



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MODELAGEM DA DINÂMICA ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO
MUNICÍPIO DE PITIMBU-PB**

MARIA CAROLINE VITORIANO BARROS

João Pessoa-PB
2018

MARIA CAROLINE VITORIANO BARROS

**MODELAGEM DA DINÂMICA ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO
MUNICÍPIO DE PITIMBU-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da
Paraíba.

Orientador: Prof. Tarciso Cabral da Silva.

João Pessoa-PB
2018

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B277m Barros, Maria Caroline Vitoriano.
Modelagem da dinâmica espacial do uso e ocupação do solo no município de Pitimbu - PB / Maria Caroline Vitoriano Barros. - João Pessoa, 2018.

68 f. : il.

Orientação: Tarciso Cabral da Silva.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Zona Costeira. 2. Uso e ocupação do solo. 3. Land Change Modeler. I. Silva, Tarciso Cabral da. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIA CAROLINE VITORIANO BARROS

MODELAGEM DA DINÂMICA ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PITIMBU-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 30/10/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Thierry V. N.

Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva (Orientador)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – CT/UFPB

APROVADO

Isabelle Yruska de Lucena Gomes Braga

Prof.ª Dr.ª Isabelle Yruska de Lucena Gomes Braga
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – CT/UFPB

APROVADO

Laudelino de Araújo Pedrosa Filho

Prof. Dr. Laudelino de Araújo Pedrosa Filho
Centro Universitário de João Pessoa - UNIPÊ

APROVADO

Elisângela M. R. Rocha

Profa. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Profª Elisângela M. R. Rocha
Coord. CCGEAM/CT/UFPB
Mat. SIAPE 1821373

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela vida e por renovar minhas energias a cada dia, tornando possível o cumprimento de mais essa etapa.

As minhas maiores inspirações, meus pais, **Maria das Dores Vitoriano e Marcelino Barros**, pelos ensinamentos, apoio e incentivo durante toda minha trajetória. Sempre com muito amor e me passando muita força para seguir em frente.

Aos meus irmãos **Marcela Barros** e **Anderson Barros** pelo carinho, amor e incentivo.

As minhas amadas avós **Maria Antônia da Conceição** e **Antonieta Barros** pelos ensinamentos de vida passados, convívio, carinho e amor incondicional. Sempre estarão comigo. Amo vocês!

Aos amigos que conheci no curso de Engenharia Ambiental, **Paula Raíza Cavalcante**, **Silvânia Henrique**, **Matheus Rodrigues**, **Jonathan Antunes** e **Rebecca Carvalho** por todos os momentos divididos juntos ao decorrer da vida acadêmica e na vida pessoal, pelo companheirismo, pelos conselhos e amizade. Amigos, torço pelo sucesso e felicidade de cada um.

Agradeço a minha querida companheira de pesquisa **Marie Eugenie** pela sua dedicação e interesse em colaborar para o crescimento do estudo com o LCM. Contribuindo de maneira fundamental para o amadurecimento desse trabalho.

Ao meu orientador professor **Dr. Tarciso Cabral da Silva** pelos ensinamentos, atenção e ajuda no melhor direcionamento para desenvolvimento do estudo.

A todos os meus professores, da graduação, pelos ensinamentos indispensáveis, que de alguma forma colaboraram para meu crescimento pessoal e profissional.

À banca examinadora, professora Dr.^a **Isabelle Yruska** e professor Dr. **Laudelino Pedrosa**, pela disponibilidade e atenção durante a apresentação do trabalho. Muito obrigada.

RESUMO

O uso e a ocupação inadequados do solo têm provocado degradação ambiental em diversas áreas do mundo, em especial na Zona Costeira onde há grandes concentrações de atividades e de áreas urbanas. A ocupação na Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba, considerando o município de Pitimbu, área de transição de ambientes terrestres e marinhos foi o objeto desse estudo. O objetivo geral é mapear e avaliar os distintos usos e ocupações do solo nesta área, visando colaborar para a gestão dos espaços costeiros e o planejamento ambiental. São analisadas as transformações ocorridas no uso do solo, utilizando imagens Landsat de 2001, 2013 e 2017, mapas de uso e ocupação do solo referentes aos anos citados e a previsão de dois cenários para área de estudo. Os cenários de predição foram testados a partir do *Land Change Modeler* (LCM), onde foi realizada a simulação e validação para 2017, usando a metodologia *Rede Neural Multi- Layer Perceptron* (RNMLP). A partir dos resultados satisfatórios para 2017, foi realizada a predição dos cenários futuros para 2027 e 2037. A simulação das tendências futuras mostrou a intensificação das transições observadas nos anos de 2001, 2013 e 2017, em que os principais usos do solo previstos foram para as atividades agrícolas, sendo a Cana-de-açúcar a de crescimento mais representativo. A intensificação desses cultivos promoveu a diminuição da Área florestada, provocando a antropização dessa classe. Outro fator determinante da ação humana no ambiente foi o crescimento do espaço urbano do município de Pitimbu. Em vista disso, a pesquisa ratifica a importância do conhecimento do território e como o uso da metodologia proposta pode auxiliar os gestores no monitoramento das áreas e no processo de planejamento das condições ambientais dos espaços costeiros.

Palavras-chaves: Zona Costeira; Uso e ocupação do solo; Land Change Modeler.

ABSTRACT

Inadequate land use and occupation have led to environmental degradation in several areas of the world, especially in the Coastal Zone where there are large concentrations of activities and urban areas. The occupation of the area in the Southern Coastal Zone of the state of Paraíba, considering the municipality of Pitimbu, area of transition of terrestrial and marine environments was the object of this study. The general objective is to map and evaluate the different uses and occupations of the soil in this area, aiming to collaborate for the management of coastal spaces and environmental planning. The transformations occurring in land use are analyzed using Landsat images of 2001, 2013 and 2017, land use and occupation maps for the years cited and the prediction of two scenarios for the study area. The prediction scenarios were tested from the *Land Change Modeler* (LCM), where the simulation and validation for 2017 was performed using the *Multi-Layer Perceptron* Neural Network (MLP) methodology. From the satisfactory results for 2017, the prediction of the future scenarios for 2027 and 2037 was made. Simulation of future trends showed the intensification of the transitions observed in the years 2001, 2013 and 2017, where the main predicted land uses were for agricultural activities, with Sugarcane being the most representative growth. The intensification of these crops promoted the reduction of the Forest area, causing the anthropization of this class. Another determining factor of the human action in the environment was the growth of the urban space of the municipality of Pitimbu. In view of this, the research ratifies the importance of the knowledge of the territory and how the use of the proposed methodology can assist the managers in the monitoring of the areas and in the process of planning the environmental conditions of the coastal spaces.

Keywords: Coastal Zone; Use and occupation of soil; Land Change Modeler.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delimitação da Zona Costeira brasileira, com destaque para os municípios que compõem sua porção terrestre	17
Figura 2 - Localização dos municípios que compõe o setor costeiro Sul da Paraíba	23
Figura 3 - Localização geográfica do município de Pitimbu, Estado da Paraíba	29
Figura 4 - Metodologia utilizada na previsão do uso do solo	33
Figura 5 - Metodologia para predição do uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037) no município de Pitimbu utilizando o LCM.....	37
Figura 6 - Variáveis explanatórias de distâncias testadas na previsão do potencial de transição: (i) distância de rodovias; (ii) distância de cursos d'água; (iii) distância de áreas florestadas; (iv) distância de áreas urbanas; (v) distância de culturas diversas e (v) distância de cana-de-açúcar	40
Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu em t1 (2001)	44
Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu em t2 (2013)	45
Figura 9 - Mapa de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu em t3 (2017)	46
Figura 10 - Contribuição das mudanças nas classes: Área florestada, Culturas diversas, Cana-de-açúcar e Área urbana e respectivas trocas entre os usos especificados (km ²)	49
Figura 11 - Informações quantitativas de concordância e discordância entre as duas imagens	53
Figura 12 - Mapas do uso e ocupação do solo em 2017 partir da imagem de satélite (observado) e simulado pelo modelo LCM	54
Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t4 (2027)	56
Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t5 (2037)	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de modelos e plataformas LUCC	27
Tabela 2 - Áreas das classes de uso e ocupação do solo para 2001, 2013 e 2017 no município de Pitimbu.....	47
Tabela 3 - Variáveis explanatórias e o resultado do teste V de Cramer	50
Tabela 4 - Matriz de transição do uso e ocupação do solo entre 2001 e 2013 com os percentuais de mudança e persistência.....	52
Tabela 5 - Índice Kappa de concordância (KIA) para todas as classes, utilizando 2017 simulado e observado.....	53
Tabela 6 - Áreas das classes de uso de ocupação do solo para 2017 observado e simulado ..	55
Tabela 7 - Área das classes de uso e ocupação do solo em 2017 e para os cenários de predição	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ganho e perda em quilômetros (km ²) por categoria de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu	48
Gráfico 2 - Evolução das áreas das principais classes de uso do solo	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CIRM	Subcomissão de Gerenciamento Costeiro da Comissão Interministerial de Recursos do mar
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
LCM	<i>Land Change Modeler</i>
LUCC	<i>Land Use and Land Cover Change Models</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
RMNLP	Rede Neural <i>Multi-Layer Perceptron</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1 A Zona Costeira.....	17
2.1.1 A Zona Costeira e as influências antrópicas	18
2.1.2 Gerenciamento Costeiro no Brasil	20
2.1.3 A Zona Costeira Sul Paraibana	22
2.2 SIG e Mudanças no Uso e Ocupação do Solo.....	23
2.3 Modelagem Dinâmica Espacial do Uso e Ocupação do Solo	25
3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.1 Aspectos físicos	30
3.2 Aspectos hidrológicos.....	31
3.3 Aspectos socioeconômicos	32
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
4.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo	34
4.1.1 Processamento digital de imagens	34
4.1.2 Segmentação, classificação e tratamento das imagens.....	35
4.2 Procedimentos da modelagem dinâmica espacial utilizando o LCM.....	36
4.2.1 Previsão do potencial de transição	37
4.2.1.1 Análise da mudança na cobertura do solo	38
4.2.1.2 Determinação das transições.....	38
4.2.1.3 Teste e seleção das variáveis explanatórias	38
4.2.1.4 Modelagem do potencial de transição utilizando RMNLP	41
4.2.2 Simulação e Validação	41
4.2.2.1 Cadeias de Markov	41
4.2.2.2 Validação da simulação de mudanças do uso e ocupação do solo.....	42
4.2.2.3 Simulação do uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037)	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Modificações no uso e ocupação do solo nos anos de 2001, 2013 e 2017	44
5.2 Modelagem da predição de uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037)	48
5.2.1 Análise das mudanças no uso e ocupação do solo em t1 (2001) e t2 (2013) usando o LCM	48

5.2.2 Variáveis explanatórias selecionadas após o teste V de Cramer	50
5.2.3 Matriz de probabilidade de transição para t1 (2001) e t2 (2013).....	51
5.2.4 Validação da simulação do uso e ocupação do solo em t3 (2017) com o LCM	52
5.2.5 Cenários de uso e ocupação do solo simulado.....	55
5.2.5.1 Uso e ocupação do solo simulado para t4 (2027)	55
5.2.5.2 Uso e ocupação do solo simulado para t5 (2037)	56
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	60
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira é reconhecida por apresentar usos múltiplos dos espaços e dos recursos naturais, com diferentes formas de ocupação e desenvolvimento de diversas atividades humanas. Nesse espaço geográfico ocorrem, além das atividades relacionadas à proximidade do ambiente marinho, como atividade portuária, estaleiros e carcinicultura, outras de maior frequência no seu interior, como a agricultura.

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro-PNGC II define a parte terrestre da Zona Costeira com base em critérios administrativos, os limites municipais, e considera a Zona Costeira como um mosaico de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é marcada pela transição de ambientes terrestres e marinhos. (BRASIL, 1997).

O Decreto nº 5.300/2004 define a Zona Costeira brasileira como sendo a zona formada pelos municípios defrontantes com o mar, e os não defrontantes e distantes até cinquenta quilômetros da linha da costa que contemplem em seu território atividades ou infraestruturas de grande impacto ambiental na zona costeira ou ecossistemas costeiros de alta relevância (BRASIL, 2004).

Deve ser ressaltada a ocupação histórica da Zona Costeira, desde os tempos do Brasil colonial, com as atividades agrícolas, com destaque para a cana de açúcar na costa Leste do Nordeste do Brasil. As atividades agrícolas, em conjunto com o desenvolvimento da atividade industrial e a urbanização nos espaços litorâneos têm gerado os principais desequilíbrios ambientais ao longo dos anos no nordeste brasileiro.

As pressões socioeconômicas na Zona Costeira vêm desencadeando, ao longo do tempo, um processo acelerado de urbanização de planejamento inadequado e intensa diminuição dos elementos naturais, promovendo uma ameaça à sustentabilidade econômica, qualidade ambiental e vida das populações humanas (SOUZA, 2003). Esse processo tem se intensificado claramente em municípios vizinhos às capitais dos estados litorâneos.

A Zona Costeira Sul do estado da Paraíba compreende os municípios de Cabedelo, João Pessoa, Conde e Pitimbu, como municípios defrontantes com o mar. Além desses, segundo o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado da Paraíba (2003) os municípios de Caaporã, Alhandra, Santa Rita, Bayeux também se inserem nessa zona. Limita-se ao sul, em Pitimbu, com o estado de Pernambuco no estuário do rio Goiana, e ao norte, em Cabedelo, com o estuário do Rio Paraíba do Norte (CABRAL DA SILVA, MATOS DE CARVALHO, *et al.*, 2008).

A Zona Costeira sul paraibana tem sido objeto de diversas intervenções advindas do crescimento econômico, traduzido em novos empreendimentos diversificados na ocupação de seu espaço territorial. Dentre esses elementos de uso do solo tem-se a atividade agrícola, urbanização e as indústrias, como exemplificado no município de Pitimbu. Essa localidade é caracterizada por paisagens naturais bastante diversificadas e de grande beleza cênica, além de possuir aspectos ambientais bastante variados.

No Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Pitimbu é contextualizado que no processo de colonização e ocupação das terras do município, no qual quase toda vegetação natural foi sendo indevidamente retirada e substituída por culturas de cana de açúcar, abacaxi, mandioca, entre outras de caráter intensivo e extensivo. Atualmente, restam somente fragmentos de Mata Atlântica e de seus ecossistemas associados (BRASIL, 2015). Nesse sentido, estudos do uso e ocupação do solo no município de Pitimbu devem ser objeto de estratégias de planejamento buscando evitar ameaças à salubridade do ambiente costeiro, bem como promover a manutenção da qualidade ambiental e a sustentabilidade das atividades executadas na localidade.

A utilização do sensoriamento remoto de imagens orbitais agregada a técnicas de geoprocessamento por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) apresentam-se eficientes para detectar mudanças no uso e cobertura da terra, bem como as alterações provocadas nas paisagens em um determinado local e escala temporal, além do monitoramento orbital, possibilitando diagnosticar alterações antrópicas e naturais na paisagem (CUNHA, RUFINO, *et al.*, 2012 *apud* COSTA SANTOS, BATISTA, *et al.*, 2017).

Tendo em vista que o uso e ocupação do solo é um tema básico para o planejamento ambiental, por retratar as atividades humanas e naturais que impactam o meio ambiente, a análise temporal e a modelagem dinâmica espacial permitem a realização do acompanhamento das modificações espaciais da paisagem e a predição do comportamento desta no futuro (SILVA, ECKHARDT e REMPEL, 2011).

As mudanças ocorridas e a previsão da cobertura do uso do solo podem ser monitoradas, com base na dinâmica da ocupação dessa localidade, por meio de modelos e algoritmos computacionais de percepção de mudanças, operações denominadas *Land Use and Land Cover Change Models* (LUCC). Nesse tipo de modelo LUCC a predição de cenários possibilita o entendimento do comportamento de alguns eventos e como os mesmos podem influenciar nas mudanças do uso e cobertura do solo. Em meio aos modelos LUCC existentes se destaca o *Land Change Modeler* (LCM) (XAVIER, 2017).

Diferentes estudos demonstraram a importância de compreender a dinâmica do uso do solo utilizando o LCM. Assim dentre essas pesquisas destacam-se estudos sobre Modelagem de cobertura usando *perceptron multi-layer* (Dzieszko, 2014), modelagem de perda de florestas e dinâmicas de mudança do uso da terra (Koranteng e Zawila-Niedzwiecki, 2015), e simulação de cenário prospectivo através da modelagem dinâmica (Pisani, Demarchi e Riedel, 2016), (Gago-Silva, Ray e Lehmann, 2017) e (Wei, 2017).

À luz das metodologias acima referidas para a modelagem de mudança do uso do solo, neste trabalho busca-se a validação e simulação de cenários futuros de uso e ocupação utilizando o LCM, para o município de Pitimbu, localizado na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba, com base nos anos de 2001, 2013 e 2017.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a evolução espaço-temporal do uso e ocupação do solo no município de Pitimbu - PB, por meio dos elementos que atuam na organização da cobertura territorial do local, levando em consideração o seu mapeamento, utilizando *softwares* de GIS e o *software Land Change Modeler*.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar, mapear, classificar e quantificar os diversos usos do solo no município de Pitimbu;
- Analisar a evolução dos usos do solo no município considerando a série temporal relativa os anos 2001, 2013 e 2017;
- Simular cenários de uso e ocupação do solo para o ano de 2027 e 2037 no município de Pitimbu;
- Analisar as repercussões das mudanças do uso do solo no período estudado, tentando contribuir para o planejamento e a gestão territorial do município por meio da aplicação dos resultados obtidos.

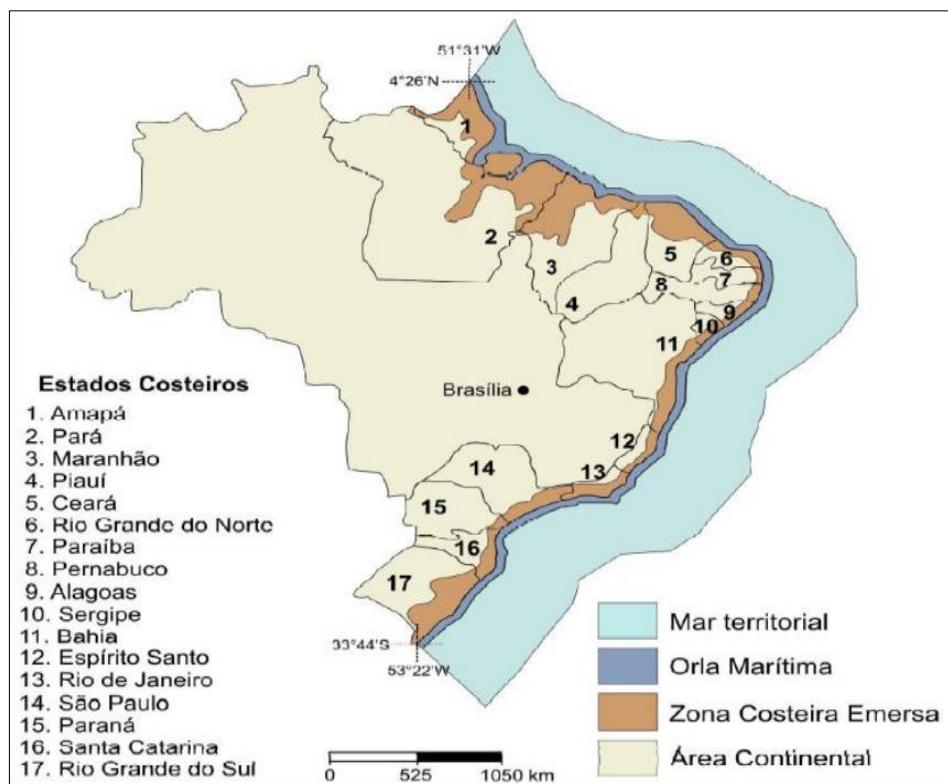
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 A Zona Costeira

A Zona Costeira é considerada como um mosaico de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é marcada pela transição de ambientes terrestres e marinhos, com interações que lhe conferem um caráter de fragilidade. Por isso, requer atenção especial do poder público conforme demonstra sua inserção na Constituição Brasileira como área de patrimônio nacional (BRASIL, 1997).

Com base na legislação específica e critérios do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro-PNGC II, a Zona Costeira brasileira abrange 8.698 km de extensão, além de possuir uma área total de 514 mil km². A região costeira é composta por 395 municípios, distribuídos em 17 estados litorâneos, onde apresenta aproximadamente 12 milhas náuticas (22,2 km) de Mar Territorial, medidos a partir das linhas de base e uma área de 324 mil km² na parte terrestre, conforme a Figura 1 (MMA, 2008).

Figura 1 - Delimitação da Zona Costeira brasileira, com destaque para os municípios que compõem sua porção terrestre



Fonte: MMA (2009)

Para Borelli (2007), em relação a área terrestre, a Zona Costeira configura-se num espaço com especificidades e vantagens locacionais, finitas e relativamente escassas. Em termos de biodiversidade, esse ambiente inclui quadros naturais de grande relevância ecológica, constituindo-se em importante fonte de recursos. Segundo Boesch (2001), nessa perspectiva, a parte terrestre da região costeira deve ser observada de uma forma holística e sistêmica integrando seus limites geográficos, ecossistemas e usos da terra.

O Brasil abriga, ao longo do litoral, diversos ecossistemas tais como: mangues, campos de dunas e falésias, baías e estuários, recifes e corais, praias e cordões arenosos, costões rochosos e planícies de marés, entre outros. Além de encontrar-se na Zona Costeira as maiores áreas remanescentes de Mata Atlântica. Tal concentração de situações e ambientes diversificados atribui à região costeira diversas oportunidades para atividades econômicas, como, por exemplo, a agricultura, a pesca, a aquicultura e a exploração de recursos minerais. Dessa forma, a área litorânea brasileira apresenta função vital nos setores sociais e econômicos dos estados (SANTOS e CÂMARA, 2002).

A intensificação do seu processo de ocupação ocorreu a partir da década de 1960, no qual, a malha urbana situada nessa região cresceu de maneira desordenada, além do crescimento das áreas agricultáveis, agravando o aspecto ambiental do espaço devido ao alto grau de vulnerabilidade dos ecossistemas costeiros. Nesse sentido Voivodic (2007), argumenta que as pressões da ocupação antrópica passaram a constituir uma grave ameaça a esse patrimônio ambiental.

2.1.1 A Zona Costeira e as influências antrópicas

No mundo, o ambiente costeiro é uma das áreas mais impactadas pela ação antrópica. Segundo o IBGE (2011), no Brasil por volta de 26,6% da população concentra-se na Zona Costeira o que é um equivalente de 50,7 milhões de habitantes. Por consequência, a presença das populações residentes nesse ambiente litorâneo promove um conflito entre os diversos tipos de atividades e finalidades num mesmo espaço geográfico, entre elas, a habitação, a indústria, o comércio, o transporte, a agricultura, a pesca, o lazer e o turismo (VASCONCELOS, 2004).

Com isso, a Zona Costeira se constitui um dos espaços de maior estresse ambiental, devido à degradação excessiva dos seus recursos naturais causada principalmente por pressões provenientes da variedade de formas de uso do solo e crescimento populacional. Essas

alterações na dinâmica do uso das áreas costeiras acontecem de maneira não planejada, possibilitando impactos negativos na atual região (GRUBER *et al.*, 2003).

Os impactos advindos da ação antrópica podem ser verificados em todo o território brasileiro, dentre eles pode-se observar o desmatamento, aterro dos biomas, o lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos hídricos alterando os índices de qualidade da água, e as construções nas zonas de praias que modificam a dinâmica das correntes costeiras desencadeando alterações na dinâmica de sedimentos da área, essas alterações resultam em níveis diversos de impactos aos sistemas ambientais (AMORIM e OLIVEIRA, 2013).

A perda de ecossistemas, em particular as de domínio da Mata Atlântica, levam à redução de habitats da fauna e impactos negativos sobre o solo, a água e a atmosfera (FERREIRA e SILVA, 2011). O desmatamento nesse bioma também está ligado à prática da agricultura, onde ocorre a retirada da vegetação para a realização dessa atividade por meio do uso de técnicas que comprometem os recursos naturais. A queimada da vegetação é um exemplo, promovendo a perda da fertilidade do solo, além de outras consequências, como o aumento do escoamento superficial e diminuição do volume de água que infiltra no subsolo para recarga dos aquíferos (BARROS, 2009 *apud* SILVA *et al.*, 2018).

Nesse sentido, para os ambientes de manguezal, ecossistema associado a Mata Atlântica, a remoção de sua vegetação é um dos pontos mais críticos quanto à degradação e descaracterização da paisagem e da dinâmica desse ecossistema considerado como berçário de muitas espécies de peixes. Esse ambiente uma vez degradado pode não mais se regenerar, levando a modificações significativas para a Zona Costeira (FREITAS, 2004; ARAÚJO e SÁ FREIRE, 2007).

Outro fator potencializador da degradação do ambiente costeiro por meio das atividades agrícolas é a utilização de agrotóxicos sem a devida orientação, quanto à sua forma correta de aplicação, assim como o descarte dos recipientes após o uso, vindo a tornar-se uma fonte poluidora das águas dos rios e também dos estuários (ABREU, VASCONCELOS e ALBUQUERQUE, 2017).

A intensa ocupação urbana e de suas ações antrópicas sem planejamento tem promovido um processo de deterioração da região costeira, principalmente no que diz respeito aos seus ecossistemas, ocasionando alterações significativas na cobertura vegetal e no uso da terra, além da poluição dos corpos hídricos por efluente de esgoto, pois grande quantidade dos despejos líquidos lançados nos rios tem como destino final o mar, o que tem agravado a capacidade desse ambiente em suportar os impactos gerados por estas atividades (LAMBIN, 2014; MUNARI *et al.*, 2018).

Dessa forma observam-se fatores e atividades humanas que são responsáveis por tornarem o ambiente costeiro vulnerável. Corrêa e Fontenelle (2010), denotam que essas mudanças sobre a Zona Costeira despontam como um processo altamente impactante no ordenamento territorial ambiental, causando retrocessos na conservação ambiental, despertando para a necessidade de incorporação de novas concepções ao planejamento e gestão do espaço costeiro pautadas em instrumentos legais existentes.

2.1.2 Gerenciamento Costeiro no Brasil

O espaço territorial e marítimo da região costeira deve ser avaliado por meio do seu diagnóstico, além do planejamento dos usos e recursos disponíveis na localidade. Essa análise é realizada pelo poder público utilizando o gerenciamento costeiro, ferramenta importante no processo de gestão desse ambiente (BITENCOURT, 2013).

O instrumento definidor e responsável pela política nacional de gerenciamento Costeiro é o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro do Brasil, o qual define um conjunto de ações e procedimentos que, por intermédio de instrumentos específicos, conduz à gestão dos recursos da Zona Costeira.

As primeiras formulações para um programa nacional de gerenciamento costeiro surgiram no seminário internacional promovido pela Subcomissão de Gerenciamento Costeiro da Comissão Interministerial de Recursos do mar-CIRM, em que, foi estabelecido apenas assuntos relacionados à “Política Nacional de Recursos do Mar”. Essa política enfatizou o manejo dos recursos marinhos, porém sob uma visão apenas de uso. Em 1981 a Secretaria de Meio Ambiente consolidou “Política Nacional do Meio Ambiente”, onde, a mesma não priorizava de maneira suficiente as questões relacionadas aos ambientes costeiros e marítimos (MORAES, 1999).

A gestão integrada da Zona Costeira no Brasil foi incorporada inicialmente por meio do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (GERCO), formulado pela CIRM em 1987, com o objetivo de lançar as bases para as ações de planejamento e gestão, descentralizada e participativa do ambiente costeiro. A partir disso, no mesmo ano a CIRM estabeleceu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), definindo assim a metodologia de zoneamento e o modelo institucional para sua aplicação (TAGLIANI, 2005; SOUZA, 2009).

A Constituição brasileira de 1988 destacou em seu art. 225 a Zona Costeira como um “patrimônio nacional”, caracterizando a região como de interesse especial para a União.

Nesse mesmo ano, o PNGC foi legalmente estabelecido pela Lei 7.661/88, com o apoio do CONAMA e da CIRM. Essa legislação, estabeleceu que todas as normas e regras deveriam ser detalhadas em um documento específico a ser produzido pela CIRM (CAVALCANTE e ALOUFA, 2018).

Esse documento foi a Resolução nº 001 de 21 de novembro de 1990 aprovada pela CIRM, em conformidade com o artigo 4º da Lei 7.661/1988, sendo o mesmo um instrumento legal que veio contribuir com a conservação da Zona Costeira. Essa Resolução aprovou a primeira versão do PNGC, assentando as bases metodológicas do Gerenciamento Costeiro, estabelecendo em síntese “seus princípios norteadores, seus conceitos, definições, objetivos, ações, instrumentos, competência e fontes de recurso” (BRASIL, 2000).

Nessa perspectiva, entre as normas gerais essenciais elaboradas pelo PNGC I está a designação para que estados e municípios elaborassem seus próprios planos de gerenciamento costeiro, de acordo com a peculiaridade de cada região e a indicação dos usos compatíveis existentes no espaço costeiro (BITENCOURT, 2013). No entanto, essa proposta não conseguiu almejar seus objetivos, onde, após os dois primeiros anos de implantação tornou-se alvo de severas críticas. Foi nesse período que a coordenação do GERCO deixou de ser atribuição do IBAMA e passou a compor a estrutura do recém-criado Ministério do Meio Ambiente (MMA) (TAGLIANI, 2005).

Dessa forma, entre os anos de 1992 e 1997 ocorreram intensas discussões e avaliações sobre o modelo a ser implementado, em que, os principais problemas verificados foram: falta de definição da coordenação deixando a esfera federal sem participação efetiva; impossibilidade de ações emergenciais na Zona Costeira frente ao arranjo de implementação do SIGERCO; confusão entre objetivos e finalidades do PNGC. Considerando estes impasses no programa, a coordenação do GERCO forneceu a proposta definitiva para a melhoria do PNGC, ocorrendo assim, uma revisão da metodologia e do modelo institucional (VOIVODIC, 2007).

Diante disso, o CIRM por meio da Resolução nº 005/1997, aprovou o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II, que entre suas modificações propostas previa a criação do Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO), formado por diferentes instituições atuantes na Zona Costeira, o qual tem como atribuição articular as ações federais para colocar em prática o PNGC (BRASIL, 2005).

Além do mais, tendo como objetivo estabelecer regras de uso e ocupação no ambiente costeiro, em termos legais, foi promulgado o Decreto Federal nº 5.300/2004 visando instituir um novo espaço de gestão territorial costeira, especificando uma porção marítima e outra

terrestre, caracterizada pela interface entre a terra e o mar. O Decreto diferencia os municípios da Zona Costeira como defrontantes ou não-defrontantes com o mar. No Art. 4º do referente decreto os municípios abrangidos pela faixa terrestre da Zona Costeira são:

I - defrontantes com o mar, assim definidos em listagem estabelecida pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE; II - não defrontantes com o mar, localizados nas regiões metropolitanas litorâneas; III - não defrontantes com o mar, contíguos às capitais e às grandes cidades litorâneas, que apresentem conurbação; IV - não defrontantes com o mar, distantes até cinquenta quilômetros da linha da costa, que contemplem, em seu território, atividades ou infraestruturas de grande impacto ambiental na zona costeira ou ecossistemas costeiros de alta relevância; V - estuarino-lagunares, mesmo que não diretamente defrontantes com o mar; VI - não defrontantes com o mar, mas que tenham todos os seus limites com Municípios referidos nos incisos I a V; VII - desmembrados daqueles já inseridos na zona costeira (BRASIL, 2004).

O projeto de Gerenciamento Costeiro mais recente é chamado Projeto Orla que por sua vez busca atuar na gestão dos conflitos socioambientais existentes na orla marítima, por conseguinte esse projeto tem como objetivo a gestão descentralizada, definindo princípios e procedimentos de ação compartilhada entre as três esferas governamentais (Federal, Estadual e Municipal) juntamente à participação da sociedade civil (MMA/MP, 2005).

Apesar disso, a gestão costeira parece não estar implicando em melhorias reais na Zona Costeira brasileira, no que se refere à conservação dos sistemas ambientais, dos seus serviços ecossistêmicos e do bem-estar humano (SCHERER e ASMUS, 2016).

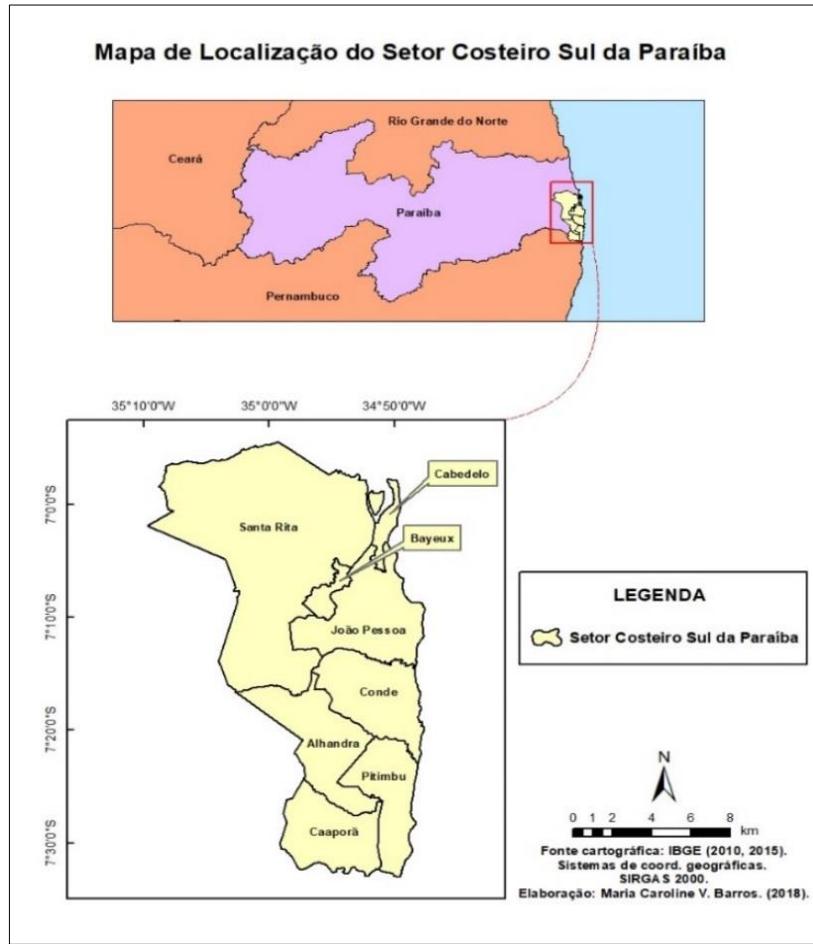
2.1.3 A Zona Costeira Sul Paraibana

A Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba apresenta uma extensão de 74,5 km, é configurada por paisagens diversificadas, apresentando como características a presença de elementos naturais e artificiais que aferem a este espaço grande fragilidade e significativa beleza (CABRAL DA SILVA, MATOS DE CARVALHO, *et al.*, 2008).

De acordo com a Lei Estadual nº 7.507, responsável por instituir o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado da Paraíba, a área costeira Sul é composta por uma faixa marítima e por uma faixa terrestre com 8 municípios, sendo eles, Pitimbu, Alhandra, Caaporã, Conde, Santa Rita, Bayeux, Cabedelo e João Pessoa (Figura 2).

A distribuição dos municípios tem como base no Decreto Federal nº 5.300/2004, que dispõe essas sedes municipais em defrontantes com o mar, que são os municípios de Pitimbu Conde, João Pessoa e Cabedelo, assim como os não-defrontantes que se encontram em um limite de até 50 quilômetros da costa, como Alhandra, Caaporã, Conde, Santa Rita, Bayeux.

Figura 2 - Localização dos municípios que compõe o setor costeiro Sul da Paraíba



Fonte: Autoria própria (2018)

Silva *et al.* (2003) descreveu que o Litoral Sul paraibano tem passado por uma grande pressão antrópica, esse processo de ocupação no local está associado principalmente a expansão da área de cultivo para cana-de-açúcar, além de uma intensa especulação imobiliária, atividade turística e aumento das atividades de extração mineral, principalmente areia, argila e calcário, onde a intensificação desses processos ocorreu após a construção da rodovia PB-008.

Nesse sentido, a área de estudo considerada na pesquisa foi o município de Pitimbu, região inserida no ambiente costeiro paraibano e que contribui por meio de diferentes usos do solo com atividades de potencial impacto ambiental no litoral sul do Estado.

2.2 SIG e Mudanças no Uso e Ocupação do Solo

Levantamentos referentes ao uso e ocupação do solo são de extrema importância para o planejamento, monitoramento e conservação dos recursos naturais, bem como a avaliação

dos riscos que esses ambientes estão susceptíveis. Dessa forma, é essencial compreender os conceitos de mudança do uso e ocupação do solo, além de realizar estudos que deem suporte a execução de ações voltadas à recuperação dessas áreas.

De acordo com Briassoulis (2000), o uso do solo pode vir a ter uma modificação envolvendo alterações para um uso diferente, assim como uma intensificação do já existente, que vem a condicionar a ocupação do solo por meio da conversão ou da modificação. Dessa maneira, a conversão é a mudança de uma classe de ocupação do solo para outra, e a modificação é uma mudança de estado dentro de uma categoria de ocupação do solo, em que, ocorre uma modificação das suas condições estruturais e quantitativas, de modo que não se tenha completa conversão.

Outra forma de se ver o uso do solo é a forma como as características biofísicas desse ambiente são manipuladas e alteradas em função do uso que o Homem pretende dar a esse espaço, quer seja para produções agrícolas, zonas urbanas, recreio ou para extração e processamento de materiais (MEYER e TURNER, 1996).

No entanto, a partir do momento que os indivíduos não fazem uso do solo com sabedoria e precaução necessárias, provoca-se a deterioração do mesmo, proporcionando um cenário de desestabilização ambiental. Esse processo ocorre em virtude do crescimento desordenado das cidades, degradação dos solos devido a um manejo inadequado das terras agrícolas e o desmatamento de florestas (DILL, 2007).

O planejamento ambiental é uma das metodologias utilizadas para o ordenamento e monitoramento do uso e ocupação do solo, seja por meio do gerenciamento de recursos hídricos e bacias hidrográficas, do monitoramento da cobertura vegetal, planejamento da ocupação agrícola das terras e da produção do espaço urbano na delimitação das reservas legais, áreas de preservação permanente e proteção de áreas através dos parques e reservas. Entre as tecnologias disponíveis utilizadas para auxiliar os profissionais e pesquisadores na no estudo da disposição dos usos do solo, pode-se destacar o sensoriamento remoto e o geoprocessamento (DEMARCHI, PIROLI e ZIMBACK, 2011).

Para Silva *et al.* (2013), o sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta eficaz para pesquisas relacionadas ao uso do solo, já que possibilita em um curto espaço de tempo a obtenção de uma ampla quantidade de informações. Logo, em conjunto com geoprocessamento, o sensoriamento remoto torna-se uma tecnologia indispensável ao estudo e a análise das mudanças ambientais terrestres e seus riscos.

O sensoriamento remoto pode ser definido como, a coleta de informações sobre os recursos naturais da Terra a partir de sensores em aeronaves ou satélites. Esta tecnologia

permite realizar medições da vegetação e cultivos por meio dos dados provenientes de diferentes sensores, que se encontram disponíveis para pesquisas (SARTORI *et al.*, 2013).

As atividades do geoprocessamento são efetuadas por sistemas comumente conhecidos como Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Segundo Longley *et al.* (2013), os SIGs são sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica. Eles apresentam ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos. Além disso, podem ser úteis para muitas outras tarefas, como realizar operações analíticas numa fração do tempo necessário para fazê-lo manualmente, armazenar grandes quantidades de informação geográfica em bancos de dados, e automatizar o processo de confecção de mapas úteis.

O uso do SIG tem sido adotado em diferentes estudos de uso e ocupação do solo, auxiliando no diagnóstico de pesquisas realizadas na área ambiental. Algumas análises foram realizadas por meio dessa ferramenta nos últimos anos visando o planejamento e gestão ambiental, nas quais, pode-se destacar Fiorio (2000), Souto (2004), Batistella e Valadares (2009) e Neto *et al.* (2017).

Dessa maneira, para a realização de estudos de evolução dos sistemas ambientais, as técnicas de SIG se tornaram importantes por possibilitar análises em relação à espacialização do território através da quantificação, qualificação e localização, assim como o relacionamento com outras variáveis espaciais, sendo amplamente aplicada e reconhecida como eficiente na detecção das alterações no uso e cobertura do solo.

2.3 Modelagem Dinâmica Espacial do Uso e Ocupação do Solo

A modelagem vem tendo grande aplicação na busca pela compreensão dos mais diversos eventos, especialmente nos estudos ambientais, que por sua vez ocorre devido à natureza analítica dos modelos. Dessa forma, ao se utilizar de modelos espaciais de alterações de uso e cobertura do solo é possível estimar quanto, quando e onde essas mudanças ocorreram, ou seja, as prováveis formas de uso e demandas de ocupação futuras desse espaço (MACEDO, ALMEIDA, *et al.*, 2013).

Segundo Rossetti (2011), esses modelos apresentam o comportamento da realidade contida nos dados observados, que podem ser utilizados na predição de eventos que ocorrem em certas circunstâncias. Nesse sentido, por meio desses modelos também é viável estabelecer teorias e hipóteses sobre o futuro, da mesma forma que se verificam hipóteses relativas ao passado.

O modelo pode ser constituído por ao menos três componentes, que são, as variáveis, relacionamentos e processos, onde no seu processo de construção ele pode ser destacado por meio de um ou outro componente. Assim, os modelos podem ser classificados em empíricos ou de sistemas. De acordo com Tretin e Freitas, (2010, p.292) “os empíricos focalizam os relacionamentos entre suas variáveis e partem da suposição de que as relações observadas no passado continuarão no futuro; e os de sistemas, correspondem a descrições matemáticas de processos complexos que interagem entre si, com ênfase às interações entre todos os componentes de um sistema”.

A modelagem dinâmica busca ultrapassar as limitações apresentadas pelo geoprocessamento, pois, essa ferramenta possui uma visão estática, bidimensional do mundo. No entanto, um modelo espacial oferece uma representação matemática de um processo do mundo real, onde, é possível se constatar a alteração na superfície terrestre em resposta às variações em suas forças direcionadoras (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

Nessa perspectiva os modelos dinâmicos proporcionam a avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos em escalas temporal e espacial, possibilitando as suas mitigações, sendo uma ferramenta que fornece suporte para as decisões no desenvolvimento de políticas públicas (SOLER, 2010).

Para o monitoramento de mudanças de uso e cobertura do solo, são utilizados os modelos computacionais ou plataformas de detecção de mudança do tipo LUCC (Land Cover and Use Change), que possibilitam a simulação de fenômenos dinâmicos espaciais, como: expansão urbana, processos de ocupação, entre outros.

O LUCC dispõe de ferramentas que permitem ao modelador construir um arcabouço de modelagem capacitado para auxiliar na investigação de hipóteses sobre as causas das mudanças, na afirmação das relações causais e os fatores associados a ela, bem como nas projeções e na investigação de diferentes cenários (VELDKAMP e VERBURG, 2004).

De acordo com Benedetti (2010), a modelagem dinâmica por meio de modelos LUCC tem como intuito simular as alterações espaço-temporais nos atributos do meio ambiente, unidas a um território geográfico, permitindo o entendimento dos mecanismos que causam a mudança e, desse modo, avaliar como um sistema, evolui diante de um conjunto de variáveis definidas pelo modelador.

Os modelos dinâmicos de simulação de mudanças de uso e cobertura do solo possibilitam replicar padrões da evolução da paisagem e assim realizar a avaliação de futuras implicações sobre o meio ambiente (SOARES-FILHO *et al.*, 2002). Precedendo essa simulação de cenários futuros deve ser realizada uma análise multitemporal de pelo menos

dois mapas de uso e ocupação do solo para identificação dos indicadores de mudanças e exploração das transições que a área de estudo vem sofrendo (XAVIER, 2017).

Buscando uma melhor eficiência e superação das análises estáticas, muitos modelos espaciais de mudança de uso do solo, incluindo os modelos LUCC, foram desenvolvidos com o passar dos anos. Na Tabela 1 são apresentados alguns dos principais modelos e plataformas utilizados na modelagem LUCC.

Tabela 1 - Exemplos de modelos e plataformas LUCC

Nome do modelo	Autor (es)	Descrição
Land-Use Change Analysis System (LUCAS)	Berry et al., (1994)	Ferramenta multidisciplinar de modelagem da cobertura do solo utilizada para examinar a relação das atividades humanas com mudança e suas consequências para sustentabilidade.
CLUE - S	Veldkamp e Fresco (1996)	Modelo desenvolvido para simular uso e cobertura do solo em escala regional utilizando relações empiricamente quantificadas entre as mudanças e seus fatores determinantes.
DINAMICA EGO	Soares-Filho (1998)	Plataforma de modelagem voltada para implementação de modelos ambientais espacialmente explícitos de diversas áreas.
Land Transformation Model (LTM)	Pijanowski et al., (2002)	Baseado na arquitetura do ArcGis que permite criar cenários de mudanças no uso e cobertura do solo a partir de dados multitemporais relacionados à mudança.
TerraME	Carneiro (2006)	Ambiente de programação para a modelagem espacial dinâmica. Suporta autômatos celulares, modelos baseados em agentes e modelos de rede que funcionam em celulares 2D.
Land Change Modeler (LCM)	Eastman et al., (2006)	Permite análise, modelagem e simulação das mudanças da cobertura do solo para futuro e suas consequências para biodiversidade, além de outras aplicações.

Fonte: Adaptado de Xavier (2017)

No presente estudo o modelo escolhido foi o LCM. Esse *software* apresenta diversas vantagens, como interface computacional acessível e menor tempo para aprendizagem da linguagem específica de modelagem. O LCM dispõe de um conjunto de ferramentas que inclui o processamento de imagens, sistema de informação geográfica, sensoriamento remoto, geoestatística, apoio à tomada de decisão e análise de imagens geográficas com a função de quantificar e caracterizar espaço-temporalmemente as mudanças no uso do solo, além de avaliar as perdas, ganhos e persistência no uso do solo, as contribuições de cada tipo de uso do solo para conversão em outra classe, além de predizer e modelar as variáveis relativas às transições do ambiente e habitat (EASTMAN, 2009).

Diversas pesquisas se destacam na literatura aplicando a modelagem por meio do LCM. Dentre elas destaca-se o estudo realizado por Guidolini *et al.* (2013), que aplicou o modelo para um trecho da bacia do Rio Uberaba situado no município de Veríssimo, MG. Este trabalho teve por objetivo testar o modulo LCM integrado ao *software* IDRISI TerrSet especialmente com base em Cadeias de Markov na simulação da dinâmica do uso e ocupação do solo, no período de 1975 a 2010. Nessa análise foi observado como resultado um ligeiro aumento na área de mata no ano de 2010 devido à recomposição vegetal, enquanto a pastagem tornou-se o principal uso, com o ganho de novas áreas em substituição a agricultura. Além disso, se realizou um prognóstico de uso da terra com o LCM para 2050.

Mishra *et al.* (2014) analisaram com o LCM o crescimento presente e futuro da cidade de Muzaffarpur e Bihar na Índia. Nesse estudo os autores utilizaram imagens de satélite Landsat de 1988 e 2010 e aplicaram a modelagem para os anos de 2025 e 2035. Os resultados da pesquisa evidenciaram aumento das classes área construída e agricultura para os anos de 1988 e 2010, e uma predição de aumento para as classes agricultura e área construída em 2025 e 2035. Ainda foi obtida uma acurácia de 72,28% usando a previsão de mudança com a metodologia de Rede Neural *Multi-Layer Perceptron* (RNMLP).

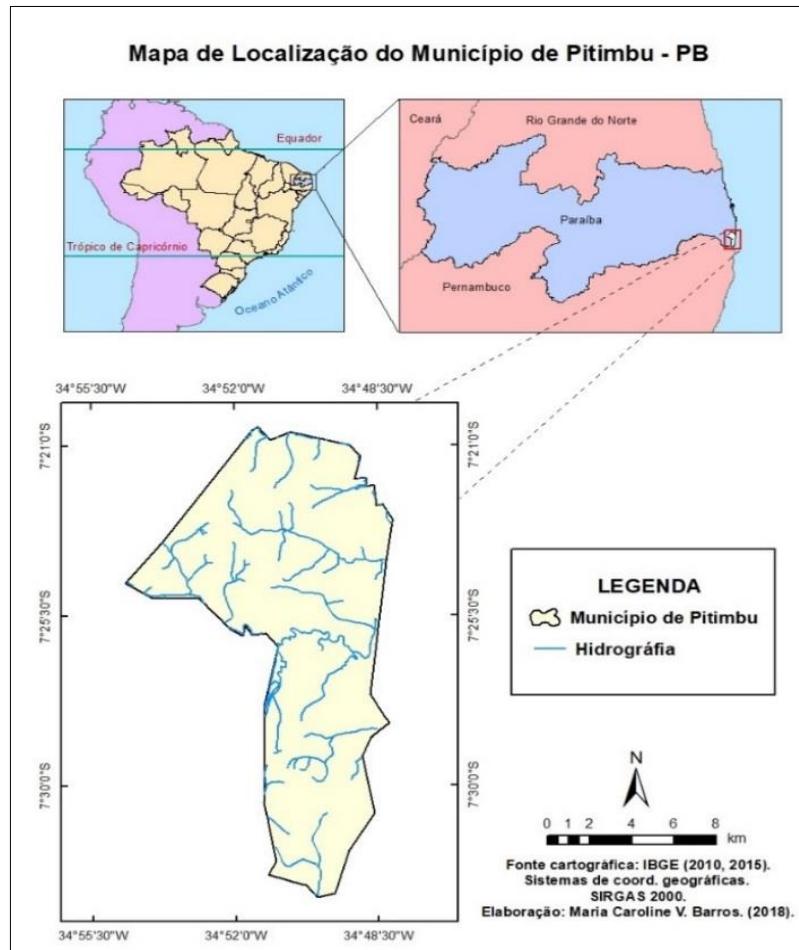
Kawashima *et al.*, (2016) analisou as mudanças no uso e ocupação do solo na região portuária da Baixada Santista, SP. O estudo buscou desenvolver modelos dinâmicos da paisagem e investigar a relação entre as alterações no uso e cobertura da terra e a infraestrutura de transportes na região, considerando as pressões do setor de infraestrutura portuária sobre as configurações na forma de uso e planejamento do espaço daquela localidade. A partir dos produtos de sensoriamento remoto e da metodologia LCM baseada em autômatos celulares, foram produzidos o mapa simulado e o cenário de prognóstico, considerando os projetos de expansão portuária para o ano de 2024. Por meio dessa simulação

a pesquisa demonstrou uma tendência de localização de novas instalações em função das atividades portuárias.

3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Pitimbu está localizado no extremo sul do litoral do estado da Paraíba entre as coordenadas geográficas $7^{\circ}20'31''S$ e $7^{\circ}32'56''S$ de latitude e $34^{\circ}48'8''O$ e $34^{\circ}54'42''O$ de longitude, como se pode observar na Figura 3. O município apresenta uma área de aproximadamente $136,44 \text{ km}^2$, com sua sede localizada a 70 km da capital João Pessoa, capital do estado da Paraíba. Limita-se ao norte com o município do Conde, ao oeste com os municípios de Alhandra e Caaporã, ao Sul com o rio Goiana e a Leste com o Oceano Atlântico (PITIMBU, 2016).

Figura 3 - Localização geográfica do município de Pitimbu, Estado da Paraíba



Fonte: Autoria própria (2018)

3.1 Aspectos físicos

O clima predominante na região, de acordo com a classificação climática de Köppen é o As', tropical úmido com precipitação média anual 1.938,7 mm, com um período chuvoso que se inicia entre fevereiro a março e prolonga-se até agosto. As variações sobre a distribuição de temperatura são de 20° a 24°C, quando atingem valores mínimos, e 28° a 33°C, quando atingem valores máximos nos meses de novembro e dezembro, enquanto a umidade relativa do ar, durante os meses de julho a agosto pode chegar a 85% (BRASIL, 2015).

A pedologia no município de Pitimbu é constituída por cinco tipos de solo, os Argissolos vermelho-amarelos, predominantes sobre os tabuleiros litorâneos. Gleissolos e os Espodossolos hidromórficos presentes nas planícies fluviais. Além dos solos indiscriminados de mangues ou solos halomórficos pouco desenvolvidos encontrados nas planícies flúvio-marinhas, bem como as Areias Quartzosas originadas de depósitos arenosos, esses solos podem ser observados nas planícies marinhas (PARAÍBA, 2004).

A geomorfologia da área de estudo está caracterizada pelos domínios das baixadas litorâneas e planaltos costeiros. Esses últimos são encontrados na faixa dos tabuleiros litorâneos, constituindo unidades geomorfológicas planas. As baixadas litorâneas são formadas basicamente por sedimentos marinhos, fluviais e flúvio-marinhas, representando um relevo relativamente baixo. Ainda, ocorrem planícies fluviais, áreas instáveis que sofrem frequentes alterações motivadas pelos períodos chuvosos, onde se verifica a recorrência processos erosivos, bem como deposição em épocas de estiagem (FURRIER, 2007).

O município de Pitimbu está inserido no Bioma da Mata Atlântica e ecossistemas associados. A região apresenta resquícios de florestas costeiras brasileiras ou matas de encostas, ambientes presentes na Mata Atlântica e que se encontram amplamente descaracterizadas em função da multissecular utilização para as mais variadas atividades (BRASIL, 2015).

Conforme o Plano territorial de desenvolvimento rural sustentável (PTDRS) do território da Zona da Mata Sul Paraibana (2010) na área estudada, há a presença de manguezais, localizados nos estuários na parte interior da planície, até a região que possui às influências marinhas pelo fluxo e refluxo das marés, com a presença de uma formação florestal perenifólia, contendo espécies altamente adaptadas ao tipo de ambiente flúvio-marinho, de salinidade elevada e solos estáveis, pantanosos com alto teor de matéria orgânica em decomposição.

No município de Pitimbu encontra-se o litoral mais extenso do Estado da Paraíba, com aproximadamente 26 km de praia no total. Dispõe de praias abertas com predominância, mais ao Norte, de falésias vivas e mortas, entrecortadas pelos maceiós dos rios Graú, Mucatu e Abiaí, formando um conjunto de grande beleza cênica. Na porção da área central para o Sul do município, a orla torna-se mais plana, com vegetação rasteira e coqueirais, sendo uma localidade densamente ocupada principalmente por residências de veraneio (PITIMBU, 2016).

3.2 Aspectos hidrológicos

O município de Pitimbu está inserido de acordo com a divisão hidrográfica adotada pela Agência Nacional de Águas (ANA), na região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental. A região destaca-se por abranger pequenas bacias costeiras, determinadas por sua pequena extensão e moderada vazão de seus corpos hídricos (ANA, 2002).

A área estudada encontra-se localizada no domínio da bacia hidrográfica do Rio Abiaí, que possui uma área de 449,5 km², onde seus principais afluentes são: os rios Graú, Abiaí, Mucatu, Aterro, Papocas, Camocim e Goiana, assim como os riachos: Massapê, Andreza, João Gomes, Engenho Velho, Arame e o córrego Jangada. Os fundamentais corpos de acumulação são as lagoas do Frazão e do Barandão. No município todos os cursos d'água apresentam regime de escoamento perene e o padrão de drenagem é o dendrítico (CRPM, 2005).

A bacia hidrográfica do Rio Abiaí possui cerca de 94,5% de sua área total, caracterizada pelo antropismo constatado por meio de atividades agropecuárias e florestais. Essas ações alcançam todos os municípios inseridos na bacia, que dispõem de apenas 5,4% de cobertura vegetal, cuja ocorrência é de 32,6% de Mangue, 1,5% de Mata Atlântica, 1,2% de Tabuleiros Costeiros, e 0,2% de Mata Semideciduosa, da área total da bacia, somando aproximadamente 36,24 km² de vegetação natural, no qual, 96,3% representam área de preservação permanente (BRASIL, 2015).

Dessa forma, é importante ressaltar que, as áreas ocupadas com vegetação natural na bacia, podem ser consideradas bastante reduzidas, em relação a sua extensão, assim, tornando-se um motivo de preocupação para os órgãos responsáveis pelo cuidado com o meio ambiente, exigindo dos mesmos uma fiscalização mais rigorosa, para que essas regiões não sejam submetidas ao processo de exploração demasiado (BRASIL, 2015).

Nessa perspectiva, é de fundamental importância o estudo do uso e ocupação do solo nessa região, considerando que o Rio Abiaí é um manancial de fundamental importância para o Estado, pois responde pela captação de água para o abastecimento de uma parcela da população da Grande João Pessoa. Assim, a partir da análise do comportamento dos usos presentes nessa área, é possível se ter uma maior compreensão das características físicas do local e do seu comportamento territorial, onde, esse entendimento fornecerá um melhor condicionamento para a realização de atividades de gestão e conservação dos rios para a região.

3.3 Aspectos socioeconômicos

Parte expressiva da população sobrevive da pesca artesanal, da agricultura dos programas assistências do governo federal e municipal, das atividades relacionadas ao turismo e dos empregos advindos das indústrias existentes no município.

Em termos socioeconômicos, segundo dados disponíveis no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Pitimbu, apresentava no ano de 2010 uma população total de 17.024 habitantes, em que, 10.334 habitantes estão área urbana e 6.640 na área rural. A população estimada para 2018 é de 18.904 habitantes. No aspecto econômico da região, em 2016 ela possuía um total de 98 empresas atuantes nas áreas, ocupando 1.230 pessoas.

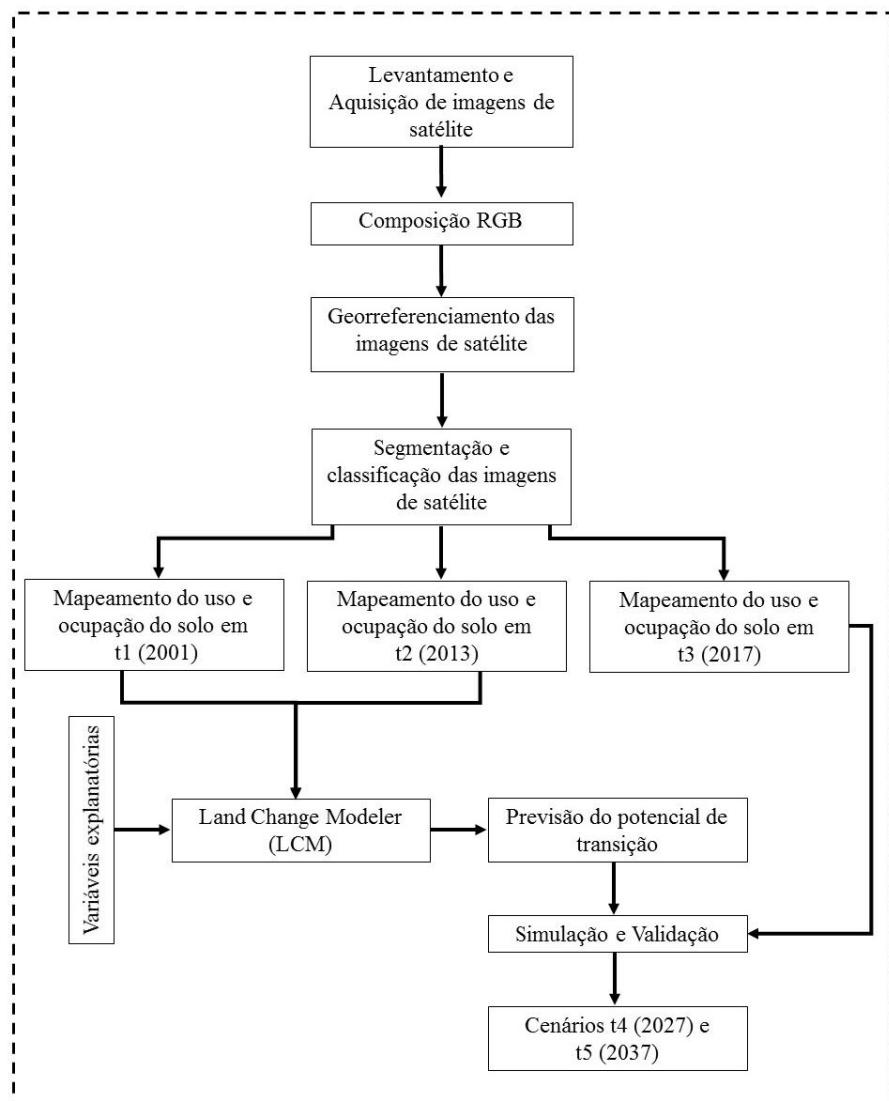
Com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), referente ao ano de 2013, o município de Pitimbu é o que apresentava o menor valor em relação às demais sedes municipais vizinhas com 0,570, correspondendo a um baixo desenvolvimento humano.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia para análise e modelagem das mudanças de cobertura do solo, bem como as alterações que essas mudanças ocasionam na estrutura da paisagem da área avaliada, é apresentada na Figura 4, conforme seu fluxograma esquemático.

Dessa forma, primeiramente na descrição dos procedimentos metodológicos será apresentado como foi realizado o mapeamento do uso e ocupação do solo nos tempos t1 (2001), t2 (2013) e t3 (2017). Em seguida, o esquema exposto na Figura 4 mostra os dados que foram utilizados para a modelagem da predição do uso e ocupação do solo no município de Pitimbu para os cenários propostos para os tempos t4 (2027) e t5 (2037), utilizando o *Land Change Modeler* (LCM).

Figura 4 - Metodologia utilizada na previsão do uso do solo



Fonte: Autoria própria (2018)

4.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo

4.1.1 Processamento digital de imagens

A análise de cenários voltados à identificação dos diferentes agentes espaciais e as diferentes formas de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu foram realizadas por meio da elaboração e interpretação de mapas temáticos de uso e ocupação da terra.

Inicialmente foi feito um levantamento de dados que consistiu em pesquisar imagens de satélites Landsat apropriadas, com resolução espacial de 30m.

As imagens a serem utilizadas no estudo têm sua localização na órbita 214, ponto 65. Devido à região estudada está situada no litoral é comum que ocorra uma grande formação de nuvens na imagem. Logo, as cenas escolhidas de melhor qualidade para se realizar o estudo teve como critérios a proximidade das datas das imagens e a mínima cobertura de nuvens para verificação temporal do uso e ocupação do solo.

As cenas Landsat que melhor atenderam às condições da pesquisa foram as seguintes: do sensor ETM Landsat-7 datada do dia 04 de agosto de 2001 com 6 bandas espectrais; do sensor OLI/ TIRS foram obtidas as cenas Landsat-8 datadas do dia 20 de agosto de 2013 e a do dia 31 de agosto de 2017 tendo 8 bandas espectrais cada uma. As três imagens foram adquiridas por meio do catálogo de imagens do *United States Geological Survey (USGS)*.

Com o objetivo de se ter uma melhor identificação dos elementos espaciais nas imagens do Landsat, foram realizadas composições coloridas. Para o ano de 2001 a composição utilizada foi 5(R)4(G)3(B). Em 2013 e 2017, a composição que obteve o máximo de representação para a identificação espacial da área de estudo foi a composição colorida 6(R)5(G)4(B).

Posteriormente, com o *software SPRING 5.2.7* foi realizado o georreferenciamento das imagens por meio da ferramenta “registro”, em que, foram adicionados os pontos de controle. No total, foram utilizados 16 pontos de controle para cada imagem, gerando um erro quadrático médio aceitável, uma vez que todas as imagens georreferenciadas obtiveram um erro abaixo de 1 pixels, no qual se pode constatar 0,52 pixels para o ano de 2001, 0,23 pixels em 2013 pixels, 0,33 pixels em 2017.

O sistema de projeção de coordenadas utilizado no estudo foi o UTM (*Universal Transversa de Mercator*), *South American, Srgas 2000*, zona 25 S. Na sequência foram executados os processos de segmentação e classificação das imagens.

4.1.2 Segmentação, classificação e tratamento das imagens

O processo de segmentação e classificação das imagens foi realizado por meio do *software* SPRING 5.2.7. A segmentação da imagem foi executada pelo método do algoritmo segmentação, onde foram testados os valores de similaridade e área de: (a) 15 e 30 pixels; (b) 10 e 30 pixels; (c) 5 e 30 pixels. A partir da utilização do critério visual dos polígonos gerados na fase da segmentação da imagem, a combinação de similaridade para a área de estudo que melhor representou as regiões, sobretudo a Área urbana, o Mangue e os Corpos hídricos, foi à similaridade de 5 e 30, foram utilizadas para todas as imagens no período estudado.

Na sequência, iniciou-se a classificação supervisionada, que consistiu nas seguintes etapas: a) definição das classes de mapeamento; b) escolha das amostras de treinamento; c) aplicação do algoritmo de classificação e d) edição da classificação. Esse método permitiu que os pixels de uma imagem se alocassem em classes definidas pelo especialista, necessitando que o usuário identifique pixels amostrais.

Dessa maneira, as classes de uso e ocupação do solo definidas para a classificação foram: Área urbana, Área florestada, Mangue, Área úmida, Culturas diversas (banana, acerola, coco, macaxeira, inhame, feijão, entre outras), Cana-de-açúcar, e Corpos hídricos. Assim, após essa etapa foram coletadas amostras de treinamento para cada das classes de uso do solo. Nessa fase do estudo, realizaram-se saídas a campo para revisar áreas e confrontá-las com a resposta espectral obtida na composição RGB. Também foram analisadas algumas regiões, por meio do *software* Google Earth Pro 7.1.5, a fim de definir indecisões acerca das mesmas. Este *software* apresenta um mosaico de imagens de satélite, com delimitação de datas de aquisição além de se ter a praticidade de utilização na hora de sanar dúvidas em algumas áreas. Essa etapa é crucial, uma vez que comumente aparecem incertezas sobre o uso do solo na leitura das imagens de satélites que devem ser corrigidas.

O classificador utilizado foi o *Battacharya* com limiar de 99,9 %, que utiliza a informação espectral dos pixels baseados nas propriedades espaciais, ou seja, o algoritmo da máxima verossimilhança, que avalia a variância e a covariância das categorias de padrões de resposta espectral quando classifica um pixel desconhecido.

Por fim, após um resultado satisfatório na classificação supervisionada, executou-se a transformação da imagem do formato *raster* para vetor através da ferramenta “Matriz-Vetor” e posteriormente a sua exportação em *shapefile*. Após a criação do arquivo *shapefile*, o mesmo foi levado ao *software* ArcGis 10.3®, onde se realizou a interpretação e a edição das classes, calculando suas respectivas áreas. Assim, em seguida a esse processamento, os dados

foram armazenados no formato ESRI Geodatabase, e, posteriormente, importados para o *software* IDRISI TerrSet visando a elaboração da modelagem da dinâmica dos usos do solo com o LCM.

4.2 Procedimentos da modelagem dinâmica espacial utilizando o LCM

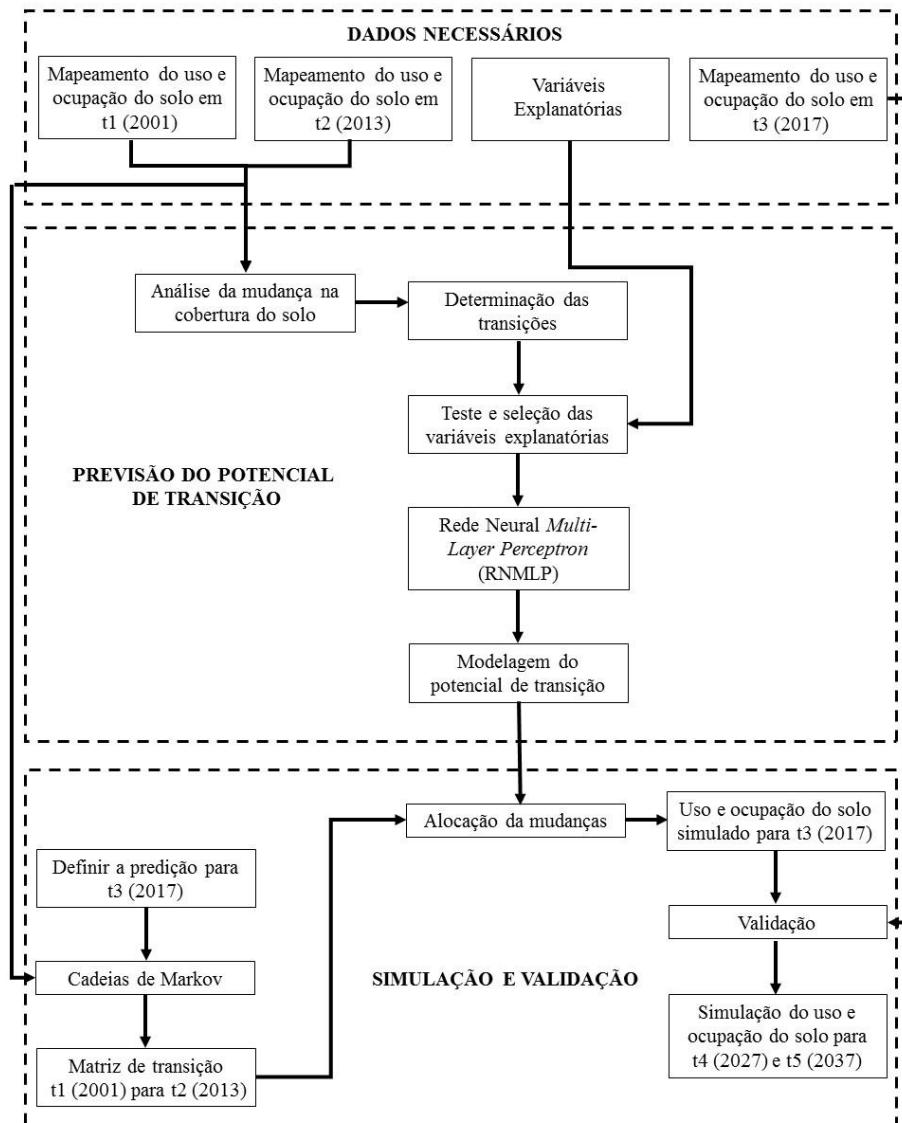
A avaliação da modelagem das mudanças no uso do solo foi feita utilizando o módulo *Land Change Modeler*, contido no *software* IDRISI TerrSet, desenvolvido pela *Clark Labs*, da Clark University. Nessa modelagem foi possível ser realizada a análise das tendências da dinâmica com base nos dados históricos, considerando os principais vetores das mudanças, além de possibilitar prever possíveis configurações espaciais e implicações ambientais para cenários futuros (EASTMAN, 2016).

As previsões das mudanças nesse estudo para os cenários futuros de 2027 e 2037 foram processadas da seguinte sequência: i) Análise de Mudança; ii) Modelagem de Potencial de Transição; e iii) Previsão de Mudança, conforme descrito a seguir:

- i. **Análises das mudanças:** As mudanças são as transições de um estado de cobertura do solo para outro;
- ii. **Modelagem Potencial de Transição:** Neste processo é observado o potencial de todas as mudanças das classes de uso do solo, e assim são definidas as que possuem as transições mais significativas, chamadas de potenciais, sendo então organizadas dentro de um submodelo;
- iii. **Previsão das mudanças:** Para realizar as previsões, o modelo permite antecipar um cenário para uma determinada data. São utilizadas as taxas históricas relativas aos períodos t1 e t2 para as análises das mudanças com o modelo de potencial de transição, tendo como objetivo realizar a predição dos cenários.

A metodologia utilizada na predição do uso e cobertura do solo para t4 (2027) e t5 (2037) para o município de Pitimbu utilizando o LCM, consistiu basicamente nos processos de previsão do potencial de transição, simulação e validação. Nesse sentido, essas etapas contaram com os seguintes dados de entrada: (i) uso e ocupação do solo em t1 (2001), (ii) uso e ocupação do solo em t2 (2013), (iii) variáveis explanatórias, (iv) uso e ocupação do solo em t3 (2017), esse último sendo dado de entrada a ser utilizado no processo de validação da simulação para t3 (2017). Na Figura 5 é apresentada uma descrição detalhada dessas etapas.

Figura 5 - Metodologia para previsão do uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037) no município de Pitimbu utilizando o LCM



Fonte: Autoria própria (2018)

4.2.1 Previsão do potencial de transição

Nessa etapa de previsão do potencial de transição foram realizados os seguintes procedimentos: (i) análise da mudança no uso do solo; (ii) definição das transições; e (iii) teste e seleção das variáveis explanatórias. Posteriormente, a seleção das variáveis explanatórias por meio do teste V de Cramer, foi executada a metodologia para a modelagem do potencial de transição em relação ao t3 (2017), utilizando o RNMLP (Rede Neural Multi-Layer Perceptron).

4.2.1.1 Análise da mudança na cobertura do solo

A análise das mudanças na cobertura do solo aplicando o LCM foi realizada com base nos mapas de uso e ocupação do solo para os tempos t1 (2001) e t2 (2013), os quais devem estar no formato *raster*. A partir disso foi gerado o gráfico de perdas e ganhos por categoria de uso e ocupação do solo. Nesse gráfico identificou-se a diminuição ou aumento de área de cada classe de uso e ocupação do solo, bem como foi possível constatar qual classe de cobertura do solo é mais representativa para cada um dos tempos da análise. A análise das perdas e ganhos são úteis na criação de hipóteses para a explicação das mudanças e no entendimento da dinâmica dessas mudanças de uso do solo na área de estudo.

4.2.1.2 Determinação das transições

Com base nas mudanças observadas no uso e ocupação do solo em t1 (2001), t2 (2013) e t3 (2017), foram definidas as transições de interesse que compõe o submodelo no LCM. A escolha dessas transições se deu em razão da diminuição das áreas ocupadas pela classe Área florestada para ampliação de espaços destinados à Culturas diversas e Cana-de-açúcar, assim como as mudanças sazonais entre Culturas diversas e Cana-de-açúcar e as alterações de cobertura das Culturas diversas para Área urbana, detectados ao longo do período estudado. Nesse sentido, foram escolhidas as seguintes transições:

- (i) Área florestada para Culturas diversas;
- (ii) Área florestada para Cana-de-açúcar;
- (iii) Área úmida para Culturas diversas;
- (iv) Culturas diversas para Cana-de-açúcar;
- (v) Culturas diversas para Área urbana;
- (vi) Cana-de-açúcar para Culturas diversas.

4.2.1.3 Teste e seleção das variáveis explanatórias

Visto que as transições de interesse foram definidas, são agora testadas e selecionadas as variáveis explanatórias da mudança, para entrada e calibração do submodelo de transição potencial. Para a realização desses processos é utilizado o teste de V de Cramer,

disponibilizado no LCM. Esse teste é responsável por avaliar as variáveis que mais contribuíram na mudança do uso e ocupação do solo no município de Pitimbu.

O V de Cramer é um teste estatístico não paramétrico, isto é, aplicável independente da distribuição das variáveis. Portanto, é executado com o objetivo de medir a força de associação entre duas variáveis (LIEBERTRAU, 1983; LUIZ, 2014). Mediante a esse teste, se verificou a associação das variáveis explanatórias com as transições definidas. O V de Cramer é obtido pela Equação (1):

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{n(q-1)}} \quad (1)$$

onde: V = índice V de Cramer; X^2 = o coeficiente Chi-quadrado ($(O - E)^2 / 2$); O = frequência observada para uma categoria; E = frequência esperada na categoria correspondente; n = o tamanho da amostra e q = o menor valor das linhas e colunas da imagem da cobertura da terra.

Segundo Eastman (2016), um valor para Cramer alto mostra que o potencial explanatório da variável é satisfatório. Não obstante, isso não garante um desempenho ótimo do modelo. Entretanto, é um bom indicativo de que a variável pode ser utilizada para explicar as transições. Dessa forma, as variáveis explanatórias com valores de V de Cramer acima de 0,15 indicam uma forte relação, assim a variável deve ser adicionada como explanatória no submodelo de transição potencial.

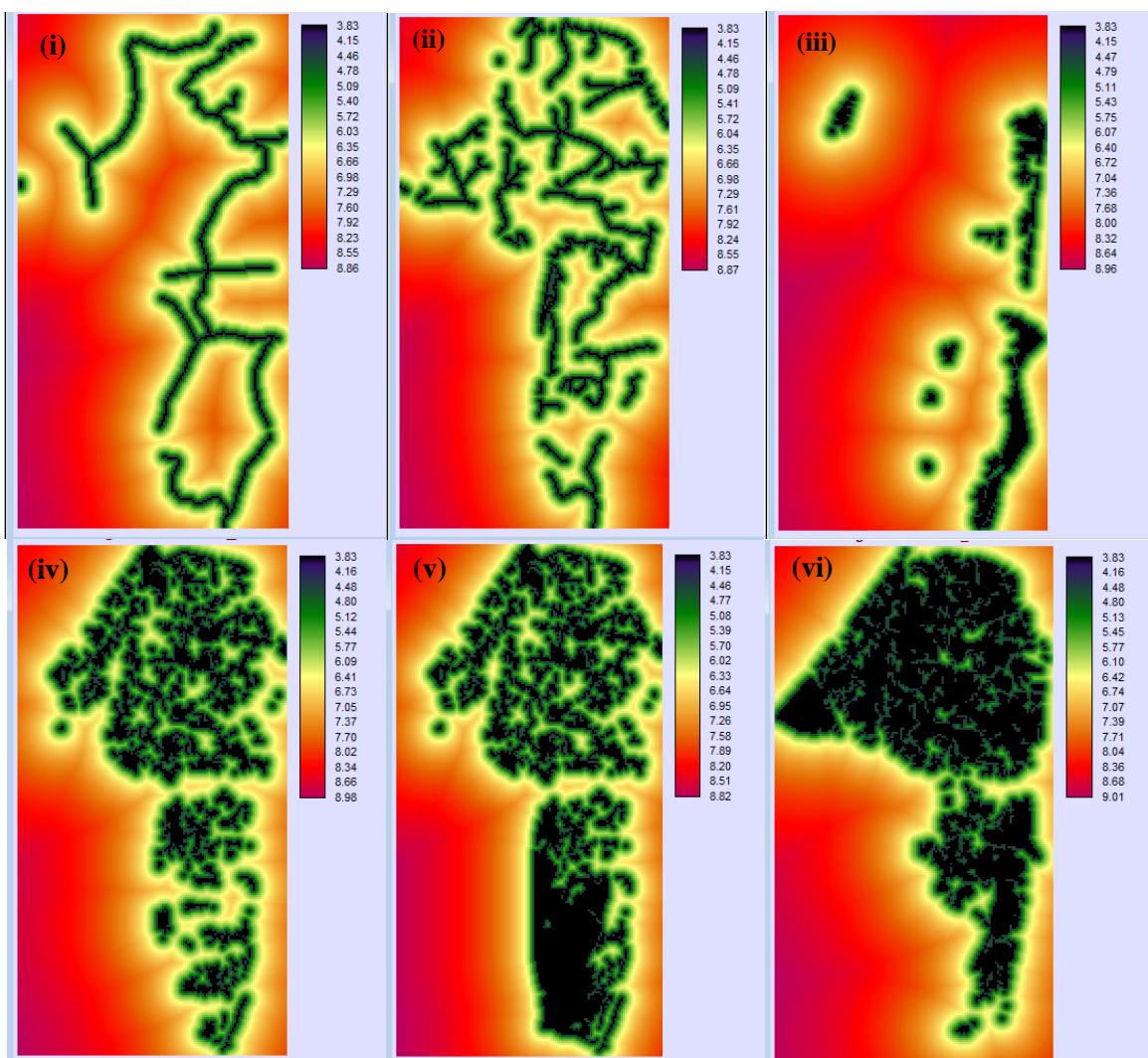
Com base nas mudanças do uso e cobertura do solo na área de estudo, foram testadas as seguintes variáveis explanatórias: (i) distância de cursos d'água; (ii) distância de vias; (iii) distância da área urbana; (iv) distância de áreas florestadas; (v) distância de culturas diversas; (vi) distância de cana-de-açúcar; (vii) declividade e (viii) altitude.

A distância para cada variável foi calculada por meio do comando *Distance* no IDRISI TerrSet, originando a uma nova imagem, em que o valor armazenado em cada célula é a menor distância entre ela e a feição mais próxima. Esse procedimento foi realizado para todas as variáveis explanatórias de distância utilizadas na pesquisa, no qual as de declividade e altitude, foram adquiridas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 m, obtido junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As variáveis explanatórias não se tratam de relações lineares, mas a sua transformação pode, em alguns casos, tornar a tarefa mais fácil de resolver no LCM. Assim, a transformação

log natural é comumente efetiva na linearização de variáveis de decaimento de distância, como foi executado para as variáveis utilizadas na pesquisa. A Figura 6 apresenta algumas das variáveis explanatórias de distâncias testadas neste estudo.

Figura 6 - Variáveis explanatórias de distâncias testadas na previsão do potencial de transição: (i) distância de rodovias; (ii) distância de cursos d'água; (iii) distância de áreas florestadas; (iv) distância de áreas urbanas; (v) distância de culturas diversas e (v) distância de cana-de-açúcar



Fonte: Autoria própria (2018)

4.2.1.4 Modelagem do potencial de transição utilizando RMNLP

A Rede Neural *Multi-Layer Perceptron* (RMNLP) é baseada em redes neurais artificiais, que estabelece múltiplas ligações entre as variáveis e as demais camadas de entrada do modelo através de uma rede de neurônios artificiais. Essas redes neurais do tipo RMNLP, de múltiplas camadas, se diferem das redes neurais simples pelo número de camadas intermediárias entre as camadas de entrada e saída (HAYKIN, 2001).

O LCM foi executado utilizando a técnica RNMLP, que inicialmente utiliza todas as variáveis no modo automático. E a partir de um segundo momento permite definir até nove transições de previsão que são especificadas. Dessa maneira, foram consideradas na modelagem todas as transições observadas e descritas no item 4.2.1.2. Neste trabalho, foi utilizada a configuração padrão recomendada, onde deve ser atingido um número máximo de iterações igual a 10.000 e taxa de acurácia, acima de 80%, em razão de ser observada a diminuição da curva de erro (MISHRA *et al.*, 2014; EASTMAN, 2016).

Para se alcançar esse valor de acurácia é necessário uma boa relação da iteração entre as variáveis explanatórias e as transições consideradas. Assim, foram realizados vários testes para obtenção de uma acurácia maior que o valor descrito anteriormente. Caso venha a se detectar oscilações significativas no erro expresso em RMS, após as primeiras 100 iterações, o processo deve ser reiniciado. Uma vez concluído o processamento foi exibido um relatório com informações sobre as variáveis usadas.

4.2.2 Simulação e Validação

4.2.2.1 Cadeias de Markov

Com a modelagem do potencial de transição, foi especificado o período t3 (2017), ou seja, o ano com o uso do solo simulado. Para tanto, a probabilidade de mudança foi modelada por meio da Cadeia de Markov (CM) disponível na modelagem do LCM.

O LCM utiliza Cadeias de Markov para predição da matriz de transição em relação à quantidade de mudança (EASTMAN, 2016). Dessa forma a CM no LCM foi descrita através da probabilidade de mudança da cobertura do solo a partir de um período para outro, utilizando do desenvolvimento da matriz de probabilidade de transições.

Essa matriz de tabulação cruzada permitiu avaliar as alterações entre dois mapas, nas quais são especificadas, mediante a tabela resumo, as linhas que exibem as categorias no tempo t1 e as colunas que exibem as categorias no tempo t2.

4.2.2.2 Validação da simulação de mudanças do uso e ocupação do solo

Posteriormente a matriz de transição utilizando a Cadeia de Markov, foi obtido o mapa de uso e ocupação do solo simulado para t3 (2017). Logo, foi realizada a validação no LCM para o mapa simulado com o RNMLP.

A validação, nesse contexto entendida como um método para medir a concordância entre duas imagens, sendo um mapa observado ou de "referência" e um mapa gerado ou "simulado", no tempo t3. O processo de validação responde simultaneamente a duas questões importantes: como os mapas concordam em termos de quantidade de áreas e de localização das de classes em estudo no tempo t3.

O teste de concordância Kappa (K), também conhecido por coeficiente de Kappa, foi proposto por Jacob Cohen em 1960 (FLEISS, 1981). Este índice tem como finalidade medir o grau de concordância (confiabilidade e precisão) entre proporções derivadas de amostras dependentes. Ele representa a concordância observada entre o mapa gerado e o de referência, variando de 0 a 1, onde 1 significa perfeita concordância (KOTZ e JOHNSON, 1983).

No entanto, para Pontius Jr e Millones (2011) o uso considerando apenas do índice Kappa, é entendido como insuficiente ou falho para fins de avaliação de acurácia e comparação de mapas. Em vez disso, eles sugerem resumir a matriz de tabulação cruzada com dois parâmetros resumidos muito mais simples: discordância de quantidade e alocação em desacordo, que estão implementados no LCM.

Dessa forma, a validação no LCM foi realizada no módulo *Validate*, do IDRISI TerrSet, onde as estatísticas são detalhadas não só apenas com um único índice Kappa, mas sim com suas distintas variações de concordância, discordância de quantidade e alocações em desacordo que são apresentados mostrando a precisão para a validação final dos mapas. Sendo assim, são disponibilizados os índices Kno para avaliar o sucesso geral da simulação, ou nenhuma informação; Kstandard para avaliação da simulação em relação a uma classificação perfeita; Klocation para avaliar a capacidade da simulação de especificar a localização; KlocationStrata, indica quão bem as células da grade estão localizadas dentro dos estratos.

Ademais, essas estatísticas indicam conjuntamente o quanto o mapa de saída gerado está em acordo com o mapa de referência, separando as concordâncias e discordâncias entre

as duas imagens nos seguintes componentes: concordância devido ao acaso; concordância devido à quantidade; concordância devido à localização no nível estratificado; concordância devido à localização no nível da célula da rede; discordância devido à localização no nível da célula da grade; discordância devido à localização no nível estratificado; desacordo devido à quantidade.

4.2.2.3 Simulação do uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037)

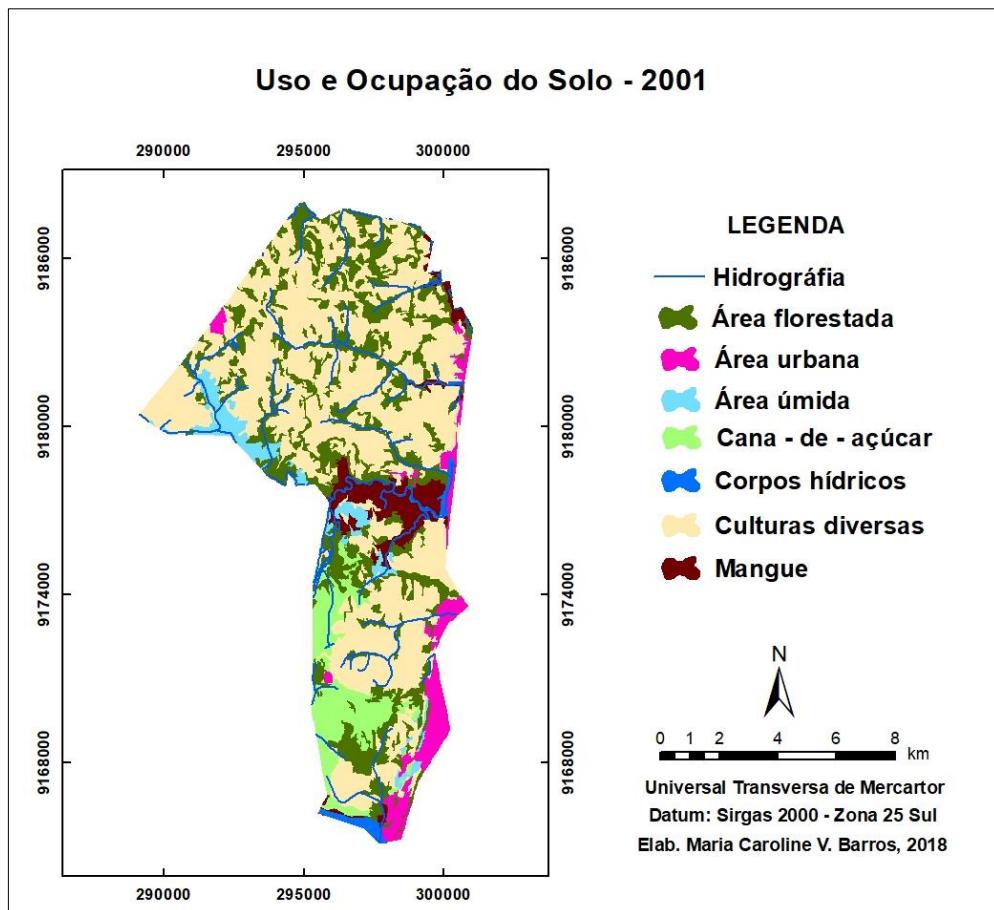
A simulação da cobertura do solo para t4 (2027) e t5 (2037) foi realizada após a previsão do potencial de transição, bem como a predição e validação para t3 (2017). Dessa forma, os dois cenários foram simulados por meio do LCM baseados nas tendências identificadas na área de estudo em t1 (2001), t2 (2013) e t3 (2017), ou seja, nas mudanças das classes de Áreas florestadas por áreas de Culturas diversas, Cana-de-açúcar e Área urbana.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Modificações no uso e ocupação do solo nos anos de 2001, 2013 e 2017

Para o ano de 2001, apresentado na Figura 7, pode-se observar a espacialização das classes temáticas de uso e ocupação do solo, identificadas a partir da classificação supervisionada das imagens de satélites no município de Pitimbu. Nesse ano, a maior parte do município era ocupada por Culturas diversas (52,02%), Área florestada (25,92%) e Cana-de-açúcar (6,99%), como mostrado na Tabela 2. A classe Mangue ocupava 7,35 km², ocorrendo em pequenas proporções ao Norte e ao Sul e de forma concentrada na porção central do município. Para a classe Área urbana (6,76 km²), se observa que a maioria de sua ocupação ocorre em toda faixa litorânea do município e em menores proporções a Noroeste e Sudoeste do município. As classes Área úmida, na bacia do rio Abiaí, e Corpos hídricos foram aquelas que ocupavam a menor área, com apenas 3,76% e 0,95% da área da bacia, respectivamente.

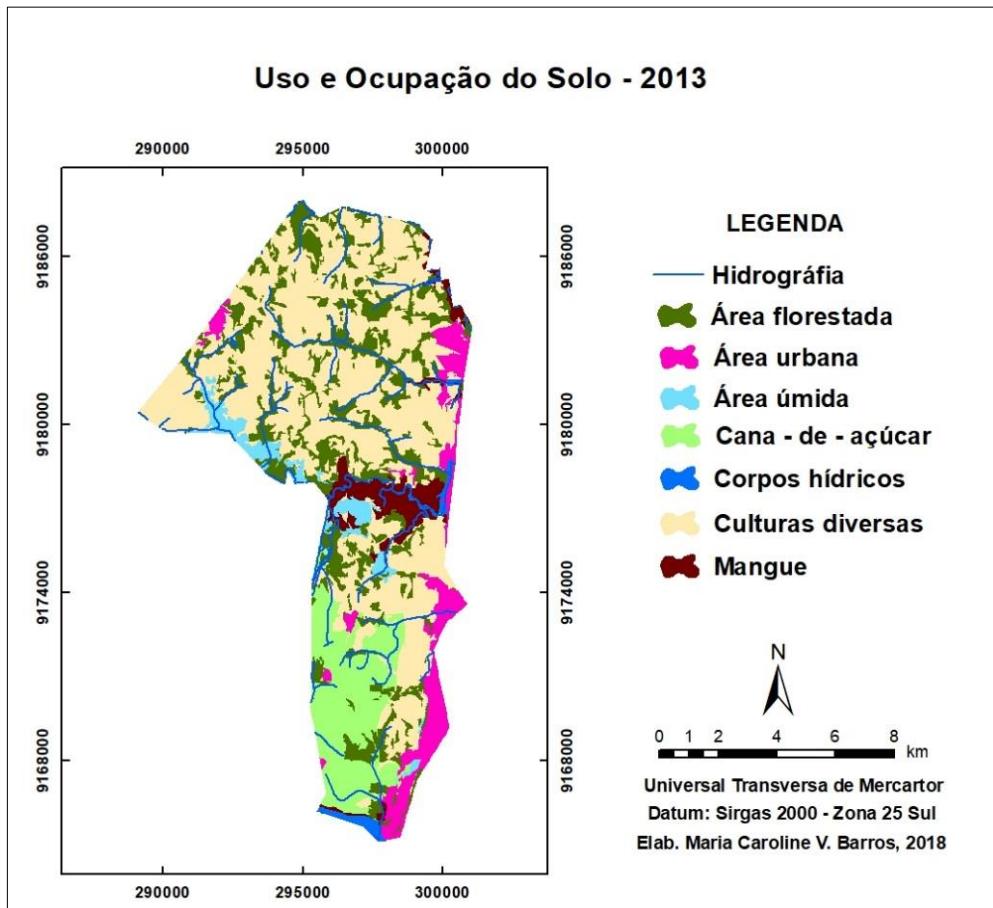
Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu em t1 (2001)



Fonte: Autoria própria (2018)

Na Figura 8 é mostrado o mapa temático do uso e ocupação no município de Pitimbu obtido para t2 (2013), e os valores de áreas e percentuais constam na Tabela 2. As classes Culturas diversas, Área florestada e Cana-de-açúcar seguiram como as categorias de usos com maiores percentuais na área de estudo, com 49,82, 21,53 e 11,94 %, respectivamente.

Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu em t2 (2013)



Fonte: Autoria própria (2018)

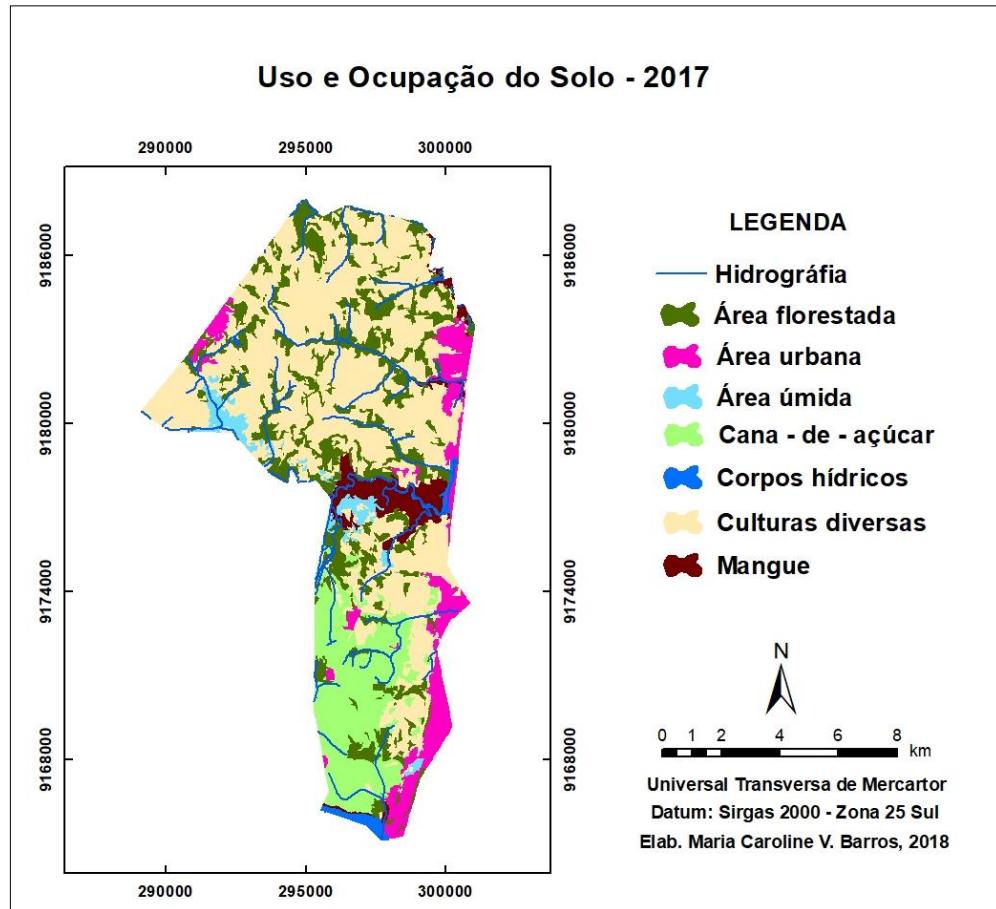
Verificou-se ainda que a classe Área florestada, apresentou redução de 35,37 km² em 2001, para 29,37 km² em 2013. Esse resultado se deu pelo fato da expansão e, sobretudo da intensificação da monocultura de Cana-de-açúcar na região Sudoeste do município, que em 2001 apresentava 9,54 km² e passou em 2013 para 16,29 km². Outro fator que contribui para a diminuição da Área florestada foi o crescimento da classe Área urbana e das Culturas diversas. Em que a Área urbana passou de 6,76 km² para 9,95 km² e as Culturas diversas passaram de 70,98 km² para 67,98 km² no período de 2001 a 2013. Ficou evidente que as classes Cana-de-açúcar, Culturas diversas e Área urbana são os principais impulsionadores das mudanças no município neste período.

É importante destacar que as áreas agricultáveis, Cana-de-açúcar e Culturas diversas, que são usos expressivos na área de estudo, somavam 59,01% em 2001, e para o ano de 2013 o seu valor chegou a 61,76%, ou seja, tiveram pouco crescimento no período.

A classe Mangue apresentou um pequeno decréscimo em sua área passando de 7,35 km² em 2001 para 6,66 km² em 2013, ou seja, uma redução percentual de menos de 1%. Para as classes, Corpos hídricos e Áreas úmidas foi observado que elas representavam apenas 4,71% em 2001 passando para 4,54% em 2013, comprovando ter ocorrido pequenas mudanças nessas áreas.

Na Figura 9 é apresentado o mapa temático do uso e ocupação no município de Pitimbu para t3 (2017). Nesse ano, a classe Área florestada apresentou uma área total de 27,38 km², isto é, uma redução de área ocupada de aproximadamente 22,57%, comparado ao ano de 2001.

Figura 9 - Mapa de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu em t3 (2017)



Fonte: Autoria própria (2018)

Para o ano de 2017 foi ainda verificado o predomínio das classes de Culturas diversas (68,07 km²) e Cana-de-açúcar (19,10 km²). Foi comprovado, um crescimento de ocupação da área de Cana-de-açúcar em 50% quando relacionado com o mapa do ano de 2001. Esse fato é constatado por conta da sazonalidade das agriculturas da região com o decorrer dos anos, ou seja, áreas de Culturas diversas poderiam se transformar em cultivos de Cana-de-açúcar.

Foi constatado ainda um aumento nas porções da área de estudo que concentram a classe Área urbana, onde esse crescimento representa 36,46% em 2017 com referência ao ano de 2001. As classes Área úmida (3,55 km²), Mangue (6,33 km²) e Corpos hídricos (1,36 km²) permaneceram como sendo as classes de menor mudança.

Com o mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Pitimbu foi possível constatar que as áreas ocupadas por Área florestada, cada vez mais foram substituídas pelas classes Culturas diversas, Cana-de-açúcar e Área urbana durante os anos analisados. Na Tabela 2, podem ser observados os resultados das áreas ocupadas e os respectivos percentuais de cada classe temática para os anos de 2001, 2013 e 2017 na área estudada.

Tabela 2 - Áreas das classes de uso e ocupação do solo para 2001, 2013 e 2017 no município de Pitimbu

Uso e ocupação do solo	2001		2013		2017	
	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)
Área florestada	35,37	25,92	29,37	21,53	27,38	20,07
Área úmida	5,13	3,76	4,94	3,62	3,55	2,60
Área urbana	6,76	4,96	9,95	7,29	10,64	7,80
Cana-de-açúcar	9,54	6,99	16,29	11,94	19,10	14,00
Corpos hídricos	1,30	0,95	1,25	0,92	1,36	1,00
Culturas diversas	70,98	52,02	67,98	49,82	68,07	49,89
Mangue	7,35	5,39	6,66	4,88	6,33	4,64
Total	136,44	100,00	136,44	100,00	136,44	100,00

Fonte: Autoria própria (2018)

5.2 Modelagem da predição de uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037)

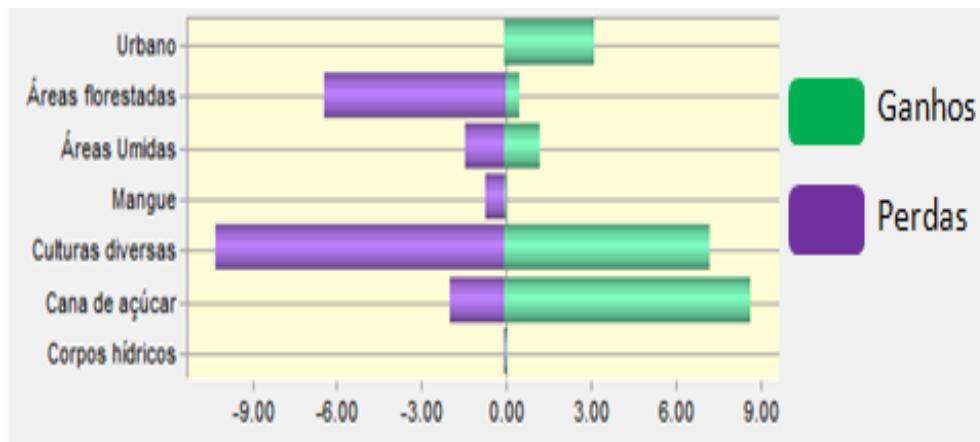
5.2.1 Análise das mudanças no uso e ocupação do solo em t1 (2001) e t2 (2013) usando o LCM

Na modelagem usando o LCM para uso do solo visando a definição das mudanças mais importantes e contemplando a matriz de usos, foram comparados os mapas nos tempos t1 (2001) e t2 (2013), onde foi gerado o gráfico de perdas e ganhos para cada classe de uso do solo.

O Gráfico 1 apresenta um balanço das perdas e ganhos entre as classes de uso do solo, por categoria no município de Pitimbu entre anos de 2001 e 2013, como um dos produtos da modelagem realizada com o LCM.

Constatou-se que as perdas de áreas ocupadas mais significativas ocorreram para as classes Área florestada e Culturas diversas. Assim como, os maiores ganhos de área ocupada foram observados para a classe Cana-de-açúcar. Como esperado, a classe Área urbana apresentou apenas ganho de área ocupada.

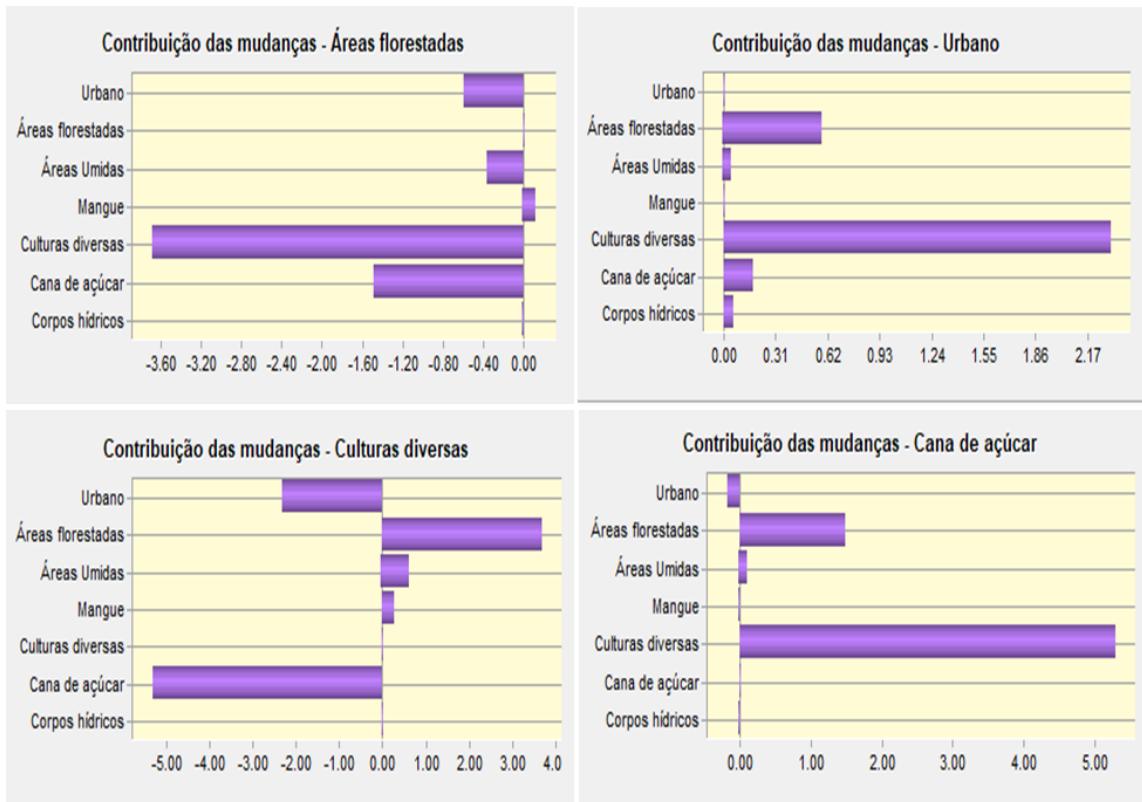
Gráfico 1 - Ganho e perda em quilômetros (km²) por categoria de uso e ocupação do solo no município de Pitimbu



Fonte: Autoria própria (2018)

Na Figura 10 pode-se ser claramente percebidas as mudanças que ocorrem nas classes de uso do solo ao longo do período estudado, onde as perdas significativas ocorreram nas Áreas florestadas, e ganhos nas classes de Culturas diversas, Cana de açúcar, e Área urbana.

Figura 10 - Contribuição das mudanças nas classes: Área florestada, Culturas diversas, Cana-de-açúcar e Área urbana e respectivas trocas entre os usos especificados (km²)



Fonte: Autoria própria (2018)

Os resultados obtidos da modelagem realizada indicaram que a classe Área florestada contribuiu com 0,59 km² para Áreas urbanas, 3,69 km² para as Culturas diversas e 1,49 km² para Cana-de-açúcar, além do ganho de 0,36 km² da Área úmida.

As Culturas diversas contribuíram para a Área urbana em 2,31 km² e em 5,31 km² para Cana-de-açúcar, bem como ganhou de 3,69 km² das Áreas florestadas e 0,65 km² da Área úmida. Analisando as perdas e ganhos das Culturas diversas, foi observado que a diferença nas mudanças apresenta um valor negativo de 3,00 km², uma vez que ganhou 7,31km² e perdeu 10,31 km².

Para a classe Cana-de-açúcar, observou-se que ela ganhou 1,49 km² da Área florestada, 5,31 km² das Culturas diversas e 0,11 km² da classe Área úmida, totalizando 6,75 km² de áreas adquiridas ao longo do período. Assim, confirmando que a maior parte da área de Cana-de-açúcar veio das classes Culturas diversas e da Área florestada.

A classe Área urbana recebeu contribuição de 0,59 km² da Área florestada, e 2,31 km² das Culturas diversas, além de 0,18 km² da classe Cana-de-açúcar.

Com isso foi observado que as transições particularmente importantes são as de Área urbana e Cana-de-açúcar, pois elas tendem a persistir ao longo do tempo. Já as classes Área

florestada e Culturas diversas tendem a se modificar pelas trocas. A modelagem do potencial de transição foi realizada com as mudanças mais representativas ao longo dos anos, essas transições foram anteriormente descritas no item 4.2.1.2.

5.2.2 Variáveis explanatórias selecionadas após o teste V de Cramer

A Tabela 3 apresenta as variáveis explanatórias, que foram selecionadas após o teste V de Cramer com seus respectivos valores. As variáveis escolhidas foram as de valores acima de 0,15, com exceção da distância de vias.

Tabela 3 - Variáveis explanatórias e o resultado do teste V de Cramer

Variável explanatória	Transformação	Resultado do Teste V de Cramer
Distância de cursos d'água	natural log	0,1697
Distância de vias	natural log	0,1004
Distância da área urbana	natural log	0,4194
Distância de áreas florestadas	natural log	0,4160
Distância de culturas diversas	natural log	0,4744
Distância de cana-de-açúcar	natural log	0,4729
Declividade	natural log	0,3327
Altitude	natural log	0,2629

Fonte: Autoria própria (2018)

As variáveis de distância da área urbana, áreas florestadas, culturas diversas, cana-de-açúcar, apresentaram os maiores valores no teste V de Cramer variando entre 0,4194 a 0,4744. Os valores de declividade, altitude e distância de cursos d'água, com valores variando entre 0,1697 e 0,3327, também foram incorporadas ao modelo. Esses resultados indicam, forte relação das variáveis sobre as mudanças no uso e ocupação do solo no município de Pitimbu.

A variável de distância da área urbana apresentou o maior valor no teste V de Cramer (0,4194). Este resultado mostra que quanto mais próxima da área urbana, maior é a possibilidade de uma área vizinha ser substituída pela classe de área urbana.

A variável distância de vias apresentou o menor valor para esse teste. Logo, essa variável não mostrou ser significativa para a modelagem da previsão do uso e ocupação do solo na área de estudo.

Em seguida, após a previsão do potencial de transição com base no RNMLP, os submodelos de transição foram implementados e foi dado continuidade ao processo de simulação. Vários testes foram realizados e a partir das iterações entre as variáveis explanatórias selecionadas, em que, se obteve como melhor resultado, a acurácia de 97,46%, com 10.000 iterações, tornando possível fazer as previsões da quantidade de mudanças em 2017.

5.2.3 Matriz de probabilidade de transição para t1 (2001) e t2 (2013)

A matriz de probabilidade de transição pela Cadeia de Markov (CM), apresenta o uso e ocupação do solo para t1 (2001) e t2 (2013). Na matriz as linhas correspondem às categorias de uso e ocupação do solo em t1 e as colunas ao período t2. Os percentuais de persistência estão representados pela diagonal, tendo os seus resultados destacados na cor cinza, já os demais resultados correspondem aos percentuais de mudança de uma categoria de cobertura do solo para outra. Para a maioria das classes de cobertura o valor da persistência foi superior a 80% de probabilidade, conforme a Tabela 4.

O cálculo da quantidade de mudança mostra que para um período de doze anos, as classes Área urbana, Corpos hídricos e Mangue demonstraram ter maiores probabilidades para persistência de classe, com 100%, 94,74%, 90,10%, respectivamente. Em seguida, a classe Culturas diversas pela modelagem apresenta 85,47% de probabilidade de permanecer, enquanto que, as classes Área florestada, Cana-de-açúcar e Área úmida mostraram as menores tendências para permanecerem com mesma classe de cobertura do solo (81,36% e 79, 19%, e 71,33% respectivamente).

A maior probabilidade de mudança observada foi para a classe Culturas diversas, onde se verificou 25,50% de probabilidade de ser alterada pela classe Área úmida. As mudanças ocorridas nessa classe estão relacionadas ao período de inundações provocado pela precipitação na planície, em que, algumas áreas ocupadas por Culturas diversas podem ser alagadas. Outra mudança constatada foi à alteração da classe Culturas diversas para a classe Cana-de-açúcar em 18,30%, essa transição pode vir a ocorrer devido às mudanças dos cultivos em determinados períodos.

A classe Cana-de-açúcar apresentou 9,93% de possibilidade de ser alterada para a classe Culturas diversas, seguindo a tendência de mudanças sazonais das áreas agricultáveis. Além disso, a classe ainda sofreu alterações para a categoria Área úmida em 2,17%.

Foi verificado ainda que cerca de 4% das áreas ocupadas pela classe Área florestada apresentaram tendência a serem substituídas pela classe Culturas diversas, enquanto que 3,6% mostraram tendência a ser convertidos para classe de Cana-de-açúcar. Esse resultado obtido por CM comprovou a probabilidade para o período t2 (2013) de mudança das regiões ocupadas por Área florestada para práticas agrícolas.

Tabela 4 - Matriz de transição do uso e ocupação do solo entre 2001 e 2013 com os percentuais de mudança e persistência

	Corpos hídricos	Cana-de-açúcar	Culturas diversas	Mangue	Área úmida	Área florestada	Área urbana
Corpos hídricos	0,9474	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000
Cana-de-açúcar	0,0066	0,7919	0,0993	0,0058	0,0217	0,0043	0,0000
Culturas diversas	0,0000	0,1830	0,8547	0,0384	0,2550	0,1145	0,0000
Mangue	0,0000	0,0027	0,0000	0,9010	0,0000	0,0002	0,0000
Área úmida	0,0000	0,0000	0,0093	0,0349	0,7133	0,0104	0,0000
Área florestada	0,0000	0,0360	0,0400	0,0198	0,0000	0,8136	0,0000
Área urbana	0,0061	0,0188	0,0326	0,0000	0,0100	0,0070	1,0000

Fonte: Autoria própria (2018)

5.2.4 Validação da simulação do uso e ocupação do solo em t3 (2017) com o LCM

Foi verificado que o uso do solo estimado, baseado na RNMLP, foi satisfatório, principalmente quando observados os resultados do valor V de Cramer, que foi igual a 0,8562 e o do Kappa geral igual a 0,9090, confirmando que ambos os valores são representativos e que possuem uma associação muito forte entre os mapas (observado e simulado).

A Tabela 5 mostra o índice de concordância entre as classes dos dois mapas, observado e o de simulado, para o ano de 2017. O índice estudado mostra uma concordância quase perfeita na maioria das classes ($K > 0,8$) em quase todas as classes e para o K geral, evidenciando uma associação muito forte entre o mapa de saída (simulado) com o mapa de observado (referência).

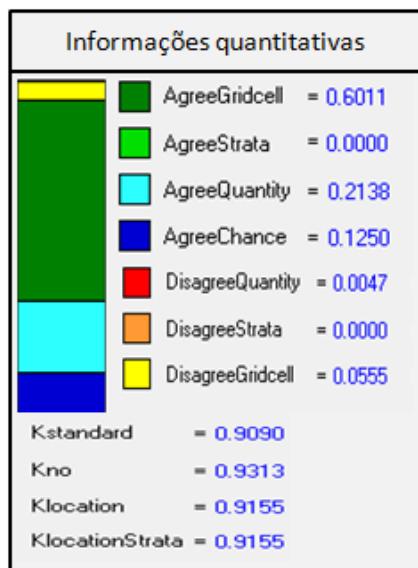
Tabela 5 - Índice Kappa de concordância (KIA) para todas as classes, utilizando 2017 simulado e observado

Classes	KIA
Corpos hídricos	0,8673
Cana-de-açúcar	0,7556
Culturas diversas	0,8497
Mangue	0,9142
Área úmida	0,7332
Área florestada	0,9316
Área urbana	0,8628

Fonte: Autoria própria (2018)

Na Figura 11 apresenta-se os índices calculados pelos Kappa por meio das estatísticas, bem como o relatório com as informações quantitativas.

Figura 11 - Informações quantitativas de concordância e discordância entre as duas imagens



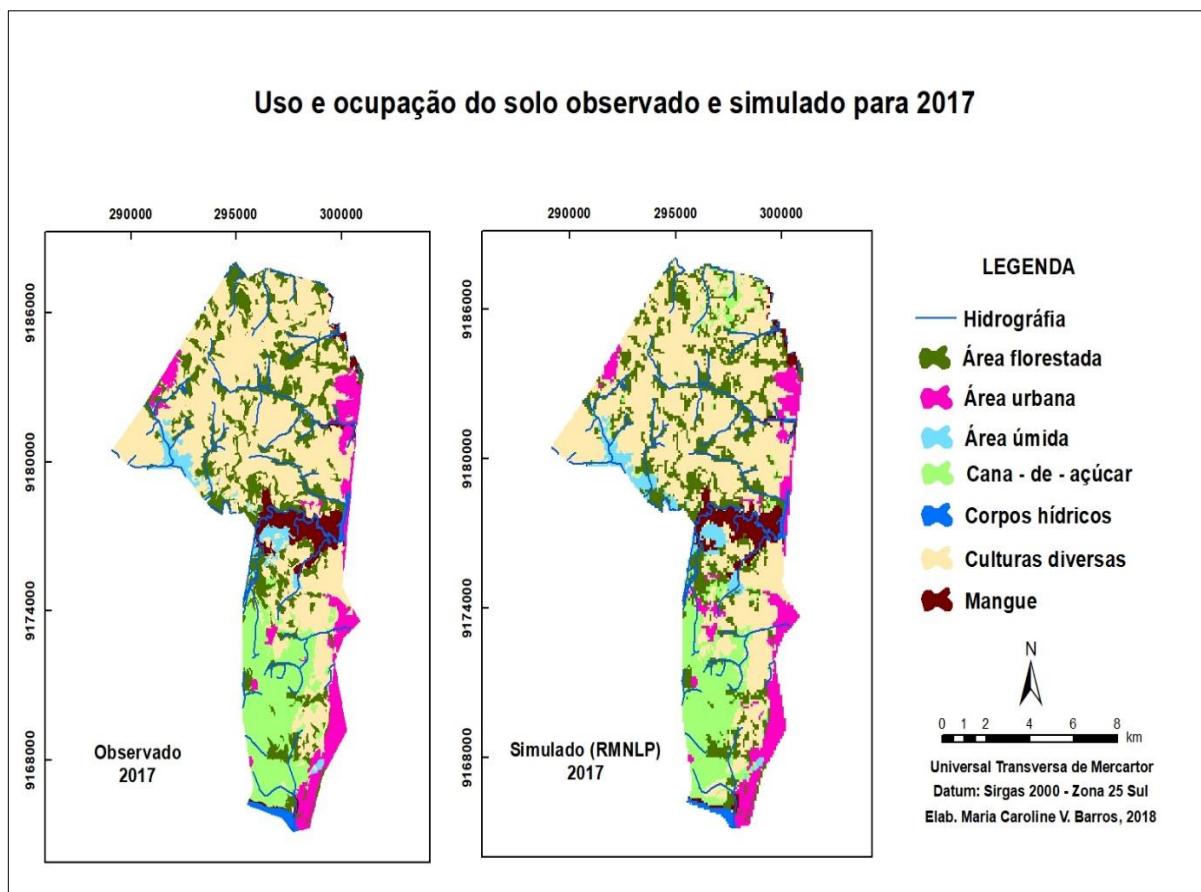
Fonte: Autoria própria (2018)

Com as informações descritas anteriormente ratificou-se mais uma vez por meio das estatísticas de quantidades, que o mapa de saída para 2017 está de acordo com o mapa de referência. Os índices Kappa apresentados contêm valores maiores do que 0,9090 indicando assim uma representação considerada como quase perfeita de acordo com Kotz e Johnson, (1983).

Para a especificação de concordância e discordância para a área de estudo obteve-se: concordância de 12,5 % devido ao acaso, 21,38% devido à quantidade, 60,11% no nível da célula da grade, desacordo de 0,055% no nível da célula da grade e desacordo menor que 1 % de quantidade.

Após os resultados obtidos pode ser aceita a validação, com a quantidade de células da grade no mapa projetado que foi distribuída com percentagens bastante próximas entre as categorias e sua classificação percentual. Na Figura 12 apresentam-se os dois mapas de 2017, o observado (referência) e simulado (projeto), com suas classes de uso e ocupação do solo.

Figura 12 - Mapas do uso e ocupação do solo em 2017 partir da imagem de satélite (observado) e simulado pelo modelo LCM



Fonte: Autoria própria (2018)

Nos mapas apresentados é possível observar similaridade entre o mapa observado e o mapa simulado por meio da RNMLP. Com base na comparação dos dois mapas foi constatado que da mesma forma que o mapa de referência, o projetado apresentou expansão da classe Área urbana também nas porções Leste, Oeste e Sudoeste do município.

Com relação as classes Área florestada, Culturas diversas, Mangue, Área úmida e Corpos hídricos também pode-se observar semelhança entre o mapa simulado de maneira satisfatória quando comparado com o observado. No entanto, foi verificado que o mapa simulado com RNMLP apresentou expansão da classe Cana-de-açúcar também nas porções ao norte da área de estudo, de maneira não satisfatória quando comparado com o mapa de referência. Na Tabela 6 são apresentados os valores das áreas por classe para os dois mapas.

Tabela 6 - Áreas das classes de uso de ocupação do solo para 2017 observado e simulado

Uso e ocupação do solo	2017 observado		2017 simulado	
	Área (km ²)	Percentual (%)	Área (km ²)	Percentual (%)
Área florestada	27,38	20,07	27,66	20,27
Área úmida	3,55	2,60	4,36	3,19
Área urbana	10,64	7,80	10,73	7,87
Cana - de - açúcar	19,10	14,00	18,71	13,47
Corpos hídricos	1,36	1,00	1,25	0,92
Culturas diversas	68,07	49,89	67,40	49,40
Mangue	6,33	4,64	6,33	4,88
Total	136,44	100,00	136,44	100,00

Fonte: Autoria própria (2018)

5.2.5 Cenários de uso e ocupação do solo simulado

5.2.5.1 Uso e ocupação do solo simulado para t4 (2027)

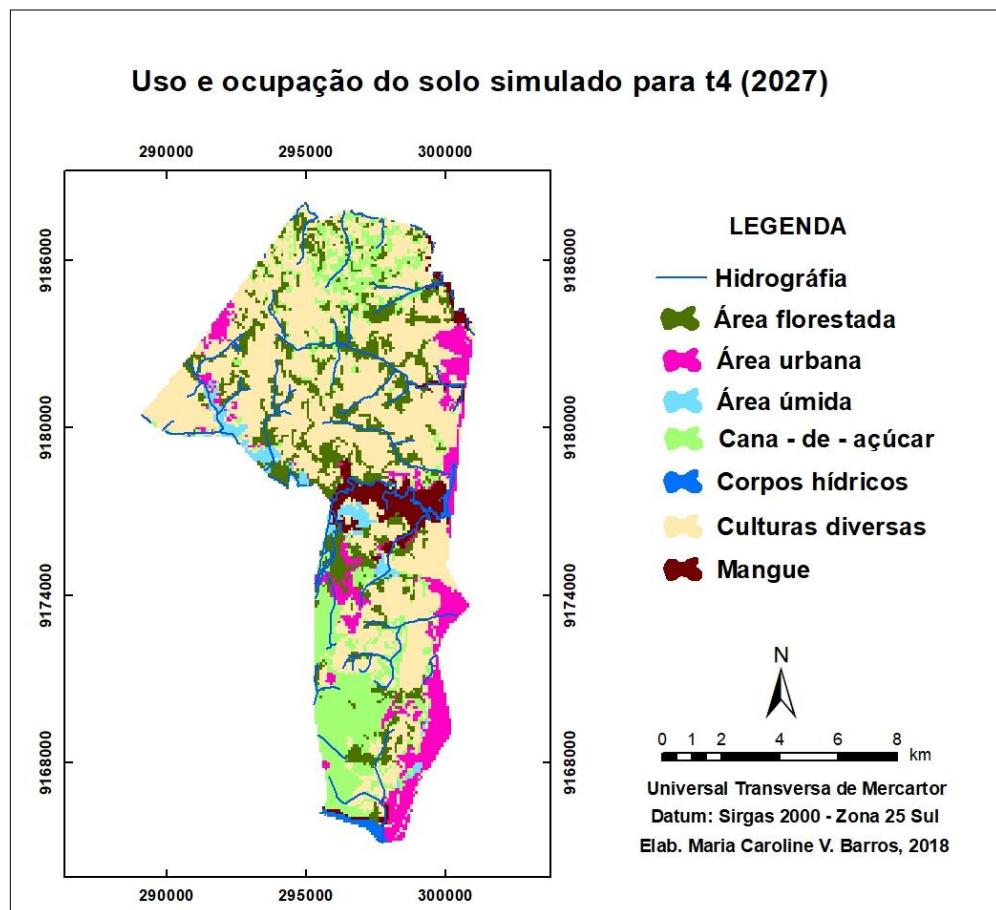
Na Figura 13 é apresentado o cenário simulado para t4 (2027). Nesse cenário pode ser observado que houve continuidade das transições observadas no município de 2001, 2013 a 2017. As principais alterações percebidas na área de estudo foram a substituição das áreas ocupadas pela classe Área florestada por áreas de agriculturas (Culturas diversas e Cana-de-açúcar) e Área urbana.

Dessa forma, no período de 10 anos, no cenário t4, a classe de uso do solo com maior possibilidade para crescimento é a Cana-de-açúcar, com expansão de aproximadamente 3,45 km², quando comparado ao ano de 2017 (Tabela 7). A região de maior modificação está localizada na porção norte da área de estudo, onde se observa o aumento da classe Cana-de-açúcar, que substituiu áreas de Culturas diversas e Área florestada. Para a classe Área urbana, foi previsto um aumento de 2,46 km² com relação ao ano de 2017, observado em maiores proporções na faixa Leste do município, e com menores áreas nas porções central e Oeste.

Para a classe Área florestada, foi observado uma redução de 14,19%, que corresponde a uma diminuição de 3,88 km² de área, quando comparado ao ano de 2017, em decorrência do aumento das classes Cana-de-açúcar e Área urbana.

As classes Área úmida e Corpos Hídricos apresentaram as menores transições. A Área úmida, passando de 3,55 km² em 2017 para 3,44 km² em 2027. Já para a classe Corpos hídricos essa alteração foi de 1,36 km² em 2017 para 1,25 km² no ano de 2027. Ambas com uma redução de 0,11 km². Com relação a classe Mangue (6,33 km²) não foi previsto variação, comparando-se com o ano de 2017.

Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t4 (2027)



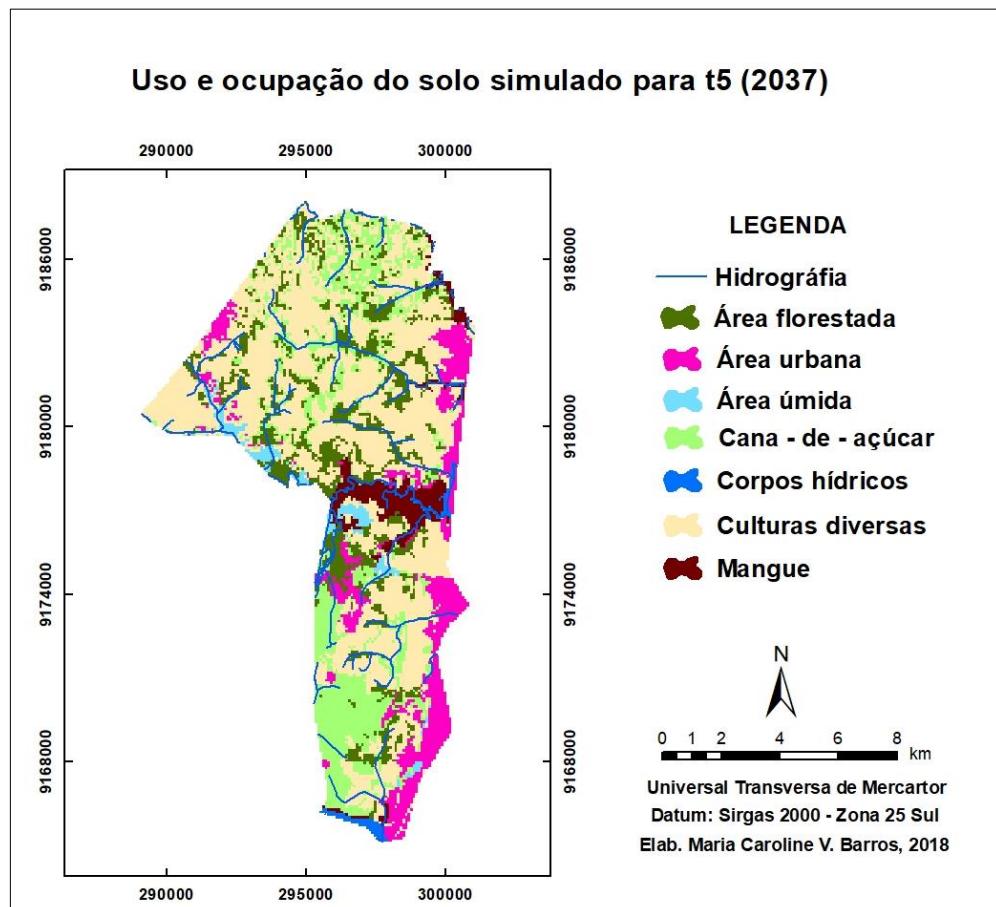
Fonte: Autoria própria (2018)

5.2.5.2 Uso e ocupação do solo simulado para t5 (2037)

Na Figura 14 é observado o cenário simulado para t5 (2037), um prognóstico para um período de 20 anos. Da mesma forma que o anterior esse cenário foi simulado utilizando uma RNMLP, considerando as transições observadas no município para os anos de 2001, 2013 e 2017.

Para este cenário, a classe Área urbana mostrou maior variação de área ocupada com relação a 2017, apresentando um crescimento por volta de 43%. Em que sua área passou de 10,64 km² em 2017 para 15,22 km² em 2037 (Tabela 7). O aumento dessa classe foi previsto para as porções Leste, Oeste e Sudoeste do município.

Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t5 (2037)



Fonte: Autoria própria (2018)

A classe Cana-de-açúcar apresentou o segundo maior crescimento em relação a 2017, com uma variação de área ocupada de 31,92%. Dessa forma, o aumento dessa classe foi constatado em toda área estudada, sendo intensificado em porções ao Sul e Norte.

Com o aumento das classes Cana-de-açúcar e Área urbana foi previsto a diminuição da Área florestada em 7,17 km², com relação ao ano de 2017, representando uma redução de área ocupada de 26,19%. Além de uma perda das Culturas diversas, em cerca de 4%, devido a mudança com relação aos cultivos da região, onde essas áreas de culturas podem vir a ser destinadas a Cana-de-açúcar devido a sazonalidade no setor agrícola.

Para classe Área úmida foi observado uma diminuição em sua área, onde ela passou de 3,55 km² em 2017 para 2,94 km² em 2037. As categorias Corpos hídricos para 2037 apresentou a mesma área do cenário de 2027, ou seja, 1,25 km². A classe Mangue seguiu dispondo de 6,33 km², não sendo previsto variação, comparando-se com o ano de 2017.

Comparando com o cenário t4 (2027), notou-se que deve ocorrer a intensificação da classe Área urbana para o cenário t5 (2037), onde esta classe mostrou uma área ocupada maior do que o cenário t4, com diferença de 2,12 km². Esse resultado demonstrou que a Área urbana no município apresenta a tendência de expansão para t5 (2037). No entanto, a alteração mais significativa entre os cenários é a diminuição da Área florestada em 3,29 km², o que representa aproximadamente 14% de redução. As áreas das classes Áreas úmidas e Culturas diversas apresentaram uma diminuição de 0,5 km² e 0,98 km², respectivamente. Para as classes Corpos hídricos (1,25 km²) e Mangue (6,33 km²) não foi observada nenhuma mudança.

As áreas totais de ocupação de cada uso do solo no município de Pitimbu para 2017 e os dois cenários de previsão simulados estão apresentados na Tabela 7. Foi observado para as classes Corpos hídricos e Mangue que não deve haver nenhuma modificação após o prognóstico feito. Constatou-se ainda que as classes Área florestada, Área urbana, Cana-de-açúcar, Culturas diversas e Área úmida demonstraram mudanças nos dois cenários de uso e ocupação do solo simulados.

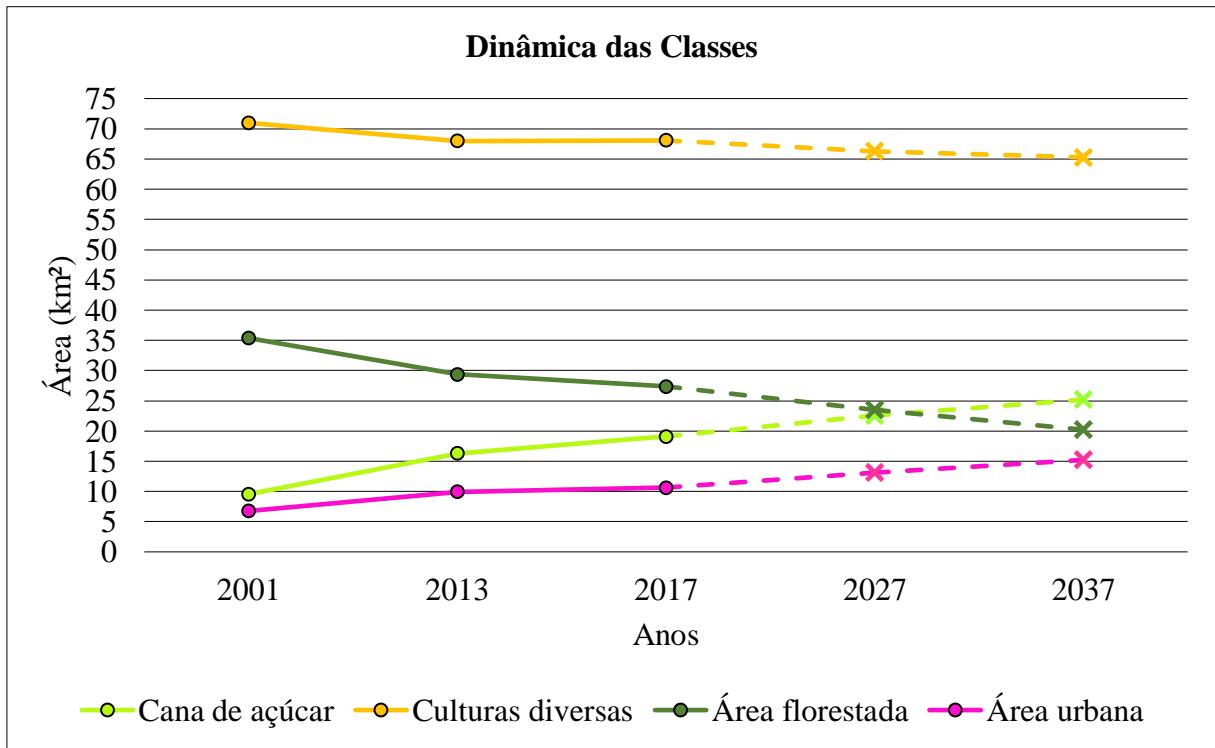
Tabela 7 - Área das classes de uso e ocupação do solo em 2017 e para os cenários de previsão

Uso e ocupação do solo	2017		2027		2037	
	Área (km ²)	Percentual (%)	Área (km ²)	Percentual (%)	Área (km ²)	Percentual (%)
Área florestada	27,38	20,07	23,50	17,22	20,21	14,81
Área úmida	3,55	2,60	3,44	2,52	2,94	2,16
Área urbana	10,64	7,80	13,10	9,60	15,22	11,15
Cana-de-açúcar	19,10	14,00	22,55	16,53	25,20	18,47
Corpos hídricos	1,36	1,00	1,25	0,92	1,25	0,92
Culturas diversas	68,07	49,89	66,27	48,57	65,29	47,85
Mangue	6,33	4,64	6,33	4,64	6,33	4,64
Total	136,44	100,00	136,44	100,00	136,44	100,00

Fonte: Autoria própria (2018)

No Gráfico 2 são mostradas as evoluções previstas das áreas das principais classes de uso do solo no município, para os anos do período estudado (2001, 2013 e 2017), bem como os valores obtidos da previsão (2027 e 2037), evidenciado as quedas e crescimento nos valores das classes de maiores mudanças no estudo, ou seja, a diminuição das áreas das classes Culturas diversas e Áreas florestada, e o aumento da Cana-de-açúcar e Área urbana.

Gráfico 2 - Evolução das áreas das principais classes de uso do solo



6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do desenvolvimento desse estudo, com base nos objetivos propostos, foi possível compreender a modificação quanto o uso e ocupação do solo no município de Pitimbu para os anos de 2001, 2013 e 2017, sendo as áreas de maior proporção as Culturas diversas, a Área florestada e a Cana-de-açúcar. Comparando-se o período de 2001 a 2017, foi identificado também um aumento da Cana-de-açúcar em aproximadamente 7%, além do aumento da Área urbana em 2,84%. Parte da classe Área florestada foi substituída ao longo do tempo tanto por atividades agrícolas, como pelo uso urbano nesse período.

Os resultados da simulação do uso e ocupação do solo, por meio do modelo LCM em período de 2017 a 2037, representa um prognóstico fundamentado em uma simplificação do quadro de usos do solo com base nos pressupostos da modelagem elaborados neste estudo.

A simulação do cenário de uso e ocupação do solo para 2027 e 2037 no município de Pitimbu apontou para cenários uma evolução das transições observadas para os anos de 2001, 2013 e 2017, no qual foi previsto que os principais usos do solo intensificados serão para Cana-de-açúcar e Área urbana. Entretanto, para os dois cenários simulados a classe mais expressiva e permanente é Culturas diversas. Nota-se também, tendência de redução da Área florestada em taxas aproximadamente iguais às do período 2013-2017.

Nessa perspectiva, o estudo constitui uma contribuição no sentido de prover uma análise das tendências da dinâmica dos diversos usos do solo no município de Pitimbu.

Fica revelada a potência da ferramenta de modelagem espacial com o *software* LCM para o apoio aos gestores do uso do solo e meio ambiente.

Os procedimentos mostrados nesse trabalho devem fornecer suporte para a tomada de medidas ambientalmente sustentáveis por meio de ações preventivas ou corretivas, devendo ser apresentado aos gestores municipais e estaduais, onde o estudo pode vir a subsidiar o planejamento e gerenciamento dos usos do solo em nível de municípios ou estados, além de regiões específicas como a Zona Costeira.

Algumas recomendações para a realização de estudos subsequentes:

- Utilizar imagens de satélite de alta resolução espacial para obtenção de um processamento digital da imagem com máxima precisão;

- Avaliar a influência do uso do solo para os recursos hídricos, integrando o uso dos modelos LUCC, com modelos hidrológicos e de repercussões em modelos de qualidade da água, principalmente com base nos usos agrícolas e urbanos.
- Realizar testes com outras variáveis explanatórias relacionadas às alterações no uso do solo do município, como variáveis sociais e econômicas, visto que as interações e relações do processo de mudança de uso e ocupação da terra se apresentam de maneira complexa;
- Estudar detalhadamente a vulnerabilidade ambiental do município, uma vez que os usos do solo, com destaque para as atividades agrícolas podem representar o acentuado risco aos recursos naturais ali existentes.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. L.; VASCONCELOS, F. P.; ALBUQUERQUE, M. F. C. A diversidade no uso e ocupação da Zona Costeira do Brasil: a sustentabilidade como necessidade. **Conexões Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 11, n. 5, p. 8-16, dezembro 2017.
- AMORIM, R. A.; OLIVEIRA, R. C. Zoneamento Ambiental, Subsídio ao Planejamento do Uso e Ocupação de Terras da Costa do Descobrimento. **Mercator**, Fortaleza, v. 12, n. 29, p. 211-231, set./dez, 2013.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Divisões hidrográficas do Brasil**, 2002. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/divisoes-hidrograficas>>. Acesso em: agosto 2018.
- ARAÚJO, M. V.; SÁ FREIRE, G. S. Utilização de SIG nos Estudos Ambientais do Estuário do Rio Acaraú - Ceará. **Geonomos**, v. 15, n. 2, p. 09-19, 2007.
- BARROS, F. D. S. **A ação do homem no processo de destruição do cerrado**. Trabalho de Conclusão Curso de Geografia. Faculdade Projeção. Taguatinga - DF. 2009.
- BATISTELLA, M.; VALADARES, G. S. Farming expansion and land degradation in Western Bahia, Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 3, n. 9, p. 61-76, setembro, 2009.
- BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2010.
- BERRY, M. W. et al. The land-use change analysis system (LUCAS) for evaluating landscape management decisions. **Association for Computing Machinery**, University of Tennessee, Knoxville, 1994.
- BITENCOURT, C. P. **Empreendimentos costeiros de grande porte e conflitos no uso e ocupação do solo : a zona costeira Sul capixaba**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 304. 2013.
- BOESCH, D. Science and Integrated Coastal Management. Chesapeake Bay and Mississippi Delta, 2001.
- BORELLI, E. Urbanização e qualidade ambiental: O processo de produção do espaço da costa brasileira. **Revista Internacional Interdisciplinar Interthesis**, Floranópolis, v. 4, n. 1, 2007.
- BRASIL. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC II**, Brasília - DF, 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/destaques/item/8644-plano-nacional-de-gerenciamento-costeiro-pncc#pncc-ii>>. Acesso em: setembro/ 2017.
- BRASIL. **Resolução CIRM nº 01, de 21 de novembro de 1990**. Brasília. 2000.
- BRASIL. **Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004**, Brasília - DF, 07 dezembro 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5300.htm>. Acesso em: setembro, 2017.

BRASIL. **Comissão Interministerial para os recursos do mar – CIRM / Grupo de integração do gerenciamento costeiro – GI-GERCO.** Plano de ação federal da zona costeira do Brasil - PAF. Brasília. 2005.

BRASIL. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Pitimbu – PB.** Governo do Estado da Paraíba. Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (SEIRHMACT). [S.I.]. 2015.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches.** Virginia: Editora: Regional Research Institute da West Virginia University, 2000.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems.** [S.I.]: Oxford: Claredon Press, 1998. 333 p.

BURROUGH, P.A; MCDONNEL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems.** [S.I.]: Oxford: Claredon Press, 1998. 333 p.

CABRAL DA SILVA, T. et al. Diagnóstico e hierarquização de problemas de drenagem urbana da zona costeira Sul do estado da Paraíba. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 144-152, abr/jun, 2008.

CARNEIRO, T. G. S. **Nested-CA: a foundation for multiscale modeling of land use and land change.** Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, p. 109. 2006.

CAVALCANTE, D. S. I. J.; ALOUFA, M. A. I. Gerenciamento costeiro integrado no Brasil: uma análise qualitativa do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 8, n. 2, p. 89-107, jul/dez, 2018.

CORRÊA, W. B.; FONTENELLE, T. H. Processo de ocupação da zona costeira: Ecoresorts e Gerenciamento Costeiro do Meso Compartimento Cabo Frio – Cabo Búzios, Litoral do Rio de Janeiro. **In: Anais do XVI Encontro Nacional dos Geógrafos**, Porto Alegre, 25 jul., 2010.

COSTA SANTOS, L. A. et al. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra em nove. **Revista Agro@mbiente**, v. 11, n. 2, p. 111-118, abr-jun ,2017.

CRPM. **Diagnóstico do município de Pitimbu.** Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Recife: CPRM/PRODEEM. 2005.

CUNHA, J. E. D. B. L. et al. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539-548, 2012.

DEMARCHI, ; PIROLI, E. ; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NVDI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **RA'E GA** , n. 21 , p. 234-271, 2011. Disponível em: <www.ser.ufpr.br/raega>. Acesso em: setembro, 2018.

DILL, P. R. J. **Gestão Ambiental em Bacias Hidrográficas.** Tese (Doutorado). UFMS – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2007.

DZIESZKO, P. Land-Cover Modelling using corine land cover data and multi-layer perceptron. **Quaestiones Geographicae**, p. 33(1), 2014.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Andes: Guide to GIS and image processing**. Editora: Clark Labs da Clark University. Worcester, MA. 2006.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Taiga**: guide to GIS and image processing. [S.l.]: Clarck Labs, 2009. 342 p.

EASTMAN, J. R. **Manual IDRISI TerrSet**: Geospatial Monitoring and Modeling System. Worcester, MA: Editora: Clark Labs da Clark University, 2016. 393 p.

FERREIRA, P. F.; SILVA, A. G. A história da degradação da cobertura vegetal da região costeira do estado do Espírito Santo, sudeste do Brasil. **Natureza on line**, v. 1, n. 9, p. 10-18, 2011. Disponível em: <<http://www.naturezaonline.com.br>>. Acesso em: agosto/ 2018.

FIORIO, P. R. Cronologia e impacto do uso da terra na Microrregião Hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 435, p. 671-679, abril 2000.

FLEISS, J. L. **Statistical methods for rates and proportions**. New York: John Wiley, p. 212-36. 1981.

FREITAS, M. A. P. D. **Zona Costeira e Meio Ambiente Aspectos Jurídicos**. Dissertação (Mestrado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba., p. 200. 2004.

FREITAS, M. D. et al. Variabilidade espacotemporal na mudança da paisagem no município de Acrelândia, AC. **Enciclopédia Biosfera**, 8(14), 2012.

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da carta de João Pessoa – 1:100 000**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.

GAGO-SILVA, A.; RAY, N.; LEHMANN, A. Article Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland. **Internacional Jounal. Geo-Infinformacinal**, v. 6, p. 115, 2017. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/ijgi>. Acesso em: setembro, 2017.

GRUBER, N. L. S.; BARBOZA, E. G.; NICOLODI, J. L. Geografia dos Sistemas Costeiros e Oceanográficos: Subsídios para Gestão Integrada da Zona Costeira. **Gravel**, Porto Alegre, v. 1, p. 81-89, 2003.

GUIDOLINI, J. F. et al. **Modelagem da Dinâmica do Uso e Ocupação do Solo (1975 a 2010) na Bacia do Rio Uberaba, Município de Verissímo - MG**, In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis - SC. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013.

HAYKIN, S. **Redes neurais**. Porto Alegre: Bookman, 2^a edição, 2001. 900 p.
IBGE. IBGE Cidades. **Banco de dados**, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: julho 2017.

IBGE. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas**. [S.l.]. 2011.

IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias : 2017**. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro, p. 82. 2017. (978-85-240-4418-2).

IMPERIANO, B. O.; SILVA, F. G.; SANTOS, V. S. & T. G. L. G. **Caracterização sócio-ambiental da zona costeira da Paraíba**. In: 49^a Reunião Anual da SBPC. Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: UFMG. 1997.

INPE. Sensoriamento Remoto. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>. Acesso em: maio 2018.

KAWASHIMA, R. S. et al. Modelagem Dinâmica Espacial como ferramenta para simulação de cenários da paisagem na região portuária da Baixada Santista. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, p. 703-718, 2016.

KORANTENG, A.; ZAWILA-NIEDZWIECKI, T. Modelling forest loss and other land use change dynamics in Ashanti Region of Ghana. **Folia Forestalia Polonica**, v. series A 57(2), p. 96-111, 2015.

KOTZ, S.; JOHNSON, N. L. **Encyclopedia of statistical sciences**. New York: John Wiley & Sons: [s.n.], v. 4, 1983. 352-4. p.

LAMBIN, E. F. & M. P. Trends in Global Land-Use Competition. In: SETO, K.C. and REENBERG, A. **Rethinking Global Land Use in an Urban Era**, p. 11-22, 2014.

LIEBERTRAU, A. M. **Measures of association**. Newbury Park, CA: Sage Publications Quantitative, 1983.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3^a. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013.

LUIZ, C. H. P. **Modelagem da cobertura da terra e análise da influência do reflorestamento na transformação da paisagem: Bacia do Rio Piracicaba e Região Metropolitana do Vale do Aço**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. [S.l.], p. 141. 2014.

MACEDO, R. D. C. et al. Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira. **Boletim de Ciências Geodésicas (Online)**, v. 19, p. 313-337, 2013.

MEYER, W. B.; TURNER, B. L. I. Land-use/land-cover change: challenges for geographers. **Geo Journal**, v. 39, 1996.

MISHRA, V. N.; RAI, P. K.; MOHAN, K. Prediction of land use changes based on land changemodele (LCM) using remote sensing: a case study of Muzaffarpur (Bihar), Índia. **Journal of the Geographical**, Institute Jovan Cvijic, SASA, v. 64, p. 111-127, 2014.

MMA. Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil. **Ministério do Meio Ambiente**, 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: agosto 2018.

MMA/MP. Ministério do Meio Ambiente e Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. **Projeto Orla: guia de implementação**, Brasília: MMA, 2005.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo. 1999.

MOREIRA, A. A.; FERNANDES, F. H. S.; NERY, C. V. M. Mapeamento e análise do uso e ocupação do solo na bacia do rio Vieira no município de Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 40-48, jul/dez, 2014.

MUNARI, B.; ASSUNÇÃO, V. K. D.; MENEZES, T. B. D. Problemas socioambientais decorrentes da urbanização e turismo: estudo de caso da Lagoa das Capivaras, Garopaba (SC), Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44, p. 242-266, fevereiro 2018.

NETO, O. L. et al. Analysis of the spatiotemporal evolution (1958-2012) of the natural systems of the rio Guaribas hydrographic basin in Northeastern Brazil. **Bol. geogr.**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 82-94, 2017.

ONU. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. Sustentar o progresso humano: reduzir as vulnerabilidades e reforçar a resiliência**. Relatório de Desenvolvimento Humano. New York, NY 10017, USA. 2014. (ISBN 978-92-1-056669-8-1).

PARAÍBA. Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. **Lei N.º 7.507, de 12 de dezembro de 2003**, João Pessoa, 2003.

PARAÍBA. SUDEMA. **Mapa pedológico do Estado da Paraíba. João Pessoa: SUDEMA**, 2004. Escala: 1:500.000.

PARAÍBA. **Plano Territorial de Desenvolvimento rural sustentável – PTDRS. Território da Zona da Mata Sul - PB**. [S.l.]. 2010.

PIJANOWSKI, B. C. et al. Forecasting and assessing the impact of urban sprawl in coastal watersheds along eastern Lake Michigan. **Lakes Reservoirs: Research and Management**, v. 7, p. 271-285, 2001.

PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de Cenário Prospectivo de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra na Sub-Bacia do Rio Capivara, Botucatu - Sp, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica, Montes Claros, v. 14, p. 03, jul/dez 2016. Disponível em: <<http://www.periodicos.unimontes.br/cerrados>>. Acesso em: setembro, 2017.

PITIMBU. **Plano de Gestão Integrada da Orla Marítima do Município de Pitimbu - PB**, 2016. Disponível em: <<http://www.pitimbu.pb.gov.br>>. Acesso em: agosto 2018.

PONTIUS JR, R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, p. 4407-4429, agosto/ 2011. ISSN 1072954. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2011.552923>>. Acesso em: junho, 2018.

ROSSETTI, L. A. F. G. **Modelagem dinâmica espacial de mudanças de uso do solo urbano: contribuição metodológica**. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro – SP, p. 132. 2011.

SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. **Geo Brasil 2002: perspectivas do meio ambiente no Brasil**. IBAMA. Brasília, DF. 2002.

SARTORI, A. A. C. E. A. Modelagem da dinâmica do uso e ocupação do solo (1985-2011) na sub-bacia hidrográfica do Rio Novo - SP: Land Change Modeler-LCM. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Foz do Iguaçu, p. 6.222-6.229, 2013.

SCHERER, M.; ASMUS, M. L. Ecosystem-Based Knowledge and Management as a tool for Integrated Coastal and Ocean Management: A Brazilian Initiative. **Journal of Coastal Research, Special Issue**, v. 1, n. 75, 2016.

SILVA, L. M. T. D. et al. Uso e ocupação do litoral sul da paraíba: o caso de Jacarapé. **Logepa**, João Pessoa, v. 2, n. 1, p. 34-44, jan/jun, 2003.

SILVA, E. L. D. et al. Mapeamento do Uso do Solo da Bacia de Ribeirão Engenho de Ferro – Ibirapuera – PR - Brasil, entre 1990 e 2010. **Revista Territorium**, n. 20, novembro, 2013.

SILVA, J. F. E.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Modelagem dinâmica espacial da cobertura florestal nativa do município de Roca Sales - RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63/4, p. 527-544, 2011.

SILVA, L. C. et al. Aspecto da Degradação Ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 180-191, abr./jun, 2018.

SOARES-FILHO, B. S. **Análise de paisagem: fragmentação e mudanças**. Centro de Sensoriamento Remoto. Instituto de Geociências – UFMG. Belo Horizonte: Departamento de Cartografia, p. 90. 1998.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA- A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modeling**, n. 154, p. 217- 235, 2002.

SOLER, L. S. **Modelagem espacial de uso da terra utilizando o CLUE-S. Conceito e aplicações para estudos de dinâmica de uso da terra**. [S.l.]: Material de apoio, 2010. 49 p.

SOUTO, M. L. V. S. **Análise Multitemporal dos elementos geoambientais da região da ponta do Tubarão, área de influencia dos campos Petrolíferos de Macau e Serra, município de Macau/RN**. Dissertação (Mestrado em geodinâmica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPGG. Natal, p. 112. 2004.

SOUZA, C. R. D. G. & S. K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan for Coastal Management. **Journal Coastal Research**, Tallahassee, Cerf, p. 530-547, 2003.

SOUZA, C. R. D. G. A erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.

TAGLIANI, P. R. A. **Guia de estudos da disciplina Manejo de Ecossistemas Costeiros**. FURG. Rio Grande - RS. 2005.

TRETIN, G.; FREITAS, M. I. C. D. Modeling of Urban Spatial Dynamics: Cellular Automata Model in the Simulation of Scenarios for Americana-SP Municipality. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62. EDIÇÃO ESPECIAL, p. 291-305, 2010.

USGS. Download de Dados Cartográficos – Arquivos Landsat. **United States Geological Survey (USGS)**, 2018. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: fevereiro, 2018.

VASCONCELOS, F. P. **Riscos Naturais e Antrópicos na Zona Costeira.** 57 Reunião Anual da SBPC. [S.I.]. 2004.

VELDKAMP, A.; FRESCO, L. O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land-use and its effects. **Ecological Modelling**, v. 85, n. 2, p. 253-270, 1996.

VELDKAMP, A.; VERBURG, P. H. Modeling land use change and environmental impact. **Journal of Environmental Management**, v. 72, p. 1-3, august 2004.

VOIVODIC, R. A. D. A. **Gestão Ambiental e Gerenciamento Costeiro no Brasil: Uma avaliação do Projeto Orla em Cabo Frio - RJ.** Dissertação apresentada para o cumprimento parcial das exigências para o título de Mestrado em Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 181. 2007.

WEI, W. E. A. Spatial Temporal Analysis of Land Use Change in the Shiyang River Basin in Arid China, 1986-2015. **Polish Journal Environmental Studies**, v. 26, n. 4, p. 1789-1796, 2017.

XAVIER, A. P. C. **Modelagem temporal da dinâmica do uso e ocupação do solo nas perdas e deposição de sedimentos na Bacia do Rio Tapacura (PE).** Dissertação submetida ao Programa de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. [S.I.], p. 102. 2017.