

SENSORIAMENTO REMOTO E MÉTRICAS DA PAISAGEM COMO FERRAMENTAS DE ANÁLISE DO POTENCIAL DE ECOTURISMO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO: ESTUDO DE CASO NO PARQUE ESTADUAL SERRA DO INTENDENTE – MG - BRASIL

Charles de Oliveira Fonseca

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências – UFMG
Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Belo Horizonte, MG, Brasil
charlesof@ufmg.br

Deleon Gonçalves

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências – UFMG
Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Belo Horizonte, MG, Brasil
deleon@ufmg.br

Nayara Lage

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências – UFMG
Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Belo Horizonte, MG, Brasil
nayarals@ufmg.br

Marcos Antônio Timbó Elmiro

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências – UFMG
Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Belo Horizonte, MG, Brasil
mtimbo@ufmg.br

RESUMO

O ecoturismo é um segmento que auxilia na conservação dos espaços naturais e sua biodiversidade. Entendendo-se a complexidade das paisagens naturais, buscou-se uma análise transversal que cotejasse respostas por meio de métodos de sensoriamento remoto e métricas da paisagem. A área de estudo foi o Parque Estadual Serra do Intendente (PESI), localizado na Serra do Espinhaço. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e 8, dos anos de 1990 e 2020, que possibilitaram a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra, com qualidade temática em acurácia global de 99,7% e 86,5% e índice Kappa de 99,6% e 80,0%. As métricas da paisagem indicaram um aumento de 53,3% para 57,7% na ocorrência dos campos rupestres, uma redução dos campos gramíneos (23,7% para 14,5%) e de solo exposto (0,6% para 0,1%) que, possivelmente, estão associados às áreas anteriormente ocupadas pelo gado, e um aumento da área de floresta estacional semidecidual (21,8% para 27,6%). Ao cruzar os mapeamentos e os resultados quantitativos, foram obtidos subsídios para melhor entendimento da organização espacial. Diante das análises, conclui-se que houve um aumento das formações naturais, consoante com as funções de conservação do PESI, resultando no aumento da potencialidade do ecoturismo.

Palavras-chave: Qualidade Temática. Mapeamento Ambiental. Uso e cobertura da terra. Análise temporal. Ecologia da paisagem.

REMOTE SENSING AND LANDSCAPE METRICS AS TOOLS FOR ANALYZING THE POTENTIAL OF ECOTOURISM IN CONSERVATION UNITS: CASE STUDY IN SERRA DO INTENDENTE STATE PARK – MG - BRAZIL

ABSTRACT

Ecotourism is a segment that helps in the conservation of natural spaces and their biodiversity. Understanding the complexity of natural landscapes, a cross-sectional analysis was sought

to investigate responses through remote sensing methods and landscape metrics. The study area was the Serra do Intendente State Park (PESI), located in Serra do Espinhaço. Images from the Landsat 5 and 8 satellites, from the years 1990 and 2020, were used, which enabled the elaboration of maps of land use and land cover, with thematic quality in global accuracy of 99.7% and 86.5% and Kappa index of 99.6% and 80.0%. Landscape metrics indicated an increase from 53.3% to 57.7% in the occurrence of rocky fields, a reduction in grassy fields (23.7% to 14.5%) and exposed soil (0.6% to 0.1%) that are possibly associated with areas formerly occupied by cattle, and an increase in the seasonal semideciduous forest area (21.8% to 27.6%). By crossing the mappings and the quantitative results, subsidies were obtained for a better understanding of the spatial organization. In view of the analyses, it is concluded that there was an increase in natural formations, in line with the conservation functions of the PESI, resulting in an increase in the potential of ecotourism.

Keywords: Thematic Quality. Environmental Mapping. Land use and land cover. Temporal analysis. Landscape ecology.

INTRODUÇÃO

O ecoturismo é um segmento no qual o visitante avalia positivamente a conservação das formações naturais e a heterogeneidade das paisagens (FORJE; TCHAMBA; ENO-NKU, 2021; LEUNG et al., 2019). A prática ocorre com maior frequência em áreas com bom estado de conservação, como unidades de conservação (UCs), que além de conservar, promove o envolvimento das comunidades e povos tradicionais (ABDURAHMAN et al., 2016; BLANGY e MEHTA, 2006; BRICKER, 2014). O contato direto com paisagens físicas e culturais, possibilita aos turistas novas experiências e aprendizados (ABDURAHMAN et al., 2016; LEUNG et al., 2019). As percepções dos praticantes do ecoturismo estão na escala da paisagem, através da qual se consegue abstrair as distintas formações espaciais captadas em seu campo de visão (OLIVEIRA et al., 2007), como as coberturas vegetais.

Por outro lado, o uso indiscriminado de áreas naturais sem avaliações ponderadas, pode ocasionar perda da biodiversidade, degradação dos atrativos e homogeneização da paisagem (SCCOTI et al., 2011) e, conseqüente redução dos serviços ecossistêmicos (BURKHARD et al., 2009). Em contraposição, a aplicação de adequadas políticas possibilita a recuperação de biomas, ressurgimento de espécies e melhoria dos recursos naturais (ALMEIDA, 2016). A gestão das UCs deve primar pela redução dos impactos negativos e pela maximização dos positivos, almejando-se o “tripé da sustentabilidade” composto por: conservação da natureza, benefícios econômicos e melhoria sociocultural (LEUNG et al., 2019). A definição da tríade para a boa governança das práticas de ecoturismo em UCs, constituiu-se por sistemática revisão de estudos de caso, associados a direcionamentos de políticas internacionais como: os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) entre outras, que almejam o bem-estar das populações, a gestão de recursos e a conservação (LEUNG et al., 2019).

Nessa direção de gestão integralizada, o sensoriamento remoto ganhou notoriedade no monitoramento da cobertura espacial, sobretudo com a maior difusão de satélites orbitais (INPE, 2001). As imagens obtidas, em diferentes bandas do espectro eletromagnético, permitem análises para além das composições das cores das bandas visíveis, denominadas RGB (*Red, Green, Blue*), pois possibilitam combinações diversas com respostas espectrais que atendem a distintos interesses (FREIRE-SILVA et al., 2019; INPE, 2001). Um conceito de relevância na análise de imagens orbitais de sensoriamento remoto é a resolução espacial, que está atrelada ao tamanho dos pixels formadores da imagem (SOLOMON e BRECKON, 2011). De acordo com o objetivo da pesquisa, devem-se obter imagens com resoluções adequadas, que permitam a identificação de processos e elementos espaciais, pertinentes à investigação. Imagens com resolução de 30x30 metros, por exemplo, são adequadas para uma escala regional e mesmo de áreas amplas como algumas UCs. Todavia, caso seja necessário visualizações detalhadas, pode-se conjugar os estudos e dados com imagens de alta resolução como as ortofotos feitas por drones (PRADO, 2017).

Outro critério de relevância ao se tratar imagens de satélite é sua resolução temporal, ou seja, o período de tempo que uma área espacial é revisitada (SOLOMON e BRECKON, 2011). Diante de imagens de distintos períodos, o pesquisador poderá constatar se a área investigada se encontra em equilíbrio dinâmico, ou se há um novo fenômeno atuante (LEITE, 2011) como desflorestamentos, processos erosivos e mesmo focos de incêndio. Nesse sentido, entende-se que a análise de séries históricas é uma técnica de grande relevância para as UCs. Diversos trabalhos científicos comprovam a eficiência do sensoriamento remoto em estudos sobre a evolução do uso e cobertura da terra (ADJOGNON, RIVERA-BALLESTEROS e VAN SOEST, 2019; ALSHARI e GAWALI, 2021; NASCIMENTO e SANO, 2010).

Imagens orbitais possibilitam boa compreensão da organização espacial. No mesmo sentido, outras abordagens também podem nos trazer adequada comunicação, mesmo que sob outra ótica. Nesse contexto, as métricas da paisagem compõem um método apropriado na leitura espacial da configuração de territórios geográficos. As métricas surgiram na ecologia, mas ganharam grande difusão entre outras áreas do conhecimento, devido a sua plasticidade adaptativa. A partir da aplicação das métricas, pode-se compreender a configuração espacial, através de dados que destacam os elementos e suas relações construtoras das estruturas e funções espaciais (LAUSCH et al., 2015). Pesquisas com a aplicação direta de métricas da paisagem demonstram eficiência na identificação quantitativa de coberturas da terra (MIRANDA e NEVES, 2019; PEREIRA et al., 2020).

Na abordagem das métricas da paisagem, os componentes básicos que versam sobre as espacialidades são a matriz, as manchas e os corredores. A matriz é a composição de maior dominância espacial em um determinado local, por exemplo, uma formação de campo em locais com manchas remanescentes de florestas. As manchas, no exemplo anterior apresentam maior diversidade do que a matriz, normalmente podem ser áreas isoladas ou de extrema importância para a conservação, como matas ripárias ou refúgios. Já os corredores são responsáveis pelas conexões entre as manchas, de maneira a possibilitar trocas gênicas entre as espécies (LEITÃO et al., 2006). Assim, como no sensoriamento remoto, as métricas categorizam a paisagem em critérios de tamanho, formas, densidade entre outros atributos (LANG e BLASCHKE, 2009).

Distintos estudos que permitam aferir o quanto os usos da terra podem interferir na conservação das espécies e, conseqüentemente na atratividade, contribuem com a projeção de cenários para UCs que auxiliem na gestão. Com isso, o objetivo desse trabalho está direcionado a associar as técnicas do sensoriamento remoto e métricas da paisagem, que possibilitem obter resultados subsidiadores da percepção de potencialidades em UCs para fins ecoturísticos. Como exposto anteriormente, os valores do ecoturismo vão para além das coberturas naturais, bem como de seus limites administrativos (SOWIŃSKA-ŚWIERKOSZ e SOSZYŃSKI, 2014). Por outro lado, entende-se que a existência dessas formações são premissas da concepção da atividade de visitação. Por meio desse direcionamento, estabeleceu-se um processo metodológico orientado a três pilares: i) obtenção e tratamento de imagens; ii) mapeamento da cobertura da terra e iii) definição e avaliação de métricas da paisagem. O método foi testado no Parque Estadual Serra do Intendente (PESI), por meio da correlação dos dados entre os anos de 1990 e 2020.

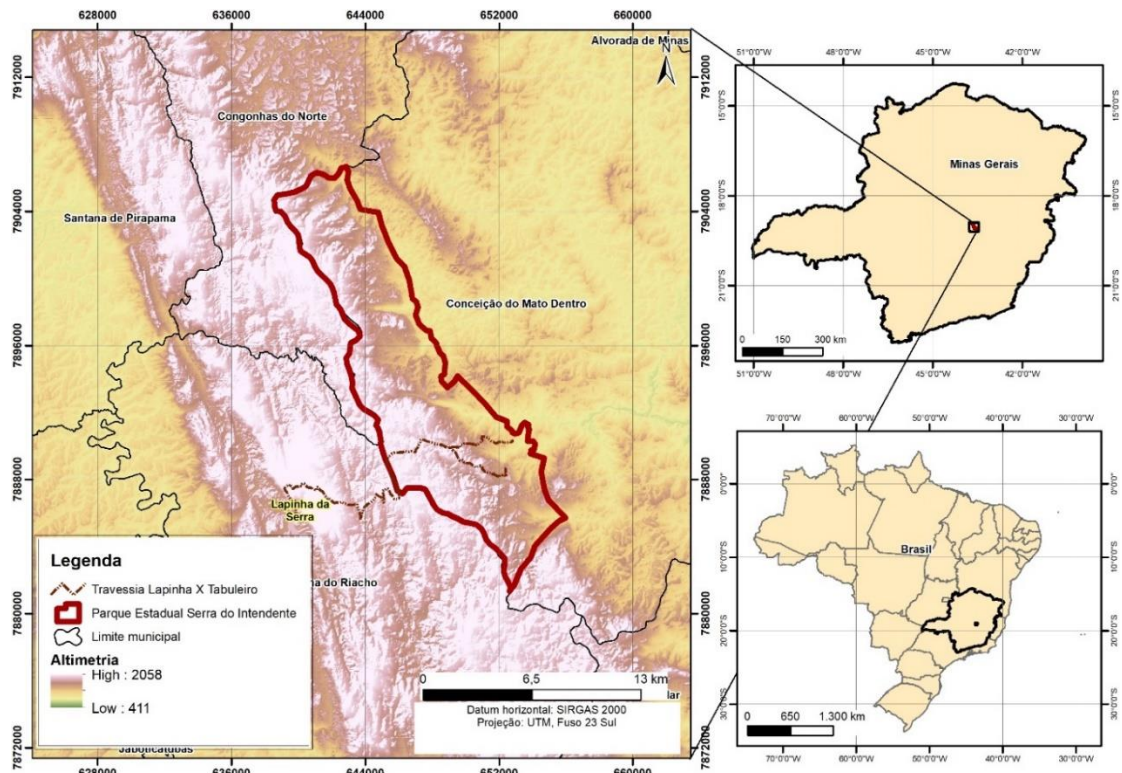
Para além do objetivo central da pesquisa, pretendeu-se também obter respostas a outros questionamentos como: quais são as principais alterações nas formações espaciais entre os anos avaliados? A UC vem cumprindo com o objetivo de conservação do ecossistema local? Nesse contexto, os objetivos específicos foram alicerçados em: i) Elaborar mapas temáticos da cobertura da terra na UC dos anos de 1990 e 2020; ii) Interpretar as variações das métricas da paisagem; e iii) Avaliar se a integração das técnicas eleitas possibilitou melhor entendimento da organização espacial.

METODOLOGIA

Área de estudo

O PESI foi criado em 2007 com área territorial de 13.508,83 ha, em altitudes que variam entre 652 a 1.474 metros e se localiza no município de Conceição do Mato Dentro, estado de Minas Gerais (Figura 1). A configuração espacial está condicionada pelo arcabouço geológico das rochas do Complexo do Espinhaço, sobretudo por expressivos quartzitos que compõem linhas de interflúvios. Rochas e estruturas falhas, originárias de episódios geológicos, associados ao processo de denudação superficial, condicionaram um relevo movimentado composto por serras, vales encaixados e estreitas planícies. A dinâmica física foi subsídio para a formação fitológica local, com a presença de espécies de campos rupestres, campos gramíneos e florestas estacionais semidecíduais (CONSULTING, 2016).

Figura 1 - Parque Estadual Serra do Intendente: mapa de localização.



Fonte - IBGE (2021) e USGS (1990; 2020). Adaptado pelos autores (2021).

O principal produto turístico existente no PESI é a trilha denominada travessia Lapinha-Tabuleiro, que extrapola o limite do parque, com início em Lapinha da Serra, povoado pertencente ao município de Santana do Riacho (Figura 1). A caminhada pode variar entre 32 e 42 quilômetros, a depender do trajeto. A trilha, anteriormente ao advento do turismo, foi utilizada por índios, bandeirantes, colonos e pelas comunidades como caminho de passagem (CONSULTING, 2016; PADOAN, 2017), fato este que possibilitou a fixação de algumas moradias presentes no interior do parque e também a agregação de valores históricos ao roteiro. A travessia ganhou notoriedade com a descoberta de Lapinha da Serra pelo segmento do turismo, na década de 1990 (PADOAN, 2017). Essa data foi preponderante na escolha de uma das imagens de satélite aqui tratadas, por apresentar uma configuração espacial prévia ao advento do turismo na região. Já a segunda imagem, foi referente ao ano de 2020, em uma escala histórica de 14 anos após a criação da UC. No interior do PESI há uma UC municipal pertencente à Conceição do Mato Dentro, denominada Parque Municipal Natural do Tabuleiro (PMNT), criada no ano de 2013, onde se encontra a Cachoeira do Tabuleiro, atrativo de relevância internacional e percurso final da travessia.

Classificação do uso e cobertura da terra

Para a classificação da cobertura e uso da terra foram utilizadas imagens do satélite Landsat obtidas no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 1990; 2020). A obtenção das cenas foi realizada através de pesquisa ao banco de imagens disponibilizado pela Instituição, para os anos de 1990 e 2020. As classes de cobertura e uso da terra foram definidas com o uso de amostras escolhidas com base na interpretação de composições de bandas espectrais, associadas a dados secundários e conhecimentos prévios da região de estudo. Um critério importante na escolha das cenas foi a imposição de restrição na cobertura de até 10% de nuvens, fato esse desafiante para a área de estudo, por se tratar de uma região de planaltos. Objetivou-se, com os anos de estudo selecionados, obter o uso e cobertura da terra mais recente, em comparação com o ano em que a travessia começa a se popularizar. Para a pesquisa foram selecionados os satélites Landsat 8, para a imagem mais recente e o satélite Landsat 5, para a imagem histórica. O *site* do USGS disponibiliza gratuitamente, em cobertura global e em longa série temporal desde 1972, as imagens georreferenciadas, corrigidas geometricamente e com as reflectâncias calculadas ao nível do solo. Apesar de o parque possuir outros atrativos, a travessia Lapinha-Tabuleiro é o percurso de destaque que impulsionou o maior volume de

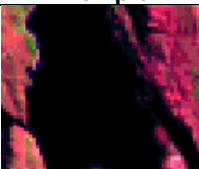


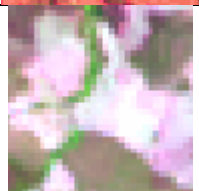
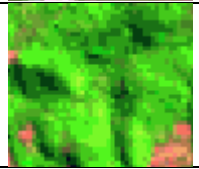
visitas, sobretudo em áreas nucleares do parque. Logo, o período de sua efetivação é um marco importante para se compreender a influência do turismo na dinâmica espacial.

As imagens selecionadas da área de estudo, referentes à órbita/ponto 218/ 73 (posição no sistema de referência mundial WRS/Landsat), são de julho de 1990 e setembro de 2020, abrangendo o período de estiagem. Foram tratadas por meio de recorte para o limite da área de estudo no *software* ArcGis 10.8 licenciado pela ESRI (2019) e disponibilizado pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Em seguida foram migradas para o *software* livre Spring 5.5.6 (INPE,2019) para aplicação dos processamentos necessários como o realce de contraste, visando melhor distribuição dos níveis digitais no histograma e, conseqüentemente, facilitação do processo de identificação das classes do uso e cobertura da terra.

Por se tratar de uma unidade de conservação, onde a cobertura da terra é majoritariamente vegetal, para o processo de classificação da imagem do ano de 2020, foram utilizadas as bandas 4, 5 e 6 (espectros vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente, no sensor OLI), por meio da composição sintética falsa cor RGB 654 que permitiu a captura e seleção das amostras das classes definidas para a cobertura da região. Para a imagem do ano de 1990, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 (espectros vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente, no sensor TM), na composição falsa cor RGB 543, mantendo-se a compatibilidade espectral das duas composições coloridas.

As chaves de classificação foram estabelecidas baseadas em dados secundários e são apresentadas no Quadro 1:

Quadro 1 - Chaves de classificação.

Chave	Descrição	Exemplo
Água	Textura lisa, cor escura	
Campo Rupestre	Textura rugosa, cor lilás	
Campo Graminoso	Textura rugosa, cor rosa.	
Solo exposto	Textura lisa, cor branca	
Floresta Estacional Semidecidual	Textura rugosa, cor verde	

Fonte - Chaves de classificação a partir de recortes de imagens Landsat. Elaboração dos autores (2021).

Para a classificação, optou-se pela metodologia supervisionada, adotando-se a informação espectral de *pixel a pixel*, utilizando-se o algoritmo da máxima verossimilhança (MAXVER), que pondera as distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes, a partir de parâmetros estatísticos. Esse método é apropriado para as características das coberturas da terra de interesse existentes na região de estudo.

Após a aplicação do algoritmo de classificação, os resultados foram tratados, por meio de um filtro de moda usando janelas móveis, visando à eliminação de ruídos e pixels isolados. Nesse processo foi considerado o limiar 3 e o peso 3, para que determinada classe correspondente ao pixel central seja substituída pela classe de maior ocorrência na janela móvel de vizinhança do *pixel*.

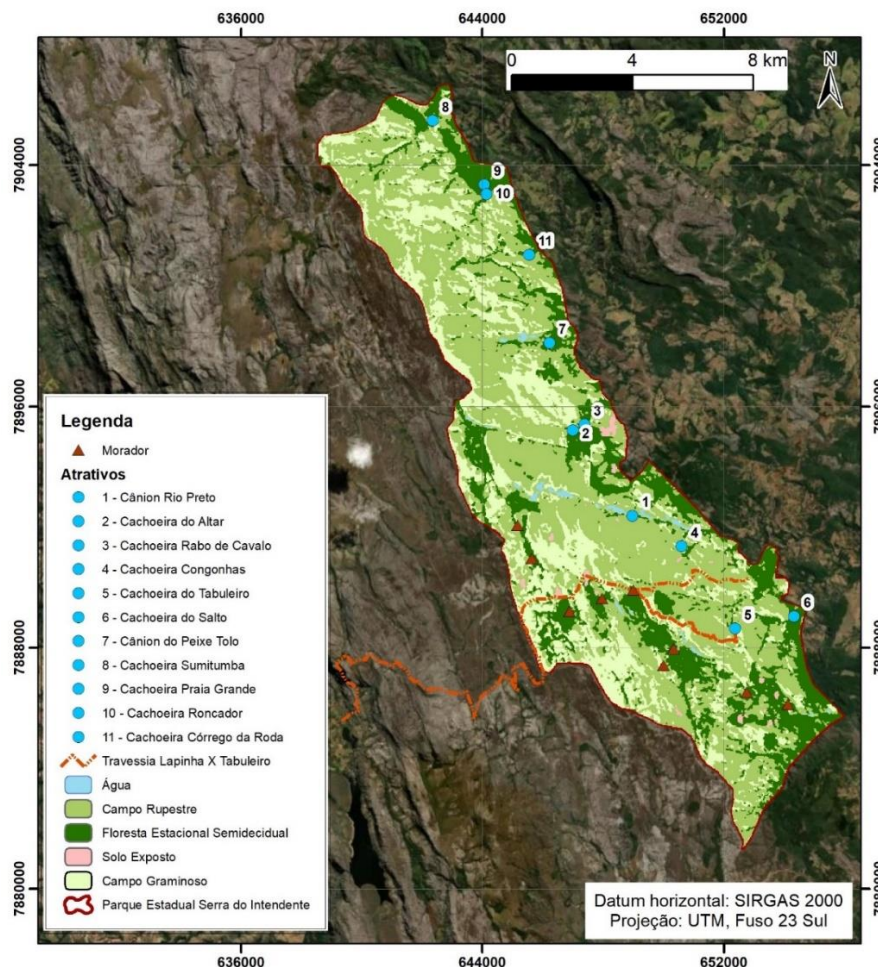
Métricas da paisagem para cada imagem

As métricas elencadas, para o auxílio da compreensão espacial do PESI, foram estabelecidas ao nível de classes com a utilização do *software* livre Fragstats 4.2.1 (UMASS, 2014). As classes correspondem às coberturas da terra identificadas por unidades semelhantes. Por meio das métricas, podem-se fazer representações categóricas ou contínuas das formações superficiais analisadas em questão (MCGARIGAL, 1995, 2015). As métricas utilizadas no PESI que abordam quantitativamente as formas, tamanhos e proporções de cada cobertura, de maneira separada são: Área total da classe (CA); Porcentagem da paisagem (PLAND); Número de manchas (NP); Área média (AREA_MN); Desvio-padrão da área (AREA_SD); Forma média; Distância média euclidiana entre os vizinhos (ENN_MN) e Desvio-padrão entre os vizinhos (ENN_SD).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

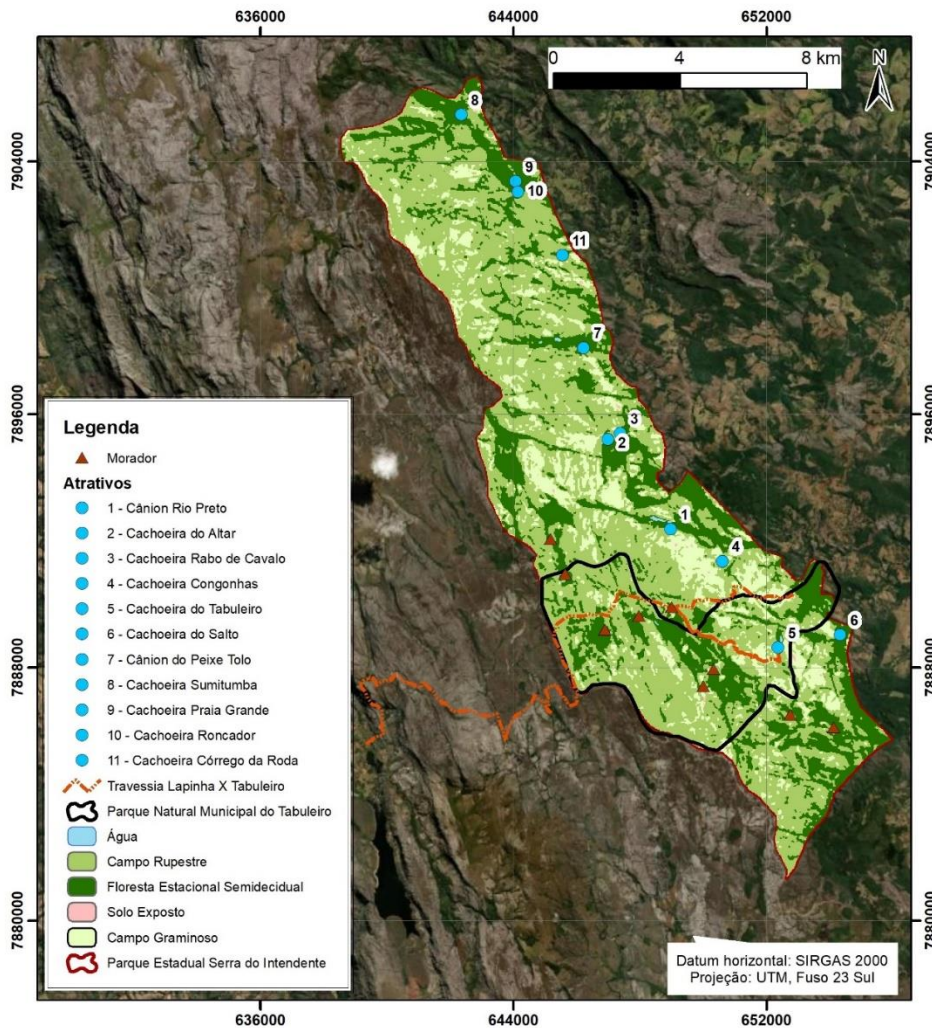
A partir da classificação do uso e cobertura da terra, foi possível analisar a dinâmica temporal das classes mapeadas, bem como realizar inferências entre elas. Os mapeamentos realizados, mostrados na Figura 2 e na Figura 3, apresentaram a acurácia global de 99,7% e 86,5%, índice Kappa 99,6% e 80,0%, para os anos de 1990 e 2000, respectivamente, mediante comparação com amostras certificadas das classes de interesse. Tais resultados estão de acordo com as referências de qualidade de mapeamento verificados na literatura (CONGALTON, 1991; FONSECA, 2000).

Figura 2 - PESI: Mapa do uso e cobertura da terra em 1990.



Fonte - Digital Globe (2021); Consulting (2016); IDE-SISEMA (2021). Adaptação dos autores (2021).

Figura 3 - PESI: Mapa do uso e cobertura da terra em 2020.



Fonte - Digital Globe (2021); Consulting (2016); IDE-SISEMA (2021). Adaptação dos autores (2021).

A partir da geração dos mapas de cobertura e uso da terra dos anos estudados, foi realizada a inserção dos dados em formato geotiff no *software* livre Fragstats 4.2.1 (UMASS, 2014), visando à quantificação das classes mapeadas, conforme resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Métricas da paisagem ao nível de classe para os anos 1990 e 2020.

Nível	Métricas	Un.	FESD		Campo graminoso		Campo rupestre		Solo exposto		Água	
			1990	2020	1990	2020	1990	2020	1990	2020	1990	2020
CLASSES	CA	ha	2.950,6	3.723,8	3.202,2	1.959,8	7.197,1	7.794,5	74,7	20,0	84,2	10,7
	PLAND	%	21,8	27,6	23,7	14,5	53,3	57,7	0,6	0,1	0,6	0,0
	AREA_MN	ha	6,9	10,6	5,2	1,5	14,5	52,3	2,3	0,0	1,7	0,0
	AREA_SD	ha	44,4	9,7	31,9	3,4	240,7	41,5	3,8	0,4	2,5	1,8
	ENN_MN	m	134,9	62,9	113,0	0,5	85,3	22,0	610,5	0,2	301,8	0,3
	ENN_SD	m	120,8	101,7	76,3	131,0	37,7	94,1	1.233,2	701,0	461,7	1.328,0
	NP	-	428,0	66,9	612,0	99,3	496,0	61,6	32,0	554,4	50,0	1.529,4

Fonte - Elaboração dos autores (2021).

Com a finalidade de obter respostas sistêmicas, apresenta-se a análise dos dados de forma integrada, para além do mapeamento e das métricas da paisagem vistas de formas separadas. Assim, as avaliações focam a compreensão do momento de toque entre as representações gráficas (mapas) e os valores numéricos (métricas), propiciando, assim, uma tradução analítica mais acurada da organização espacial na UC.

Ao comparar os mapas dos anos de 1990 e 2020, percebe-se um remodelamento espacial entre as coberturas da terra (Figura 2 e Figura 3). Em ambos os anos, as formações de campos rupestres foram preponderantes, logo adquiram a função de matriz, conforme conceitos das métricas da paisagem. Já a floresta estacional semidecidual e o campo graminoso compuseram as manchas, ora conectadas por corredores, ora isoladas. Nesse intervalo de 30 anos avaliados, os campos rupestres aumentaram de 53,3% para 57,7%, com a elevação média do tamanho da área de 14,5 ha para 52,3 ha, fato esse também condicionador da redução no número de fragmentos da classe de 496,0 para 61,6 e da menor distância média entre os fragmentos de 85,3 m para 22,0 m. Ou seja, ocorreu maior conectividade entre os fragmentos (Tabela 1), o que possibilitou o aumento de espécies nativas da fauna e flora na UC. Todavia, perceberam-se também outliers que proporcionaram o acréscimo ao desvio padrão entre fragmentos vizinhos de 37,7 m para 94,1 m. Ao verificar tais resultados em consonância com os mapeamentos, constatou-se que a expansão dos campos rupestres ocorreu, em maior expressividade, sobre os campos graminosos. Vale destacar a intensidade do fenômeno a sudoeste do PESI, em áreas adjacentes à trilha da travessia Lapinha-Tabuleiro, e na porção norte, próximo aos atrativos naturais: Cachoeira Sumitumba, Cachoeira do Roncador, Cânion do Peixe Tolo e Cachoeira Rabo de Cavalo.

A considerável taxa de campos graminosos na UC, sobretudo no mapeamento do ano de 1990, 23,7% foi condicionada especialmente pelo uso para fins agropecuários pelas famílias residentes na UC. Em 2020 foram retraídos para 14,5% de toda a área. Apesar dos campos graminosos serem espécies nativas, sua expansão, anterior aos anos avaliados, ocorreu pela ação de pastoreio do gado. Atualmente nove famílias ainda residem na UC, sendo algumas delas importantes atores na consolidação do turismo, atuando como pontos de apoios aos visitantes e disseminadores de boas práticas na UC. O gado ainda está presente, mas atualmente com restrição de pastagem a determinadas áreas. Com isso, o número de fragmentos dos campos graminosos passou de 612,0 para 99,3 no decorrer dos 30 anos, com redução no tamanho médio de 5,2 ha em 1990 para 1,5 ha no ano 2020.

Outra importante modificação espacial ocorreu na classe de solo exposto. No ano de 1990, correspondia a 74,7 ha, já no ano de 2020 foi reduzida para 20,0 ha, que equivale a 0,1% da área da UC. Apesar da pequena extensão, os solos expostos, no contexto do PESI podem trazer distintos problemas ambientais, como assoreamento dos canais fluviais, formações de ravinas e voçorocas devido ao escoamento concentrado. Os problemas são agravados quando ocorrem em vertentes íngremes ou em solos pouco estruturados como neossolos e espodossolos que são presentes na UC. Logo, atenção constante deve ser direcionada ao controle dos solos expostos, com ações de recuperação e mesmo de adaptação de trilhas com estruturas físicas como escadas, passarelas e contenção de escoamento em locais de alta vulnerabilidade.

Em relação à classe água houve uma redução considerável de espelho d'água. Como se percebe nos mapas, os principais canais de escoamento estão sob um controle estrutural que os direcionam no sentido noroeste para sudeste. Nesses canais, os corpos hídricos se tornaram fragmentados nas respostas espectrais das imagens de satélite, representados por pequenas manchas alongadas nos mapas. A classe água foi reduzida em 74,7 ha, e passou a responder por insignificante percentual da área do parque. Por outro lado, por se tratar de áreas de nascentes, sabe-se que há grande presença de canais fluviais de primeira e segunda ordem, que não foram captados pela resolução espacial de 30x30 metros inerentes às imagens Landsat. Por sua vez, os corpos hídricos terão maior expressão, a depender da resolução da imagem e do período do ano avaliado.

A classe de floresta estacional semidecidual (FESD) também aumentou 773,2 ha entre os anos do estudo, atingindo 3.723,8 ha ou 27,6% da área da UC. Os números de fragmentos florestais foram reduzidos de 428,0 para 66,9, com área média expandida de 6,9 ha para 10,6 ha, fatos estes condicionantes de melhores conexões espaciais. De forma geral, as FESD, concentram-se nos vales encaixados dos controles estruturais, junto aos corpos d'água ou em zonas deposicionais intermediárias, com solos mais profundos no interior do planalto. São formações com maior heterogeneidade de espécies vegetais, que por vez, possuem funções ecossistêmicas, como habitat para muitos animais e relevantes contribuições nos processos de infiltração e abastecimento dos lençóis freáticos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de dados espaciais gratuitos, provenientes de satélites passivos, atenderam aos objetivos da pesquisa, apesar do PESI se encontrar em região de grande formação de nuvens. Para solucionar tal dificuldade, futuros monitoramentos do uso e cobertura da terra, poderão ser feitos com insumos provenientes de satélites com sensores ativos e, assim obter cenas de diferentes meses do ano, mesmo em períodos chuvosos.

A análise integrada realizada nesse estudo de caso, demonstrou que a paisagem do PESI é composta por palimpsestos de diferentes temas e escalas evolutivas. A união das técnicas de sensoriamento remoto e métricas da paisagem descortinou relações que poderiam ser imperceptíveis, em análises isoladas. Na UC e no seu entorno, os elementos físicos como formações de relevo, acidentes geológicos e a hidrografia são, por si só, atrativos significantes para o ecoturismo, mas, sua potencialidade foi aumentada quando vinculada à melhoria das coberturas vegetais, sobretudo campos rupestres e FESD, importantes no equilíbrio dinâmico das paisagens. Uma fase complementar a esse trabalho, que aqui se sugere para estudos futuros, seria uma pesquisa com frequentadores da UC, sobretudo aqueles que já visitaram em outras épocas, para se captar sua percepção quanto à atratividade durante os anos decorridos desde a criação da UC.

O exercício do olhar para o espaço se faz por diferentes “lentes” do conhecimento. Essas “lentes” nos permitem identificar padrões, formas e anomalias que evidenciam processos de cunho natural ou antrópico. A busca por uma engrenagem adequada, permeada entre a episteme e os métodos, como presentes no sensoriamento remoto e em métricas da paisagem possibilitam melhor tradução de parte da complexa trama da realidade.

REFERÊNCIAS

- ABDURAHMAN, A. Z. A. et al. Ecotourism Product Attributes and Tourist Attractions: UiTM Undergraduate Studies. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, n. August 2015, p. 360–367, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.388>
- ADJOGNON, G. S.; RIVERA-BALLESTEROS, A.; VAN SOEST, D. Satellite-based tree cover mapping for forest conservation in the drylands of Sub Saharan Africa (SSA): Application to Burkina Faso gazetted forests. **Development Engineering**, v. 4, n. October 2017, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.deveng.2018.100039>
- ALMEIDA, D. S. DE. **Recuperação Ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus/BA: Universidade Estadual de Santa Cruz, 2016, 200 p. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2021. ISBN 978-85-7455-440-2.
- ALSHARI, E. A.; GAWALI, B. W. Evaluation of the potentials and challenges of land observation satellites. **Global Transitions Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 73–79, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.gltip.2021.01.010>
- BLANGY, S.; MEHTA, H. Ecotourism and ecological restoration. **Journal for Nature Conservation**, v. 14, n. 3–4, p. 233–236, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2006.05.009>
- BRICKER, K. The International Ecotourism Society. **The International Ecotourism Society**, v. 1, p. 1–10, 2014.
- BURKHARD, B. et al. Landscapes’ capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. **Landscape Online**, v. 15, n. 1, p. 1–22, 1 dez. 2009. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- CONGALTON, R. A Review of Assessing the Accuracy of Classification Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, USA, No 37, p. 35-36, 1991. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- CONSULTING, D. **Plano de Manejo do Parque Estadual Serra do Intendente e Parque Natural Municipal do Tabuleiro**. Encarte 1 - diagnóstico das unidades de conservação e entorno. Belo Horizonte/MG: Instituto estadual de Florestas, 2016. Disponível em: <http://biblioteca.meioambiente.mg.gov.br/publicacoes/BDBD%20IEF/Plano%20de%20Manejo%20PE>

SI%20Encarte%201%20FINAL.pdf. Acesso em: 12 ago. 2021.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. . **ArcGIS**: Plataforma de mapeamento e análises. Versão 10.8. ESRI, 2019. Disponível em: <www.esri.com> . Acesso em: 21 ago 2021.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000.

FORJE, G. W.; TCHAMBA, M. N.; ENO-NKU, M. Determinants of ecotourism development in and around protected areas: The case of Campo Ma'an National Park in Cameroon. **Scientific African**, v. 11, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00663>

FREIRE-SILVA, J. et al. Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 4, p. 228–240, 2019. <https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.4.p228-239>

DIGITAL GLOBE INC. **Imagem de satélite GeoEye** Disponível por meio da plataforma de mapeamento ESRI - Versão 10.8. ESRI, 2019. Disponível em: <www.esri.com> . Acesso em: 21 ago 2021. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos/SO: INPE, 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf. Acesso em: 03 set. 2021.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Spring**: Sistema de Processamento de Infomrações Georreferenciadas. Versão 5.5.6. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em: 20 ago 2021.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2009.

LAUSCH, A. et al. Understanding and quantifying landscape structure - A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. **Ecological Modelling**, v. 295, p. 31–41, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.018>

LEITÃO, A.B.; MILLER, J.; AHERN, J.; MCGARIGAL, K. **Measuring landscapes**. A planner's handbook. Washington: Island Press, 2006.

LEITE, F. Análise teórico-filosófica dos modelos de evolução da paisagem: tendências passadas e atuais. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1–17, 2011.

LEUNG, Y.-F. et al. **Turismo e gestão da visitação em áreas protegidas**. Diretrizes para sustentabilidade. Gland, Suíça: UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza, 2019. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/turismo_gestao_da_visitacao_em_areas_protegidas.pdf. Acesso em: 22 de ago. 2021. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.PAG.27.pt>

MCGARIGAL, K. **Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure**. USDA Forest Service General Technical Report PNW, v. 2, p. 141, 1995. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>

MCGARIGAL, K. **Fragstats Help**. University of Massachusetts, Amherst, v. 4, n. April, p. 1–182, 2015.

MIRANDA, M. R. S., & NEVES, S. M. A. S. Dinâmica da Estrutura da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jauru/Mato Grosso. **Caminhos de Geografia Uberlândia-MG**, 20 (69), 63–77, 2019.

NASCIMENTO, E. R.; SANO, E. E. Identificação de cerrado rupestre por meio de imagens multitemporais do landsat : proposta metodológica. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 93–106, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100007>

OLIVEIRA, S. N. DE et al. Identificação de unidades de paisagem e sua implicação para o ecoturismo no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 87–107, 2007. <https://doi.org/10.20502/rbg.v8i1.88>

PADOAN, L. L. F. **Entre Lapinha da Serra e Tabuleiro do Mato Dentro: o ecoar da travessia**. Belo Horizonte/MG: IGC/UFMG, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/IGCC-AQRPF/3/PPGeografia_LucasLimaFernandesPadoan_Disserta%3%a7%3%a3oMESTRADO.pdf. Acesso em 13 ago 2021.

PEREIRA, C. P.; ALMEIDA, A. S.; MONTEIRO, B. F.; LAMEIRA W. J. M.; ASSUNÇÃO, S. P. Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra e Análise da Estrutura da Paisagem na Bacia do Rio Uraim. **Caminhos de Geografia Uberlândia-MG**, 20 (75), 225–239, 2020.

PRADO, D. P. Drone in urban spaces: Study case in parks, gardens and built heritage of Cuenca. **Estoa**, v. 6, n. 11, p. 159–168, 2017. <https://doi.org/10.18537/est.v006.n011.a12>

SCCOTI, M. S. V. et al. Mecanismos de regeneração natural em remanescente de floresta estacional decidual. **Ciencia Florestal**, v. 21, n. 3, p. 455–468, 2011. <https://doi.org/10.5902/198050983803>

SOLOMON, C.; BRECKON, T. **Fundamentals of digital image processing**, Wiley-Blackwell, 2011.

SOWIŃSKA-ŚWIERKOSZ, B. N.; SOSZYŃSKI, D. Landscape structure versus the effectiveness of nature conservation: Roztocze region case study (Poland). **Ecological Indicators**, v. 43, p. 143–153, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.018>

UMASS- University of Massachusetts. **Fragstasts**. Versão 4.2.1. Universidade de Massachusetts Amherst, 2014. Disponível em: <<https://www.umass.edu/>>. Acesso em: 21 ago 2021.

USGS – United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos). **Imagem de satélite e Shuttle Radar Topography Mission**. Satélite Landsat 5. Intervalo de tempo 09 jul 1990. Satélite Landsat 8. Intervalo de tempo: 29 set 20. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>> .Acesso em: 14 ago 2021.

Recebido em: 17/09/2021

Aceito para publicação em: 16/05/2022