



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA TERRA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

SHERLYÊ FRANCISCO DE CARVALHO

UMA DÉCADA DE MUDANÇAS ANTRÓPICAS NA BACIA DA BAÍA DE
GUANABARA COM SUPORTE DE MAPEAMENTO EM NUVEM

Rio de Janeiro

2022

SHERLYÊ FRANCISCO DE CARVALHO

UMA DÉCADA DE MUDANÇAS ANTRÓPICAS NA BACIA DA BAÍA DE
GUANABARA COM SUPORTE DE MAPEAMENTO EM NUVEM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia

Orientador: Prof^a. Dr^a. Elizabeth Maria
Feitosa da Rocha de Souza

Rio de Janeiro

2022

CIP - Catalogação na Publicação

C331d Carvalho, Sherlyê Francisco de
UMA DÉCADA DE MUDANÇAS ANTRÓPICAS NA BACIA DA BAÍA
DE GUANABARA COM SUPORTE DE MAPEAMENTO EM NUVEM /
Sherlyê Francisco de Carvalho. -- Rio de Janeiro,
2022.
64 f.

Orientadora: Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de
Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, 2022.

1. Níveis de ocupação. 2. Baía de Guanabara. 3.
Mapeamento em Nuvem. 4. Google Earth Engine. I.
Maria Feitosa da Rocha de Souza, Elizabeth, orient.
II. Título.

SHERLYÊ FRANCISCO DE CARVALHO

UMA DÉCADA DE MUDANÇAS ANTRÓPICAS NA BACIA DA BAÍA DE
GUANABARA COM SUPORTE DE MAPEAMENTO EM NUVEM

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia do
Departamento de Geografia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro como requisito para a obtenção
do título de mestre em Geografia.

Aprovada em: 30/09/2022.

BANCA EXAMINADORA



Profª. Drª. Elizabeth Maria Feitosa da Rocha Souza - UFRJ



Profª. Drª. Carla Bernadete Madureira Cruz - UFRJ



Profª. Drª. Monika Richter - UFF

Prof. Dr. Marcus Vinícius Alves de Carvalho - UFF

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, e autor da minha existência, por possibilitar a realização de mais esse sonho, por sempre poder ver sua presença nos momentos de alegria, por ser o caminho nos momentos de incertezas e por ser o refúgio nos momentos necessários.

Aos meus pais Mytssuê e Nilton, pelo dom da vida, pelas lutas, pela dedicação, pelas oportunidades, pelo amor incondicional. Às minhas irmãs Laritssa e Kertely por me inspirarem a ser quem eu sou e melhorar a cada dia e a toda minha família agradeço por fazerem o meu sonho se tornar realidade, por terem sonhado e acreditado em meus ideais e que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Agradeço ao meu amado, Ilson, por toda a paciência, todo o apoio, incentivo, parceria e compreensão, por estar ao meu lado nas horas que chorei, e nas horas que sorri. Obrigado por estar comigo nos momentos de ansiedade e estresse. Pelas alegrias que fizemos questão de dividir. Pelos momentos que com muita esperança, pensou junto comigo no futuro. Agradeço porque você fez, faz e fará sempre parte de minha história!

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRJ, e às pessoas com quem convivi nesse espaço ao longo desses anos que foi interrompido pela pandemia mas que mesmo assim, tentou se reinventar e fazer acontecer a produção compartilhada.

Sou grata aos meus queridos mestres que acompanharam meus estudos durante esses anos e, em especial, aos membros da minha banca de defesa da dissertação, por aceitarem esse convite e contribuírem com a construção desse trabalho e à professora Beth pelo aceite em me orientar e me acompanhar por esse caminho durante os anos da minha jornada acadêmica.

Só tenho a agradecer a todos os meus amigos pelos inúmeros conselhos, frases de motivação e puxões de orelha. As risadas que vocês compartilharam comigo nessa etapa tão desafiadora da vida acadêmica, também fizeram toda a diferença. Minha eterna gratidão.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

À CAPES por financiar essa pesquisa.

RESUMO

A crescente urbanização dos espaços pode resultar em danos à natureza, o que explica a necessidade de mensurar e monitorar esse crescimento visando o controle e planejamento estratégico do ambiente e recursos naturais. A Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara além dos rios e seus afluentes, engloba em sua área todas as atividades humanas que ali acontecem. É dividida em sub-bacias que são unidades de planejamento de acordo com seus limites físicos, culturais e socioeconômicos. O presente trabalho tem como finalidade analisar as mudanças relacionadas à intensidade de ocupação urbana na bacia da Baía de Guanabara com o suporte do mapeamento em nuvem, usando a plataforma Google Earth Engine, para os anos de 2010 e 2020. A metodologia conta com a classificação e diferenciação das classes de ocupação urbana desenvolvida na plataforma Google Earth Engine, utilizando um código em Python. Houve o pós processamento dessa classificação que relaciona os dois anos em questão e as sub-bacias para ser possível a análise das mudanças do uso do solo na bacia. O resultado da aplicação dessa metodologia, no âmbito geral da área de estudo, mostrou que em 19% da área da Baía de Guanabara ocorreu mudança no tipo de uso do solo. Das mudanças analisadas por sub bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara com suporte do mapeamento em nuvem do GEE, as maiores mudanças na década estudada foram: a vegetação transformada em algum dos níveis de urbano e o adensamento urbano, a ocupação média se transformando em intensa.

Palavras-chave: Níveis de ocupação. Baía de Guanabara. Mapeamento em Nuvem. Google Earth Engine.

ABSTRACT

The increasing urbanization of spaces can result in damage to nature, which explains the need to measure and monitor this growth in order to control and strategically plan the environment and natural resources. The Guanabara Bay Hydrographic Basin, in addition to the rivers and their tributaries, encompasses in its area all the human activities that take place there. It is divided into sub-basins which are planning units according to their physical, cultural and socioeconomic limits. The present work aims to analyze the changes related to the intensity of urban occupation in the Guanabara Bay basin with the support of cloud mapping, using the Google Earth Engine platform, for the years 2010 and 2020. The methodology relies on the classification and differentiation of urban occupation classes developed in the Google Earth Engine platform, using a Python code. There was a post-processing of this classification that relates the years in question and the sub-basins to be able to analyze the changes in land use in the basin. The result of the application of this methodology, in the general scope of the study area, showed that in 19% of the Guanabara Bay area there was a change in the type of land use. The biggest changes in the studied decade were: the vegetation transformed in some of the urban levels and the urban densification, the average occupation becoming intense.

Keywords: Urban Classification. Guanabara Bay. Cloud Computing. Google Earth Engine.

SUMÁRIO

I	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	Questões e Justificativa	13
1.3	Caracterização da área de estudo	16
II	REVISÃO CONCEITUAL	21
2.1	Bacia Hidrográfica - Reflexões e discussão sobre gestão	21
2.2	Urbanização e áreas construídas	22
2.3	Níveis de urbano - Diferentes intensidades de ocupação	24
2.3.1	Ocupação intensa	25
2.3.2	Ocupação média	26
2.3.3	Ocupação rarefeita	27
2.4	Comitês de Bacia - apoio à gestão de recursos hídricos	28
2.5	Mapeamento temático e abordagem e Nuvem - o caso da plataforma Google Earth Engine	31
III	METODOLOGIA	35
3.1	Revisão bibliográfica e coleta de dados	35
3.2	Classificação e mapeamento - GEE	35
3.3	Validação da classificação - índice Kappa e Exatidão Global	38
3.4	Ajustes e pós processamento dos dados	40
3.5	Análise espacial da intensidade de ocupação na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara	40

3.6	Análise espacial da intensidade de ocupação nas sub-bacias da Baía de Guanabara e correlação com dados secundários	41
IV	RESULTADOS E CONCLUSÕES	42
V	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	60

I. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para vida na Terra e 70% do nosso planeta é coberto por água, mas dessa porcentagem, apenas 2,5% é água potável e desses 2,5, aproximadamente 2% é de água subterrânea, ou seja, de difícil acesso. A crise hídrica traz um alto risco para a sociedade tendo em vista a necessidade de abastecimento e a manutenção da agricultura.

A preocupação com relação à crise hídrica no Brasil e no mundo faz com que cada vez mais sejam necessárias soluções eficientes para os problemas de escassez de água e para auxiliar nos desafios da gestão dos recursos naturais, sobretudo os hídricos. Nogueira (2005), há mais de 15 anos, já se preocupava com essa questão da água e sua gestão, e levanta várias discussões sobre a utilização racional da água.

O uso eficiente da água nos rios do Brasil significa a possibilidade de suprir as necessidades humanas básicas, sem destruir o meio ambiente, a qualidade da água, garantir o crescimento econômico e social com proteção ambiental (REBOUÇAS, 2004). Sendo assim, levando em consideração que a região Sudeste passou por um período intenso de estiagem, afetando os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, o que se almeja é gerenciar as eventuais crises posteriores e reestruturar o jeito como são geridos os recursos hídricos.

Os centros urbanos e suas proximidades são cada vez mais visados, o aumento da população traz também o crescimento da pressão da sociedade por novos lugares para moradia. Isso leva a uma superexploração do ambiente urbano, resultando em danos ao ambiente, como a retirada indiscriminada da cobertura vegetal, poluição da água e do solo por esgotos domésticos e resíduos sólidos, processos erosivos, etc. Essa pressão precisa ser mensurada e monitorada visando o controle e o planejamento estratégico dos recursos hídricos.

Nesse contexto tem-se uma crescente evolução da área urbana na bacia da Baía de Guanabara situada no estado do Rio de Janeiro. Do ponto de vista das características naturais, a Baía da Guanabara se apresenta como um estuário originado pelo afogamento marinho de uma complexa bacia fluvial, limitada por alinhamentos rochosos e condicionada por compartimentos estruturais. Em poucas palavras, é um conjunto de vales afogados e um estuário de origem tectônica, o que resulta em permanente e variável mistura de águas doces - provenientes das bacias fluviais contribuintes, e de águas salinas, que penetram em seu interior devido ao movimento oscilatório das marés (AMADOR, 1997).

Se for observado o uso do solo nos arredores da Baía de Guanabara, verá que é caracterizado intensamente pela antropização das características originais, ou seja, que é e foi desde o início, vastamente utilizado pelo homem para seu desenvolvimento. Ainda pode-se observar que o ambiente urbano e industrial é mais intenso no entorno da Baía localizado na cidade do Rio de Janeiro, e logo em seguida em Niterói.

“O processo de expansão urbana na Baía da Guanabara acentuou-se a partir de 1975 com a fusão dos estados da Guanabara e Rio de Janeiro e a abertura da ponte Rio-Niterói.” (ABREU, 1992). O rápido crescimento do ambiente urbano fez-se pela velocidade de crescimento da população metropolitana. Isso revela que este entorno está sofrendo grande pressão antrópica. O que faz com que cresça juntamente com essa tensão, a necessidade de organização e controle do uso do solo nessa região para no futuro acontecer também uma gestão sustentável da Baía de Guanabara e do seu entorno.

Tendo como objeto de estudo também a Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, Nogueira (2005) diz que a preocupação com os recursos hídricos se devia e deve, ainda hoje, ao fato de que tais recursos estão intimamente atrelados à ocupação do solo, sendo importante referencial na política de planejamento e gestão territorial. A autora comenta que as bacias hidrográficas, pela interdependência dos vários componentes do crescimento e desenvolvimento da sociedade responsáveis pela determinação dos múltiplos usos dos recursos hídricos, podem ser usadas como unidades de manejo da terra.

A falta de planejamento e controle na ocupação dos espaços urbanos, tem resultado no comprometimento do ambiente e da qualidade de vida da população, especialmente nas áreas que alimentam importantes rios, lagoas e baías. Diante dessas situações de descontrole do processo de urbanização faz-se necessária a regulação do uso do espaço nas cidades através de leis que sejam desenvolvidas, negociadas e aprovadas pelos poderes constituídos e por técnicos planejadores, que vise estabelecer diretrizes e parâmetros para o uso e ocupação do solo urbano, entre outros aspectos (LIMA FILHO e HELLER, 2004). Também deve ser observada para a mudança desse cenário, a elaboração de uma estratégia para o fortalecimento da gestão ambiental ao nível municipal, com a criação de programas de proteção ambiental e de políticas ambientais (RUFINO, 2002).

A bacia como unidade de planejamento, traz alguns desafios pois as informações associadas aos recursos socioeconômicos não são facilmente agregadas em unidades físicas, como as bacias hidrográficas, pela imposição de fronteiras topográficas. Tal problemática se dá pelo fato das unidades físicas não serem coincidentes, nem hierarquicamente passíveis de agregação com relação às unidades socioeconômicas. Dessa forma os estudos socioeconômicos e ambientais encontravam dificuldades em compatibilizar suas diferentes unidades de mapeamento principalmente quando se adotam como base as unidades físicas (NOGUEIRA, 2005).

Existe desde o início dos anos 2000 a iniciativa de um Comitê de Gestão da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, e a compreensão do trabalho de gestão desse comitê ao longo desses anos e atualmente será levado em consideração para o desenvolvimento do presente trabalho.

Os Comitês de Bacia são grupos de gestão compostos por representantes dos três níveis do poder público (federal, estadual e municipal), usuários da água e sociedade civil. É por meio de discussões e negociações democráticas, que esses comitês avaliam os reais e diferentes interesses sobre os usos das águas das bacias hidrográficas. Possuem poder de decisão e cumprem papel fundamental na elaboração das políticas para gestão das bacias, sobretudo em regiões com problemas de escassez hídrica ou na qualidade da água (ANA, 2020).

A Geografia enquanto ciência é responsável pela análise espacial, caracterização e identificação de mudanças em curso apresentadas. O conhecimento das características espaciais e temporais da mudança e expansão urbana nas baías demonstra uma realidade socioambiental do objeto de estudo. Diante da importância do planejamento e da gestão dos ambientes urbanos, este trabalho se posiciona como um subsídio às tomadas de decisões, através da caracterização de uma bacia hidrográfica muito importante no atual cenário de crescimento para o estado do Rio de Janeiro. No caso especial da área de estudo, a bacia da Baía de Guanabara, trata-se de uma área de expansão urbana (sobretudo na porção setentrional), de localização privilegiada, sendo por isso alvo de especulação e sujeita a invasões.

A análise das mudanças relacionadas à urbanização na Baía de Guanabara, usando como suporte o mapeamento em nuvem, pode gerar resultados que auxiliem na gestão dos recursos hídricos. Há um comitê gestor bem estruturado e existem muitos estudos que foram e são produzidos a respeito da Bacia da Baía de Guanabara mas, na literatura é rara uma análise de diferentes níveis de urbano e a relação desses

dados relacionados a outros dados interessantes, acerca dessa temática e área de estudo. A avaliação e análise dos diferentes tipos de dados sobre a bacia se justificam pela emergência na discussão sobre recursos hídricos, pressão antrópica e abastecimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da presente pesquisa é analisar as mudanças relacionadas à intensidade de ocupação urbana na bacia da Baía de Guanabara com o suporte do mapeamento em nuvem (utilizando um algoritmo de classificação), a partir da plataforma Google Earth Engine - GEE. A análise dessas mudanças pode alimentar o debate sobre a pressão antrópica em uma importante área que demanda conservação de recursos hídricos, tornando-se um instrumento de tomada de decisão na gestão e planejamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos pode-se destacar:

- Identificar as mudanças relativas às diferentes intensidades de ocupação urbana (intensa, média e rarefeita) entre os anos de 2010 e 2020 na área de estudo;
- Analisar o potencial da classificação em nuvem, para a atualização do mapeamento temático no recorte da bacia hidrográfica, permitindo validar seu uso na obtenção de mapas com maior exatidão e menor tempo de elaboração;
- Analisar a expansão urbana e as mudanças internas considerando o recorte espacial de sub-bacias.

1.2 Questões e justificativa

Esses objetivos foram estruturados para nortear o entendimento de alguns questionamentos como a maneira que evoluiu a expansão urbana e densificação sobre a área da região hidrográfica da Baía de Guanabara no período indicado; se é possível indicar áreas com maior pressão e mudanças, com padrões e características específicas; e ainda se existe algum tipo de associação espacial que permita delimitar causa e consequência no que se refere à ocupação urbana e suas características.

O projeto justifica-se por ser um tema de extrema importância para a gestão urbana, ambiental e de recursos hídricos, convergindo para uma discussão sobre os ambientes urbanos e o planejamento ambiental.

A ocupação desordenada da área influencia nos processos geomorfológicos por meio da adição e remoção de material. Outro ponto de destaque é o contexto fisiográfico e geomorfológico da região que influencia a movimentação de massa em seu relevo e assim, inúmeros são os casos de acidentes relacionados aos deslizamentos que provocaram vítimas fatais, bem como, danos a patrimônios públicos e privados. A estabilidade e a instabilidade em algumas áreas do relevo se devem também às características geológicas e geotécnicas como a resistência e mecânica das rochas, bem como a suscetibilidade destas ao processo erosivo.

Destaca-se, além das influências de agentes naturais, também a influência antrópica, como o homem se torna um agente transformador do terreno, por meio de processos como transporte de matéria e fluxo energético e, no caso da área de estudo, o histórico de séculos de extração vegetal, cultivos, adensamento urbano, são fatores importantes para observar essas mudanças. Outra fonte antropogênica na modelagem do terreno se dá pela expansão urbana desordenada, principalmente em cidades e bairros com população dentro do contexto socioeconômico de baixa renda, em áreas com suscetibilidade a movimentos de massa e baixa infraestrutura de contenção desses processos. Sendo assim, a relação da expansão urbana com a geomorfologia e dados socioeconômicos são relevantes para a tomada de decisão e na implementação de condições mínimas para o uso e ocupação dos terrenos remanescentes e proteção de áreas verdes.

O avanço da urbanização em nosso país tem provocado sérios impactos no modo de vida da população. O contínuo aumento da impermeabilização do solo, densidade demográfica e construções em locais impróprios, dentre outros, são sempre acompanhados de graves problemas socioeconômicos, além de impactos negativos na infraestrutura urbana e no meio ambiente (ARAÚJO, 2006).

A Bacia Hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

A bacia hidrográfica da Baía de Guanabara atinge uma das áreas mais expressivas do país, social, econômica e culturalmente. Sua área de mais de 4000 km², abrange, parcial ou totalmente, os municípios do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Belford Roxo, Duque de Caxias, Magé, Petrópolis, Itaboraí, São Gonçalo, Niterói, Rio Bonito, Teresópolis e Cachoeiras de Macacu, abarcando uma concentração urbana de quase 10 milhões de habitantes (SANTOS, 1998, p. 99-109). Pela agilidade de crescimento do tecido urbano e das indústrias nos últimos anos a capacidade de reciclagem das águas em determinados lugares nas margens da baía foi afetado, causando não só prejuízo ambiental, mas também prejudicando as atividades sociais e econômicas, ocasionando a perda de qualidade ambiental da baía e de vida da população habitante de seu entorno.

Existe a necessidade de avaliar a inter-relação entre os sistemas nacionais de ordenamento territorial e de gerenciamento dos recursos hídricos na escala das bacias hidrográficas. Estudos ressaltam que no contexto do país há poucas experiências de cooperação entre diferentes esferas de governo; de modo que os esforços institucionais mais recentes voltados ao planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos, ainda é um tema pouco tratado entre os estudiosos e formuladores de políticas públicas e gestores (MIRANDA, 2017).

Segundo sustentam Braga *et al.* (2004), estudos sobre qualidade ambiental e desenvolvimento encontram a dificuldade frequente de lidar com a incerteza e a carência de informações sistematizadas.

O estudo deve se basear na análise temporal de uso e cobertura do solo e na expansão urbana, e isso traz um desafio que é o levantamento das informações, sua análise e a identificação dos fatores problemáticos. Usaremos além dos dados de uso e cobertura, também dados de apoio como socioeconômicos, naturais e industriais. De acordo com Lima e Amorim (2009), para analisar a qualidade ambiental urbana é necessário considerar vários componentes da paisagem, tanto relacionados aos aspectos físicos como sociais. Por isso, a questão da escolha da metodologia e a sistematização de atributos ambientais são tão importantes, pois dependendo dos dados utilizados, os resultados podem contribuir para o ordenamento e planejamento do espaço.

1.3 Caracterização da área de estudo

A região hidrográfica onde se encontram a bacia da Baía da Guanabara e Sistemas Lagunares está localizada no estado do Rio de Janeiro, a maior parte na Região Metropolitana desse estado, incluindo os municípios de Rio de Janeiro, Niterói, São Gonçalo, Maricá, Itaboraí, Tanguá, Rio Bonito, Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Magé, Petrópolis, Duque de Caxias, São João de Meriti, Nova Iguaçu, Nilópolis, Belford Roxo e Mesquita. A Região Metropolitana do Rio de Janeiro tem a maior concentração populacional do litoral brasileiro com aproximadamente 10 milhões de habitantes e as cidades de Rio de Janeiro e Niterói possuem densidade populacional maior que 3000 hab/km², concentram cerca de 70% da população do estado. A Bacia, incluindo a Baía de Guanabara, tem uma superfície aproximada de 4600 km², possui um clima chuvoso e quente (tropical típico) por estar inteiramente localizada na zona intertropical e por isso tem um vasto desenvolvimento da Mata Atlântica (AMADOR, 2012). A figura 1 destaca a área de estudo.

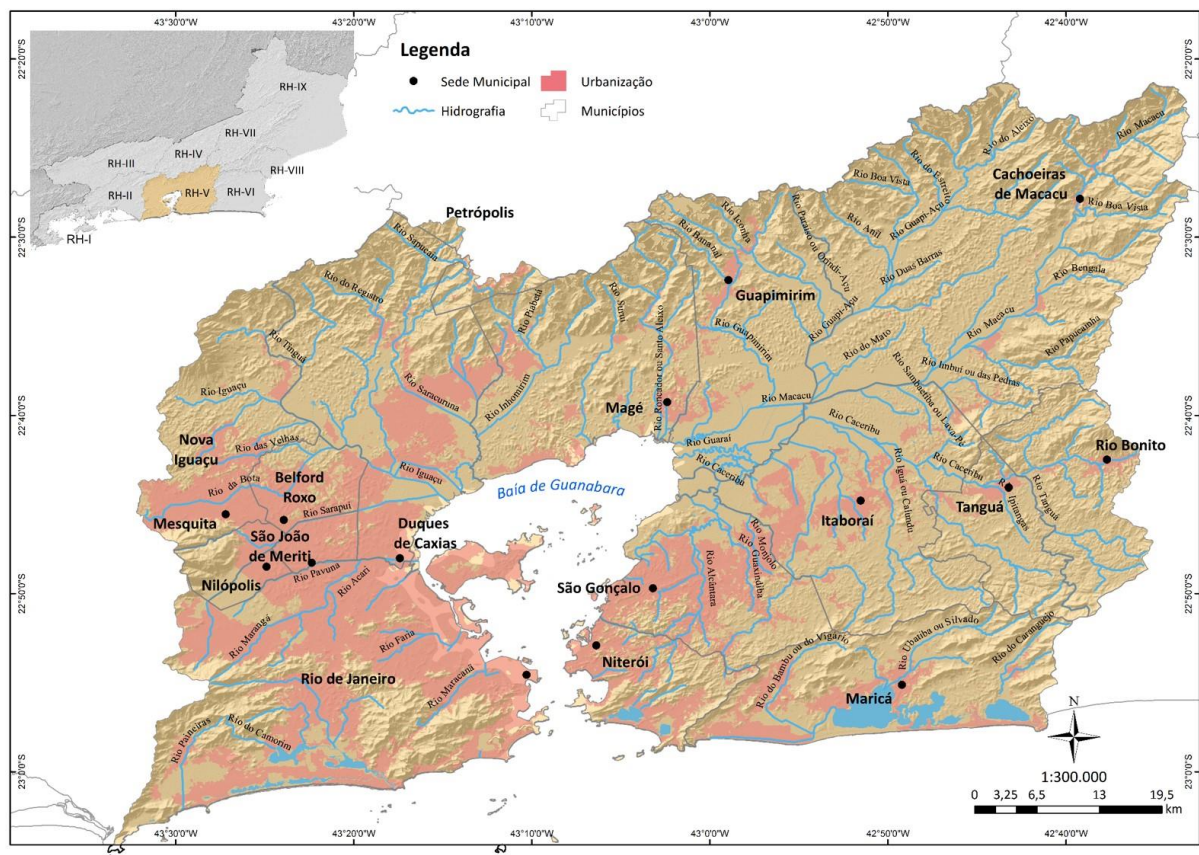


Figura 1: Área de estudo - Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Jacarepaguá e Maricá. Fonte: INEA.

A Baía de Guanabara pode ser considerada um estuário que engloba inúmeros rios que levam a ela, em média, mais de 200 mil litros de água por segundo. Essa água é captada pelas bacias hidrográficas desses rios que, somados, formam a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, a RH-V. Suas principais bacias são: Bacias contribuintes às Lagunas de Itaipu e Piratininga, Bacia do Guaxindiba-Alcântara, Bacia do Caceribu, Bacia do Guapimirim-Macacu, Bacia do Roncador ou Santo Aleixo, Bacia do Iriri, Bacia do Suruí, Bacia do Estrela, Inhomirim, Saracuruna, Bacias Contribuintes à Praia de Mauá, Bacia do Iguaçu, Bacia do Pavuna-Meriti, Bacias da Ilha do Governador, Bacia do Irajá, Bacia do Faria-Timbó, Bacias das Ilhas Marítimas, Bacias Drenantes da Vertente Norte da Serra da Carioca, Bacias Drenantes da Vertente Sul da Serra da Carioca, Bacias Contribuintes à Praia de São Conrado, Bacias Contribuintes ao Complexo Lagunar de Maricá-Guarapina e Bacias Contribuintes ao Complexo Lagunar de Jacarepaguá (INEA, 2022).

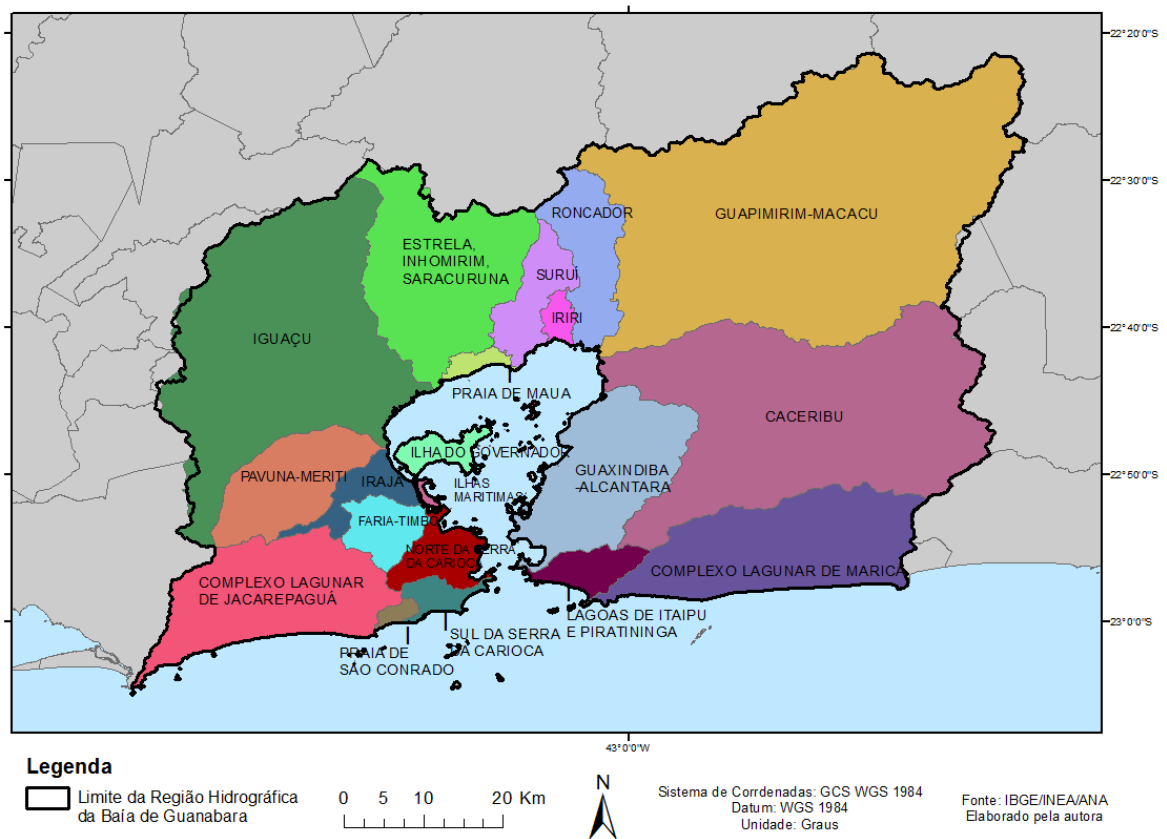


Figura 2: Mapa das Sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. Fonte: IBGE/INEA/ANA. Elaborado pela autora.

A Geologia da Baía é constituída por rochas gnáissicas e graníticas Pré-Cambrianas, rochas alcalinas cenozóicas, depósitos continentais cenozóicos das

formações Pré-Macacu, Macacu e Caceribu e também sedimentos holocênicos fluviais, coluviais, marinhos e fluviomarinhos.

A tendência geológica da baía, dadas as condições de equilíbrio instável do sistema, seria, a longo prazo, a de um completo entulhamento sedimentar, com a sobrevivência apenas de canais fluviais, que teriam sua desembocadura em um ponto próximo à atual entrada. A atuação antrópica vem acelerando o processo de assoreamento, introduzindo mais um componente de desequilíbrio ao sistema (Instituto Baía de Guanabara, 2020). O mapa com destaque para a geologia pode ser observado na figura 3:

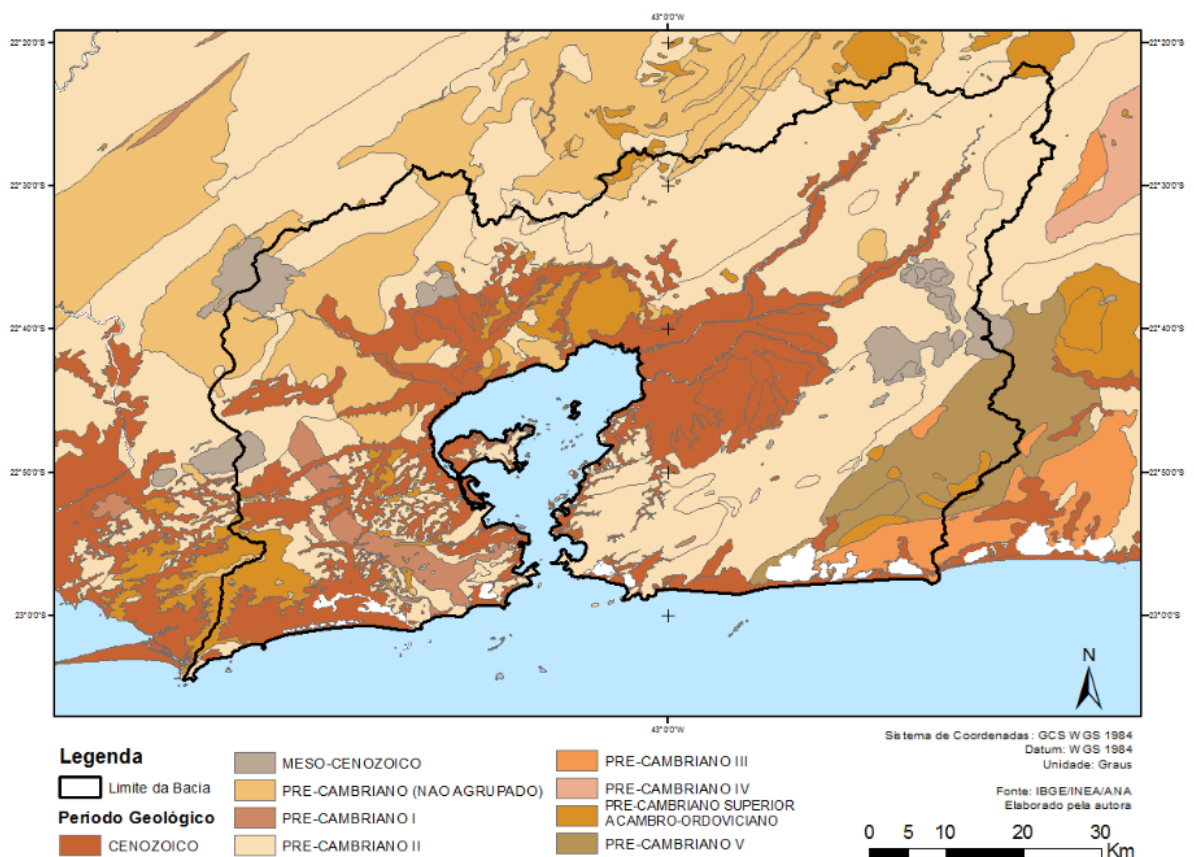


Figura 3: Mapa de Geologia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. Fonte: IBGE/INEA. Elaborado pela autora.

Sobre a Geomorfologia da Bacia da Baía podemos pontuar as quatro importantes províncias fisiográficas de expressão regional: A escarpa da Serra do Mar, os maciços litorâneos, a Baixada Fluminense e a Baía de Guanabara. Se mostra importante a compreensão da geomorfologia para melhor entendimento da área de estudo, pode-se observar na figura 4 os aspectos geomorfológicos da Baía de Guanabara.

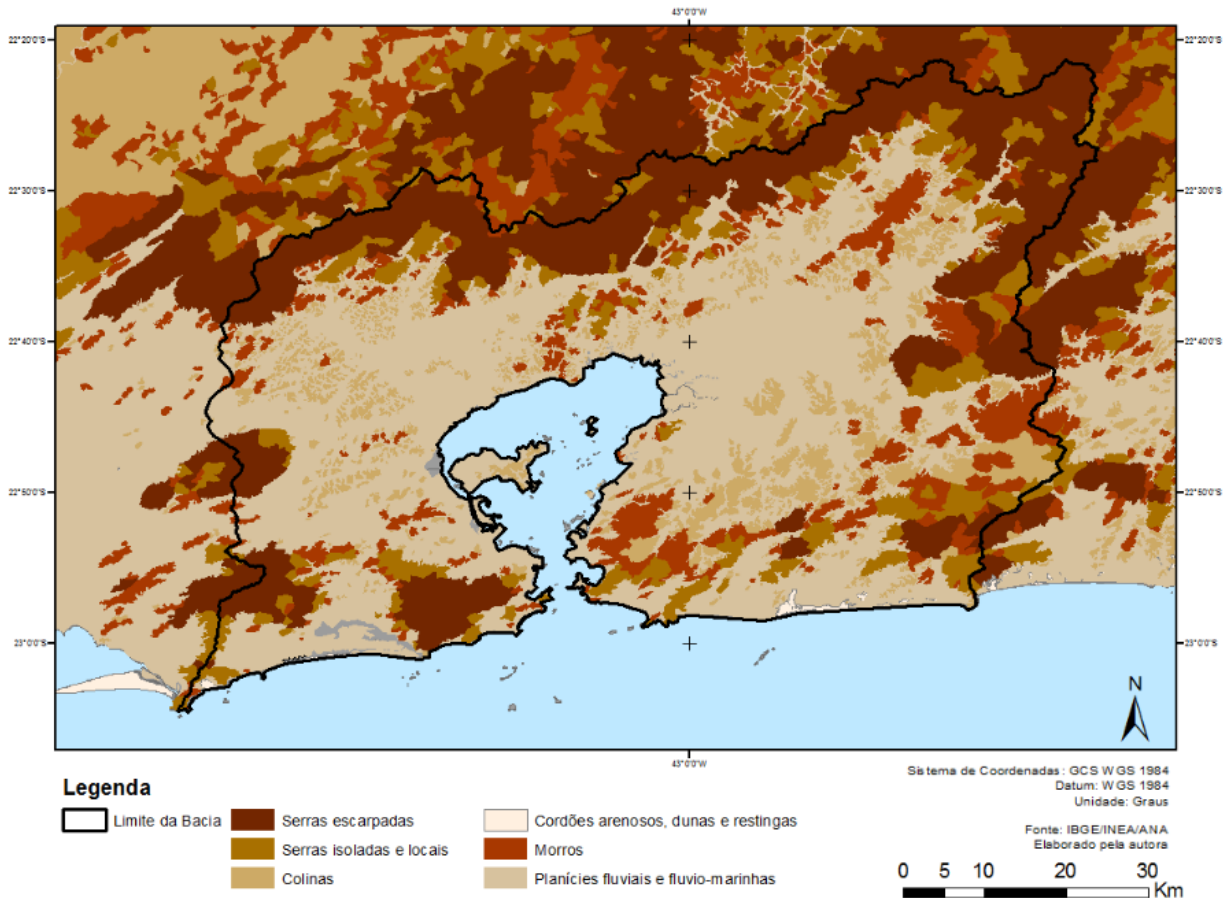


Figura 4: Mapa de Geomorfologia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. Fonte: IBGE/INEA. Elaborado pela autora.

Para a confecção desse mapa foi utilizada a divisão de faixas de amplitude altimétrica elaborado no projeto: “Mapeamento da Cobertura da Terra e de Detecção de Mudanças na Cobertura Florestal do Estado do Rio de Janeiro” SEA/INEA 2011, as serras escarpadas, com amplitudes acima de 400 m de altitude; serras isoladas e locais, entre 200 e 400 m; morros, entre 100 e 200 m; colinas, entre 20 e 100 m; e planícies fluviais e flúvio marinhas, entre 0 e 20 m. As planícies costeiras constituídas por cordões arenosos, dunas e restingas foram agrupadas em outra classe.

Sobre as características socioeconômicas da região da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara: no documento de Caracterização Ambiental feita pela SEA/INEA em 2014 (Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro com a elaboração da Fundação COPPETEC Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente) diz que a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara abriga a maior parte da população urbana do Estado do Rio de Janeiro, que a região é o ponto focal da ocupação e desenvolvimento urbano, representado para além de sua capital, a cidade do Rio de Janeiro, também a Região Metropolitana, concentra

também a maior parte da população que vive em aglomerados subnormais (mais de 1 milhão de habitantes). A população estimada em 2014 usando os dados do IBGE (Censo 2010) era de 10.143.250 habitantes, dos quais 51% no município do Rio de Janeiro.

A ocupação de encostas e margens de rios, falta de infraestrutura e planejamento, efluentes de esgotos (tratados ou não) e industriais é evidentemente maior na Região Metropolitana comparada com o restante do estado e os índices de qualidade da água são ruins em grande parte dos pontos de monitoramento do INEA (INEA, 2014).

Observa-se também que é nessa área que está a maior parte das atividades de alto potencial poluidor no estado e grandes investimentos em atividades desse tipo, como o Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro (COMPERJ) da Petrobras, esse empreendimento deve ampliar a expansão urbana para as áreas ainda pouco ocupadas, e nas cidades mais próximas ao limite da Bacia e essa aceleração do crescimento e adensamento urbano pode agravar os problemas que já existem (como deslizamentos de encostas e inundações) e ameaçar o que resta de florestas.

II. REVISÃO CONCEITUAL

2.1 Bacia Hidrográfica – Reflexões e discussão sobre gestão

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

As bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas de balanceamento das águas da chuva (entrada e saída), onde se delimitam as bacias e suas partes menores tendo uma ligação pelos sistemas hídricos.

Pode parecer, erroneamente, que na área da Bacia Hidrográfica existe apenas a parte de água, rios, seus afluentes, mas é muito importante salientar além disso, engloba em sua área todas as atividades humanas que ali acontecem e todo esse conjunto é que faz parte desse sistema. Tudo o que acontece nesse sistema é interligado e é consequência da maneira que se usa a água, da carga antrópica concentrada nessa área, da maneira que o território foi ocupado, as características socioeconômicas de quem ocupa.

A divisão hidrográfica nacional em regiões hidrográficas, se justifica pelas divergências não apenas naturais como os ecossistemas, geologia e relevo, mas também pelas divergências culturais e socioeconômicas. Essas divisões servem também para otimizar a gestão dos recursos hídricos.

A Constituição de 88 atualizou os domínios das águas no país, as definiu como bens de uso comum. O art. 20, inciso III, da Constituição Federal de 1988 indica, entre os bens da União, "os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos do seu domínio, ou que banham mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, se estendam a território estrangeiro, ou dele provenham, bem como terrenos marginais e as praias fluviais". Diz ainda no art. 26, inciso I, da Constituição Federal, incluem-se entre os bens dos Estados e do Distrito Federal "as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União".

Outra importante mudança foi a atribuição dada à União no seu art. 21, inciso XIX, para "instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de uso". Esse artigo constitucional deu origem à Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a qual instituiu a Política Nacional de Recursos

Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A maneira de tentar fazer das bacias hidrográficas sustentáveis e regular o uso justo dos usuários das bacias também foi definida pela Lei n. 9.433/97 supracitada, se dá no âmbito local, e é denominada Comitê de Bacia Hidrográfica.

Pelo site do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) os Comitês de Bacias Hidrográficas são: “entidades colegiadas com atribuições normativa, deliberativa e consultiva, reconhecidos e qualificados pela Lei Estadual nº 3.239/99, sendo criados e instituídos através de decretos de Governo e proposta do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. São organismos políticos de integração e de tomada de decisão, com incumbência de planejar a utilização das águas e garantir a conservação e a recuperação dos territórios da bacia. Por seu poder consultivo, normativo e deliberativo, os Comitês são considerados como "Parlamentos das Águas", sendo criados com objetivos e competências relacionados aos recursos hídricos de forma integrada e descentralizada com a participação da sociedade para um efetivo controle social.” (INEA, 2020)

De iniciativa do Governo do Estado do Rio de Janeiro, iniciada em 2014 pela Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) e Instituto Estadual do Ambiente (INEA), a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Este plano Estadual é o principal instrumento fundamentador e orientador da gestão das águas em âmbito estadual, elaborada pela Fundação COPPETEC/UFRJ juntamente com o INEA (INEA, 2020).

Existe também uma iniciativa chamada PRA-Baía: Plano de Recuperação Ambiental da Baía de Guanabara - Programa de Fortalecimento da Governança e da Gestão da Baía de Guanabara - Convênio de Cooperação Técnica: ATN/OC-14223-BRSDP No: SQC No 01/2014 KCI Technologies, Inc. datada de 28 de outubro de 2016.

E temos ainda o Comitê de Bacia da Baía de Guanabara que será detalhado no item 2.4 da presente revisão conceitual.

2.2 Urbanização e áreas construídas

A urbanização no Brasil começa a ocorrer no início do século XX mas começa a se intensificar em sua segunda metade quando a população, até então majoritariamente rural, inicia o processo de êxodo rural vindo do campo para a cidade por causa das oportunidades e ofertas de emprego. Isso acontece devido o início e

aumento da industrialização nas cidades e pela mudança de modelo, porque até então as cidades eram agrárias e foram se tornando urbano-industrial, essa mudança acompanha também a sociedade que se torna mais letrada e o trabalho que começa a se moldar de uma nova maneira numa sociedade técnico-científica com ampliação do consumo (saúde, educação, lazer), transporte e comunicação.

No mundo essa urbanização se inicia no século XVIII com a Primeira Revolução Industrial pelo mesmo motivo de oferta de empregos nas novas fábricas nas cidades. Geralmente nos países desenvolvidos o êxodo rural acontece de maneira um pouco mais gradativa, conforme a oferta, enquanto em países subdesenvolvidos, como o Brasil, ocorre de forma abrupta e desordenada e, por ser dessa forma, acaba originando uma série de problemas sociais e de infraestrutura como falta de saneamento básico, enchentes, entre outros. Essa crescente e desordenada urbanização preocupa inúmeros profissionais e aumenta a demanda relacionada ao meio ambiente.

Spinelli (2016) argumenta que devido ao crescimento populacional ao longo dos séculos, é notória a influência de ações antrópicas, causadoras de distúrbio nos ecossistemas naturais e urbanos, conseqüentes da expansão das cidades.

Muitos problemas são diagnosticados no que se refere aos impactos ambientais negativos, destacam-se os elevados níveis de degradação da cobertura vegetal e contaminação/poluição dos corpos hídricos, tanto do ponto de vista industrial quanto residencial, devido às precárias e/ou inexistentes ações de saneamento básico (ALBUQUERQUE E SOUZA, 2016).

Pimentel (2016) ainda diz que quando essa transformação ao ambiente é ocasionada pela ação antrópica de agentes que em muitos dos casos não tem a menor noção dos danos gerados, isto se torna um fator de grande risco, tanto ao ambiente quanto à população nele residente.

No entanto, Amador (1997) destaca que não se deve restringir a causa da degradação ambiental da Baía apenas a ocupação desordenada como geralmente é feito, mas também à incorreta ocupação deste espaço desde a colonização e ao descaso histórico com o espelho d'água e seu entorno, evidenciando como significativos agentes degradantes da Baía os aterros de suas margens e assoreamentos impulsionados pelas alterações na circulação hidrodinâmica. Com isso, diversas atividades e tensões se acumulam e geram danos ambientais irreversíveis, dentre elas o despejo de esgoto doméstico e resíduos industriais, a

ocupação inadequada das encostas e alterações físicas nas áreas marginais.

O conceito de urbano e urbanização envolve muito mais do que simplesmente o crescimento de áreas construídas ou sua densificação. A densificação urbana é o adensamento das áreas construídas, segundo Krafta e Neto (2011), pode acontecer pela substituição dos edifícios, das mudanças de uso da terra (nos níveis de ocupação), e do surgimento de novas centralidades. E a expansão urbana ou o crescimento das áreas construídas é o aumento de área territorial para fins urbanos, ou seja, mudanças no uso da terra de outras classes para o urbano.

A abordagem da ocupação urbana integra relações sociais, comerciais entre outras e não cabe seu uso de forma simplificada para refletir o avanço das áreas edificadas. Nesse caso, ao se considerar as mudanças observadas a partir do olhar sobre as imagens orbitais, fotografias aéreas e outros sensores remotos, sugere-se o uso de termos mais adequados como o termo áreas construídas, ainda que por hábito ou vício esse termo seja constantemente trocado pelos termos supracitados.

Esse conceito está relacionado aos objetos identificados em uma imagem quando se busca delimitar as edificações e mudanças na cobertura da terra. Dependendo do sensor e suas respectivas resoluções pode-se identificar diferentes intensidades ou níveis de ocupação como destaca o item 2.3.

2.3 Níveis de urbano - diferentes intensidades de ocupação

Os ambientes urbanos têm a capacidade de agrupar diferentes tipos de serviços e negócios e, por isso, enfrenta a dificuldade quanto à possibilidade de proporcionar espaços de bem-estar social (FIDELIS-MEDEIROS, 2019).

Segundo Fidelis-Medeiros (2019) os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem contribuir para o planejamento e gestão de ferramentas de planejamento regional. Com o uso dessas ferramentas, o estudo do uso e ocupação do solo torna-se um dos principais indicadores para explicar a gestão ambiental urbana, bem como as estratégias voltadas à gestão, reorganização e desenvolvimento da sociedade e do território. Os SIG podem ser usados para o planejamento e gestão do espaço, aplicados para fins de correção de danos e impactos ambientais em ambientes urbanos e, ainda, ajuda a compreender a dinâmica da paisagem urbana e os rumos do desenvolvimento urbano.

Para a diferenciação das classes nas imagens de satélite, por mais que as diferentes categorias (classes) tenham respostas espectrais distintas, visualmente os

diferentes níveis de ocupação (intenso, médio e rarefeito), bem como das outras classes, diferem uns dos outros em relação a textura, projeção de sombra, forma, tom e cor.

A ocupação rarefeita apresenta ruas e estradas bem delimitadas, já que as construções estão mais afastadas. Apresenta maior quantidade de vegetação intra urbana em comparação a ocupação médio e/ou intensa, identifica-se pouca sombra, devido a pouca verticalidade das construções e presença de vazios. Já na identificação do urbano intenso, não é possível identificar nitidamente estradas e ruas, já que as edificações são mais densas, mais próximas, não há presença de vazios. Há presença de sombras pela verticalização e adensamento do urbano e é rara a presença de vegetação dentro desse nível de ocupação. O tipo de ocupação média se encontra entre os dois tipos supracitados e suas características são intermediárias.

2.3.1 Ocupação Intensa

Utilizando ferramentas como o globo virtual Google Earth é possível diferenciar diferentes intensidades de ocupação. As figuras 5 e 6 destacam como exemplo áreas de ocupação intensa.

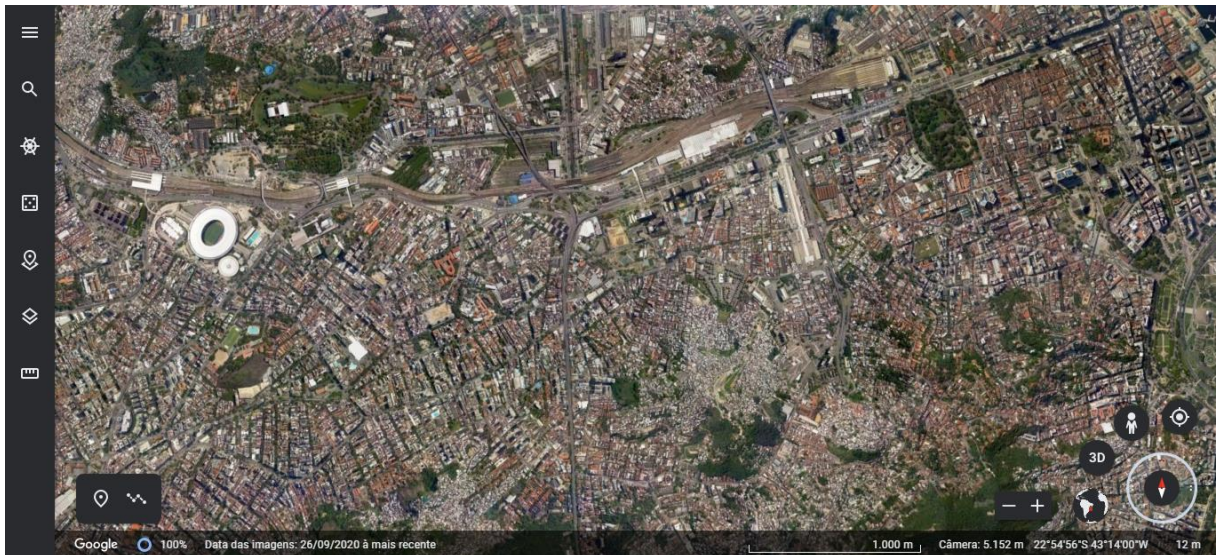


Figura 5: Exemplo de urbano intenso, centro do Rio de Janeiro, vista vertical. Fonte: Google Earth. Acesso em: Agosto/2022



Figura 6: Urbano intenso, centro do Rio de Janeiro, visão oblíqua. Fonte: blog Free Walker Tours. Acesso em: Agosto/2022

Essa é a área central da capital fluminense, o município do Rio de Janeiro, vista através de uma imagem de satélite e uma foto com uma visão oblíqua. Pode-se observar, a coloração cinza na imagem do Google Earth de composição cor verdadeira, os adensamentos e verticalização presentes na imagem que se apresentam através da sombra dos prédios e da ausência de limites claros entre as construções. As estradas e ruas não estão muito delimitadas na imagem, consegue-se distinguir algumas das principais vias. Não há presença de vazios na imagem.

A presença de vegetação na imagem é praticamente exclusiva da Quinta da Boa Vista, espaço de tombamento federal pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), que é um Parque Municipal onde hoje se localiza o BioParque, na parte superior esquerda da imagem e do Campo de Santana, que também é um parque tombado pelo IPHAN e se encontra em frente à Central do Brasil na parte superior direita da imagem.

2.3.2 Ocupação Média

Como exemplo de ocupação média (figuras 7 e 8), está o distrito de Niterói, Itaipu. Pode-se notar que a cor é diferente do tipo que representa a ocupação intensa que foi visto anteriormente, as estradas e ruas são um pouco mais visíveis, existe um pouco mais de vegetação entre as edificações, a verticalidade não é tão presente, não

percebe-se a presença de sombras que se dão pelas construções mais altas e densas como anteriormente, a textura também é um aspecto diferente do anterior.



Figura 7: Exemplo de urbano médio, Itaipu, vista vertical. Fonte: Google Earth. Acesso em: Agosto/2022



Figura 8: Urbano médio, Itaipu, Niterói, visão oblíqua. Fonte: Jornal A Tribuna. Acesso em: Agosto/2022

2.3.3 Ocupação Rarefeita

Santa Sofia um bairro em Seropédica, bem no centro da imagem, pode-se notar que existe bastante vegetação no meio do urbano, a cor é diferente das áreas urbanas vistas acima (figuras 5, 6, 7 e 8), as estradas e ruas são bem delimitadas, bem visíveis na imagem, não se percebe a presença de sombras, a textura é mais lisa e menos

densa que nos tipos de ocupação média e intensa.

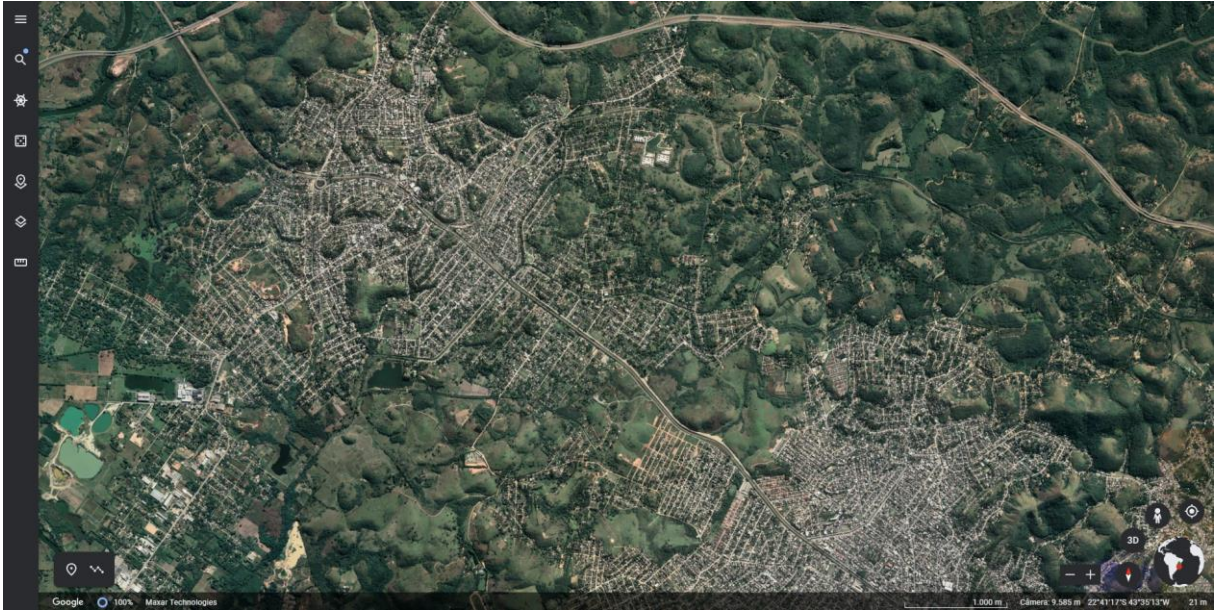


Figura 9: Urbano rarefeito, Bairro Santa Sofia, Seropédica, vista vertical. Fonte: Google Earth. Acesso em: Agosto/2022



Figura 10: Urbano rarefeito, Seropédica, visão oblíqua. Fonte: imagem. Acesso em: Agosto/2022

2.4 Comitês de Bacia - apoio à gestão de recursos hídricos

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA) os Comitês de Bacia Hidrográfica, entes do Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos, constituem

o Parlamento das Águas, espaço em que representantes da comunidade de uma bacia hidrográfica discutem e deliberam a respeito da gestão dos recursos hídricos compartilhando responsabilidades de gestão com o poder público. O Comitê de Bacia Hidrográfica é um grupo heterogêneo de pessoas e instituições que se reúnem para debater, negociar e decidir ações de interesse comum, que nesse caso é o uso e gestão da água na bacia.

Os comitês tomam decisões sobre a aprovação e o acompanhamento dos Planos de Recursos Hídricos da bacia (estratégias para a gestão); mediam conflitos que acontecem pelo uso da água (em primeira instância administrativa); decidem sobre códigos e cobranças pelo uso da água. Os Comitês de Bacias são de extrema importância para gerir os recursos nas bacias principalmente em regiões críticas onde ocorre escassez hídrica, inundações ou alteração da qualidade da água (ANA, 2020).

Existem Comitês Estaduais e Interestaduais que fazem parte desse Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos. Considerada como um marco histórico a lei federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, popularmente chamada de Lei das Águas, concebeu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que estabeleceu o uso múltiplo da água, com o reconhecimento de sua grande vulnerabilidade, enterrando o mito de bem eternamente renovável, atribuindo-lhe valor econômico, ensejando uma gestão participativa e descentralizada, e definindo a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento (NOGUEIRA, 2005). Essa lei nº 9.433/97 deu uma maior abrangência ao Código de Águas, de 1934, que centralizava as decisões sobre gestão de recursos hídricos no setor elétrico. Ao estabelecer como fundamento o respeito aos usos múltiplos e como prioridade o abastecimento humano e dessedentação animal em casos de escassez, a Lei das Águas deu outro passo importante tornando a gestão dos recursos hídricos democrática (ANA, 2020).

No estado do Rio de Janeiro são 9 Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH), identificados com a sigla RJ1 a RJ9, são eles, respectivamente: CBH do Rio Guandu; CBH do Rio Lagos São João; CBH dos Rios Macaé e das Ostras; CBH do Rio Piabanha; CBH da Baía de Guanabara; CBH Rio Dois Rios; CBH Médio Paraíba do Sul; CBH Baixo Paraíba do Sul; e CBH da Baía da Ilha Grande.

O Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá foi instituído por um decreto Estadual em 2005 e

alterado por um outro decreto em 2015, sua organização teve iniciativas da sociedade civil e dos usuários da água na região, apoiados pela Secretaria de Estado de Recursos Hídricos em 2001, foram formadas duas comissões, do Leste e do Oeste da Guanabara, tendo a Leste mais sucesso por ter o Instituto Baía de Guanabara como agente catalisador. Depois de alguns anos de trabalhos, reuniões, criação e participação em câmaras técnicas, eventos e seminários, em 2003 o Conselho Estadual de Recursos Hídricos aprovou a criação do Comitê do Leste da Guanabara, mas só em 2005 instituiu-se oficialmente o Comitê da Baía da Guanabara para além do leste. A missão desse comitê é integrar o empenho de Sociedade Civil, Usuários e Poder Público para tornar viável o uso dos recursos naturais de uma maneira sustentável e encontrar soluções de conservação, proteção e recuperação do ambiente e das águas na Baía de Guanabara (RHBG, 2020).

Segundo o site do Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (2020) no documento do Regimento interno do Comitê detalha-se seus objetivos, entre eles: Adotar bacias hidrográficas como unidades físico-territoriais de planejamento e gerenciamento específicos e diferenciados; promover, o gerenciamento descentralizado, participativo e integrado, levando em consideração as características quantitativas e qualitativas dos recursos hídricos; apoiar ações na defesa de eventos críticos que ofereçam riscos à saúde e segurança, bem como prejuízos ambientais, econômicos e sociais; identificar causas e efeitos adversos da poluição, desmatamentos, inundações, estiagens, erosão do solo e do assoreamento dos corpos hídricos nas áreas silvestres, rurais e urbanas; estimular a proteção das águas contra ações que possam comprometer o uso atual, projetado e futuro; promover a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental; entre outros.

Ainda falando Comitê da Bacia da Baía de Guanabara, ele conta com um ambiente virtual, no sítio existe um portal SIG integrado para a divulgação para interessados e público em geral algumas informações especializadas sobre essa área de interesse, essas informações são originárias do INEA, Plano Diretor de Recursos Hídricos e Projeto de Dragagem das Lagoas do Sistema Lagunar de Jacarepaguá, inclusive a escolha dos dados, informações e limites utilizados nos mapas e tabelas confeccionados convergem com a origem dessas informações do Comitê e, recentemente, no ano de 2021, lançou o ATLAS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA V - Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá 1ª Edição.

2.5 Mapeamento temático e abordagem em Nuvem - o caso da plataforma Google Earth Engine

O processo de mapeamento temático já estava consolidado em Sistemas de Informações Geográficas desktop, local, a tradição da produção temática utilizando imagens de satélite e aerofotogrametria tendo como produtos mapas e representações cartográficas permitiram em ambiente computacional físico aumentar a qualidade das representações gráficas e informações obtidas relacionadas às informações analógicas. E com o advento do processamento em nuvem os mapeamentos em plataformas como o Google Earth Engine se tornaram possíveis, havendo assim novos avanços para o mapeamento e modelagem de dados.

O fluxo de produção e a consequente disponibilidade de dados que ocorre nos dias atuais é grande. Vive-se a era do “*Big Data*”, que, de maneira simples, é o fenômeno de produção e processamento de grandes volumes de dados. Segundo Yang et al. (2017) nunca se gerou tantos dados como agora, principalmente por causa da internet, a sociedade cria a todo momento dados em redes sociais ou aplicativos. Desde o início dessa grande produção de dados, buscaram-se soluções para processar esses dados e informações de forma rápida e eficaz, isso gerou um crescimento do número das plataformas de computação em nuvem para facilitar o uso desse grande volume e velocidade de dados.

Além disso, existe um mundo de lógicas de programação que proporcionaram a criação de inúmeros algoritmos e lógicas de classificação geográfica que evoluíram neste período, junto dos avanços tecnológicos, e com essa possibilidade e facilidade de acesso, processamento e compartilhamento em nuvem, romperam-se ainda mais barreiras nesse processo produtivo.

A nuvem é o espaço em que dados, softwares, aplicativos e serviços são hospedados por provedores. O acesso a esse espaço é feito por meio de conexão à internet. A computação em nuvem, também chamada de “*Cloud Computing*”, é a possibilidade de diminuir a dependência de hardwares, equipamentos e acessar arquivos, banco de dados, executar tarefas e usar softwares pela Internet, sem a necessidade de instalar aplicativos ou ter que se preocupar com espaço no computador.

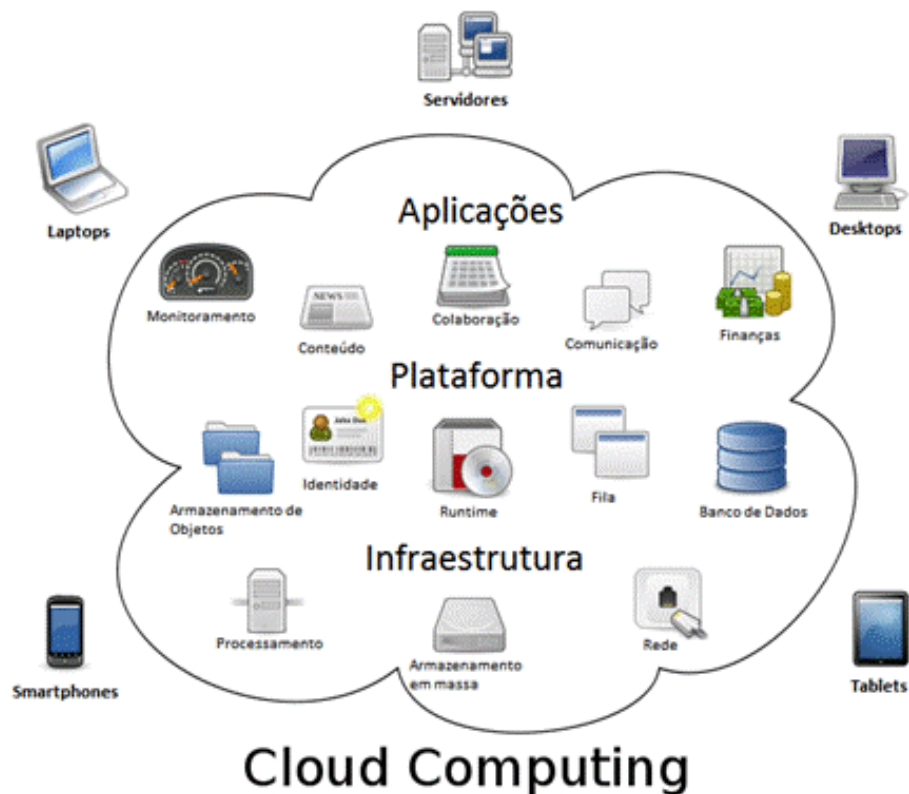


Figura 11: Computação em nuvem, adaptado de Johnston (2009)

A computação em nuvem oferece recursos na forma de serviços e estes são três tipos: Software como Serviço (SaaS); Plataforma como Serviço (PaaS); e Infra-estrutura como Serviço (IaaS).

Segundo Ruschel, Zanotto e Da Mota (2010), que falam sobre esses três tipos de serviços, resumidamente Software como Serviço (SaaS) é o uso de aplicações do fornecedor que podem ser acessadas de vários dispositivos sem administrar ou controlar a infra-estrutura básica de rede, servidores, armazenamento. É uma aplicação que roda inteiramente em nuvem, sem a necessidade do aplicativo ou software na máquina, como banco de dados e processadores de textos.

Já na Plataforma como Serviço (PaaS) o usuário pode modificar, através de linguagens de programação e ferramentas de desenvolvimento, um software, gerando colaboração entre desenvolvedores. Não há mudança na infra-estrutura básica, mas sim na aplicação, por isso possibilita a integração para testes e implementação de novos recursos. Na Infra-estrutura como Serviço (IaaS) o usuário não administra ou controla a infra-estrutura da nuvem em si, mas sim os sistemas operacionais, armazenamento, aplicativos, servidores e até rede.

A computação em nuvem é um conceito geral de aplicações, mas a procura de soluções para otimizar o tempo e não sobrecarregar a capacidade das máquinas também é uma procura quando a questão são processamentos de dados geográficos, e dentre inúmeras plataformas, uma das existentes, hoje, para mapeamento de dados geográficos em nuvem é o Google Earth Engine, ele se encaixa na Plataforma como Serviço.

Desenvolvido pela infraestrutura de nuvem do Google, o GEE, Google Earth Engine, é uma plataforma em escala planetária para dados e análises de ciências da Terra que permite desenvolver e hospedar aplicações web que comporta a realização de classificação e mapeamento automático da cobertura terrestre.

O Google Earth Engine é gratuito, com grande facilidade de acesso, consegue-se satisfatoriamente fazer o sensoriamento remoto, coletar, detectar, medir além de conseguir compartilhar pelo Google Drive e dentro da plataforma, é necessária apenas uma máquina com conexão à internet e um e-mail do Google. Esses processos, antigamente, eram demorados e tinham que ser feitos em vários lugares diferentes, exigia tempo e dinheiro. Hoje com o GEE pode-se fazer todo o estudo em um só lugar sem ocupar espaço no computador com uso e compartilhamento facilitado. O geoprocessamento de grandes áreas em pouco tempo também é uma característica, a velocidade de coleta de dados e mapeamento, é excelente, o GEE é um ótimo ambiente para análise de dados geográficos e vem sendo utilizado em trabalhos sendo desenvolvidos com excelência.

Segundo a tradução livre da própria página do GEE (2022), O Google Earth Engine combina um catálogo de vários petabytes de imagens de satélite e conjuntos de dados geoespaciais com recursos de análise em escala planetária. Cientistas, pesquisadores e desenvolvedores usam o Earth Engine para detectar mudanças, mapear tendências e quantificar diferenças na superfície da Terra. A Interface de Programação de Aplicação do Earth Engine (API) está disponível em Python e JavaScript, facilitando o aproveitamento do poder da nuvem do Google para sua própria análise geoespacial.

Gorelick *et. al.* (2017) mostram alguns usos da plataforma Google Earth Engine: mudanças mundiais em superfície de água, mapeamento de cultivos e colheitas, mudanças mundiais em florestas, planejamento urbano, inundações, controle de riscos.

Conheça o Earth Engine

O Google Earth Engine combina um catálogo de vários petabytes de imagens de satélite e conjuntos de dados geoespaciais com recursos de análise em escala planetária. Cientistas, pesquisadores e desenvolvedores usam o Earth Engine para detectar mudanças, mapear tendências e quantificar diferenças na superfície da Terra. O Earth Engine agora está disponível para uso comercial e permanece gratuito para uso acadêmico e de pesquisa.

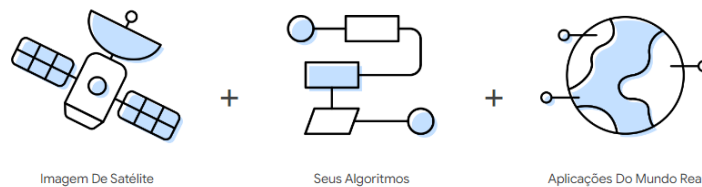


Figura 12: Estrutura do Google Earth Engine. Fonte: code.earthengine.google.com Acesso em: Setembro/2022

O Google Earth Engine possibilitou processar com rapidez e precisão grandes quantidades de imagens de satélite, identificando onde e quando as mudanças ocorreram, o editor de código baseado na web é usado para desenvolvimento rápido e interativo de algoritmos com acesso instantâneo a petabytes de dados.

Foi usado no presente trabalho o recurso de desenvolvedor, utilizando a linguagem Python dentro do código de editor do GEE, e aplicando um algoritmo para a classificação em nuvem que já estava pronto e foi criado por Christian Cunha.

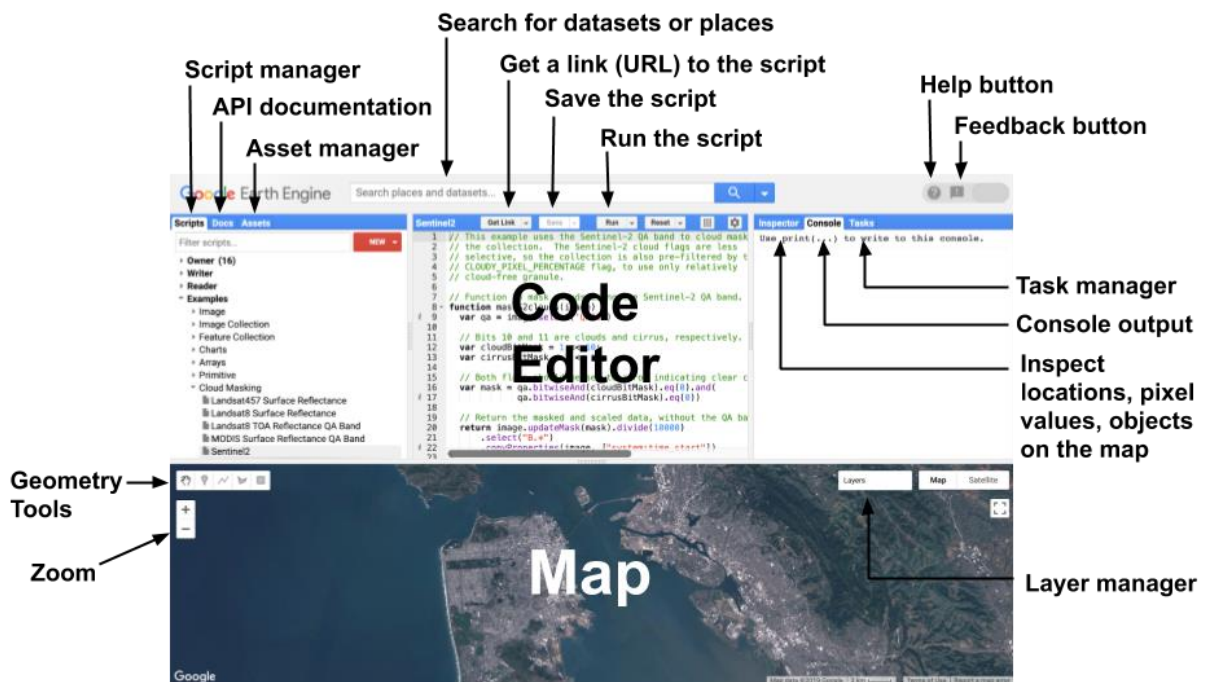


Figura 13: Diagrama de componentes do Earth Engine Code Editor. Fonte: code.earthengine.google.com Acesso em: Setembro/2022

III. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi dividida em seis (6) etapas, como destaca a figura 14. Cada etapa será um tópico da metodologia.



Figura 14: Metodologia do Trabalho. Fonte: Autor.

3.1 Revisão bibliográfica e coleta de dados

A etapa 1 iniciou pela revisão da bibliografia e delimitação conceitual. Posteriormente foi realizada a seleção e ajuste de dados. Nesse momento foi importante definir o limite oficial da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, visto que há diferenças entre os recortes quando se considera os gestores estaduais ou federais (INEA ou ANA). Os principais autores que abordam ou já realizaram estudos nessa área foram consultados. Os principais projetos e iniciativas que envolvem a área de estudo (como projetos de saneamento e despoluição, PRA-Baía), quais instituições estão presentes nos estudos e pesquisas relacionadas à bacia há anos como o Comitê BHBG (que recentemente lançou o Atlas da Região Hidrográfica V), INEA, Instituto Baía de Guanabara já citados anteriormente.

Em seguida foi realizada a organização das bases e de todos os dados considerando ajustes e edição dos dados utilizados. Os dados foram disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), INEA (Instituto Estadual do Ambiente), ANA (Agência Nacional das Águas), SIG-RHBG (que é o Sistema de Informação Geográfica da Região Hidrográfica Baía de Guanabara), MPRJ (Ministério Público do Rio de Janeiro).

3.2 Classificação e mapeamento no GEE

A etapa de classificação é considerada a mais importante do processo por

permitir a diferenciação das classes de ocupação urbana e níveis de intensidade no período. A classificação foi desenvolvida na plataforma Google Earth Engine, adotando-se o intervalo entre 2010 e 2020. A escolha desse intervalo se deu pela oferta dos dados, esse tempo foi escolhido sobretudo em relação a visão de efetivas mudanças na área de estudo. Talvez se o período de tempo fosse aumentado precisaria de outras imagens, insumos com melhor qualidade com melhor facilidade de comparação e dados, e se fosse diminuído não haveria mudança no tempo.

Para a classificação temática considerando os diferentes níveis de ocupação foi utilizado um código na linguagem computacional em Python, criado por Christian Cunha, Gestor Ambiental pela Universidade Federal do Pampa, Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Santa Maria e Doutorando em Sensoriamento Remoto pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, este código de programação está disponível e publicado pelo pesquisador com acesso aberto na plataforma do Google Earth Engine.

Como o foco do trabalho é o interesse da mudança na classificação dos níveis de ocupação urbana, e sabendo que é importante trabalhar o mapeamento com confiança, precisaria de dedicação em várias frentes para cumprir um aprofundamento desse algoritmo com qualidade. A escolha deste algoritmo se deu em função dele já estar validado em uma pesquisa, a pesquisa ainda não está publicada, mas o algoritmo foi desenvolvido como parte de uma tese de doutorado do autor, Christian, citado anteriormente, e disponibilizada ao público pelo GEE e está presente no link: <<https://code.earthengine.google.com/86e133447a5b7d91c7d24748cbb43d62>>.

O objetivo principal deste estudo está concentrado no mapeamento na nuvem como suporte para a realização de uma análise temporal na área de estudo, mas entende-se a importância do algoritmo nesse processo. O algoritmo presente no código de programação é o RandomForest. Neste algoritmo são criadas várias árvores de decisão que definem regras e o algoritmo cria uma estrutura como “nós” até o fim da árvore de maneira aleatória.

O código permite a importação da coleção de imagens de interesse para pesquisa, sendo escolhidas imagens dos satélites Landsat 7 e Landsat 8, respectivamente, as bandas utilizadas para o ano de 2010 com a imagem do Landsat 7 foram as bandas B1, B2, B3, B4, B5, B7 e as usadas para 2020 do Landsat 8 foram B2, B3, B4, B5, B6, B7. Foi utilizado o intervalo do primeiro ao último dia do ano de 2010 e o mesmo intervalo para o ano de 2020 como chave de busca das imagens.

```

Link 86e133447a5b7d91c7d24748cbb43d62  Get Link  Save  Run  Reset  Apps
Imports (5 entries)
  var geometry: Polygon, 4 vertices
  var agua: FeatureCollection (8 elements)
  var vegetacao: FeatureCollection (8 elements)
  var agricultura: FeatureCollection (8 elements)
  var area_urbana: FeatureCollection (8 elements)
1 // Classificação de Imagem Supervisionada
2 // Autor: Christian Cunha - Gestor Ambiental/UNIPAMPA, Msc Recursos Hídricos/UFSM
3 // Doutorando em Sensoriamento Remoto/UFRGS
4 // Data: 23/04/2021
5 //Classificação de imagens
6
7
8 // Definição de área de estudo
i 9 var area_estudo = geometry
10
11 // Criando amostras
i 12 var features = agua.merge(vegetacao).merge(agricultura).merge(area_urbana)
i 13 print('amostras', features)
14
15 // Importando Coleção de imagem
16 var l8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")
17   .filterDate('2018-01-01', '2018-12-31')
18   .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than', 10)
19   .filterBounds(area_estudo)
20   .median()
i 21   .clip(area_estudo)
22
23 // Selecionando as bandas
i 24 var bands = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7']
i 25 var classe = 'classe'
26

```

Figura 15: código de programação do algoritmo usado na classificação - parte 1

```

27 // Faça uma amostra do composto para gerar dados de treinamento.
28 // Observe que o rótulo da classe é armazenado na propriedade 'classe'.
29 var training = l8.select(bands).sampleRegions({
30   collection: features,
31   properties: [classe],
32   scale: 30
33 });
34
35 //Treinando o Classificador
36 var classificador = ee.Classifier.smileRandomForest(5).train({
37   features: training,
38   classProperty: classe,
39 });
40
41 //Imprima algumas informações sobre o classificador
42 print('Random Forest, explained', classificador.explain());
43
44 //Classifique o composto.
45 var classificado = l8.classify(classificador);
46
47 // Adicionando Layers
i 48 Map.addLayer(area_estudo, {}, 'Area de Estudo', false)
49 Map.addLayer(classificado, {min: 0, max: 3, palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'red']}, 'Cl
i 50 Map.centerObject(area_estudo, 12)
i 51 Map.setOptions('HYBRID');
52
53
54 //Acurácia
55 // Opcionalmente, faça alguma avaliação de precisão. Adicione uma coluna de
56 // uniformes aleatórios para o conjunto de dados de treinamento.
57 var withRandom = training.randomColumn('random');
58

```

Figura 16: código de programação do algoritmo usado na classificação - parte 2

```

59 //Queremos reservar alguns dos dados para teste, para evitar overfitting do modelo.
60 var split = 0.7; // Aproximadamente 70% treinando, 30% testando.
61 var trainingPartition = withRandom.filter(ee.Filter.lt('random', split));
62 var testingPartition = withRandom.filter(ee.Filter.gte('random', split));
63
64 // Treinado com 70% dos nossos dados..
65 var trainedClassifier = ee.Classifier.smileRandomForest(5).train({
66   features: trainingPartition,
67   classProperty: classe,
68   inputProperties: bands
69 });
70
71 // Classifica o teste FeatureCollection.
72 var test = testingPartition.classify(trainedClassifier);
73
74 //Imprime a matriz de confusão.
75 var confusionMatrix = test.errorMatrix(classe, 'classification');
76 print('Confusion Matrix', confusionMatrix);
77
78 var confMatrix = trainedClassifier.confusionMatrix()
79 var OA = confMatrix.accuracy()
80 var CA = confMatrix.consumersAccuracy()
81 var Kappa = confMatrix.kappa()
82 var PA = confMatrix.producersAccuracy()
83 var Order = confMatrix.order()
84
85 print(confMatrix, 'Matriz de Confusão')
86 print(OA, 'Acurácia geral da validação:')
87 print(Kappa, 'Kappa ')
88 print(CA, 'Acurácia do Consumidor ')
89 print(PA, 'Acurácia do Produtor ')
90 print(Order, 'Order')

```

Figura 17: código de programação do algoritmo usado na classificação - parte 3

3.3 Validação da classificação - índice Kappa e Exatidão Global

Nessa terceira etapa, a fase de classificação, foi delimitado o polígono que corresponde a área de estudo, figura 18. Após o ajuste do polígono à área de estudo, foram realizados ajustes necessários à adaptação do código ao estudo de caso em questão, com relação às bandas do sensor que seriam utilizadas (que são diferentes nos satélites Landsat 7 e 8), bem como adicionar as novas classes no programa, ajustar essas classes às novas cores da classificação e importar a coleção de imagens escolhida.

Logo após a delimitação do polígono de interesse e ajuste do código foram coletadas amostras para separar as classes a saber: água, vegetação, o urbano (classificado em diferentes densidades) em urbano intenso, urbano médio e urbano rarefeito e a classe outras (que envolve solo exposto e faixa de areia), figura 19. Esses ajustes no código de programação, assim como a coleta de amostras, tiveram que ser feitas para cada ano.

No ambiente supracitado, Google Earth Engine, no código utilizado houve também o cálculo do valor do coeficiente kappa (por volta de 0,98), da acurácia geral da validação (aproximadamente 0,99) e outras variáveis para os dois anos em

questão, figuras 20 e 21. Esses valores de kappa e acurácia geral da validação estão dentro do código de programação e são valores gerados a partir da matriz de confusão automaticamente, a partir das amostras.

A acurácia geral da validação é um parâmetro mais simples, basicamente o número de previsões corretas do modelo. O kappa é um método estatístico que permite analisar de forma comparativa os resultados das análises dos mapas obtidos por meio do sensoriamento remoto, dentro de certo limite (LANDIS & KOCH,1977). O valor de Kappa pode variar e quanto mais perto de 1, indica maior concordância. Segundo Landis e Koch (1977) o valor de kappa menor que zero é insignificante (poor), entre 0 e 0,2 é fraca (slight), entre 0,21 e 0,4 é razoável (fair), entre 0,41 e 0,6 é moderada (moderate), entre 0,61 e 0,8 é forte (substantial) e entre 0,81 e 1 é quase perfeita (almost perfect). Os valores dos parâmetros de validação na classificação de 2010 foram, acurácia geral da validação igual a 0.9938735322004231 e índice kappa 0.9863202063965819. Na classificação 2020 o valor da acurácia geral da validação foi 0.9979451182920842 e o kappa 0.9945312286937616. A acurácia e o Kappa foram satisfatórios dentro dos parâmetros de validação do algoritmo.

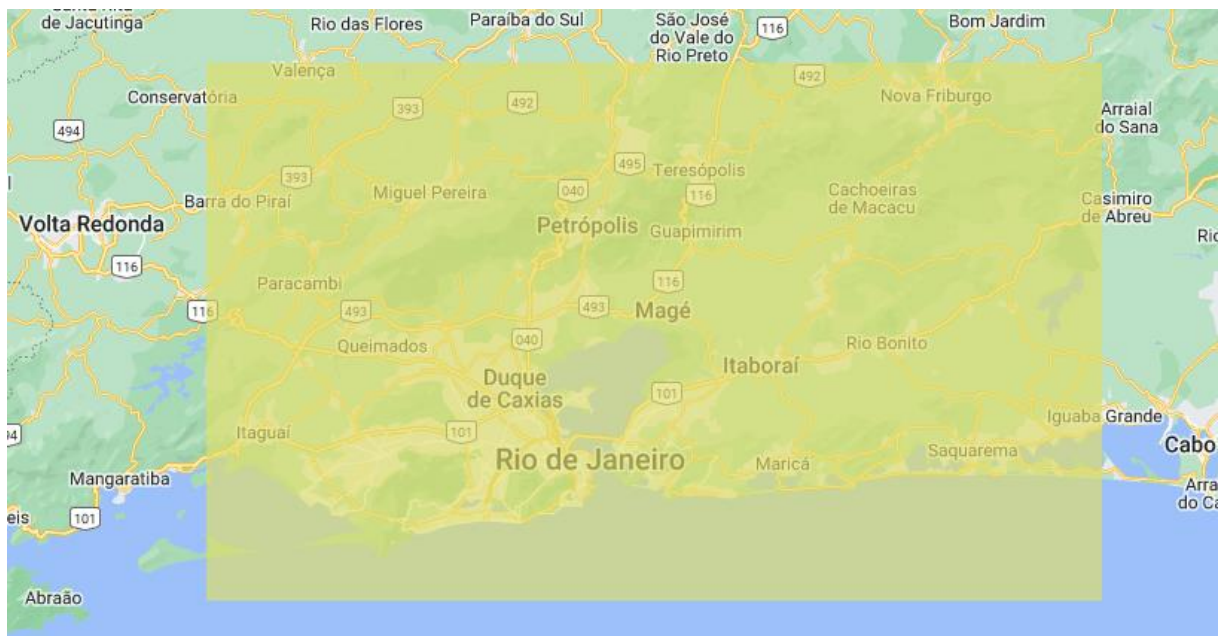


Figura 18: polígono de delimitação da classificação no GEE

Lagunares de Maricá e Jacarepaguá de 2021, as principais sub-bacias da RH-V: Bacias Drenantes da Vertente Sul da Serra da Carioca; Bacias Contribuintes à Praia de São Conrado; Bacias Contribuintes ao Sistema Lagunar de Jacarepaguá; Bacias Drenantes da Vertente Norte da Serra da Carioca; Bacia do Faria-Timbó; Bacia do Irajá; Bacia do Pavuna-Meriti; Bacia do Iguaçú; Bacia do Estrela, Inhomirim, Saracuruna; Bacia do Suruí; Microbacia da Ilha do Governador; Bacia do Iriri; Bacia do Roncador; Bacia do Guapimirim-Macacu; Bacia do Caceribu; Bacia do Guaxindiba-Alcântara; Bacias Contribuintes às Lagoas de Itaipu-Piratininga; Bacias Contribuintes ao Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina. (COIMBRA, et. al, 2021)

No âmbito geral da bacia, as principais mudanças na área de estudo foram da ordem de 19%. Não foram consideradas as classes em que não houveram mudanças. Quase 81% da área da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara manteve a classe de uso e cobertura da classificação de 2010 para 2020. No cálculo das porcentagens foram usados os valores de área da bacia e quantidades de pixels modificados nos rasters para o período estudado.

3.6 Análise espacial da intensidade de ocupação nas sub-bacias da Baía de Guanabara e correlação com dados secundários

A análise implementada para cada sub-bacia se deu de acordo com os maiores percentuais de mudanças dentro daquela sub-bacia, houveram bacias que não tiveram mudanças significativas como as microbacias de Ilhas Marítimas. Os dados resultantes do *COMBINE* permitiram esse tipo de análise. Partindo da classificação e da combinação dos rasters gerou-se uma tabela que mostra a relação da classificação dos pixels nos dois anos, 2010 e 2020, em relação ao uso e cobertura da terra, a partir disso foi feita uma porcentagem dos pixels que mudaram com relação à área de cada sub-bacia.

Os dados secundários como Unidades de Conservação, rede de transportes e áreas sujeitas a inundação, assim como os dados geológicos e geomorfológicos levantados na revisão conceitual foram observados a fim de investigar algum tipo de correlação entre as características da Baía de Guanabara e sua expansão e densificação urbana.

IV. RESULTADOS E CONCLUSÕES

As classificações geradas pelo mapeamento em nuvem que foram usadas para fazer as análises pertinentes estão apresentadas nas figuras 24 e 25 a seguir.

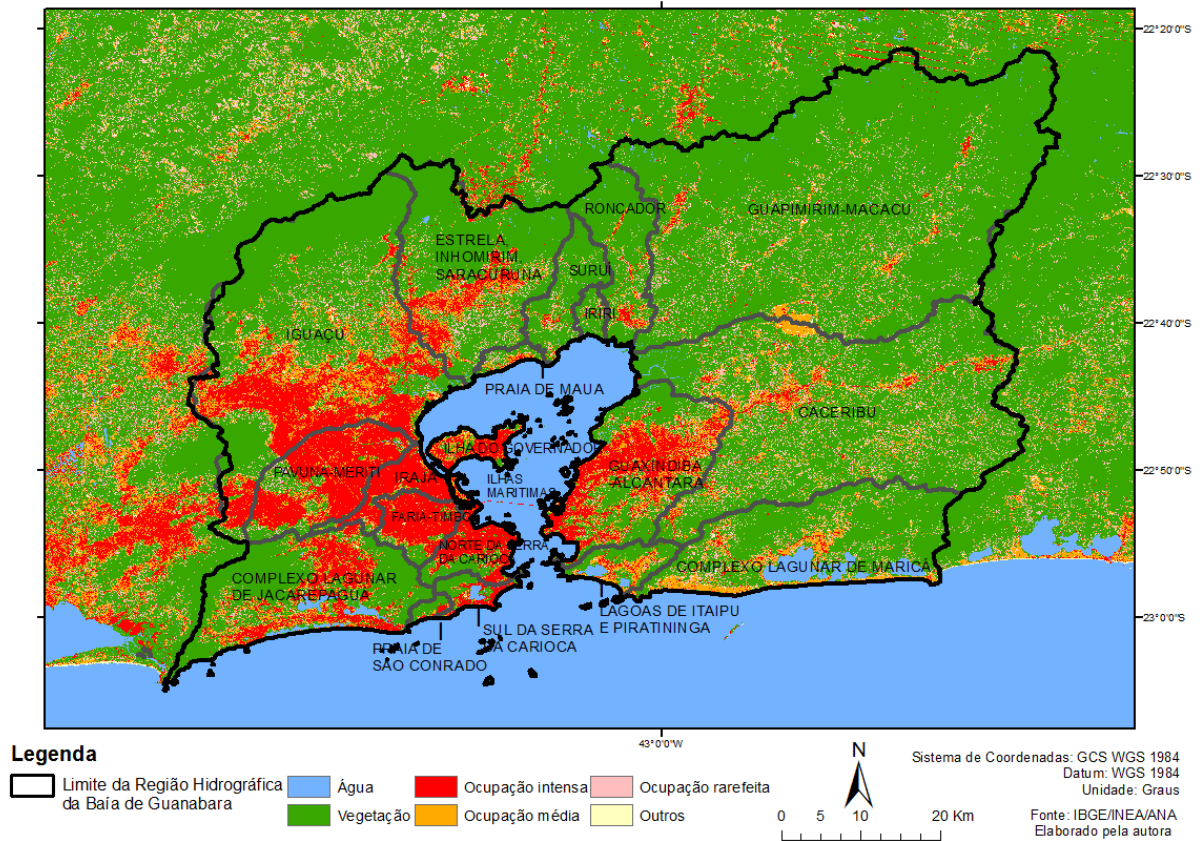


Figura 20: Classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2010. Fonte: Autora.

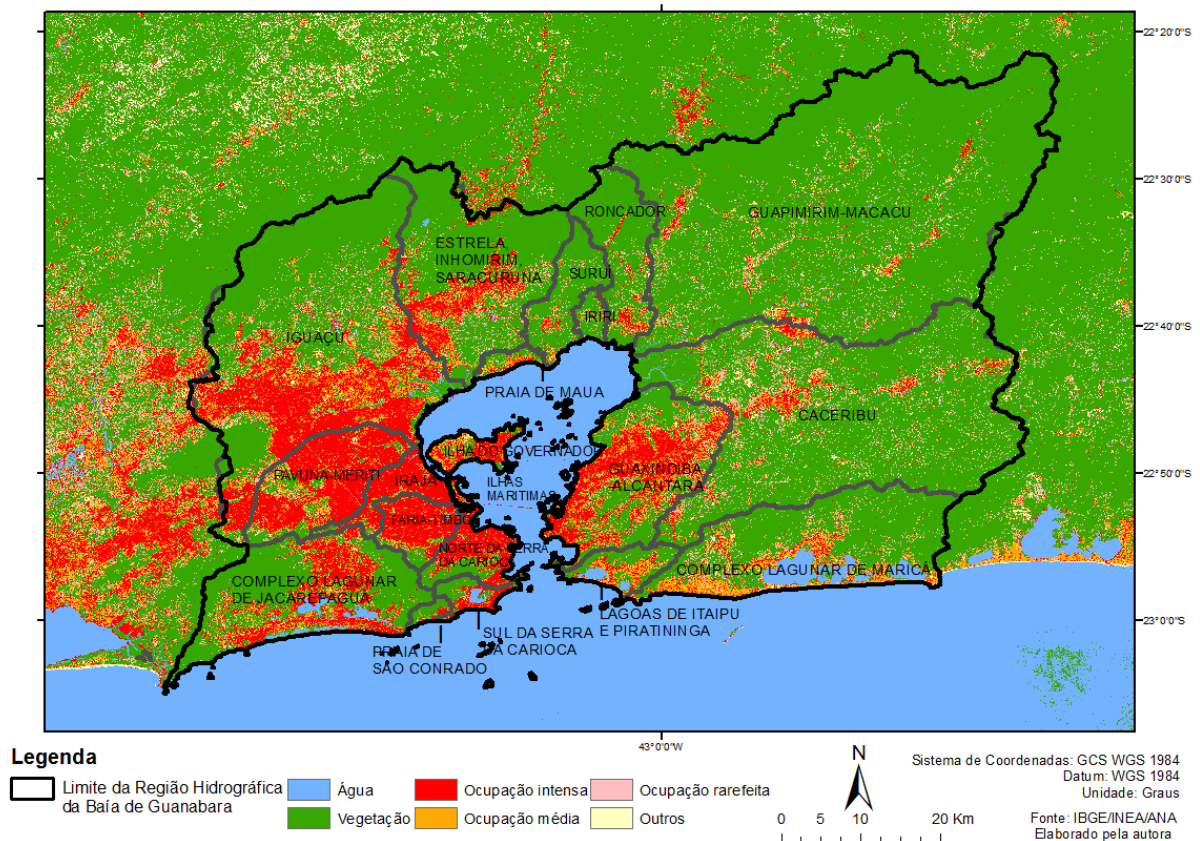


Figura 21: Classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2020. Fonte: Autora.

Um dos primeiros produtos gerados pela etapa três (3) da metodologia foi o arquivo raster passível de download. O resultado do uso da ferramenta *COMBINE* das classificações para os dois anos com o raster da bacia é a figura 22. E a imagem que mostra como ficou estruturada a tabela gerada por essa operação que mostra onde houve mudança no uso do solo é a figura 23.

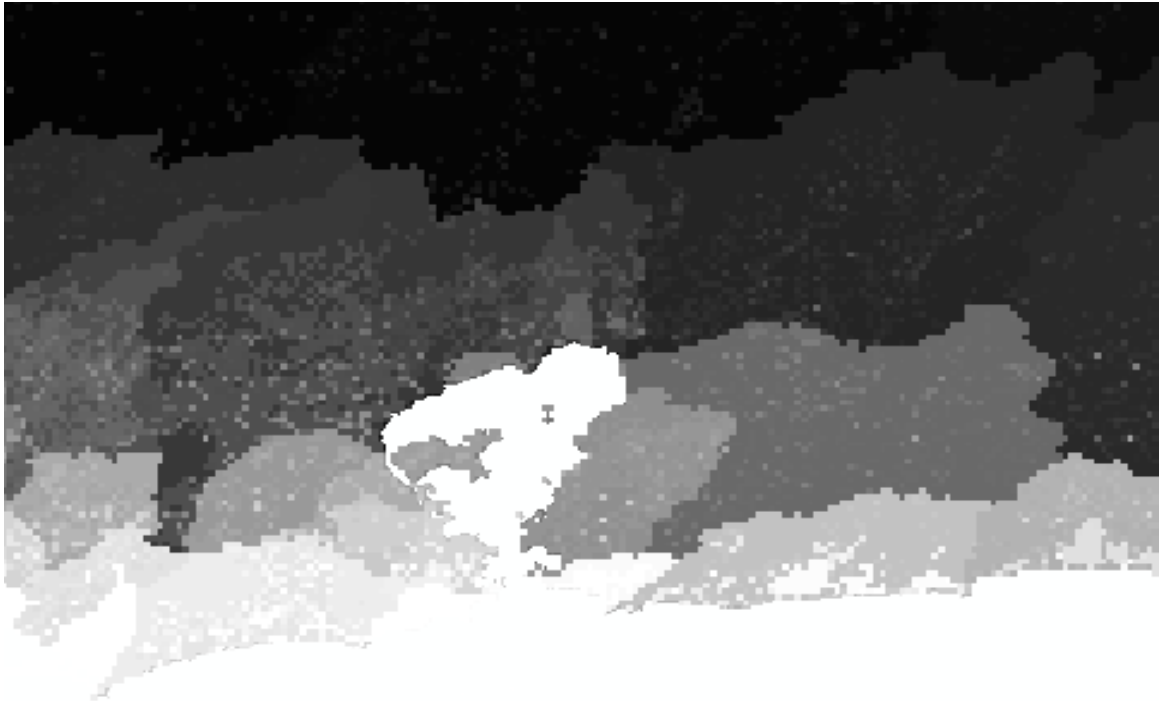


Figura 22: Raster gerado pelo *COMBINE* das classificações e bacias. Fonte: Autor.

	A	B	C	D	E	F
1	Rowid_	VALUE	COUNT	BACIA_RASTER1	CLASSIFICACAO_10	CLASSIFICACAO_20
2	0	1	11246	46	1	1
3	8	9	84	46	4	4
4	13	14	53	46	3	3
5	15	16	5	46	0	0
6	20	21	43	46	2	2
7	30	31	13	46	5	5
8	1	2	45	46	0	1
9	2	3	38	46	2	1
10	3	4	179	46	3	1
11	4	5	56	46	5	1
12	5	6	130	46	1	3
13	6	7	67	46	3	2
14	7	8	577	46	4	1
15	9	10	420	46	1	4
16	10	11	23	46	4	3
17	11	12	90	46	1	2
18	12	13	21	46	4	2

Figura 23: Imagem da estrutura da tabela bruta após o uso da ferramenta *COMBINE* dos rasters da classificação. Fonte: Autor.

As principais mudanças na área de estudo como um todo, dividiu os 19% de mudança e não considerou as classes em que não houveram mudanças. Quase 81% da área da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara manteve a classe de uso e

cobertura da classificação de 2010 para 2020. Os outros aproximados 19%, área da bacia em que houve mudança, corresponde a aproximadamente 90986 hectares. As principais mudanças foram, em ordem, respectivamente: a vegetação transformada em algum dos níveis de urbano (aproximadamente 6% da área total da bacia 28802 ha), urbano médio se transformando em urbano intenso (perto de 3,5%, 16683 hectares), urbano rarefeito se tornando vegetação (15397 hectares, aproximados 3,2%), urbano intenso voltando a ser urbano médio (13291 ha, aproximando 2,8%).

Maiores mudanças (em %)

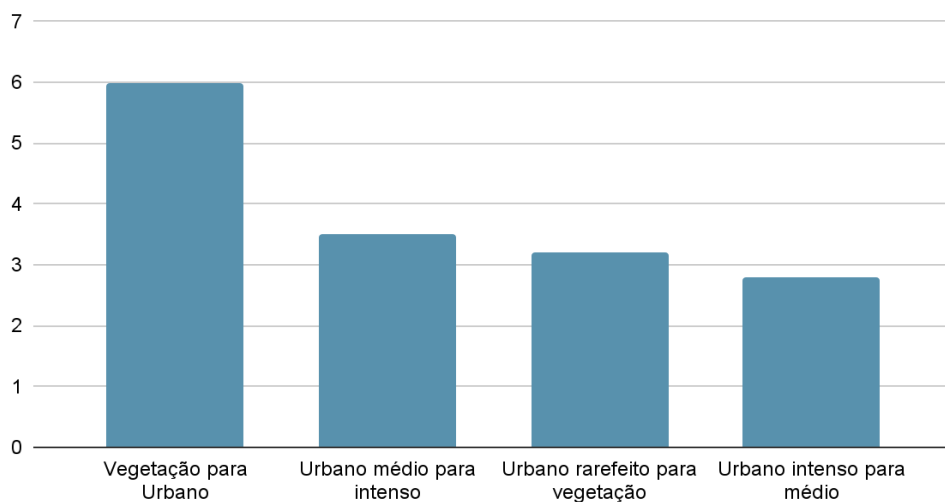
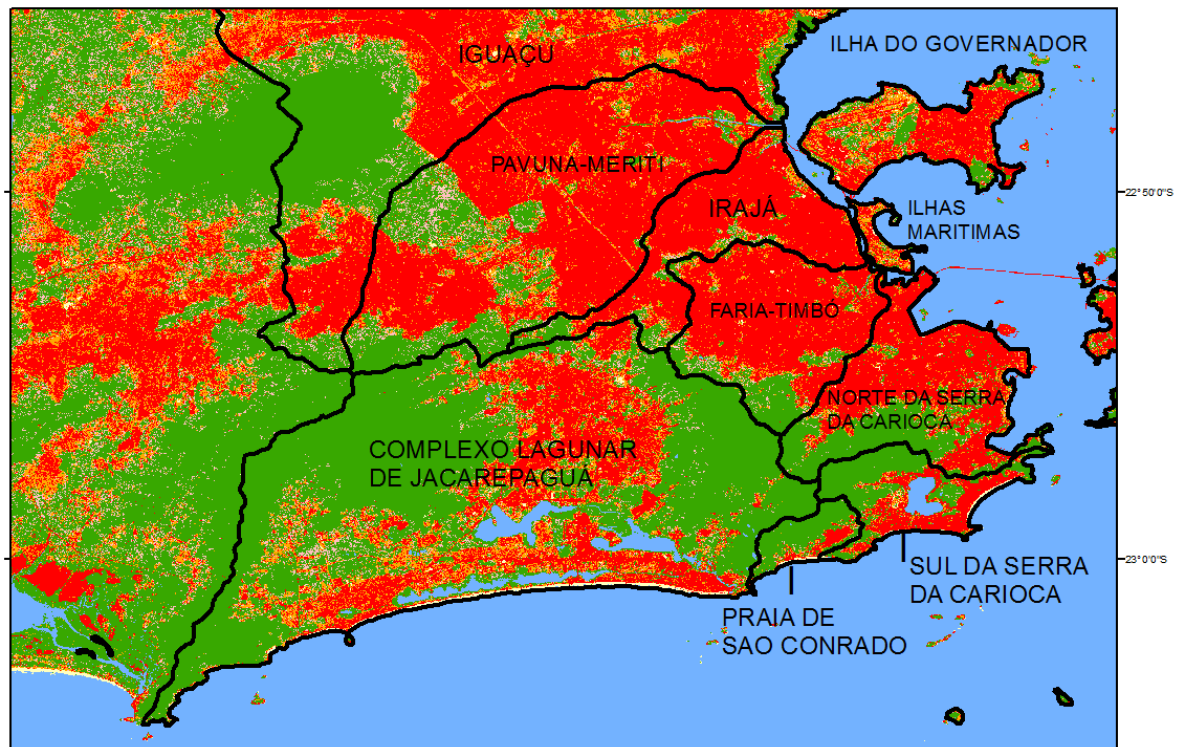


Figura 24: Gráfico das mudanças mais significativas na RH-V. Fonte: Autor.

As mudanças de maior proporção mostradas na figura 24 referentes a vegetação para urbano e urbano médio para intenso eram esperadas. As mudanças de urbano rarefeito se tornando vegetação e urbano intenso voltando a ser urbano médio em sua maioria são ruídos, pois essa situação só aconteceria se houvesse uma demolição de construções em massa nesse período de 10 anos, e isso não aconteceu. A correção desses ruídos demanda muito tempo para edição e tratamento desses dados, como o índice kappa atendeu ao mínimo exigido, optou-se por não fazer esse tratamento, acredita-se que com uma máscara de edição ou verificação desses ruídos o resultado teria sido otimizado e essa confusão na classificação teria sido diminuída.

Fazendo agora a análise das mudanças por sub-bacias:



Legenda

Limite da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara

Água

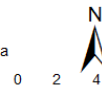
Vegetação

Ocupação intensa

Ocupação média

Ocupação rarefeita

Outros



Sistema de Coordenadas: GCS WGS 1984

Datum: WGS 1984

Unidade: Graus

Fonte: IBGE/INEA/ANA
Elaborado pela autora

Figura 25: Detalhe sudoeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2010. Fonte: Autora.

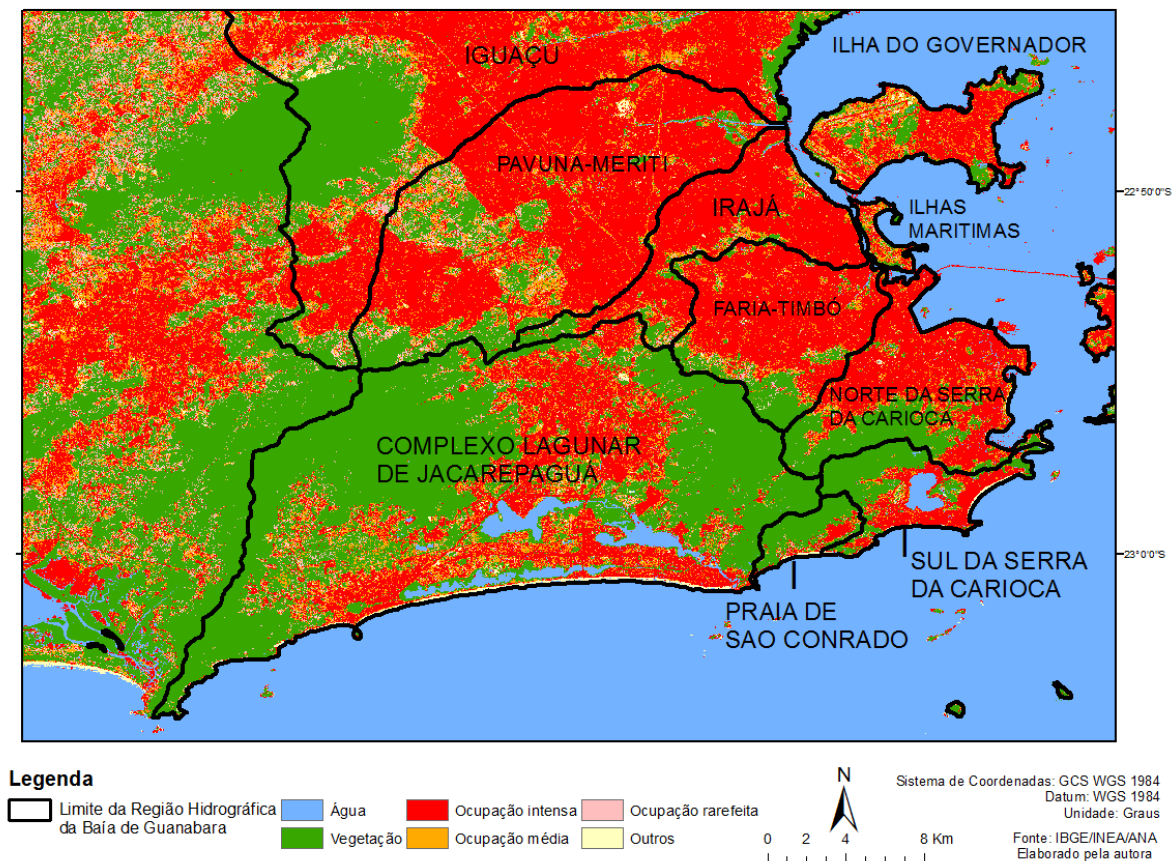


Figura 26: Detalhe sudoeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2020. Fonte: Autora

As Bacias Contribuintes ao Complexo Lagunar de Jacarepaguá apresentaram mudanças intra urbanas, uma densificação de ocupação de nível médio para intenso 4,5% sendo correspondente a 1368 hectares da área da bacia. Houve mudança da vegetação para áreas construídas: para ocupação intensa foram 2,1%, correspondentes a 642 ha, para ocupação média foram 2,2%, 661 ha e para o ocupação rarefeita, 1,7%, 509 hectares.

As Bacias Drenantes da Vertente Sul da Serra da Carioca também apresentaram adensamento urbano e supressão vegetal. De ocupação média para intensa foram 144 hectares de adensamento, que corresponde a quase 5% da área desta sub-bacia. A supressão vegetal se deu por: 1,3% para urbano rarefeito, 1,3% para urbano médio e 2,3% para urbano intenso, essa soma corresponde também a 144 hectares da área destas bacias.

Bacias Contribuintes à Praia de São Conrado: 4,3% de adensamento de ocupação média para intenso na ordem de 47 hectares, e vegetação se tornando

urbano médio em 1,7% da área desta sub-bacia, sendo 19 hectares foram as mudanças mais relevantes desta bacia.

Nas Bacias Drenantes da Vertente Norte da Serra da Carioca a supressão vegetal foi de 5,1% da área da sub-bacia, 141 ha: 2,1% de ocupação intensa, 2,3% de ocupação média, 150 ha e 0,7% de ocupação rarefeita, 47 ha. O adensamento foi na ordem de 3,4% de urbano médio para urbano intenso, sendo 226 hectares.

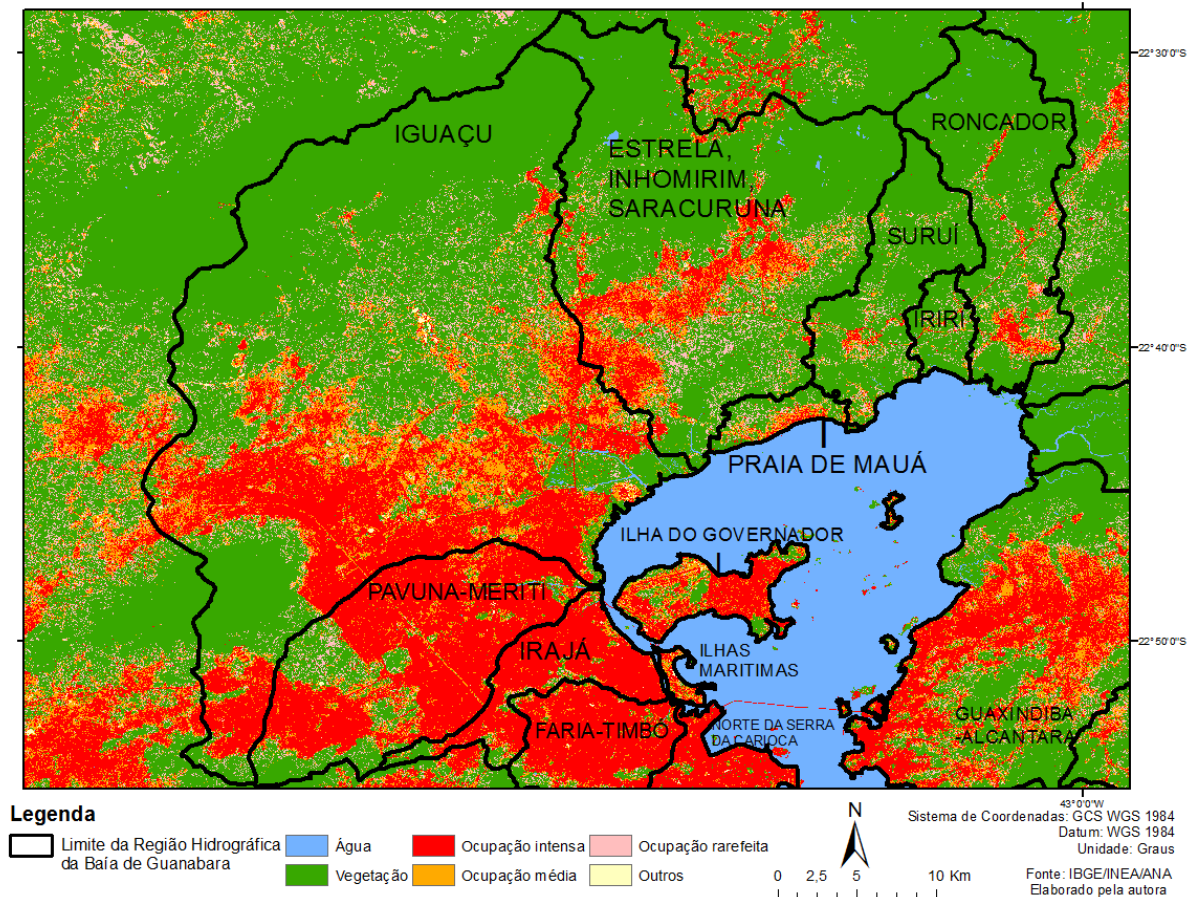


Figura 27: Detalhe noroeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2010. Fonte: Autora.

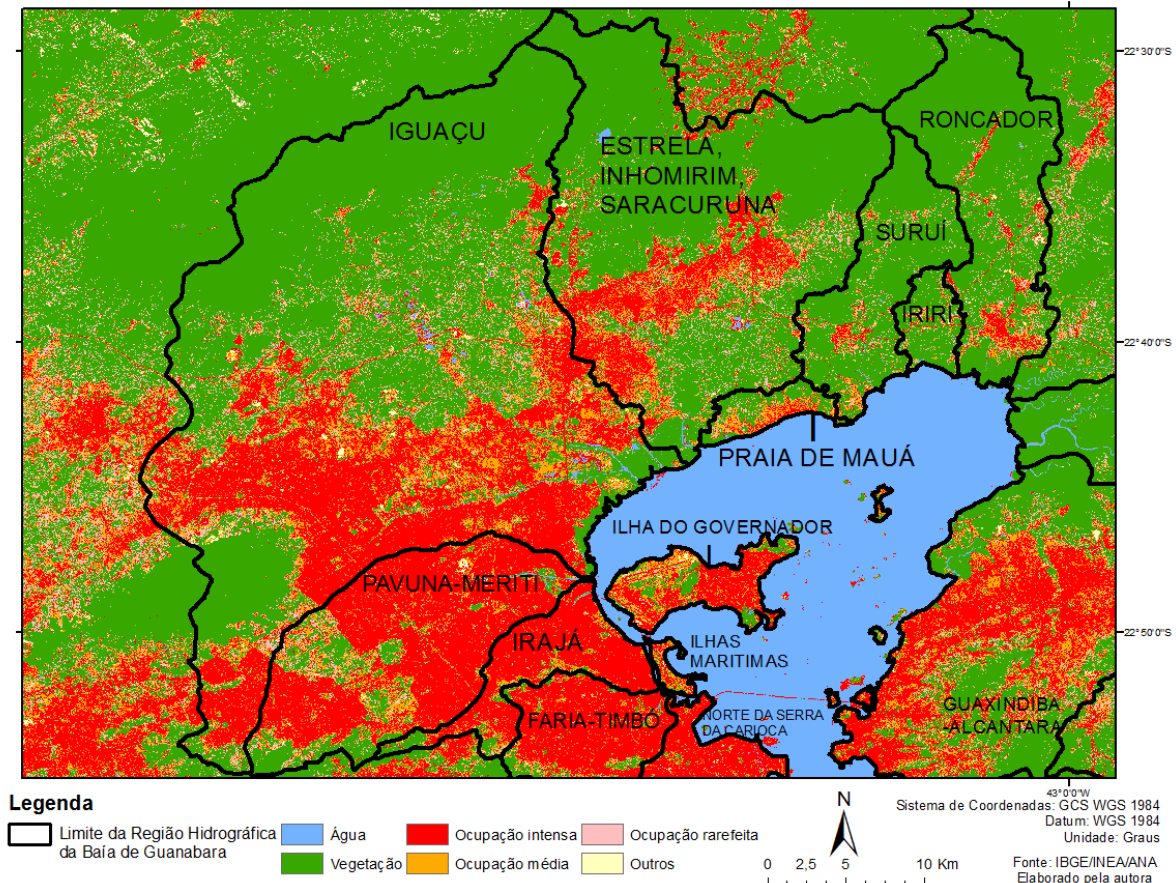


Figura 28: Detalhe noroeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2020. Fonte: Autora.

Na Bacia do Faria-Timbó houve um adensamento de ocupação média para intensa de 3,7%, 236 ha. A vegetação se tornou algum nível de urbano, na ordem de 3,4%, sendo que para ocupação rarefeita foi 1,2%, 75 hectares, ocupação média 1,5%, 94 hectares e ocupação intensa 0,7%, 47 hectares

As Bacias da Ilha do Governador tiveram uma supressão vegetal pelo urbano de 7,1% da área das bacias que corresponde a 256 hectares, sendo 28 hectares modificados para ocupação rarefeita, 142 ha para ocupação média e 85 ha para ocupação intensa, respectivamente 0,8%, 4% e 2,4% da área desta sub-bacia. Houve adensamento de ocupação de nível médio para intenso de 6,9%, 247 ha da área desta sub-bacia.

A Bacia do Irajá houve supressão vegetal de 3,4% da área desta sub-bacia que corresponde a 189 hectares, sendo 0,8% para ocupação intensa, 1,9% para média e 0,7% para rarefeita. O adensamento do nível de ocupação média para intensa está na ordem de 3,6%, 198 hectares.

A Bacia do Pavuna-Meriti segue o padrão de crescimento e adensamento dos níveis de ocupação das outras bacias até o momento. Mudança de ocupação média

para intensa, bem como vegetação se transformando em algum dos níveis de ocupação. De ocupação média para intensa 4,2% da área desta sub-bacia sendo 692 ha. A supressão da vegetação acontece na ordem de 7,2% que corresponde a 1194 hectares, sendo 2,9% para ocupação rarefeita, 2,7% para média e 1,6% para intensa, respectivamente, 474, 455 e 265 hectares.

Na Bacia do Iguaçu houve a supressão de 5417 ha de vegetação pelo urbano representando 7,4% da área somando os três níveis de urbano, desta porcentagem 1,4% foi de vegetação para ocupação intensa, 2,5% de vegetação para ocupação média e 3,5% para ocupação rarefeita, respectivamente, 1030 ha, 1853 ha e 2533,5 ha. Além dessas mudanças houve um adensamento, de urbano médio para urbano intenso de 4,6% que corresponde a 3384 hectares.

A Bacia do Estrela, Inhomirim, Saracuruna teve mudança de vegetação para ocupação rarefeita da ordem de 1096 ha, além desta, houve um adensamento de urbano de mais de 1,3% da área da sub-bacia que corresponde a 473 ha, a mudança de ocupação média para intensa se deu na faixa de 1229 hectares, 3,5%.

As Bacias de Ilhas Marítimas e Praia de Mauá não tiveram mudanças significativas.

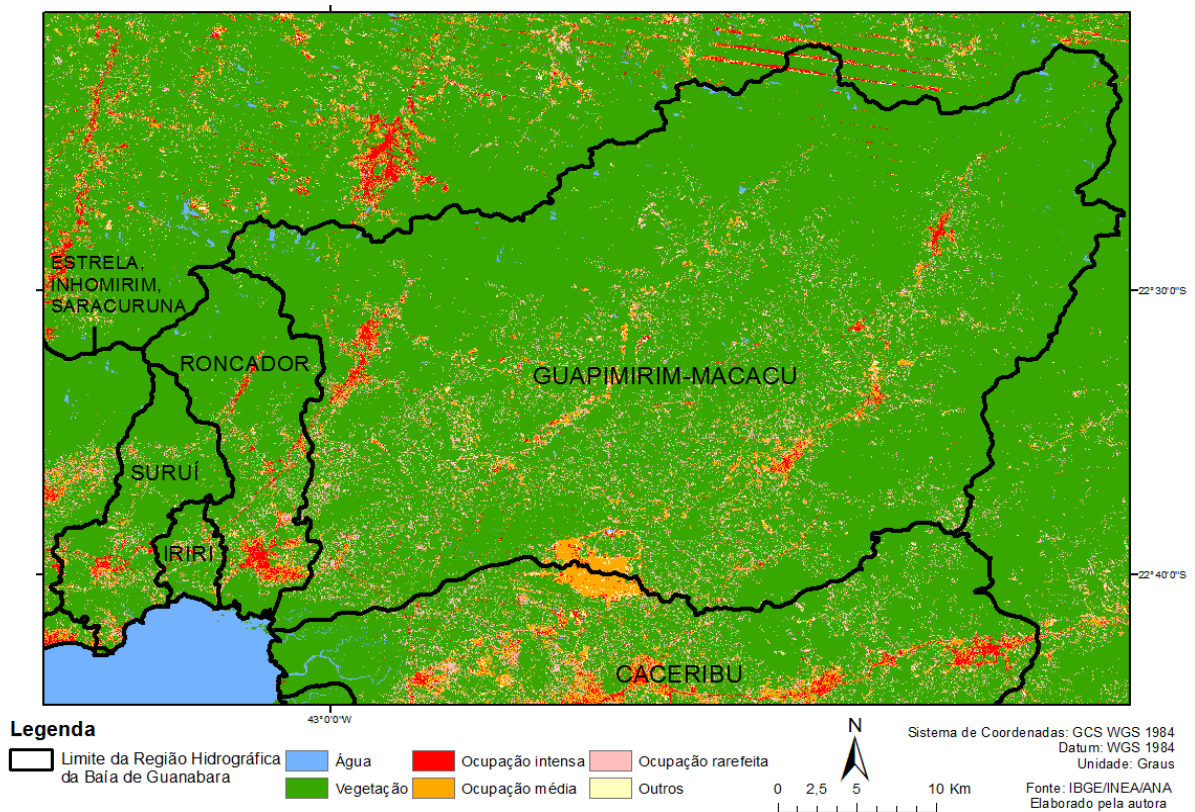


Figura 29: Detalhe nordeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2010. Fonte: Autora.

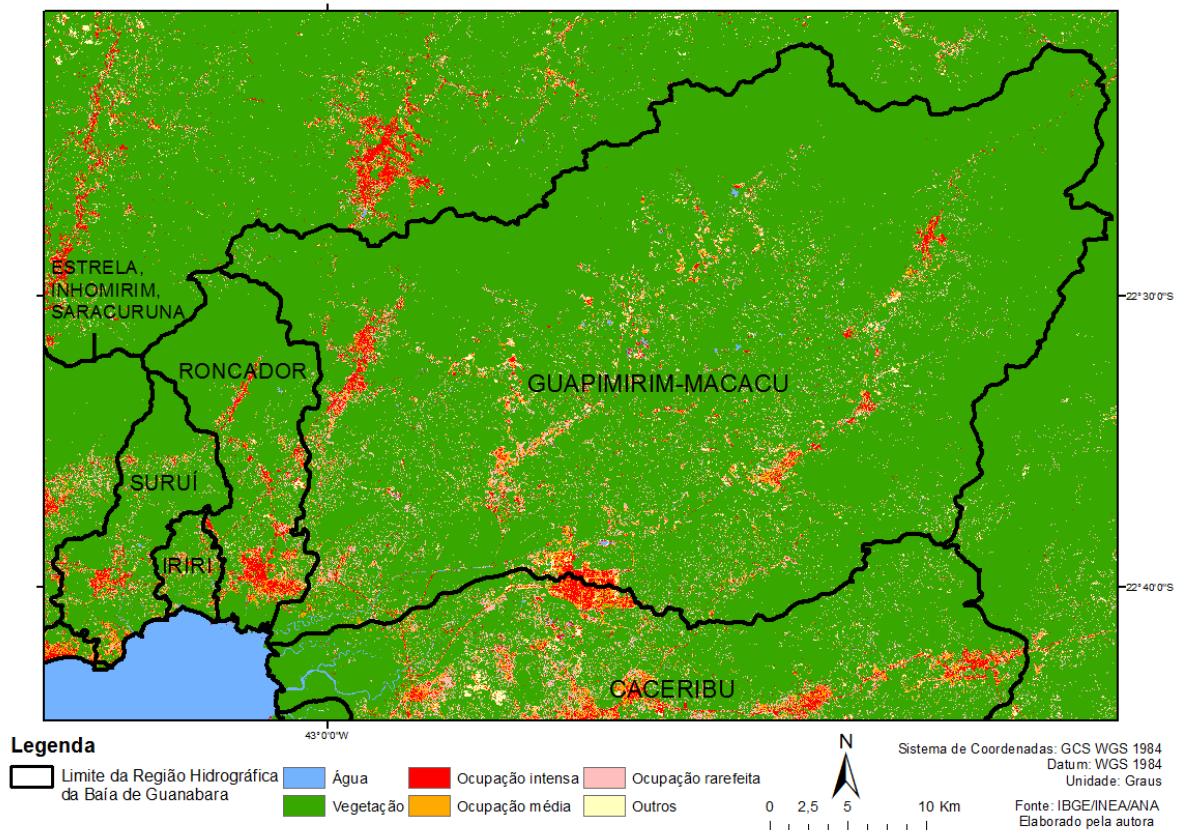


Figura 30: Detalhe nordeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2020. Fonte: Autora.

Na Bacia do Suruí, 5,4% de vegetação virando urbano, sendo 266 ha se transformou em ocupação rarefeita, 114 ha em ocupação média e 76 ha em ocupação intensa.

A Bacia do Iri apresenta 8,9% do que era vegetação se tornando ocupação, sendo no nível rarefeito 4,22% que corresponde a 83ha, no médio 1,4%, sendo quase 28 hectares e no intenso 3,3% que é aproximadamente 65 ha.

Na Bacia do Roncador a transformação mais relevante foi a vegetação virar algum dos níveis de ocupação que somados representam 4,6% da área, 606 hectares

A Bacia do Guapimirim-Macacu teve 13% da sua área modificada, mas a mudança de vegetação para os níveis de ocupação rarefeita e média, foi a mais expressiva, de aproximadamente 4%.

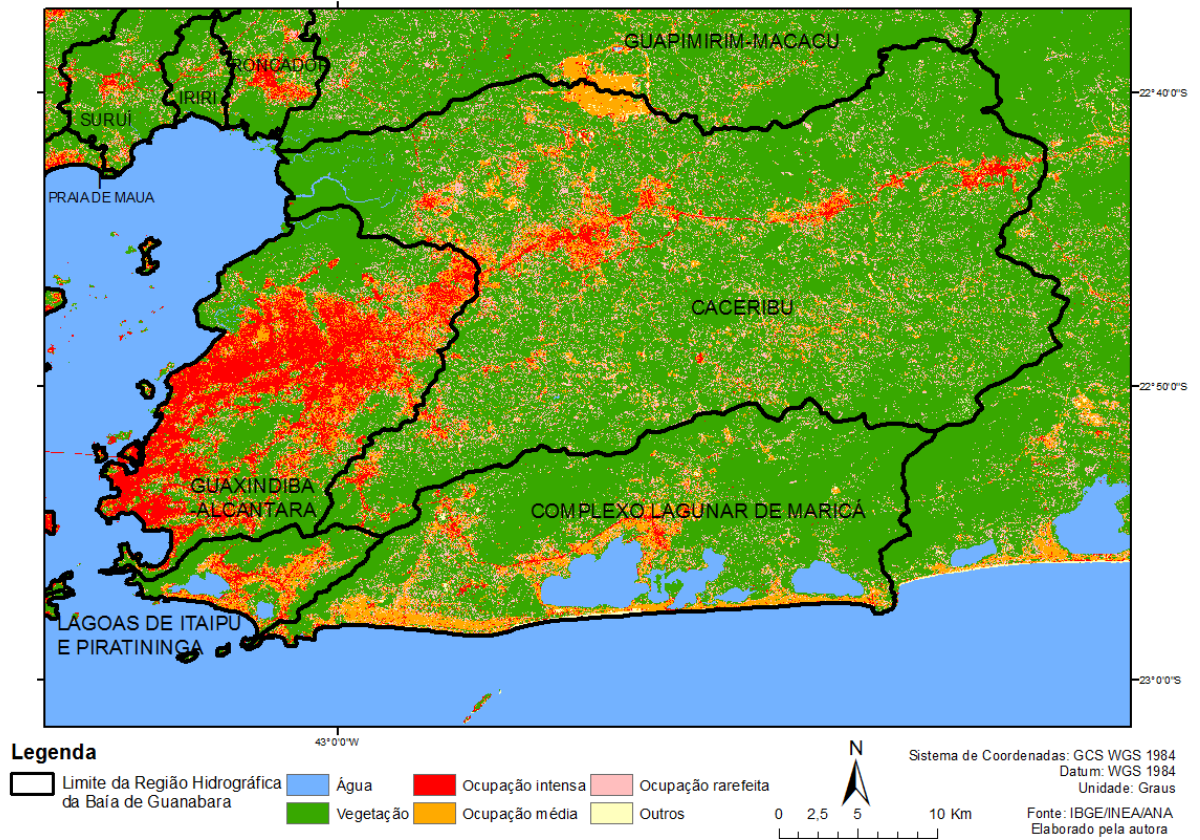


Figura 31: Detalhe sudeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2010. Fonte: Autora.

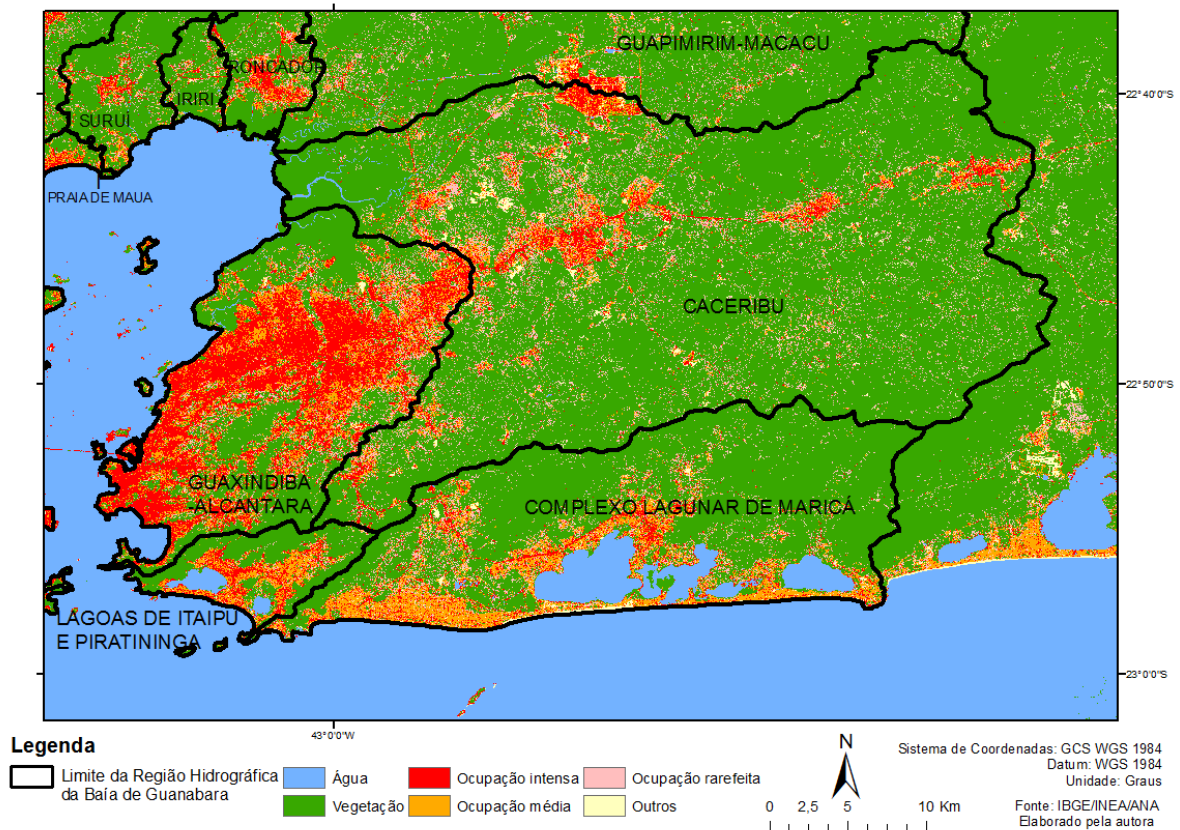


Figura 32: Detalhe sudeste da classificação em nuvem da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara para o ano de 2020. Fonte: Autora.

Na Bacia do Caceribu houve um singelo adensamento de 1,2% da área da sub-bacia de ocupação média para ocupação intensa, e a supressão vegetal nessa sub-bacia foi de 6,8%, sendo 5% para ocupação rarefeita, 4085 ha, aproximadamente 1% para ocupação média, 775 ha e 0,9% para intensa, 719 ha.

Na Bacia do Guaxindiba-Alcântara houveram mudanças significativas, de supressão vegetal foram 8%, 2168 hectares de vegetação se transformando em ocupação intensa, média e rarefeita, respectivamente 2,2%, 2,9% e 3% da área desta sub-bacia. De adensamento: ocupação média para intensa de 1988 ha, que corresponde a 7,4% da área da sub-bacia.

As Bacias Contribuintes ao Complexo Lagunar de Maricá apresentaram 5% de adensamento urbano e também apresentaram supressão vegetal, crescimento urbano da ordem de 8,4%. O adensamento na ocupação desta sub-bacia acontece no seguinte sentido: de ocupação rarefeita para média 1,8% que corresponde a 622 hectares, de ocupação rarefeita para intensa 0,9%, 320 ha e de ocupação média para intensa 2,4% da área desta sub-bacia correspondendo a 829 hectares. A supressão

vegetal se deu da seguinte forma: deu lugar a ocupação intensa 659 ha, 1,9%, a ocupação média 876 ha, 2,5% e a ocupação rarefeita 1394 ha, que corresponde a 4% da área da sub-bacia.

Nas Bacias Contribuintes às Lagoas de Itaipu e Piratininga houveram as seguintes mudanças: supressão vegetal, 2,5% de vegetação virou ocupação intensa, 132 hectares, a mesma quantidade virou ocupação média e 1,4%, 75 hectares viraram ocupação rarefeita; adensamento, 5,4%, 283 hectares de ocupação média se tornou intensa e 1,4%, 75 hectares era ocupação rarefeita e passou a ocupação média.

Na classificação de uso e cobertura do solo para o ano 2010 temos na porção oeste da Bacia uma grande área de urbano intenso que corresponde a partes dos municípios Rio de Janeiro, São João de Meriti, Duque de Caxias, Belford Roxo. No lado leste da Baía a área de urbano intenso corresponde a porções dos municípios de Niterói e São Gonçalo. O urbano médio que se destaca isolado na porção leste corresponde ao COMPERJ (Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro), no município de Itaboraí. Logo abaixo do Comperj conseguimos visualizar como se fosse uma linha com os variados níveis de urbano que passa pelos municípios de Itaboraí, Tanguá e Rio Bonito, na bacia do Caceribu, margeando o trecho ferroviário que passa naquele local. Na região sudeste da bacia correspondendo a Maricá e Saquarema localiza-se uma porção de urbano médio no entorno das lagoas e próximo às praias onde se encontram as Bacias Contribuintes às Lagoas de Itaipu-Piratininga e as Bacias Contribuintes ao Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina. Cabe ainda ressaltar que as áreas ao norte da bacia protegidas por Unidades de Conservação praticamente não são povoadas.

Para a classificação de uso e cobertura para o ano de 2020, ou seja, comparativamente com a classificação de 2010, conseguimos ver algumas mudanças que mais se destacam visualmente, são elas: densificação e transformação de vegetação em urbano na porção oeste da Bacia, dá para perceber que além de se expandir, nessa área há a densificação do urbano, o que era médio se tornando urbano intenso. Também há uma mudança nesse mesmo sentido do lado leste da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, em Niterói e São Gonçalo. E o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, no município de Itaboraí, apresenta uma resposta de urbano intenso. Abaixo do Complexo conseguimos observar que a linha urbana próxima à ferrovia aparentemente se espalha. E a região sudeste da baía claramente passa por um adensamento, as faixas de urbano das Bacias Contribuintes às Lagoas

de Itaipu-Piratininga e as Bacias Contribuintes ao Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina, nitidamente se alargam e se adensam. As UCs continuam sendo pouco povoadas e protegendo o limite norte da bacia.

Após essas mudanças tanto no geral, quanto especificadas nas sub-bacias, pode-se concluir que na Região Hidrográfica V, a Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara que houve um adensamento do urbano na área da bacia e o crescimento urbano pela transformação da vegetação em algum nível dos níveis de ocupação.

Utilizando os mapas a seguir, procurou-se um padrão correlacionado também com essas variáveis.

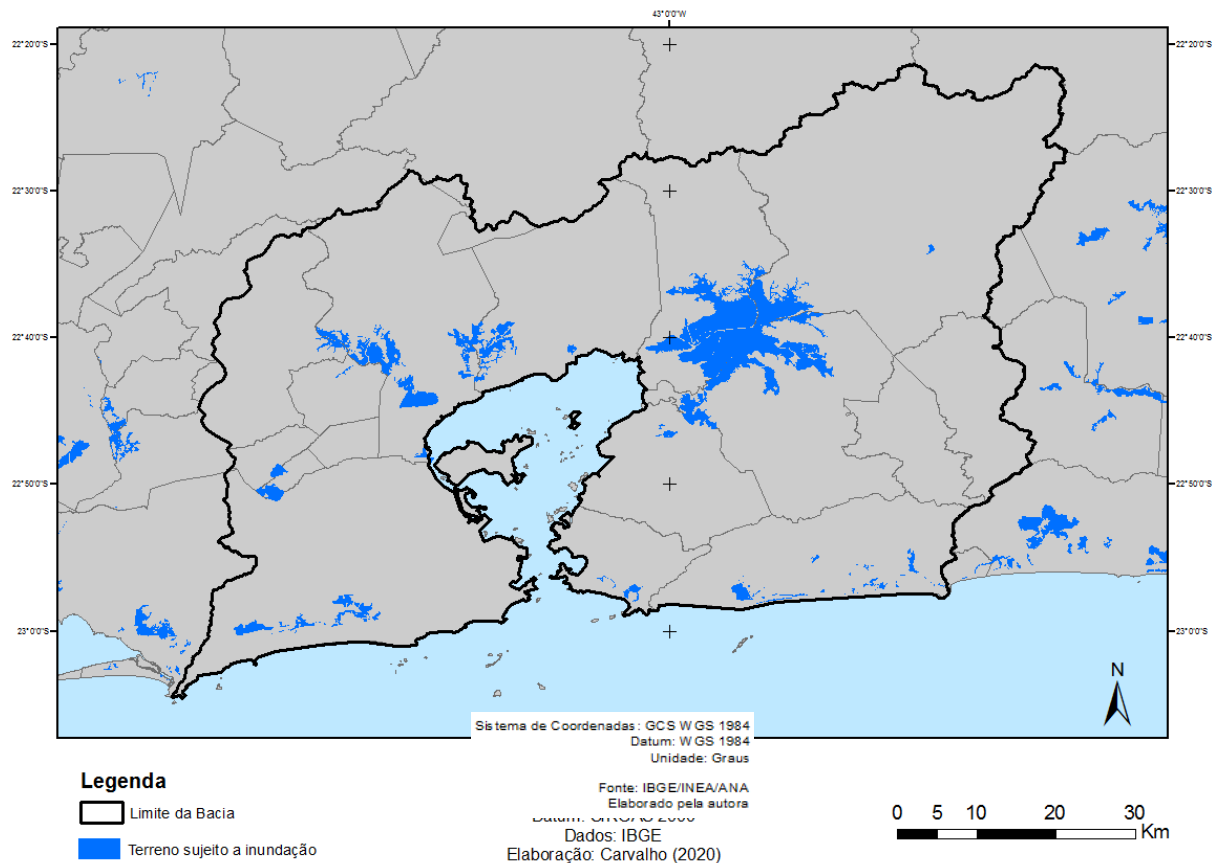


Figura 33: Mapa de terrenos sujeitos à inundação. Fonte: IBGE/INEA/ANA. Elaborado pela autora.

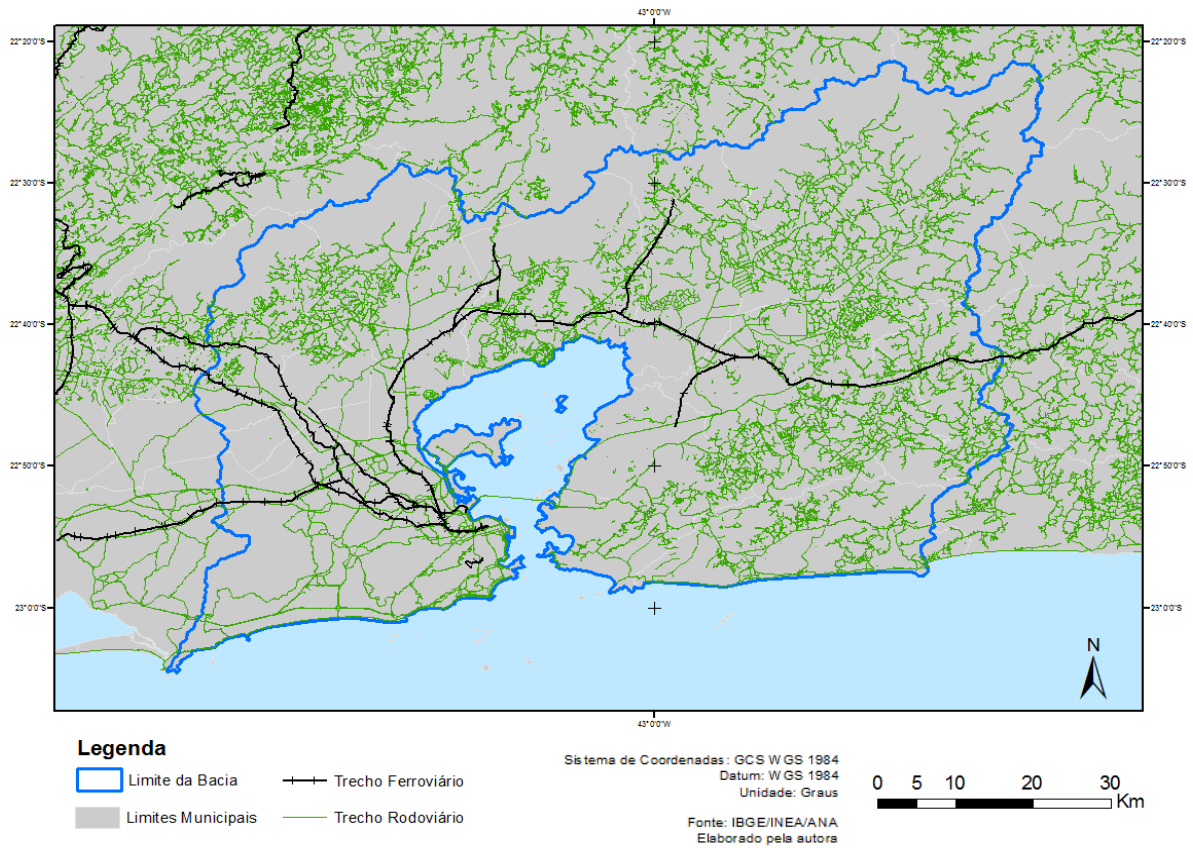


Figura 34: Mapa de transportes. Fonte: IBGE/INEA/ANA. Elaborado pela autora.

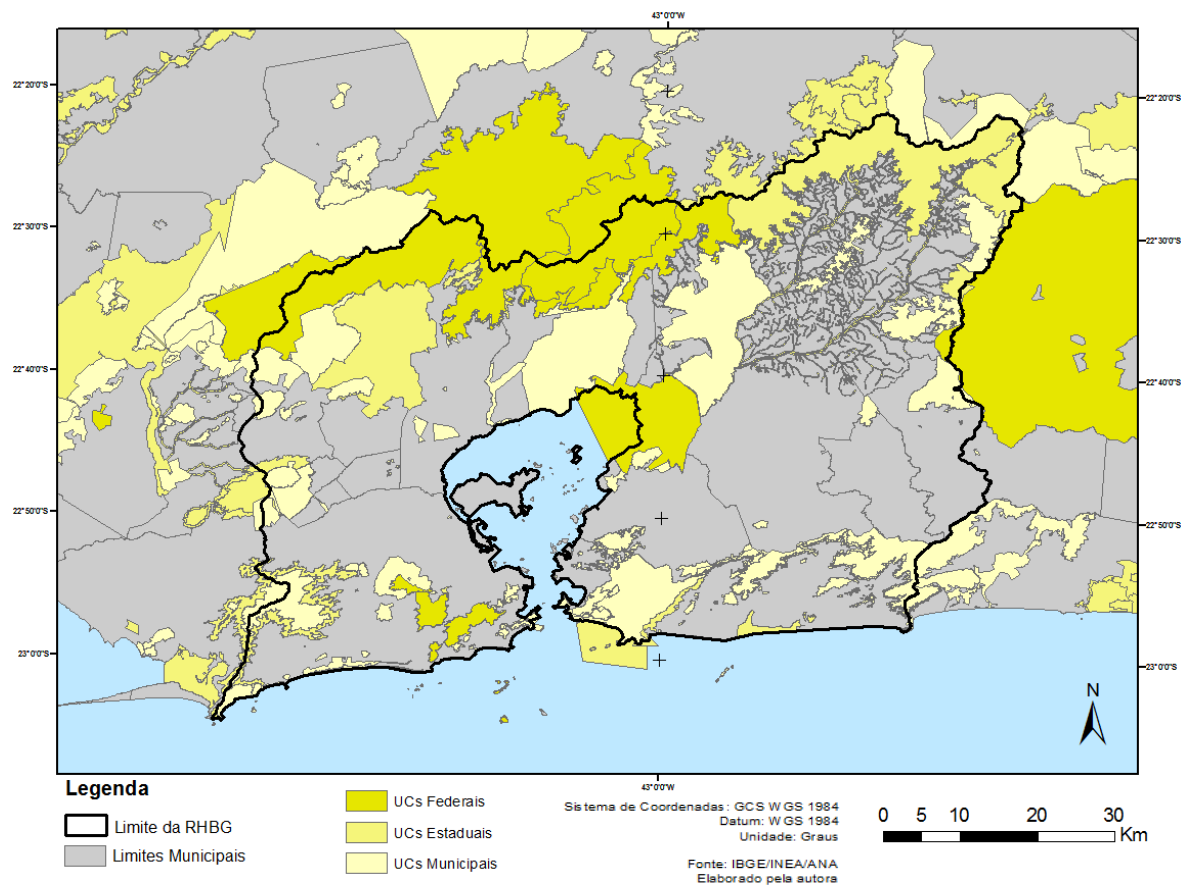


Figura 35: Mapa de Unidades de Conservação. Fonte: IBGE/INEA/ANA. Elaborado pela autora.

Observando também outros aspectos da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara juntamente com as classificações e mudanças nas sub-bacias como os terrenos sujeitos à inundação, o mapa de transportes e as Unidades de Conservação nas diferentes esferas pode-se notar algumas particularidades. Os terrenos sujeitos a inundação não são um impedimento para adensamento ou aumento da urbanização, inclusive as áreas próximas às lagoas tiveram crescimento urbano e adensamento. Nas áreas onde há vasta rede de transporte, sobretudo ferroviário, é um sinal de adensamento urbano. E as Unidades de Conservação, sejam elas federais, estaduais ou municipais, em sua maioria impedem o crescimento e adensamento urbano, o que é coerente já que uma de suas funções é preservar o patrimônio biológico, através das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas, e o crescimento urbano desequilibraria esse patrimônio.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sobre o método aplicado: Ao longo dessa pesquisa foi demonstrada a importância de conhecer o padrão de crescimento e adensamento urbano em bacias hidrográficas, sobretudo na Baía de Guanabara. Existe a necessidade de monitoramento constante principalmente nesse tipo de unidade, pois o entendimento do uso do solo e a expansão e o adensamento da ocupação podem otimizar os instrumentos legais e basear as decisões dos Comitês de Bacias Hidrográficas quanto a gestão e planejamento do ambiente e dos recursos hídricos.

Apesar da grande produção de dados e pesquisas sobre essa área de estudo, o aprofundamento sobre a dinâmica de ocupação ainda é um desafio. Por isso, cabe a busca por novas ferramentas que permitam o mapeamento rápido e contínuo que possa atender a gestão e tomada de decisão por parte do poder público, privado e civil.

Existe ainda a dificuldade do nível de detalhamento, que traz questões complexas sobre as áreas construídas. O urbano tem uma infinidade de usos de solo e materiais para serem diferenciados na resposta espectral, dependendo do detalhamento do mapeamento encontra-se maior dificuldade de identificar e diferenciar os alvos no sensoriamento remoto. Para melhor classificação, seria necessário adotar um sensor hiperespectral com maior nível de detalhes, mas não há disponível para toda a área de estudo, além disso, para adotar esse sensor seria necessário mais tempo e maior capacidade de processamento.

Para complementar essa classificação, a área estudada apresenta inúmeros usos e cobertura, como mangue, restinga, diferentes coberturas vegetais, agropasto, áreas inundadas, além dos inúmeros usos dentro dos níveis de ocupação, como industrial, comercial, residencial, são incontáveis desafios. Nessa pesquisa e classificação a classe de vegetação ficou super saturada, como se tudo fosse floresta e não é, por isso há a necessidade de uma maior diversificação das classes para minimizar as interpretações erradas.

A computação em nuvem é uma das alternativas para mapeamento rápido e contínuo, mas exige constante investimento e esforço para a criação de códigos cada vez mais efetivos e também a formação de mão de obra qualificada ao uso dessas importantes ferramentas.

Sobre a análise e resultados obtidos: A Baía de Guanabara sofre com a pressão antrópica e esse estudo mostrou um incremento de aproximadamente 6% da

área total da bacia, 28802 ha, que era vegetação transformada em urbano, e ainda um adensamento de urbano médio se transformando em urbano intenso, perto de 3,5%, 16683 hectares.

Na porção oeste da Bacia, dá para perceber que existe uma expansão e densificação do urbano que também ocorre do lado leste da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, em Niterói e São Gonçalo. O Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro, no município de Itaboraí, um empreendimento com grande potencial poluidor, também vem de uma transformação de área de vegetação em urbano intenso. A região sudeste da baía passa por um adensamento, as faixas de urbano das Bacias Contribuintes às Lagoas de Itaipu-Piratininga e as Bacias Contribuintes ao Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina nitidamente se alargam e se adensam. Isso reflete o descuido na gestão para ocupação nessas áreas.

Por outro lado, o norte das sub-bacias ao norte da Baía de Guanabara continua sendo pouco povoado por ser protegido pelas Unidades de Conservação, essas áreas se mostraram mais conservadas e preservadas de mudanças intensas no período analisado. De 2010 a 2020 houve a supressão de vegetação correspondente a 6% da área da bacia.

As mudanças realmente ocorreram mas chega-se à conclusão que este intervalo de 10 anos, de 2010 a 2020, inicialmente pensado como ideal para essa área, pode ser um curto período de tempo para conseguir perceber grandes mudanças, que sejam realmente significativas nessa área propriamente dita.

Apesar de existirem importantes dados de uma série temporal no MAPBIOMAS, que traz uma classificação do Brasil inteiro, este estudo busca contribuir para uma análise mais detalhada considerando os diferentes níveis de intensidade de ocupação.

Sugere-se pois que, para os próximos trabalhos nessa mesma linha de estudo, sobre essa mesma área de estudo, o uso de outros algoritmos de classificação para comparação; o intervalo de tempo seja aumentado para que as mudanças consigam ser ainda mais facilmente visualizadas; trabalhar também para haver avanço na implementação de processos para permitir o mapeamento automático das bacias; expandir a área da classificação e categorização dos níveis de urbano para o restante das bacias e regiões hidrográficas do Brasil; e diversificar as classes de vegetação e outros para detalhar ainda mais a natureza das mudanças ocorridas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/>. Acesso em: 2020
- ALBUQUERQUE, E. L. S., SOUZA, M. J. N. **Condições ambientais e socioeconômicas nas bacias hidrográficas costeiras do setor leste metropolitano de Fortaleza, Estado do Ceará.** Revista Brasileira de Geografia Física 9, 110- 124, 2016.
- AMARANTE, R. T., FONSECA, B. M. **Índice Geomorfológico para Avaliação do Potencial de Ocupação e Uso do Solo (IGPU) em Ouro Preto, MG.** Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Rio de Janeiro, 2017.
- AMADOR E. S., **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza.** Imprensa: Rio de Janeiro, 1997.
- ARAÚJO, E. H. G. **Análise multi-temporal de cenas do satélite QuickBird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais. Estudo de caso: Belo Horizonte, MG.** 2006. 175 p. (INPE13956-TDI/1062). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- BORJA, P. C. **Metodologia para a Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana em Nível local.** Anais eletrônicos: XXVI CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Lima/Peru, 1998.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hall. pp. (140-158). 2002.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J.S. de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação.** Geografia, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83 – 96, jan./abr., 2003.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Problèmes de Géographie Humaine.** Paris: Librairie Armand Colin, p. 25 – 34. Tradução de Jaci Silva Fonseca. 1952.
- CRUZ, C. B. M.; TEIXEIRA A. J. A.; BARROS, R. S.; ARGENTO, M. S. F.; MAYR, L. M.; MENEZES, P. M. L. **Carga Antrópica da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara,** Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 1998, INPE, p. 99-109.
- COIMBRA, J. P. P. ; SANTOS, G. M. F. ; PANTALEÃO, L. C. ; SANTOS, L. C. M. ; D'OLIVEIRA, P. M. S. ; RIBEIRO, P. E. A. M. . **Atlas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá.** 1. ed. v. 1. 229p., 2021.
- COMITÊ BAÍA DE GUANABARA.** Disponível em: <http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/> Acesso em: 2020.

DIAS, F. A. **Caracterização e análise da qualidade ambiental urbana da Bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Cuiabá/MT**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.

FERNANDES, N. F. **Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios**. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 209-247, 2016.

FIDELIS-MEDEIROS, F.; GRIGIO, A. M. **Identificação das Unidades Homogêneas e Padrão da Ocupação Urbana (uhct) como subsídio ao ordenamento territorial em Mossoró, rn – Brasil**. Pontificia Universidad Católica de Chile. EURE, vol. 45, núm. 135, pp. 245-270, 2019.

GOMES, J.M.; VELHO, L. **Computação Visual: Imagens**. Rio, SBM, 1995

INEA. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/RECURSOSHIDRICOS/Comitedebacias/>. Acesso em: 2020.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics**. v.33,n.1,p.159-174, 1977.

LIMA FILHO, A. D.; HELLER, L. **Um modelo para a análise ambiental urbana: aplicação a área central de Divinópolis/MG**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol.9 - N.2 - Abril/Junho Rio de Janeiro/RJ: ABES, 2004.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T. **Qualidade ambiental urbana em Oswaldo Cruz/SP**. XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 2009. Viçosa-MG. Anais eletrônicos... Viçosa-MG: UFV, 2009. Disponível em: www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos Acesso em: 2020.

MIRANDA, L. I. B. **A Crise Hídrica e a Gestão das Águas Urbanas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**, Enanpur, São Paulo, 2017.

NOGUEIRA, C. R. **Distribuição espacial da população na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara no Rio de Janeiro – uma contribuição metodológica através do uso do sensoriamento remoto**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 - Vol. 28-2 / p. 166-180. 2005.

OECD. **Organization for Economic Cooperation and Development**. OECD environmental indicators development, measurement, and use Paris: OECD, 2003.

PIMENTEL, M. A. S., OLIVEIRA, I. S., RODRIGUES, J. C. M. **Dinâmica da Paisagem e Risco Ambiental na Ilha de Caratateua, Distrito de Belém-Pa**. Revista Geonorte 3, 624-633. 2016.

PORTO M. F. A.; PORTO R. LA L. **DOSSIÊ ÁGUA - Gestão de bacias hidrográficas**. Revista Estudos Avançados USP. 2008.

REBOUÇAS, A. **Uso inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora, 2004.

RUFINO, R. C. **Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais.** 2002.

RUSCHEL, H.; ZANOTTO, M. S.; DA MOTA, W. C. **Computação em Nuvem.** Especialização em Redes e Segurança de Sistemas. PUC-PR, 2010.

SAADI, A. **A Geomorfologia como ciência de apoio ao planejamento urbano em Minas Gerais.** Genomos Vol. 5, N. 2, 1997.

SOARES-FILHO, B.S.; PENNACHIN, C.; CERQUEIRA, G. **DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier.** *Ecological Modelling*, (154):217-235, 2002.

SOARES-FILHO, B.S.; CORRADI, L.; CERQUEIRA, G. C; ARAÚJO, W. **Simulating the spatial patterns of change through the use of the dinamica model.** In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brasil: INPE. 2003a.

SOARES-FILHO, B.S.; CERQUEIRA, G. C; ARAÚJO, W. L.; VOLL E. **Modelagem de Dinâmica de Paisagem: Concepção e Potencial de Aplicação de Modelos de Simulação baseados em Autômato Celular.** MEGADIVERSIDADE Volume 3 N° 1-2. 2007.

SPINELLI, M. V. P., CARVALHO, R. M. C. M. O., DA SILVA, H. P., BRANDÃO, S. S. F., FRUTUOSO, M. N. M. A. **Estudo Sustentável da Capacidade de Carga Antrópica e a sua Influência no Ponto de Equilíbrio da Resiliência Ambiental.** *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 185-199, 2016.

TRENTIN, G., FREITAS, M. I. C. de. **MODELAGEM DA DINÂMICA ESPACIAL URBANA: MODELO DE AUTÔMATO CELULAR NA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PARA O MUNICÍPIO DE AMERICANA-SP.** *Revista Brasileira de Cartografia* No 62 EDIÇÃO ESPECIAL 01, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.