



Revista Cerrados (Unimontes)
ISSN: 1678-8346
ISSN: 2448-2692
revista.cerrados@unimontes.br
Universidade Estadual de Montes Claros
Brasil

CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA E O MONITORAMENTO DE ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR RPAS

Silva, Thamyres Marques da; Caldeira, Carlos Rodrigo Tanajura; Caldeira, Mayara Cobacho Ortega; Balieiro, Cintia Pedrina Palheta; Ferreira, Manuel Eduardo

CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA E O MONITORAMENTO DE ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR RPAS

Revista Cerrados (Unimontes), vol. 19, núm. 1, 2021

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576966613004>

DOI: <https://doi.org/10.46551/rc24482692202104%20>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.


CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA E O MONITORAMENTO DE ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR RPAS

Land use/cover classification and the monitoring of areas in forest restoration by RPAS

Clasificación del uso de la tierra y cobertura y seguimiento de áreas en la restauración forestal por RPAS


Thamyres Marques da Silva
eng.thamyresmarques@gmail.com

Instituto de Terras do Pará – ITERPA, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0002-4071-2307>


Carlos Rodrigo Tanajura Caldeira caldeiracr@gmail.com

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0001-7102-7735>


Mayara Cobacho Ortega Caldeira
mayara.caldeira@ufra.edu.br

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0002-2427-9363>

Cintia Pedrina Palheta Balieiro cbalieiro@tnc.org

The Nature Conservancy Brasil – TNC, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0003-4772-0390>

Manuel Eduardo Ferreira mferreira.geo@gmail.com

Universidade Federal de Goiás – UFG, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0003-4516-6373>

Revista Cerrados (Unimontes), vol. 19, núm. 1, 2021

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Recepción: 08 Mayo 2020
Aprobación: 27 Agosto 2020
Publicación: 10 Febrero 2021

DOI: <https://doi.org/10.46551/rc24482692202104%20>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576966613004>

Resumo: Preservar, manter, conservar e restaurar a vegetação de áreas especiais, em processo de degradação florestal são assegurados pelo Código Florestal e pelo Pacto para Restauração da Mata Atlântica. Com intuito de promover metodologias para o monitoramento de áreas em restauração a partir da utilização de levantamento fotogramétrico, técnicas do sensoriamento remoto e geoprocessamento, este trabalho pretende demonstrar por meio dos conceitos de análise e métricas de paisagem a identificação de padrões de vegetação, assim como análises ambientais que auxiliam na compreensão do processo de recuperação de áreas fragilizadas. A classificação do uso e cobertura da terra permitem a geração de produtos secundários e importantes para o planejamento da restauração, como a análise do passivo ambiental, modelagem do terreno e hidrológica e vulnerabilidade ao risco de erosão. Os dados obtidos permitiram quantificação, identificação e classificação das áreas que necessitam de restauração da vegetação nativa.

Palavras-chave: Aerofotogrametria, Monitoramento ambiental, Sensoriamento Remoto, Reflorestamento.

Abstract: Preserving, maintaining, conserving and restoring vegetation of special areas in process of forest degradation are provided by the Forest Code and the Atlantic Forest Restoration Pact. In order to promote methods for monitoring areas under restoration using photogrammetric survey, remote sensing and geoprocessing techniques, this work aims to demonstrate by concepts of analysis and landscape metrics the identification of vegetation patterns, as well as environmental analysis that help in understanding the recovery process of fragile areas. The land use/cover classification allows the generation of secondary and important products for the restoration planning, as the analysis of the environmental liability, terrain modeling and hydrologic and vulnerability to erosion risk. The data obtained allowed quantification, identification and classification of areas that need restoration of native vegetation.

Keywords: Aerial photogrammetry, Environmental monitoring, Remote sensing, Reforestation.

Resumen: La preservación, el mantenimiento, la conservación y la restauración de la vegetación en áreas especiales en el proceso de degradación forestal están garantizadas por el Código Forestal y el Pacto de Restauración del Bosque Atlántico. Con el fin de promover métodos para monitorear áreas en restauración, utilizando estudios fotográficos, técnicas de teledetección y geoprocésamiento, este trabajo se muestra a través de conceptos de análisis y métricas de paisaje para identificar patrones de vegetación, como demostraciones ambientales que ayudan a comprender el proceso de recuperación de áreas frágiles. Clasificación del uso y la cobertura del suelo, generación de productos secundarios e importantes para la planificación de la restauración, como un análisis de las responsabilidades ambientales, el modelado del terreno y la hidrología y la vulnerabilidad al riesgo de erosión. Los datos obtenidos permiten la cuantificación, identificación y clasificación de áreas que pueden ser recuperadas por la vegetación nativa.

Palabras clave: Aerofotogrametría, Monitoreo ambiental, Sensores remotos, Repoblación forestal.

Introdução

A restauração florestal de uma determinada área é o intuito na recuperação de áreas com restrição legal ao uso do solo, o Código Florestal, Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), é o instrumento que normatiza e fornece recomendações para a preservação do meio ambiente de áreas com fragilidade ambiental com o objetivo de minimizar os impactos ambientais ocasionado pelas atividades antrópicas e ocupações desordenadas de diversas áreas no território nacional.

O Código estabelece que a vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APP) e também de Reserva Legal (RL) que não estiverem preservadas ou adequadas a legislação, devem ser recuperadas e conservadas. Desta forma Benini et al. (2006) destacam que os estados necessitam desenvolver políticas públicas direcionadas a restauração nessas áreas.

De acordo com Aronso et al. (2011, p.23), restauração florestal é equivalente a “restauração ecológica aplicada a ecossistemas”, sendo “o processo e prática de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído” (SER, 2004, p.3). Sendo a restauração florestal um processo a ser desenvolvido para a recuperação de áreas degradadas, algumas ações (públicas e/ou privadas) são necessárias para a conservação da biodiversidade e uso sustentável dos recursos naturais, acompanhadas de métodos específicos.

A conservação da biodiversidade nos biomas brasileiros é o principal foco da recuperação de áreas danificadas por ações antrópicas, a exemplo da Mata Atlântica que possui uma forte dinâmica da paisagem quanto à conversão da floresta para usos alternativos do solo, o qual ocorre devido à ocupação desordenada e exploração dos recursos naturais de forma aleatória e predatória. Sendo assim, criou-se o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (PRMA), objetivando a articulação de diversas entidades para a aplicação de um conjunto de ações a fim de recuperar as áreas prejudicadas. (RODRIGUES *et al.*, 2009)

Dentre as etapas do processo de restauração, o monitoramento é de grande importância, pois o mesmo realiza observações do método implantando na recuperação das áreas degradadas. Como demonstrando por Reis (2017) e também Balieiro et al. (2019), as técnicas provenientes de Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Fotogrametria podem auxiliar na manipulação, análise e edição de dados espaciais, visando quantificar, qualificar e demonstrar a evolução do processo de restauração.

Para a composição deste trabalho, definiu-se uma área de estudo localizada no município de Miguel Pereira, no estado do Rio de Janeiro, onde há um projeto de restauração a partir da implementação de 5 (cinco) espécies arbóreas nativas, Aroeira Pimenteira e Salsa, Ingá Vera, Pau Cigarra, Angico Cancalha. A observação da área foi realizada através de sensor embarcado em um Aeronave Remotamente Tripulada (*Remotely Piloted Aircraft System* - RPAS), com o qual foram coletadas as fotografias que compõem o bloco fotogramétrico, objetivando a geração do ortomosaico e de mapas da cobertura vegetal para o monitoramento de áreas de restauração ecológica.

A avaliação do uso e cobertura do solo seria realizada após os procedimentos do levantamento aerofotogramétrico; a partir da organização de um fotoíndice; apoio de campo com levantamento/processamento de pontos GNSS/GPS (*Global Navigation Satellite System. Global Positioning System*) e Fototriangulação. Contudo, o processo fotogramétrico aplicado foi mais simples baseado na aquisição de imagens e alinhamento da mesma, geração de Modelo Digital de Superfície e no ortomosaico. De acordo com a metodologia, realizou-se a classificação do uso e cobertura do solo, a aplicação de índices de vegetação e métricas de paisagem e, também, outras aplicabilidades como forma de aferir a efetividade do processo de restauração ecológica.

Deste modo, as ferramentas utilizadas servem de auxílio para análises no planejamento ambiental de acordo com as considerações do Código Florestal para a regularização ambiental, tendo a capacidade em avaliar uma gama de dados geoespaciais.

A temática abordada é relevante com o intuito de validar dados provenientes de sensores embarcados em RPAS's para o monitoramento da restauração florestal, em detrimento de sensores orbitais que podem possuir baixa resolução espacial ou, no caso de produtos de alta resolução cartográfica, ter um custo elevado, além da dependência da resolução temporal dos satélites.

Outrossim, outros produtos cartográficos provenientes da fotogrametria permitem outras análises para facilitar o monitoramento da restauração florestal, como o diagnóstico do passivo ambiental e risco natural a perda de solo, tais análises ambientais se tornam aliadas para a preservação e restauração de áreas degradadas.

Materiais e métodos

Foram definidas etapas metodológicas para a realização do trabalho. A primeira etapa é a caracterização da área de estudo, tem por objetivo primário conhecer a área, identificar a localização, características fisiográficas e demarcar o a área de interesse. Outra fase corresponde ao planejamento de voo e processamento digital das imagens adquiridas para a geração de ortofotos. A última etapa trata-se da utilização de geoprocessamento com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) nas análises espaciais, que consiste na análise em ambiente computacional a partir da construção de um banco de dados geográficos, possibilitando a manipulação e interpretação de dados (CÂMARA et al., 2001).

Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Miguel Pereira, Rio de Janeiro, com cerca de 20,86 hectares (Figura 1). Faz parte de um projeto de restauração florestal do Instituto Terra de Preservação Ambiental (ITPA), com a inserção de cinco espécies arbóreas nativas, Aroeira Pimenteira (*Shinus terebinthifolius*), Aroeira Salsa (*Schinus mole*), Ingá Vera (*Inga vera*), Pau Cigarra (*Senna multijuga*) e Angico Cascalha (*Mimosa artemisiana heringer e paula*), como método de restauração da vegetação.

O município possui cerca de 24.642 habitantes em uma área territorial de 289.183 km²; encontra-se ao norte da Reserva Biológica do Tinguá, na região sudeste do Brasil, na microrregião de Vassouras, mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro (IBGE, 2016), pertencente ao clima tropical de altitude Cwa segundo a classificação climática de Köppen-Geiger.

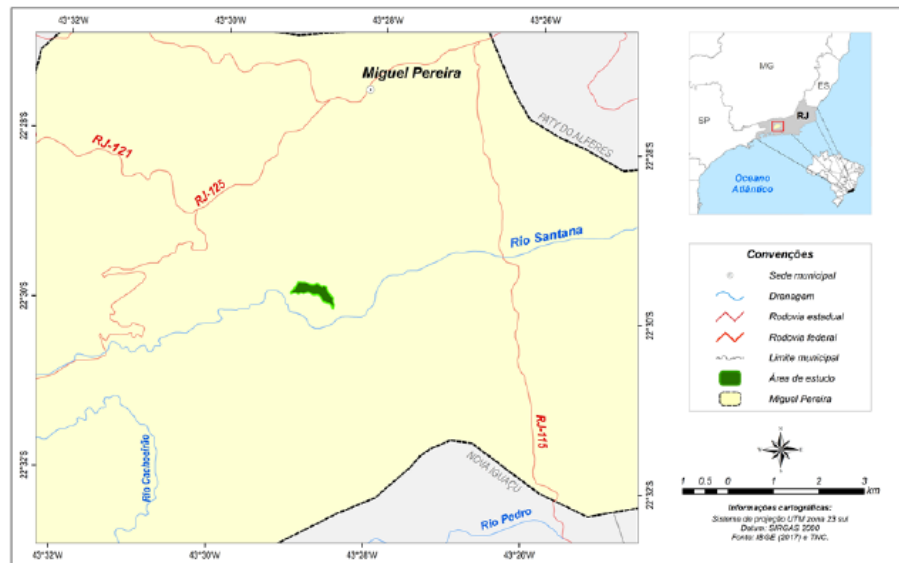


Figura 1
Localização da área em Miguel Pereira, RJ
IBGE (2017), elaborado pelos Autores (2020).

Processamento de imagens

Segundo Konecny (2003) a preocupação da fotogrametria é a mensuração geométrica de objetos em imagens digitais ou analógicas. Berveglieri et al. (2019) indicam que o objetivo da fotogrametria é reconstruir o espaço tridimensional, também conhecido como espaço-objeto, a partir de um conjunto não-vazio de imagens bidimensionais, denominado espaço-imagem. Para realizar essa transformação, do bidimensional para tridimensional, é necessário adquirir pontos de controle e, a partir deles, realizar a Fototriangulação, que é um método fotogramétrico de determinação de coordenadas de pontos no espaço objeto^[1] (COELHO e BRITO, 2007).

O processo fotogramétrico neste trabalho foi realizado de modo mais simples de modo que o tempo empenhado para a geração de produtos foi otimizado. Para a execução da fototriangulação, foi utilizado o bloco fotogramétrico, contendo um total de 217 imagens e 9 faixas de voos, por meio da plataforma de aerofotogrametria *Agisoft Metashape* versão *trial*.

O equipamento utilizado para o voo foi o DJI *Phantom 4* que é um RPA, com quatro motores elétricos e peso máximo de decolagem de 1,38 kg. Pela classificação, proposta pela Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, trata-se de um RPA de Classe 3 - microRPA (i.e., peso máximo de decolagem entre 250 g e 25 kg).

O RPA possui um sistema de GNSS embarcado, que adquire dados da constelação GPS e GLONNAS, esse sistema, tal qual o GNSS de navegação conhecido, não é possível realizar o pós-processamento dos dados, logo estes dados irão servir como dados aproximados de Parâmetros de Orientação Exterior^[2] para a fototriangulação. A orientação é realizada através do cálculo de pseudodistância (distância

entre o satélite e o receptor), de acordo com a relação do tempo e velocidade (FRANCO, 2009).

No RPA é acoplado um sensor CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*), é uma câmara digital que fornece imagens no padrão RGB (*Red, Green, Blue*), cobrindo o espectro óptico do azul, verde e vermelho. A resolução das imagens é de 12,4 megapixels por polegada, a distância focal de 20 mm.

O plano de voo foi realizado pela plataforma online *Drone Deploy*. O serviço permite inserir informações acerca do voo, como a área a ser percorrido, altura do voo e sobreposição lateral e longitudinal, direção de voo, velocidade máxima de voo, entre outros. Com o voo realizado, é possível visualizar algumas informações, o *2D Map*, *3D Model*, *Plant Health* e *Elevation*.

O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM (*Universal Transversa de Mercator*), Zona 23 Sul e o Datum WGS 1984 (*World Geodetic System 1984*). Para a execução das análises, foi construído um mosaico não apoiado, na plataforma de aerofotogrametria empregando as imagens coletadas com sobreposição de 80% lateral, com altura de voo de 160 metros.

A primeira parte do processamento das imagens consiste em alinhar as fotos, gerando assim na interface do *software* uma superfície da área de interesse. Com as imagens alinhadas, o Modelo Digital de Elevação (MDE) é gerado. Após a geração do MDE, é alcançado o último passo, a denominada ortorretificação da imagem, que consiste na inserção de referências espaciais, corrigidas de acordo com a superfície da área.

O resultado final, é demonstrado na Figura 2a com a elaboração do Ortomosaico e também do Modelo Digital de Superfície (MDS) (Figura 2b). A resolução espacial do mosaico foi de 8,59 cm; um resultado obtido sem a utilização dos pontos de apoio para a realização da fototriangulação. O tamanho do pixel no terreno do MDS foi de 1,89 m, o que viabiliza a interpolação de curvas de nível, por exemplo, com uma diferença pequena quanto a realidade do terreno.

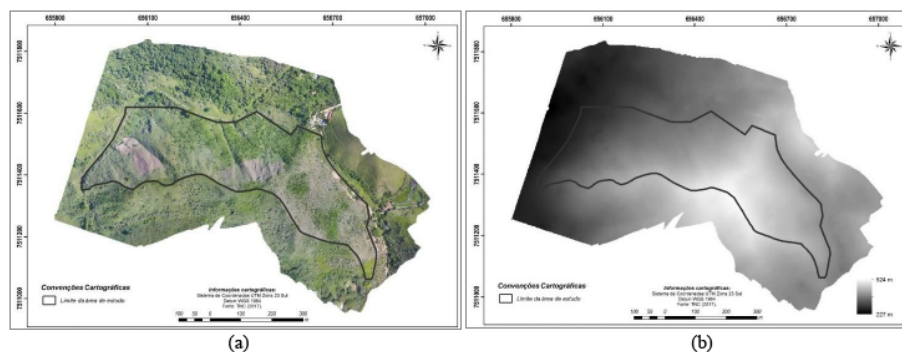


Figura 2
Ortomosaico (a) e Modelo Digital de Superfície
Autores (2020)

Análises em SIG

Após a construção do mosaico, compuseram as propostas para a metodologia, com o intuito de executar o monitoramento das áreas em restauração, a partir da Classificação da Cobertura da Terra, verificação de métricas de paisagem, MDS da área, além de outras análises possíveis com os dados. Para o processamento de imagens, foi utilizado o *software* ENVI 5.4, enquanto que a análise das informações, banco de dados e layout foram realizados na plataforma ArcGIS 10.2.

Análise a partir de MDS

Os dados obtidos a partir do Modelo Digital de Superfície permitiram a geração de resultados que permitem o auxílio no processo de regeneração florestal, como o conhecimento da declividade da área, a modelagem hidrológica, e também a vulnerabilidade a erosão.

Vulnerabilidade natural à erosão

Para a realização de uma avaliação de vulnerabilidade à erosão, foi feito uma análise multicritério, que é um instrumento de gestão e se baseia em atribuir variáveis e pesos a diversos critérios e demonstrar a ocorrência de um determinado fenômeno.

Para tal, foi utilizado o *software* ArcGIS 10.2. Primeiro foi transformado o *raster*, com que possui os valores digitais (DN – *Digital Number*) em tipo *float* (com casas decimais) para informações do tipo inteiro. Com a informação de declividade, somada a outros critérios, foi possível avaliar de modo simples, a vulnerabilidade de risco à erosão, porém para uma análise mais criteriosa e precisa, são necessárias informações quanto ao solo, tipologia vegetal, geomorfologia, clima e geologia da região, (CREPANI *et al.*, 2001). Os dados foram adquiridos do site do Ministério de Meio Ambiente, a escala dos dados é de 1:5.000.000 (para todo o país).

Assim, foi realizado um ajuste de escala e após isso o recorte da área de estudo dos dados de solo e vegetação, para a realização de uma análise simples. A variável declividade, foi obtida a partir do Modelo Digital de Superfície, utilizando a ferramenta *slope*.

Com o suporte da ferramenta *Reclassify* para a inserção de pesos para cada variável (Tabela 1 a Tabela 4) e a partir da adaptação do modelo matemático de Crepani *et al.* (2001) é calculado a vulnerabilidade natural à perda do solo.

Tabela 1
Critérios para declividade

Atributo	Declividade %	Vulnerabilidade
Muito baixa	00 - 02	1,0
Baixa	02 - 06	1,5
Média	06 - 20	2,0
Alta	20 - 50	2,5

Adaptado de Crepani et al. (2001).

Tabela 2
Critérios para solo

Atributo	Vulnerabilidade
Argissolo amarelo	02,0
Argissolo vermelho	02,0
Argissolo	02,5

Adaptado de Crepani et al. (2001).

Tabela 3
Critérios quanto a cobertura vegetal

Atributo	Formações	Vulnerabilidade
Estável	Floresta Ombrófila Densa e Aberta	1,0
Moderadamente vulnerável	Vegetação com influência fluvial e -ou lacustre, porte arbustivo.	2,3 a 2,6
Moderadamente vulnerável	Pecuária (pastagens)	2,8

Adaptado de Crepani et al. (2001).

Tabela 4
Escala de vulnerabilidade

Média	Grau de vulnerabilidade
2,7 - 3,0	Vulnerável
2,3 - 2,6	Moderadamente vulnerável
1,8 - 2,2	Medianamente estável/vulnerável
1,4 - 1,7	Moderadamente estável
1,0 - 1,3	estável

Adaptado de Crepani et al. (2001).

Os critérios contidos nas Tabelas 1, 2 e 3, juntamente com as informações de vulnerabilidade, da Tabela 4, torna-se de extrema importância no momento de tomadas de decisão.

Modelagem hidrológica e do relevo

A partir dos dados referentes ao MDS, é possível realizar o processo para a delimitação de microbacias, com objetivo principal de encontrar os divisores de água e assim ter uma noção do fluxo da mesma, na área de estudo. Para a realização da modelagem, é necessário um conjunto de ferramentas do *Hydrology*, em *Spatial-Analyst Tools*, disponíveis na plataforma ArcGIS 10.2.

As etapas do processamento consistem no preenchimento de depressões, na identificação da direção e acumulação de fluxo e delimitação de bacias, e a partir da ferramenta *Map Algebra*, com os arquivos correspondentes a acumulação de fluxo e um limiar de valores dos pixels de 500, e extração e delimitação do que seria a rede de drenagem da área.

A partir do MDS foi feito também a modelagem em 3 dimensões do relevo, por meio das curvas de níveis de 5 e 10 metros de distância, e assim o produto com a altimetria da área, é possível a visualização da rede de drenagem por sua ordem, por exemplo, uma das funções da modelagem é sua utilidade para caracterização morfológica de uma determinada região (CREPANI *et al.*, 2001).

Classificação

A classificação do uso e cobertura do solo é uma etapa crucial para as análises principais a serem realizadas. Consiste na geração de um mapa temático (*raster* ou vetorial), por meio do algoritmo de classificação, de Máxima Verossimilhança, na plataforma ENVI 5.4.

Antes da classificação, foi realizado o processo Modelo Linear de Mistura Espectral (MELLO *et al.*, 2003) na plataforma TerraAmazon 4.6.3, com o intuito de extrair as bandas fração de solo, vegetação e sombra, a partir da coleta de pixels puros na imagem, para auxílio na classificação supervisionada. Para a diferenciação entre as áreas de solo e vegetação, foi feito a razão entre as bandas de vegetação e solo. Essa aplicação permitiu uma distinção das classes alvos.

Para a classificação é coletado amostras de treinamento na imagem, a aquisição é feita a partir da predefinição de classes de uso ou cobertura, de acordo com a resposta espectral das mesmas. Para a classificação foram definidas cinco (5) classes: vegetação densa, vegetação baixa, solo com grama e solo exposto e afloramento rochoso. Após a classificação da área, essas classes foram agrupadas em dois subgrupos, o de fragmentos de vegetação e de solo.

Após a classificação, o resultado passou por edição manual e também foi utilizado o filtro mediano para a extração de ruídos, conforme proposto

por Harris (2011), pois suaviza a imagem e preserva as bordas maiores que a dimensão do *kernel* utilizado (3x3) causados na imagem. As classes de solo exposto e a de afloramento, por terem comportamento espectral semelhantes se confundiram, assim uma edição manual foi realizada, para a correção de tais classes.

Para a validação dos dados obtidos, utilizou-se o Índice MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*), que é a diferença normalizada entre as bandas da região do verde e vermelho, onde o resultado há uma variação, sendo que quanto mais próxima de 1, demonstra a presença de solo e quando é próxima ao valor -1, se aproxima das classes de vegetação (LINHARES *et al.*, 2016).

Medidas de estrutura da paisagem

Com a classificação do uso e cobertura do solo foi possível extrair os dados referentes ao fragmento de paisagem utilizando o software ArcGIS 10.2. Para tal, os dados foram convertidos para o formato *shapefile* (vetor), e assim foi selecionado as duas classes referentes a vegetação agrupando-as como apenas uma classe e um único fragmento. Porém cada fragmento deve ser identificado por um atributo, como o tamanho e área, de modo que foi necessário separar os fragmentos da vegetação, sendo o passo seguinte a transformação do dado vetorial em dado matricial.

Foram calculadas as métricas relativas à área, bordas e forma: Tamanho de mancha (cobertura de terra, *landcover*); Proporção de paisagem; Comprimento de borda; Número de manchas; Índice de dimensão fractal; Área núcleo; e Tamanho da malha efetiva.

Com auxílio de planilhas foi possível também determinar a Índice de maior mancha; Índice de menor mancha; Razão perímetro área; e Tamanho médio das manchas. O cálculo das métricas da paisagem permite a tomada de decisões no planejamento de atividades referentes à restauração ecológica, sendo pertinente para o monitoramento de tais áreas de estudo, com sensores embarcados em um RPA.

Resultados e discussão

A restauração florestal tem por objetivo a manutenção e equilíbrio de um ecossistema. Se não houver o processo de recuperação, o solo descoberto influencia diretamente nos processos erosivos e assoreamento dos rios, causando perda de qualidade da água, baixa fertilidade do solo e aumento de enchentes (NBL e TNC, 2013).

Os sensores embarcados em RPA, também conhecidos como *drones*, já têm sido utilizados em diversas áreas da sociedade, indo desde o mapeamento/planejamento em áreas urbanas, serviços de segurança/vigilância, até no monitoramento do uso do solo em áreas rurais.

Dessa forma, para o monitoramento, é necessário o acompanhamento da área, de modo constante, e avaliando o custo-benefício dos métodos utilizados para tal. A partir de um levantamento aerofotogramétrico e

com todo o processamento, foi possível gerar resultados para diversos tipos de estudos que auxiliam na compreensão no monitoramento de restauração ecológica.

Uma das premissas iniciais do trabalho seria compreender se a área de estudo é representativa do bioma em si, porém, a extensão da Mata Atlântica que permeia por toda a costa brasileira, possui características diferentes, quanto ao clima, geologia, geomorfologia. Portanto as nos restringirmos as características da região sudeste, representantes da Mata Atlântica.

O uso de geotecnologias foi de importante valor para a realização das análises, pois além de facilitarem a espacialização das informações, permitiu a otimização do trabalho. Os resultados do trabalho se dividem na análise do uso e cobertura do solo, modelagem hidrológica, relevo e o objetivo principal, o monitoramento dos fragmentos florestais.

Monitoramento de áreas de restauração florestal

Para a realização do monitoramento, algumas etapas foram executadas. A classificação de uso e cobertura do solo e cálculo de estrutura de paisagens a partir dos fragmentos, contudo, os resultados também podem perpassar por outros tópicos que podem auxiliar na restauração florestal.

Cobertura da terra

As características da área de estudo quanto a cobertura, permeiam as categorias de solo e vegetação (Tabela 5). A classe referente ao afloramento rochoso corresponde a 8,68% da área, o solo exposto corresponde a menos de 1%. Ao observar a espacialização desta camada (Figura 3) é perceptível que as áreas de solo exposto, correspondem as estradas mais próximas da área de estudo. O solo é a classe mais expressiva, com 56,99% de cobertura, denota assim a necessidade da regeneração da área.

Tabela 5
Área de cada classe da área de estudo

Classe	Área (m ²)	%
Vegetação densa	034.842,44	16,68
Vegetação em regeneração	035.400,27	16,94
Afloramento rochoso	018.146,84	08,68
Solo exposto	001.480,82	00,71
Solo	119.075,07	56,99
Total	208.945,44	100,00

Autores (2020).

As duas classes de tipos de vegetação somam 33,62%, apenas um terço da área. A área total é equivalente a 208.945,44 m², cerca de 20,89 hectares. O conceito matriz, demonstrando pela ecologia de paisagem é composto pelas classes definidas na área de estudo, entretanto, o monitoramento da área é feito com os dados acerca dos fragmentos florestais, constituídos pelas classes vegetação densa e em regeneração, que são as duas tipologias vegetais existentes e foram extraídas para análise. Assim, são atribuídas informações as manchas florestais, que de acordo com a ecologia de paisagem, e por possuírem padrões que são mensuráveis, é identificado as circunstâncias de manutenção e conservação da área.

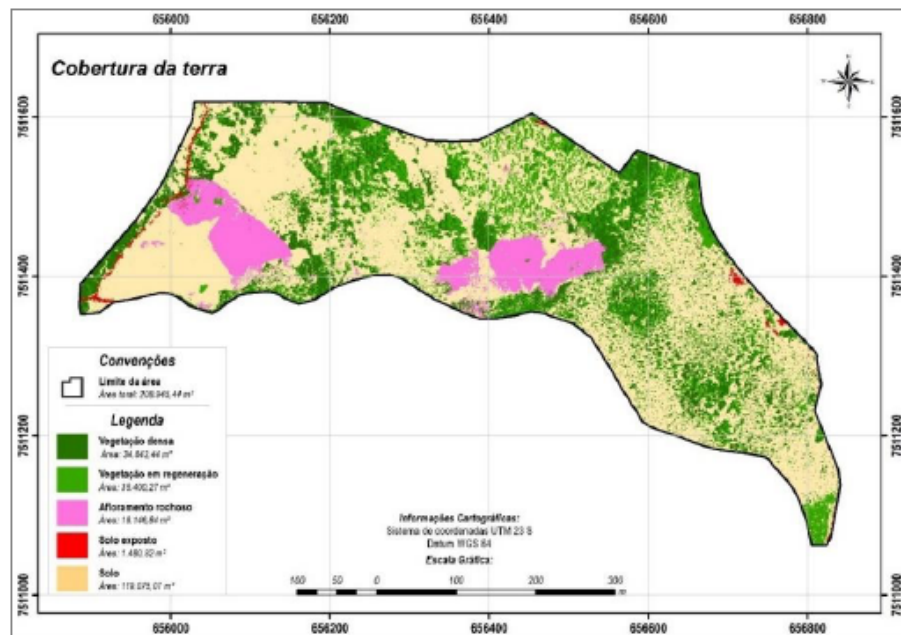


Figura 3
 Mapa de cobertura da terra
 Autores (2020).

Análise do passivo ambiental

Os dados referentes a classificação, foram categorizados para identificar o resultado do passivo ambiental Figura 4, analisado de acordo com a Lei nº 12.651/2012. De acordo com o Código Florestal, o Brasil tem compromisso soberano com a preservação das suas florestas, vegetação nativa, com a biodiversidade, solo, recursos hídricos e integralidade do sistema climático para o bem-estar das gerações futuras (Art. 1º, parágrafo único). Com tal premissa, o código estabelece critérios para a manutenção e conservação dos itens acima citados.

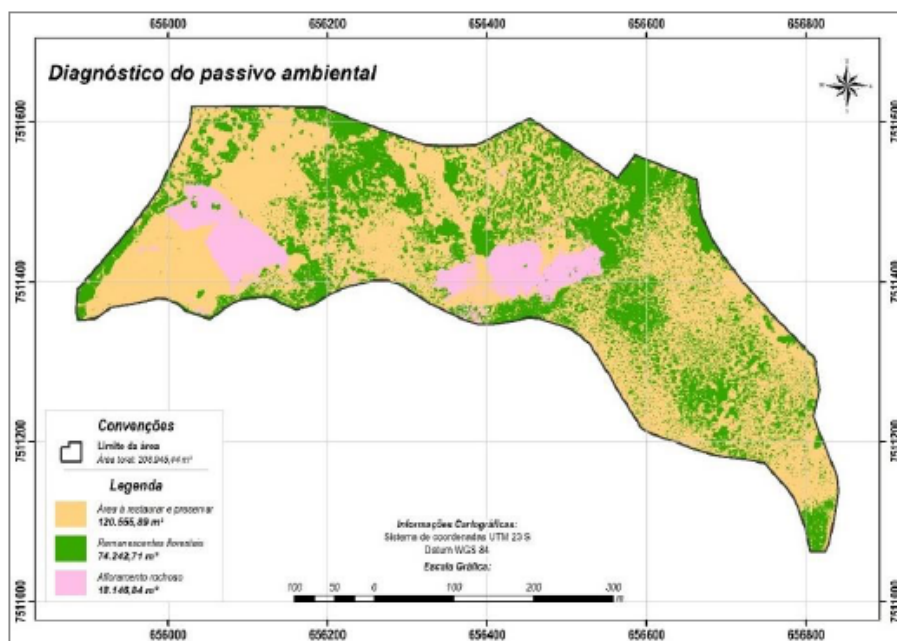


Figura 4
Passivo ambiental
Autores (2020).

O conceito de Áreas de Preservação Permanente (APP) é delimitado no Artigo 2º, “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Para tal, a quantificação dos padrões de vegetação é um ponto essencial para se ter o controle da restauração da área.

Há regras para a aplicação de APP (Art. 4º) nos biomas brasileiros, para o caso da Mata Atlântica, além de se aplicar as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene ou intermitente, há também a situação que “no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem metros) e inclinação média maior que 25º”, que é o caso da área de estudo, sendo assim, justificando o processo de restauração florestal que ocorre na área para a manutenção e conservação da vegetação e biodiversidade.

A área é composta por remanescentes florestais e em restauração, equivalem a 70.242,71 m² (cerca de 34% da área). A área também possui a classe afloramento rochoso, correspondente a aproximadamente 9% do total. Assim, a área que deverá sofrer processo de restauração é de 57,33%, mais da metade da área total.

Vulnerabilidade a erosão

Para analisar o risco sobre uma possível erosão da área, foram utilizados os dados quanto a declividade, com o Modelo de Superfície. Com o mapa de declividade da área (Figura 5a), pode-se perceber que, grande parte da

área possui declividade próxima ou acima de 45° , considerando o relevo da região como montanhoso.

Os dados quanto ao solo e vegetação foram adquiridos na escala de 1:5.000.000, como mencionando na metodologia, apesar de ser uma escala não própria para a área de estudo, a implementação desta análise visou identificar as áreas de risco, justificando assim, a necessidade da restauração florestal, como componente essencial para a manutenção do sistema.

A região é formada pelo solo do tipo Cambissolo Distrófico e afloramento rochoso, que foi atribuído a partir dos dados da classificação do uso e cobertura, e a tipologia vegetal da Floresta Ombrófila Densa, Floresta Atlântica. Na Figura 5b é representando o resultado da análise multicritério.

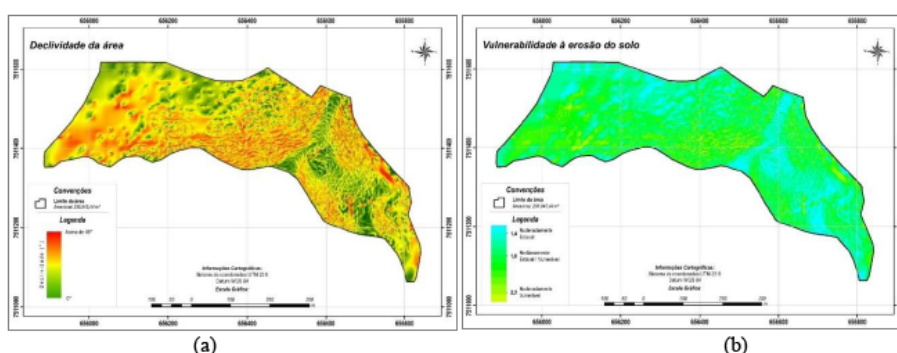


Figura 5
Mapa de declividade (a) e Vulnerabilidade a erosão (b)
Autores (2020).

O tipo de solo da região, Cambissolo Distrófico, normalmente aparece em relevos como o da área de estudo (do tipo ondulado e montanhoso), possui forte presença de minerais e não é um solo profundo, e também não possui altos níveis de fertilidade. Os índices de vulnerabilidade (1 a 3), variam entre 01,45 a 02,40. Na classificação proposta por Crepani et al. (2001), por volta de 06,6% pertencem a classe Moderadamente Estável e 38,2 % a classe Moderadamente Vulnerável. Os maiores índices encontram-se com Medianamente Estável e/ou Vulnerável, com 55,2%. Devido a declividade da área e o risco de vulnerabilidade do solo, é notório que deve-se levar em consideração os dados para a avaliação da restauração.

Modelagem de dados

Como resultado deste processamento obteve-se os divisores de águas da área de estudo. A Figura 6 demonstra as etapas realizadas, desde da aquisição do MDS, a direção e acumulação de fluxo, a extração da rede e o recorte do que pode ser explicado como microbacias presentes na área de estudo. Cada etapa realizada corresponde a parte do processamento, como o preenchimento de depressões ou buracos do *raster*, o direcionamento do fluxo de acordo com a diferença altimétrica de cada pixel, a acumulação do fluxo é determinada pela direção e as cotas mais baixas. O resultado

proveniente dessas informações é a delimitação da rede de drenagem e os divisores de água.

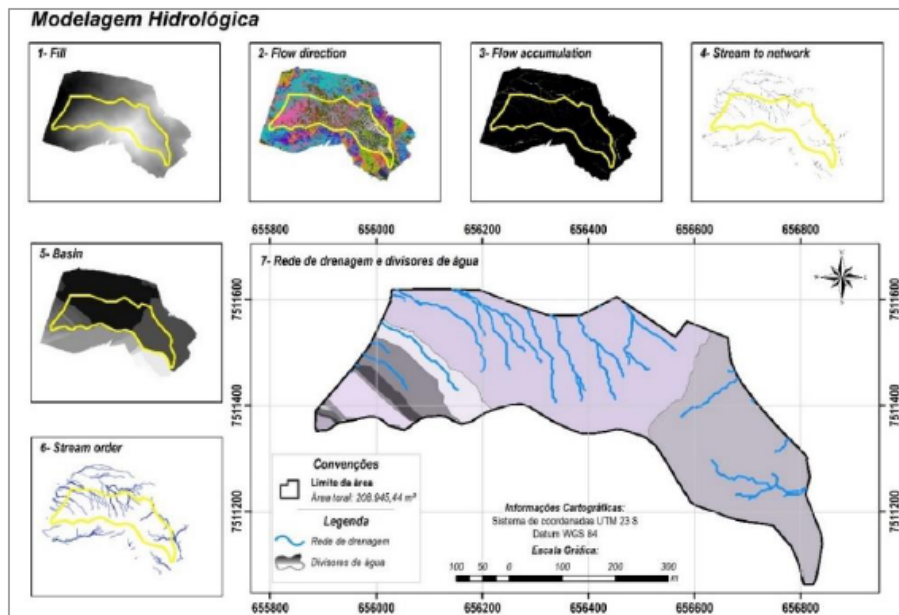


Figura 6
Etapas do processo de modelagem hidrológica
Autores (2020)

A rede de drenagem demonstrada, representa as cotas mais baixas e assim a delimitação do caminho que o fluxo de água percorre. Pode ser demonstrando também pela modelagem do relevo realizado a partir da extração de curvas de nível da área (Figura 7).

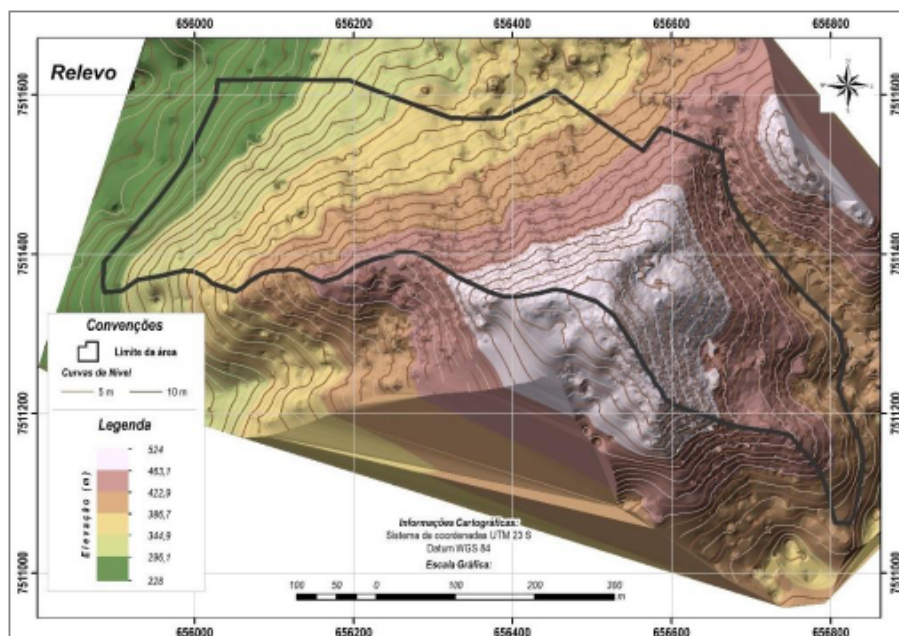


Figura 7
Relevo da área
Autores (2020)

Como denotado pelo mapa de declividade do terreno e pelo MDS, a região possui alta declividade e cotas elevadas, entre 228 e 524 metros, os picos de enchentes, infiltração e suscetibilidade da erosão dependem deste fator que, segundo Vilela e Mattos (1975), está ligado com a velocidade e intensidade do escoamento superficial da água.

Estrutura de paisagem

Com a extração das áreas de vegetação da classificação supervisionada, obte-se a quantificação de fragmentos florestais com uma área de 70.242,91 m². Porém, como foi realizado a análise a partir de dados matriciais, a área de fragmentos foi de 70.418 m², isso ocorre, pois, os dados foram convertidos em *pixels* e a área mínima de 1 m². A necessidade em realizar a conversão dos dados, foi devido ao tempo de processamento dos dados, ou seja, o arquivo vetorial possuía uma densificação maior de fragmentos, necessitando de uma capacidade maior de processamento, o que não foi possível devido a limitação da ferramenta utilizada para a análise. A contagem de fragmentos foi de 4.657 unidades. Na Figura 8 apresenta a espacialização dos fragmentos em relação a sua área.

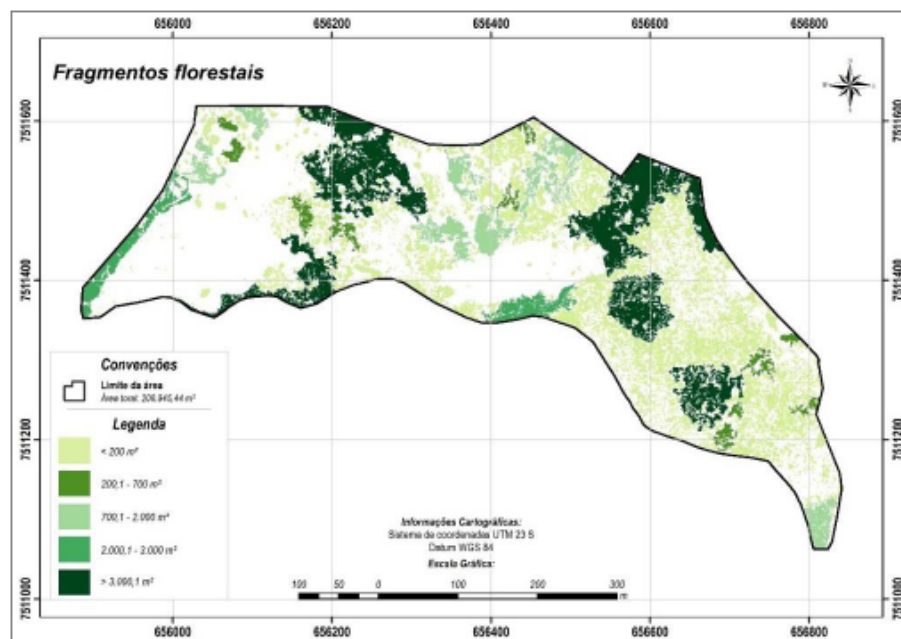


Figura 8
Espacialização de fragmentos florestais
Autores (2020)

Para a análise deste dado, estabeleceu-se a divisão entre manchas menores que 200 m²; entre 201 m² e 700 m²; 701 m² e 2 km²; 2,1 km² a 3 km² e acima de 3,1 km² (Figura 9). As manchas com área inferior a 200 m² são as mais expressivas na área de estudo, com mais de 99% do total. As outras áreas somam menos de 1%, áreas entre 700 m² a 3.000 m², contabilizam juntas 0,47%. Os maiores fragmentos correspondem a apenas 0,11% do total, porém sua área equivale a 28.526 m², o mesmo que

41,51% do total de fragmentos. O segundo maior valor de área, é da área menor de 200 m², com 32,96%.

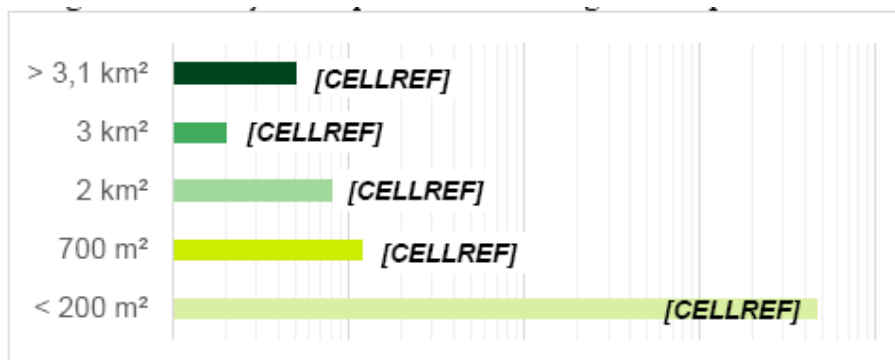


Figura 9

Relação de quantidade de fragmentos por tamanho

Autores (2020)

O tamanho e forma das manchas são necessários para quantificar os processos que ali ocorrem, como estimar o desenvolvimento da restauração na área e a partir deste dado, obter também os dados de área núcleo, que serão desenvolvidos adiante, juntamente para explicar o efeito de borda que pode ocorrer na região. Desta forma, outra análise importante para compreender os processos, é o perímetro dos fragmentos, ou seja, das bordas, a quantificação dessa estrutura permite compreender o quão será afetado pelo efeito de borda.

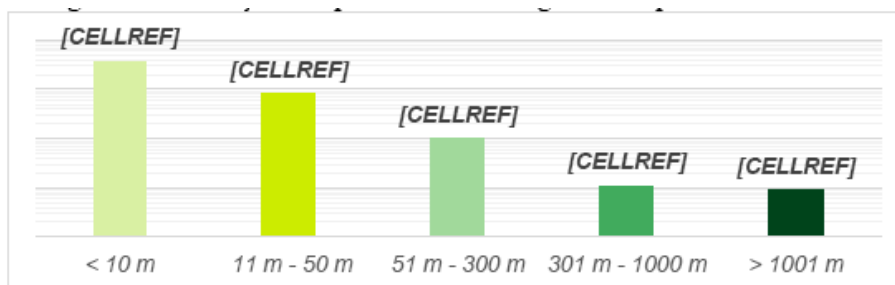


Figura 10

Relação de quantidade de fragmentos quanto à sua borda

Autores (2020).

Os dados quanto ao perímetro, denotam um comportamento parecido com a análise de área. Os fragmentos com mais de 1 km de extensão de borda são apenas 0,19 %, os mesmos, contabilizam nove fragmentos com 21.200 m de borda. Dentre esses dados, o que mais se destacou foram as manchas com perímetro de até 50 m, somando-as são equivalentes a 36.536 m, cerca de praticamente metade do perímetro total, e juntas são 97,42 % dos fragmentos (Figura 10).

Analisar o efeito de borda é muito importante para o monitoramento, visto que as influências do ambiente ao redor podem influenciar a vegetação de forma que não se tenha mais condições de manter a biodiversidade que há ali. Quanto mais irregular for o fragmento, mais o efeito irá aparecer. O índice de forma, proposto por Forman e Godron

(1986), visa caracterizar o desvio da forma da mancha, da forma otimizada de um círculo, avaliando a sua complexidade, assim, quanto mais a forma da mancha desviar-se do padrão circular maior será o índice (LANG e BLASCHKE, 2009).

Para a situação da área de estudo, deve-se lembrar que está sendo avaliado os dados de acordo com o *raster*, porém, para uma análise mais precisa dos fragmentos, para esse índice foi utilizado o padrão vetorial, assim pode-se observar na Tabela 6 que mais da metade possui o índice menor que 1,4 (adimensional), sendo relativamente compacta. Aproximadamente 17 % dos fragmentos está acima de 1,7, são formas que apresentam várias bordas e são mais complexas (SILVA e SOUZA, 2014). A relação, então, demonstra que quanto menor, mais próximo a um círculo está o seu fragmento, e quando é maior, mais recortada é o fragmento.

Tabela 6
Índice de forma e média da razão área - perímetro

Índice de forma	%	Média da A/P
< 1,2	49,77%	0,15230
1,2 - 1,4	33,56%	0,13260
1,4 - 1,7	10,41%	0,24700
1,7 - 2,0	02,90%	0,38894
2,1 - 8,0	03,26%	0,53162
> 8,0	00,10%	1,29422

Autores (2020).

Os maiores fragmentos possuem índice superior a 8,0. Para tal é necessário observar também a relação entre área e perímetro, onde Lang e Blaschke (2009) afirmam que uma das formas mais otimizada é representada por um círculo, pois se trata de grandezas absolutas, e os valores geralmente se encontram entre 0 a 1. Porém como observado na Tabela 7, os fragmentos que possuem maior índice, também possuem maior relação entre borda e área, Silva e Souza (2014), salientam que a relação área e perímetro estão vinculados a área Core (Área Núcleo).

Tabela 7
Valores de área núcleo

Valores de Área núcleo (m ²)	%	Área núcleo (m ²)	%
0	94,29%	00.000	00,00%
0001 - 0100	05,26%	01.807	07,78%
0101 - 1000	00,32%	05.727	24,67%
1000 - 5000	00,09%	05.038	21,70%
> 5000	00,04%	10.643	45,85%
Total Geral	100,00%	23.215	100,00%

Autores (2020).

Com a ferramenta *LecoS* foi possível extrair o *Overall Core area* (Área geral do núcleo), uma estimativa muito relevante pois é nessa área que mais se aproxima de valores de áreas conservadas, ou seja, que não apresenta os efeitos de borda. O total encontrado de área núcleo, dos dados em formato *raster*, foi de 23.215 m², ou seja, apenas 32,97% do total de fragmentos florestais possuem área núcleo.

Foi determinado uma classificação para simples avaliação dos fragmentos (Tabela 7), em 5 classes de valores, as áreas de 001 a 100 m², equivalem a 5,26%, com 1.807 m² de vegetação. Os maiores valores quanto as áreas de fragmentos ficaram classificados entre os acima de 101 m² e 5000 m². Apenas dois (2) fragmentos possuem área núcleo acima de 5.000 m², porém juntos somam 45,85% da área de fragmentos.

A principal observação é na quantidade de fragmentos com valor nulo (4391 unidades), equivalentes a 94,29% dos fragmentos não possuem área núcleo, ou seja, muitos fragmentos, muito menores, correm o risco de sofrerem os efeitos de borda.

Os dados obtidos elucidam o comportamento da área quanto ao processo de restauração. Quando observado os valores de área núcleo, percebe-se que esses fragmentos que possuem valor nulo devem ser observados para que não ocorra degradação de sua formação. Porém, elas estão próximas de manchas maiores e podem ser absorvidos por elas, visto que esse é objetivo da restauração. Por mais que o percentual de áreas de fragmentos maiores que 3km² seja apenas de 0,11%, é importante observar que equivalem a aproximadamente 18.000 m² de extensão.

Para que o monitoramento seja efetivo, é necessário a avaliação em escala temporal, um dado único, não pode estabelecer com confiança qual o percentual de restauração, e em que situação ela se encontra, quanto ao desenvolvimento das espécies. A análise proposta, tem por objetivo indicar um método para a avaliação e assim compreender como funciona o processo de restauração. Incluir indicadores de padrões de vegetação para a quantificação desses dados, determinando a validação da restauração ecológica.

Conclusão

A construção de um banco de dados para o monitoramento de áreas de restauração, a partir de levantamento fotogramétrico, demonstra as diversas análises que podem ser consideradas para tal. A determinação do tipo de RPAS para a aquisição das imagens foi o primeiro passo para a realização do trabalho, e de início é possível perceber que para regiões com relevo do tipo montanhoso, ou fortemente ondulado, a utilização de *drones* de asa rotativa, no caso o *Phantom 4*, em detrimento de RPAS de asa fixa, o qual é necessário um local plano para o pouso, foi imprescindível para a realização do voo.

Os dados obtidos após o levantamento em campo: o ortomosaico e MDS foram de extrema importância para as análises propostas. Em primeiro, o MDS admite a implementação de análises pertinentes ao terreno, conhecimento quanto ao relevo da região, determinando assim o risco de vulnerabilidade da área, denotando o valor da restauração florestal. Outro fator, foi a realização da modelagem hidrológica, permitindo conhecer os divisores de água e assim, o escoamento superficial, foram informações cruciais para trabalhos em campo, por exemplo.

As análises pertinentes a estrutura de paisagem, cujo objetivo é reconhecer os padrões, identificando assim o grau de distúrbios e também de regeneração. Para a realização de um monitoramento mais efetivo, é pertinente a atribuição de períodos de análise, ou seja, a realização de mais voos na área, divididos em tempos distintos. Assim os valores obtidos na quantificação dos fragmentos com a temporalidade envolvida, permite uma maior precisão na análise do monitoramento.

O recurso diferencial na pesquisa é o emprego de geotecnologias, desde o uso dos equipamentos para voo, as ferramentas para realização da fototriangulação e do controle de qualidade da mesma, que permitem a análise de tendência e precisão do ortomosaico e que infelizmente não foi utilizada devido as circunstâncias adversas encontradas em campo. E o uso de Sistemas de Informações Geográficas, alinhados ao geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens, foram essenciais para a realização do estudo.

Uma recomendação futura para o trabalho, seria a utilização dos pontos de controle e check, para que haja um melhor controle da precisão e acurácia dos produtos levantados. É afirmativo que a avaliação e monitoramento de áreas de restauração ecológica, podem ser realizados com o uso de geotecnologias, com uma boa precisão na quantificação dos dados, assim como a otimização do trabalho. Ressalta-se que outras análises podem ser atribuídas ao processo de restauração ecológica, porém o presente trabalho visa demonstrar de modo simples algumas aplicações para a realização do monitoramento.

Agradecimentos

Neste estudo, foi de enorme contribuição o apoio de uma organização internacional que trabalha, assiduamente, nesta área: *The Nature Conservancy* (TNC). A mesma objetiva a conservação da natureza e sua biodiversidade: plantas, animais, comunidades, a partir de uma base científica consolidada e colaboração de parcerias em todos os continentes, tendo por consideração cada particularidade dos mesmos. A TNC acredita que a natureza é imprescindível a vida, portanto, educar e desenvolver iniciativas para dar suporte a todos é de extrema relevância para a organização.

Referências

- ANDRADE, J. B. de; **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. p. 258.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P.H.S. **Conceitos e definições correlatas à ciência e à prática da restauração ecológica**. Instituto Florestal Série Registros, v. 44, 2011. p. 1-38
- BALIEIRO, C; GIRAO, V.; SILVA, T.; SARCINELLI, T. Uso de Sensoriamento Remoto Para Monitorar Projetos de Restauração de Vegetação Nativa no Brasil. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Campinas: Galoá, 2019. v. 17.
- BENINI, R. M.; SOSSAI, M. F.; PADOVEZI, A.; MATSUMOTO, M. H. Plano estratégico da cadeia de restauração florestal: Caso do Espírito Santo. In: SILVA, A. P. M.; MARQUES, H. R.; SAMBUICHI, R. H. R. (Org.). **Mudanças no código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei**. Organizadores: - Rio de Janeiro: Ipea, 2016. p. 209 - 234.
- BERVEGLIERI A.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; MARTINEZ, B. F. Geração de Modelo de Altura de Árvore Usando Imagens Aéreas Históricas para o Monitoramento da Regeneração em Floresta Tropical de Mata Atlântica. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. 2019. Rio de Janeiro, v. 42, n. 4, p. 206 – 218. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_206_218.
- BRASIL. Lei nº 12. 651 de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, 28 maio 2012. Seção 1, p. 1-8.
- COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. p. 196.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.
- FORMAN, R. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. John Willey, New York, 1986. p. 619.
- FRANCO, T. C. R. Análise da precisão no posicionamento com um receptor GPS de navegação. **Revista Agroambiental**. 2009.

- HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS. **Environment for Visualizing Images**. (ENVI versão 5.4). 2011
- IBGE. **Cidades**. 2016.
- IBGE. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. 2008.
- JUNG, M. (2016) **LecoS** - A python plugin for automated landscape ecology analysis, *Ecological Informatics*, 31, 18-21 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006>.
- KONECNY, G. **Geoinformation: Remote sensing, photogrammetry and geographic information systems**. Taylor e Francis, London and New York, 2003.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução Hemann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de Índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum – MT**. 2016. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Sociambientais da Universidade Federal de Goiás, 2016.
- MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; SOUZA, I. M.; BARBOSA, C. C.; SOUZA, R. C. M.; PAIVA, J. A. C. Técnicas de Modelo Linear de Mistura Espectral, segmentação e classificação de imagens TM-Landsat para o mapeamento do desflorestamento da Amazônia. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Belo Horizonte, MG, Brasil, INPE, 2003. p. 2807-2814.
- NBL, Engenharia Ambiental Ltda. TNC; The Nature Conservancy. **Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará**. The Nature Conservancy, Belém, PA. 2013. 128 p.
- REIS, B.P. **Monitoramento de área de restauração florestal e geração de recomendações de manejo adaptativo através de imagens obtidas por VANT E LIDAR**. 2017. 62 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2017.
- RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I (Org.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.
- SER, Society for Ecological Restoration International. **The SER primer on ecological restoration**. Society for Ecological Restoration International, Science and Policy Working Group, 2004
- SILVA, M. S. F.; SOUZA, R. M. Padrões espaciais de fragmentação florestal na FLONA do Ibura – Sergipe. *Mercator*, Fortaleza, v. 13, n. 3, p. 121-137, set./dez. 2014. ISSN 1984-2201.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 1975. 245p.

Notas

- [1] O conceito de espaço-objeto é fundamental na fotogrametria, é a reconstrução de um espaço tridimensional a partir de um sistema bidimensional, cujas

informações são adquiridas por meio da captação de ondas eletromagnéticas, que configura outro conceito, o espaço – imagem (COELHO; BRITO, 2007).

- [2] A Orientação Exterior consiste em seis (6) parâmetros: as coordenadas X, Y, Z da posição do Centro Perspectivo (CP) determinados a partir do receptor acoplado na plataforma, e os ângulos de Euler, ω , ϕ e κ , determinados a partir de um sistema inercial que fornecem a atitude da câmara, ou seja, expressam as rotações sofridas pelo sensor (ANDRADE, 1998).

Enlace alternativo

<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/2324/3769> (pdf)