

**ASTROTURISMO NA SERRA DA MANTIQUEIRA:
UNINDO PATRIMÔNIO NATURAL E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL REGIONAL
ODS (11) – Cidades e Comunidades Sustentáveis**

Elieber Mateus dos Santos, M.Sc. (LNA/MCTI – Doutorando na Unitau)
Quésia Postigo Kaminura, Dra. (Profa. Universidade de Taubaté)
Ademir Pereira dos Santos, Dr. (Prof. Universidade de Taubaté)

Resumo

Este artigo investiga o potencial do astroturismo como estratégia de desenvolvimento sustentável em municípios de pequeno porte na Serra da Mantiqueira, sul de Minas Gerais. Focando na dimensão natural do patrimônio territorial, conforme delineado por Dallabrida et al. (2023), o estudo destaca a importância da preservação do céu noturno, da biodiversidade e das características geográficas da região para promover a conservação ambiental e fomentar o desenvolvimento socioeconômico local. O astroturismo, ao combinar a observação astronômica com práticas de turismo sustentável, surge como uma via promissora para ativar esse patrimônio, contribuindo para a sustentabilidade regional. A pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, utilizando a Escala de Bortle para avaliar a qualidade do céu noturno em diferentes pontos da região, evidenciando a degradação progressiva causada pela poluição luminosa. Além disso, por meio de dados secundários explora como as características naturais da Serra da Mantiqueira podem ser integradas ao desenvolvimento do astroturismo. O artigo conclui que, apesar da degradação do céu noturno, a Serra da Mantiqueira ainda é favorável ao astroturismo, mas seu sucesso depende de políticas públicas eficazes para controlar a poluição luminosa. A combinação de infraestrutura, valorização cultural e preservação ambiental pode tornar a região um destino astronômico relevante, com o engajamento das comunidades locais sendo essencial para a sustentabilidade dessa atividade.

Palavras-chave: Astroturismo; Patrimônio Territorial; Serra da Mantiqueira; Desenvolvimento Sustentável; Poluição Luminosa.

Introdução

O astroturismo, definido por Özder (2024) como uma forma de turismo focada na observação de fenômenos astronômicos e apreciação do céu noturno, surge como uma estratégia promissora para o desenvolvimento regional em áreas com características naturais únicas. Essa atividade, convencional ou profissional, promove a conscientização ambiental e a valorização dos recursos naturais,

tornando-se uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento sustentável. A Serra da Mantiqueira destaca-se por sua geografia montanhosa, biodiversidade e qualidade do céu noturno, elementos que a tornam ideal para o astroturismo, além de ser uma fonte potencial de desenvolvimento econômico para pequenos municípios. Entretanto, a Serra enfrenta desafios críticos, como a crescente poluição luminosa, que ameaça comprometer a qualidade do céu, um dos principais atrativos da região. O crescimento urbano desordenado e a intensificação da iluminação artificial, tanto em áreas urbanas quanto rurais, aceleram a degradação desse recurso essencial.

Ainda, segundo Mello (2023), o Brasil possui regiões extensas e adequadas para a prática do astroturismo, como parques nacionais e áreas de baixa poluição luminosa, que são essenciais para a observação do céu estrelado. Essa modalidade turística não apenas promove a contemplação das belezas naturais, mas também desempenha um papel crucial na preservação ambiental e na conscientização sobre os riscos da poluição luminosa. Mello (2023) ainda destaca que a certificação de Parques de Céu Escuro pode fortalecer a atratividade desses locais, contribuindo para a economia local e incentivando práticas sustentáveis que respeitam e valorizam o patrimônio territorial. Assim, o astroturismo se configura como uma estratégia eficaz para unir turismo, educação ambiental e preservação do patrimônio natural brasileiro.

Experiências internacionais têm demonstrado o potencial transformador do astroturismo em regiões de baixa densidade populacional, como no Vale do Tua em Portugal, onde Tapada et al. (2020) destacam que a implementação do astroturismo beneficiou a economia local e promoveu a conscientização ambiental. Essa prática, que rapidamente ganhou apoio entre os stakeholders, mostrou-se uma ferramenta eficaz de desenvolvimento socioeconômico, reforçando a importância do envolvimento da comunidade local no planejamento dessas iniciativas. Ainda, a abordagem integrada sugerida por Araya-Pizarro (2020) na Região Estrella, no Chile, também pode servir como um exemplo para o contexto da Serra da Mantiqueira. A combinação de elementos naturais, culturais e recreativos, como a gastronomia local e a astrofotografia, não só diversifica a oferta turística, mas também cria uma proposta de valor único que pode atrair um público diversificado e valorizar a identidade regional.

Diante desse cenário, este artigo busca destacar a problemática da poluição luminosa na Serra da Mantiqueira e ressaltar a urgência de ações que possam mitigar seus impactos, visando à proteção do potencial astroturístico da região e assegurando que o desenvolvimento seja sustentável. O estudo se concentra na dimensão natural do patrimônio territorial da região, conforme proposto por Dallabrida et al. (2023), e enfatiza como a preservação do céu noturno é vital para que o astroturismo se consolide como uma alternativa viável e sustentável para o desenvolvimento regional.

Revisão da literatura

Para entender o astroturismo como estratégia de desenvolvimento sustentável na Serra da Mantiqueira, é essencial explorar os conceitos de patrimônio territorial e sustentabilidade. Esta seção examina como a valorização dos recursos naturais pode apoiar o desenvolvimento turístico sustentável, conectando esses conceitos ao contexto específico da região.

Patrimônio Territorial e a Dimensão Natural

O conceito de patrimônio territorial é complexo e multifacetado, englobando a totalidade dos recursos e valores materiais e imateriais que constituem a identidade de um território. De acordo com Dallabrida et al. (2023), o patrimônio territorial pode ser compreendido como um conjunto de heranças culturais, naturais, produtivas, institucionais, sociais e humano-intelectuais que se articulam para formar a base do desenvolvimento regional. Essas heranças não são apenas vestígios do passado, mas elementos dinâmicos que influenciam o presente e moldam o futuro de uma região.

A dimensão natural do patrimônio territorial refere-se aos recursos ambientais que caracterizam uma região, como sua biodiversidade, geografia, clima e, no caso específico do astroturismo, a qualidade do céu noturno. Conforme discutido por Felippi e Deponti (2022), a valorização desses recursos naturais é essencial para o desenvolvimento sustentável, pois eles constituem a base sobre a qual se podem construir iniciativas que promovam o crescimento econômico sem comprometer o equilíbrio ecológico. Nesse sentido, a Serra da Mantiqueira, com sua baixa poluição luminosa, elevada altitude e rica

biodiversidade, apresenta um potencial significativo para o desenvolvimento de atividades sustentáveis, como o astroturismo.

Pecqueur (2005) destaca a importância de mobilizar os recursos disponíveis em um território para transformar suas potencialidades em ativos concretos de desenvolvimento. Nesse contexto, a dimensão natural não é apenas um componente passivo do território, mas um recurso estratégico que, quando adequadamente explorado, pode impulsionar o crescimento econômico e a inclusão social. Isso se alinha com a perspectiva de Cazella et al. (2020), que argumentam que o desenvolvimento territorial deve considerar a integração dos recursos naturais com outras dimensões do patrimônio, como a cultural e a produtiva, para criar um modelo de desenvolvimento multifacetado e sustentável.

A ideia de que a identidade territorial é formada pela apropriação social dos recursos naturais e culturais de uma região é reforçada por Flores (2006). Na Serra da Mantiqueira, essa identidade se manifesta pela valorização do céu noturno e da biodiversidade, características distintivas da região. A preservação desses recursos é fundamental não só para a integridade ambiental, mas também para fortalecer a identidade cultural local, promovida por meio de atividades turísticas que respeitem essas especificidades. Além disso, a governança territorial tem papel essencial na gestão do patrimônio natural. Dallabrida (2020) e Cazella et al. (2020) ressaltam que a participação ativa das comunidades é crucial para assegurar que o desenvolvimento ocorra de forma inclusiva e sustentável. Isso inclui criar mecanismos que permitam às comunidades locais se beneficiarem economicamente de atividades como o astroturismo, enquanto protegem os recursos naturais para as gerações futuras.

Astroturismo e Sustentabilidade

O astroturismo oferece uma oportunidade singular de integrar os pilares do desenvolvimento sustentável — econômico, social e ambiental. Conforme Fayos-Solà et al. (2014), essa prática promove o uso responsável dos recursos naturais, gerando benefícios econômicos e sociais para as comunidades locais, especialmente em áreas como a Serra da Mantiqueira, onde as condições naturais favorecem a observação do céu noturno. Segundo Wassenaar e Coetzee (2024), o astroturismo pode funcionar como uma alavanca econômica significativa, atraindo turistas interessados em astronomia e estimulando a

diversificação econômica de áreas rurais. Essa prática não só cria novas oportunidades de emprego e renda, como também incentiva a conservação dos céus noturnos, um patrimônio natural de valor inestimável (Fernández e Mieres, 2022). Além disso, Violin, Honorato e Lima (2024) enfatizam que o astroturismo fortalece a coesão social ao promover a interação entre turistas e residentes, valorizando tradições culturais locais e criando um senso de pertencimento.

A relação entre o patrimônio territorial e o astroturismo está intrinsecamente ligada à sustentabilidade. A dimensão natural do patrimônio territorial, que inclui a qualidade do céu noturno, biodiversidade e geografia, é crucial para o desenvolvimento do astroturismo. Como argumenta Flores (2006), a identidade territorial é moldada pela apropriação social dessas características naturais, que podem ser exploradas de forma sustentável através do turismo. Nesse contexto, Pecqueur (2005) e Cazella et al. (2020) defendem que o desenvolvimento territorial deve ser uma construção coletiva, em que a mobilização dos recursos naturais se dá em sinergia com a participação das comunidades locais. O astroturismo, portanto, não apenas valoriza o patrimônio natural, mas também promove inclusão social e desenvolvimento econômico, alinhando-se aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Na opinião de Dallabrida et al. (2023), a ativação do patrimônio territorial deve considerar todas as suas dimensões, com a natural sendo uma das mais críticas para o sucesso de iniciativas de turismo sustentável, como o astroturismo. Na Serra da Mantiqueira, essa prática pode transcender a função econômica, promovendo sustentabilidade em todas as suas dimensões e reforçando o patrimônio territorial natural da região. A sinergia entre a valorização dos recursos naturais e a promoção de atividades turísticas sustentáveis é fundamental para construir um modelo de desenvolvimento inclusivo, equitativo e ecológico.

A Dimensão Natural no Astroturismo

A preservação do céu noturno como patrimônio natural é cada vez mais importante, diante dos desafios da poluição luminosa e urbanização. Dominici e Rangel (2017) destacam que reconhecer o céu noturno enriquece a compreensão cultural e científica da humanidade e é essencial para práticas sustentáveis de

proteção ambiental. Um dos maiores desafios para a instalação de observatórios astronômicos no Brasil é a falta de locais adequados devido à diversidade climática e geográfica, o que limita o desenvolvimento científico e tecnológico (Dominici e Rangel, 2017). A falta de infraestrutura e o planejamento estratégico também são questões urgentes.

Além da observação astronômica, a iluminação artificial excessiva afeta a saúde humana e a biodiversidade. Dominici e Rangel (2017) ressaltam a importância de um uso racional da iluminação para mitigar esses impactos. A conscientização sobre a importância de um céu noturno limpo deve ser uma prioridade para toda a sociedade. O turismo de observação de céus escuros é uma oportunidade econômica significativa, promovendo a conservação do patrimônio natural e gerando benefícios econômicos e ambientais (Dominici e Rangel, 2017).

Zaei e Zaei (2013) apontam que o turismo pode trazer muitos benefícios para comunidades rurais, e o astroturismo surge como um instrumento promissor, unindo desenvolvimento econômico, preservação ambiental e valorização cultural. Ele gera empregos, incentiva o desenvolvimento de infraestrutura turística e protege áreas naturais, criando parques e reservas que limitam a poluição luminosa. Programas educativos de astroturismo aumentam a conscientização sobre a conservação ambiental. Silva et al. (2022) reforçam que o turismo rural é uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento sustentável, e, no contexto do astroturismo, áreas rurais com baixa poluição luminosa tornam-se ideais, diversificando a oferta turística e beneficiando comunidades locais.

O Observatório do Pico dos Dias (OPD), na Serra da Mantiqueira, é o principal centro de pesquisa astronômica do Brasil, mas a crescente poluição luminosa ameaça a qualidade das observações e a preservação desse patrimônio natural (Dominici e Rangel, 2017). A proteção do céu noturno é vital não apenas para a ciência, mas também para a identidade cultural da região. A degradação do céu noturno tem impactos sociais e econômicos. Dominici e Rangel (2017) argumentam que a proteção do OPD e a promoção do astroturismo podem gerar oportunidades econômicas ainda inexploradas.

A implementação de políticas de controle da iluminação artificial e práticas sustentáveis, especialmente em municípios como Brazópolis e Campos do Jordão, é essencial para garantir que o céu noturno continue a ser um recurso valioso para

pesquisa e turismo (Dominici e Rangel, 2017). A valorização do céu noturno pode contribuir para a economia local e a conscientização sobre a preservação do patrimônio natural, transformando a Serra da Mantiqueira em um dos principais destinos de astroturismo no Brasil.

Em resumo, o astroturismo é um poderoso instrumento para o desenvolvimento sustentável, integrando pilares econômicos, sociais e ambientais. Políticas públicas e iniciativas privadas precisam alinhar-se para garantir que o céu noturno seja protegido como um patrimônio regional.

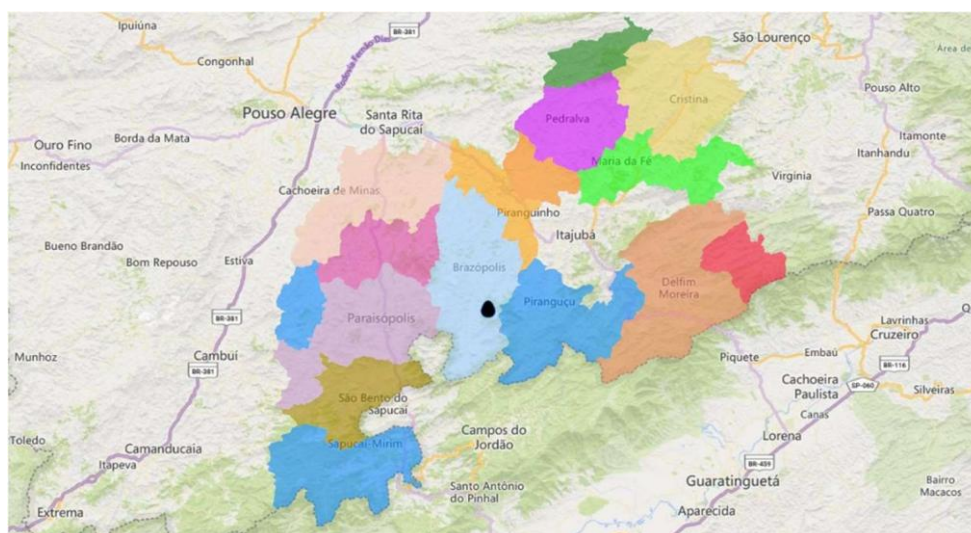
Método

A pesquisa adotou uma abordagem metodológica mista para avaliar o potencial do astroturismo como uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Inicialmente, uma revisão da literatura foi realizada para identificar as principais características naturais da região, como a qualidade do céu noturno, a geografia montanhosa e a presença de áreas com baixa poluição luminosa, elementos cruciais para a prática do astroturismo. A análise quantitativa foi conduzida através da aplicação da Escala de Bortle (Bortle, 2001), uma ferramenta utilizada para medir a qualidade do céu noturno em diferentes pontos da Serra da Mantiqueira. Essa avaliação foi essencial para quantificar o impacto da poluição luminosa na região. Complementando a análise quantitativa, foi realizada uma integração dos dados em uma abordagem qualitativa, explorando as inter-relações entre as diferentes características naturais da região, como a qualidade do céu noturno, a geografia, e a biodiversidade, para avaliar o potencial do astroturismo como uma estratégia de desenvolvimento sustentável. O estudo foi centrado em dezessete municípios da Serra da Mantiqueira, selecionados devido às suas características únicas e às condições favoráveis para o desenvolvimento do astroturismo. Essa combinação de métodos qualitativos e quantitativos proporcionou uma base sólida para compreender como as características naturais da Serra da Mantiqueira podem ser mobilizadas para promover o astroturismo e apoiar o desenvolvimento sustentável local.

A Região de Estudo – Recorte

Os municípios a serem estudados fazem parte de duas Instâncias de Governança Regional (IGR): a 37 (Serras Verdes do Sul de Minas, que inclui Cachoeira de Minas, Conceição dos Ouros, Consolação, Gonçalves, Paraisópolis e Sapucaí Mirim) e a 04 (Caminhos da Mantiqueira, que abrange Brazópolis, Conceição das Pedras, Cristina, Delfim Moreira, Maria da Fé, Marmelópolis, Pedralva, Piranguçu, Piranguinho, São José do Alegre e Wenceslau Brás). Embora a IGR37 seja composta por vinte municípios e a IGR04 por dezesseis, nem todos foram incluídos no estudo. Foram selecionados seis municípios da IGR37 e onze da IGR04 (Mapa 01), conforme razões expostas a seguir.

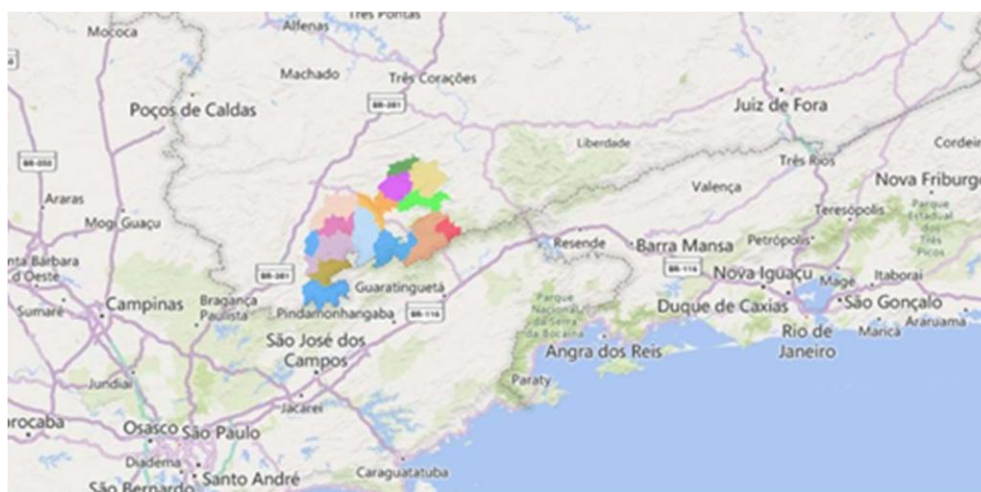
Mapa 01 - Recorte dos Municípios a Serem Estudados



Fonte: Elaborado pelos autores

A seleção dos municípios segue a abordagem de Santos, Kamimura e Santos (2024), que delineia critérios justificando a escolha da área de estudo. Os autores destacam três fatores fundamentais: a necessidade urgente de geração de renda em pequenos municípios, a proximidade com o Observatório do Pico dos Dias (ponto negro no Mapa 01) e a baixa poluição luminosa, além da localização estratégica em relação aos principais centros urbanos do país (Mapa 02).

Mapa 02 – Localização Estratégica em Relação a Grandes Centros



Fonte: Elaborado pelos autores

Para Santos, Kamimura e Santos (2024), os indicadores socioeconômicos dessa região revelam desafios significativos. As cidades têm uma população média de 8.300 habitantes e um salário médio mensal de 1,77 salários-mínimos, com 36% da população vivendo com até meio salário mínimo. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio é de 0,695, abaixo da média estadual de 0,774, e o PIB per capita é de R\$ 20.720,91, representando apenas 57,7% da média nacional. Esses dados evidenciam a necessidade urgente de estratégias para estimular o crescimento socioeconômico desses municípios. Além disso os autores enfatizam a importância da proximidade desses municípios com o Observatório do Pico dos Dias, o principal centro de pesquisa astronômica do Brasil. A escolha dessas localidades permite uma análise detalhada do impacto da poluição luminosa e a oportunidade de desenvolver políticas de mitigação replicáveis em outras regiões. A baixa poluição luminosa é crucial para a observação astronômica de alta qualidade, potencializando o astroturismo. Finalmente, a localização estratégica desses municípios, próxima a grandes centros urbanos como Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, é determinante para o sucesso do astroturismo na região. Como mencionado por Santos, Kamimura e Santos (2024), essa proximidade facilita o acesso de turistas e cria uma conexão natural com destinos já consolidados, como Campos do Jordão, ampliando o alcance do turismo astronômico na Serra da Mantiqueira.

Recursos Naturais e Astroturismo na Serra da Mantiqueira

A Serra da Mantiqueira, situada entre Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, é uma das cadeias montanhosas mais importantes do Brasil, estendendo-se por cerca de 500 km. Com sua geografia montanhosa, biodiversidade rica e recursos hídricos únicos, incluindo grandes províncias de água mineral, a região abriga parques nacionais e estaduais, como o Parque Nacional do Itatiaia, o Parque Estadual da Serra do Papagaio e o Parque Estadual de Campos do Jordão, todos essenciais para a conservação ambiental e o turismo sustentável (Serra da Mantiqueira, 2023). Em 2013, a Serra da Mantiqueira foi reconhecida pela União Internacional de Conservação da Natureza como uma das 8 áreas protegidas insubstituíveis do planeta e é considerada um patrimônio natural do Brasil, parte da Mata Atlântica e uma das 7 Reservas da Biosfera brasileiras segundo a UNESCO. A região é lar de formações geográficas notáveis, como a Pedra da Mina e o Pico das Agulhas Negras, alguns dos picos mais altos do país (Serra da Mantiqueira, 2023).

A Serra da Mantiqueira é ideal para o astroturismo, combinando altitudes elevadas, ar puro e baixa poluição, resultando em excelente visibilidade do céu noturno. Suas características geográficas favorecem a instalação de observatórios astronômicos e a integração com atividades como trilhas noturnas e montanhismo, promovendo a valorização e preservação do patrimônio natural. A conservação dos ecossistemas da Serra e o desenvolvimento do astroturismo são interdependentes. A proteção da fauna e flora locais assegura a integridade ambiental, oferecendo uma experiência turística que fortalece a sustentabilidade regional. A rica biodiversidade não apenas valoriza a região turisticamente, mas também promove a educação ambiental e a conscientização sobre a conservação dos recursos naturais.

O clima ameno da Serra, especialmente no inverno, torna-a atraente tanto para turistas quanto para pesquisadores e astrônomos. A previsibilidade climática e a estabilidade atmosférica fazem da Serra um local confiável para a observação astronômica e o desenvolvimento sustentável. Assim, a Serra da Mantiqueira se destaca como um modelo de turismo sustentável no Brasil, onde o respeito pela natureza e o desenvolvimento econômico caminham juntos,

garantindo um futuro próspero e equilibrado para as próximas gerações (Serra da Mantiqueira, 2023).

Poluição Luminosa e a Escala Bortle

A análise da poluição luminosa na Serra da Mantiqueira, envolvendo dezessete pequenos municípios, é fundamental para entender os impactos desse fenômeno sobre o meio ambiente e as comunidades locais. Em uma região com alto potencial para o astroturismo, como a Mantiqueira, a preservação do céu noturno é crucial para o desenvolvimento sustentável. Segundo Falchi et al. (2016), a poluição luminosa, causada pela dispersão de luz artificial que impede a visibilidade de estrelas e corpos celestes, resulta principalmente de iluminação inadequada em áreas públicas, comerciais e residenciais. Além de comprometer a observação astronômica, essa poluição interfere nos ciclos naturais dos ecossistemas e pode afetar a saúde humana, sendo uma preocupação tanto em áreas urbanas quanto rurais.

A Escala de Bortle, proposta por John E. Bortle em 2001, classifica a qualidade do céu noturno de 1 (extremamente escuro) a 9 (extremamente iluminado). Em locais de Classe 1, a observação astronômica é excepcional, com clara visibilidade da Via Láctea e de objetos como a galáxia M33 a olho nu. Contudo, a poluição luminosa nas áreas urbanizadas pode degradar significativamente essa experiência. A Serra da Mantiqueira, com suas paisagens naturais e baixa densidade populacional em algumas áreas, apresenta um cenário promissor para o astroturismo, que pode ser melhor explorado através da aplicação da Escala de Bortle para identificar regiões com céus de alta qualidade.

O uso de dados quantitativos sobre o "Brilho do Céu", como os fornecidos pelo Light Pollution Atlas, complementa essa análise ao mapear as áreas mais afetadas pela iluminação artificial e identificar padrões de distribuição do brilho na região. Segundo Baharim, Umar e Sadek (2022), abordagens geoespaciais são vitais para avaliar e mitigar os efeitos da poluição luminosa, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de políticas públicas que protejam o ambiente noturno e promovam práticas sustentáveis. Ao combinar a Escala de Bortle com dados precisos de brilho do céu, torna-se possível realizar uma avaliação abrangente da poluição luminosa na

Serra da Mantiqueira, propondo estratégias de mitigação adaptadas às especificidades regionais.

Essa análise não só enriquecerá o conhecimento científico e impulsionará o astroturismo, como também poderá fundamentar ações voltadas à proteção do patrimônio natural e cultural da Serra da Mantiqueira (Baharim, Umar e Sadek, 2022). O desenvolvimento do astroturismo na região emerge como uma oportunidade ímpar de aliar conservação ambiental e valorização cultural, beneficiando tanto a economia local quanto o bem-estar ambiental.

A Evolução da Poluição Luminosa

A poluição luminosa, intensificada pelo crescimento urbano desordenado, tem degradado progressivamente o céu noturno, um recurso essencial para o astroturismo. Na Serra da Mantiqueira, essa problemática é agravada pelo aumento populacional em cidades-polo como Itajubá, Pouso Alegre e Santa Rita do Sapucaí, além do crescimento de propriedades rurais nas suas proximidades e nas pequenas cidades satélites. Esses fatores têm intensificado a iluminação artificial, que se espalha indiscriminadamente, afetando tanto áreas urbanas quanto rurais.

Nas últimas décadas, a expansão urbana gerou um aumento significativo na emissão de luz artificial, frequentemente desnecessária ou mal direcionada, criando uma "cúpula de luz" que obscurece a visão das estrelas e compromete a qualidade do céu noturno (Falchi et al., 2016). Além de dificultar a observação astronômica, a poluição luminosa desregula os ritmos circadianos de organismos, incluindo humanos, flora e fauna, que dependem da escuridão natural para suas funções biológicas (Gaston et al., 2013; Golombek e Rosenstein, 2010). A exposição à luz artificial em horários inadequados pode levar a distúrbios do sono, alterações no comportamento de insetos e aves, e mudanças nos ciclos de floração das plantas, impactando negativamente os ecossistemas.

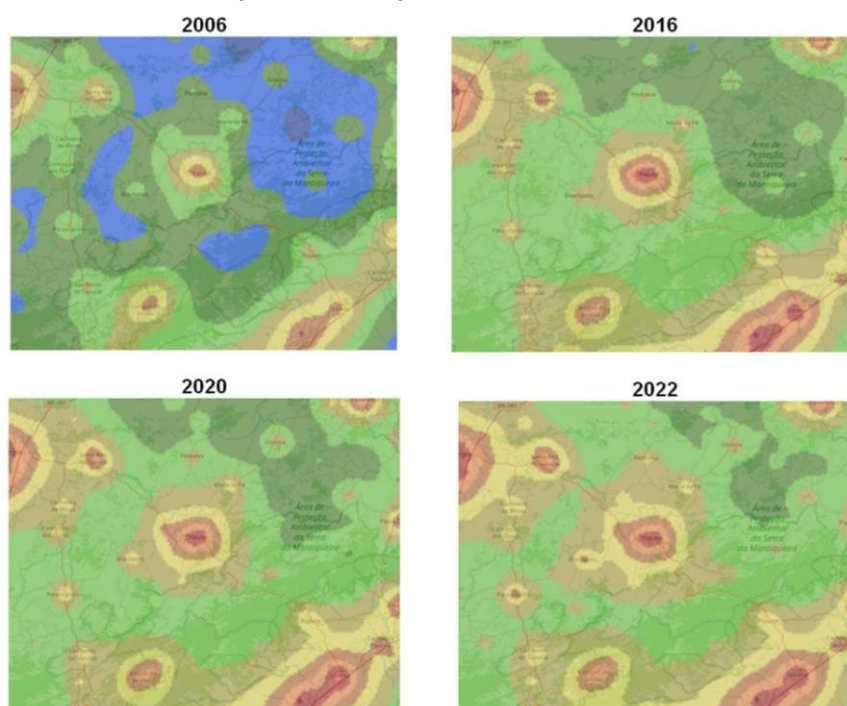
Além disso, proprietários de terrenos em áreas rurais, tanto nas cidades-polo quanto nas satélites, frequentemente instalam sistemas de iluminação ao longo de estradas ou nos limites de suas propriedades, sem considerar o impacto ambiental. Essa iluminação, muitas vezes mantida acesa indiscriminadamente, intensifica a poluição luminosa, semelhante à poluição sonora, mas sem

regulamentação legal. A falta de conscientização sobre os impactos ambientais agrava a situação, resultando em um aumento no brilho artificial do céu, comprometendo a observação astronômica e perturbando os ecossistemas locais.

Portanto, é imperativo que políticas públicas específicas abordem e mitiguem os efeitos da poluição luminosa, protegendo tanto o patrimônio natural quanto a qualidade de vida das comunidades afetadas.

Para ilustrar a evolução da poluição luminosa entre 2006 e 2022, utilizaremos mapas do Light Pollution Atlas. A Figura 01 apresenta quatro mapas da região, destacando a qualidade do céu noturno ao longo dos anos e evidenciando as mudanças e a perda progressiva de escuridão na Serra da Mantiqueira.

Figura 1 – A Evolução da Poluição Luminosa (2006, 2016, 2020 e 2022)



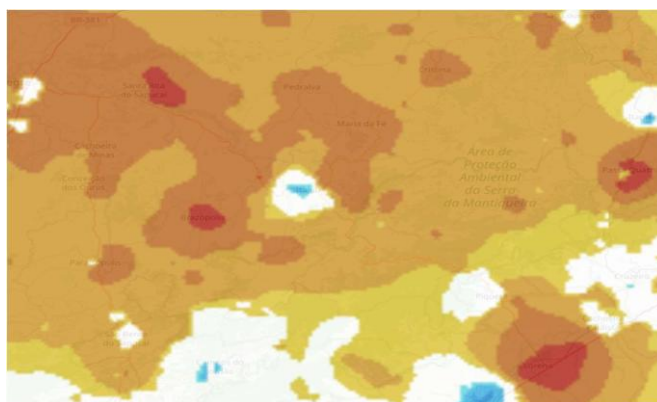
Fonte: Light Pollution Atlas (Elaborado pelos autores)

Na Figura 01, observa-se a evolução da poluição luminosa na Serra da Mantiqueira entre 2006 e 2022, destacando a qualidade do céu noturno conforme classificado pela Escala de Bortle. Em 2006, a região ainda possuía vastas áreas classificadas como Nível 1, ou "excelente céu escuro", segundo Bortle (2001). Este nível proporciona condições ideais para observação astronômica, com escuridão

quase total que permite a visualização clara da Via Láctea e de objetos como a galáxia M33 a olho nu. A magnitude limite pode alcançar 7,6 a 8,0, permitindo a detecção de estrelas muito fracas, enquanto fenômenos como a luz zodiacal e o gegenschein se destacam, com poluição luminosa praticamente inexistente. Esse cenário, contudo, mudou drasticamente. Em 2016, as áreas de Nível 1 foram substituídas por áreas de Nível 2, "Céu escuro típico", segundo Bortle (2001). Neste nível, a escuridão ainda é notável, com a Via Láctea claramente visível e bem definida, mas a poluição luminosa começa a ser perceptível, especialmente ao longo do horizonte. A magnitude limite varia de 7,1 a 7,5, ainda permitindo a observação de muitas estrelas fracas e a luz zodiacal, que pode até projetar sombras sutis.

Em 2022, a maior parte do mapa é representada pelo Nível 3, ou "Céu rural", caracterizado por condições razoáveis para a observação astronômica, mas com sinais de poluição luminosa, especialmente no horizonte. Neste nível, a Via Láctea é visível, mas com estrutura menos impressionante, e a magnitude limite varia de 6,1 a 6,5. Objetos como a galáxia M33 podem ser detectados, mas geralmente requerem visão com desvio. Essa degradação da qualidade do céu é especialmente notável em Itajubá e arredores, onde a expansão urbana aumentou a emissão de luz artificial. Compreender essas mudanças é crucial para enfatizar a necessidade de proteger as áreas que ainda possuem céus de alta qualidade na Serra da Mantiqueira, tanto para o desenvolvimento do astroturismo quanto para a preservação dos ecossistemas que dependem da escuridão natural. A Figura 02, abaixo, apresenta as tendências da poluição luminosa entre 2006 e 2022.

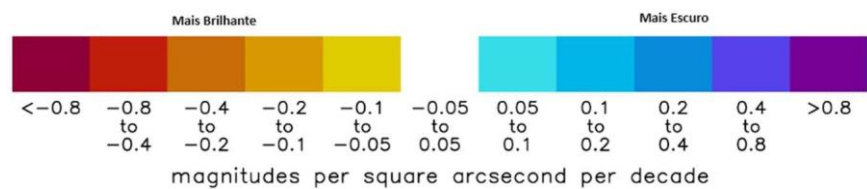
Figura 2: Tendências da Poluição Luminosa 2006-2022



Fonte: Light Pollution Atlas (Elaborado pelos Autores)

Conforme explicado pelo Light Pollution Atlas, o mapa "Tendências de Poluição Luminosa (2013-2022)" mostra as mudanças nas tendências de poluição luminosa entre 2013 e 2022. As cores vermelha e laranja indicam um aumento na poluição luminosa, associado a uma diminuição na magnitude da luz visível, enquanto as cores azuis indicam uma diminuição na poluição, refletindo um aumento na magnitude da luz visível. A cor branca sugere que não houve uma tendência significativa ou que as variações observadas não são consistentes o suficiente para serem consideradas estatisticamente significativas.

Figura 3: Variações Brilhante/Escuro



Fonte: <https://djllorenz.github.io/astronomy/lp2022/trend.html>.

Acesso em 22/08/2024

A tabela abaixo apresenta as medições do brilho (mag/arcsec²) realizadas para dez pontos da região e o ponto onde está localizado o Observatório do Pico dos Dias (OPD) nos anos de 2006, 2016, 2020 e 2022, com conversão para a Escala de Bortle, conforme Baharim, Umar e Sadek (2022, p. 161).

Tabela 1: Variação Brilho do Céu Noturno - Escala de Bortle (2006, 2016, 2020 e 2022)

Ponto	Coordenada(lat, lon)	Radiação 2006 (mag/arcseg2)	Bortle	Radiação 2016 (mag/arcseg2)	Bortle	Radiação 2020 (mag/arcseg2)	Bortle	Radiação 2022 (mag/arcseg2)	Bortle
1	-22,7673,-45,8542	21,67	2	21,45	3	21,41	3	21,39	3
2	-22,5100,-45,8799	21,70	2	21,49	3	21,43	3	21,36	3
3	-22,5867,-45,6647	21,71	1	21,48	3	21,41	3	21,25	4
4	-22,5684,-45,3777	21,70	2	21,42	3	21,35	3	21,25	4
5	-22,4377,-45,1003	21,75	1	21,53	2	21,45	3	21,42	3
6	-22,2166,-45,1826	21,78	1	21,64	2	21,57	2	21,52	2
7	-22,1683,-45,4491	21,24	4	21,38	3	21,31	3	21,24	4
8	-22,4580,-45,7800	21,64	2	21,39	3	21,32	3	21,24	4
9	-22,3853,-45,6180	21,68	2	21,44	3	21,35	3	21,23	4
10	-22,2688,-45,3859	21,61	2	21,49	3	21,37	3	21,98	4
OPD	-22,5349,-45,5832	21,68	2	21,40	3	21,32	3	21,29	4
Média		21,65	2	21,46	3	21,39	3	21,38	3

Fonte: Light Pollution Atlas - Acesso em 22/08/2024.

A análise dos dados de brilho do céu noturno entre 2006 e 2022, em diferentes pontos da região que inclui o Observatório do Pico dos Dias (OPD), revela uma preocupante degradação progressiva na qualidade do céu noturno. Essa tendência é evidenciada pela diminuição dos valores de radiação, medidos em mag/arcseg^2 , e pela mudança correspondente na classificação da Escala de Bortle, que varia de 1 (céu excepcionalmente escuro) a 9 (céu extremamente claro), refletindo a crescente influência da poluição luminosa na região.

Inicialmente, em 2006, a maioria dos pontos analisados apresentava uma classificação na Escala de Bortle em torno de 2, indicando céus de excelente qualidade para observação astronômica. No entanto, ao longo dos anos, observou-se uma degradação contínua, com a maioria dos pontos caindo para as classificações 3 ou 4 em 2022. Essa mudança sugere um aumento significativo na poluição luminosa, comprometendo a escuridão necessária para a astronomia e o astroturismo. Particularmente preocupante é a situação do OPD, onde a classificação de Bortle passou de 2 em 2006 para 4 em 2022, refletindo a vulnerabilidade até mesmo das áreas mais protegidas e dedicadas à astronomia.

A observação astronômica é significativamente influenciada por fatores ambientais, sendo a poluição luminosa um dos principais. No entanto, a altitude do local de observação desempenha um papel crucial na mitigação desses efeitos. Em regiões de maior altitude, como na Serra da Mantiqueira, a poluição luminosa tende a ser menos impactante. Isso significa que um céu classificado como Bortle 4 em áreas elevadas pode oferecer condições superiores de observação comparado a um Bortle 4 em regiões mais baixas. Essa superioridade se deve a vários fatores interconectados: a menor quantidade de atmosfera acima do observador em altitudes elevadas resulta em um céu menos denso e, consequentemente, em uma visualização mais clara dos corpos celestes. Além disso, formações montanhosas atuam como barreiras naturais, bloqueando a luz proveniente de centros urbanos e reduzindo ainda mais a interferência luminosa.

É importante notar que ferramentas como mapas de poluição luminosa frequentemente não capturam essas nuances ambientais, pois se baseiam em médias de dados, sem considerar especificidades locais como relevo e microclimas. A transparência atmosférica também é influenciada positivamente pela altitude, proporcionando um céu mais escuro, especialmente no zênite. Na

Mantiqueira, por exemplo, a escuridão do céu diretamente acima do observador é notavelmente superior em comparação com outras áreas do céu, evidenciando a qualidade excepcional das condições de observação nessa região.

Em regiões tropicais essas diferenças tornam-se ainda mais pronunciadas. A presença de camadas de umidade em altitudes mais baixas deteriora significativamente a qualidade do céu noturno, enquanto poluentes industriais adicionam partículas químicas na atmosfera que obstruem a passagem da luz estelar. Todos esses elementos combinados podem alterar a classificação de qualidade do céu em até um nível na escala de Bortle, demonstrando a importância de considerar múltiplos fatores ao avaliar condições de observação astronômica. No entanto, é essencial reconhecer que essas variações são sutis e podem diferir mesmo em curtas distâncias geográficas, como em um raio de dez quilômetros. Os microclimas e “microcéus” apresentam comportamentos distintos devido a influências locais específicas, tornando desafiadora a garantia de condições homogêneas de observação em áreas próximas. Portanto, ao planejar atividades de observação astronômica, é fundamental considerar a combinação desses diversos fatores para selecionar o local e o momento mais adequados, assegurando assim a melhor experiência possível de contemplação do cosmos.

Apesar dessa degradação, é importante destacar que a qualidade do céu noturno na região, de forma geral, ainda se aproxima daquela observada no próprio OPD. Embora tenha ocorrido uma piora progressiva, a região ainda mantém condições relativamente favoráveis para a prática astronômica e o desenvolvimento do astroturismo. Isso corrobora a tese de que a Serra da Mantiqueira, apesar dos desafios, continua sendo um local promissor para o turismo astronômico. Contudo, essa condição favorável não deve ser motivo de complacência. A degradação progressiva observada nos dados é um sinal claro da necessidade urgente de implementar medidas de mitigação contra a poluição luminosa. Políticas públicas voltadas para a regulamentação da iluminação externa, a conscientização da população e a proteção de áreas estratégicas para a observação do céu são essenciais para preservar e, se possível, melhorar a qualidade do céu noturno na região.

Em conclusão, embora a Serra da Mantiqueira ainda ofereça condições adequadas para o astroturismo, a tendência de degradação observada deve ser tratada com seriedade. A preservação da escuridão do céu noturno não é apenas uma questão científica, mas também uma oportunidade para o desenvolvimento sustentável da região, que pode se beneficiar do crescente interesse global pelo astroturismo. Assim, é imperativo que ações concretas sejam tomadas para proteger o patrimônio natural, garantindo que futuras gerações possam continuar a desfrutar das maravilhas do céu estrelado.

Considerações Finais

O presente estudo mostrou que o astroturismo apresenta grande potencial como estratégia de desenvolvimento sustentável na região da Serra da Mantiqueira, destacando a importância de preservar o céu noturno e os recursos naturais locais. Apesar das ameaças crescentes da poluição luminosa, a região ainda mantém condições propícias para a observação astronômica. No entanto, o sucesso dessa prática depende de ações que mitiguem a poluição luminosa e garantam o desenvolvimento equilibrado. A implementação de políticas públicas que regulamentem a iluminação externa e promovam a conscientização ambiental é essencial para a preservação desse recurso. Acredita-se que o envolvimento das comunidades locais, aliado a práticas sustentáveis, poderá transformar a região em um destino de referência no astroturismo. Futuros estudos poderiam explorar metodologias que incentivem a participação ativa da população, além de estratégias de monitoramento contínuo da qualidade do céu, garantindo que o desenvolvimento ocorra de maneira inclusiva e sustentável.

Referências

ARAYA-PIZARRO, S. Astroturismo como alternativa estratégica de dinamização territorial: o caso da Região Estrella de Chile. **Revista Economia e Sociedade**, v. 25, n. 58, p. 1-18, jul.-dez. 2020. EISSN: 2215-3403. Disponível em: www.revistas.una.ac.cr/economia. Acesso em: 02/09/2024.

Baharin, M. S. A.; SADEK, E. S. S.; UMAR, R. Assessment of light pollution and sustainability using geospatial approaches: a case study in UiTM Shah Alam Selangor. **Journal of Sustainability Science and Management**, v. 17, n. 2, p. 158-169, fev. 2022. eISSN: 2672-7226. DOI: <http://doi.org/10.46754/jssm.2022.02.012>.

BORTLE, J. E. Introducing the Bortle Dark-Sky Scale. **Sky & Telescope**, v. 126, p. 126-128, 2001. CAZELLA, A. A.; MEDEIROS, M.; DESCONSI, C.; SCHNEIDER, S.; NUNES DE PAULA, L. G. O enfoque da cesta de bens e serviços territoriais: modelo de análise do desenvolvimento territorial sustentável.

Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, G&DR, v. 16, n. 3, p. 193-206, set.-dez. 2020. Taubaté, SP, Brasil. ISSN: 1809-239X.

CASTRO, Í. S. P. DE; SANTOS, R. B. N. DOS; FERNANDES, D. A.; XAVIER, C. A.; BASTOS, A. P.; SERRA, M. A. O papel da terceira missão em regiões periféricas: o caso do apoio da Universidade Federal do Pará ao Plano Nacional de Formação dos Professores da Educação Básica (2009-2015). In: Serra, M.; Rolim, C.; Bastos, A. P. (Orgs.). **Universidades e Desenvolvimento regional: as bases para a inovação competitiva**. RIO DE JANEIRO: IDEIA D, 2018. ISBN 978-85-5731-002-5.

DALLABRIDA, V. R. Patrimônio Territorial: Abordagens Teóricas e Indicativos Metodológicos para Estudos Territoriais. **Desenvolvimento em Questão**, ano 18, n. 52, jul./set. 2020. Editora Unijuí. ISSN 2237-6453.
<http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2020.52.12-32>.

DALLABRIDA, V. R.; MUELLER, A. A.; ANDRADE, A. A. V. DE; CARNIELLO, M. F.; BÜTTENBENDER, P. L.; GUMIERO, R. G.; DENARDIN, V. F.; ROTTA, E.; MENEZES, E. C. de O. Índice multidimensional da ativação do patrimônio territorial: uma proposta de referencial metodológico para estudos territoriais. **Desenvolvimento em Questão**, v. 21, n. 59, p. 4-21, 2023. ISSN 2237-6453.

DOMINICI, T. P.; RANGEL, M. F. Utilizando conceitos de patrimônio como uma estratégia de proteção do direito à luz das estrelas. Museologia e Patrimônio, **Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio** - Unirio | MAST, v. 10, n. 1, p. 1-34, 2017.

FALCHI, F.; CINZANO, P.; DURISCOE, D.; KYBA, C. C. M.; ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K.; FURGONI, R. The new world atlas of artificial night sky brightness. **Science Advances**, v. 2, n. 6, e1600377, 2016.

FAYOS-SOLÀ, E.; MARÍN, C.; JAFARI, J.; AHMAD, A. G. Astrotourism: No requiem for meaningful travel. Pasos: **Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**, v. 12, n. 3, p. 663-671, 2014.

FELIPPI, A. C. T.; DEPONT, C. Os estudos culturais e a perspectiva orientada ao ator: aproximações teóricas para a pesquisa e intervenção em comunicação e desenvolvimento. In: Garcia-Corredor, C. P.; Carniello, M.; Beltranmelli, F. (Orgs.). **Comunicación, tecnología y desarrollo: aportes epistémico- teóricos metodológicos en la investigación e agendas de Latinoamérica** [recurso eletrônico]. Taubaté: EdUnitau, 2022. Dados eletrônicos.

FERNÁNDEZ, P. M. Astroturismo: una propuesta sostenible para el Valle de Fornela (El Bierzo, León). **Rotur**, N, v. 16, n. 2, p. 155-163, 2022. DOI:
<https://doi.org/10.17979/rotur.2022.16.2.8993>.

FIRJAN. Mapeamento da Indústria Criativa no Brasil – 2022. Rio de Janeiro. **Estudos e pesquisas. Ambiente Socioeconômico**. ISSN 2764-7862.

FLORES, M. Contribuição para o Projeto Desenvolvimento Territorial Rural a partir de Serviços e Produtos com Identidade - **RIMISP**. 2006.

GASTON, K. J.; BENNIE, J.; DAVIES, T. W.; HOPKINS, J. The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. **Biological Reviews**, v. 88, n. 4, p. 912-927, 2013.

GOLOMBEK, D. A.; ROSENSTEIN, R. E. Physiology of circadian entrainment. **Physiological Reviews**, v. 90, n. 3, p. 1063-1102, 2010. DOI: 10.1152/physrev.00009.2009. PMID: 20664079.

LIGHT POLLUTION ATLAS. Disponível em <https://djllorenz.github.io/astronomy/lp2006/overlay/dark.html>. Acesso em 22/08/2024.

MELLO, D. R. C. Astroturismo – Viajando para ver as estrelas. **Revista de Turismo Contemporâneo**, Natal, v. 11, n. 1, p. 169-189, jan./abr. 2023.

PECQUEUR, B. O desenvolvimento territorial: Uma nova abordagem dos processos de desenvolvimento para as economias do Sul. **Raízes**, Campina Grande, v. 24, n. 01-02, p. 10-22, jan./dez. 2005.

SANTOS, E. M. DOS; POSTIGO KAMIMURA, Q.; SANTOS, A. P. dos. Astroturismo em Minas Gerais: Inovação e Sustentabilidade para o Desenvolvimento de Municípios de Pequeno Porte. In: **VII Simpósio Nacional de Pequenas Cidades (SINAPEQ)**, Universidade do Vale do Paraíba, 28 a 30 de agosto de 2024, São José dos Campos, SP. ISSN: 978-65-88226-14-8.

SERRA DA MANTIQUEIRA: Um tesouro natural brasileiro para turismo de natureza. 03 de maio 2023. Disponível em: <https://semeia.org.br/conexao-semeia/fique-por-dentro/especial-serra-mantiqueira/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SILVA, R. L.; HORTENCIO, J. V.; TAVARES, B. C.; LIMA, A. DE S.; COSTA DE CASTRO, D.; FERREIRA, H. C. H. Experiências turísticas em roteiros rurais no Brasil: panorama 2021. **Revista Brasileira de Turismo**, v. 1, n. 2, p. 24-42, 2022. ISSN 2764-5835.

VIOLIN, F. L.; HONORATO, V. B.; LIMA, A. B. R. The Night Sky as a heritage of humanity and Astrotourism as a tourist potential in the rural regions of Rosana/SP. **Applied Tourism**, v. 7, n. 2, p. 22-28, 2022.

WASSENAAR, A.; COETZEE, B. Global astrotourism initiatives and the applicability of their strengths, weaknesses, opportunities and threats to astrotourism in South African National Parks. **Journal of Outdoor Recreation and Tourism**, v. 46, p. 100766, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jort.2024.100766>.