células com k estados, possíveis, existem no máximo

nk configurações para cada linha de células. Na maior parte dos casos o número de possibilidades é grande – mas é finito. Portanto esta característica implica que um autômato celular unidimensional com k estados possíveis evoluindo durante um tempo suficientemente grande irá acabar por se repetir.

Segundo Ricobom (2012, p.84), a quinta propriedade, diz respeito à relação apresentada por uma célula, em um autômato celular, com a sua vizinhança. Esta relação pode variar de diferentes formas, principalmente em relação ao formato da malha que contém as células, (unidimensional, bidimensional, tridimensional, ou apresentar uma dimensão ND).

Nesse contexto, no caso de um sistema de autômatos celulares 1D, cada célula possui duas células vizinhas, em um sistema de autômatos 2D cada célula possui quatro outras vizinhas, e por fim em um sistema de autômatos 3D, teria para uma célula outras seis como suas vizinhas. Esse estudo foi baseado no uso dos autômatos celulares em 2D, uma vez que esse é o padrão utilizado para a composição das imagens matriciais que serão então operadas pelo IDRISI TAIGA. As relações de vizinhança desse tipo podem ser classificadas em quatro grupos diferentes (PASCOAL, 2005):

-Vizinhança de Von Neumann: ocorre quando uma célula apresenta quatro outras células ortogonais como vizinhança, estando elas acima, abaixo, na esquerda e na direita da mesma. Seu raio é $r=1$, pois nela se considera a relação apenas com a primeira camada.

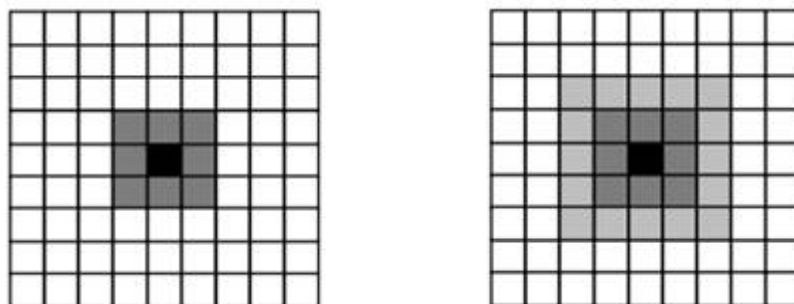


2

Exemplo de vizinhança em von neumann

PASCOAL, 2005.

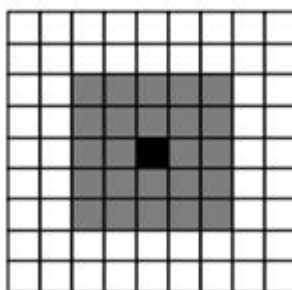
-Vizinhança de Moore: constitui-se em uma ampliação da de Von Neumann, no entanto, as células diagonais também são consideradas, dessa forma as células com vizinhança passam de quatro para oito, sendo assim seu raio $r=1$.



3

Exemplo de vizinhança em moore
PASCOAL, 2005.

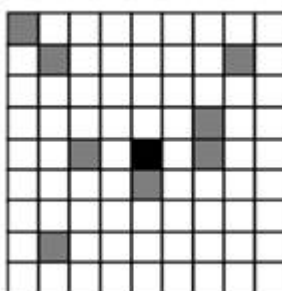
Vizinhança Estendida: trata-se da mesma vizinhança de Moore, porém com seu alcance expandido para dezesseis células da segunda camada, sendo seu raio $r = 2$.



4

Exemplo de vizinhança estendida
PASCOAL, 2005.

Vizinhança Aleatória: como o próprio nome diz, nelas as células com vizinhança ficam espalhadas, não tendo assim um raio (r) definido,



5

Exemplo de vizinhança aleatória
PASCOAL, 2005.

Nasegunda etapa, foram levantadas informações para a elaboração da base cartográfica que servisse de suporte para a manipulação e análise de dados, em ambiente de SIG. O georeferenciamento, padronização dos produtos cartográficos e a mosaicagem, foram realizados, com vistas a elaboração dos planos de informações. Aferições de campo se fizeram necessárias.

Foi estabelecido o recorte temporal para a elaboração dos planos de informações da Cobertura Vegetal e Uso da Terra, tal recorte contemplou um intervalo de 16 anos (1980, 1996 e 2012). Para a geração de tais planos foram realizados os processos clássicos de fotointerpretação. Nesta etapa, também, foi definida uma legenda para os planos de informações definidos. Foram identificadas 10 classes, para cada uma dessas foi atribuído um identificador de polígono (ID): 1- Áreas Urbanas; 2 - Corpos D'Água; 3- Manguezais; 4- Floresta Ombrófila Densa; 5- Restinga; 6- Agricultura/Pecuária; 7- Sucessão Inicial (Capoeiras/Capoeirões); 8- Reflorestamento; 9- Solo Exposto; 10- Áreas Portuárias.

De posse dos planos de informações supracitados, pode-se realizar a terceira etapa, onde foram realizadas as manipulações, as simulações e as análises acerca das mudanças na cobertura vegetal e no uso da terra, ou seja a geração de novos planos, os quais contemplaram a modelagem preditiva para o ano de 2032. A escolha desse intervalo temporal de 20 anos (partir de 2012), reside no fato de que, segundo o manual do software IDRISI TAIGA, simulações com intervalos temporais muito extensas tendem a apresentar um exagero em seus resultados, por outro lado, como o complexo portuário ainda se encontra em implantação, descartou-se realizar simulações a curto prazo.

O primeiro processo consistiu na aplicação da rotina MARKOV – Markov Transition Estimator, através do mesmo dois mapas são cruzados, resultando na geração dos seguintes arquivos: - Uma Matriz de Probabilidades de Transição: ou seja, um arquivo que identifica a probabilidade de cada classe de uso da terra e cobertura vegetal sofrer modificações ao longo do tempo; - Uma Matriz de Transição de Áreas: ou seja, um arquivo que mostra a relação de pixels dentro de cada classe de uso da terra e cobertura vegetal que podem sofrer modificações para outras classes; - Um conjunto de Mapas de Probabilidades Condicionais: ou seja planos de informações que através da alocação de valores booleanos (em uma escala de 0 a 1, sendo 1 para a mudança e 0 para a permanência no estado atual), revelam a probabilidade de cada pixel ser mudado ou não em um tempo futuro. Observa-se que cada classe de cobertura vegetal e uso da terra utilizada nesse estudo possui seu respectivo mapa de probabilidades condicionais.

Nesse processo foram realizados cruzamentos envolvendo 2 pares de mapas: - 1996/2012 com 10 classes de uso da terra e cobertura vegetal; - 1980/2012 com 10 classes de uso da terra e cobertura vegetal.

O segundo processo consiste na aplicação da rotina CA_MARKOV – Cellular Automata/Markov Changes, o qual a partir do plano de informações mais recente utilizado no processo anterior, acrescentado da matriz de probabilidades de transição, da matriz de transição de áreas e do conjunto de planos de informações de probabilidades condicionais gerados no mesmo, foram obtidos os mapas preditivos contendo os cenários futuros, ou seja, a espacialização das 10 classes de uso da terra e cobertura vegetal para tal cenário.

O layout final dos mapas foi realizada com o auxílio do software ARCGIS 9.3, através do conjunto ARCMAP & ARCInfo, o qual

permitiu adicionar as convenções cartográficas necessárias para a produção dos mapas finais.

RESULTADOS

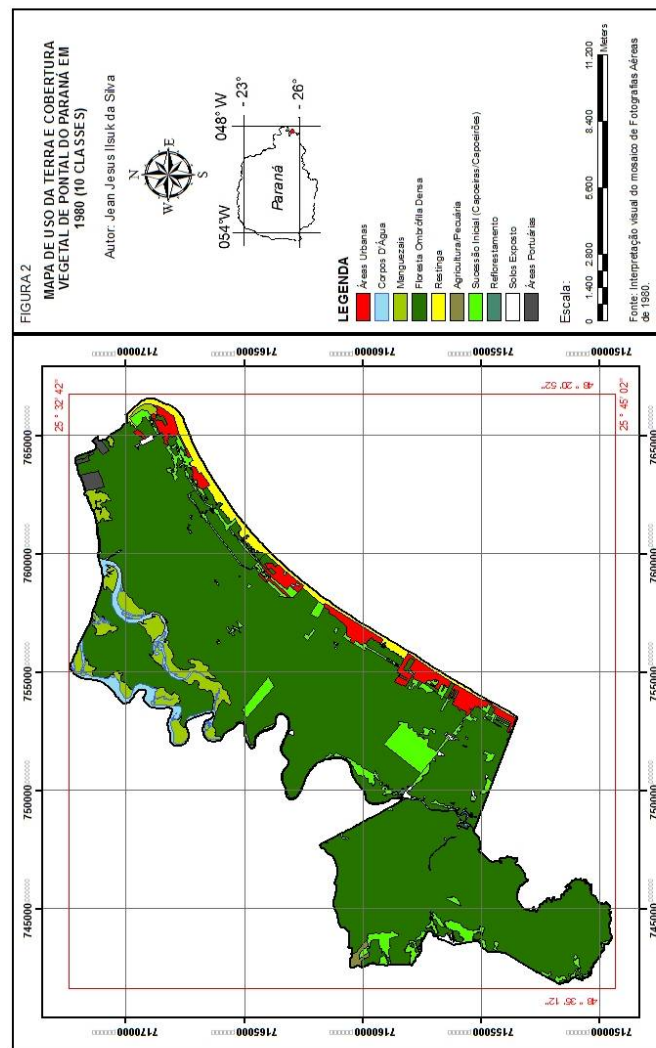
Os mapas representados pelas Figuras 2, 3 e 4, representam o uso da terra e cobertura vegetal em Pontal do Paraná nos anos de 1980, 1996 e 2012. Foram adotadas 10 classes, tratando-se neste caso de um mapeamento real, onde a classe de uso da área portuária foi incluída, permitindo não só compreender a evolução dos projetos portuários na área de estudo durante o período analisado, como também proceder a simulação de cenários futuros (2032) que contemplem a instalação efetiva do complexo portuário. A partir desses mapeamentos foi elaborada a Tabela 01, a qual compara quantitativamente as mudanças de uso da terra e cobertura vegetal em Pontal do Paraná ao longo dos anos de 1980, 1996 e 2012.

Tabela 01

Comparação das áreas em hectares e porcentagem de ocupação referentes as 10 classes de uso da terra e cobertura vegetal do município de pontal do paraná nos anos de 1980, 1996 e 2012

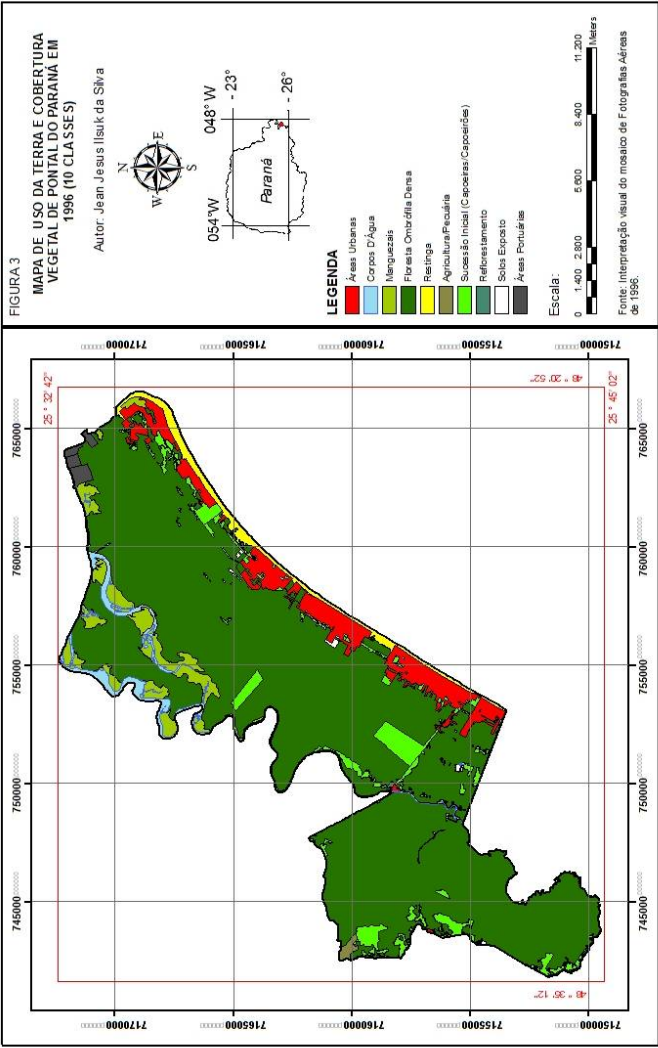
Identificador (ID)	Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Área Real em 1980	Área Real em 1996	Área Real em 2012	Área Real em 1980	Área Real em 1996	Área Real em 2012
		(ha)	(ha)	(ha)	(%)	(%)	(%)
1	Áreas Urbanas	617,22	1344,13	1711,22	3,06%	6,65%	8,47%
2	Corpos D'Água	457,79	466,19	473,44	2,27%	2,31%	2,34%
3	Manguezais	869,54	865,78	860,07	4,30%	4,29%	4,26%
4	Floresta Ombrófila Densa	16361,14	15768,62	15604,63	80,99%	78,06%	77,24%
5	Restinga	511,95	473,23	470,78	2,53%	2,34%	2,33%
6	Agricultura/Pecuária	38,32	45,16	123,20	0,19%	0,22%	0,61%
7	Sucessão Inicial -Capoeira/Capoeirões	1169,28	1053,59	730,75	5,79%	5,22%	3,62%
8	Reflorestamento	4,53	4,53	4,43	0,02%	0,02%	0,02%
9	Solo Exposto	81,98	49,19	42,26	0,41%	0,24%	0,21%
10	Áreas Portuárias	89,65	130,98	182,76	0,44%	0,65%	0,90%
TOTAL		20201,38	20201,38	20203,53	100,00%	100,00%	100,00%

Cálculo realizado no software IDRISI através da função GIS ANALYSIS > Database Query > AREA, aplicada sobre os respectivos mapas de uso da terra e cobertura vegetal referentes aos anos de 1980, 1996 e 2012.



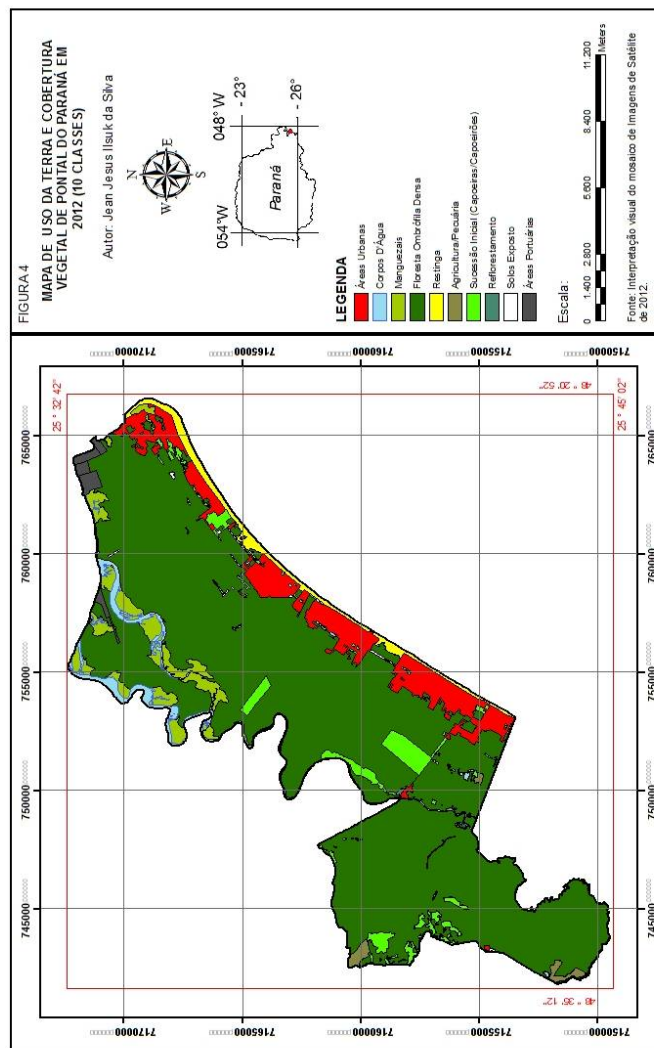
A

Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do Paraná em 1980 (10 classes)
 Interpretação visual do mosaico de fotografias aéreas de 1980



B

Mapa de uso da terra e cobertura vegetal de pontal do Paraná em 1996 (10 classes)
Interpretação visual do mosaico de fotografias aéreas de 1996



C

Mapa de uso da terra e cobertura vegetal de pontal do Paraná em 2012 (10 classes)

Interpretação visual do mosaico de fotografias aéreas de 2012

A aplicação das rotinas MARKOV – Markov Transition Estimator, e CA_MARKOV - Cellular Automata/Markov Changes, conforme descrito no item anterior, foi realizada em duas etapas: a primeira nos planos de informações do uso da terra e cobertura vegetal para anos de 1996 e 2012 (FIGURAS 3 e 4), e a segunda nos planos de 1980 e 2012 (FIGURAS 2 e 4), resultando em dois planos preditivos para o ano 2032, os quais contemplam um cenário futuro da efetivação do complexo portuário. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 2 e nas Figuras 5 e 6.

Tabela 02

Áreas em hectares e porcentagem resultantes do mapeamento preditivo (2032)

Identificador (ID)	Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Área em 2032 (Hectares) resultante de 1996-2012	% da Área Total em 2032 resultante de 1996-2012	Área 2032 (Hectares) resultante de 1980-2012	% da Área Total em 2032 resultante de 1980-2012
		12	12	12	12
1	Áreas Urbanas	2077,43	10,28%	2265,30	11,21%
2	Corpos D'Água	472,44	2,34%	471,66	2,33%
3	Manguezais	860,71	4,26%	860,94	4,26%
4	Floresta Ombrófila Densa	15344,44	75,91%	15171,65	75,07%
5	Restinga	470,95	2,33%	457,00	2,26%
6	Agricultura/Pecuária	129,98	0,64%	130,48	0,65%
7	Sucessão Inicial-Capoeira/Capoeirões	623,65	3,09%	621,09	3,07%
8	Reflorestamento	4,35	0,02%	4,33	0,02%
9	Solo Exposto	45,44	0,22%	44,55	0,22%
10	Áreas Portuárias	183,48	0,91%	183,99	0,91%
TOTAL		20212,84	100,00%	20210,98	100,00%

Cálculo realizado no software IDRISI através da função GIS ANALYSIS > Database Query > AREA, aplicada sobre o respectivo mapa preditivo de uso da terra e cobertura vegetal.

A partir dos dados apresentados foi possível realizar a análise das mudanças de uso da terra assumidas pelos dois mapeamentos preditivos:

Áreas Urbanas- nos mapeamentos preditivos realizados, as áreas urbanas apresentam um crescimento bastante expressivo. Os valores apresentados são 2077,43 ha ou 10,28% do total da área de estudo (1996-2012>2032), 2265,30 há ou 11,21% (1980-2012>2032). O complexo portuário de Pontal do Paraná, é um fator que pode funcionar como atrativo populacional, aumentando ainda mais a já elevada taxa de expansão populacional desse município.

Corpos D'Água- nestes mapeamentos preditivos a área ocupada pelos corpos d'água atingem 472,44 ha ou 2,34% (1996-2012>2032) e, 471,61 ha ou 2,33% (1980-2012>2032) do total da área de estudo. Essa classe apresentou um avanço leve entre os dados, em razão da criação de uma série de pequenos tanques artificiais. A localização aleatória dessas mudanças (em contraponto as mudanças graduais ocorridas na classe de áreas urbana por exemplo), fez com que nos mapas preditivos gerados não fossem encontradas mudanças expressivas na estrutura dessa classe.

Manguezais- os manguezais ocupam nesses cenários 860,71 ha ou 4,26% (1996-2012>2032) e, 860,94 ha ou 4,26% (1980-2012>2032) do total da área de estudo, permanecendo praticamente intactos em sua distribuição espacial em ambas as modelagens. Dois fatores colaboram para a ocorrência desse quadro nos respectivos mapas, o primeiro como mencionado, anteriormente, reside no fato dos manguezais serem considerados Áreas de Preservação Permanente e o segundo, por estarem em sua maior parte relativamente distantes tanto da mancha urbana de Pontal, como os locais destinados aos empreendimentos portuários.

Floresta Ombrófila Densa- as áreas ocupadas pela Floresta Ombrófila Densa ocupam nestes mapas preditivos 15344,44 ha ou 75,91%

(1996-2012>2032) e, 15171,65 ha ou 75,07% (1980-2012>2032) do total da área de estudo. A redução das floresta é resultado da expansão da classe de áreas urbanas.

Restinga- os espaços ocupados por restingas somaram 470,95 ha ou 2,33% (1996-2012>2032) e, 457,00 ha ou 2,26% (1980-2012>2032) do total da área de estudo. A razão pela qual as áreas ocupadas pelas restingas tendem a se manter semelhantes pode ser atribuída ao fato de as mesmas serem consideradas Áreas de Preservação Permanente conforme a legislação nacional (notadamente por meio da Lei Nº 12.651 de 25/05/2012).

Agricultura/Pecuária- as áreas ocupadas pelas atividades agrícolas ocuparam nesse mapa preditivo 129,98 ha ou 0,64% (1996-2012>2032) e, 130,48 ha ou 0,65% (1980-2012>2032) do total da área de estudo. Elementos físicos (notadamente os solos) se constituem em fatores limitantes para a expansão de atividades dessa natureza.

Sucessão Inicial (Capoeira/Capoeirões)- as áreas ocupadas por Sucessão Inicial ocupam neste mapa preditivo 623,65 ha ou 3,09% (1996-2012>2032) e, 621,09 ha e 3,07% (1980-2012>2032) do total da área de estudo. A redução dessa classe se deve ao fato de que as áreas ocupadas pela mesma serão, conforme a simulação realizada, gradualmente convertidas em outras classes (notadamente as áreas urbanas).

Reflorestamento- as áreas ocupadas pela classe de reflorestamento assumiram a extensão de 4,35 ha, ou 0,02% (1996-2012>2032) e, 4,33 ha e 0,02% (1980-2012>2032) do total da área de estudo. Nos mapeamentos de 1980, 1996 e 2012 as áreas de reflorestamento se limitaram a uma única propriedade, e como os processos utilizados para a simulações dos mapas preditivos se baseiam em cenários passados, foi mantida uma tendência de estagnação nessa classe como resultado.

Solo Exposto- o espaço ocupado por solo exposto apresentou praticamente não apresentou variação em ambas as projeções, apresentando o valor de 45,44 ha ou 0,22% (1996-2012>2032) e, 44,55 ha ou 0,22% (1980-2012>2032) da área total.

Áreas Portuárias- as áreas portuárias ocupam nesta projeção 183,48 ha ou 0,91% (1996-2012>2032) e, 183,99 ha ou, 0,91% (1980-2012>2032) do total da área de estudo, constituindo-se basicamente dos projetos a serem operados pelas empresas Porto de Pontal, Melpport Terminal Marítimos, Odebrecht, Techint e Subsea 7. Os empreendimentos se localizam sobretudo na área conhecida como Ponta do Poço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos mapas notou-se uma expansão consideravelmente maior das áreas urbanas, fator que impactou diretamente nas classes de Restingas, Sucessão Inicial e Floresta Ombrófila Densa (ambos com perdas territoriais), esse resultado vai ao encontro a outros estudos (entre os quais alguns EIA-RIMAs mencionados nesse trabalho) que apontam que a instalação de um complexo portuário em Pontal do Paraná, irá gerar

impactos no incremento da população desse município, resultando assim na expansão das classes de uso da terra ligadas as atividades antrópicas.

Foi observado também a capacidade dos módulos MARKOV e CA_MARKOV presentes no software IDRISI TAIGAn a geração de uma dinâmica temporo-espacial, e na realização de uma modelagem de caráter preditivo.

O presente trabalho revelou que o uso de modelagem preditiva pode ser uma ferramenta bastante útil para a avaliação e interpretação de cenários futuros, gerando dessa forma subsídios que podem ser utilizados por atores públicos e privados na otimização da gestão territorial.

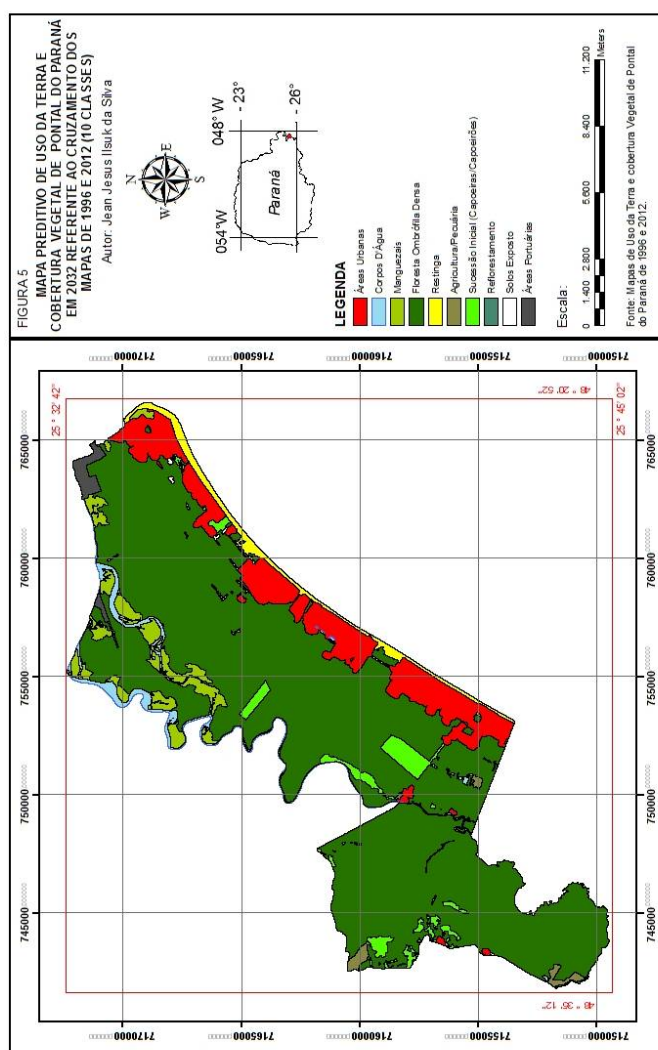
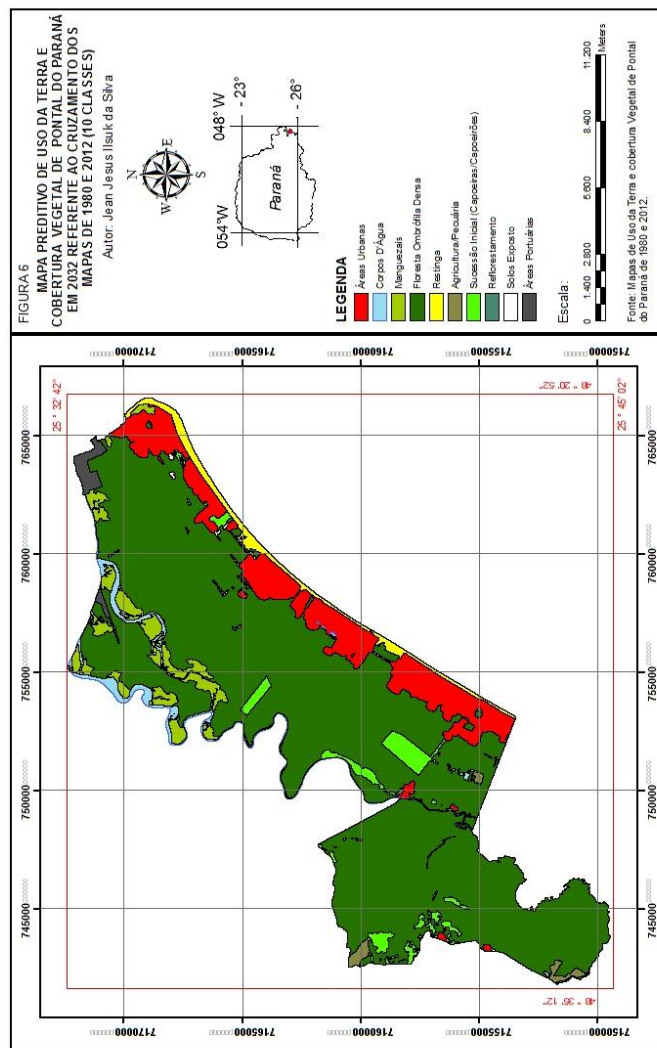


Figura 5

Figura 5

Mapa de uso do solo



E

Figura 6

Mapa de uso do solo

Por fim, sugere-se que os resultados de tal trabalho possam ser utilizados pelos poderes públicos atuantes na área de estudo, como um subsídios para o planejamento e gestão dessas áreas, contribuindo assim tanto para a redução de impactos socioeconômicos advindos das mudanças de uso da terra previstas, como para a consolidação de um desenvolvimento sustentável para sociedade e meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- AMB – Planejamento Ambiental e Biotecnologia – LTDA. EIA – Porto Portal do Paraná, 2008. Disponível em: Acessado em 26 de Outubro de 2014.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Meio-Ambiente – Impactos Ambientais, 2014. Disponível em: .Acessado em 24 de Fevereiro de 2014.

- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Panorama Aquaviário, 2011. Disponível em: .
- BASTOS. Autômatos Celulares e suas Aplicações no Meio Ambiente, 2011. Disponível em: < <http://inf.ufpel.edu.br/site/wp-content/uploads/2012/04/Aut-Celulares.pdf>>. Acessado em 08 de Abril de 2014.
- COLIT – Conselho de Desenvolvimento Territorial do Litoral. Diagnóstico do Plano Diretor do Município de Pontal do Paraná, 2004. Disponível em: . Acessado em 10 de Março de 2014.
- COLIT – Conselho de Desenvolvimento Territorial do Litoral. Caderno de Leis do Plano Diretor do Município de Pontal do Paraná, 2004. Disponível em: .
- Estudo de Impacto ambiental e o Relatório de Impacto. Estudo de Impacto Ambiental para as Obras de Readequação de Cais e Dragagem em Pontal do Paraná – PR. EIA-RIMA. Vol. Único, Curitiba-PR, 42p, 2012.
- GARCIA, A.G.N. Representação do Processo Estocástico de Energias Afluentes por Modelos Auto-Regressivos Periódicos no Planejamento de Sistemas Hidrotérmicos, 2005. Disponível em: . Acessado em 04 de Abril de 2014.
- GREMONINI, L; VICENTINI, E. Autômatos Celulares: Revisão Bibliográfica e Exemplos de Implementações, 2005. Disponível em: . Acessado em 10 de Abril de 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades -Pontal do Paraná, 2014. Disponível em: . Acessado em 22 de Julho de 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra, 2013. Disponível em: . Acessado em 22 de Julho de 2014.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ (IAPAR). Cartas Climáticas do Estado do Paraná. IAPAR, Londrina-PR, Documento 18, 49p, 1994.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ (IAPAR). Cartas Climáticas do Estado do Paraná, 2014. Disponível em: .
- IPARDES – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Econômico. Caderno Estatístico do Município de Pontal do Paraná, 2015. Disponível em: .
- MAACK, R. Geografia Física do estado do Paraná. BADEP, v.1, Curitiba-PR, p.350, 1968.
- MINEROPAR – Minérios do Paraná S/A. Atlas Geomorfológico do Paraná, 2006. Disponível em: . Acessado em 24 de Fevereiro de 2014.
- MINEROPAR – Minérios do Paraná S/A. Geologia do Paraná (Litoral Paranaense), 2014. Disponível em: . Acessado em 06 de Março de 2014.
- NOGUEIRA, F. Modelagem e Simulação - Cadeias e Markov, 2009. Notas de Aula, disponível em . Acessado em 04 de Abril de 2014.
- PASCOAL, F. S. Sociedade Artificial Fight4life: Autômato Celular Modelando Vida Artificial, 2005. Disponível em: . Acessado em 14 de Abril de 2014.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Atlas do Desenvolvimento Humano dos Municípios, 2013. Disponível em: .
- RICOBOM, A. E. Metodologia Auxiliar para a Revisão de Planos Diretores Municipais Através da Aplicação da Cartografia Prospectiva, Estudo de Caso – Perímetro Urbano de Paranaguá. Tese de Doutorado em Geografia, Curitiba-PR, 509p, 2012.

- RUHOFF, A.; CRUZ, F.I.; COLLISCHONN, W. Modelos de Simulação Dinâmica do Desmatamento da Amazônia. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia-MG, v. 1, p.258-268, 2010.
- SILVA, J.J.I. Uma análise das transformações do uso da terra pela implementação de um Complexo Portuário em Pontal do Paraná – PR. *Dissertação de Mestrado em Geografia*, Curitiba-PR, 157p, 2015.
- SOUSA, A.F.C. Autômatos Celulares, 2002. Disponível em:. Acessado em 10 de Abril de 2014.
- SOUZA, C.R.G. A Erosão nas Praias do Estado de São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco, 2009. Disponível em:
- VELOSO, H.; RANGEL FILHO, Al; LIMA, J. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. IBGE/ Departamentos de Recursos Naturais e estudos Ambientais, v.1, Curitiba-PR, p.123, 1991.
- WEIMAR, J.R. Simulation with cellular Automata. Berlin: Verlag Berlin, Vol.1, Berlin-ALE, 199p, 1998.
- WOLFRAM, S. Cellular Automata. Los Alamos Science, Vol. 9, New México-EUA, p.21, 1983.

Notas

- [4] WOLFRAM, S. Cellular Automata. Los Alamos Science, Vol. 9, New México-EUA, p.21, 1983.