

MODELAGEM DINÂMICA DO DESMATAMENTO E SIMULAÇÕES FUTURAS NO BAIRRO DE GUARATIBA/RJ ENTRE 2015 E 2050

Hailany Silva de Souza¹

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Vandré Soares Viégas²

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza³

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Enviado em 31 out. 2020 | Aceito em 07 jan. 2021

Resumo: No final dos anos 90 e início dos anos 2000, a Região Administrativa de Guaratiba ficou em segundo lugar em relação ao crescimento demográfico no município do Rio de Janeiro, com uma taxa significativa de crescimento urbano, refletindo no aumento do desmatamento relacionado às ações antrópicas. O presente trabalho objetiva simular o desmatamento na região de Guaratiba, Zona Oeste do Rio de Janeiro, utilizando modelagem dinâmica de cenários como ferramenta para compreensão dos fatores condicionantes do desmatamento entre 2004 e 2015, assim como prever um possível cenário para o ano de 2050. Foram utilizados dados de uso e cobertura da terra do Instituto Pereira Passos e conjunto de variáveis espaciais dinâmicas e estáticas. A distância para áreas previamente desmatadas foi aquela que demonstrou maior peso na transição. Para 2050, no melhor cenário, identifica-se uma predição de pressão antrópica em áreas protegidas, e adensamento urbano nas regiões central e noroeste de Guaratiba.

Palavras-chave: Autômatos Celulares; Modelagem dinâmica; Sensoriamento Remoto.

DYNAMIC MODELING OF DEFORESTATION AND FUTURE SIMULATIONS IN GUARATIBA/RJ BETWEEN 2015 AND 2050

Abstract: In the late 1990s and early 2000s, the Guaratiba Administrative Region ranked second in terms of population growth in the municipality of Rio de Janeiro, with a significant rate of urban growth, reflecting an increase in deforestation related to human actions. The present work aims to simulate deforestation in the Guaratiba region, West Zone of Rio de Janeiro, using dynamic modeling, by cellular automata, as a tool to understand the factors that affect deforestation between 2004 and 2015, as well as predict a possible scenario for the year 2050. Data on land use and land cover from Instituto Pereira Passos and a set of dynamic and static spatial variables were used. The distance to previously deforested areas was the one that showed the greatest weight in the transition. For 2050, in the best scenario, a prediction of anthropic pressure in protected areas is identified, and urban density in the central and northwest regions of Guaratiba.

Keywords: Cellular automata; Dynamic modeling; Deforestation; Remote Sensing.

MODELADO DINÁMICO DE LA DEFORESTACIÓN Y SIMULACIONES FUTURAS EN GUARATIBA/RJ ENTRE 2015 Y 2050

Resumen: A fines de los años noventa y principios del decenio de 2000, la Región Administrativa de Guaratiba ocupaba el segundo lugar en relación con el crecimiento demográfico en el municipio de Rio de Janeiro, con una importante tasa de crecimiento urbano, lo que reflejaba un aumento de la deforestación en relación con las acciones antropópicas. El presente trabajo tiene por objeto simular la deforestación en

1. Graduanda de Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra com ênfase em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (UFRJ). E-mail: hailanysoares@gmail.com.

2. Doutorando em Geografia (UFRJ) Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: viegasvandred@gmail.com.

3. Professora do Departamento de Geografia (UFRJ), Doutora em Geografia pela Universidade Federal Fluminense. E-mail: elizabethmfr@gmail.com.

la región de Guaratiba, en la parte occidental de Río de Janeiro, utilizando modelos dinámicos de escenarios como herramienta para entender los factores condicionantes de la deforestación entre 2004 y 2015, así como prever un posible escenario para el año 2050. Se utilizaron datos sobre el uso y cobertura de la tierra del Instituto Pereira Passos y un conjunto de variables espaciales dinámicas y estáticas. La distancia a áreas anteriormente deforestadas fue la que mostró mayor peso en la transición. Para 2050, en el mejor de los casos, se identifica una predicción de la presión antropical en las zonas protegidas y se identifica la densidad urbana en las regiones central y noroccidental de Guaratiba.

Palabras-clave: Autómata celular; modelado dinámico; Deforestación; detección remota.



Introdução

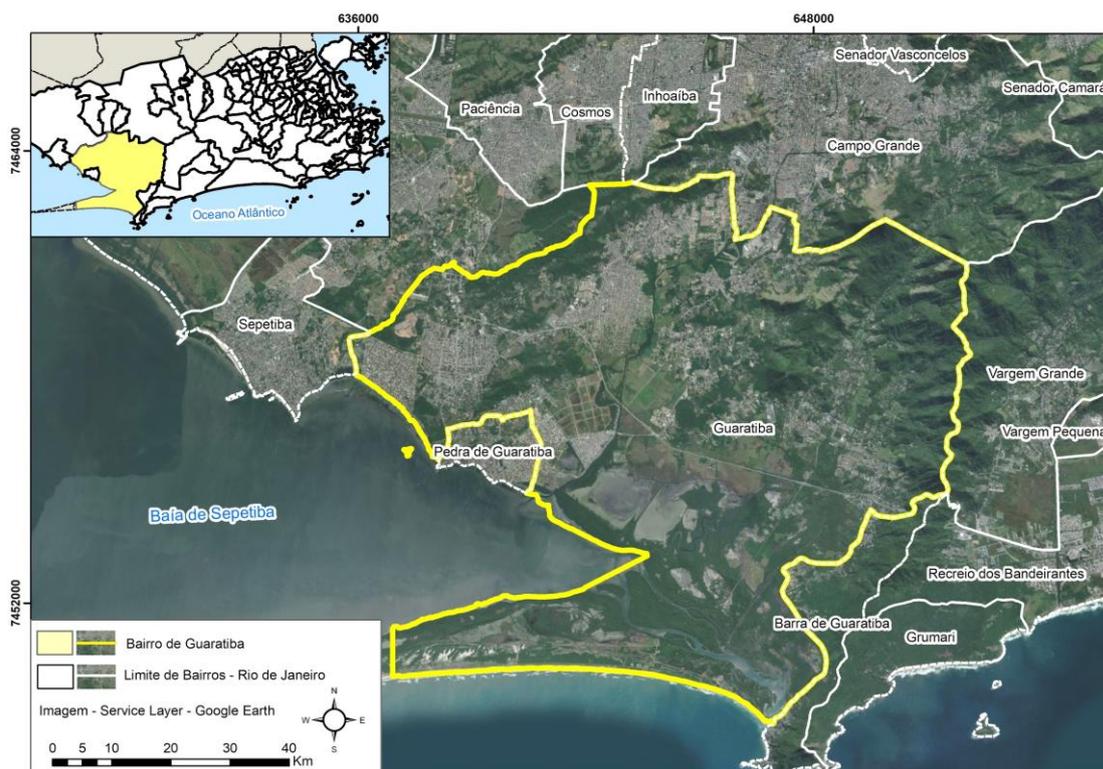
O município do Rio de Janeiro se caracteriza por uma natureza abundante, com praias, manguezais, formações geomorfológicas centenárias, e parte remanescente de floresta da Mata Atlântica. Todavia, o avanço urbano e o crescimento demográfico desenfreado, vem influenciando fortemente na degradação desse ecossistema.

No final dos anos 90 e início dos anos 2000, a Região Administrativa - RA de Guaratiba, segundo o Plano de Ocupação de Guaratiba (2019, p.9), ficou em segundo lugar em relação ao crescimento demográfico no município do Rio de Janeiro, com uma taxa significativa de 66,53%. Esse valor foi inferior apenas ao da Barra da Tijuca que possuía uma taxa de crescimento 76,49%, e entre 2000 e 2010 continuou apresentando valores positivos, desta vez com índice de 21,65% enquanto o município teve um aumento de apenas 7,9%. Esse crescimento da Região Administrativa ocorreu principalmente por conta de Guaratiba, que possuía os maiores valores demográficos. Em 2000 possuía uma população de 101.205 habitantes, e em 2010 um valor de 123.114, e em 2015 com estimativas de 132.919 habitantes residindo na área (IPP, 2020).

No bairro de Guaratiba, localizado na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, as florestas compõem a paisagem de maneira bastante destacada. Silva et al., (2016) apontam o múltiplo uso florestal e os benefícios que a população pode usufruir das florestas e indica como estes ambientes também são um meio de manutenção do clima a níveis aceitáveis, com melhoria da qualidade de vida, fornecimento de alimentos, madeira, medicamentos, impactos na economia e sociedade. Estas florestas em sua maioria estão inseridas em Áreas de Proteção Ambiental, e sem a devida fiscalização, importantes modificações no uso e cobertura da terra vêm ocorrendo. Segundo (FALCÃO, 2006, p. 2) o desmatamento é a conversão, diretamente induzida pelo homem, de terra com floresta para terra sem floresta. (GROSS, 2016) apresenta o desmatamento como um problema global que ameaça a vida selvagem, bem como os múltiplos serviços que a floresta oferece e benefícios às atividades econômicas.

O presente trabalho objetiva simular o desmatamento na região de Guaratiba, utilizando modelagem dinâmica de cenários como ferramenta para compreensão dos fatores condicionantes do desmatamento entre 2004 e 2015, assim como prever um possível cenário para o ano de 2050. A área de estudo escolhida compreende o bairro de Guaratiba, como mostra a Figura 1. Encontra-se inserida na Área de Planejamento 5 e faz parte da Região Administrativa de Guaratiba, que também contempla os bairros de Pedra de Guaratiba, e Barra de Guaratiba.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo: Bairro de Guaratiba-RJ.



Como exposto pelo Plano de Ocupação de Guaratiba (2019, p. 29), a área conta com a presença significativa de loteamentos irregulares e clandestinos, bem como de favelas, e vem sofrendo um intenso processo de transformação devido aos impactos decorrentes da abertura do Túnel da Grota Funda e da implantação da Transoeste. Cabe destacar ainda a expansão imobiliária vinda dos bairros do Recreio, Barra da Tijuca, Santa Cruz e, também, do município de Itaguaí, com a expansão dos pólos siderurgia e logístico a partir do arco metropolitano.

Possui ainda áreas com atividades agrícolas, assim como áreas de Proteção Ambiental. É o caso da Reserva Biológica de Guaratiba (RBG), que contém aproximadamente 3.360 hectares, protege importante remanescente de manguezal na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, associado à Baía de Sepetiba. Trata-se de ecossistema de grande valor ambiental, econômico e social, por oferecer inúmeros serviços ambientais (INEA, 2019), Guaratiba também possui uma importante área de restinga (Restinga da Marambaia), e seu território ainda abrange uma parte do Parque Estadual da Pedra branca, que contém grande biodiversidade da Mata Atlântica.

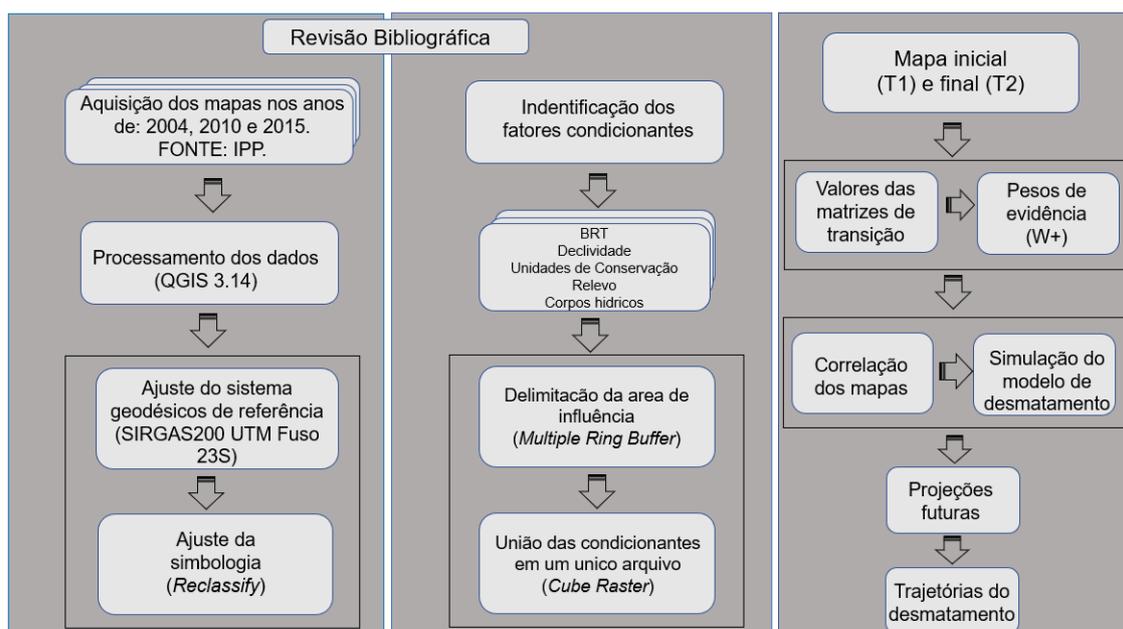
Metodologia

A modelagem dinâmica por Autômatos Celulares (AC) é realizada no software Dinamica EGO, utilizando o modelo no modelo de mudanças no uso e cobertura da terra (Land-Use and Cover Change – LUCC). Segundo Almeida (2003), AC são sistemas formais baseados em grades, e em cada célula da grade é representado um processo de mudança, como um simples mapeamento do estado atual de uma célula e das suas vizinhas para o estado da mesma no instante de tempo seguinte. Já a plataforma Dinamica EGO, trata de um software livre construído por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), utiliza linguagem de programação que é disponibilizada por uma séries de funtores (funções executoras), que permitem ao usuário uma série de operações desde as mais simples álgebras de mapas, até a construção de modelos dinâmicos por meio de uma série de funções pré-estabelecidos.

A pesquisa iniciou pela obtenção de dados secundários de uso e cobertura da terra na plataforma Data Rio, do Instituto Pereira Passos (IPP) dos anos 2004, 2010 e 2015. Posteriormente, foi feito o pré-processamento desses dados no Software QGIS 3.14. É necessário efetuar a adequação dos sistemas geodésicos de referência, todos os dados são convertidos para SIRGAS200, e projeção UTM Fuso 23S. Outro processo de ajuste dos dados de entrada trata da generalização das classes em macro usos, baseado nos mapas fornecidos pelo IPP. Essa etapa é importante uma vez que o dado de origem conta com 16 classes de uso da terra, o que dificultaria a análise das transições. Em relação aos mapas (T1 e T2) de uso e cobertura da terra, as classes ficaram estabelecidas como: **1- Outros (outras feições excetuando florestas e corpos hídricos), 2 - Florestas e 3 - Corpos hídricos.**

Os primeiros resultados obtidos foram os valores das matrizes de transições das células, seguidamente, foram calculadas as faixas (*ranges*), pelo método de pesos de evidências baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes que se refere a propensão que um dado uso acontecer, tendo em vista que uma evidência já ocorreu, por exemplo a conversão de floresta para agricultura mediante a proximidade com rodovias (ALMEIDA, 2003). Em posse dessas informações, as simulações dos diferentes cenários finalmente foram criadas. O fluxograma do presente trabalho é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma metodológico



Procurou-se investigar os fatores condicionantes de formação da paisagem atual como funções prévias de quais fatores favoreceram a ocorrência de desmatamento. Segundo Wolfram (1983), os fatores condicionantes são características ambientais ou construídas, que influenciam em diferentes graus de intensidade, a expansão, ou retração, de determinada classe. Na Dinâmica EGO, o processo de modelagem requer a seleção de variáveis – ou *condicionantes* – estáticas e dinâmicas presentes na área de estudo para se avaliar as mudanças em termos do Teorema de Bayes. As variáveis estáticas se referem a camadas temáticas de feições naturais ou construídas que sejam relevantes para a análise de transições na área de estudo. Tais informações podem ser obtidas mediante levantamentos bibliográficos (tal como o adotado na pesquisa) ou por meio de testes estocásticos. Já variáveis dinâmicas referem-se à distância para outros usos, que são alterados de acordo com a passagem temporal analisada, ou seja, a cada projeção as distâncias a cada uso são alteradas, conferindo grau dinâmico à análise.

Considerando a definição operacional, foram levantadas as seguintes variáveis: Trecho de ônibus BRT (*Bus Rapid Transit* ou transporte rápido por ônibus), Declividade, Rodovias e Unidades de Conservação. Procura-se investigar as relações destas variáveis com o desmatamento a partir de suas relações de proximidade com a devida transição analisada. O trecho de ônibus BRT possui destaque devido ao largo trecho que ocupa na área de estudo, também em virtude da atratividade de transporte, o que poderia explicar uma alteração florestal local. A escolha da declividade se justifica pela literatura que indica valores acima de 45 graus como impeditivos para alterações antrópicas, as rodovias podem ser compreendidas em termos semelhantes ao do BRT, de atratividade e alterações no solo, e Unidades de Conservação são escolhidas como um critério analítico que permite compreender possíveis pressões locais.

Com as condicionantes definidas, foi elaborada a delimitação da área de influência por meio do método *Multiple Ring Buffer*, no software QGIS. Por fim, as variáveis estáticas e dinâmicas são contidas num único arquivo denominado *cube raster*, em processo construído dentro do próprio Dinamica EGO. Também é importante citar que as unidades das variáveis BRT, Rodovias e Unidades de Conservação são dadas em metros a partir do buffer de distância, enquanto a Declividade é categorizada em graus.

Contudo, cabe destacar que uma exigência do modelo é que os mapas de entrada devem ser independentes entre si. No Dinamica EGO, esta avaliação pode ser feita por meio dos índices de Cramer (V) e Incerteza da Informação Conjunta, que expõe o grau de correlação entre as variáveis. Segundo Bonham-Carter (1994), os valores variam de 0 a 1, de acordo com o grau de correlação, de maneira que valores acima de 0,5 devem ser descartados. No presente trabalho as variáveis mais correlacionadas foram florestas e unidades de conservação, contudo, não houve necessidade de exclusão de variáveis uma vez que os valores obtidos foram inferiores a 0,5.

Resultados

No primeiro passo do Dinamica EGO, contando com a entrada dos mapas T1 e T2, analisa-se as matrizes de transição entre os anos definidos. As taxas de transição determinam a quantidade líquida de mudanças, isto é, a porcentagem de terra que irá alterar para outro estado (atributos dos usos e cobertura da terra), e são, portanto, conhecidas como taxas líquidas (SOARES-FILHO, 2009). Cabe destacar que, no software trabalhado, são aceitos somente dois mapas de entrada, logo foi definido dois períodos de análise das transições 2004-2010 e 2010-2015. Foi obtido como resultado parcial as Tabelas contendo os valores das matrizes de transição das células, como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Matriz de transição das mudanças da cobertura do solo entre 2004 a 2010

		2010		
	Cobertura do Solo	Outros	Floresta	Água
2004	Outros	-	0,39%	0,00%
	Floresta	0,83%	-	0,00%
	Água	0,01%	0,02%	-

Tabela 2 - Matriz de transição das mudanças da cobertura do solo entre 2010 a 2015

	Cobertura do Solo	2015		
		Outros	Floresta	Água
2010	Outros	-	0,28%	-
	Floresta	0,29%	-	-
	Água	0,01%	0,02%	-

Com isso, foi possível verificar as mudanças de transição que ocorrem no intervalo temporal. As taxas de desmatamento de 2004 a 2010, que nada mais são do que as mudanças da classe Floresta para Outros, ocorrem a uma taxa de 0,83%, enquanto a transição encontrada entre 2010 a 2015 correspondeu a 0,29%. Tais valores justificam a diminuição de áreas florestadas. Os pesos de evidência (W +) dão magnitudes aos intervalos que foram calculados anteriormente, e apontam se ocorrerá atração ou repulsão em relação ao desmatamento, em conjunto com as variáveis estáticas. Na Tabela 3 é possível observar que as faixas iniciais de alcance, códigos 1 a 5 possuem pesos positivos, o que indica atração ao desmatamento, enquanto os pesos negativos o repelem, já os pesos com valores próximos de zero são neutros, ou seja, não atraem e nem afastam o desmatamento.

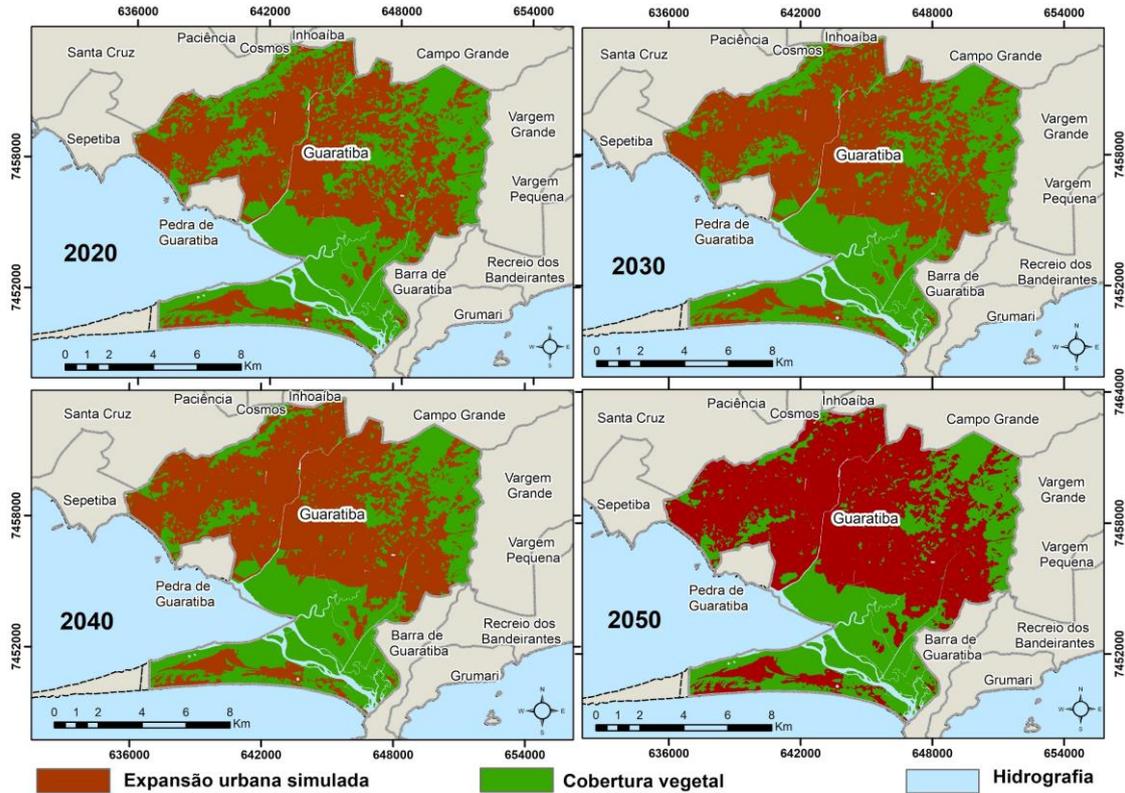
Tabela 3 - Valores dos pesos de evidência

Código	Faixas de Alcance as Áreas Previamente Desmatadas (Metros)	Pesos (W+)
1	0-11	1,08
2	11-43	0,82
3	43-45	0,57
4	45-61	0,36
5	61-65	0,17
6	65-71	-0,05
7	71-81	-0,29

Finalmente, o modelo de desmatamento foi ajustado e refinado conforme os dados de entrada, foram utilizados os mapas iniciais combinado com os mapas finais, a fim de criar a simulação de paisagem do bairro de Guaratiba para o ano de 2050. Esse passo utiliza dois algoritmos internos do modelo LUCC, o *Patcher* e *Expander*, que são complementos de transição das mudanças do uso e cobertura da terra. Enquanto o *Patcher* tem a função de demonstrar a formação de novas manchas, o *Expander* aponta como as manchas irão se comportar através dos anos, conseqüentemente tem-se as projeções futuras e as trajetórias do desmatamento. As alterações

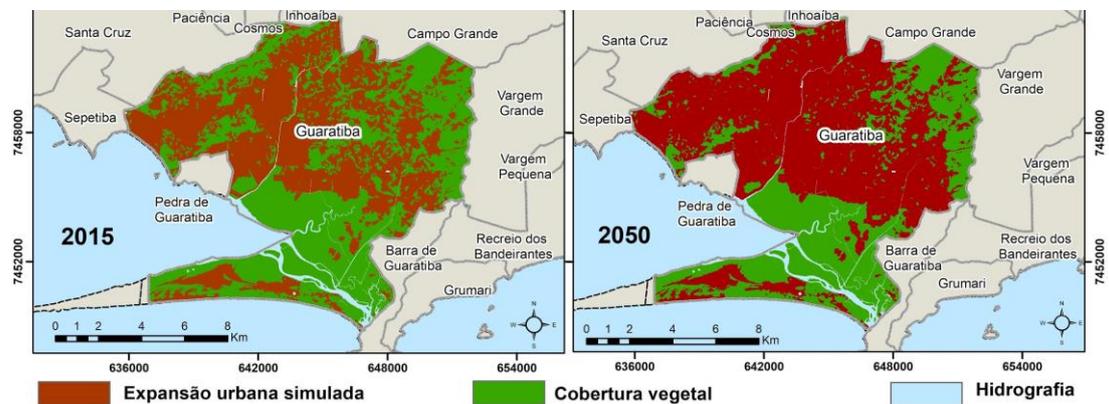
entre as classes Floresta e Não Floresta, tanto quanto o cenário projetado, é apresentada pela Figura 3.

Figura 3 - Expansão urbana simulada por décadas (2020; 2030; 2040; 2050).



Na Figura 4 o cenário simulado de 2050 é comparado com a classificação do ano de 2015, com o objetivo de verificar possíveis padrões no uso Floresta e Não Floresta.

Figura 4 - Comparação entre a simulação entre os anos de 2050 e 2015



As florestas que se encontram nas áreas protegidas possuem a tendência a se manterem mais preservadas em comparação das que não estão inclusas nas áreas de proteção ambiental. A extensão que menos aparenta sofrer mudanças é a Restinga da Marambaia, isso pode acontecer pelo

fato de que esta região é de área militar e seu acesso é extremamente limitado, enquanto a Reserva Biológica Estadual de Guaratiba e o Parque Estadual da Pedra Branca demonstram ser mais impactadas com o desmatamento em relação a Restinga, principalmente nas extremidades de seus limites, esse comportamento pode ser visto nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Parque Estadual da Pedra Branca.

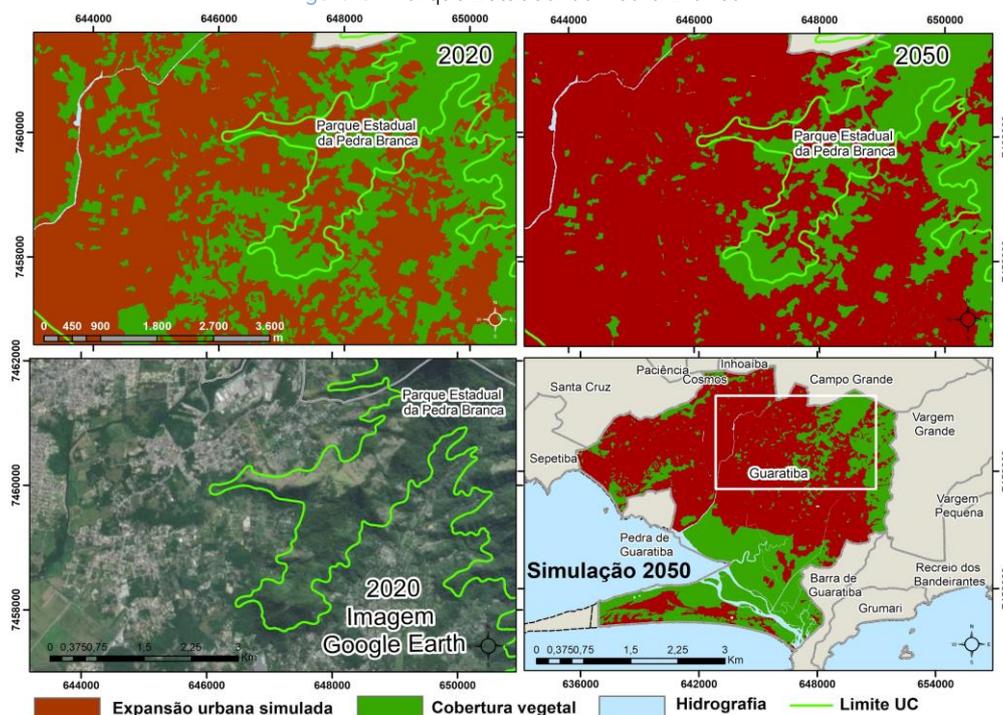
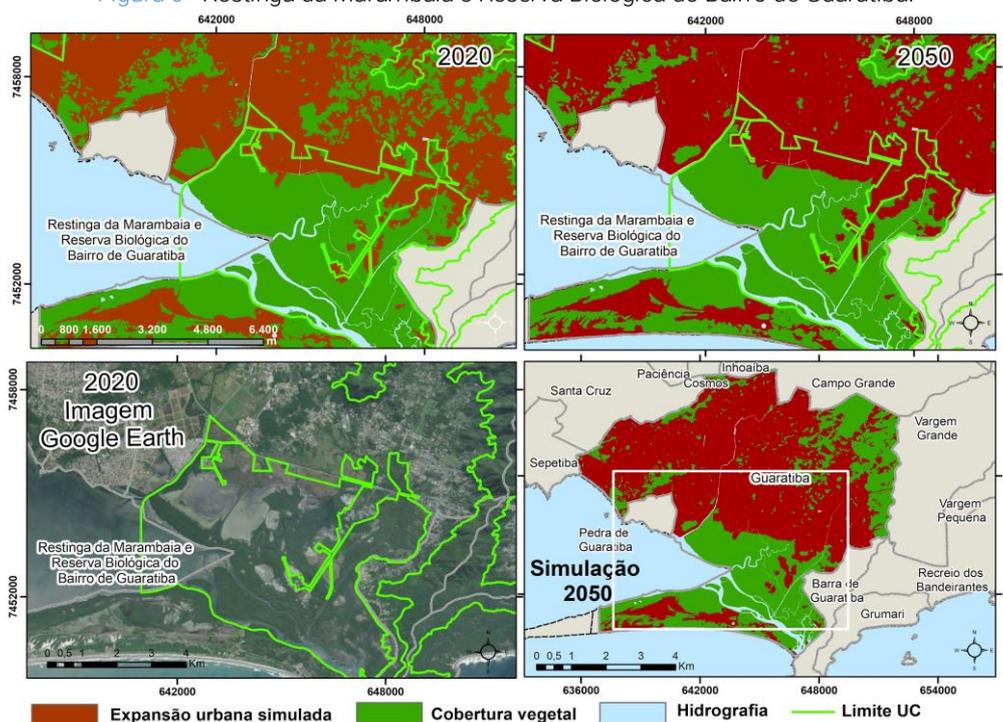
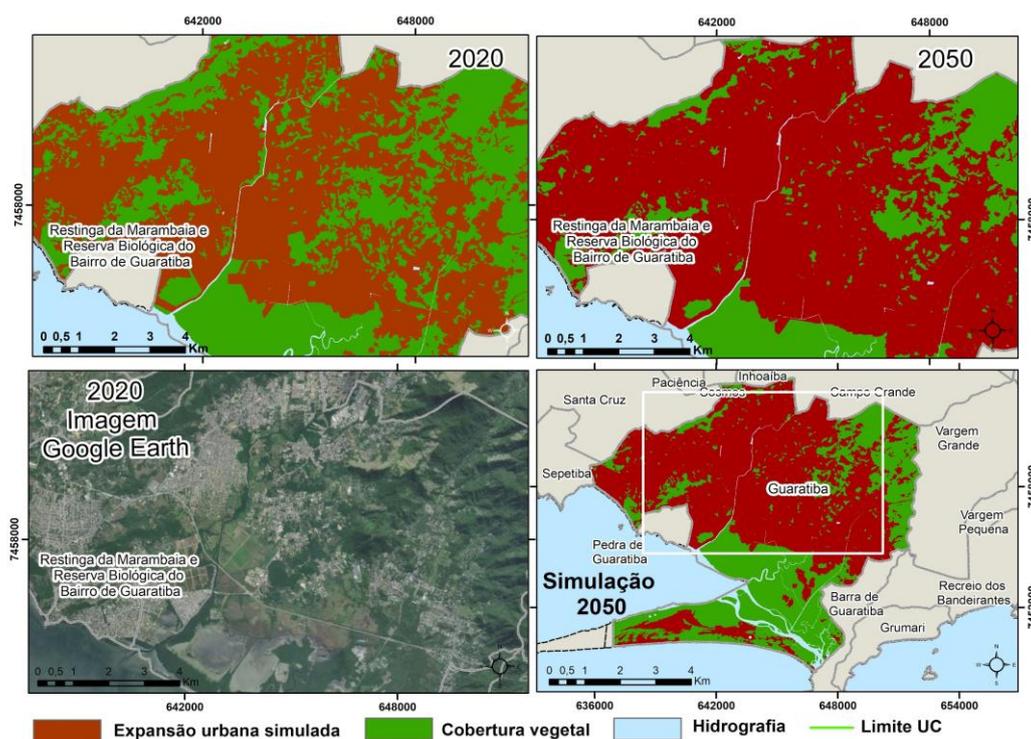


Figura 6 - Restinga da Marambaia e Reserva Biológica do Bairro de Guaratiba.



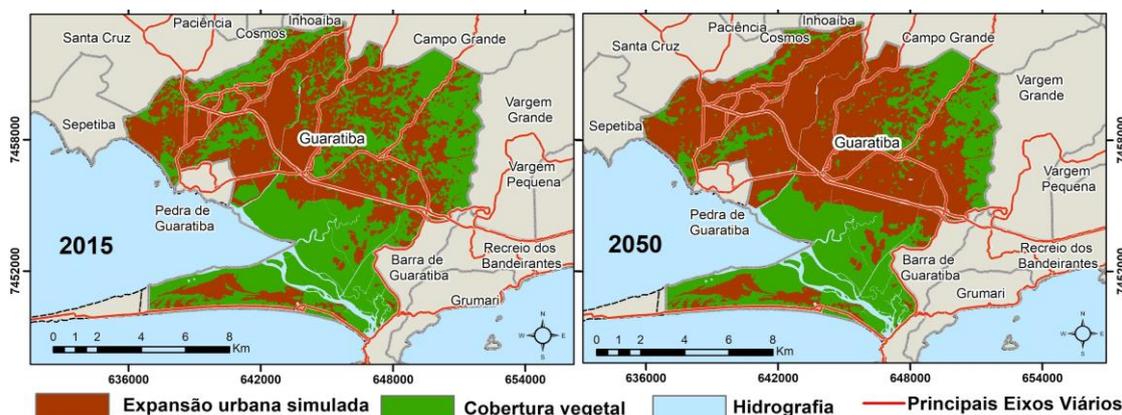
Analisando Figura 7, considerando que a classe outros também contém áreas urbanas, é possível notar que às áreas protegidas que existem no bairro de Guaratiba, no que diz respeito a expansão do processo urbanístico tende a respeitar os limites de proteção, o que muitas vezes ocorre é um adensamento urbano, principalmente na região central e noroeste de Guaratiba.

Figura 7 - Área central e noroeste de Guaratiba



Na Figura 8, é possível notar também que a proximidade com as rodovias atuam como fator atrativo do desmatamento, devido sua integração com núcleos urbanos (pertencente à classe Outros), isto acontece porque as rodovias são importantes agentes que influenciam no crescimento demográfico.

Figura 8 - Principais rodovias que cortam o bairro de Guaratiba



Conclusões

A modelagem dinâmica por meio de autômatos celulares utilizando o Software Dinamica Ego se mostrou uma ferramenta de grande potencialidade para estudar o fenômeno do desmatamento. O ensaio, na área de estudo de Guaratiba, demonstrou que os fatores condicionantes escolhidos foram satisfatórios para região, com resultados indicando as mudanças esperadas. Em etapas futuras serão investigadas outras condicionantes a fim de ter se uma amplitude maior de variáveis testadas para o cenário futuro proposto.

Baseado nos dados de população demográfica do IBGE e suas projeções demográficas é possível afirmar que o aumento demográfico na região de Guaratiba continuará em crescimento. Diante disso e observando as projeções obtidas pelo modelo, nota-se a particularidade da expansão urbana na região, que tende a se adensar nas áreas noroeste e central do bairro. Os valores das taxas de transição de desmatamento não se mostram muito altas, contudo se continuarem constantes podem ser indicadoras de uma futura pressão antrópica nas Áreas de Proteção Ambiental. O processo de desmatamento projetado considera a preservação das políticas de Unidades de Conservação, o que pode ser alterado por entidades responsáveis.

Cabe então ao poder público, criar medidas de planejamento e desenvolver políticas públicas para vencer a dualidade existente entre a expansão urbana e a conservação de florestas. É preciso assegurar a conservação da cobertura arbórea, visto que a mesma possui grande e variada quantidade de fauna e flora que são inestimáveis ao meio ambiente e a sociedade.

Referências

- ALMEIDA, CM DE. (2003). *Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP)*, Brasil. São José dos Campos: INPE.
- BONHAM-CARTER, G. F. (1994) *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ontario: Pergamon Press, Oxford, 398 p.
- FALCÃO, M. P., & NOA, M. (2006). *Definição de Florestas, Desmatamento e Degradação Florestal no âmbito do REDD+*. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000100006>, Acesso em: jul. 2020
- GROSS, M. (2016). *How can we save forest biodiversity?* Current Biology, v. 26, p. 1167-1176, Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982216313343>, Acesso em: junho de 2020.
- INEA – Instituto Estadual do Ambiente (2019). Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/inea-oferece-vagas-para-voluntarios-na-reserva-biologica-estadual-de-guaratiba/>, Acesso em: julho de 2020.
- PREFEITURA DO RIO. *Descrição e Mapa da Área de Planejamento 5*. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4290214/4105682/06.AnexoVIDescricaoeMapadaAreadePlanejamento5.pdf>, Acesso em: junho de 2020.
- PREFEITURA DO RIO. *Guaratiba - Plano de Ocupação*. Disponível em: http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/10316187/4260325/Guaratiba_PlanodeOcupacao_071119_baixa.pdf, Acesso em: junho de 2020.
- PREFEITURA DO RIO. *População Residente e Estimada - Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro e Regiões Administrativas (RA) - 2000/2010/2013-2016/2020*. Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/popula%C3%A7%C3%A3o-residente-e-estimada-brasil-estado-do-rio-de-janeiro-e-munic%C3%ADpio-do-rio-de-janeiro-e-regi%C3%B5es-administrativas-ra-2000-2010-2013-2016-2020->, Acesso em: junho de 2020.
- INEA – Instituto Estadual do Ambiente. *Rio de Janeiro*. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/BIODIVERSIDADEEAREASPROTEGIDAS/UnidadesdeConservacao/INEA_008603#/Informacoesuteis, Acesso em: julho de 2020.
- SILVA, B. A., Gomes, N. M. G., Skowronski, L., de Oliveira, M. A. C., & da Costa, R. B. (2016). Multiple uses of forest resources in small and medium farms in the tropics: Economic and social contributions. *African Journal of Agricultural Research*, n. 41, p. 4162-4171.
- SOARES-FILHO, B.S. RODRIGUES, H.O. COSTA, W.L. *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282782423>. Acesso em: julho de 2020
- WOLFRAM, S. (1983) Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of modern physics*, n. 3, p. 601.