AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MAPEAMENTOS DE USO E COBERTURA DA TERRA POR SENSORIAMENTO REMOTO NAS ÁREAS SOMBREADAS DO VALE DO PARAÍBA PAULISTA

João Pedro Branco Frazão [1], Sofia Sena Tavares [2], Vitor Vieira Vasconcelos [3], Victor Fernandez Nascimento [4], Cassia Maria Gama Lemos [5]

[1]Universidade Federal do ABC (UFABC) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), joao.branco@aluno.ufabc.edu.br; [2]UFABC e INPE, sena.tavares@aluno.ufabc.edu.br; [3]UFABC, vitor.vasconcelos@ufabc.edu.br; [4]Laboratório de Gestão de Riscos (LABGRIs), UFABC, victor.fernandez@ufabc.edu.br; [5]INPE, cassia.lemos@inpe.br

RESUMO

O estudo investiga discrepâncias em mapeamentos de uso e cobertura da terra *(LULC)* na região do Vale do Paraíba Paulista, possivelmente causadas por sombras geradas pelo relevo das serras da Mantiqueira e do Mar. Foram analisadas imagens de satélite *Landsat 8* e comparadas com um Modelo Digital de Elevação (MDE) e mapas de orientação de vertentes, a fim de identificar possíveis erros em três diferentes dados de *LULC*. As análises mostram que dois dos materiais analisados apresentam divergências em relação ao Inventário Florestal do Estado de São Paulo, utilizado como validação. As áreas classificadas como "cobertura natural" pelo Inventário foram identificadas principalmente como pastos, construções e água nos estudos que apresentaram imprecisão. A maioria das discordâncias ocorreu nas encostas da Serra da Mantiqueira, comprovando a nossa hipótese de que provavelmente o relevo acentuado que contribui na formação de sombras prejudica a acurácia da classificação.

Palavras-chave: Mudança de Uso e Cobertura da Terra, Restauração Florestal, Mata Atlântica.

ABSTRACT

The study investigates discrepancies in land use and land cover (LULC) mapping in the Vale do Paraíba Paulista region, possibly caused by shadows cast by the mountainous relief of the Serra da Mantiqueira and Serra do Mar ranges. Landsat 8 satellite images were analyzed and compared with a Digital Elevation Model (DEM) and slope orientation maps to identify potential errors in three different LULC datasets. The analyses show that two of the materials exhibit discrepancies compared to the São Paulo State Forest Inventory, which was used for validation. Areas classified as "natural cover" in the Inventory were predominantly identified as pasture, buildings, and water in the datasets with inaccuracies. Most discrepancies occurred on the slopes of the Serra da Mantiqueira range, supporting our hypothesis that the steep relief, which contributes to shadow formation, likely affects classification accuracy.

Key words — *Change of Cover and Land Use, Forest Restoration, Atlantic Forest.*

1. INTRODUÇÃO

No contexto de conservação e restauração florestal, é relevante o correto mapeamento de cobertura e uso do da terra, em inglês, *Land Use and Land Cover* (*LULC*), especialmente em biomas ameaçados como a Mata Atlântica, a fim de corroborar em análises e previsões para a conservação e recuperação de áreas desmatadas.

Nossa hipótese é que seja possível encontrar discrepâncias em três mapeamentos *LULC*, frutos de imagens de satélite e sensoriamento remoto nas áreas sombreadas do Vale do Paraíba Paulista (VPP). Possivelmente estas áreas se localizam, majoritariamente, em encostas das Serras da Mantiqueira e do Mar, que estão em locais de relevo, onde a posição do Sol durante o ano influenciara a ocorrência dessas sombras, fazendo com que áreas de vegetação nativa acabassem sendo classificadas como outras classes de *LULC*.

O estudo de Silva et al. [1] utilizou imagens do satélite *LandSat 5* e aplicou correções atmosféricas para mapear a cobertura da terra com base na assinatura espectral dos pixels, com treinamento e validação feitos usando cenas do *RapidEye* e estudos de campo para o ano de 2011. A classificação foi feita pelo método de maior probabilidade e refinada com filtro de maioria, categorizando a área em oito classes. Em continuidade, Ronquim et al. [2] manteve as categorias e metodologias de [1], atualizando o mapeamento com imagens do *LandSat 8* e cenas de alta resolução do *Google Earth* para 2015.

O MapBiomas [3], que realiza mapeamentos anuais de uso da terra desde 1985, utiliza imagens *LandSat* e o modelo de classificação automática *"random forests"* para analisar todo o Brasil. Este mapeamento é refinado com filtros espaciais e temporais, resultando em uma divisão detalhada em dezesseis classes. Já o Inventário Florestal, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), baseia-se em imagens de alta resolução de satélites como *WorldView* e *GeoEye* (2017-2018), e adota uma classificação orientada a objetos, com base no Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE [4].

Os objetivos específicos desta pesquisa são localizar as áreas sombreadas em imagens de satélite no VPP e analisar mapas de *LULC* da região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área estudada é o Vale do Paraíba Paulista (VPP), que faz parte da região Sudeste do Brasil (**Figura 01**). É uma das regiões com maior desenvolvimento econômico do país, pois está entre as duas maiores metrópoles do Brasil, São Paulo e Rio de Janeiro.

A região se encontra dentro da área original da Mata Atlântica e ainda possui remanescentes desse bioma. Além das Matas Ombrófilas, característica da Mata Atlântica, também possui áreas de vegetação de cerrado e de vegetações especiais como refúgios de altitude [4], como observado na (**Figura 02**).

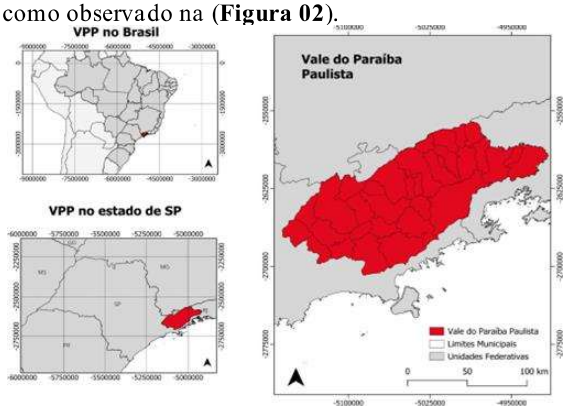

Figura 01 - Localização do Vale do Paraíba Paulista

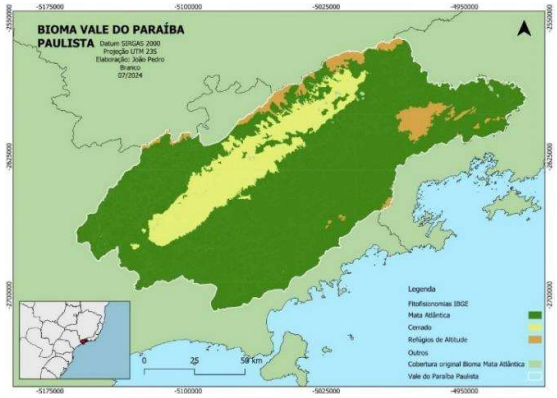

Figura 02 - Fitofisionomias do Vale do Paraíba

2.2 ANÁLISE DOS DADOS

Primeiramente foram analisados três mapeamentos *LULC* da região: Silva *et al.* [1], Ronquim *et al.* [2] e MapBiomas [5]. Em Silva *et al.* [1] é feito o estudo das mudanças do uso e cobertura da terra no período de 1985, 1995, 2005 e 2011 e no caso do mapeamento de Ronquim *et al.* [2], é analisado o ano d e 2015, sendo os últimos anos de cada mapeamento os utilizados nas comparações. Os dois primeiros foram utilizados por serem específicos apenas para a região do VPP, em contraste com os dados do MapBiomas [5] que faz esse mapeamento para o Brasil todo anualmente. Ademais, foi utilizado para comparação o Inventário Florestal do Estado de São Paulo de 2020 [6], adotado como o mapeamento de referência de análise deste estudo, por se tratar de um mapeamento oficial do governo do Estado, com extensa validação em campo e uso de imageamento de mais alta resolução espacial.

A partir da premissa de localizar possíveis categorizações divergentes em áreas sombreadas foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) da *Copernicus GLO-30*, para observar as áreas com maior altitude e declividade, onde sombras causadas pelo relevo da região poderiam trazer problemas na hora da categorização.

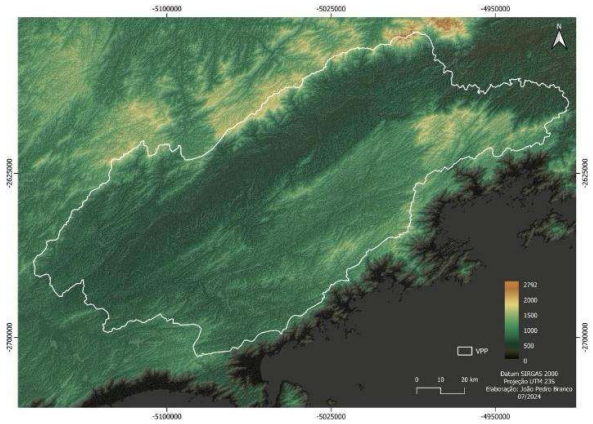

Figura 03 - Hipsometria Vale do Paraíba Paulista

A área de maior altitude foi localizada na área Noroeste do VPP, como observado no mapa Hipsométrico da (**Figura 03**) e de curvas de nível (**Figura 04**). Para escolher as áreas de interesse para a análise, foram utilizadas a orientação de vertentes e declividade, a partir do MDE *GLO-30*, como demonstrado nas (**Figuras 05 e 06**), respectivamente. Para a análise foram priorizadas as vertentes a Sul, Sudeste e Sudoeste.

A partir disso, foi analisada uma imagem do satélite *Landsat 8 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) Operational Land Imager (OLI) Collection 2 Level 2* do dia 12/06/2024, às 12:57 (**Figura 07**). A data foi escolhida por ser a mais recente sem nuvens e a composição 4-3-2 *RGB* desta imagem foi utilizada como referência, juntamente com os dados do MDE e com as orientações de vertentes, a fim de identificar as áreas sombreadas.

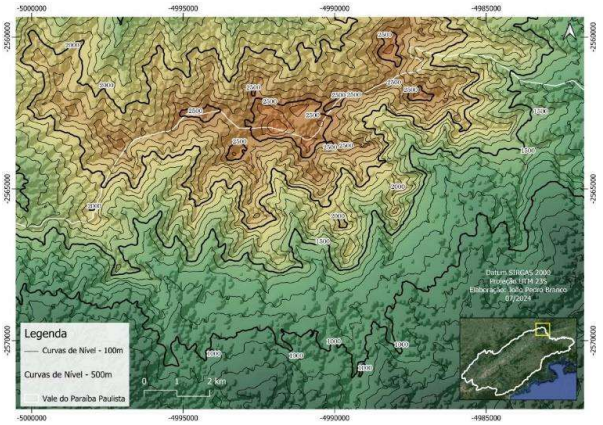

Figura 04 - Hipsometria com Curvas de Nível

Além disso, também foram realizadas as intersecções entre as áreas antropizadas dos mapeamentos [1], [2] e [5] com o Mapeamento do Inventário Florestal [6], para investigar a influência das possíveis divergências de classificação em áreas sombreadas.

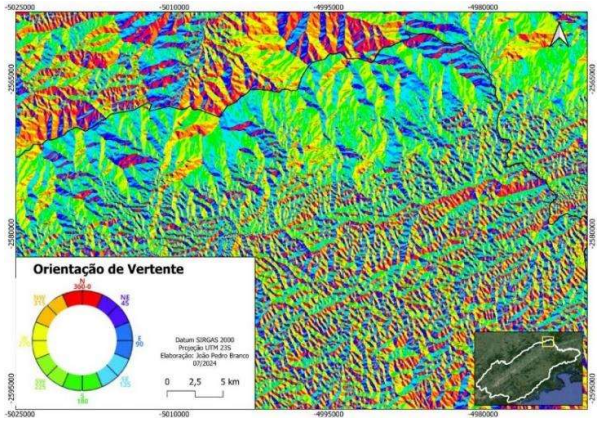

Figura 05 - Mapa de Orientação de Vertentes

Por último, foram observadas as possíveis discordâncias nos mapeamentos, comparando todas as imagens citadas anteriormente. Foram selecionadas três áreas: uma na Serra da Mantiqueira (1), uma na Serra do Mar (2) e uma na área mais plana do Vale (3) para análise mais detalhada (**Figura 07**).

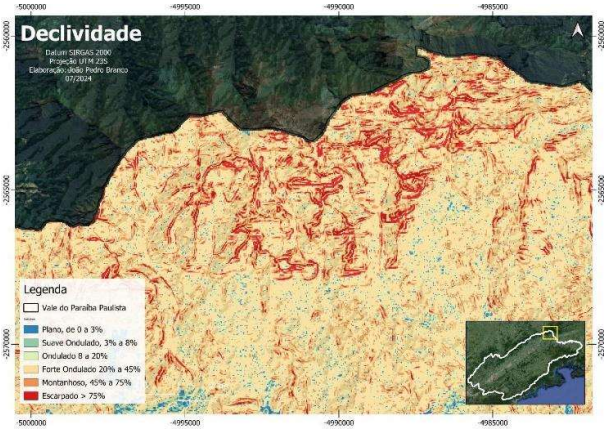

Figura 06 - Mapa de Declividade

3. RESULTADOS

Foi possível inferir que áreas de Refúgio Ecológico e Floresta Ombrófila Densa na Serra da Mantiqueira e na Serra do Mar possuem divergências em suas classificações, principalmente como pastos, áreas construídas e áreas de água [1, 2]. Em Silva *et al*. [1] de 2011, são 76,2 ha de discrepâncias, sendo 58% água, 40% pasto e pasto sujo e 2% áreas construídas, enquanto em Ronquim *et al*. [2] de 2015, 122,7 ha apresentaram discrepâncias, sendo categorizados como, 50% pasto, 44% áreas construídas e 6% água.

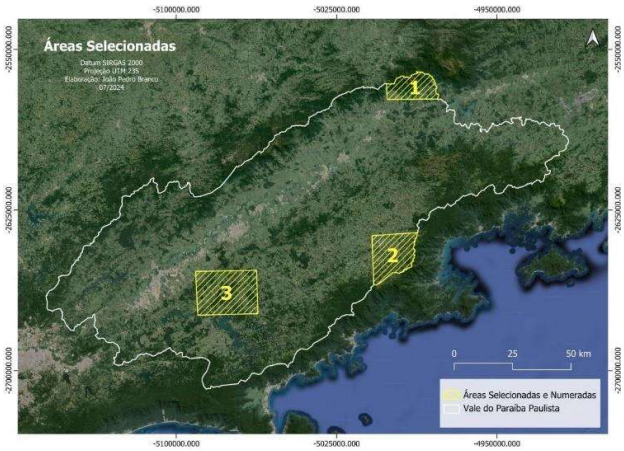

Figura 07 - Áreas Selecionadas dentro do VPP

Vale ressaltar que a grande maioria das divergências encontradas estão na Área 1, destacados na (**Figura 08**), localizada na área de encosta da Serra da Mantiqueira, onde a declividade, a altitude e orientação do relevo são maiores. Também é importante apontar que as áreas marcadas como "Solo Exposto" estão categorizadas corretamente e são afloramentos rochosos que de acordo com [2], estão agrupados com outros tipos de solos expostos. Pouquíssimas discrepâncias foram encontradas na Serra do Mar, se

apresentando como pixels isolados, e nenhuma foi encontrada na área mais plana do Vale.

Outra observação feita é que 100% das áreas sombreadas identificadas têm suas vertentes orientadas a Sudeste, Sul ou Sudoeste, ou seja, os ângulos azimutais que mais possuem incidência de sombreamento variam entre 135° e 247,5°. Além da orientação, outra característica que aparece nas áreas estudadas é a alta declividade. Dentro das sombras da Área 1, a declividade varia entre montanhoso (45% a 75%) e escarpado (>75%), demonstrando como a declividade também é um fator importante no sombreamento das áreas estudadas.

No entanto, vale destacar que não foram encontradas divergências entre o mapeamento do MapBiomas [5] e o Inventário Florestal [6] para áreas sombreadas.

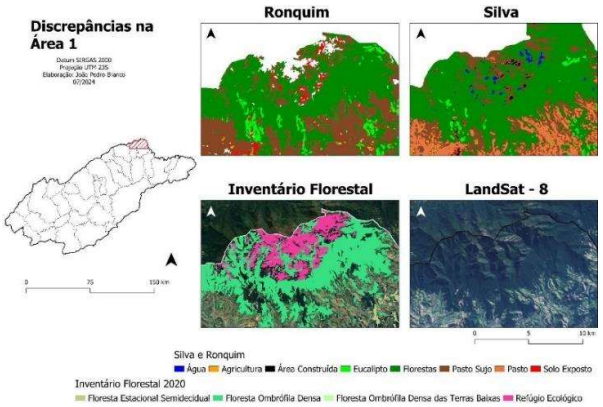

Figura 08 - Discrepâncias na área 1

4. DISCUSSÃO

No VPP, áreas de grande declividade e altitude, impróprias para a utilização na agropecuária, são abandonadas por seus proprietários, passando assim pela regeneração natural de sua cobertura florestal. Isso se identifica nos nossos resultados, áreas sombreadas, localizadas justamente nessas partes impróprias apresentam uma cobertura florestal uniforme [5].

Ademais, as vertentes apontadas ao equador recebem mais radiação solar [7], afetando o balanço entre evapotranspiração, umidade do solo, e eficiência fotossintética, com implicações microclimatológicas tanto para a produtividade agrícola e de pastagens, para regeneração florestal e para o funcionamento dos ecossistemas nativos e agroecossistemas.

A consistência nas áreas sombreadas nos mapeamentos explorados nesta pesquisa (Silva *et al*. [1] e Ronquim *et al*. [2]) em relação ao MapBiomas [5] pode ser resultado da utilização de diversos filtros que acabam anulando as pequenas discrepâncias observadas nos mapeamentos de [1] e [2]. Por exemplo, o MapBiomas utiliza valores médios de pixels, considerando todas as imagens Landsat disponíveis para cada ano (e também separadamente para estação seca e estação chuvosa), e dessa forma, caso haja sombra em algumas imagens Landsat e não em outras, as imagens sem sombra acabariam sendo utilizadas [3].

Quando observamos a metodologia dos mapeamentos de Silva *et al*. [1] e Ronquim *et al*. [2] fica claro como a ausência desse processo mais extenso de filtragem e correção utilizado pelo MapBiomas [3], assim como a série histórica mais extensa, reflete na acurácia do mapeamento nas áreas sombreadas, que se apresentam mais sensíveis a divergências de classificação.

5. CONCLUSÕES

Do estudo demonstrado é possível concluir que, provavelmente, o mapeamento do MapBiomas seja o mais adequado para *LULC* em áreas mais declivosas e sombreadas, ao pensar que as áreas mal categorizadas podem influenciar nos resultados de modelagens de restauração florestal futuras. Para estudos futuros, espera-se avançar nas análises das assinaturas espectrais das imagens de satélite, bem como nas assinaturas dos mapeamentos já existentes. Assim como o estudo mais profundo dos filtros usados no MapBiomas para evitar discrepâncias isoladas.

6. REFERÊNCIAS

[1] SILVA, R. F. B. et al. Land Changes Fostering Atlantic Forest Transition in Brazil: Evidence from the Paraíba Valley. v. 69, n. 1, p. 80–93, 2 jan. 2017..

[2] RONQUIM, C. C. et al. Carbon sequestration associated to the land-use and land-cover changes in the forestry sector in Southern Brazil. In: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII. Anais...SPIE, 2016. Disponível em: http://doi.org/10.1117/12.2242094. Acesso em: 25 jul. 2024.

[3] MAPBIOMAS. MapBiomas General "Handbook"

Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) 2024b. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/ATBD-Collection-9-v2.docx.pdf. Acesso em: 05 ago. 2024

[4] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed., Rio de Janeiro, 2012, 276 p.

[5] MAPBIOMAS, Projeto MapBiomas – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 6, v1, n1.

[6] INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS (IPA). Inventário da cobertura vegetal nativa do Estado de São

[7] VALERIANO, M. DE M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. 2008. INPE, São José dos Campos.