

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DA PRATA, MS, UTILIZANDO O MODELO DE CADEIAS MARKOV – E AUTÔMATOS CELULARES

Laís Coêlho do Nascimento Silva¹
Vitor Matheus Bacani²

Resumo: a modelagem preditiva de mudanças no uso e cobertura da terra possibilita analisar diferentes níveis de impactos e transformações paisagísticas. O objetivo deste trabalho foi avaliar e simular a tendência futura de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (BHRP), MS utilizando o modelo de Cadeias de Markov e Autômatos Celulares. Os procedimentos metodológicos fundamentaram-se na análise da fragilidade ambiental da BHRP em 1986, 1996, 2006 e 2016 e simulação de tendência futura para os anos de 2050 e 2100 utilizando sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. Os resultados indicaram que as classes de fragilidade “média” e “alta” possuem maior convergência para aumento no futuro em detrimento da classe “baixa” que teve maior alteração em sua área. Constatou-se que os efeitos espaço-temporais das alterações antrópicas na paisagem acentuam a necessidade de políticas públicas voltadas ao incentivo de práticas conservacionistas na BHRP.

Palavras-chave: Cadeias de Markov. Fragilidade ambiental. Bacia hidrográfica.

SIMULATION OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY SCENARIOS IN THE RIO DA PRATA DRAINAGE BASIN, MS, USING THE CELLULAR AUTOMATA - MARKOV

Abstract: predictive modeling of changes in land use and land cover makes it possible to analyze different levels of impacts and landscape transformations. The objective of this work was to evaluate and simulate the future trend of environmental fragility of the Rio da Prata Hydrographic Basin (RPHB), MS using the model of Markov Chains and Cellular Automata. The methodological procedures were based on the analysis of the environmental fragility of the RPHB in 1986, 1996, 2006, and 2016 and the simulation of future trends for the years 2050 and 2100 using remote sensing and geographic information system. The results indicated that the “medium” and “high” fragility classes have greater convergence for future growth to the detriment of the “low” classes, which had the greatest change in its area. The spatiotemporal effects of anthropic changes in the landscape accentuate the need for public policies to encourage conservationist practices in the RPHB.

Keywords: Markov chain. Environmental fragility. Drainage basin.

SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE FRAGILIDAD AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO PLATA, MS, MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES – MARKOV

Resumen: la modelización predictiva de los cambios en el uso y la cobertura del suelo permite analizar diferentes niveles de impactos y transformaciones del paisaje.

¹ Universidade de São Paulo (USP) FFLCH, São Paulo, Brasil. lais_cns@yahoo.com.br, <https://orcid.org/0000-0003-0860-5066>

² Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Departamento de Geografia, CPTL, Três Lagoas, Brasil, vitor.bacani@ufms.br, <https://orcid.org/0000-0002-8650-0780>

El objetivo de este trabajo fue evaluar y simular la tendencia futura de la fragilidad ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Rio da Prata (CHRP), MS utilizando el modelo de Cadenas de Markov y Autómatas Celulares. Los procedimientos metodológicos se basaron en el análisis de la fragilidad ambiental del CHRP en 1986, 1996, 2006 y 2016 y simulación de tendencias futuras para los años 2050 y 2100 utilizando teledetección y sistema de información geográfica. Los resultados indicaron que las clases de fragilidad "media" y "alta" tienen mayor convergencia para el crecimiento futuro en detrimento de la clase "baja", que fue la que presentó mayor cambio en su área. Se encontró que los efectos espacio-temporales de los cambios antrópicos en el paisaje acentúan la necesidad de políticas públicas encaminadas a incentivar prácticas conservacionistas en el CHRP.

Palabras clave: Cadena de Markov. Fragilidad ambiental. Cuenca hidrográfica.

Introdução

As alterações de uso e cobertura da terra têm tido cada vez mais impactos no meio ambiente, decorridos, principalmente, de fatores econômicos e sociais, como a urbanização e industrialização. Com efeito, o estado de Mato Grosso do Sul possui extensas áreas agricultáveis além de grande rebanho bovino que, aliados às políticas públicas que incentivam a expansão industrial, tem a indústria de celulose expandindo-se nesse processo econômico. Logo, estudar a fragilidade ambiental dessa área do país ajuda a compreender os processos dinâmicos ambientais atuais, possibilitando, ainda, fazer uma prospecção de cenários futuros, considerando a tendência atual que o estado tem aderido.

A área de estudo, aqui demonstrada para representar essas alterações dinâmicas, está localizada na região sudoeste do Estado de Mato Grosso do Sul, mais precisamente na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (BHRP), cujas nascentes encontram-se em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, na Categoria de Parque Nacional, denominada de Parque Nacional Serra da Bodoquena, área de posse e domínio público.

A BHRP está localizada em área de carste, caracterizada por rochas carbonáticas, que confere à região uma singular beleza cênica e impulsiona o turismo local, porém também oferece maior fragilidade da paisagem natural.

Paisagens cársticas constituem-se de áreas frágeis, onde pequenas alterações ambientais representam ameaças graves à integridade do meio subterrâneo. Atividades antrópicas como desmatamento, urbanização, zonas industriais, turismo em massa, entre outros, acarretam impactos potenciais a essas áreas.

A fragilidade dos ambientes, de acordo com Ross (1994), representa o grau das intervenções antrópicas, frente às características intrínsecas do ambiente natural, ou seja, o equilíbrio natural do ambiente que fora, outrora, alterado pela exploração humana crescente.

Os modelos de fragilidade ambiental são importantes ferramentas de decisão para os formuladores de políticas, pois ajudam a quantificar a sensibilidade ambiental e a entender a relação entre as atividades humanas e a qualidade ambiental (MANFRÉ et al., 2013). Kawakubo, et al. (2005), também salientam que o mapeamento de fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

Essas diretrizes permitem que haja crescimento econômico da atividade de modo sustentável, ou seja, preservando o meio ambiente e recursos naturais em consonância às atividades econômicas, de modo que não haja inviabilização de uma ou outra esfera. Embora a análise da fragilidade ambiental tenha se consagrado no Brasil como um modelo amplamente utilizado, registra-se uma importante lacuna na literatura em relação aos modelos de predição de cenários de fragilidade ambiental.

A modelagem preditiva representa uma ferramenta crucial para prever impactos, pois permite prever mudanças na paisagem seguindo diferentes cenários que podem revelar políticas estratégicas para questões ambientais (HOUET e HUBERT-MOY, 2006). A simulação avalia o desempenho de um sistema, existente ou proposto, sob diferentes configurações de interesse e durante longos períodos de tempos reais (MARIA, 1997).

O modelo de Cadeias de Markov-Autômatos Celulares (CM-AC) é uma ferramenta para modelagem e simulação de mudanças na paisagem que se fundamenta nas tendências do passado daquele ambiente, ou seja, o estado atual é previsto com base no estado imediatamente anterior (HOUET e HUBERT-MOY, 2006).

Ye e Bai (2008) utilizaram modelos preditivos para simular as alterações do uso e cobertura da terra em Nenjiang County, e constataram que o decréscimo de áreas florestadas e aumento da agricultura limitaram o uso a partir de 2000, não possuindo terras agrícolas adequadas, de acordo com a simulação até 2030.

Behera et al. (2012), empregaram o modelo CM-AC nas mudanças de uso e cobertura da terra, com intuito de analisar a dinâmica da bacia hidrográfica Choudwar, na Índia em três décadas. A simulação indicou que as alterações

antrópicas, como aumento e expansão de assentamentos populacionais e agricultura irão interferir, futuramente, na dinâmica dessa bacia, sendo que esses resultados possibilitam o estudo de planejamento e gestão dos recursos hídricos para restaurar a disponibilidade de água e melhorar a condição da bacia hidrográfica.

A previsão de cenários preditivos é utilizada em estudos variados, como apresentado por Caetano-Chang e Landim (1982) que utilizaram essa técnica em estratigrafia quantitativa. A aplicação do modelo CM-AC serviu para simular valores de espessura média de camadas e porcentagem presentes num perfil de arenito, siltito, folhelho, calcário e diamictito, em um perfil de um poço perfurado em Anhembi-SP, alcançando resultados similares aos valores reais do perfil.

O presente estudo teve como objetivo analisar a fragilidade ambiental da BHRP, localizada na região turística de Bonito-MS, e realizar uma simulação da fragilidade ambiental futura, para embasar prognósticos de zoneamento e planejamento territorial ambiental.

A simulação de cenários futuros da fragilidade ambiental da BHRP, empregando o modelo CM-AC irá permitir maior eficiência nas tomadas de decisões e planejamentos atuais, visto que a bacia se encontra em áreas de relevo cárstico em desenvolvimento (DIAS, 2000), caracterizadas por um eco-ambiente frágil (PENG, XU, CAI, et al., 2011).

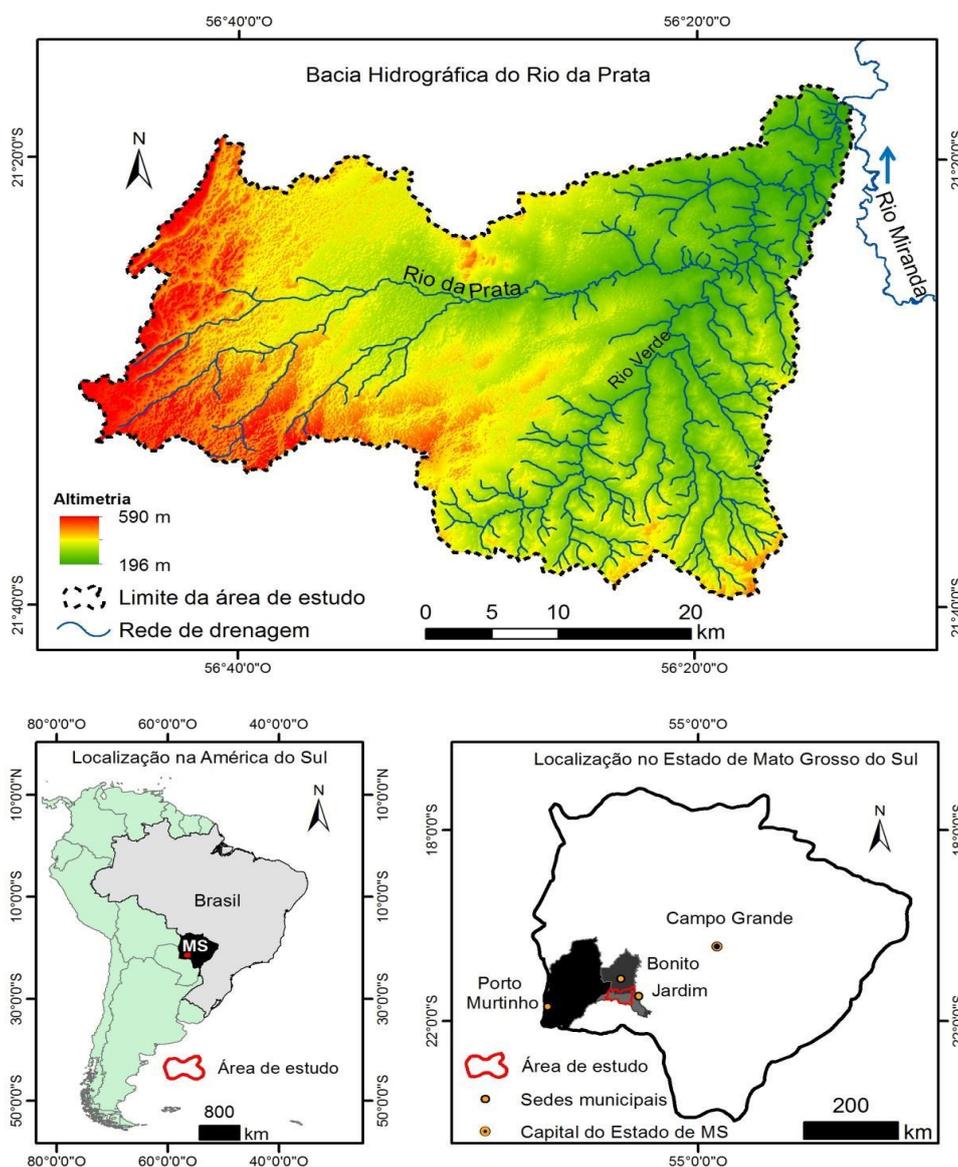
Caracterização da área de estudo

A BHRP está localizada no sudoeste do estado do Mato Grosso do Sul (Figura 1), com área delimitada entre os municípios de Bonito, Jardim e Porto Murtinho, tendo como maior prática rentável o turismo proveniente das águas cristalinas resultantes de rochas calcárias.

Os solos são provenientes das unidades geológicas da Formação Aquidauana, estando na foz da bacia, e a Formação Xaraiés que se pronuncia em suas nascentes, na Serra da Bodoquena. A Formação Aquidauana é composta por um espesso pacote sedimentar, com litologia essencialmente arenosa e típica cor vermelha (GESICKI, 1997), sendo embasada por carbonatos dos Grupos Cuiabá e Corumbá, de idade proterozoica (SALLUN FILHO e KARMANN, 2007). A Formação Xaraiés representa um depósito de tufas calcárias, sendo que seu processo de

sedimentação parece ter cessado há algum tempo, provavelmente em período anterior ao Holoceno (CORREA, 2006).

Figura 1- Localização da área de estudo.



Fonte: Os próprios autores.

A BHRP se encontra na fisionomia de relevo de Mato Grosso do Sul definida como Depressão do Alto Paraguai, onde se encontra os elevados da Bodoquena. O Polo Serra da Bodoquena é constituído por dois relevos: Planalto da Bodoquena e Depressão do Miranda (MATO GROSSO DO SUL, 2014). A geomorfologia se

resume a formas de dissecação convexas com relevo de topo convexo, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados por vales de fundo plano e / ou em “V”; e formas de dissecação tabular, cujo relevo possui topos aplanados com diferentes ordens de grandeza e aprofundamentos de drenagem, separados por vales de fundo plano (BORGES et al., 1997).

A região estudada apresenta precipitação média anual de 1.412,31mm, com estação chuvosa de setembro a maio, com clima tropical sub-quente e úmido (SALLUN FILHO, 2005).

Material e Métodos

Fragilidade ambiental

O estudo da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (BHRP), se baseou na análise integrada de sistema, fundamentando-se no estudo da fragilidade empírica proposta de acordo com Ross (1994), que exige conhecimentos básicos do relevo, solo, uso da terra e clima, indicando pesos e/ou classificações de acordo com as propriedades intrínsecas desses elementos, que indicam suas fragilidades e potencialidades. Também se utilizou a proposta de Crepani et al. (2001) para o estabelecimento de pesos de cada classe de fragilidade, adaptando-os de acordo com as características da área do presente estudo.

Os solos da BHRP foram obtidos pelo site da Embrapa, da Mapoteca digital da Embrapa (EMBRAPA, 2009), com escala de 1:100.000 e base no ano de 2007 (Tabela 1).

Tabela 1- Relação entre os graus de fragilidade e os solos da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata.

Grau de Fragilidade	Tipos de Solos
Muito baixa	Latossolo Vermelho, textura argilosa; Nitossolo Vermelho eutrófico, textura muito argilosa.
Baixa	Latossolo Vermelho, textura média.
Média	Latosso Vermelho Amarelo, terra roxa, terra bruna, Argissolo Vermelho Amarelo, textura média argilosa.
Alta	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico Ta e

	<p>Tb abrupto e não abrupto, A moderado textura arenosa/média relevo + Cambissolo distrófico Tb, A moderado textura média + Neossolos Quartzarênicos.</p> <p>Álicos distróficos, A moderado + Neossolos Litólicos distróficos, A moderado textura média.</p> <p>Neossolos Quartzarênicos álicos, A moderado.</p>
Muito Alta	<p>Neossolos Litólicos álicos, A moderado textura indiscriminada relevo forte ondulado + Argissolo Vermelho-Amarelo álico Tb, A moderado textura arenosa/média relevo suave ondulado e ondulado + Neossolos Quartzarênicos álicos, A moderado;</p> <p>Neossolos Quartzarênicos álicos, A + Neossolos Litólicos álicos, A moderado textura média + Argissolo Vermelho-Amarelo álico Tb, A moderado textura arenosa/média.</p>

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e EMBRAPA (2009).

As classes de declividade foram identificadas com base em dados do radar *Advanced Land Observing Satellite (ALOS) Phased Arrayed type LBand SAR (PALSAR)*, com 12,5 metros de resolução espacial (JAXA, 2017). A reclassificação para atribuição dos pesos foi realizada conforme a Tabela 2.

Tabela 2- Relação entre os graus de fragilidade e as classes de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata.

Graus de Fragilidade	Classes de declividade
Muito baixa	0 a 6%
Baixa	6 a 12 %
Média	12 a 20 %
Alta	20 a 30 %
Muito alta	> 30 %

Fonte: Ross (1994).

A intensidade pluviométrica da BHRP foi definida a partir de médias anuais pluviométricas, disponíveis na base de dados da ANA (Agência Nacional das Águas). Foram utilizados dados de postos pluviométricos na área de estudo, mas também em suas proximidades para posterior interpolação no ArcGis10.2. Os valores de precipitação média anual foram divididos por nove, que representa o número de meses chuvosos na área de estudo (CREPANI et al., 2001), constituindo de intensidade pluviométrica (mm/mês) entre 100,0 e 175,0 mm/mês. O método de interpolação utilizado foi o IDW, ou seja, faz o procedimento de interpolação pela ponderação do Inverso da Distância. Para adequação da classificação proposta por Ross (1994), adaptou-se a metodologia com base numa regra de três simples (CUNHA et al., 2013). De acordo com a classificação de fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), a fragilidade é considerada baixa, peso 2.

As áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade foram apoiadas no levantamento do SISLA (Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental) do estado de Mato Grosso do Sul, disponibilizadas em formato *shapefile*, e categorizadas de acordo com o grau de fragilidade indicado para conservação da biodiversidade, conforme descrito em Bacani et al. (2015) (Tabela 3). As áreas de depósitos de tufas na BHRP possuem importância e prioridade extremamente alta, em relação à biodiversidade, devido aos rios cristalinos em substrato calcário (MATO GROSSO DO SUL, 2014).

Tabela 3- Valores de fragilidade ambiental atribuídos às classes de áreas prioritárias.

Prioridade	Grau de fragilidade
Não prioritária	Muito baixa
Muito alta	Alta
Extremamente alta	Muito alta

Fonte: Adaptado de Bacani et al. (2015).

Foram consideradas as Áreas de Preservação Permanente (APPs), segundo as leis ambientais presentes no Código Florestal Brasileiro (Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012), e as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA) 302 e 303/02 para elaboração das áreas de planície de inundação, consideradas, conforme Ross (2012), áreas de alta fragilidade ambiental.

Para mapeamento do uso e cobertura da terra, foram utilizadas imagens de satélite selecionadas no banco de dados da USGS (*United State Geological Survey*, 2016), ortorretificadas, com nível de correção *Standard Terrain Correction* (Level 1T) (USGS, 2017) do satélite Landsat 5, sensor TM, com 30 m de resolução espacial, referentes a 07/08/1986, 02/08/1996 e 13/07/2006. A imagem referente a 24/07/2016 do é do satélite Landsat 8, sensor OLI, com 30 m de resolução espacial multiespectral e 15 m na banda pancromática. As imagens Landsat passaram por processamento de calibração radiométrica, assim como correção atmosférica pelo módulo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) (KAUFMAN et al., 1997), utilizando os algoritmos mais avançados (MODTRAN) do aplicativo ENVI (Exelis Visual Information Solutions, Boulder, CO, USA, version 5.1).

No software Ecognition Developer 9.2 (Definiens Imaging, Munich), a partir da abordagem de classificação orientada a objeto (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*), foi feita a composição colorida para cada imagem e segmentada utilizando o algoritmo *multiresolution segmentation*, para criação do tamanho apropriado dos objetos presentes na imagem, separando cada feição da paisagem. A Tabela 4 apresenta as classes de uso e cobertura da terra e os respectivos graus de fragilidade.

Tabela 4- Relação entre os graus de fragilidade e os diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata.

Graus de Fragilidade	Classes de cobertura da terra
Muito baixa	Florestal, Mata Ciliar
Baixa	Cerrado
Média	Pastagem e Silvicultura de Eucaliptos
Alta	Agricultura: culturas de ciclo curto com práticas conservacionistas Agropecuária (assentamento rural)
Muito alta	Áreas desmatadas, solo exposto

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Após a classificação, os mapas de uso da terra dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016 foram exportados para o Envi 5.1 para a validação. Utilizando o método de amostragem aleatória estratificada proporcional foram selecionados alguns pontos analisados em campo e em imagens de satélite Landsat 5 e 8 OLI, totalizando 385 pontos de referência, calculados com erro amostral de 5%, em nível de confiança de 95% (SANTOS, 2014). O número de pontos foi definido de acordo com a área da bacia e distribuiu-se proporcionalmente e aleatoriamente nas classes, de acordo com a área ocupada.

O mapa de fragilidade potencial foi elaborado com os parâmetros do meio físico natural, baseados na declividade, nos solos, na biodiversidade e intensidade pluviométrica, combinados segundo o método de sobreposição de soma algébrica fuzzy que considera as múltiplas variáveis de entrada como relevantes, ou seja, quando a evidência combinada é mais importante do que qualquer evidência individual (BACANI et al., 2015).

O Mapeamento da fragilidade ambiental resultou da combinação dos mapas de uso e cobertura da terra com o mapa de fragilidade potencial, pelo método de sobreposição de soma algébrica fuzzy (BACANI et al., 2015).

Simulação de cenários de fragilidade ambiental para 2050 e 2100

A fragilidade ambiental multitemporal (1986, 1996, 2006 e 2016) foi utilizada para simular mudanças futuras utilizando as cadeias de Markov integradas com os autômatos celulares.

Para simulação de cenários futuros de fragilidade ambiental foram utilizados o modelo CM-AC e a abordagem Multi-Criteria Evaluation (MCE), no software Terrset, versão 18 (EASTMAN, 2014). Os mapas de entrada da cadeia Markov foram referentes aos anos de 1996 e 2006, projetando a probabilidade de mudanças da fragilidade ambiental para o ano de 2016, com uma matriz de transição de probabilidade (EI- HALLAG e HABBOUB, 2015). Também foi gerado um conjunto de imagens de probabilidade condicional que expressam a probabilidade de cada pixel pertencer à classe designada no próximo período (HANDAYANI; TEJANINGRUM; DAMRAH, 2017), ou seja, 5 classes, que se referem as classes de fragilidade.

Na avaliação multicritério (MCE) utilizou-se como variáveis explicativas, os mapas de fragilidade potencial, geologia, estradas, assentamento rural e áreas com atrativos turísticos. Para cada variável foram gerados mapas de distância euclidiana,

e em seguida executada a ferramenta *Fuzzy Membership*, que transforma os dados raster numa escala de 0 a 1. As variáveis explicativas são informações adicionais que podem influenciar ou não na ocorrência da mudança, e assim podem contribuir para aumentar a probabilidade de uma mudança ocorrer (JURKEVICZ, 2015).

Utilizando o Terrset 18.0, com a ferramenta *Weight-AHP*, definiu-se pesos para cada variável explicativa, tendo o índice de consistência de 0.05, sendo considerada aceitável. O Processo de Hierarquia Analítica (AHP) fornece uma estrutura abrangente e racional para estruturar um problema de decisão, representando e quantificando seus elementos, correlacionando esses elementos com os objetivos gerais e avaliando soluções alternativas (GUAN et al., 2011).

O mapa de MCE substituiu o mapa da fragilidade “Muito Alta” da cadeia de Markov, criando um *RasterGroup* e foi incluído no módulo CM-AC, junto com o mapa de fragilidade de 2006, a matriz das áreas de transição (1996-2006). O número de iterações adotados foi de 10, com filtro padrão de 5X5.

O teste de calibração foi executado no modelo de fragilidade ambiental simulado de 2016, criado a partir da base de dados da fragilidade ambiental de 1996 e 2006, com Overall Kappa de 0,801382. O mapa de fragilidade ambiental de 2016 foi simulado para comparar com o mapa real de 2016, a fim de testar o modelo e aplicá-lo na geração de mapas futuros.

A partir do ano de 2016 foram determinadas 34 interações de CA para simulação de tendências futuras, para prever a fragilidade ambiental de 2050, e a partir de 2016 também, determinou-se mais 84 interações, simulando a fragilidade para o ano de 2100.

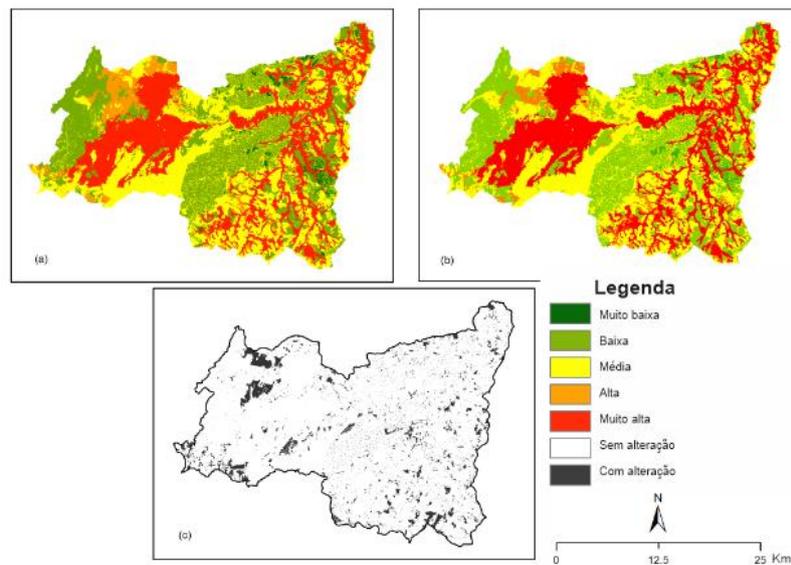
Resultados e Discussão

A validação do mapa de uso e cobertura da terra obteve resultados de 0,86% de índice Kappa e acurácia global de 90,15% para 1986, 0,85% de índice Kappa e acurácia global de 89,11 para 1996, 0,80% de índice Kappa e acurácia global de 86,01% para 2006 e 0,82% de índice Kappa e acurácia global de 87,30% para 2016. De acordo com a classificação de Landis & Koch (1977), os resultados obtidos revelam que a qualidade do mapeamento é substancial a quase perfeita.

Para validação do modelo de simulação de 2016, foi comparada a fragilidade ambiental atual com o mapa simulado (Figura 2), indicando que as cinco classes consideradas obtiveram menos de 1% de erros relativos.

As classes “baixa” e “muito alta” indicaram menor erro, de 0,10% ambas, já que em 2016, a baixa fragilidade apresentou 30,17% de área e o simulado correspondeu a 30,07%; a fragilidade muito alta teve 28,51% de área mapeada na fragilidade real e 28,61% no simulado. A classe que teve maiores alterações foi a “alta”, com 0,99% de diferença, provavelmente por se tratar da classe que tem como influência a agricultura, que ao longo dos anos estudados obteve maiores mudanças, com crescente avanço em relação à pastagem.

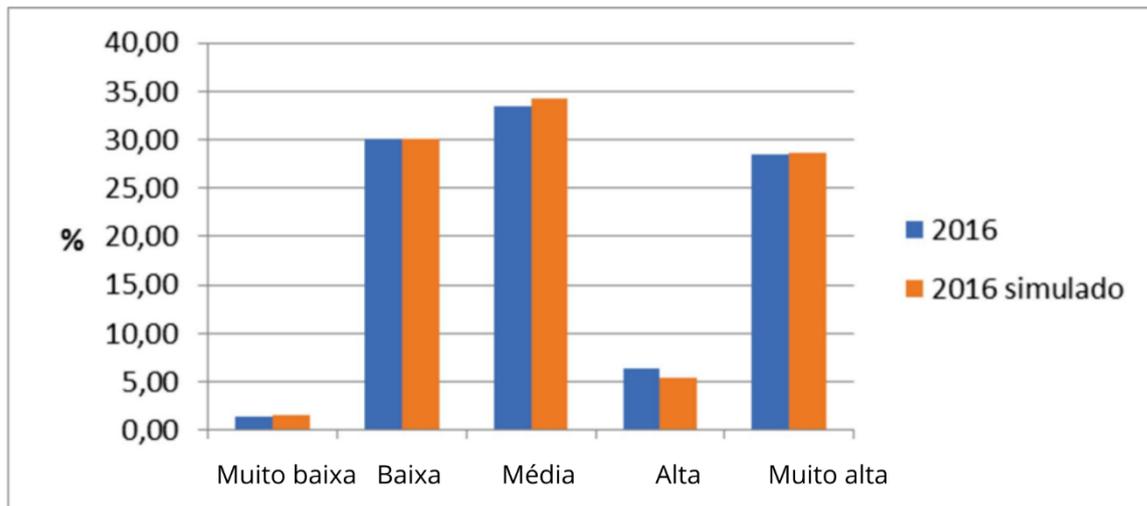
Figura 2- (a) Fragilidade Ambiental 2016 real; (b) Fragilidade Ambiental 2016 simulada e (c) Diferenças entre o mapa real e o simulado.



Fonte: Os próprios autores.

O resultado do mapa simulado mostrou-se bastante eficiente, sendo considerado o modelo CM-AC apto para previsão futura da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (BHRP). A Figura 3 exibe a comparação entre as áreas das cinco classes de fragilidades geradas em 2016 real e 2016 simulado.

Figura 3- Comparação entre os graus de fragilidade ambiental do ano de 2016 real e simulado.



Fonte: Os próprios autores.

Foi simulado o padrão de tendência em cinco níveis de fragilidade ambiental para os anos de 2050 e 2100. A Tabela 5 mostra a matriz de probabilidade de transição baseada nos processos da Cadeia Markoviana, calculada a probabilidade de mudança do ano de 1996 para 2006 e do ano de 2006 para 2016. Os anos de 2050 e 2100 foram simulados já que os mapas dos anos anteriores descritos se mostraram com uma tendência de continuidade.

Tabela 5- Matriz de probabilidade de transição Markov.

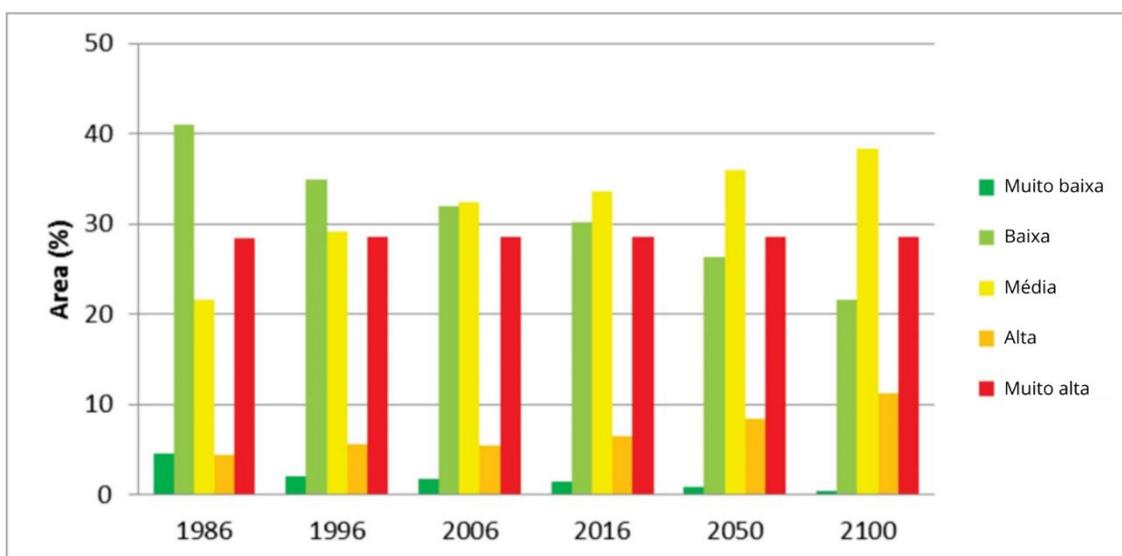
Probabilidade de mudanças para					
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
1996 para 2006					
Muito baixa	0.4738	0.4168	0.0986	0.0072	0.0036
Baixa	0.0183	0.7259	0.217	0.0353	0.0035
Média	0.006	0.1523	0.7676	0.0711	0.003
Alta	0.0029	0.2213	0.3986	0.3661	0.0111
Muito Alta	0.0002	0.003	0.0031	0.0018	0.9919
2006 para 2016					
Muito baixa	0.6014	0.3433	0.0546	0.0006	0.0002
Baixa	0.0077	0.8361	0.1374	0.0183	0.0005
Média	0.0015	0.0761	0.857	0.0631	0.0023

Alta	0.0002	0.0748	0.2162	0.7001	0.0087
Muito Alta	0	0.0012	0.0025	0.0016	0.9947

Fonte: Os próprios autores.

A fragilidade ambiental multitemporal indica que as classes de muito baixa e baixa fragilidade possuem tendência de redução, provavelmente devido à classe de vegetação arbórea ter decrescido ao longo dos anos de 1986 a 2016 (Figura 4). A classe de fragilidade ambiental muito baixa, que em 1986 apresentava 4,53% de sua área, diminuiu para 1,35% em 2016, e a classe baixa que em 1986 apresentava 41,01% de área, passou para 30,17% em 2016, ou seja, uma redução de 10,84% de área ocupada. A tendência é de redução da fragilidade baixa, prevendo que esta área possua 26,37% em 2050 e 21,63% em 2100.

Figura 4- Alterações temporais da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata.



Fonte: Os próprios autores.

O Latossolo encontrado na bacia é responsável por áreas de baixa fragilidade. As áreas de média fragilidade ambiental estão vinculadas aos Argissolos presentes na foz e nas nascentes do Rio Verde, afluente do Rio da Prata, onde a drenagem possui padrão dendrítico e alta densidade, estando relacionados à Formação Aquidauana, com relevos relativamente dissecados. A formação de solos mais desenvolvidos, como Argissolos e Latossolos, sob ambiente cárstico próximos

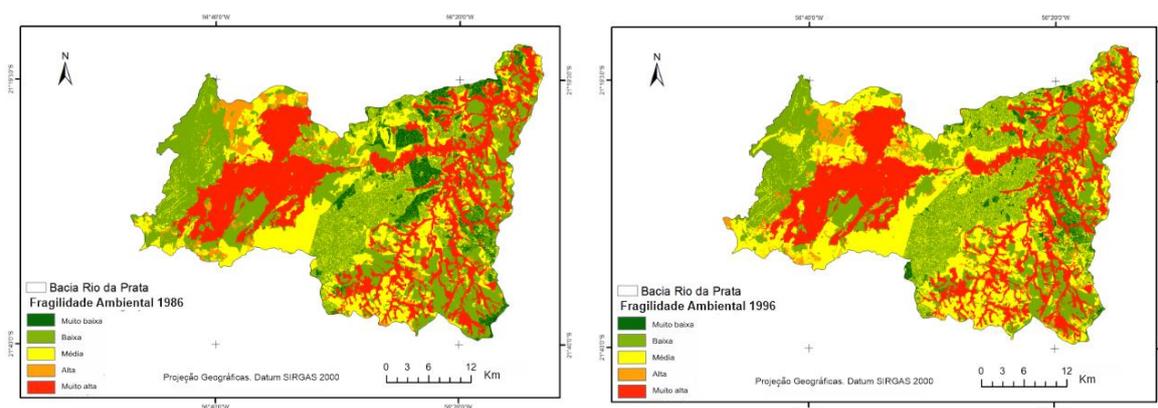
à área da foz da bacia, pode ser explicado por Hardt (2004), ao afirmar que os solos existentes sobre a litologia atual são resultados da evolução de uma antiga litologia, ausente no momento atual.

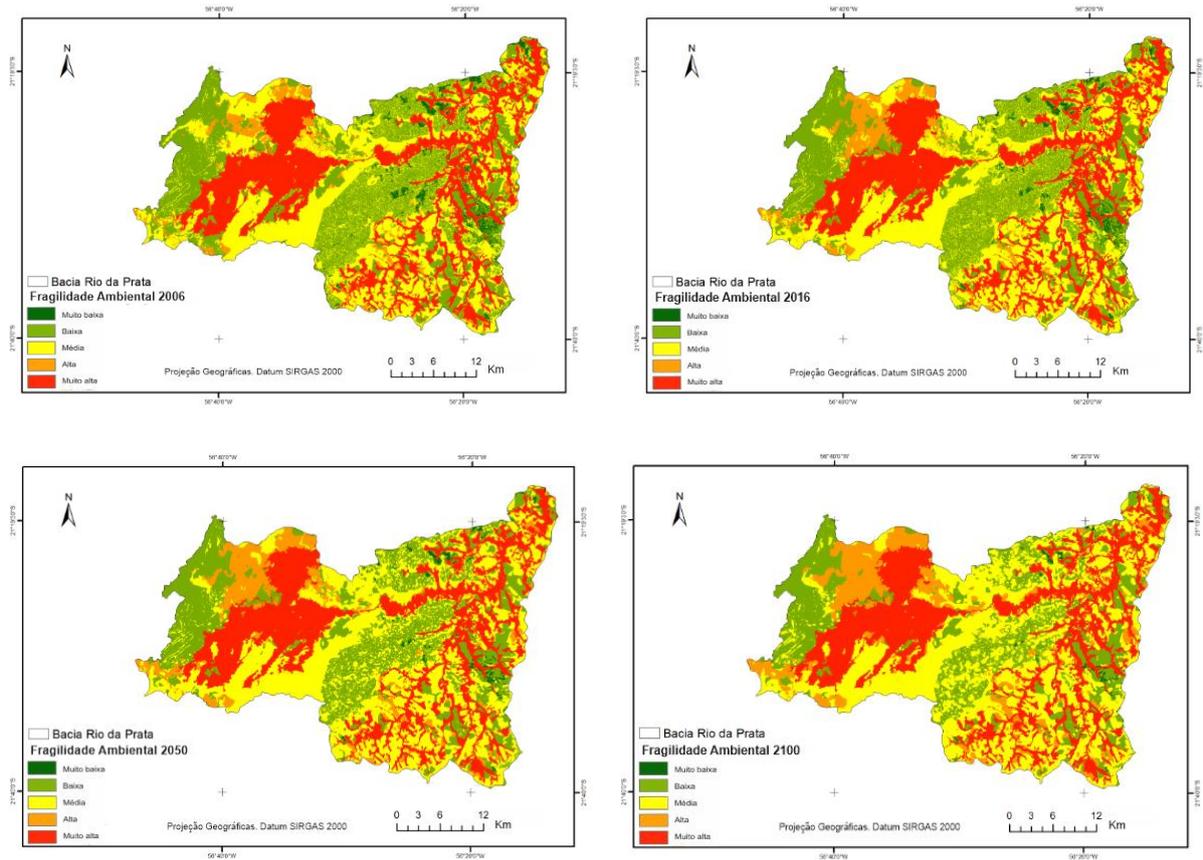
A classe de alta fragilidade ambiental está diretamente associada ao uso e cobertura da terra de agricultura, que possui valor de fragilidade alta. A classe, que em 1986 apresentava 21,61%, aumentou para 33,51% em 2016. O aumento da classe está atrelado também a pequena diminuição da pastagem dando espaço para áreas de agricultura, e conseqüentemente aumentando o nível de fragilidade dessas áreas.

No alto e médio curso da bacia, onde a fragilidade ambiental é tida como média e alta, distribuem-se os tipos de solos: Cambissolos, Chernossolo, Plintossolo, Gleissolo, Nitossolo, Neossolo, ou seja, solos em sua maioria mais rasos e menos desenvolvidos, resultado da alteração da rocha calcária subjacente. De acordo com Ferreira (2013), nas regiões cársticas, a intensidade de atuação dos fatores de formação dos solos sobre os materiais calcários, junto com os mecanismos de formação, determina o grau de expressão pedogenética, explicando a variação de solos.

A fragilidade ambiental muito alta corresponde, em sua maioria, às áreas de planície de inundação, relacionadas às áreas de preservação permanente, por se tratar de ambientes periodicamente alagáveis ao longo do ano. Nas nascentes da bacia considerou-se também a fragilidade como muito alta devido estar relacionada ao relevo cárstico e a formação de tufas calcárias, que ocorrem principalmente ao longo do rio principal, mantendo-se, portanto, praticamente inalterada ao longo dos anos estudados (Figura 5).

Figura 5- Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata em 1986, 1996, 2006 e 2016, 2050 e 2100.

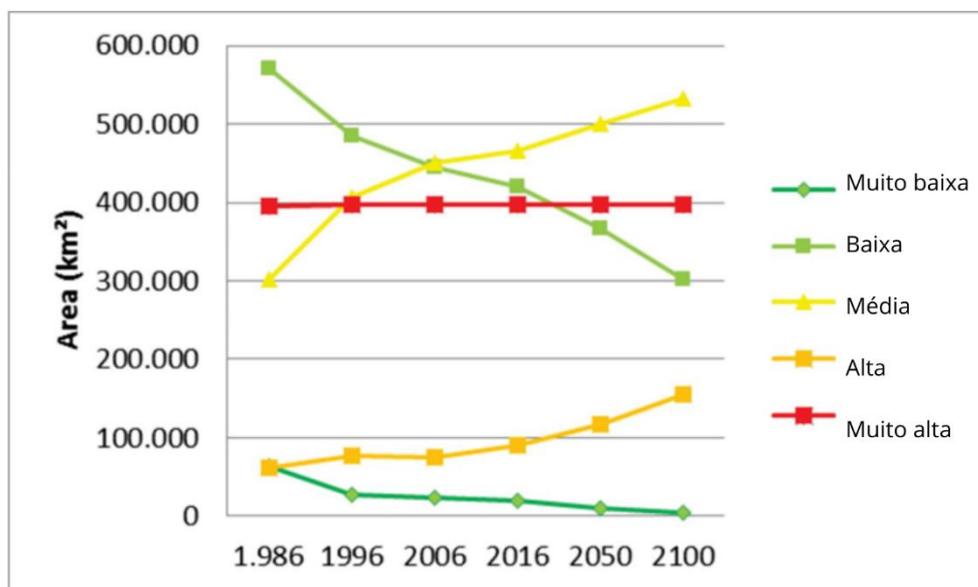




Fonte: Os próprios autores.

A Figura abaixo apresenta a fragilidade ambiental do passado e a tendência futura, que indica que as classes de fragilidade muito baixa e baixa decaíram desde 1986, sugerindo o mesmo padrão para os anos de 2050 e 2100. Já as áreas de fragilidade média e alta possuem padrão crescente.

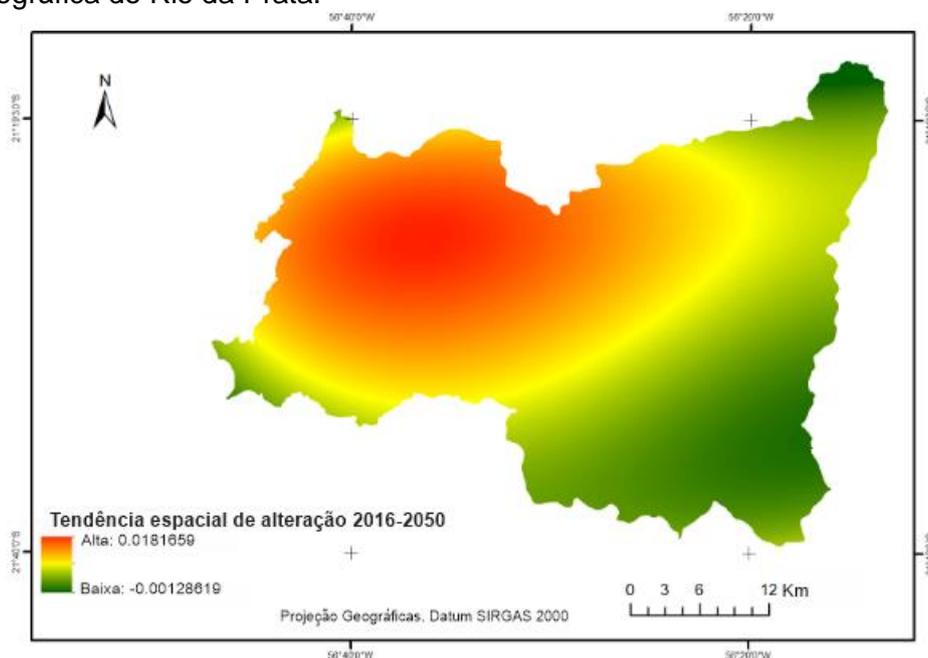
Figura 6- Tendência de mudança passada e futura para cada classe de fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata.



Fonte: Os próprios autores.

De acordo com os resultados de padrão de tendência e simulação da fragilidade ambiental na BHRP, a classe de fragilidade média e alta possuem maior convergência para aumento em detrimento da classe baixa que teve maiores alterações em diminuição de sua área, provavelmente com maior potencial de transição para a classe de fragilidade ambiental posterior (Figura 7).

Figura 7- Mapa de Potencial transição da classe de média para alta fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata.



Fonte: Os próprios autores.

O oeste da bacia indica maior tendência para aumento de mudança da classe de fragilidade média, que pode ser explicada pelas variáveis explicativas utilizadas: fragilidade potencial, geologia e assentamentos rurais. Essa localidade da bacia apresenta feições cársticas, resultado da litologia de rochas carbonáticas – calcários e dolomito- submetidas a sistemas morfoclimáticos úmidos (DIAS, 2000).

Os assentamentos rurais localizados na área indicam forte tendência a mudanças e sugerem indícios preocupantes, pois o relevo cárstico tem como principal processo de formação a dissolução da rocha através do tempo geológico e a baixa ocorrência de drenagem superficial, facilitando a percolação da água e consequentemente originando complexos sistemas hidrológicos subterrâneos (AULER et al., 2011). Essa característica hidrológica do terreno cárstico favorece alterações ao ambiente, como as contaminações por materiais poluentes, pois a água se desloca de forma acelerada, não encontrando obstáculos, podendo atingir expressiva extensão (GOMES, 2010).

As variáveis explicativas “estrada” e “turismo” tiveram menor influência para mudanças mais severas no potencial de transição de fragilidade ambiental, talvez por estarem localizadas em áreas com fragilidade potencial de menor grau. Esses resultados indicam que os processos antrópicos em ambientes de fragilidade potencial natural, no caso da bacia, de litologia calcária (Formação Xaraiés que se pronuncia em suas nascentes, na Serra da Bodoquena) sugerem maior fragilidade ambiental.

Considerações finais

O uso da modelagem espacial representa uma importante ferramenta para avaliar cenários de mudanças a curto e longo prazo, sendo útil na tomada de decisões em diversos estudos, em especial na simulação da fragilidade ambiental

A compreensão dos possíveis impactos e o melhor planejamento das mudanças de uso e cobertura da terra, de áreas com pastagens, agropecuária, assentamento rural e silvicultura, podem proporcionar um menor impacto ambiental e, consequentemente, uma produção mais sustentável.

Essas diretrizes permitem que haja crescimento econômico da atividade de modo sustentável, ou seja, preservando o meio ambiente e recursos naturais em

consonância das atividades econômicas, de modo que não haja inviabilização de uma ou outra esfera.

O uso dessa metodologia de fragilidade ambiental, com base na simulação de cenários antigos e futuros, é uma ferramenta que será relevante na melhoria da qualidade ambiental para a Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (BHRP), mas também para outras bacias hidrográficas do estado de Mato Grosso do Sul.

O presente estudo de fragilidade ambiental da BHRP simulou satisfatoriamente cenários para os anos de 2050 e 2100, utilizando o modelo das cadeias de Markov e autômatos celulares. Os resultados mostraram que a partir da média fragilidade para a alta, a tendência foi de acréscimo, ou seja, indicando que as atividades antrópicas, principalmente por meio de práticas agrícolas, têm alterado a fragilidade ambiental da bacia.

Os resultados indicam que as atividades antrópicas acarretam alterações nas paisagens, acentuando a instabilidade e equilíbrio do meio, ratificando a importância de políticas públicas pertinentes à legislação ambiental, além de práticas conservacionistas e manejo.

Agradecimentos

A CAPES pela concessão da bolsa de pós-doutorado (PNPD) à primeira autora. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa (processo nº.59/300.140/2016).

REFERÊNCIAS

ADAMI, S. F.; COELHO, R. M.; CHIBA, M. K.; MORAES, J. F. L. Environmental fragility and susceptibility mapping using geographic information systems: applications on Ribeirão do Pinhal watershed (Limeira, State of São Paulo). **Acta Scientiarum. Technology** (Impresso), V. 34, P. 433-440, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). Sistema de informações hidrológicas - HidroWeb. Disponível em: < <https://www.snirh.gov.br/hidroweb> > Acesso em: 10 de ago. 2016.

AULER, A. S. et al. **III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. 2011. Belo Horizonte 197p. Disponível em: <<http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/apostilacursodeespeleologia.pdf>> Acesso em: 09 de mar. 2016.

BACANI, V. M. et al. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 119-135, 2015.

BACANI, V. M. et al. Markov chains-cellular automata modeling and multicriteria analysis of land cover change in the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal wetland. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 10, p. 016004-1-016004-20, 2016.

BEHERA, Mukunda D. et al. Modelling and analyzing the watershed dynamics using Cellular Automata (CA)–Markov model–A geo-information based approach. **Journal of earth system science**, v. 121, p. 1011-1024, 2012.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais: fundamentos geológicos-geográficos, alteração química e física das rochas e relevo cárstico e dômico. Santa Catarina: Ed. da UFSC, 1994.

BOGGIANI, P. C.; COIMBRA, A. M.; GESICKI, A. L.; SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P.; RIBEIRO, F. B.; FLEXOR, J. M. 1999. Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio034/sitio034.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

BORGES, C.; WERLE, H. J. S.; ROSA, D. B.; PAIVA, D. J. de; MORAES, E. P. de; SILVA, L. B. S. M. e. Geomorfologia. In: **PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI - PCBAP/Projeto Pantanal**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - Subcomponente Pantanal. Diagnóstico dos meios físico e biótico; meio físico. Brasília: MMA/SEMAM/PNMA, v.2, t.I, p.77-126, 1997a.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em 20 de maio de 2018.

BRASIL. Resolução do CONAMA 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2002a.

BRASIL. Resolução do CONAMA 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2002b.

BURNHAM, Bruce O. Markov intertemporal land use simulation model. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 5, n. 1, p. 253-258, 1973.

CAETANO-CHANG, M. R.; LANDIM, P. M. B. A Utilidade das Cadeias de Markov em Estratigrafia Quantitativa. **Geociências**, v. 1, p. 49 - 68, 1982.

CHORLEY, R.J.,(ed). **Introduction to Physical Hydrology**. Methuen, London, 1971. 211p.

CHORLEY, R. J. STANLEY, A. SCHUMM, D. E. S. **Geomorphology**. Methuen, London, 1984.

CORREA, D. **Caracterização, Cronologia E Gênese Das Tufas Da Serra Das Araras - Mato Grosso**. 117 f. Dissertação. (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais Departamento de Geografia. Belo Horizonte, MG.

CREPANI, E., Medeiros, J. S., Filho, P. H., Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial**. SAE/INPE, São José dos Campos, 2001

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; AYACH, L. R. Geoprocessamento aplicado à análise da fragilidade ambiental. **Revista da ANPEGE**, v. 9, p. 89-105, 2013.

DALMAS, F. B. **Análise da evolução do uso e ocupação do solo na UGRHI-11 e avaliação de cenários futuros em função de processos erosivos e movimentos de massa utilizando técnicas de geoprocessamento**. 2013. 165f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências, USP, São Paulo.

DIAS, Jailton. A região cárstica de Bonito, MS: uma proposta de zoneamento geoecológico a partir de unidades de paisagem. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 4, n. 1, p. 9-43, 2000.

EASTMAN, J.R. **TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System**. Worcester, MA: Clark University, 2014.

EI-HALLAQ, M.A.; HABBOUB, M.O. Using cellular automata-Markov analysis and multi criteria evaluation for predicting the shape of the Dead Sea. **Advances in Remote Sensing**, v. 4, n. 01, p. 83, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento pedológico do Município de Jardim: Parte do projeto do zoneamento agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Geoportal Digital. 2009. Disponível em < <https://www.embrapa.br/territorial/mapoteca> > Acesso em: 09 de mar. 2016

ESRI. **ArcGIS for Windows Version 10.3**. License type ArcInfo. [S.l.]: ESRI – Environmental Systems Research Institute, 2015.

FERREIRA, E. P. **Gênese e classificação de solos em ambiente cárstico na chapada do Apodi**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

GESICKI, A. L. D. **Geologia da Formação Aquidauana (Neopaleozóico, Bacia do Paraná) na formação centro-norte do estado de Mato Grosso do Sul**. 1997. 162 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar). Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, São Paulo.

GOMES, M. **Proposta metodológica para identificação de áreas vulneráveis para a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro**. Monografia. 62 f. Grau de especialista em geoprocessamento. Depto de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

GUAN, D. et al. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. **Ecological Modelling**, v. 222, p.3761–3772. 2011.

HANDAYANI, L. D. W., TEJANINGRUM, M. A., DAMRAH, F. Modelling of land use change in Indramayu District, West Java Province. **LISAT IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 54 012021, p. 1-8. 2017.

HARDT, R. **Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho – MT**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado em Organização do Espaço). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

HOUET, Thomas; HUBERT-MOY, Laurence. Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories. **EARSel eProceedings**, v. 5, n. 1, p. 63-76, 2006.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/obs/palsar_strat.htm>. Acesso em: 12 jan. 2017.

JURKEVICZ, S.S. **MODELAGEM DE MUDANÇA DE COBERTURA E USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE LONDRINA**. Monografia, 92f. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina.

KAUFMAN, Y. J. et al. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 102, n. D14, p. 17051-17067, 1997.

KAWAKUBO, Fernando Shinji et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, p. 159-174, 1977.

MANFRÉ, L.A.; SILVA, A.M.; URBAN, R.C.; RODGERS, J. Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna, (southeastern Brazilian region). **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 3, p. 947-957, 2013.

MARIA, Anu. Introduction to modeling and simulation. In: **Proceedings of the 29th conference on Winter simulation**. 1997. p. 7-13.

MATO GROSSO DO SUL. **Avaliação Ambiental Estratégica do PRODETUR Nacional no estado de Mato Grosso do Sul**. Polo Serra da Bodoquena. V. 2. 2014. 389p.

MEMARIAN, H. et al. Validation of CA-Markov for Simulation of Land Use and Cover Change in the Langat Basin, Malaysia. **Journal of Geographic Information System**, v. 4, p. 542-554. 2012.

NICOLAS FLORIANI. **Avaliação da fragilidade geossistêmica de uma microbacia sobre geologia cárstica: potencial e limitações**. 159f. Dissertação. Pós- Graduação em Agronomia, Área de Concentração Ciências do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

PENG, Jian et al. Climatic and anthropogenic drivers of land use/cover change in fragile karst areas of southwest China since the early 1970s: a case study on the Maotiaohe watershed. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, p. 2107-2118, 2011.

PILÓ, Luís B. Geomorfologia cárstica (Revisão de Literatura). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, 2000.

RODRIGUES, C.; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido: exemplos na Grande São Paulo. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 66-94.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia** 8, 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Land forms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de geografia**, São Paulo, [S.l.], p. 38–51. 2012.

ROSA, M. R.; ROSS, J. L. Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. V.13, p. 77-106. 1999.

SALLUN FILHO, W. **Geomorfologia e geoespeologia do carste da Serra da Bodoquena, MS**. 2005. 216f. Tese. (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica. Instituto de Geociências, USP. São Paulo.

SALLUN FILHO, William; KARMANN, Ivo. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, p. 551-564, 2007.

SALLUN FILHO, William et al. A deposição de tufas quaternárias no estado de Mato Grosso do Sul: proposta de definição da formação Serra da Bodoquena. **Geologia USP. Série Científica**, v. 9, n. 3, p. 47-60, 2009.

SANTOS, S, I. P. dos. **Cenários de alterações de uso e ocupação do solo até 2040 em Portugal Continental**. Dissertação de Mestrado. 85 f. obtenção grau de mestre em ciência e sistemas de informação geográfica. Instituto Superior de Estatística e Gestão de informação da Universidade Nova de Lisboa. 2014.

SANTOS, G. E. O. **Cálculo amostral: calculadora on-line**. Disponível em: <<http://www.publicacoesdeturismo.com.br/calculoamostral>>. Acesso em: 20 de abr. de 2017.

SHINZATO, E. **O carste da área de proteção ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação de solos**. 1998. 99f. Dissertação. (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes.

SISLA. **Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <http://sisla.imasul.ms.gov.br/sisla/pagina_inicial.php>. Acesso em: 13 de out de 2016.

TERAMOTO, Edson Roberto; LEPSCH, Igo Fernando; VIDAL-TORRADO, Pablo. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do ribeirão Marins (Piracicaba-SP). **Scientia Agricola**, v. 58, p. 361-371, 2001.

TERRA, T. N., SANTOS, R. F. dos, COSTA, D. C. Land use changes in protected areas and their future: The legal effectiveness of landscape protection. **Land Use Policy**, v.38, p. 378–387. 2014.

USGS (U.S Geological Survey). **Landsat Processing Details**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php>. Acesso: 16 dez. 2017.

YE, Baoying; BAI, Zhongke. Simulating land use/cover changes of Nenjiang County based on CA-Markov model. In: **Computer And Computing Technologies In Agriculture, Volume I: First IFIP TC 12 International Conference on Computer and Computing**

Technologies in Agriculture (CCTA 2007), Wuyishan, China, August 18-20, 2007 1.
Springer US, 2008. p. 321-329.

NOTAS DE AUTOR

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Laís Coêlho do Nascimento Silva - Concepção. Coleta de dados, Análise de dados, Elaboração do manuscrito, revisão e aprovação da versão final do trabalho

Vitor Matheus Bacani - Concepção e elaboração do manuscrito. Coleta de dados Participação ativa da discussão dos resultados; Revisão e aprovação da versão final do trabalho.

FINANCIAMENTO

Agradecemos à CAPES pela concessão de bolsa PNPd de estágio em pós-doutorado à primeira autora, à FUNDECT pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa da Chamada FUNDECT/CAPES N° 12/2015 - BIOTA-MS - CIÊNCIA E BIODIVERSIDADE, processo n°59/300.140/2016 e à UFMS-Campus de Três Lagoas pela acolhida no Laboratório de Sensoriamento Remoto.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Declaramos não haver conflito de interesse.

LICENÇA DE USO

Este artigo está licenciado sob a [Licença Creative Commons CC-BY](#). Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.

HISTÓRICO

Recebido em: 28-04-2022

Aprovado em: 14-02-2023