

CENÁRIOS CONSERVACIONISTAS PARA UMA BACIA SEMIÁRIDA NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Ana Maria Severo Chaves ¹
Elayne Mirele Sabino de França ²
Rosemeri Melo & Souza ³

INTRODUÇÃO

A paisagem semiárida do estado de Pernambuco tem sofrido diferentes interferências ao longo do tempo, tendo sua cobertura natural substituída por diferentes atividades antrópicas, se destacando a agricultura e a pecuária (Accioly *et al.*, 2016; Souza, 2014; Chaves *et al.*, 2021). Essa mudança tem afetado diretamente espaços que não deveriam ser alterados e são protegidos por lei, a exemplo das Áreas de Preservação Permanentes (APP).

As mudanças na cobertura da terra afetam de forma direta os ambientes hídricos, uma vez que a remoção da cobertura vegetal colabora para o desencadeamento e aceleração de processos erosivos, assoreamentos dos cursos de água e perda da biodiversidade. E de forma indireta atinge a população que deixa de ter acesso a inúmeros serviços ecossistêmicos de provimento, culturais e de manutenção regulação ambiental.

Nesse contexto, estudos desenvolvidos na Bacia do Riacho São José (BRSJ) (Chaves *et al.*, 2021; Chaves; Melo & Souza, 2022) demonstram que ao longo do tempo se constata a diminuição da cobertura vegetal e aumento de áreas degradadas como solo exposto, erosão e perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos, compreendendo uma paisagem cujo estado geológico é instável e crítico, principalmente.

Diante da realidade constatada, se torna relevante a construção de cenários futuros para a BRSJ pensando possibilidades de conservação desse ambiente semiárido e suas potencialidades. Nesse sentido, a presente pesquisa teve o objetivo de apresentar a geoeologia como base para compreensão da dinâmica da paisagem para modelagem preditiva da cobertura terrestre numa perspectiva conservacionista.

Em essência, a geoeologia é focada na análise da dinâmica da paisagem, compreendendo uma abordagem teórica e metodológica que dá suporte ao estudo integrado do ambiente, dentro da perspectiva sistêmica, compreendendo as inter-relações existentes entre os diversos elementos que dão estrutura e dinâmica a paisagem, bem como, considera a atuação

¹ Professora de Geografia do Instituto Federal da Paraíba - IFPB, anamschaves05@mail.com;

² Professora de Geografia do Instituto Federal da Paraíba - IFPB, emirele.franca@gmail.com;

³ Professora da Universidade Federal de Sergipe - UFS, rome@academico.ufs.br.

antrópica e suas repercussões no sistema (Rodrigues; Silva; Cavalcanti, 2022). Sendo a bacia hidrográfica um sistema aberto considerada um espaço ideal para o planejamento e gestão ambiental (Chaves; Melo & Souza, 2022; Rodriguez; Silva, 2018; Botelho, 2015).

Por sua vez, a modelagem preditiva se destaca como um caminho seguro de vislumbrar como um ambiente pode se apresentar no futuro, possibilitando aos tomadores de decisão desenvolver ações na intenção de cuidar e conservar a natureza. Assim, buscou-se trazer cenários de fácil compreensão a partir de processamentos flexíveis com referências consolidadas, fazendo uso da ferramenta de modelagem *CA-Markov*, embasada na análise de cadeia *Markov* e de Autômatos Celulares do Software *Idrisi Selva* (Houet; Hubert-Moy, 2006; Kamusoko et al., 2009; Sang et al., 2011; Mas et al., 2014).

A literatura apresenta que a modelagem de cenários a partir do *CA-Markov* costuma seguir um padrão de três etapas: Matrizes *Markov*, Mapa de adequação ou Mapas condicionais e Autômato Celular. Já referente ao fenômeno modelado, este varia, pois pode compreender desde a evolução da cobertura da Terra, a exemplo do presente estudo, como também projeções de crescimento urbano, mudanças em ambiente rural, áreas florestais, áreas desertificadas, ambientes úmidos e áridos (Kamusoko et al., 2009; Sang et al., 2011).

Mas et al. (2014) e Houet e Hubert-Moy (2006), destacam que o modelador *CA_MARKOV* do software *Idrisi*, ao associar a análise de cadeia *Markov* a projeção de cenários compreende uma metodologia que leva em consideração as interações espaciais. Assim, pode-se pensar cenários numa perspectiva conservacionista, resolvendo uma problemática real, que é saber se as APP são possíveis de recuperação.

Nesse sentido, foi possível constatar que é possível a recuperação das APP da BRSJ, se as ações nessa direção forem efetivas no sistema territorial da bacia, sendo possível, no futuro, recuperação da vegetação, aumento da biodiversidade local e da prestação de serviços ecossistêmicos. Isso é pensar no contexto conservacionista da paisagem semiáridas e suas potencialidades ambientais e sociais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa está alicerçada na geoecologia das paisagens. Uma análise sistêmica dos elementos que estruturam e dinamizam a superfície terrestre enquanto um sistema territorial. Adotou-se uma abordagem integradora consolidada, aplicada em diversas áreas de atuação da Geografia Física, visando compreender a paisagem de formação antroponatural resultante da inter-relação dos componentes estrutural-espacial e dinâmico-funcional (Figueiró, 2015; Rodriguez; Silva; Cavalcanti, 2022).

O caminho metodológico compreendeu quatro momentos complementares: (1) levantamento bibliográfico da temática; (2) trabalho de campo; (3) caracterização Geoecológica da área de estudo; (4) modelagem preditiva através de autômatos celular no CA-Markov. Para a caracterização e modelagem se fez uso dos sistemas de informações geográficas *ArcGis* 10.3.1 e o *Idrisi Selva* 17.00, utilizando as ferramentas e técnicas apresentadas em Chaves (2021).

A caracterização geoecológica foi baseada em dados secundários a partir de órgão e instituições oficiais (Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)) e primários obtidos em campo e organizados e armazenados em uma base de dados georreferenciada.

A modelagem preditiva revela a dinâmica e evolução histórica constatada na cobertura da terra da Bacia do Riacho São José entre os anos de 2005 e 2015 para modelagem de cenários conservacionistas para os anos de 2025 e 2035. A intenção principal foi verificar se seria possível a recuperação da vegetação natural das áreas de preservação permanentes (APP) da BRSJ a partir de ações conscientes nessa intenção, considerando os aspectos geoecológicos como determinantes nesse processo: Assim, seguiu-se o estabelecido em Chaves (2021):

- I. Análise de Cadeia de Markov: construção da matriz de probabilidade de transição; matriz de áreas de transição; conjunto de imagens de probabilidade condicional para cada classe de cobertura da terra;
- II. Mapas de adequação Terrestre – MAT: com a função de destacar onde as mudanças são plausíveis para uma categoria de cobertura da Terra no futuro (Houet; Hubert-Moy, 2006) – 2 MAT para áreas de vegetação natural e 2 MAT para áreas antrópicas agrícolas;
- III. Modelagem de cenários por autômato celular no CA-Markov: considera a cadeia *Markov* para controlar a dinâmica temporal entre os tipos de mapas utilizados através das matrizes de probabilidade de transição e de área de transição; a dinâmica espacial controlada pelas regras locais por meio do filtro de autômato celular, considerando a configuração da vizinhança e as probabilidades de transição e áreas de transição; simulação de modelos.

Os cenários modelados refletem três possibilidades, para projeções com referência 2005 e 2015 + 10 e + 20, depois com base no cenário de 2015 e 2025 + 10: a primeira considerou a continuação das condições atuais, sem interferência dos MAT, fazendo uso apenas dos dados gerados a partir da cobertura da Terra para projeção de paisagens futuras; a segunda levou em consideração a projeção de cenários a partir dos mapas de adequação a áreas de vegetação natural e antrópicas agrícolas, com a finalidade de determinar o uso adequado a cada classe de cobertura da Terra, tendo por base a adequabilidade geoecológica para um planejamento

ambiental paisagístico; a terceira foi focada apenas no MAT das áreas de vegetação natural, com foco conservacionista, a qual não faz interferência nas áreas que tenham usos antrópicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Bacia do Riacho São José (BRSJ) compreende uma ambiente antroponatural da faixa de transição agreste no estado de Pernambuco. Sua paisagem reflete a atuação conjuntas dos componentes geocológicos e da atuação antrópica em uma evolução histórica de uso e ocupação do sistema territorial, onde se intercalam usos antrópicos agrícolas e áreas com vegetação natural, sendo essa última, muita vezes, restritas a relevos movimentados de serras e neossolos litólicos.

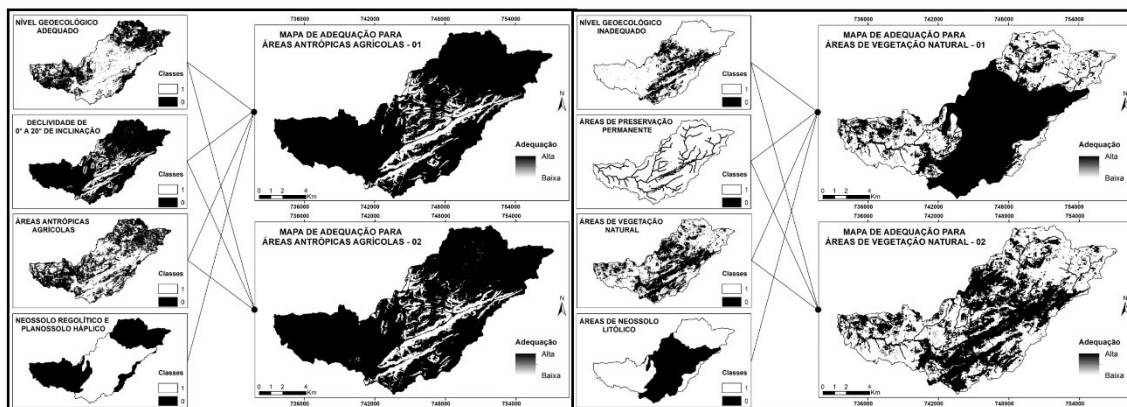
Os componentes que estruturam a bacia compreendem três unidades geocológicas, descritas por Chaves e Melo & Souza (2022) como: terras altas com suas características naturais bastante modificadas para inserção de áreas antrópicas agrícolas, como pastagem e cultivos de subsistência, sobre cotas altimétricas em torno de 800 m de altitude do planalto da Borborema, com modelado plano a ondulado sobre o qual se destaca resquícios de mata de altitude e vegetação arbórea arbustiva em neossolo regolíticos; serras vales e escarpas, onde predomina a vegetação natural devido ao relevo movimentado, caracterizados por serras entre o planalto da Borborema e da depressão do Baixo São Francisco, com fitofisionomia arbórea arbustiva, típicas do agreste com formações rupestres, sobre neossolo litólico bastante pedregosos e com a presença de afloramento rochosos; terras baixas de relevo bastantes planas e suave ondulado, singularidade da depressão do baixo São Francisco, bastante modificada para usos antrópicos dos quais se destacam a pecuária de extensão e agricultura de subsistência as margens dos cursos hídricos e áreas de caatinga típica formada principalmente por espécies arbustivas e algumas arbóreas próximos aos cursos hídricos.

De acordo com o estudo das autoras (Chaves; Melo & Souza, 2022), os sistema territorial da BRSJ revela uma evolução na substituição da cobertura natural por atividades antrópicas, o que caracteriza a paisagem em uma estado ambiental bastante modificado, e o desencadeamentos de processos degradantes como o desmatamento, erosão e assoreamentos dos cursos hídricos. Aspectos que refletem a história de uso e ocupação do semiárido nordestino (Accioly *et al.*, 2016).

Diante do contexto apresentado, pensar a BRSJ por meio de cenários futuros numa perspectiva conservacionista, é nítido que atenção deve ser dada às áreas de preservação permanentes (APP), em especial as margens dos cursos hídricos que não possuem cobertura ciliar, favorecendo assim a erosão e assoreamento dos mesmos, principalmente porque quando

as chuvas ocorrem e de forma concentradas em determinadas épocas. Logo, a modelagem preditiva teve como principal objetivo verificar se é possível a recomposição da vegetação das APP da bacia a partir de ações intencionais considerando os componentes geocológicos da paisagem como: o estado geocológico da paisagem, as áreas de preservação prementes, as áreas de vegetação natural, áreas antrópicas e classes de solos, para construção de mapas de adequação terrestre (Figura 01).

Figura 01: Mapas de adequação terrestre utilizados na modelagem preditiva.



Fonte: adaptado de Chaves, 2021.

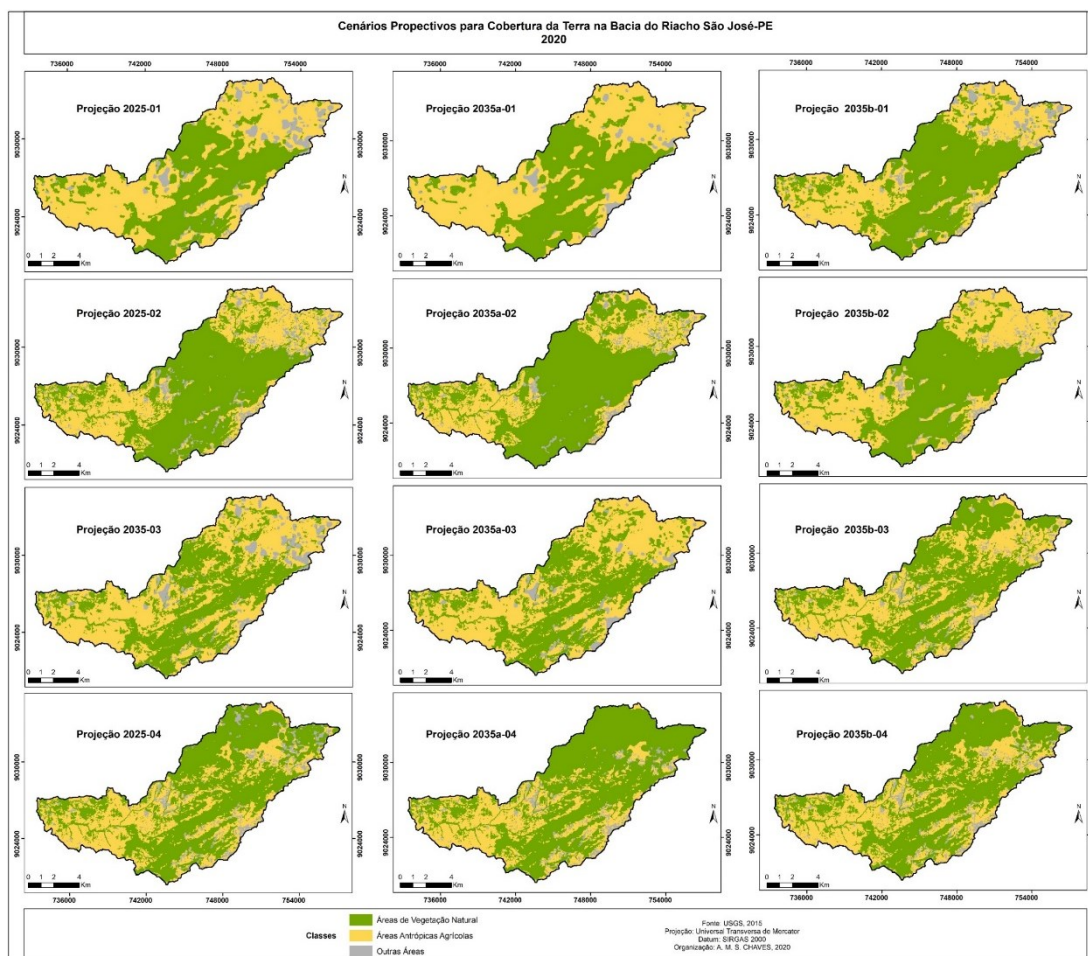
Os MAT destacam as prioridades para alocação das classes de coberturas consideradas adequadas para a modelagem preditiva. Assim, apresenta-se duas possibilidades de incentivo: uma para área de vegetação natural e outra para áreas antrópicas agrícolas. Em cada uma dessas, tem-se duas possibilidades que refletem a utilização ou a ausência da classe solo, como estabelecido nas ligações dos MAT, conforme apresentado na figura acima.

Por sua vez, a modelagem preditiva realizada demonstrou que quando se pensa cenários futuros baseados na continuidade dos atuais modos de uso e apropriação da BRSJ o resultado é aumento das áreas degradadas; por sua vez, quando se pensa em uma visão conservacionista, agindo intencionalmente nessa direção, é possível diminuir as áreas degradadas e aumento da superfície com cobertura vegetal (Figura 02).

Observa-se muitas possibilidades para a área estudada, dentre as quais o segundo conjunto (projeções 02) de cenários se apresenta como o mais conservacionista, tanto na alocação de terras espacialmente como em sua quantificação. Todavia, acredita-se que não é apenas pelo aumento das áreas com cobertura natural que vai proporcionar uma paisagem mais conservada, pois, para isso, é fundamental um planejamento ambiental que veja o ambiente semiárido em suas potencialidades e limitações, o que requer o conhecimento das interações geocológicas que dinamizam a paisagem.

Dos cenários possíveis, diante das variáveis geocológicas utilizadas, o que melhor representa a intenção colocada é o 2035a-02, onde ocorre a recomposição da cobertura vegetal para todas as áreas de preservação permanente dos cursos hídricos. Tal verificação reforça a necessidade de se desenvolver um planejamento ambiental com fins conservacionista para a BRSJ, de modo a garantir a proteção e a recuperação dos cursos hídricos degradados, restabelecendo o equilíbrio ambiental e aumento na prestação de serviços ecossistêmicos de provimento e regulação e manutenção.

Figura 02: Modelagem preditiva para a Bacia do Riacho São José.



Fonte: Chaves, 2021.

Em relação ao uso da modelagem a partir do *CA-Markov*, a mesma apresenta um fim prático (Houet; Hubert-Moy, 2006; Kamusoko *et al.*, 2009; Mondal *et al.*, 2016). A escolha de autômatos celulares é tida como quase perfeita e satisfatória para alguns autores (Sang *et al.*, 2011; Mondal *et al.*, 2016) e para outros possui desempenho médio (Azari *et al.*, 2016). Observa-se que os resultados alcançados dependem da escolha dos processos e procedimentos coerentes com a intenção de estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entender a dinâmica geocológica de uma paisagem é fundamental para vislumbrar seus desdobramentos futuros. Nesse contexto, se torna claro que a modelagem preditiva deve ter por base os pressupostos da estrutura e dinâmica dos componentes que formam o ambiente analisado, juntamente com os conhecimentos sobre as derivações antropogênicas estabelecidas.

No contexto da Bacia do Riacho São José, constatou-se ser possível traçar cenários conservacionistas capazes de recuperar a cobertura vegetal das áreas de preservação permanentes dentro de uma perspectiva de 20 anos, quando se fazem ações nessa direção e se conhece as interações e dinâmicas que dão sustentação à estrutura paisagística. Nessa direção a modelagem preditiva fazendo uso do *CA-Markov* se mostrou eficiente, sendo importante reconhecer que a escolha das variáveis e suas integrações fará diferença para cada possibilidade.

Por fim, reforça que pesquisas nessa direção devem continuar a ser desenvolvidas no ambiente semiárido, para que seja possível análises comparativas como, também, sua aplicação em diferentes escalas espaciais. Reconhece que começar por uma bacia hidrográfica foi importante por se tratar de um sistema aberto e bem delimitado na paisagem. Mas a literatura revela que a modelagem preditiva deve ser aplicada em diferentes recortes espaciais e temporais, seja considerando uma problemática objetiva, como feito aqui, seja pensando em contextos futuros para a cobertura da terra, urbanização ou desmatamento.

Palavras-chave: Paisagem, Geoecologia, Modelagem Preditiva, Bacia, Pernambuco.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, E. A.; CAVALCANTI JUNIOR, E. A.; ALVES, E. S.; PEREIRA, A. G. S.; SILVA, R. S.; RAMOS, R. R. D.; SILVA, R. R. **Mapeamento do uso e cobertura das terras do semiárido pernambucano**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016.

AZARI, M.; TAYYEBI, A.; HELBICH, M.; REVESHTYA, M. A. Integrating cellular automata, artificial neural network, and fuzzy set theory to simulate threatened orchards: application to Maragheh, Iran. **GIScience & Remote Sensing**, Palm Beach-FL, v. 53, n. 2, p. 183-205, jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15481603.2015.1137111>. Acesso em: 19 mar. 2020.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. ed. 10. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. Cap. 8, p. 269-300.

CHAVES, A. M. S. **Dinâmica geocológica e cenários potenciais para conservação da paisagem semiárida na bacia do Riacho São José em Pernambuco**. 2021. 353 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.

CHAVES, A. M. S.; MELO & SOUSA, R. Estado ambiental da paisagem semiárida da bacia do Riacho São José em Pernambuco. In: FARIA, K. M. S.; TRINDADE, S. P. (orgs). **Planejamento, gestão e sustentabilidade das bacias hidrográficas brasileiras**. Goiânia: Cegraf UFG, 2022.

CHAVES, A. M. S. et al. Análise dos serviços ecossistêmicos na paisagem semiárida da bacia do Riacho São José, Pernambuco. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 12, p. 139 - 158, maio 2021. Disponível em: <<http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/1147>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

FIGUEIRÓ, A. S. **Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HOUET, T.; HUBERT-MOY, L. **Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories: An improvement for simulation of plausible future states**. EARSel eProceedings, v.5, n. 1, p.63-76, 2006.

KAMUSOKO, C.; ANIYA, M.; ADI, B.; MANJORO, M. Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. **Applied Geography, Sevenoaks-England** v. 29, n. 03, p. 435-447, jul. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.002>. Acesso em: 01 mar. 2020.

MAS, J. F.; KOLB, M.; PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C.; HOUET, T. Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages. **Environmental Modelling & Software**, Oxford-England, v. 51, p. 94-111, jan. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010>. Acesso em: 14 mar. 2020.

MONDAL, S.; SHARMA, N.; GARG, P.K.; KAPPAS, M. Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, Cairo- Egypt, v. 19, n. 2, p. 259-272, dec. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.08.001>. Acesso em: 13 mar. 2020.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e práticas**. 23. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

RODRIGUEZ, M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. 3. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2018.

RODRIGUEZ, M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 6. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2022. 329 p.

SANG, L.; ZHANG, C.; YANG, J.; ZHU, D.; YUN, W. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. **Mathematical and Computer Modelling**, Oxford-England, v. 54, n. 03-04, p. 938-943, aug. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>. Acesso em: 03 abr. 2020.

SOUZA, J. O. P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido – bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. 2014. 189 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.