

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Cartografía de ultra-alta resolución para monitoreo y gestión de
geossítios – Estrela Geopark**

Carmen Julia Miñano Soncco

Dissertação orientada
pelos Prof. Doutor Gonçalo Vieira e Doutor Gabriel Goyanes

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
Aplicados ao Ordenamento

2020

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Cartografía de ultra-alta resolución para monitoreo y gestión de
geossítios – Estrela Geopark**

Carmen Julia Miñano Soncco

Dissertação orientada pelos Prof. Doutor Gonçalo Vieira e Doutor Gabriel Goyanes

Júri:

Presidente: Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor Pedro Miguel Duarte Pina do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa
- Professor Doutor Ricardo Alexandre Cardoso Garcia do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.
- Professor Doutor Gonçalo Brito Guapo Teles Vieira do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

2020

Esta investigación fue apoyada por la Fundación para la Ciencia y Tecnología (FCT) en el ámbito del proyecto Avaliação de sistemas aéreos inteligentes de baixo-custo para mapeamento 3D da superfície do terreno (PTDC/EAM-REM/30475/2017) e pela Associação Geopark Estrela.

Resumen

La constitución de un geoparque representa una innovación para la protección del patrimonio geológico de un territorio, integrada a una red científica con diversas estrategias que promueven el conocimiento de las geociencias, la conservación e impulsan el desarrollo económico sostenible para su población. Este desarrollo económico envuelve, en muchos escenarios, la promoción de actividades turísticas en sus áreas de su patrimonio geológico. Esta investigación describe las potencialidades del uso de cartografía de ultra-alta resolución para la interpretación y gestión de tres geossítios del Estrela Geopark: Lagoa Seca, Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza y Covão do Boi, aplicando métodos y técnicas de detección remota en trabajos de campo con vehículos aéreos no tripulados (VANT) para la adquisición de fotografías aéreas como fuente de datos para realizar diagnósticos territoriales. Se tienen como objetivos identificar y cuantificar variaciones en los geossítios, recurriendo a fotografías aéreas históricas, ortomosaicos y modelos digitales de superficie obtenidas con VANT.

Se presenta un protocolo de vuelo seguido, antes y durante las misiones, estableciendo recomendaciones y parámetros adecuados para una misión adecuada. El trabajo de gabinete se enfocó en generar los modelos de superficie y los mapas a muy alto detalle para cada geossítio, identificando componentes naturales y antrópicos, que sirvieron como base cartográfica para la implementación del método de monitoreo y establecer las posibles transformaciones en el territorio de los geossítios a través del tiempo. Se realizaron análisis focalizados, estableciendo estadísticas de variación y cartografía descriptiva para cada geossítio.

El monitoreo de los locales facilita una conservación adecuada del patrimonio geológico y ecológico, así como una mejora en la gestión estratégica de ellas. La ejecución del monitoreo reveló alteraciones en las formaciones vegetales de los tres geossítios, unos en mayor grado que otros, pero teniendo como principal fuente de alteración las áreas de pisoteo ejecutadas por los visitantes al área natural.

Posteriormente, se utilizó la información generada, cualitativa y cuantitativa, para presentar propuestas a integrar en planes de gestión para los geossítios, proponiendo medidas y estrategias que apoyen la geoconservación del área de estudio, pero que puede ser replicado para otros geossítios del territorio del Estrela Geopark.

Palabras clave: Patrimonio geológico, geoconservación, geossítios, monitoreo, Estrela Geopark.

Abstract

The constitution of a Geopark represents an innovation for the protection of the geological heritage of a territory, integrated into a scientific network with various strategies that promote knowledge on the geosciences, conservation and promote sustainable economic development for its population. This economic development involves, in many scenarios, the promotion of tourist activities associated to geological heritage. This research describes the potentialities of the use of ultra-high resolution cartography for the management and interpretation of three geosites of the Estrela Geopark: Lagoa Seca, Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clarezza y Covão do Boi, applying remote detection methods and techniques in field work with unmanned aerial vehicles (UAV) for the acquisition of aerial photographs as a source of information to carry out territorial analysis. The objectives are to quantify and identify variations in geosites, using historical aerial photographs, orthomosaics and digital surface models obtained with VANT.

The flight protocols area described, establishing adequate recommendations and parameters for a correct mission. The office work focused on generating the surface models and maps in very high detail for each geosite, identifying natural and anthropic components, which served as the cartographic basis for the implementation of the monitoring methods and identifying the possible transformations in the territory of the geosites through time. Focused analyses were performed, establishing variation statistics and descriptive cartography for each geosite.

The ultra-high resolution surveying and monitoring of the geosites facilitates the correct application conservation measures for the geological heritage, as well as an improvement in the strategical management. The monitoring methodology revealed changes in the natural habitats of the three geosites, some to a greater degree than others, but having as main source of change the trampling by visitors. Focused analyses were performed, identifying change statistics and descriptive mapping for each geosite.

Subsequently, the qualitative and quantitative information, was used to propose guidelines for creating management plans for the geosites, by proposing measures and strategies supporting geoconservation of the geosites under study, but which can be replicated for the other geosites in the territory of the Estrela Geopark.

Key words: geological heritage, geoconservation, geosites, monitoring, Estrela Geopark

Resumo

A constituição de um geoparque representa um passo muito significativo para a protecção do património geológico, uma vez que o território passa a integrar uma rede com estratégias sólidas que promovem o conhecimento das geociências, a conservação e o desenvolvimento económico sustentável. O desenvolvimento engloba a promoção de atividades turísticas em áreas do património geológico, e muitas vezes, podem gerar alterações nas dinâmicas naturais do geoparque. Este trabalho incide sobre a análise e avaliação das potencialidades do uso da cartografia de ultra alta resolução para a interpretação e gestão de três geossítios no Estrela Geopark: Lagoa Seca, Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza e Covão do Boi, com a finalidade de identificar mudanças nos geossítios. A metodologia usada baseia-se na aplicação de métodos e técnicas de detecção remota usando veículos aéreos não tripulados (VANT) para a aquisição de fotografias aéreas, gerando a partir delas, cartografia extremamente detalhada. Os objetivos são a caracterização rigorosa dos geossítios, a identificação dos impactos antrópicos e a quantificação de mudanças no seu território.

Os primeiros dois capítulos da dissertação servem de enquadramento ao trabalho. Assim, no Capítulo 1 apresentam-se os conceitos ligados à geodiversidade, património geológico e geoconservação, que permitem enquadrar teoricamente o objeto da tese num quadro conceptual geral.

No Capítulo 2, descrevem-se as características gerais da área de estudo, utilizando uma cartografia que apresenta os limites geográficos e informação relevante acerca do Estrela Geopark e dos três geossítios em estudo.

No Capítulo 3 apresentam-se os métodos e técnicas, começando com a descrição das fases de trabalho. Descreve-se o protocolo de voo dos levantamentos aéreos com VANT nos geossítios, e os parâmetros de voo para cada geossítio, bem como as características dos modelos de VANT utilizados. Em seguida, apresenta-se o processo de preparação dos modelos digitais e o fluxo do trabalho no software PIX4D, explicando-se a técnica utilizada e o procedimento para a avaliação da qualidade dos resultados. A cartografia de ultra alta resolução e a análise dos dados respeitantes à caracterização detalhada dos geossítios, foram realizadas usando os softwares QGIS e ARCGIS.

O processo consistiu na seleção de elementos cartografáveis, estruturados numa legenda que assenta em quatro de tipos de elementos principais: geológicos, hidrográficos, bióticos e antrópicos. Nos elementos geológicos foram cartografadas as áreas com solo nu, os afloramentos graníticos, os blocos rochosos de diferentes dimensões, bem como algumas características geomorfológicas, como as pias e as

diaclasses. Nas características hidrográficas, cartografaram-se as lagoas temporárias e permanentes, e as linhas de água. Na componente biótica, cartografaram-se as principais formações vegetais, dividindo-as, principalmente, em arbustivas e herbáceas. Na componente antrópica, foram identificadas as áreas de pisoteio sobre vegetação e sobre solo nu, bem como outros elementos, como estradas, escadas, e painéis informativos. As áreas de pisoteio são de especial relevância, pois foram o elemento chave usado na fase de monitorização. Descrevem-se também os métodos utilizados na fase de interpretação dos modelos digitais, bem como o uso de mapas derivados, casos dos modelos de sombra, de declives e das nuvens densas de pontos 3D.

O Capítulo 4 respeita à apresentação dos resultados, distinguindo-se três partes principais: a avaliação da qualidade dos modelos, a elaboração e análise da cartografia de ultra alta resolução e a avaliação do potencial da cartografia gerada para a monitorização dos geossítios. Concluiu-se que para a geração das nuvens de pontos, a utilização de um mínimo de três fotografias para gerar um ponto da nuvem, foi o método que proporcionou resultados mais adequados, com uma boa cobertura do solo e sem *outliers* significativos. Os modelos digitais de superfície e ortomosaicos gerados, resultaram em resoluções espaciais de 2,7 a 3,5 cm, permitindo a realização de uma cartografia por fotointerpretação de muito alta qualidade para cada geossítio. Os mapas gerados ficarão disponíveis para a utilização por parte do Geopark Estrela, municípios e Parque Natural da Serra da Estrela. A análise destes permitiu caracterizar em grande detalhe cada um dos geossítios, em particular a cobertura vegetal e o impacte antrópico através do pisoteio. No caso do geossítio do Covão do Boi, foi realizada a classificação das colunas graníticas que caracterizam o local e que são um dos seus principais atrativos científicos e cénicos. Identificaram-se quatro tipos de colunas: incipientes, isoladas, isoladas alongadas e grupos de colunas. Produziu-se um mapa com a sua distribuição que pode depois ser usado para estudos geomorfológicos mais aprofundados.

Um dos elementos mais importantes do trabalho, também incluído no Capítulo 4, foi a análise do potencial dos mapas realizados para a monitorização dos geossítios, em particular no que respeita à avaliação do pisoteio. Usaram-se levantamentos realizados com VANT de 2014, 2015 e 2017, aos quais aplicámos a mesma legenda e metodologia desenvolvida para as imagens de 2019. Isso permitiu-nos identificar as mudanças que afetaram cada um dos geossítios. Os períodos usados foram diferentes nos vários geossítios, o que limita a sua comparação. Para facilitar a análise, geraram-se mapas de calor (*heatmaps*) que evidenciam a densidade espacial das áreas de pisoteio, permitindo identificar as áreas sujeitas a maior impacte. Os três geossítios tiveram um aumento das áreas de pisoteio no período estudado. Entre 2015 e 2019, o geossítio das Salgadeiras mostrou um aumento de 13% do pisoteio sobre vegetação e de 5% sobre solo nu. O geossítio de Covão do Boi entre 2017 e 2019 sofreu um aumento de 6% em áreas de pisoteio sobre vegetação. Finalmente, no geossítio da Lagoa Seca, entre 2014 e 2019,

registou-se um aumento de 4% no pisoteio sobre vegetação, e uma diminuição de 10% sobre solo nu. A nível metodológico importa ressaltar que nem todos os levantamentos foram realizados na mesma época do ano, o que pode implicar diferenças no momento de desenvolvimento fenológico da vegetação, o que pode ter repercussões nos resultados encontrados. Este, juntamente com a utilização de câmeras com características semelhantes, são aspetos que devem ser considerados em estudos de monitorização futuros.

Finalmente, no capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões, bem como propostas de elementos a considerar nos planos de gestão para os geossítios

os estudados. Apresenta-se o quadro normativo para as medidas de conservação no Estrela Geopark e salienta-se que os planos de gestão devem ser criados após uma caracterização detalhada do geossítio, de modo a considerar as especificidades das suas vulnerabilidades. Após esta fase de diagnóstico, devem ser realizados estudos multidisciplinares para identificar as medidas de conservação mais adequadas. São exemplos importantes, a realização de estudos de capacidade de carga turística, a instalação de sensores de movimento em áreas estratégicas, a implementação de práticas de monitorização periódicas ou a análise da possibilidade de instalação de percursos bem identificados e delimitados nos geossítios.

No contexto atual, os problemas associados à conservação e à valorização da paisagem geográfica estão muito presentes, procurando-se metodologias com o objetivo de serem utilizadas em diversos processos de inventariação, interpretação, conservação e proteção dos locais de interesse geológico. A cartografia de ultra alta resolução obtida através dos VANT, oferece informação eficaz e precisa, convertendo esta técnica num instrumento importante no planeamento, ordenamento e gestão dos espaços naturais e seminaturais. Este trabalho ilustra o papel fundamental da análise territorial para o processo de gestão, permitindo a caracterização cartográfica das diferentes componentes que interveem nas dinâmicas naturais dos geossítios, bem como a identificação de ritmos de mudança na paisagem, em particular através de atividades antrópicas de difícil quantificação.

Os geoparques podem ser oportunidades para a sustentabilidade cultural e para o desenvolvimento de territórios rurais, contribuindo para diminuir as taxas de desemprego e migração mediante atividades potenciadas pela existência de um território com o selo Geopark UNESCO. Este trabalho é um contributo para a criação de instrumentos que apoiem com a prossecução dos objetivos definidos pelo geoparque, e que possa servir como informação para estudos científicos e de gestão no futuro do território da Serra da Estrela.

Índice

Resumen	2
Abstract	3
Resumo	4
Índice	7
Agradecimientos	10
Introducción.....	12
Capítulo 1.....	15
Geodiversidad, patrimonio geológico y geoconservación	15
1.1. El concepto de geodiversidad	17
1.2. Concepto de patrimonio geológico	18
1.3. Geoconservación	20
1.3.1. Concepto.....	20
1.3.2. Ámbitos de valorización de la geodiversidad	21
1.3.3. Amenazas a la geodiversidad	24
1.3.4. Importancia de la visión de geoconservación.....	24
1.3.5. Iniciativas de geoconservación	26
1.4. Características e importancia del monitoreo del patrimonio geológico	27
Capítulo 2.....	29
Cuadro físico del área de estudio	29
2.1. Introducción	31
2.2. Geología y morfoestructura	34
2.3. Geomorfología.....	35
2.4. Clima	39
2.5. Vegetación	41
2.6. Geossítios estudiados	42
2.6.1. Introducción.....	42
2.6.2. Geossítio de Covão do Boi.....	43
2.6.3. Geossítio de Moreias da Lagoa Seca	46
2.6.4. Geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza	47

Capítulo 3.....	49
Métodos y técnicas.....	49
3.1. Introducción	51
3.2. Adquisición de datos del año 2019	53
3.3. Preparación de los modelos	56
3.4. Análisis de los datos	58
3.5. Base de datos	64
3.6. Evaluación del potencial de los ortomosaicos para monitoreo	64
Capítulo 4.....	67
Cartografía de ultra-alta resolución: resultados y aplicaciones	67
4.1. Introducción	69
4.2. Evaluación de la calidad de los modelos	69
4.2.1. Nube de puntos georreferenciados	69
4.2.2. Modelo digital de superficie (DSM).....	73
4.2.3. Ortomosaicos	75
4.3. Análisis de la cartografía de alta resolución.....	79
4.3.1. Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza	79
4.3.2. Moreias da Lagoa Seca	83
4.3.3. Covão do Boi.....	88
4.3.4. Categorización de columnas graníticas	92
4.4. Análisis del potencial de los mapas y modelos 3D para el monitoreo de dinámicas naturales y del impacto antrópico	96
4.4.1. Introducción	96
4.4.2. Cambios en el geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza	96
4.4.3. Cambios en el geossítio de Lagoa Seca	101
4.4.4. Cambios en el geossítio de Covão do Boi.....	105
4.4.5. Alcances del empleo de la metodología para el monitoreo	107
Capítulo 5.....	111
Aportes para un plan de gestión enfocado en la geoconservación	111
5.1. Alcances e ideas	113
5.2. Objetivos de un plan de gestión de geossítios.....	114
5.3. Sustento normativo.....	115
5.4. Diagnóstico de los impactos sobre los geossítios estudiados.....	117

5.4.1.	Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza	117
5.4.2.	Moreias da Lagoa Seca	117
5.4.3.	Covão do Boi.....	118
5.5.	Medidas y acciones propuestas	120
Capítulo 6.....	123
Conclusiones finales	123
Bibliografía.....	127

Agradecimientos

La geografía siempre me ha impulsado realizar planteamientos integradores del territorio, a tener una visión holística, involucrando a todos los actores que intervienen en la dirección del ordenamiento territorial, aportando en la resolución de problemas y en las relaciones entre las sociedades, la naturaleza y la tecnología. He tenido como meta personal planearme retos profesionales que desarrollen mis conocimientos académicos en el campo de mi especialización y estudiar la maestría en SIG y modelamiento territorial aplicados al ordenamiento, constituyó un gran desafío personal, no solo por los retos académicos, también el traslado a un nuevo país y a una nueva cultura. Sin embargo, estoy convencida de que los temores valieron la pena, por todos los conocimientos que reuní con las disciplinas de la maestría, herramientas de sistemas de información geográfica con metodologías de ordenamiento del territorio en base a experiencias de los profesores, que fue invaluable.

Es en este punto que agradezco de manera incalculable el apoyo del Prof. Doctor Gonçalo Vieira, por su apoyo y confianza para este proyecto, por transmitirme sus experiencias en el campo, sus conocimientos y enseñanzas de estudio de Serra da Estrela, por su disposición abierta a conversaciones y debates ; pero, sobre todo por impulsarme desde el primer día de clases, a tener una ambición de conocimientos, a no conformarme con lo accesible, y a desarrollar una visión científica y continuar en el campo de la investigación. Mis respetos profesor, su calidad profesional y personal resaltan en usted.

Al Dr. Gabriel Goyanes por trasmitirme sus enseñanzas en los trabajos de campo con los VANT en Serra da Estrela, por su apertura al diálogo y a la resolución de dudas, su asesoría en la recolección de datos, y en las posteriores consultas para el procesamiento de la información.

A todo el equipo técnico del Estrela Geopark por la amabilidad, el apoyo y disponibilidad de información constante a lo largo de todo el desarrollo de la tesis. En particular, al Dr. Emanuel de Castro, coordinador ejecutivo del Geopark por brindarme asesoría y soporte desde el inicio de la investigación, facilitando los trabajos de campo en Serra da Estrela, el tiempo de prácticas en las instalaciones del Geopark y las asistencias a diferentes conferencias relacionadas con la investigación. A los profesionales Hugo Gomes, Fábio Loureiro y Filipe Patrocínio por su contribución durante las misiones de vuelo, y a los demás miembros del equipo, mi agradecimiento por sus gentilezas y atenciones.

A los profesores del Instituto de Geografía y Ordenamiento del Territorial (IGOT) por sus contribuciones y enseñanzas a lo largo del desarrollo de la investigación, en especial al Prof. Doctor Jorge Rocha, por sus continuas recomendaciones en la generación de cartografía y sus comentarios acertados durante los trabajos de laboratorio SIG.

Me gustaría agradecer también a varios compañeros que contribuyeron con sus comentarios y recomendaciones bibliográficas para fortalecer la investigación: Pedro Freitas, Marcelo Fernandes, Joana Baptista, Jose Maria Fernandez y Silvia Picone.

A João Ribeiro por su confianza y apoyo. A Benny por su fortaleza, empatía y soporte durante los momentos más duros en Lisboa. A Madalena y a Gabriela por su cariño y amistad sincera, por compartir momentos complicados.

A mi familia gracias infinitas, a mis hermanos Yesenia y Kevin, gracias por brindarme su apoyo incondicional durante estos dos años y por demostrarme que somos los tres juntos por siempre. A mi Lua hermosa, por sus sonrisas, llamadas y mensajes, por sus “te quiero hasta la luna, tía” y “te extraño mucho”, gracias por ser esa lucecita de alegría. A mi papá, por ser mi fuente de amor y fortaleza, por creer siempre en mis habilidades. A mi madre, por ser mi ejemplo, mi modelo a seguir, por ser el tipo de mujer luchadora e inalcanzable, gracias madrecita por tu apoyo y amor incondicional desde siempre. Los quiero demasiado!

Introducción

El Estrela UNESCO Global Geopark integra en su territorio un patrimonio geológico notable, con características geomorfológicas que son la base de su reconocimiento internacional. Representa un espacio natural con una diversa geología, expuesta a intensos factores de cambios, tanto naturales como antrópicos, que pueden generar impactos en los componentes naturales del Geopark. En la visión de valorizar y conservar el patrimonio geológico, es que surge la motivación de crear una cartografía a detalle, que describa las características geológicas, geomorfológicas, biológicas e infraestructuras de los locales que encierren mayor interés geológico (geossítios), y utilizarla como base para la interpretación, cuantificación y análisis de dinámicas naturales y antrópicas que los alteren. El uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) para la generación de cartografía, presenta varias ventajas como la obtención de información de elevada precisión, acceso a áreas complejas, reducción de presupuesto y tiempo en trabajos de campo. La cartografía a un nivel de detalle alto, representa una herramienta de apoyo para la gestión de espacios naturales protegidos, donde el diagnóstico del territorio constituye una ventaja en los procesos de planificación y gestión estratégicas de conservación.

La gestión del patrimonio geológico del Estrela Geopark, representados en este estudio por tres geossítios determinados, requiere instrumentos y directrices que contribuyan con su estrategia de conservación. El desarrollo del trabajo tiene como propósito utilizar los beneficios que ofrecen las tecnologías SIG, para realizar un diagnóstico territorial de los geossítios, interpretar y cuantificar las dinámicas de cambios y establecer medidas que contribuyan a la generación de un plan de gestión estratégico aplicable a estos y a otros geossítios.

La estructura de la tesis se desarrolla en cinco capítulos, señalando los conceptos empleados, descripción del área de estudio, metodologías y técnicas utilizadas, y los resultados obtenidos en la investigación. El primer capítulo especifica las definiciones principales que se utilizaron durante el progreso de la investigación, revisando bibliografías relevantes, artículos y prácticas en ámbitos similares, y legislación alineada con el territorio de Serra da Estrela. Se describen los conceptos ligados a la geodiversidad, patrimonio geológico, geoconservación y estrategias de desarrollo de los geoparques en ámbitos portugueses y europeo.

El segundo capítulo señala las características del área de estudio, donde de manera general se describen los aspectos geomorfológicos y climáticos que representa el territorio de Serra da Estrela, y de manera particular, las características que encierran los geossítios escogidos para el estudio, detallando su nivel de relevancia dentro del Estrela Geopark, así como también sus componentes naturales y antrópicos. En el tercer capítulo se desenvuelve el componente metodológico de la investigación, detallando los

métodos y técnicas utilizadas en el estudio. Se presenta el esquema de trabajo continuo seguido, detallando las diferentes tareas ejecutadas a lo largo de la investigación. En primer paso se describe el proceso de adquisición de datos, las técnicas y equipamientos utilizados, así como el diseño de un protocolo de vuelo establecido en los trabajos de campo. Se especifican también las técnicas utilizadas para el procesamiento de los datos obtenidos, como para la generación de modelos de superficie, la creación de la base de datos SIG y la cartografía a detalle final.

El cuarto capítulo presenta los resultados alcanzados en la investigación, comenzando con la generación de modelos de superficie y una descripción de los resultados arrojados por el método propuesto en esta tesis, para la optimización en la generación de la nube de puntos densificada. Se detallan las cualidades de los modelos de superficie, así como las características de resolución de los ortomosaicos. El análisis de la cartografía de alta resolución, se enfoca en la descripción de los componentes identificados, diferenciación en las características individuales de los geosítios y en la cuantificación de los componentes que puedan alterar el desarrollo de los espacios naturales del Geopark. Se muestra también la información obtenida de la fase de monitoreo, información cualitativa y cuantitativa, que será útil para la fase de análisis del plan de gestión propuesto.

Finalmente, el quinto capítulo presenta las conclusiones alcanzadas, describiendo el aporte del uso de cartografía para interpretar el territorio de los tres geosítios, y utilizando los datos para plantear un plan de gestión enfocado en la geoconservación que pueda ser replicado en toda el área del Estrela Geopark.

En el marco del desarrollo sostenible y conservación del patrimonio natural, esta tesis pretende brindar prácticas y herramientas, sostenidas en equipos tecnológicos SIG, que contribuyan una gestión de espacios naturales sostenibles a través del tiempo.

Capítulo 1

Geodiversidad, patrimonio geológico y geoconservación

1.1. El concepto de geodiversidad

Es muy común encontrar el término “biodiversidad” en diferentes estudios relacionados a los ámbitos de cambio climático, la conservación y protección biológica o desarrollo sostenible, donde el concepto se encuentra muy bien asimilado, por lo que se tiende a relacionar de manera rápida con las características bióticas del territorio (Gray, 2004). Distinto es el escenario del término “geodiversidad”, concepto relativamente nuevo en el ámbito científico, pero que, sin embargo, la base del concepto ya ostentaba un espacio reconocido, legitimando la importancia de las características abióticas del territorio, estudios sobre la geología, las formas del relieve y sus diferentes procesos, demostrando su relevancia en los procesos naturales del planeta, y estableciendo la necesidad de constituir un término que comprenda todas esas particularidades del paisaje.

La geodiversidad se convirtió en un tema de mucho interés internacional en las últimas décadas, particularmente con la visión de las disciplinas de las geociencias. El origen del término surge de la necesidad de un concepto integrado que definiese la diversidad geológica y geomorfológica, es decir, las características abióticas del territorio. Fue, así, introducido en la década de 1990 en el sentido de establecer una analogía con el concepto biodiversidad (Sharples, 1995).

Varias iniciativas para prevenir el deterioro de los paisajes geomorfológicos o proteger la diversidad geológica datan del siglo XIX, con creaciones de parques naturales y áreas de conservación, apoyadas en el valor geológico o paisajístico (Gray, 2004). Con todo, el concepto geodiversidad solo comienza a ser usado en la década de 1990, por geólogos y geomorfólogos, como tentativas que buscaban describir las características abióticas del territorio. En el año 2000, Johansson define la geodiversidad como un sistema complejo que incluye el substrato rocoso, los depósitos no consolidados, las formas de relieve y los procesos que originan el paisaje. La geodiversidad puede ser entonces, la descripción de la diversidad geológica y los fenómenos geomorfológicos en un área limitada (Johansson, 2000).

Un enfoque para la evaluación de la geodiversidad debe basarse en una integración de la diversidad de formas, contextos e dominios geológicos y geomorfológicos existentes en un territorio (Gray, 2004), donde el sistema de evaluación debe contener un conjunto de especialistas que relacionen y describan los marcos de referencia geológicos que puedan ser un soporte en la caracterización del territorio.

1.2. Concepto de patrimonio geológico

En el escenario de una nueva corriente de desarrollo sostenible y una necesidad de definir cuáles son aquellos componentes naturales que precisan políticas de conservación, es que surge el concepto de “patrimonio geológico” o “geopatrimonio”, en el sentido de valorizar e proteger los recursos geológicos de un territorio.

En 1972, la UNESCO, en la convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, define Patrimonio Natural como todos aquellos monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas con un valor excepcional desde el punto de vista estético o científico. Esta convención destaca también, que las formaciones geológicas e fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyen un hábitat para especies animales y vegetales amenazadas, forman igualmente parte del patrimonio natural.

Para el año 2001, la UNESCO expone en su declaración universal sobre la diversidad cultural, que el patrimonio deberá ser preservado, valorizado y transmitido a las generaciones futuras, en cuanto pueda testimoniar la experiencia y aspiraciones humanas, fortaleciendo así la importancia de conservar el patrimonio a nivel mundial. Es así, que es posible dividir el patrimonio en patrimonio natural y cultural, adquiriendo ambas categorías, el mismo grado de importancia (Fig. 1.1.).

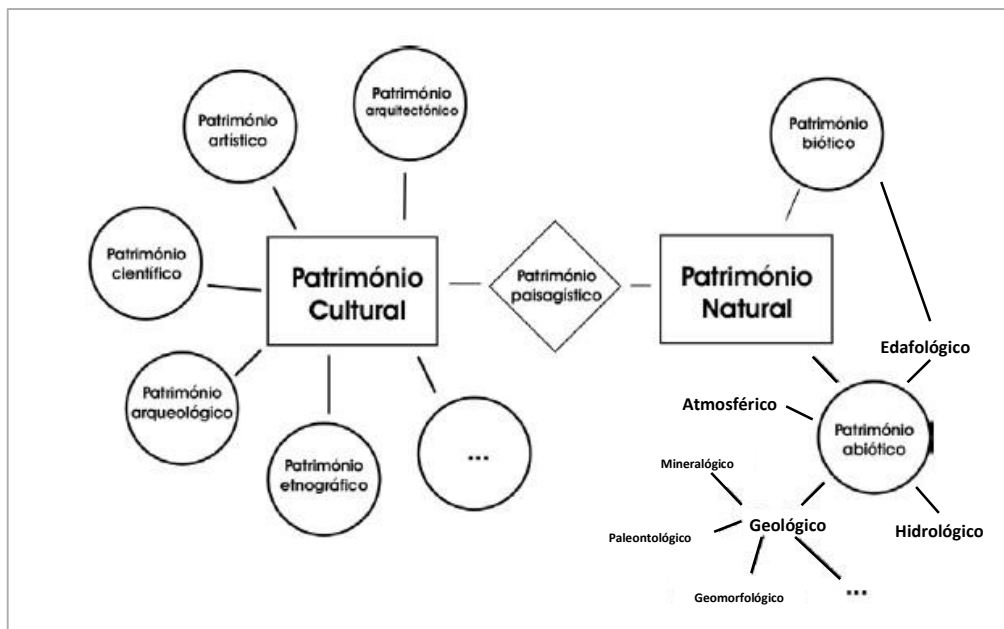


Figura 1.1. Cuadro descriptivo de patrimonio cultural y patrimonio natural (adaptación de Pereira, et al., 2004).

Por tanto, el patrimonio natural es aquello que no fue construido por el hombre, y que cumple un papel de soporte de todas las formas de vida en la Tierra, convirtiendo al patrimonio natural en el patrimonio con mayor interés para las sociedades humanas (Martini, 1994, Pereira et al., 2004). El patrimonio natural se puede dividir en dos tipos: biótico y abiótico, fundamentos para el análisis de esta investigación.

Dentro del estudio del patrimonio natural es preciso indicar un vacío de información, donde hablar de patrimonio natural equivale a describir solo los componentes vivos de la Tierra, olvidando el papel preponderante del aspecto abiótico del patrimonio natural. Estudios de Teixeira (1982), Telles Antunes (1989) y de Rebelo et al. (1990), ya exponían los principios básicos que justificaban la necesidad de conservar el patrimonio geológico, a través de la promoción del conocimiento científico, e indicando el aprovechamiento de las características geológicas de un territorio para fines turísticos y destacando la importancia del conocimiento de los aspectos geológicos para una mejor comprensión del paisaje natural.

Situándonos en el enfoque de patrimonio natural, son diversos los valores fundamentales que encierra este patrimonio, pero donde se destaca el aspecto geológico del territorio. El concepto de “patrimonio geológico o “geopatrimonio” se define a aquellos componentes de la geodiversidad que sean importantes para la humanidad, por otras razones que no sea la extracción de recursos (Sharples, 2002). Cada uno de esos componentes son denominados como locales de interés geológico o “geossítios” (Brilha, 2005), locales donde se desenvuelvan uno o más elementos de la geodiversidad, en áreas delimitadas geográficamente y que presente un valor singular desde el punto de vista científico, pedagógico, histórico, cultural, turístico o estético (Pereira et al., 2004). Se percibe así, que el geopatrimonio consiste en un conjunto de geossítios de un determinado territorio (país, estado, municipio o unidad de conservación), es decir, de aquellos sitios que mejor representan la geodiversidad de una región.

La interpretación del patrimonio geológico es un proceso que exige ponderación, donde la interpretación de su valor orienta la comunicación hacia diferentes públicos (Pacheco & Brilha, 2014). La existencia de un inventariado constituye una herramienta para mejorar la organización del conocimiento sobre el patrimonio geológico de un territorio, bien como un medio fundamental para efectuar un correcto abordaje junto a las instituciones o figuras legales de clasificación y protección. Para alcanzar un escenario de valorización del patrimonio geológico, es esencial realizar una adecuada interpretación geológica, presentando los resultados con una estructura clara y concisa, teniendo como objetivo el entendimiento de su relevancia por parte de las poblaciones, de forma que así reconozcan los beneficios de la protección del

patrimonio geológico (Pacheco & Brilha, 2014). La interpretación no solo debe incluir información sobre el lugar de interés, sino también, debe estimular sentimientos de estima y protección, persiguiendo un camino de comprensión, valoración y finalmente, llegar a la protección (Brilha, 2015).

En 2006, Pereira propone un método de inventariado del patrimonio geomorfológico portugués, considerando nueve categorías a repasar (Fig. 1.2.), caracterizando la diversidad litológica y tectónica, y dividiendo la riqueza geomorfológica en geo-formas graníticas, glaciares, peri-glaciares, litorales, fluviales, residuales, tectónicas, volcánicas y kársticas.



Figura 1.2. Categorías temáticas del patrimonio geomorfológico portugués (Pereira, 2006).

1.3. Geoconservación

1.3.1. Concepto

Reconociendo la importancia del patrimonio geológico y el papel que cumple en la diversidad natural de la Tierra, diferentes estudios consideran oportuna la elaboración de directrices y estrategias, creadas con el objetivo de proteger y conservar los recursos abióticos naturales de las amenazas a las cuales se encuentran expuestos. Actividades como la exploración de recursos minerales, deforestación, actividades agrícolas, entre otras, ejercen diversos grados de impacto sobre la geodiversidad. En este marco, la geoconservación puede ser definida como toda acción de conservación de la geodiversidad, por sus valor patrimonial, ecológico e intrínseco (Sharples, 2002). Presenta un enfoque para el manejo de la conservación de rocas, formas del relieve y suelo, reconociendo que la geodiversidad tiene valores esenciales para la conservación de la naturaleza.

En 2010, Brilha & Galopim de Carvalho precisan que la geoconservación comprende aspectos teóricos e aplicados, relacionados con la identificación,

evaluación, conservación y gestión de los elementos de la geodiversidad de excepcional valor. Cuando a un determinado elemento del patrimonio geológico se le atribuye un valor y, paralelamente, se identifican amenazas, se puede justificar la necesidad de implementar medidas que protejan su conservación, de forma que permita mantener el legado para las generaciones futuras (Brilha & Galopim de Carvalho, 2010).

Las estrategias de geoconservación consisten en la concretización de una metodología de trabajo, que busca sistematizar tareas en el ámbito de la conservación del patrimonio geológico de un área determinada y que poseen dos objetivos principales (Sharples, 2002):

I. Mantener la geodiversidad

Las estrategias de geoconservación tienen como objetivo conservar ejemplos representativos de la diversidad geológica, como por ejemplo la roca madre, formas de relieve y características del suelo. Este objetivo procura mantener la riqueza del patrimonio geológico, porque la geodiversidad sustenta la integridad de procesos ecológicos más amplios; y que, en la práctica, se aborda mediante el desarrollo de inventarios de todos los componentes importantes de la geodiversidad que deben gestionarse para su protección.

II. Mantenimiento de tasas naturales y magnitudes de cambio

Este objetivo tiene como prioridad mantener los procesos geológicos, geomorfológicos y pedológicos en funcionamiento, permitiéndoles cambiar y evolucionar, dentro de los límites naturales, tanto por el valor intrínseco de los propios procesos geológicos, pero también para mantener un equilibrio natural en los procesos ecológicos que de ellos dependen. No tiene como objetivo preservar la diversidad geológica como un “museo natural estático”, pero si, mantener la capacidad de los sistemas naturales de evolucionar de forma natural, y desenvolverse a su propio ritmo. Particularmente, esta investigación aborda modelamiento 3D de los geosítios, con la finalidad de preservar la memoria del estado del paisaje para uso de futuras generaciones.

1.3.2. Ámbitos de valorización de la geodiversidad

En el escenario de protección de los recursos geológicos, se presenta la interrogante sobre el tipo de valor atribuido al geopatrimonio, donde el acto de proteger un componente geológico se justifica porque se le atribuye algún tipo de valor en particular. En este proceso de valoración, el análisis se origina desde muchos ámbitos e intereses, generando múltiples valores que precisan de

algunas medidas de prevención y/o protección; o identificando recursos geológicos con diferentes niveles de sensibilidad frente a los procesos naturales y actividades humanas. En 2004, Gray diferencia la importancia de identificar el valor propio del recurso geológico, o sea, el valor intrínseco del patrimonio por su origen, con la valoración de las cualidades de la diversidad del recurso geológico. Sharples (2002) establece tres grandes grupos de valores: el valor intrínseco del recurso, el valor ecológico y el valor centrado en el ser humano. En 2005, Brilha presento una clasificación más detallada, con un aumento de categorías de valoración de la geodiversidad, partiendo del análisis del territorio portugués y considerando la perspectiva de la valoración del patrimonio teniendo como objetivo el beneficio del hombre (Brilha, 2005):

a. Valor intrínseco

De todos los valores atribuidos al patrimonio geológico, probablemente el valor intrínseco es el valor más subjetivo, presentando dificultades al momento de intentar cuantificar su valor. El concepto de valor intrínseco significa que la simple existencia de ese elemento ya presenta un valor por sí mismo, en lugar de tener algún propósito o fin que otro componente le pueda atribuir. En un análisis final, cuando una característica geológica o forma de relieve presente un valor intrínseco que se deba conservar, será porque sea un ejemplo de su tipo, independientemente de si los seres humanos realmente lo estudian científicamente o solo lo admiran.

b. Valor cultural

El valor cultural del patrimonio geológico se confiere cuando se reconoce una fuerte interdependencia entre el desenvolvimiento social, cultural y/o religioso con el medio físico que lo envuelve. También se revela cuando un determinado aspecto geológico es explicado por la población en base de argumentos transcendentales. Es preciso señalar así, que el valor cultural del geopatrimonio es definido desde la perspectiva humana, considerando como valor cultural el uso de un fenómeno geológico particular y que sea único en una región.

c. Valor estético

El valor estético puede ser el valor más tangible de todos, pero comparte la dificultad en su cuantificación con la valoración intrínseca, por su alta subjetividad. Podemos estar de acuerdo con la valoración estética de un paisaje natural, sin embargo, determinar el grado de belleza de un paisaje puede ser más complejo. El impacto visual que generan los paisajes naturales en las personas es indiscutible, y, en muchos escenarios, se encuentra asociado con los aspectos geológicos del territorio. Actividades de placer como caminatas, montañismo, observación de paisajes, entre

otras actividades, vienen demostrando el alto valor estético que el patrimonio geológico representa.

d. Valor económico

A través de los años, la dependencia de los seres humanos con los materiales geológicos se ha tornado natural; las rocas, minerales o fósiles han presentado constantemente un valor económico asociado. La dependencia humana de la geodiversidad puede ocurrir en diferentes áreas, siendo el ámbito energético un ejemplo, en particular por las actividades de exploración de los recursos esenciales para la generación de combustibles. La geodiversidad también adquiere un valor económico por el uso de minerales metálicos y no metálicos como parte del proceso de generación de bienes. No debemos olvidar también la necesidad de materiales geológicos como la arena, granito, arcillas, etc., en el proceso de construcción de obras públicas y privadas.

e. Valor funcional

El valor funcional del geopatrimonio puede ser analizado a través de dos perspectivas: su valor *in situ*, de carácter utilitario para el hombre; y su valor funcional propiamente dicho, es decir, el substrato como sustento de los sistemas físicos y ecológicos en la superficie terrestre. El valor *in situ* se define como la valoración del geopatrimonio en su lugar de origen, sin ninguna exploración, diferenciado de la valoración económica; actividades como la agricultura o almacenamiento de sustancias como el carbono, donde el papel del recurso se desenvuelve de manera natural. El valor relativo a los sistemas físicos y geológicos se refiere a las condiciones definidas por el patrimonio geológico para el desenvolvimiento de ciertas especies (Alves et al., 2004., Brilha, 2005).

f. Valor científico y pedagógico

El valor científico y pedagógico del patrimonio geológico es indiscutible, representado una fuente de información para investigaciones científicas fundamentales y aplicadas. La investigación científica fundamental apoya a conocer e interpretar la geodiversidad y a reconstruir la historia de la Tierra. La investigación aplicada contribuye para mejorar la relación de la especie humana con la geodiversidad, intentando identificar áreas libres de potenciales riesgos como actividades volcánicas o sísmicas. El valor pedagógico se concentra en actividades educativas formales y no formales, con el objetivo de transmitir el alto valor del patrimonio geológico.

1.3.3. Amenazas a la geodiversidad

Es posible pensar que solo la diversidad biológica precisa de iniciativas de conservación, por sus características frágiles y sensibles; en cuanto los recursos abióticos, generalmente descritos como componentes resistentes y estables, no son receptoras del mismo interés y preocupación (Gray, 2004). El ámbito de la geoconservación no solo implica proteger los componentes estáticos del paisaje, también incluye el compromiso de permitir el continuo desarrollo de procesos dinámicos que existen dentro del ámbito de la diversidad geológica del planeta. Las amenazas a la geodiversidad pueden originarse desde diferentes aéreas, generando impactos de diversas escalas, desde la degradación de un paisaje natural, hasta la destrucción del recurso geológico. Las amenazas a la geodiversidad no solo pueden afectar el recurso en sí mismo, también puede derivar impactos directos o indirectos a recursos bióticos presentes en sus áreas circundantes, exponiendo así sus diversas fuentes de vida.

Existe un gran número de amenazas a la geodiversidad ocasionadas por la actividad humana, pero también muchas de ellas son propiciadas por procesos naturales del planeta, como por ejemplo la erosión fluvial costera o por procesos de alteración como los depósitos fósiles. En 2004, Gray enumera diferentes actividades humanas que pueden ejercer impactos negativos en la geodiversidad como la extracción minera, actividades de ocupación de nuevas tierras y expansión urbana, restauración de rellenos y canteras, gestión de cuencas, cambio climático, recreación y turismo, sobretodo la falta de información.

1.3.4. Importancia de la visión de geoconservación

Reconociendo el gran número de amenazas a las que se encuentra expuesta la diversidad geológica, se hace necesaria la implementación de estrategias de geoconservación. Estas, deben poseer una base científica, con criterios principalmente geológicos, que presenten un encuadramiento con las políticas de conservación de la naturaleza y de ordenamiento territorial (Fig. 1.3.).



Figura 1.3. Criterios científicos de una estrategia de geoconservación (Brilha & Galopim, 2006).

Una estrategia de geoconservación tiene como objetivo concretizar una metodología de trabajo que sistematice tareas en el ámbito de la conservación del patrimonio geológico, tareas que deben ser asociadas de manera secuencial. En 2005, Brilha establece 7 etapas para la implementación de estrategias de geoconservación.

a. Inventariado

Una estrategia inicia con el inventariado de locales de mayor interés geológico (geossítios). La recolección de información debe ser efectuada de manera sistémica, alrededor de toda el área de estudio. Este método no precisa inventariar todos los componentes geológicos existentes en el territorio, solo aquellos que presenten características de excepción y de mayor relevancia.

b. Cuantificación

Posteriormente a inventariar los geossítios, se procede a ponderar su valor, y se realiza bajo tres criterios: por sus características intrínsecas, por su valor de uso potencial y la necesidad de protección. El valor intrínseco se evalúa por su nivel de particularidad, por su estado de conservación o por su utilidad como modelo de representación de procesos geológicos. El uso potencial se basa en posibilidades de elaboración, es decir, su capacidad de ser utilizada como fuente de investigación científica, pedagógica, turística y recreativa. Finalmente, se evalúa las amenazas, actuales o potenciales, a las que se encuentran expuestas y su grado de fragilidad.

c. Clasificación

La clasificación del patrimonio geológico se encuentra sujeta a un contexto legal, donde va a depender del área en evaluación y de las normativas de redes de protección nacional, regional o local. Una clasificación técnica del patrimonio geológico tiene que ser previamente aprobada por el ente administrativo responsable.

d. Conservación

Toda estrategia debe contener una evaluación del grado de vulnerabilidad a la degradación o pérdida de cada geossítio. De esta forma, se pretende identificar aquellos geossítios que posean mayor riesgo a fin de establecer estrategias futuras. El objetivo principal de la etapa de conservación, es mantener la integridad física de los geossítios, asegurando, al mismo tiempo, la accesibilidad al público.

e. Valoración y difusión

El proceso de valoración comprende acciones de difusión que ayude al público a reconocer el valor que encierran los geosítios, realizando una difusión diferenciada, es decir, entre el público general, especializada, escolar, entre otros. independientemente de su relevancia o el ámbito donde se desarrollen, los geosítios que presenten una baja vulnerabilidad de degradación, son aquellos que mejores condiciones poseen para ser objeto de estrategias de valoración y difusión.

f. Monitoreo

De manera individual, todos los geosítios deben contener estrategias de cuantificación de pérdida de su relevancia a lo largo del tiempo. Todas las estrategias diseñadas deben comprender una etapa de monitoreo anual de los geosítios, con el objetivo de apoyar a definir acciones concretas para el mantenimiento de la relevancia de los geosítios.

1.3.5. Iniciativas de geoconservación

En 1997, en la 29ª Conferencia general de la UNESCO se aprobó adoptar las medidas “para promover una red mundial de geosítios que presenten características geológicas especiales”. Consecutivamente, en 1999, La División de Ciencias de la Tierra de la UNESCO, presenta la propuesta del “Programa de Geoparques de la UNESCO”, iniciativa para promover una red global de Geoparques que proteja y desarrolle áreas seleccionadas con características geológicas significativas (Henriques and Brilha, 2017).

En el año 2000, se crea La Red Europea de Geoparques (REG), con cuatro países miembros fundadores: Francia, Grecia, Alemania y España. La REG fue creada con el objetivo de estimular el intercambio de experiencias entre países, aprovechando los instrumentos financieros disponibles por la Unión Europea. Se define a los Geoparques como laboratorios para el desarrollo sostenible, integrando el reconocimiento y la gestión del patrimonio geológico con la sostenibilidad de las comunidades locales que la habitan (Brilha, 2005). En 2015 se reconoce la importancia de la gestión del paisaje y sitios geológicos con la creación de Geoparques Globales de la UNESCO, teniendo como finalidad establecer una red global de intercambio y cooperación.

Creación de Geoparques Globales de la UNESCO

La UNESCO define un Geoparque como un área geográfica unificada y única, donde locales y paisajes de importancia geológica internacional son administradas con un concepto holístico de protección, educación y desarrollo sostenible. Un Geoparque utiliza su patrimonio geológico, en conexión con todos los otros aspectos del patrimonio natural y cultural, para incrementar la concientización y la comprensión de los principales problemas que la sociedad

enfrenta. El desarrollo del Geoparque envuelve en un trabajo integrado a todos los actores del territorio, autoridades, población, organizaciones locales, empresas, entre otros entes, con el objetivo de obtener un desarrollo sostenible para toda la comunidad. Las áreas de interés de un Geoparque Global se enfocan en los recursos naturales, planes de desarrollo sostenible para su territorio, registros ocasionados por el cambio climático, aspectos educativos, visión científica, estrategias geoconservación y prácticas culturales.

Los Geoparques Globales de la UNESCO también contribuyen con prácticas para alcanzar las metas trazadas en la Agenda 2030, compuesta por 17 objetivos para el desarrollo sostenible. Los Geoparques apoyan en 8 objetivos: erradicación de la pobreza, educación de calidad, igualdad de género, trabajo digno y crecimiento económico, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo sostenible, acciones climáticas y cooperación para la implementación de objetivos.

1.4. Características e importancia del monitoreo del patrimonio geológico

El análisis y gestión de cualquier zona de estudio, precisa de un conocimiento previo de sus características particulares, identificando diversos sistemas naturales y dinámicas adyacentes que se desenvuelvan en su territorio, creando así un registro de información que pueda ser útil para seguimientos a lo largo del tiempo. Un proceso de monitoreo debe contribuir a definir acciones de sustento de la relevancia del geosítio, realizando nuevas evaluaciones de su grado de vulnerabilidad (Brilha, 2005). Las tareas de monitoreo se traducen, principalmente, en la recolección de datos de tipo cartográfico, estadístico e imágenes digitales, y pueden ser instrumentos de acompañamiento, y no estudios aislados. De esta manera se logra detectar posibles cambios en el tiempo y determinar factores que afectan la dinámica natural y antrópica del geosítio. Las prácticas de monitoreo comprenden mediciones regulares de parámetros críticos en un local de interés específico, con el objetivo de determinar la integridad del recurso o identificar el grado de afectación ante un evento particular, también se registra su nivel de conservación o restauración (Sharples, 2002).

Métodos y técnicas de monitoreo

En el desarrollo del proceso de monitoreo son necesarias implementar determinadas técnicas y metodologías, muchas de ellas relacionadas con equipamientos que optimicen las operaciones de obtención de muestras. La adquisición de datos es un elemento esencial del proceso, procurando obtener información acorde con la realidad. En el caso de datos cartográficos, es importante obtener datos de calidad que permitan identificar procesos y dinámicas que contribuyan con los objetivos del estudio. En 2015, Gonçalves &

Henriques describieron algunas técnicas de adquisición de datos geográficos para una administración eficiente del territorio, que colaboran con la detección y cuantificación de cambios geomorfológicos:

- a. **DetECCIÓN REMOTA A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS** obtenidas a través de vehículos aéreos no tripulados (VANT), de satélites o LIDAR (Light Detection and Ranging). Los datos fotográficos pueden ser usados en el proceso de creación de cartografía detallada, modelos tridimensionales o modelos digitales de superficie.
- b. **SISTEMAS DE DGPS** que brindan datos rigurosos a través de la técnica RTK (Real Time Kinematic), que permite la creación de perfiles topográficos y otros tipos de mediciones geodésicas que facilitan procesos de ortorectificación y georreferenciación de modelos tridimensionales.
- c. **SISTEMAS MÓVILES DE MAPEO**, esta técnica combina sistemas DGPS y video-cámaras movidas a través de vehículos terrestres, levantamientos topográficos con recursos laser y sistemas de información geográfica que permite trabajar diferentes tipos de información en los procesos de monitoreo.

El proceso de monitoreo ayuda a definir acciones concretas con el objetivo de mantener la relevancia de los geosítios, realizando nuevas evaluaciones sobre los aspectos de sus vulnerabilidades. Los procesos de monitoreo contribuyen con la identificación de alteraciones en la composición natural de los geosítios y a determinar prácticas de gestión adecuadas para su conservación. El empleo de técnicas de monitoreo en esta tesis es esencial, porque brindara información sobre el estado de los componentes naturales de los geosítios, utilizando información cartografía de años pasados para generar una cartografía detallada sobre los posibles cambios en el territorio. En el capítulo 2 se describe el método utilizado para realizar un diagnóstico territorial para cada uno de los tres geosítios, y las técnicas de monitoreo empleadas en la identificación de áreas vulnerables y transformaciones en su composición natural.

Capítulo 2

Cuadro físico del área de estudio

2.1. Introducción

Con un área de 2 216 km², el territorio de Estrela Geopark presenta un paisaje de cordillera dominada por granitos y rocas metasedimentarias, ubicada en el centro de Portugal, un accidente orográfico que forma parte del extremo occidental del Sistema Central Ibérico (Fig. 2.1). Está constituida por collados alargados, donde se identifica el punto más alto de Portugal continental (1993 m), y es territorio donde nacen tres importantes ríos: El Mondego, El Zêzere y El Alva.

Presenta un mosaico de hábitats de diversas regiones biogeográficas, con diferentes especies endémicas, y con características climáticas complejas, en la interface entre el dominio Mediterráneo con veranos cálidos y secos y Atlántico, típicamente más húmedos y templados (Ribeiro, 2013). Ostenta un paisaje diverso y valioso, consecuencia de múltiples transformaciones geológicas, contrastes climáticos y dinámicas antrópicas desarrolladas en su región. El territorio de Estrela Geopark presenta potencialidades para integrar políticas de geoconservación y un desarrollo económico sostenible para las poblaciones que la habitan. La organización del Geopark promueve la creación de actividades económicas sostenidas en la geodiversidad de su territorio, en cooperación con las comunidades locales. Estrela Geopark envuelve nueve municipios: Belmonte, Celorico da Beira, Covilhã, Fornos de Algodres, Gouveia, Guarda, Manteigas, Oliveira do Hospital e Seia (Fig. 2.2.) e dos organizaciones de educación superior: Universidad da Beira y El Instituto Politécnico da Guarda.



Figura 2.1. Localización del Estrela Geopark en la Península Ibérica (Adaptación de Natural Earth).

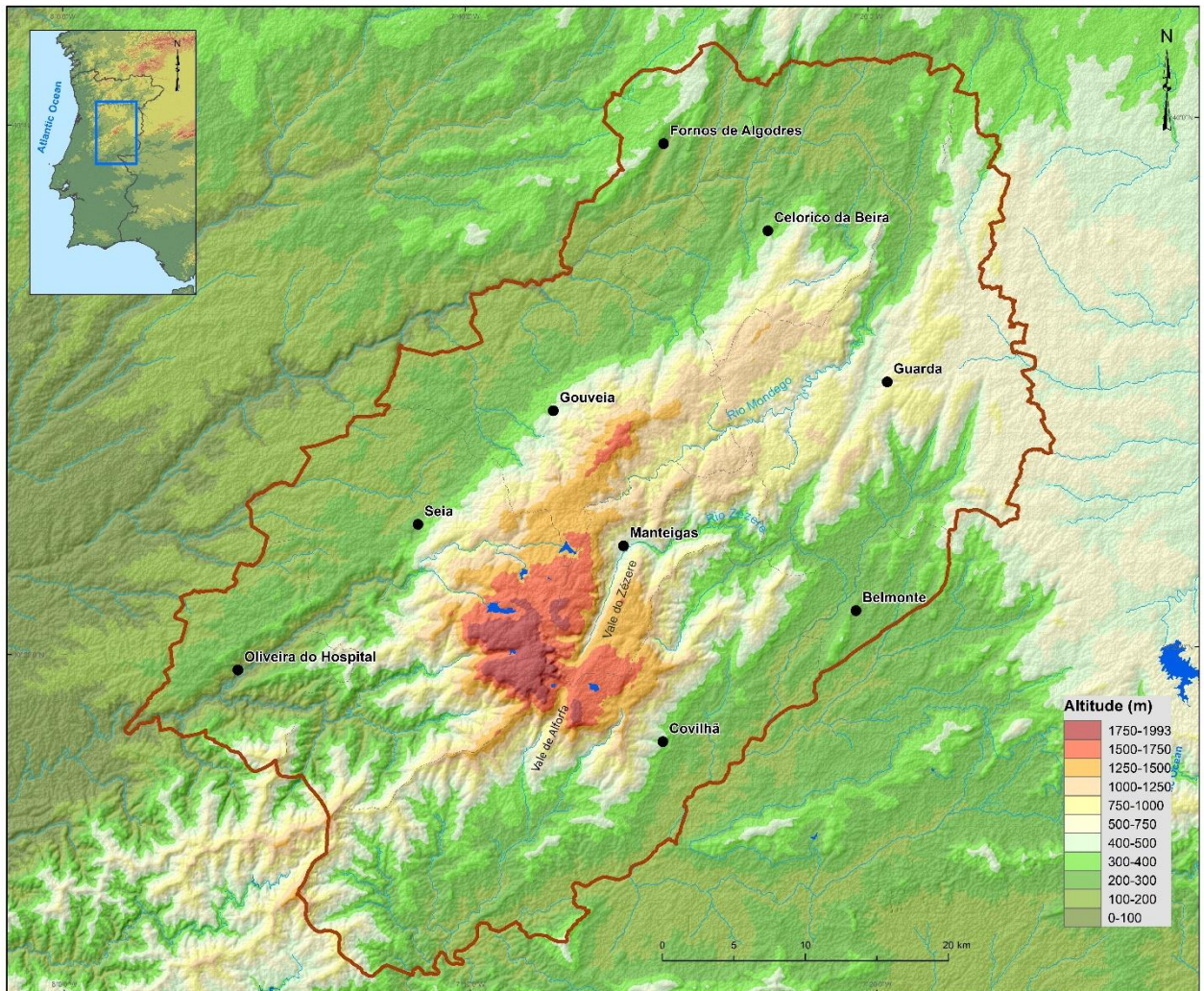


Figura 2.2. Relieve y capitales de municipios de Estrela Geopark (adaptación de Natural Earth).

Estrela Geopark tiene como objetivos principales promover y realizar acciones para conseguir un desarrollo socioeconómico, cultural y ambiental, sostenible y equilibrada para sus nueve municipios, asegurando la identidad territorial de Serra da Estrela. Conservar, promover y valorizar su patrimonio cultural y natural, particularmente su patrimonio geológico. El Estrela Geopark presenta un territorio rico en geopatrimonio, con características geomorfológicas que son la base de su reconocimiento, y extiende sus acciones por todo su territorio, con el objetivo de proporcionar vínculos vitales con su población, su historia, su cultura y economía (Vieira, et al., 2020).

Dentro de las estrategias de Estrela Geopark, se identifican aquellas dirigidas a fortalecer estructuras para la implementación de medidas de conservación, trabajando de manera estrecha con los gestores municipales. La localización estratégica del territorio permite su integración con relevantes normativas de

protección, donde el 41% del área del Geoparque se ubica dentro del área del Parque Natural de Serra da Estrela (Fig. 2.3), convirtiéndose en el aliado esencial para las estrategias de geoconservación y gestión de su territorio. El Estrela Geopark incluye también otros estatus de protección legal para áreas específicas, como la Red Natura 2000 de la Unión Europea, que comprende protocolos de protección de hábitats, así como también reservas biogenéticas dentro del área RAMSAR que protege Humedales de importancia internacional (ICNF). El Estrela Geopark contiene 124 geossítios en su territorio, de los cuales once pertenecen al banco de datos de ProGEO Portugal (Brilha & Pereira, 2020).

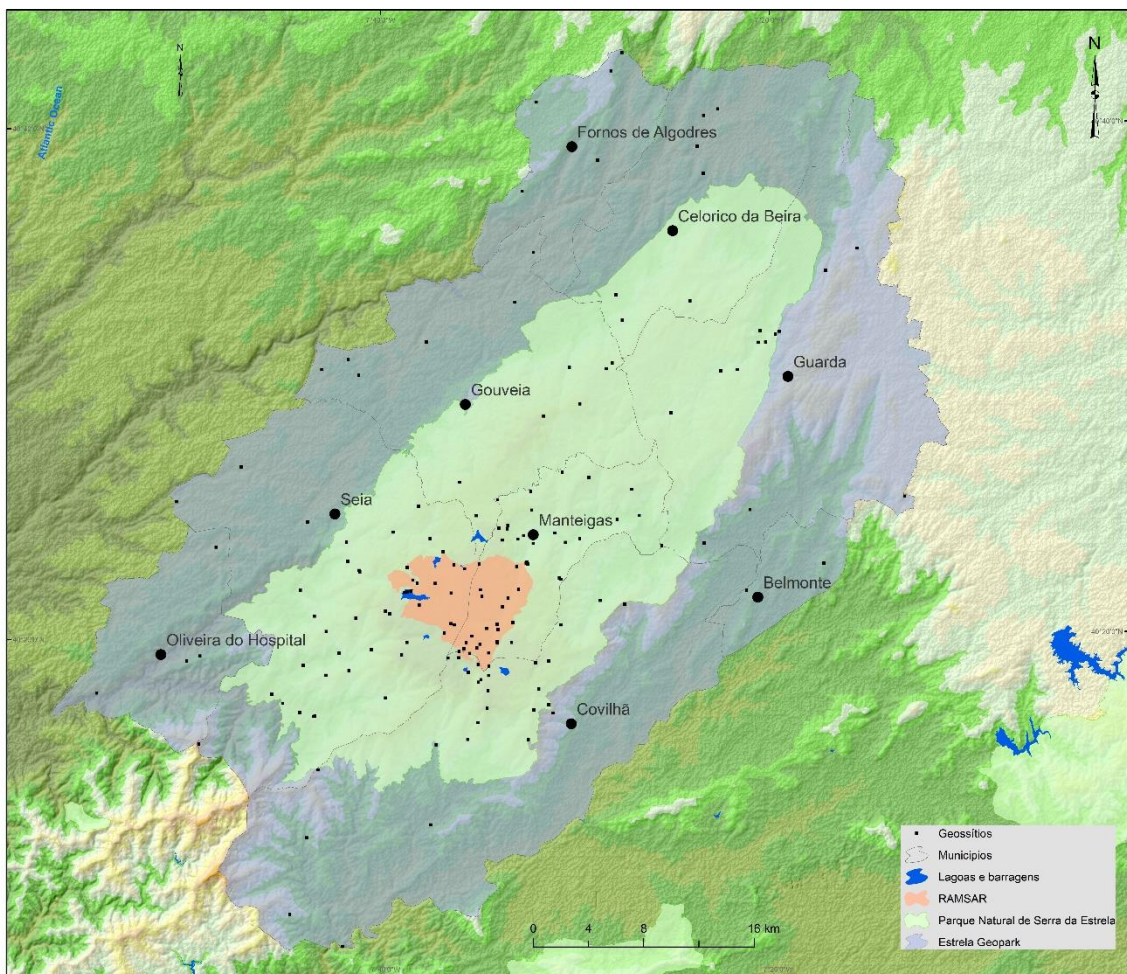


Figura 2.3. Principales áreas de protección dentro del Estrela Geopark (Fuente: ICNF, 2020).

El Estrela Geopark localiza la parte principal de su territorio en una cordillera granítica y metamórfica, localizada en el centro de Portugal continental, con altitud máxima de 1993 m. Forma parte del Sistema Central, que atraviesa la Península Ibérica (Fig. 2.1). El área del Estrela Geopark se extiende desde el Noreste de de la ciudad de Celorico da Beira, hasta la ciudad de Oliveira do Hospital en el Suroeste,

siguiendo la dirección SW – NE del Sistema Central Portugués. La morfo-estructura de la Cordillera Central es caracterizado por áreas planas y altitudes diferentes, resultado de desplazamientos diferenciales de niveles de erosión afectados por tectónica (Daveau, 1969), que separan las superficies de las plataformas de Mondego y Cova da Beira, y que dan origen a una serie de collados y valles profundos, mostrando un contraste entre las superficies suaves de collado y las escarpadas laderas. El sector Norte, en las ciudades de Fornos de Algodres y Guarda, se localiza las zonas de transición, de los collados del centro-norte de Portugal y la “Meseta Ibérica”, con un estrecho vínculo genético con el relieve montañoso principal (Vieira et al., 2020). Las características de vegetación presentan particularidades que reflejan su posición geográfica y valores altitudinales, donde su paisaje complejo demuestra los procesos naturales de la región mezcladas con actividades realizadas por el hombre, como la agricultura, el turismo, y principalmente, el pastoreo. La topografía de la montaña de Serra da Estrela es dominado por dos grandes mesetas divididas por los valles Alforfa y Zêzere.

2.2. Geología y morfoestructura

El territorio de Estrela Geopark presenta una originalidad geológica amplia, en sus accidentes geográficos y sus depósitos glaciales del Pleistoceno tardío. Se localiza en la Zona Centro Ibérica (ZCI), representada en la tectónica y paleografía de la Península Ibérica, en la zona axial del orógeno Varisco (Estrela Geopark, 2017). La ZCI consiste en el dominio del Supergrupo Douro – Beiras, con el grupo Beiras, que son las rocas más antiguas del área del Estrela Geopark, y se localizan en el sector Sur, entre Covilhã y Oliveira do Hospital, así como en la cuenca superior del Rio Mondego, al Norte de Manteigas (Fig. 2.4). Gran parte del territorio del Estrela Geopark es granítico, con una génesis asociada a la evolución del orógeno Varisco, y que comprende tres etapas de deformación, con engrosamiento de la corteza que genero metamorfismo y magmatismo sin-orogénico, con formación de rocas graníticas. Estas, en Serra da Estrela presentan características diversas, particularmente debido a su evolución, que unido al magmatismo tardío y post-tectónico, concluye en la última etapa de deformación dúctil (Azevedo & Valle Aguado, 2006; Estrela Geopark, 2017). Al final de la orogenia de Varisca, el Macizo ibérico sufrió alteraciones a través de una tectónica frágil, generando dos direcciones predominantes de fallas laterales de desligamiento: NNE-SSW (siniestra) y ENE-WSW (diestra). El primer impacto en la evolución de los accidentes geográficos de Estrela corresponde a los lineamientos de los valles que atraviesan las montañas, como los valles de Alforfa y Zêzere o los valles superiores de Mondego (Fig. 2.2).

La ladera Noroeste de Serra da Estrela es una escarpa generada por fallas asociadas con la falla Seia –Lousã, mientras que la ladera Sureste es una escarpa generada por una falla paralela a la anterior (Fig. 2.4). Las plataformas de Mondego (Oeste) y Cova da Beira (Este), son remanentes de la superficie plana del Paleógeno. La presencia de fallas hercínicas tardías, alteró el zócalo granítico, y facilito la rápida intrusión de la red de drenaje.

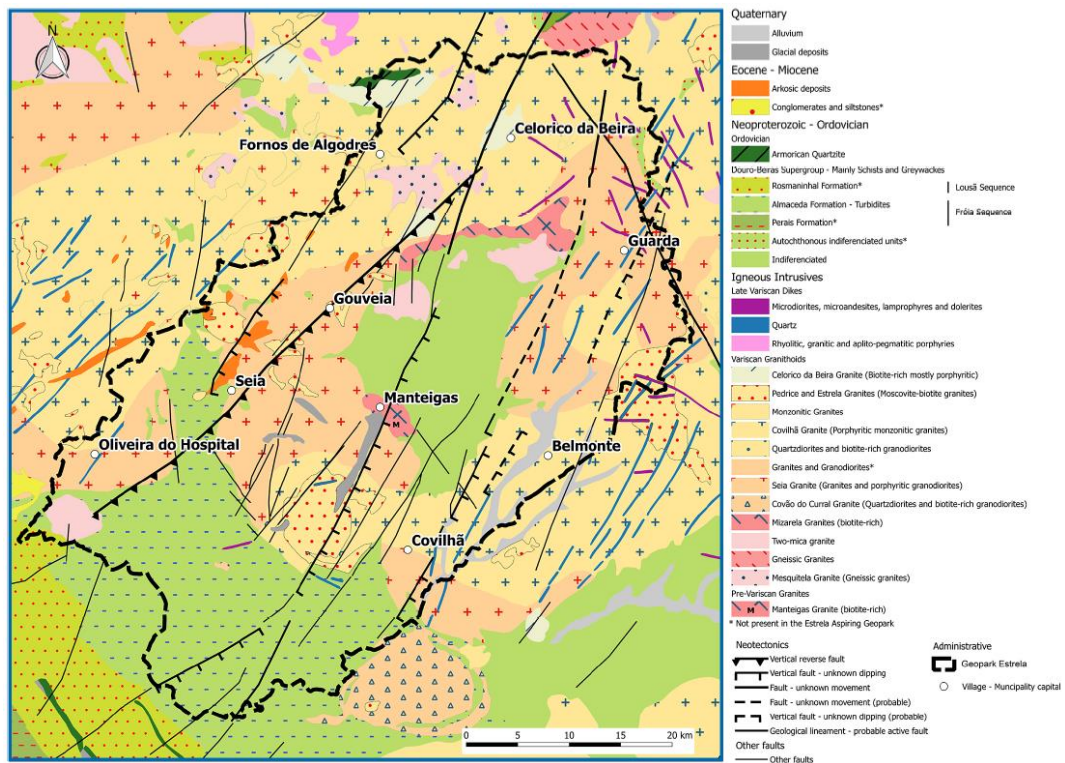


Figura 2.4. Geología de Estrela Geopark (Vieira et al. 2020).

2.3. Geomorfología

La característica más notable de Serra da Estrela es su impresionante paisaje glaciar, particularmente complejo y dinámico. El Planalto de la Torre se caracteriza por afloramientos de granito desnudo, sin rastros de procesos de erosión glaciar. En las cabeceras de las cuencas principales, se producen circos glaciares, tallados de manera profunda, con artesis glaciares bien desarrolladas en forma de “U”, como los valles del Zêzere, Loriga y Caniça. Por debajo de los 1650 m, el paisaje se modifica debido a los procesos de deposición, presentando morrenas y depósitos periglaciares (Vieira et al., 2020). La diversidad de los granitos de Serra da Estrela y la interacción entre la meteorización pre-Cuaternaria, la tectónica activa y las actividades de erosión, generan un territorio geomorfológico único para las investigaciones.

Los conos detríticos, presentes en las mayorías de valles glaciares, son claros ejemplos producto de procesos de flujo de detritos y que son desencadenados por fuertes precipitaciones de la región (Vieira et al., 2005). El paisaje del Planalto da Torre (mesetas) refleja padrones definidos, consecuencia de procesos erosivos glaciares, con afloramientos de rocas pulidas, cuencas rocosas y grandes circos glaciares y lagunas. En el sector oriental el relieve se presenta de manera diferente, con pocas huellas glaciares y paisajes dominados por el modelado granítico de tipo tor y morrenas glaciares.

La configuración planáltica de los interfluvios de Serra da Estrela es una característica relevante de su territorio, donde su superficie comprende altitudes superiores a los 1400 m y se encuentra dividida por el alineamiento sub-meridiano de los valles del Zêzere y Alforfa, produciendo un Planalto Occidental y Oriental (Fig. 2.5).

El Planalto occidental está localizado en el sector Oeste del Valle del Zêzere, entre las Penhas Douradas y el Alto da Torre, comprendiendo altitudes entre los 1500 y 1993 m. Se identifican tres niveles principales: Planalto de las Penhas Douradas (1500-1550 m), localizado al Norte del Planalto occidental; Planalto do Curral do Martins (1650-1760 m), con limite al Norte por el interfluvio de la Fraga das Penas; y el Planalto da Torre, localizado por encima de los 1800 m, que constituye la superficie culminante de la montaña (Fig. 2.5).

El Planalto oriental está localizado en el sector Este del Valle del Zêzere, entre los 1450 y 1760 m, entre el Curral da Nave y Alto da Pedrice. Igualmente, también se identifican tres niveles bien marcados: Planalto do Curral da Nave (1450 m), localizado al norte del Planalto, entre los valles de Beijames y del Zêzere; Planalto do Curral do Vento (1600-1700 m) al norte del Valle da Ribeira das Cortes, en Penhas da Saúde; y el Planalto de Alto da Pedrice (1700-1750 m) localizado en el límite sur del Planalto Oriental.

Ambos planaltos, occidental y oriental, presentan vertientes escarpadas, con rasgos de irregularidad marcadas por grandes unidades geomorfológicas, donde fueron controlados por fracturación con dirección NW-SE.

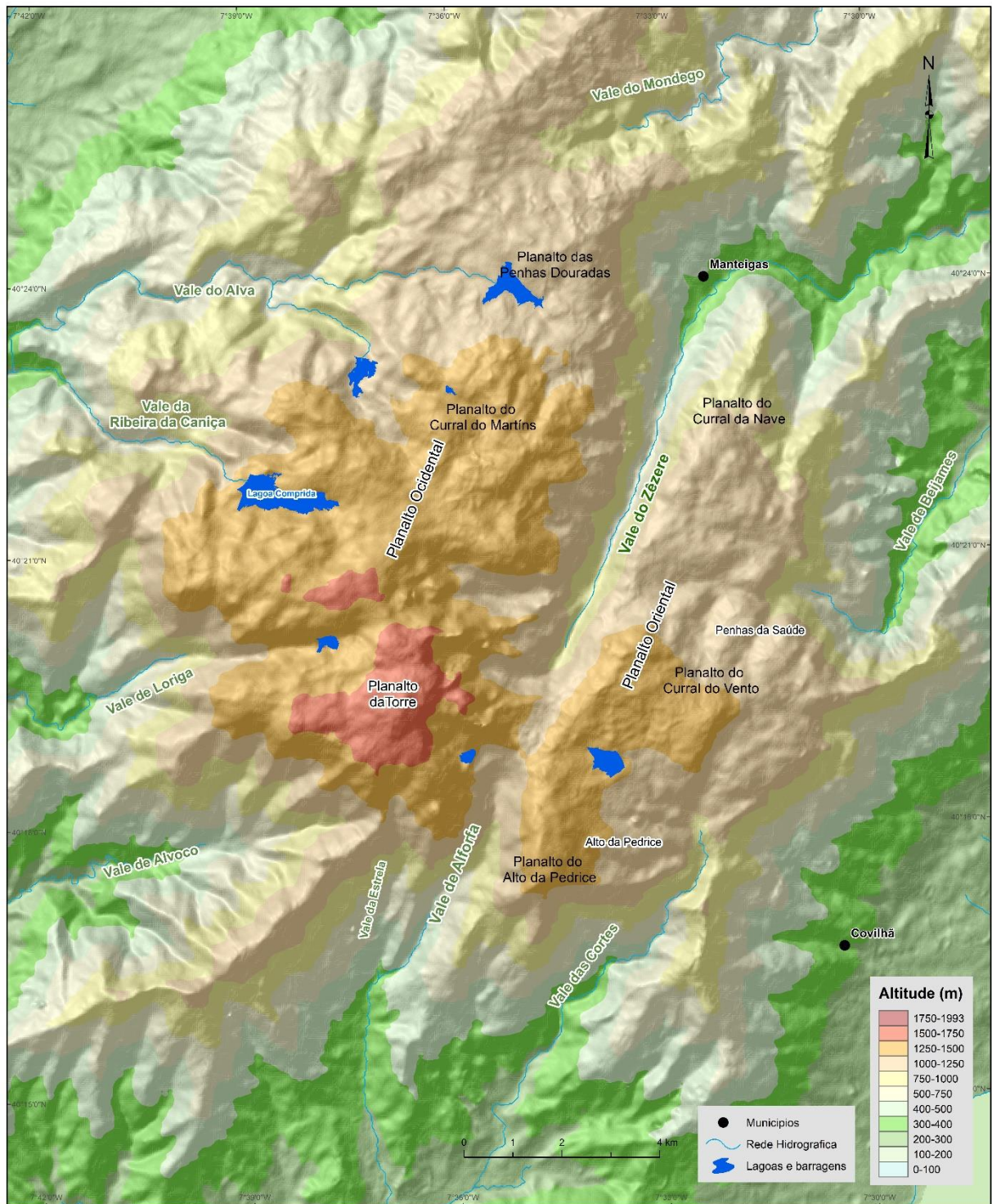


Figura 2.5. Localização de los Planaltos Ocidental y Oriental, con los diferentes niveles de planaltos.

La localización de los tres geossítios en estudio presenta relación directa con los planaltos de Serra da Estrela, en con tres de los valles más importantes de Serra da Estrela: Valle del Zêzere, Valle de Alforfa y Valle de Loriga, manifestando aspectos geomorfológicos importantes.

El **Valle del Rio Zêzere** es el valle más importante del territorio de la parte alta de Serra da Estrela, por su particularidad de penetrar el interior del macizo central de Estrela. Este valle es de origen fluvial, con una intensa alteración glaciaria al momento de esculpir su paisaje, dividiendo los planaltos occidental y oriental (Fig. 2.5), y presentando una regularidad en sus vertientes y una forma de “U abierta”. El valle contiene varios tipos de depósitos glaciares, fluvioglaciares y de vertiente, donde la forma de sus laderas actuales depende de factores tectónicos y glaciares, que, junto con la acumulación de diferentes depósitos, contribuyen con la regularización de las mismas (Estrela Geopark, 2017). Este valle ubica, en dirección a la parte más elevada de la montaña, el circo glaciario del Covão Cimeiro, formado por paredes abruptas y desniveles que alcanzan los 300m. Los circos, en la fase inicial de la glaciación, eran áreas donde la nieve y el hielo del Planalto se acumula e inicia los procesos de formación de los glaciares de los valles. Al sur del Valle del Rio Zêzere, se ubica el **Valle de Alforfa**, que también presenta la misma estructura simétrica en forma de “U abierta” (Fig. 2.5), con cuencas erosivas y con distintas crestas morrénicas, ilustrando las diferentes fases de la recesión glaciaria. El Valle en la actualidad, es uno de los valles con más dinámica de vertientes activa, en particular, en la vertiente de Piornos. En la cabecera de este valle, se localiza el mayor circo glaciario de Serra da Estrela, Covão do Ferro. Este circo presenta una formación de anfiteatro, con una dimensión de 1700 m, y paredes de 240 m de altura (Vieira et al., 2020). El **Valle de Loriga** se localiza en el lado occidental del Planalto da Torre (Fig. 2.5), glaciado por encima de los 780 m de altitud y con exposición suroeste, con un claro modelamiento glaciario en forma de “U abierta”. En sus vertientes se puede apreciar amplias superficies de erosión glaciaria, bien como rocas borregadas, realizando los sectores donde el granito se encuentra más fracturado.

Existen también otros valles que entallan los márgenes de los planaltos de Serra da Estrela (Fig. 2.5), como el Valle del Rio Alva, principal afluente del Rio Mondego, con valles tributarios extendidos por los planaltos de las Penhas Douradas. El Valle de la Ribeira da Caniça que penetra en el planalto a través de la Lagoa Comprida, y es uno de los valles con más vestigios de la intensa erosión glaciaria. El Valle del Rio Alvoco localizado al suroeste del Planalto da Torre presenta un perfil transversal en forma de “V”, con amplias acumulaciones fluvio-glaciares en el área de Corgos. El Valle da Estrela ubicado al sur del Planalto da Torre exhibe como característica relevante la presencia de un pequeño circo glaciario en las cabeceras. El Valle del Rio Ribeira das Cortes que limita con los flancos sur e sureste del Planalto do Alto da Pedrice hasta el borde Sur del Planalto del Curral do Vento. El Valle del Rio Ribeira de Beijames

que entalla el Planalto do Curral da Nave por el sector Oriente hasta el área del geossítio de Lagoa Seca. Finalmente, el Valle del Rio Mondego, conectando con el sector Norte del Planalto das Penhas Douradas, localizándose fuera de los límites de la glaciación.

Es importante señalar las diferencias morfológicas en diversos sectores de la montaña. La zona adyacente a los tres geossítios en estudio, muestra características topográficas diferentes. El sector donde se localiza el geossítio de Lagoa Seca presenta altitudes menores a 1450 m, donde sus interfluvios son crestas irregulares. El sector central de la montaña, donde se localizan los geossítios de Salgadeiras y Covão do Boi, representan las áreas con mayor altitud, entre los 1800 y 1993 m, caracterizadas por valles rectilíneos y donde los planaltos dominan el paisaje. La figura 2.4 describe el papel de la actividad tectónica en la formación del relieve de Serra da Estrela, con el marcado contraste de los sectores Norte y Sur del paisaje, mostrando los vestigios del modelamiento glaciar

2.4. Clima

El clima de Serra da Estrela es, en condiciones generales, de características mediterráneas, con veranos secos y calientes, donde la Cordillera Central influye directamente en la transición climática de las áreas Norte y Sur del territorio portugués (Mora, 2006). La escasa información meteorológica del sector de mayor altitud de Serra da Estrela, torna complicada una interpretación de la evolución de los parámetros climáticos que influyen en los geossítios, al no localizar estaciones meteorológicas superiores a los 1400 m. La estación meteorológica de Penhas Douradas, localizada a 1380 m de altitud, se encuentra activa desde hace más de 100 años, brindando una gran información estadística para análisis y modelos de interpolación climática, pero que podrían presentar un sesgo para las áreas altas de interés en este estudio.

En la descripción de precipitación, se diferencian dos temporadas marcadas, una de características frías y húmedas, y otra temporada cálida y seca (Mora, 2006). La primera temporada se desarrolla esencialmente entre noviembre y abril, y la segunda, principalmente marcada en los meses de julio y agosto. particularmente, es durante estos meses donde la actividad turística en los geossítios se incrementa, pudiendo ocasionar impactos significativos sobre la vegetación en stress hídrico y consecuentemente, erosión del suelo. El total anual de precipitación en los altiplanos sobrepasa los 2,500 mm (Fig. 2.6)

Daveau et al. (1977) identificaron características particulares en los planaltos de la Sierra. El Planalto oriental, específicamente en el Planalto da Pedrice, presenta

precipitación más alta y con un menor número de días anuales (100 a 110). En el Planalto occidental, la precipitación se presenta más moderada, pero más frecuente, con un registro superior a los 150 días anuales. Esto significa que el sector del Planalto da Pedrice, registra eventos de precipitación de mayor intensidad.

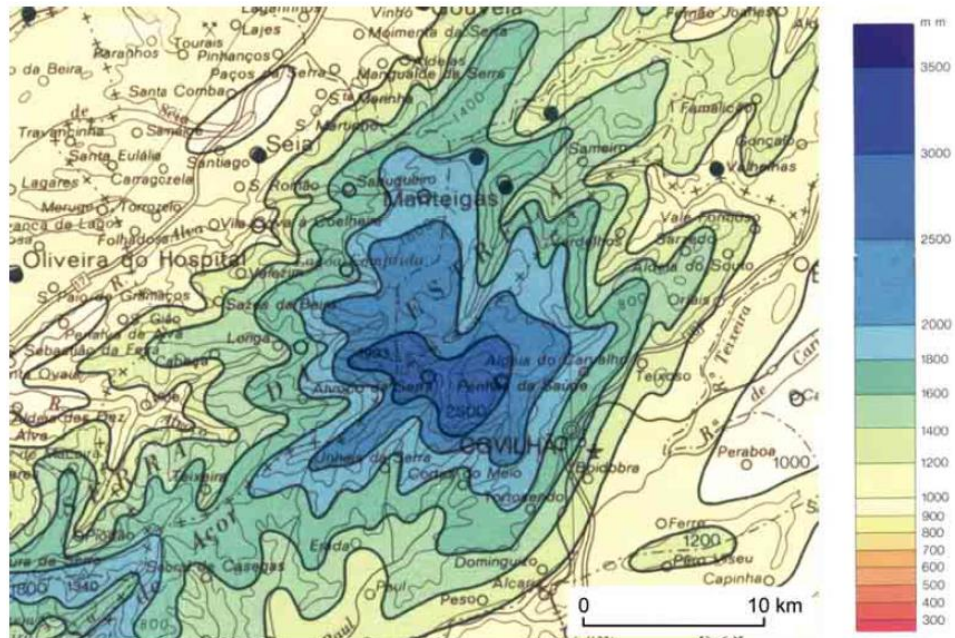


Figura 2.6. Cartografía con datos de precipitación anual para la región de Serra da Estrela (Mapa de precipitación adaptado a escala 1:500 000, Daveau et al., 1977).

Serra da Estrela presenta un régimen de temperatura térmico simple, poseyendo una temperatura media de 17,4°C en el mes de julio, que es el más cálido del año, y enero como el mes más frío, con un promedio de 2,5 °C en Penhas Douradas. En 1998, Vieira & Mora realizaron un estudio climático, donde en sectores superiores a los 1400 m, determinaron temperaturas medias anuales por debajo de los 7°C, y para el sector del Planalto da Torre, una temperatura de 4°C.

Las características del viento en Serra da Estrela reflejan sus propias dinámicas, con variaciones locales complejas de montaña, donde su topografía desempeña un papel preponderante. La velocidad máxima del viento se registra en las estaciones de otoño e invierno, durante los meses de noviembre a marzo, de 15 a 30 km/h, y con direcciones frecuentes de Oeste a Noroeste (Mora, 2006). La cobertura de nieve en Serra da Estrela se presenta de manera irregular, pudiendo ocurrir entre los meses de octubre a mayo. Los datos obtenidos de las estaciones

meteorológicas solo registran los días con eventos de nevadas y de suelo cubierto con nieve. En el periodo de 1957 a 1985, la estación de Penhas Douradas, estación localizada a mayor altitud, registra una media anual de 41 días con suelo cubierto de nieve; la estación de Lagoa Comprida, registra 51 días por año, y la estación de Penhas da Saúde una media de 31 días. Mora (2006) señala como factores principales en el proceso de permanencia de la nieve, a la altitud, la posición topográfica y el factor de exposición.

2.5. Vegetación

En 2002, Jansen estableció una clasificación de los pisos bioclimáticos de Serra da Estrela (Fig. 2.7), dividiendo los macrobioclimas en dos: *el temperado* que impera las vertientes expuestas al Oeste y Norte, en las zonas más altas de la sierra, siendo el macrobioclima que domina la mayor parte de la montaña; y el mediterráneo, que domina las vertientes de menor altitud, en algunos valles al Este. Jansen incorpora en su estudio la clasificación de pisos ecológicos clásicos de Pinto da Silva e Teles (1980): Basal, Intermedio y Superior. El piso Basal se extiende hasta los 900 m, donde existen bosques perennifolios, bosques de carvalhos caducifolios con especies de *Quercus robur*, matos, prados abiertos o semi-naturales modificados por la actividad humana. El piso intermedio se extiende hasta los 1600 m, y formados por bosques caducifolios y especies de *Quercus pyrenaica*. El piso superior se sitúa encima de los 1600 m, y con vegetación compuesta de *Juniperus* (zimbro) rastreros, prados quionófilos tolerantes al hielo, urzais y giestais.

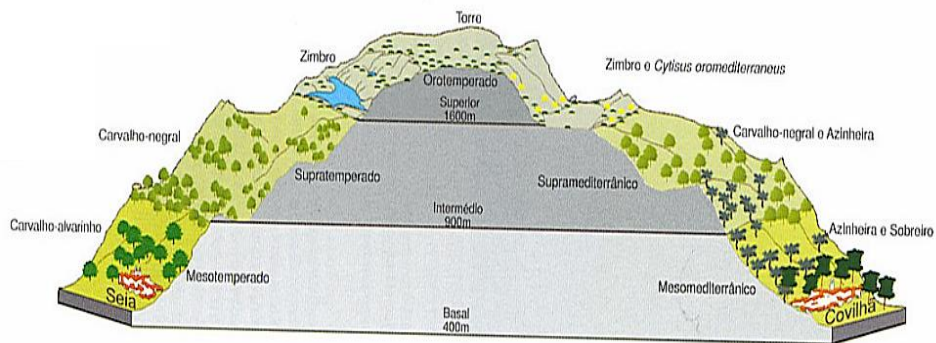


Figura 2.7. Clasificación de los pisos bioclimáticos de Serra da Estrela (Jansen, 2002).

Vieira et al. (2005) sintetizan las características particulares de la vegetación de Serra da Estrela, integrando perspectivas climáticas, topográficas y el uso actual

de la tierra, diferenciando cinco tipos de unidades de relieve con control particular en la vegetación:

a. Planalto Central

Sector superior a los 1600 m de altitud, encontrando prados, comunidades de cascajos, pantanos, riachuelos y lagunas, donde muchas de sus especies vegetales son endémicas.

b. Picos y cimas

Vegetación predominantemente natural, donde los sectores influenciados por el viento tienen vegetación rocosa.

c. Planalto inferior

Cubiertos principalmente por praderas, campos de centeno y paramos. Los planaltos inferiores presentan mucha actividad agrícola y silvo-pastoril, con prados de heno y pasto.

d. Vertientes

Zonas de mucha importancia al ser áreas de transición de regiones biogeográficas, se encuentran florestas moderadas en los 1200 y 1600 m de altitud, y una floresta densa entre los 800 y 1200 m.

e. Valles

Los valles y ríos son importantes por su floresta ribereña, prados de heno, vegetación acuática y ribereña para el abastecimiento general de agua.

2.6. Geosítios estudiados

2.6.1. Introducción

El Estrela Geopark contiene 124 geosítios, unidades espaciales bien definidas, con características geológicas y geomorfológicas homogéneas. Esta clasificación fue resultado de un proceso de evaluación de sus valores científicos, pedagógicos, escénicos, ecológicos, culturales y turísticos. El objetivo era tener una evaluación general de los locales de interés geológico de su territorio, que permita la definición de estrategias de gestión. Todos los geosítios de Estrela Geopark muestran valores escénicos altos, donde casi el 90% de los geosítios arroja un valor escénico alto o muy alto, y un 73% presenta un alto valor pedagógico (Estrela Geopark, 2017). Tres geosítios ostentan una relevancia de carácter internacional y 31 locales con relevancia nacional, premisas para un sólido argumento científico del Geopark.

Estrela Geopark clasifica sus geosítios por sus características intrínsecas, en 8 categorías (Fig. 2.8), donde los geosítios en la categoría de Glaciares y fluvio-

glaciares tienen mayor presencia en el territorio, con 35 locales de interés geológico. Le continúa la categoría de relevancia petrológica con 21 geossítios, 19 locales de puntos de observación, 17 locales en la categoría de modelado granítico, 11 geossítios peri-glaciares, 10 por su geomorfología fluvial, 6 geossítios por su relevancia hidrogeológica y 5 por su petrología (Estrela Geopark, 2017). Los tres geossítios de esta investigación se localizan en la categoría de glaciares y fluvioglaciares.

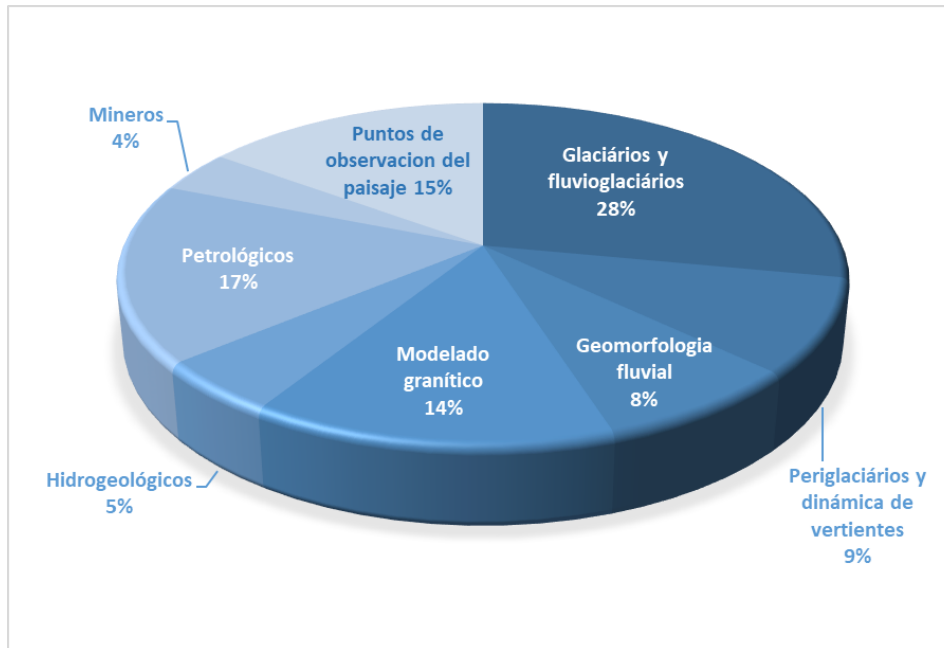


Figura 2.8. Clasificación de los geossítios de Serra da Estrela (grafico adaptado del Dossier Estrela Geopark, 2017).

Los geossítios seleccionados para este estudio fueron evaluados por su alta cualidad geológica e geomorfológica, por su valor científico y pedagógico, y el potencial escenario de alta exposición y sensibilidad al impacto antrópico, factores importantes para los estudios de monitoreo. Son los geossítios de Lagoa Seca, Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza y Covão do Boi, los tres categorizados por su valor glaciar y fluvio-glaciar. En la figura 2.9 se localiza las áreas de los geossítios analizados, delimitando el área del levantamiento de vuelo con los VANT. Salgadeiras y Covão do Boi se ubican en el sector más alto de Serra da Estrela, en el planalto occidental; y Lagoa Seca en el Planalto oriental, en el sector Norte.

2.6.2. Geossítio de Covão do Boi

Localizado en el sector más alto de Serra da Estrela a 1840 m, en el margen Este del Planalto da Torre, entre el circo glaciar de Covão do Ferro, el Valle del Rio Zêzere y el Cântaro Raso (Fig. 2.9). Este geossítio presenta un alto valor científico,

pedagógico, escénico, ecológico, cultural y turístico, con una alta relevancia internacional por los vestigios que presenta debido a la acción de los procesos glaciales y fluvio-glaciales. El carácter escénico de la meteorización del granito y su rareza, es interesante al encontrarse en los límites del periodo glaciario (Vieira et al., 2020). Las características del paisaje de Covão do Boi son de una mistura, entre prados de gramíneas y afloramientos graníticos portentosos, destacándose un gran conjunto de columnas de granito natural en forma de “tor” (Fig. 2.10). Las columnas graníticas son formaciones producto de la existencia de diaclasas verticales y sub-horizontales que permitió la alteración del granito, formando una estructura de columna. La parte superior de las columnas refleja el raspado por el flujo de los glaciares, demostrando que las columnas emergieron después de la deglaciación, probablemente por erosión hídrica y en masa (Estrela Geopark, 2017). Su ubicación adyacente a la carretera principal, torna a este geossítio una parada indispensable en el trayecto turístico de Serra da Estrela, convirtiéndolo en un potencial local donde las dinámicas antrópicas generan impactos negativos. Covão do Boi es conocido también, por exhibir el monumento a la Senhora da Boa Estrela (Fig. 2.11), monumento esculpido directamente en la roca granítica, de más de 7 metros de altura.

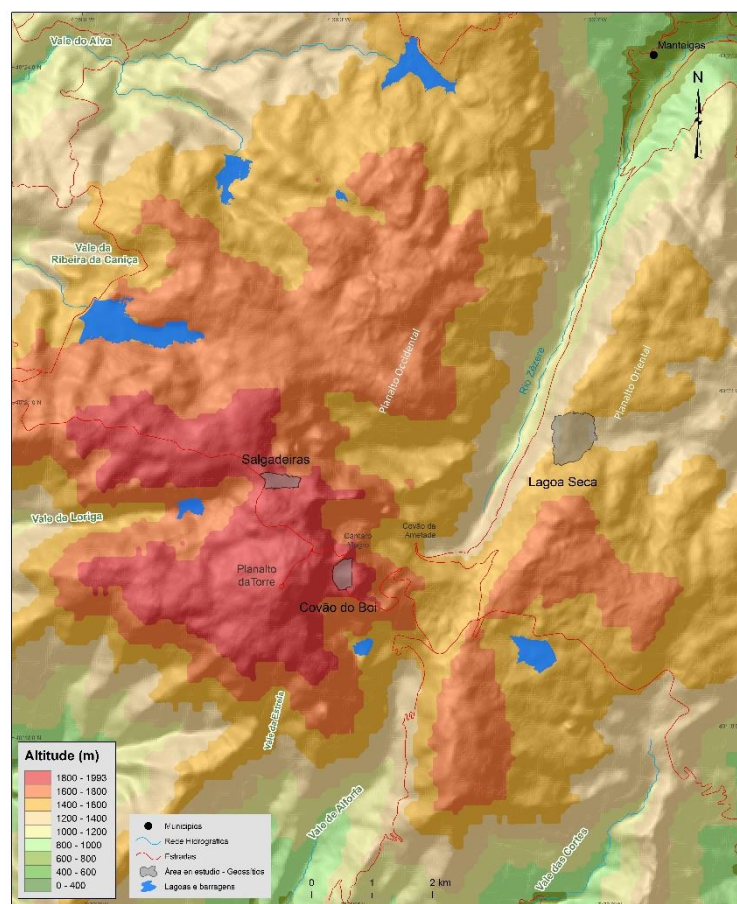


Figura 2.9. Localización de las áreas en estudio de los geossítios en los Planaltos da Serra da Estrela.



Figura 2.10. Área del geossítio de Covão do Boi.



Figura 2.11. Monumento a la Señora de Boa Estrela – geossítio de Covão do Boi.

2.6.3. Geossítio de Moreias da Lagoa Seca

El área de Lagoa Seca es un collado de pendiente suave, localizado a 1420 m que hace contacto entre la vertiente oriental del Valle del Rio Zêzere y la cabecera de Beijames (Fig. 2.9), situándose en el límite entre el área glaciada y la no glaciada de Serra da Estrela. Lagoa Seca presenta acumulaciones de bloques morrénicos depositados en un periodo próximo del ultimo máximo glaciario da Estrela, hace 30 mil años (Estrela Geopark, 2017), identificando cuatro arcos morrénicos paralelos. Entre los arcos morrénicos, existe un área deprimida con mal drenaje que permite la formación de pequeñas lagunas, con superficies compuestas por sedimentos finos y materia orgánica, que en épocas secas se presentan vacías, derivando de ahí el nombre del geossítio.

El geossítio de Lagoa Seca está caracterizado por presentar una densa vegetación arbustiva y conjuntos de bloques de rocas dispersos por todo el geossítio. Este geossítio presenta la característica de ubicarse un sector alejado, exactamente a dos kilómetros de la carretera principal, presentando aspectos diferentes para el análisis en contraste con los otros dos geossítios estudiados que se localizan en la carretera nacional (EN339).

Lagoa Seca comprende un alto valor científico y pedagógico, de relevancia internacional (Fig. 2.12), constituyendo una importante evidencia de la dinámica glaciaria del Valle del Rio Zêzere, con vestigios de las varias fases de su máximo colmado con más de 250 m de espesura de hielo y con una transfluencia glaciaria hacia el valle de Beijames (Vieira, 2004).



Figura 2.12. Geossítio de Lagoa Seca

2.6.4. Geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clarezza

El geossítio de Salgadeiras se localiza a 1800 m de altitud, y ostenta una relevancia nacional con un valor muy alto en el ámbito pedagógico, escénico y ecológico, y valores altos en los aspectos científicos, culturales y turístico. Su paisaje está compuesto por superficies rocosas pulidas, demostración de la fuerza erosiva del manto glaciario, surcos y estrías en un paisaje de morfología de cuenca (Serra da Estrela, 2017). Es un territorio representativo por su conjunto de lagunas permanentes y temporales (Fig. 2.13), y con presencia de turberas de altitud que proporcionan elementos de información para estudios científicos. En esta área los glaciares eliminaron el manto de intemperie y han destruido la mayoría de “tors”, donde el bajo gradiente de las pendientes del collado, contribuyó con la escasa erosión (Vieira et al., 2020).

Salgadeiras es un geossítio que se localiza al pie de la carretera principal de acceso a la cumbre (EN229). Presenta un acceso directo de los visitantes hacia las zonas centrales del geossítio, donde el avistamiento del paisaje y sus lagunas atractivas, colocan a Salgadeiras como un potencial geossítio receptor de posibles alteraciones negativas de la actividad antrópica.



Figura 2.13. Laguna del geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clarezza (Fuente: Estrela Geoark).

Capítulo 3

Métodos y técnicas

3.1. Introducción

Los métodos y técnicas seguidas en esta investigación se enfocan, principalmente, en la utilización de la detección remota y principios fotogramétricos, así como métodos de análisis de información geográfica y de planificación de estrategias de gestión. En la figura 3.1, se presenta un esquema de trabajo donde se detallan las tareas diferenciadas que se llevaron a cabo a lo largo del desarrollo de la investigación. La primera fase se enfocó en una revisión bibliográfica técnica y en la adquisición de datos a utilizar en la investigación. La segunda fase está comprendida con tareas relacionadas al desarrollo de técnicas SIG, tanto para el procesamiento de datos fotogramétricos, como para la creación de cartografía a detalle. En la tercera fase y última fase, se utilizaron métodos de análisis cartográficos como la interpretación de la cartografía, así como también criterios de monitoreo, que sirvieron como soporte para la delineación de la propuesta de gestión de los tres geossítios.



Figura 3.1 Esquema de trabajo con las fases de la investigación.

Todas las tareas siguieron una línea de trabajo continuada, teniendo como soporte una revisión bibliográfica enfocada en fortalecer conceptos relacionados con las dinámicas territoriales del Estrela Geopark, así como también contribuir para una mejor comprensión de procesos específicos de los geossítios. Esta investigación dirige sus objetivos para solo tres geossítios del territorio del Geopark, siendo necesario establecer un método de selección para elegir los

geossítios idóneos para el estudio. La evaluación realizada en esta investigación consistió en un análisis de las características biológicas, geológicas y geomorfológicas dentro de una visión de geoconservación; el grado de interés turístico que puedan representar; y, la relevancia científica que puedan poseer. Los geossítios con mayor ponderación dentro del análisis fueron: **Covão do Boi, Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza e Moreias da Lagoa Seca.**

Los datos utilizados en la investigación fueron fotografías aéreas obtenidas mediante un método directo, realizando levantamientos aéreos de información con Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT's), efectuados en los geossítios seleccionados. Los VANT representan tecnología muy útil en tareas de mapeo en áreas relativamente pequeñas, donde imágenes de satélite no brindarían el nivel de detalle deseado. El área de interés de los tres geossítios que son parte de esta investigación, no superan el km², sustentando que la información brindada por imágenes de satélite de Serra da Estrela (aprox. 30 000 km²) no presentan los detalles requeridos para este tipo de investigación. Dentro de las ventajas del uso de este tipo de tecnología destaca: su capacidad de adaptación con características difíciles del terreno, facilidad de uso en áreas de difícil acceso o en áreas que presentan riesgos a los operadores, captura de fotografías por debajo de nubes, bajo costo de adquisición, así como su capacidad de obtener datos en tiempo real y en periodos cortos de tiempo (Gonçalves & Henriques, 2015). El beneficio mayor empleado en esta investigación, fue la capacidad de obtener fotografías aéreas de alta resolución para mapear la superficie de los geossítios con el objetivo de realizar un diagnóstico territorial con precisión. Teniendo como base las fotografías, se crean modelos DSM (modelos digitales de superficie), y modelos 3D, siendo los ortomosaicos la base del proceso de caracterización del territorio y la posterior representación de mapas temáticos para cada geossítio. Las fotografías aéreas constituyen una herramienta eficiente dentro del análisis interpretativo de dinámicas superficiales del terreno y del desenvolvimiento del patrimonio natural de los geossítios, registrando con gran pormenor todas las características diferenciadas en escalas espaciales y temporales.

La fase de procesamiento de fotografías aéreas y creación de modelos digitales de superficie, fue realizada en Pix4D Mapper 4.5.6, software para procesamiento de información obtenida a través de VANT's y en la creación de modelos 3D. En este punto, también se estableció una metodología de análisis comparativo, entre la información de los geossítios. Se ensayaron diversos parámetros y criterios de procesamiento, con el objetivo de conseguir resultados adecuados en la generación de la nube de puntos densificada y modelos DSM óptimas. La selección del criterio idóneo fue en base a la comparación de las resoluciones de los modelos de sombras "Hillshade" y al grado de densificación de la nube de

puntos 3D. Los procesos de interpretación y caracterización de los geosítios, fueron trabajados de manera complementaria con los softwares ArcGIS 10.7 y QGIS 3.12, utilizando como soporte todos los modelos digitales generados previamente. Finalmente, el análisis de la cartografía obtenida permitió la elaboración de propuestas de gestión para los geosítios, teniendo en consideración la visión estratégica de geoconservación de Estrela Geopark.

3.2. Adquisición de datos del año 2019

El proceso de adquisición de datos se fundamentó en el desarrollo de misiones de vuelos automáticos con VANT's, utilizando criterios diferenciados considerando las diversas características del relieve de los tres geosítios. Las misiones se efectuaron los días 29, 30 y 31 de agosto del 2019 (Tab. 3.1), utilizando dos modelos de VANT, dependiendo del área total a mapear y las características del relieve. La planificación de un levantamiento de información con VANT depende de los atributos que se desean capturar con las fotografías, es decir, varía de acuerdo a los objetivos planteados. Se inicia con la selección del modelo de VANT a emplear, donde se recomienda trabajar con modelos que posean cámaras RGB de buena resolución y calidad de sensor y de óptica, y que posean capacidades de vuelos automáticos.

a. VANT's DJI Phantom 3 Advanced y Phantom 4 Pro

Los tipos de VANT's utilizados en la etapa de adquisición de datos fueron los modelos multirrotor DJI Phantom 3 Advanced (Ph3A) y Phantom 4 Pro (Ph4P), ambas tecnologías idóneas para trabajos en áreas de montaña. Dentro de sus características encontramos cámaras de 12.4 y 20 mega pixeles respectivamente, con sistemas de posicionamiento visual con doble sensor que permite una mejor estabilidad del equipo, así como también un sistema de control remoto completo, permitiendo aterrizajes manuales y automáticos. Ambos modelos cuentan con baterías que permiten vuelos ininterrumpidos de más de 20 minutos, y con rangos de vuelo de 5 km horizontal y 500 metros vertical. Las características del relieve fueron factores decisivos al momento de seleccionar el tipo de VANT para las misiones, y esa fue la razón principal de elegir entre el Ph3A, de menor coste, para las misiones con mayor riesgo, y el Ph4P, de mayor coste, para las misiones menos arriesgadas.

b. Map Pilot for DJI

El software utilizado para la planificación de los vuelos automáticos, fue el "Map Pilot for DJI", aplicación ligada con las tecnologías DJI Phantom, pero que también es compatible con otros modelos. Despliega capacidades ideales para la planificación de vuelos en áreas escarpadas, permitiendo así un manejo simplificado del equipo. Dentro de sus ventajas de uso se pueden señalar

capacidad de manejo y visualización del área de estudio; información actualizada del estado de las baterías, seguimiento directo del vuelo, manipulación de los porcentajes de superposición entre capturas, alertas sobre obstáculos cercanos, manejo de velocidades de recolección y resoluciones definidas.

c. Protocolo de vuelo

El diseño de un protocolo de vuelo en esta tesis, tiene como propósito describir todos los pasos ejecutados en la etapa de adquisición de datos mediante VANT's, y fue dividido en tres ámbitos: calibración, definición de parámetros y validación de la información (Fig.3.2). Con este esquema se busca representar el flujo de trabajo seguido en todo el proceso de adquisición de información con los VANT's, diferenciando el trabajo de preparación en el gabinete, el trabajo desarrollado en el terreno y su consiguiente revisión y validación de datos.



Figura 3.2. Flujo de trabajo diferenciado del protocolo de vuelo.

La etapa de **calibración** involucra todos los procedimientos previos al trabajo de levantamiento, referidas principalmente a la revisión y verificación con los equipos Phantom. Revisiones frecuentes referidas al estado general de los equipos tales como las calibraciones de los sensores, acelerómetros y giroscopios; también fue necesaria una breve revisión sobre los pronósticos meteorológicos de las áreas, particularidades como niveles de precipitación e información de la velocidad del viento.

La definición de parámetros fue realizada directamente en el terreno y considerando las particularidades de cada geossítio. Primeramente, se establecieron las áreas objetivo de las misiones por cada geossítio (Fig. 3.3), representando en el software automáticamente la trayectoria de vuelo que seguirá el VANT; se definieron también los criterios como la altura de vuelo, resolución deseada de las fotografías y porcentajes de superposición entre imágenes contiguas, tanto frontal como lateral. Fueron determinados también los puntos de aterrizaje y de retorno en caso de abandono de la misión, así como también un análisis del tiempo de vuelo necesario. El software Map Pilot DJI permite acompañar la misión en tiempo real, observando la captura de fotografías, el seguimiento de la topografía y la distancia recorrida para una buena administración de las baterías.

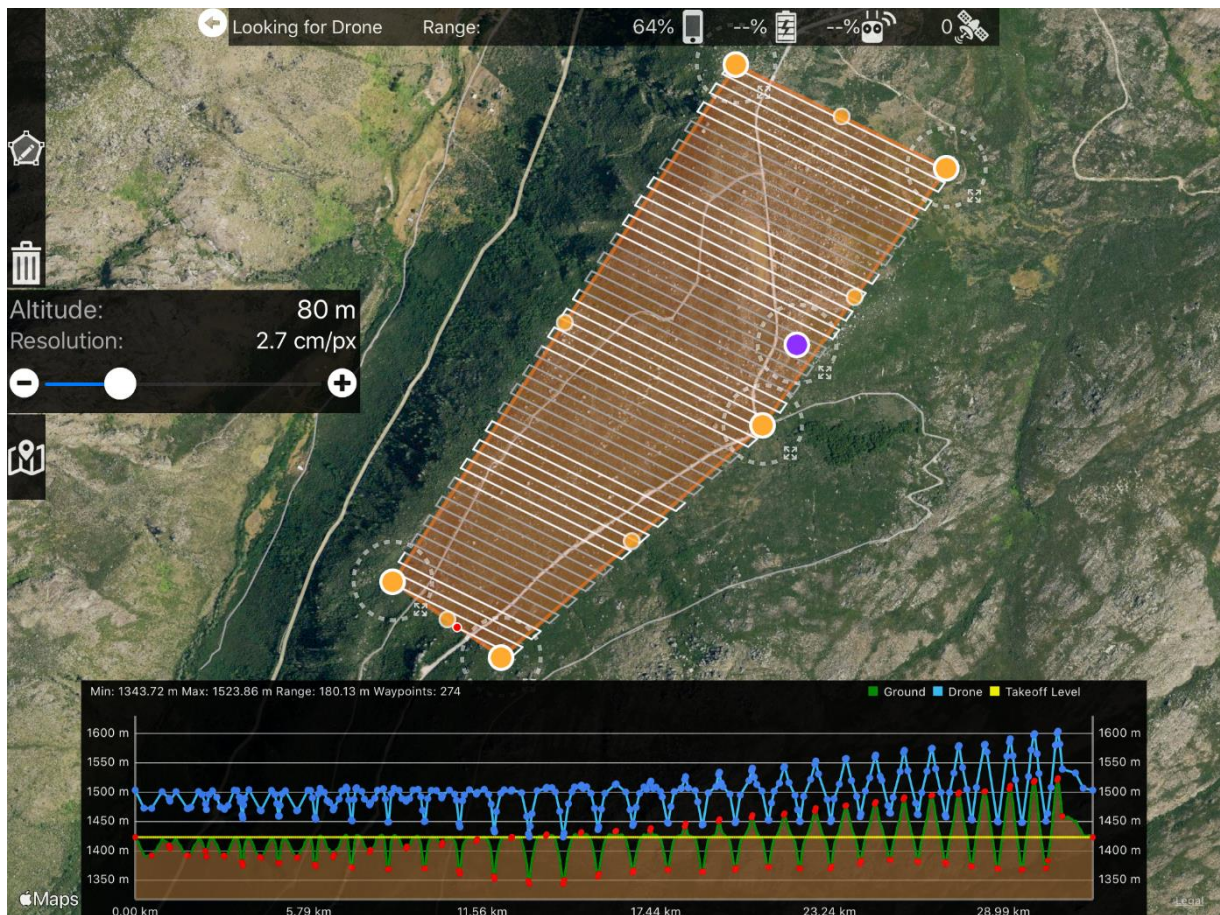


Figura 3.3. Trayecto del VANT y parámetros del plan de vuelo con software Map Pilot for DJI en el Geossítio Moreias da Lagoa Seca.

En el proceso de elección del modelo de VANT para cada geossítio, obedecía básicamente a las características del área, por el sistema de comunicación entre el VANT y el control. El Phantom 4 Pro presenta una mayor capacidad de radio en comparación con el Phantom 3 Advanced, siendo posible capturar áreas más amplias sin perder comunicación con el equipo. Adicionalmente, también se consideraron elementos como la topografía y una posición ideal del operador que permita un seguimiento visual del equipo. Las características del relieve y las áreas de interés en los geossítios fueron muy diferentes entre sí, por tanto, los parámetros de vuelo fueron desiguales entre un geossítio y otro. El primer criterio considerado fue el área de interés de cada geossítio, siendo Moreias da Lagoa Seca el geossítio con mayor área cubierta (Tab. 3.1), y, por tanto, fue necesario un mayor número de vuelos, obteniendo de esta manera mayor cantidad de fotografías. Los valores de altitud de vuelo, para los tres geossítios, variaron entre los 70 y 100 metros por sobre la superficie, no generando gran diferencia en la resolución final. Ya iniciada la misión, la herramienta del software

Map Pilot, sobre la configuración de las líneas vuelo y el traslado del VANT siguiendo la forma del relieve, permitió una captura de fotografías continua y a la misma altura con respecto a la superficie, a lo largo de todo el vuelo.

Fecha	Geossítio	RPA	Altura de vuelo (m)	Número de vuelos	Número de fotografías	Tamaño del Pixel (cm)	Área cubierta % (km ²)
29/08/2019	Covão do Boi	Ph3A	70	2	368	3,28	0,19
30/08/2019	Salgadeiras	Ph4P	100	4	639	2,72	0,82
31/08/2019	Lagoa Seca	Ph3A	80	6	1178	3,46	1,07

Tabla 3.1. Parámetros de vuelo e información del post-procesamiento de las fotografías. Phantom 3 Advanced (Ph3A) e Phantom 4 Pro (Ph4P)

Al termino de los levantamientos, se obtuvieron 368 fotografías para Covao do Boi, 639 para Salgadeiras y 1178 fotografías para Lagoa Seca (Tab. 3.1), con una resolución entre 2,7 y 3,5 centímetros. Cabe mencionar, que las fotografías del geossítio Salgadeiras, presentan una mejor resolución (2,7cm) en comparación con los geossítios restantes, y esto se debe a la cámara de 20 megapíxeles del Phantom 4Pro. Como parte final de cada misión, se realizó una verificación rápida de toda la información capturada en la memoria del VANT, comprobando las fotografías obtenidas y su almacenamiento en la memoria del computador.

3.3. Preparación de los modelos

El procesamiento de los datos obtenidos se focaliza, principalmente, en procesos fotogramétricos y en la interpretación y caracterización de los geossítios. El procesamiento de las fotografías áreas se basa en la aplicación de principios y técnicas de fotogrametría, y en la aplicación de algoritmos de visión 3D, con el fin de generar ortomosaicos y modelos digitales de superficie de los geossítios. La edición y caracterización se enfoca en la aplicación de métodos de interpretación de los modelos digitales de superficie y en el manejo de herramientas SIG para la creación de una base de datos espacial y la generación de cartografía temática de los geossítios.

Procesamiento de las fotografías aéreas

El procesamiento de las fotografías aéreas obtenidas en los levantamientos de campo con VANT's, fue realizado en el software PIX4D. Este software procesó el conjunto de fotografías para generar una nube de puntos georreferenciados, así como la creación de modelos digitales de superficie, ortomosaicos y modelos mesh 3D. La generación de la nube de puntos georreferenciada se detalla en la figura 3.4, diagrama que grafica todos los procesos de desarrollo del modelo (Smith, et al., 2016).

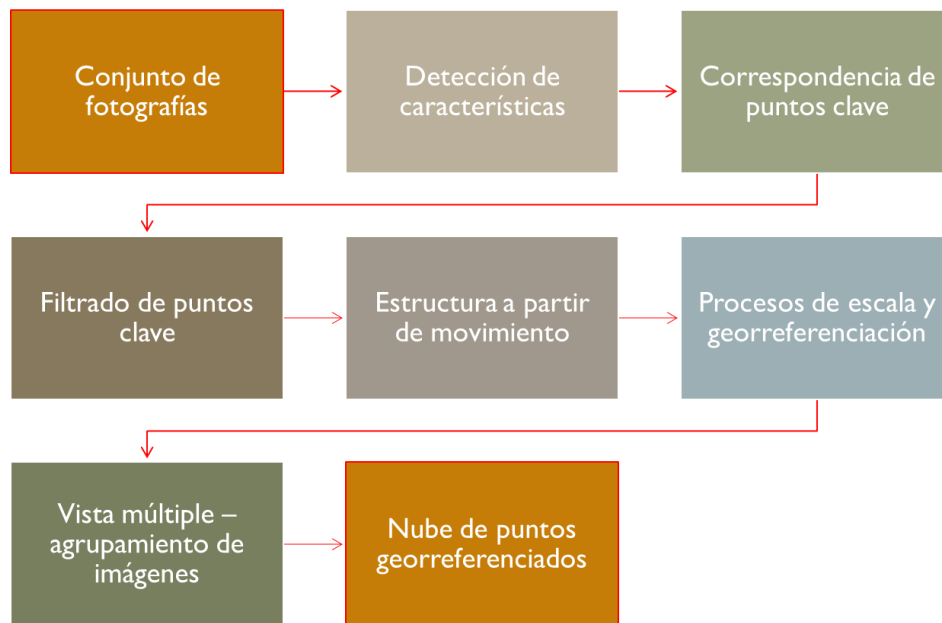


Figura 3.4. Flujo de trabajo para la generación de una nube de puntos georreferenciados (adaptación de Smith & et al., 2016)

Este diagrama describe cualitativamente las técnicas implementadas en la generación de la nube de puntos, identificando características en común (puntos clave) en cada fotografía, asignando un identificador único, independientemente de la perspectiva o escala de la imagen. Posteriormente, se buscan correspondencias entre los puntos clave (Keypoint Correspondence), dependiendo de los parámetros establecidos (Smith et al., 2016). Es importante señalar en esta fase, la elaboración de una evaluación de la calidad de los resultados, según un método de identificación de criterios ideales para un mejor resultado en la generación de nube de puntos densificada. Este método ha consistido en un estudio comparativo de modelos creados con diferentes valores de correspondencia mínima entre los puntos clave, donde se analizaron las nubes de puntos densificadas (Fig. 3.5) y el modelo de sombras "Hillshade", evaluando el criterio que genera modelos con mejor estructura de correspondencia de puntos (más coincidencias) y menos áreas con vacíos de

información. Se establecieron tres valores comparativos, entre 3, 4 o 5 correspondencias.

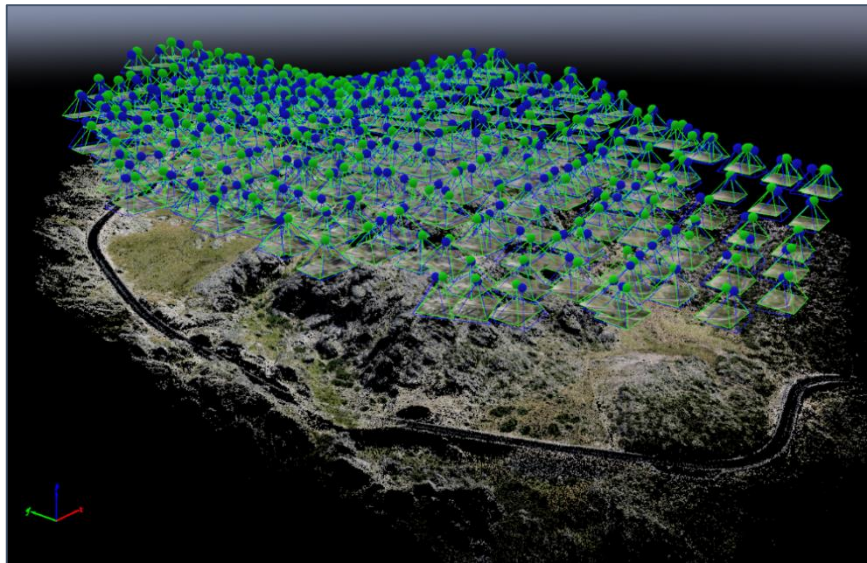


Figura 3.5. Ejemplo de nube de puntos 3D para el geosítio de Covão do Boi.

El flujo de generación de la nube de puntos continua con la aplicación de un filtro adicional de correspondencias erróneas, y procede a utilizar algoritmos de ajuste para estimar una estructura 3D. El “Structure from Motion” (SfM) opera bajo principios de la fotogrametría estereoscópica, donde la estructura tridimensional se construye a partir de imágenes 2D superpuestas, donde la geometría de las imágenes, la posición y orientación del sensor son configuradas automáticamente (Westoby et al, 2012). Este proceso de construcción automática se realiza a través de la identificación de los puntos comunes entre las imágenes, permitiendo estimar las coordenadas de los objetos, utilizando métodos como la relación euclidiana del vecino más próximo para aumentar la posibilidad de que las coincidencias sean identificadas correctamente (Smith et al, 2016). Finalmente, para la creación de los modelos DSM se utilizó el algoritmo de interpolación de Ponderación de Distancia Inversa (IDW), para completar los vacíos en el modelado del terreno.

3.4. Análisis de los datos

Con los modelos digitales de superficie, ortomosaicos y modelos 3D generados previamente, se inicia la identificación y caracterización de geosítios; proceso desarrollado en los softwares QGIS y ARCGIS, y teniendo como soporte las fotografías de campo e imágenes en el software PIX4D. El objetivo de la caracterización de los modelos y ortomosaicos es crear mapas a detalle para cada

geossítio, así como también la generación de una base de datos espacial SIG, que sirva como soporte para la etapa de análisis y propuestas de gestión. El primer paso fue definir todos los elementos necesarios a identificar, aquellos componentes que representen mayor importancia dentro de la investigación y que contribuyan al análisis estratégico de los geossítios. Se establecieron cuatro categorías con los elementos a identificar en los tres geossítios:

- a. **Componentes geológicos e geomorfológicos:** son aquellas características abióticas del área de los geossítios, identificándose áreas de suelo desnudo, que son suelos sin una capa superficial que los proteja y que se encuentran expuestas de ser erosionadas; afloramientos graníticos y bloques de rocas, así como también características geomorfológicas como diaclasas, alveolos y áreas escarpadas (Fig. 3.6). Se diferenció a los bloques de rocas por su dimensión, representando aquellos conjuntos con dimensiones mayores o menores a 1 metro de diámetro.

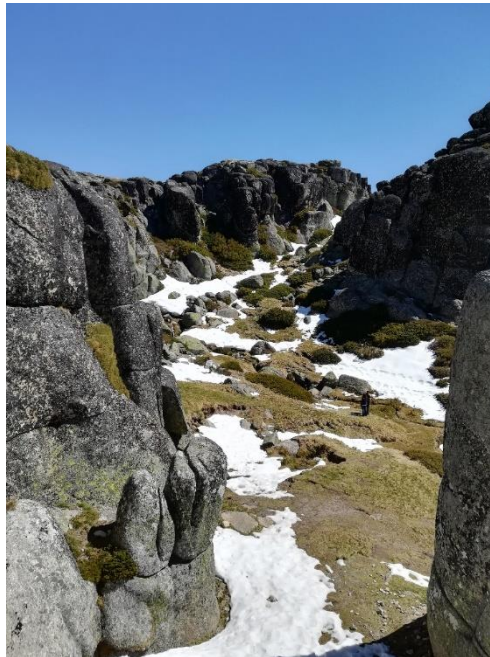


Figura 3.6. Columnas, afloramientos graníticos y bloques dispersos, bien como depósitos sedimentarios con gramíneas - geossítio de Covão do Boi.

- b. **Componentes hidrográficos:** características hidrográficas como lagunas temporales y permanentes, definidas por la presencia esporádica o permanente de agua a través de todo el año. Adicionalmente, también se caracterizó cursos de aguas lineales (Fig. 3.7)
- c. **Componentes bióticos (vegetación):** aquellos componentes vivos de los geossítios, principalmente arbustos y variedades herbáceas (Fig. 3.8).



Figura 3.7. Laguna permanente en el geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.



Figura 3.8. Mosaico en el geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza, con arbustos y gramíneas, suelo desnudo y afloramientos graníticos.

- d. Componentes antrópicos:** aquellos componentes introducidos por el hombre, como áreas de pisoteo, carreteras, estacionamientos, escaleras o paneles informativos. La identificación de áreas de pisoteo fue establecida como una prioridad en esta fase, por el gran impacto que genera sobre los ecosistemas y el paisaje de los geossítios. Se diferenciaron áreas de pisoteo en suelo desnudo, de aquellas con vegetación de tipo gramíneas (Fig. 3.9), características que contribuirán en el análisis posterior de monitoreo y en el proceso de establecer los impactos generados por la actividad turística.



Figura 3.9. Área del geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza, identificando los sectores con pisoteo en suelo desnudo (imagen superior) y en comunidades de vegetación (imagen inferior).

El proceso de caracterización en los geossítios se basó en un análisis visual de los ortomosaicos, con apoyo en los datos de reconocimiento recogidos en el trabajo de campo, y en los modelos digitales de pendiente "Slope" y sombreado "hillshade" (Fig. 3.10), así como también de la nube de puntos densificada 3D. En el proceso se utilizaron diferentes herramientas de construcción de polígonos y líneas (ArcGIS), así como también herramientas geométricas poligonales para evitar los errores de edición.

Todo el proceso de caracterización fue realizado a una escala de 1:100 para la creación de todos los componentes, y se replicó para los tres geossítios. Luego de

concluida la edición, se procedió a realizar un análisis topológico, con el objetivo de identificar errores de superposición, vacíos o duplicidad, y de esta manera evitar información estadística errónea. En la figura 3.11 se observa un sector del geossítio interpretado y caracterizado, utilizando el ortomosaico y la nube de puntos densificada en PIX4D.

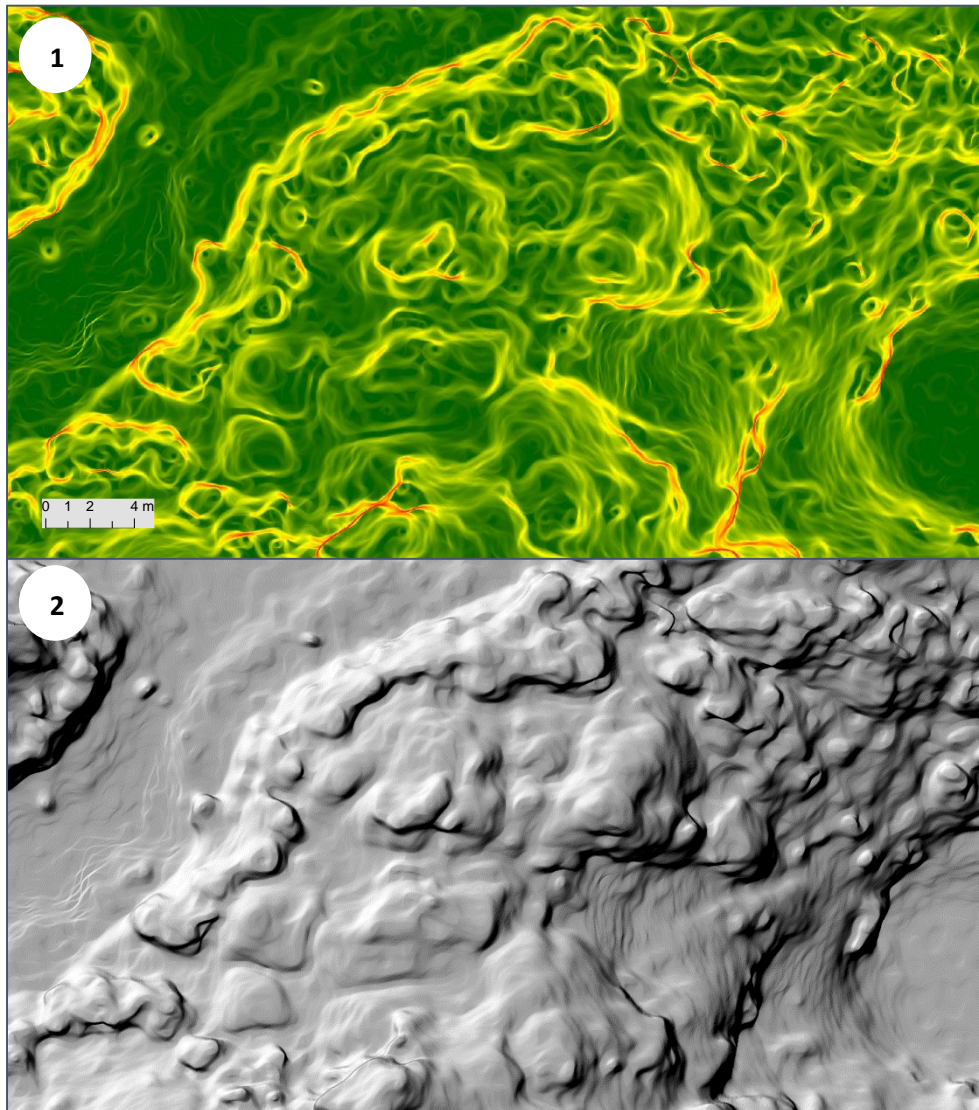


Figura 3.10. Modelos usados como apoyo en el análisis del terreno, con ejemplo para el geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clarezza: pendiente (1) y sombreado (2).

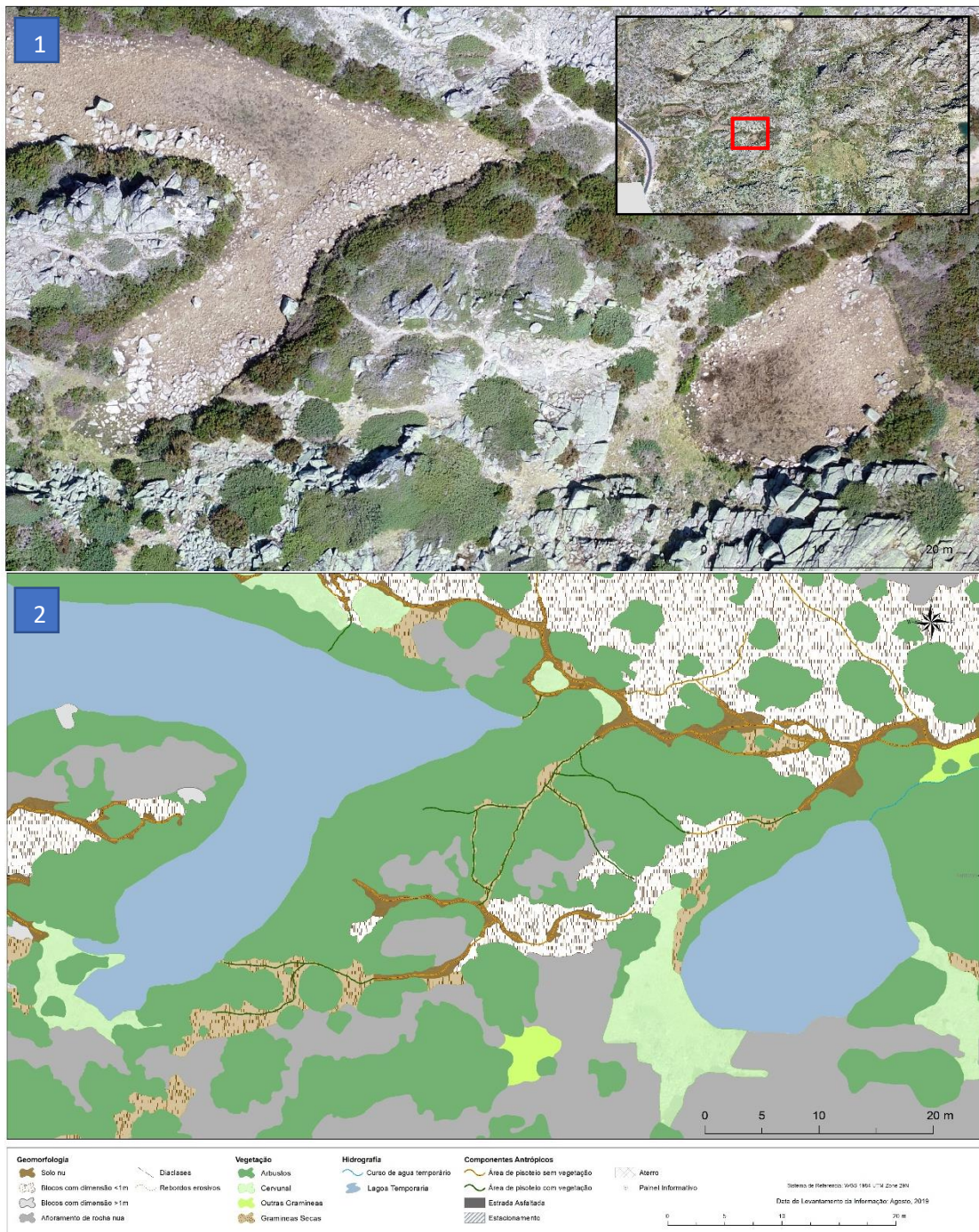


Figura 3.11. Ejemplo de la identificación de los componentes territoriales del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza. La imagen 1 representa el ortomosaico y la imagen 2 representa el mapa final de la caracterización concluida.

3.5. Base de datos

Conjuntamente con el proceso de identificación y caracterización de los geossítios, se construyó una base de datos SIG para almacenar la información generada, constituyendo los datos de referencia espacial, así como también el tipo de geometría necesaria para los objetivos de la investigación. El método aplicado fue crear una “Geodatabase” en ArcGIS por cada geossítio, estableciendo un “Feature Dataset” para cada componente y un “Raster Catalog” para almacenar todos los modelos digitales para el geossítio.

En la figura 3.12 se presenta una estructura de base de datos, con todos los componentes establecidos, con sus respectivos “Features Class”. Este modelo se replicó para los tres geossítios, dependiendo del diagnóstico particular de cada uno de ellos.

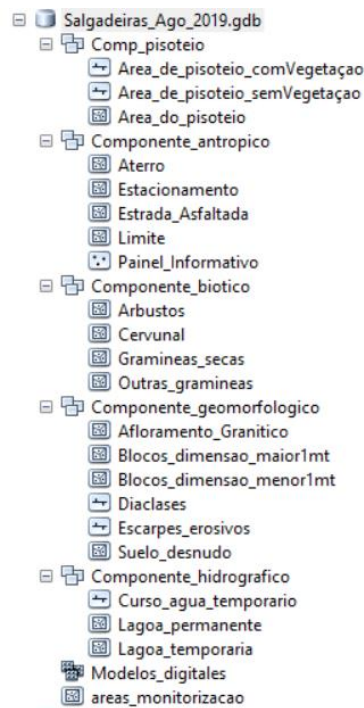


Figura 3.12. Estructura de base de datos SIG aplicada para almacenar toda la información generada de los geossítios.

3.6. Evaluación del potencial de los ortomosaicos para monitoreo

La técnica de monitoreo utilizada en esta investigación se basa en la ejecución de la técnica de comparación de componentes estratégicos, identificando sus transformaciones a través del tiempo, utilizando las propiedades de la detección remota a través de fotografías aéreas obtenidas por VANT's (Gonçalves & Henriques, 2015). Se realizaron análisis comparativos de los ortomosaicos del

2019 presentados arriba, con ortomosaicos de años anteriores (obtenidos por el grupo de investigación Zephyrus del centro de Estudios Geográficos), procurando identificar cambios. Este análisis comparativo se enfoca, principalmente, en la identificación de posibles cambios en comunidades naturales como la vegetación y la creación de nuevas áreas de pisoteo. Los objetivos de la etapa de monitoreo son:

- Identificar, cuantificar e interpretar las dinámicas superficiales de las áreas de los geossítios.
- Establecer posibles fuentes de generación de dichas dinámicas.
- Delimitar el área de influencia de las mismas.

Para esta etapa de la investigación se necesitaron diversas fuentes de información, desde fotografías aéreas obtenidas a través de VANT's con diferentes fechas de adquisición (Tab. 3.2), así como también fotografías clásicas en el terreno e investigaciones complementarias de los geossítios en estudio. A partir de las fotografías aéreas fueron generados diferentes ortomosaicos y modelos digitales, para crear una base cartográfica que sea el soporte del análisis comparativo y de esta manera identificar las variaciones a lo largo del tiempo.

Las fotografías usadas para el monitoreo fueron de los años 2014, 2015 y 2017, e hicieron posible efectuar comparaciones en los tres geossítios con la información recogida en el año 2019. Estos levantamientos fueron realizados con un VANT Ebee classic con cámara de Canon IXUS de 12MP en 2014 y 2015, y con un DJI Phantom Advanced en 2017, por el grupo Zephyrus del Centro de Estudios Geograficos de la Universidad de Lisboa.

Geossítio	Información de las imagenes (Fechas)			
	2014	2015	2017	2019
Covão do Boi			20 de noviembre	29 de agosto
Salgadeiras		29 de julio		30 de agosto
Lagoa Seca	31 de mayo			31 de agosto

Tabla 3.2. Descripción de las fechas de las fotografías utilizadas en la etapa de monitoreo.

Los criterios de monitoreo utilizados no fueron semejantes para todos los geossítios, debido a las diferencias en sus territorios y a las dinámicas particulares interpretadas en cada uno de ellos. Para establecer dichos criterios, primero fue necesario definir aquellas áreas dentro de los geossítios que

concentraran un mayor interés dentro del análisis comparativo, y en base a nuestro plan de geoconservación y a su alto impacto, se definieron los sectores que presentaran mayores redes de pisoteo, para analizar sus cambios a través de los años. En función a esa prerrogativa, los criterios esenciales fueron cambios en suelos con vegetación a suelo desnudo y en proceso inverso, aumento o reducción de las áreas de pisoteo, así como también una modificación en las características del suelo donde se desarrollan, es decir, si en años anteriores contenían vegetación y en el presente se desarrollan en suelos desnudo. Posteriormente, se trabajó con ambas cartografías, la obtenida en el año 2019 y las de años pasados, concentrado el análisis en aquellos elementos identificados en años anteriores y contrastando esos resultados con las cartografías actuales.

El proceso de monitoreo tiene como uno de sus propósitos percibir todas aquellas variaciones que pueden haber sufrido determinados espacios territoriales a través de los años, y consisten en mediciones repetidas regularmente de parámetros críticos pre-establecidos, para determinar su integridad frente a un evento perturbador, o si las prácticas de gestión la conservar o regeneran (Sharples, 2002). Dichos parámetros varían dependiendo las características del espacio natural a monitorear, pero de manera general, pueden ser parámetros físicos, químicos y biológicos que contribuyan con la identificación de procesos restaurativos, practicados por el Servicio de Parques y Vida Silvestre en Exit Cave, Tasmania, para procesos de evaluación de canteras. Otra práctica del Servicio de Parques, es la evaluación de los procesos erosivos en suelos adyacentes al Rio Lower Gordon, a fin de restringir o limitar el acceso marítimo, potenciales agentes de impacto.

El proceso de monitoreo ayuda a definir acciones para la conservación de los geosítios, realizando nuevas evaluaciones periódicas de las vulnerabilidades identificadas en la fase de interpretación y caracterización cartográfica.

En la estructura inicial de la investigación, tenía previsto realizar un trabajo de campo post-caracterización, con el objetivo de validar toda la información cartográfica generada. Se establecieron áreas específicas de interés para contrastar la información del terreno con la identificada en gabinete. Sin embargo, la situación del COVID-19 complicó el retorno a los geosítios para realizar la validación de la cartografía. En este punto crítico, se recurrió a toda la experiencia y conocimiento del Prof. Gonçalo Vieira, quien conoce estas áreas de mucho detalle por sus múltiples investigaciones previas.

Capítulo 4

Cartografía de ultra-alta resolución: resultados y aplicaciones

4.1. Introducción

Este capítulo enfoca el análisis en los primeros resultados conseguidos en la investigación, resultados diversos por sus técnicas de procesamiento y digitalización. En primer lugar, se exponen los resultados obtenidos del proceso fotogramétrico con las imágenes recogidas, proceso que construye una nube de puntos densos para la reconstrucción del terreno. Se describen los resultados obtenidos con la utilización del método de criterios ideales para un mejor resultado en la generación de la nube de puntos, y luego se presentan los modelos digitales y ortomosaicos. A continuación, se representan los mapas temáticos creados en base a los modelos digitales, realizando una descripción territorial de los geossítios estudiados y detalles de las características y componentes identificados. Finalmente, se analizan los resultados conseguidos del proceso de monitoreo, análisis comparativo trabajado con cartografía de años anteriores, y enumerando todos los detalles y diferencias registradas por geossítio.

4.2. Evaluación de la calidad de los modelos

4.2.1. Nube de puntos georreferenciados

En la fase de generación de nube de puntos georreferenciados, se requiere la identificación de puntos de correspondencia entre los puntos clave de todas las fotografías aéreas. Estos puntos de correspondencia son necesarios en el proceso de construcción final del terreno, luego de la georreferenciación, interpolación y clasificación de los puntos. Debido a diversas características del terreno y a los errores de proyección de las fotografías, esta técnica de correspondencia no siempre presenta una garantía de que cada punto clave este representado en todas las fotografías. Es así que la técnica (“Keypoint correspondence”) aplica un umbral mínimo de diferentes valores de correspondencia, utilizando el método de relación euclidiana del vecino próximo para aumentar las posibilidades de coincidencia correcta (Smith et al, 2016). Considerando este factor variante, se elaboró un método de criterios ideales para el proceso de obtención de la nube de puntos densificadas, trabajando con tres umbrales mínimos pre-establecidos (“mínimum number of matches”): 3, 4 y 5. Se procesaron así los modelos usando estos parámetros en cada geossítio, evaluando el más riguroso en la creación de la nube de puntos. Los análisis de resultados se realizaron visualmente con las nubes de puntos creadas y con el modelo digital derivado de sombras “Hillshade”. Este último, a pesar de ser ya un resultado de la interpolación de la nube de puntos, fue muy útil en el proceso de identificar áreas de vacíos de información o áreas con menos correspondencias en las capturas, que se identifican así claramente (Fig. 4.1). El análisis fue complementado con la generación de curvas de nivel para cada modelo, como fuente de información para evaluar posibles errores.

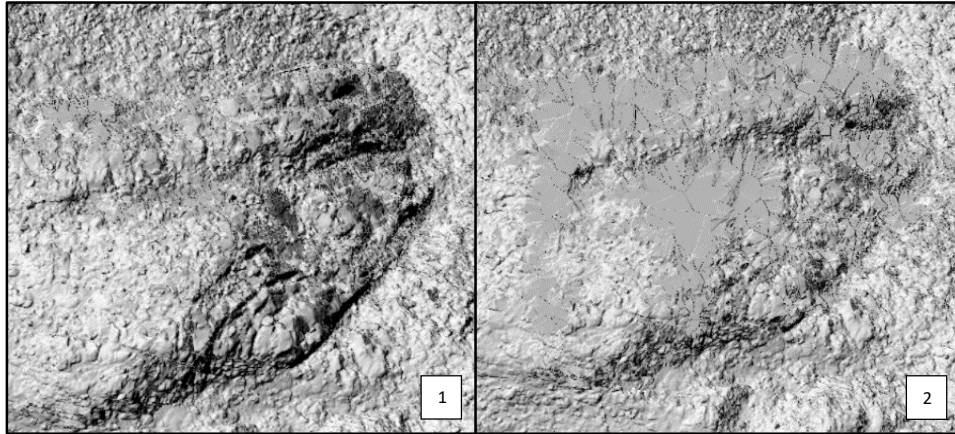


Figura 4.1. Ejemplos de la aplicación de modelos de sombras “Hillshade” para evaluación de la calidad de las nubes de puntos. En las imágenes se muestran los resultados de los modelos generados con diferentes umbrales mínimos de correspondencia, presentando el modelo n°2 más áreas con vacíos de información y composición errónea del modelo.

El análisis visual de los modelos de sombras permite una rápida identificación de las pequeñas áreas donde la nube de puntos no logra localizar las correspondencias suficientes para la generación del modelo. Estas quedan con superficies planas, resultado de la interpolación y son muy fácilmente identificables (Fig. 4.1). Por ese motivo, se identificaron algunas áreas estratégicas de visualización, en los sectores donde se hayan localizado puntos de correspondencia de manera errónea, presentando así un modelo digital incompleto o erróneo. Además de observar el modelo de sombras, se usó sistemáticamente la nube de puntos, para identificar que la nube presente una buena calidad visual, sin puntos “outlier” fuera de la superficie genérica del modelo, no representando correctamente las superficies del terreno. Para una mejor descripción del análisis, se presentan mosaicos comparativos con las diferencias identificadas por cada geossítio y describiendo el área.

Para el geossítio *Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza*, la nube de puntos creada con 3 correspondencias, presenta una mejor composición del modelo, con escasos puntos mal localizados, en comparación con los modelos creados en base a 4 y 5 correspondencias (Fig. 4.2). El modelo generado con 4 correspondencias, presenta áreas incompletas y con más puntos mal localizados debido a la limitación de correspondencias identificadas. El modelo con 5 correspondencias, incrementa aún más las áreas con falta de información en la composición del modelo, dificultando en gran medida la visualización de las características del terreno. Los mismos resultados se presentaron para el geossítio *Moreias da Lagoa Seca*, donde la nube de puntos con 3 correspondencias fue la que mejores resultados arrojó, con una mejor composición y calidad de la nube de puntos (Fig. 4.3).

El análisis de resultados en el geossítio de Covão do Boi presento un contraste en comparación con los otros dos geossítios. Los tres modelos de sombreado “Hillshade”, no mostraron marcadas diferencias entre sí, presentando modelos con una composición completa de la nube de puntos, exponiendo pocos puntos dispersos y escasos puntos mal localizados. Una consideración importante dentro del análisis de los resultados de este método, es el tipo de topografía que presenta Covão do Boi, mostrando un territorio escarpado con afloramientos graníticos acentuados, características diferentes del área de Lagoa Seca y Salgadeiras, que son espacios más abiertos, con más áreas de planicie y con menos presencia de áreas escarpadas.

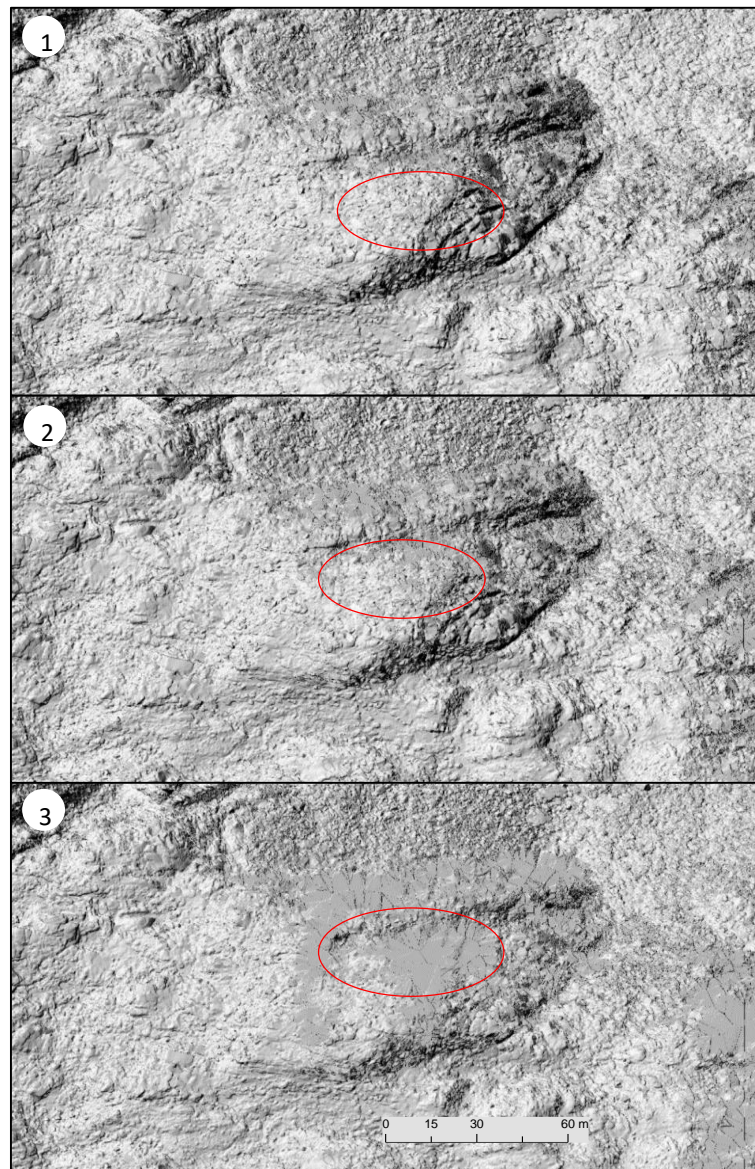


Figura 4.2. Ejemplo del análisis usando el método de criterios ideales de correspondencias utilizando el modelo de sombras “Hillshade”, del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza. En la imagen n°1, se muestra el modelo creado en base a 3 correspondencias; la n°2 el modelo creado en base a 4 correspondencias; y la imagen n°3 muestra el modelo creado con 5 correspondencias.

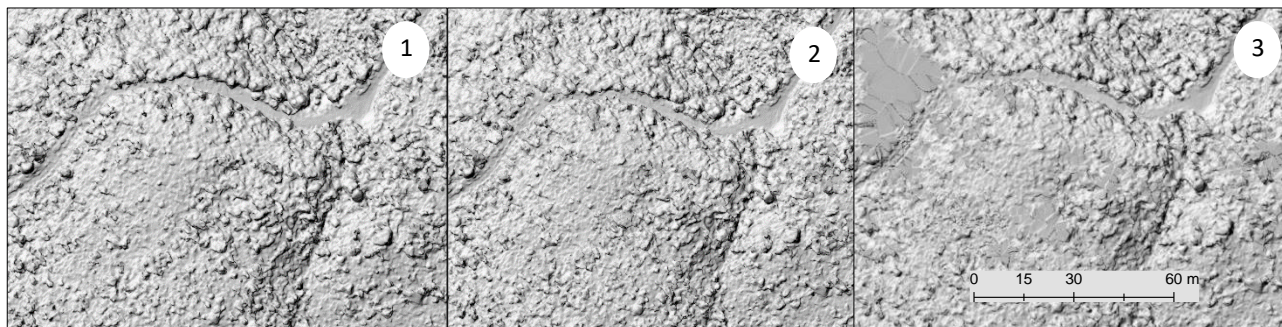


Figura 4.3. Ejemplo del análisis usando el método de criterios ideales de correspondencias utilizando el modelo de sombras "Hillshade", del geossítio Moreias da Lagoa Seca. En la imagen nº1, se muestra el modelo creado en base a 3 correspondencias; la nº2 el modelo creado en base a 4 correspondencias; y la imagen nº3 muestra el modelo creado con 5 correspondencias.

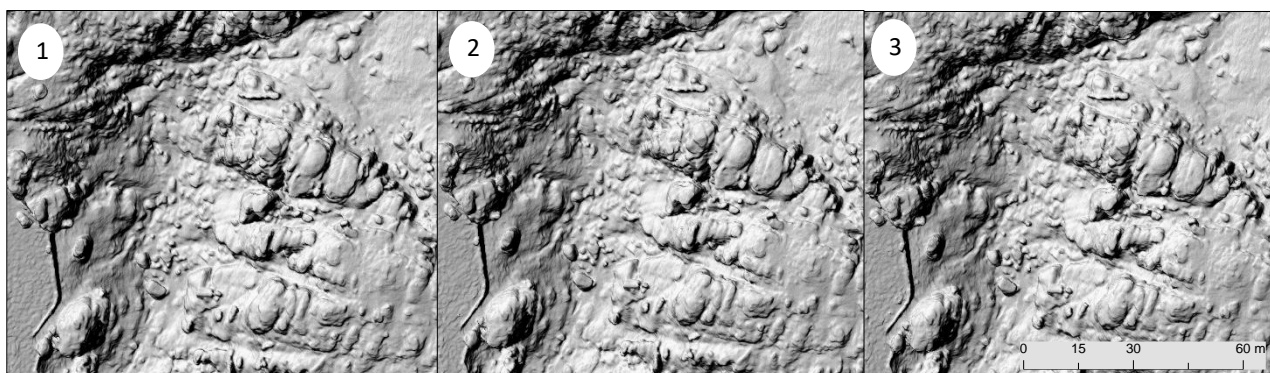


Figura 4.4. Ejemplo del análisis del método de criterios ideales de correspondencias utilizando el modelo de sombras "Hillshade", del geossítio Covão do Boi. De manera correlativa, se presentan los modelos con 3, 4 y 5 correspondencias. Como se observan en las imágenes, los resultados son muy semejantes, no arrojando diferencia en la composición del modelo.

Concluyendo, el umbral mínimo de correspondencias óptimo para los geossítios en estudio es de 3 correspondencias, ya que se generan modelos con menos puntos mal localizados y una mejor composición del modelo de superficie. Se logró analizar que los modelos con 3 puntos de correspondencias presentaron áreas más completas de información y con menos errores de localización, en consecuencia, no fue preciso una interpolación excesiva para la generación de ortomosaicos. Para las etapas de interpretación y caracterización de los mapas temáticos, se utilizaron los modelos digitales generados a partir de la nube de puntos con 3 correspondencias.

4.2.2. Modelo digital de superficie (DSM)

Luego de la técnica de correspondencia de puntos clave, georreferenciación e interpolación, se generaron los modelos digitales de superficie (DSM). Los DSM son representaciones 3D de la superficie del terreno y de la vegetación. Para cada geossítio, se utilizaron los DSM generados para crear modelos derivados como el modelo de pendiente "Slope" y sombreado "Hillshade".

En el geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza, se obtuvo un DSM de 2,7 cm de resolución, cubriendo un total de 0,8 km² de área del geossítio (Fig. 4.5). Los valores presentes en el DSM, permiten la evaluación de áreas de diferentes altitudes, que varían entre los 1580 y 1840 m. El sector oeste, área adyacente a la carretera, muestra los valores más altos, mientras que el sector noreste, grafica el área de pendientes escarpadas y los sectores más bajos del geossítio.

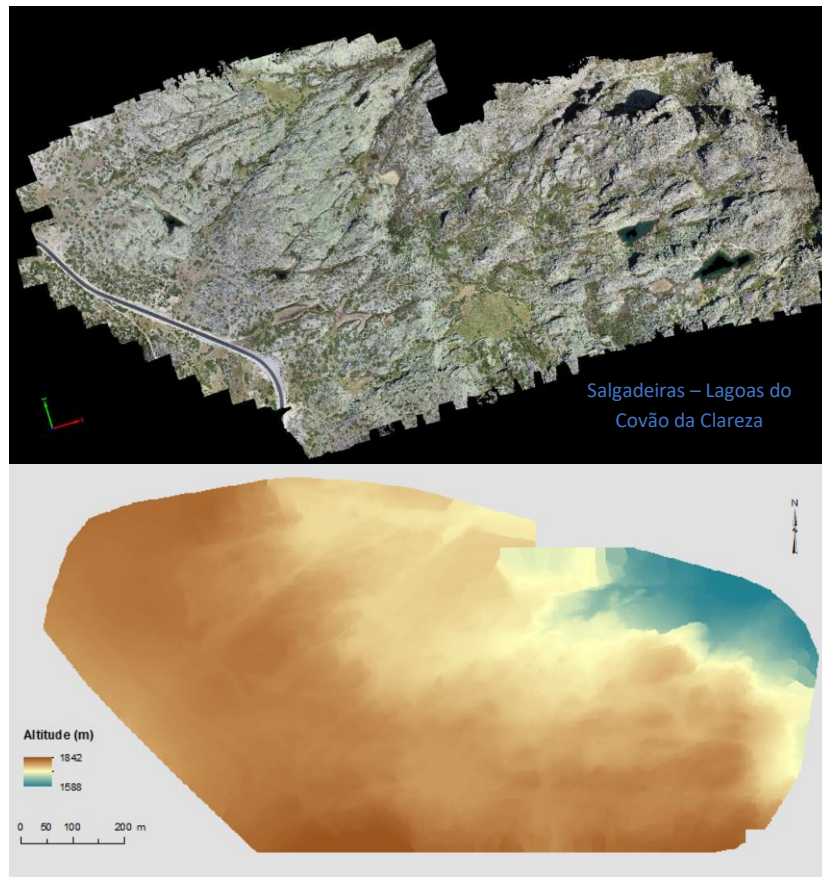


Figura 4.5. Nube de puntos densificada 3D con visualización desde el nadir y modelo digital de superficie (DSM) del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

En el geossítio Moreias da Lagoa Seca, se generó un DSM de 3,4 cm de resolución, comprendiendo un área aproximada de 1,1 km² (Fig. 4.6). Este geossítio presenta valores de altitud entre aproximadamente los 1240 y 1470 m. El área de este geossítio muestra una mediana similitud en su relieve, siendo solo el sector oeste, el que presenta pendientes escarpadas.

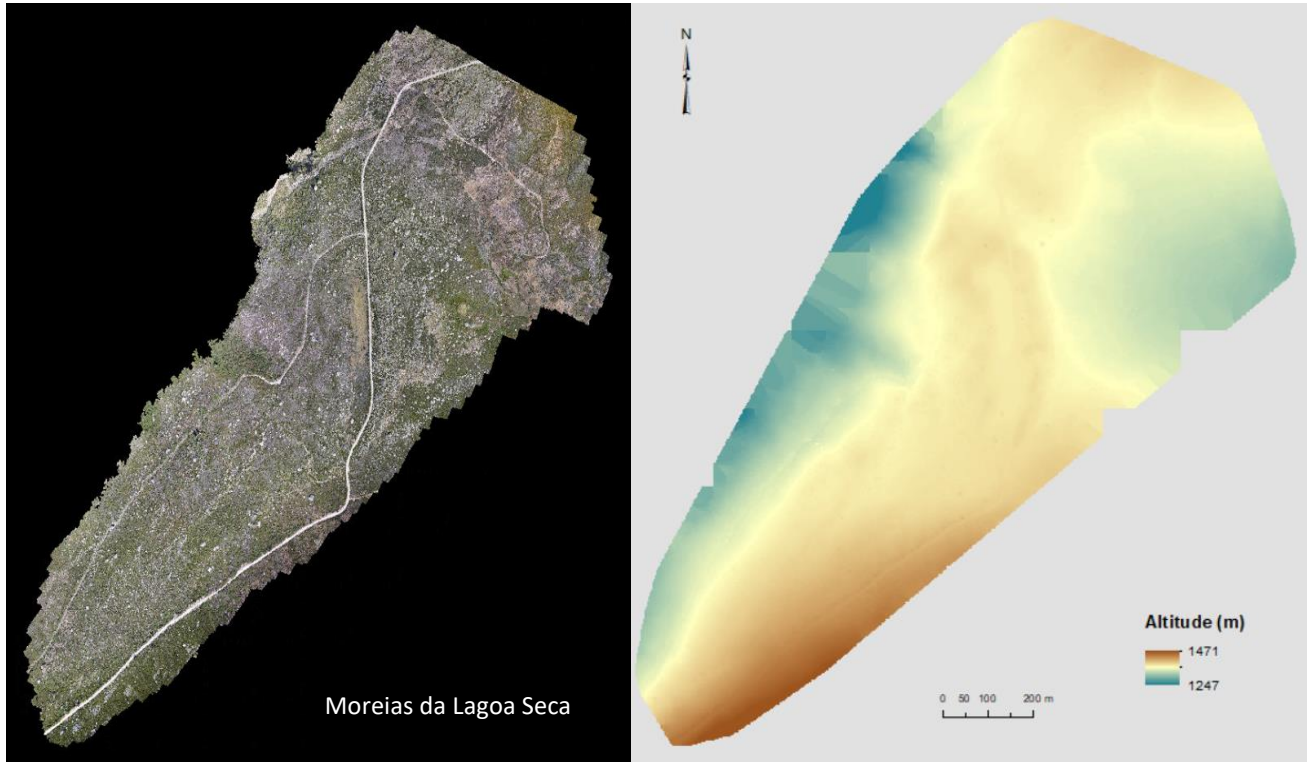


Figura 4.6. Nube de puntos densificada 3D con visualización desde el nadir y modelo digital de superficie (DSM) del geossítio Moreias da Lagoa Seca.

Para el geossítio Covão do Boi, el modelo DSM fue generado con una resolución de 3,2 cm, cubriendo un área de 0,2 km² (Fig. 4.7). El modelo constituye diferentes valores de altitud en toda el área del geossítio, alternando entre los valores de aproximadamente 1740 y 1850 m, siendo el geossítio que presenta mayores diferencias en su topografía, desemejantes a los otros dos geossítios, donde casi la totalidad del área modelada mostraban valores muy cercanos y solo un sector con pendientes pronunciadas. En Covão do Boi se puede apreciar sectores con características variadas, siendo el sector Este el que presenta los afloramientos graníticos más elevados. Todas las características particulares del relieve del geossítio, serán descritas a detalle en la interpretación y caracterización de los modelos siguientes.

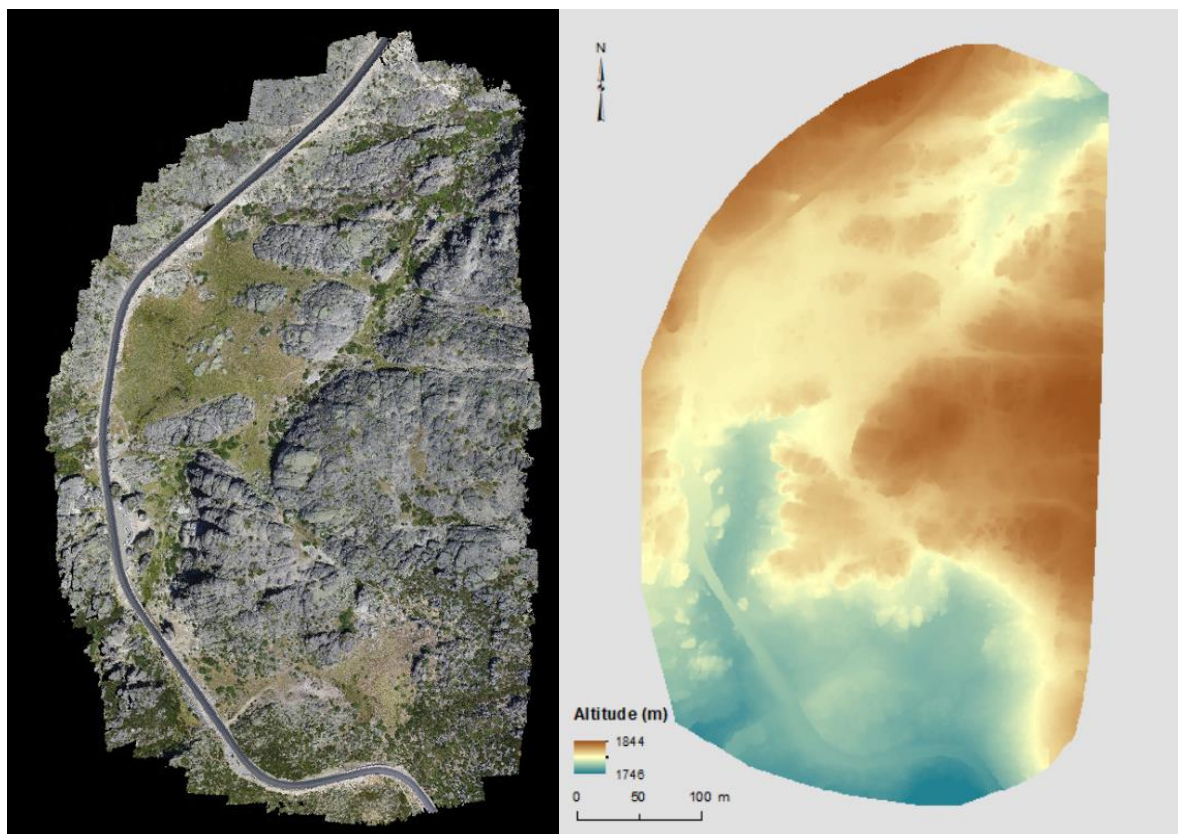


Figura 4.7. Nube de puntos densificada 3D con visualización desde el nadir y modelo digital de superficie (DSM) del geossítio Covão do Boi.

4.2.3. Ortomosaicos

El ortomosaico creado a partir de la nube de puntos georreferenciados, fue el componente principal para la siguiente etapa de interpretación y caracterización de los geossítios. Los ortomosaicos presentaron la misma resolución que los modelos DSM, resolución óptima para la tarea de identificación de todos los componentes naturales y antrópicos de los geossítios. Los tres grandes ámbitos de características relevantes que exponen los ortomosaicos, son las áreas afloramientos graníticos y de depósitos, áreas con una vegetación diversa y las vías de acceso vehicular y peatonal. Realizando una descripción general, la resolución de los ortomosaicos permite visualizar incluso áreas de pisoteo, áreas de erosión o de suelo desnudo, sectores con bloques de rocas con variada dimensión, sectores diferenciados por su tipo de vegetación, identificación de lagunas o cuerpos de agua, entre otros elementos a gran detalle. A continuación, se presentan los ortomosaicos de los tres geossítios (Figuras 4.8, 4.9 y 4.10).

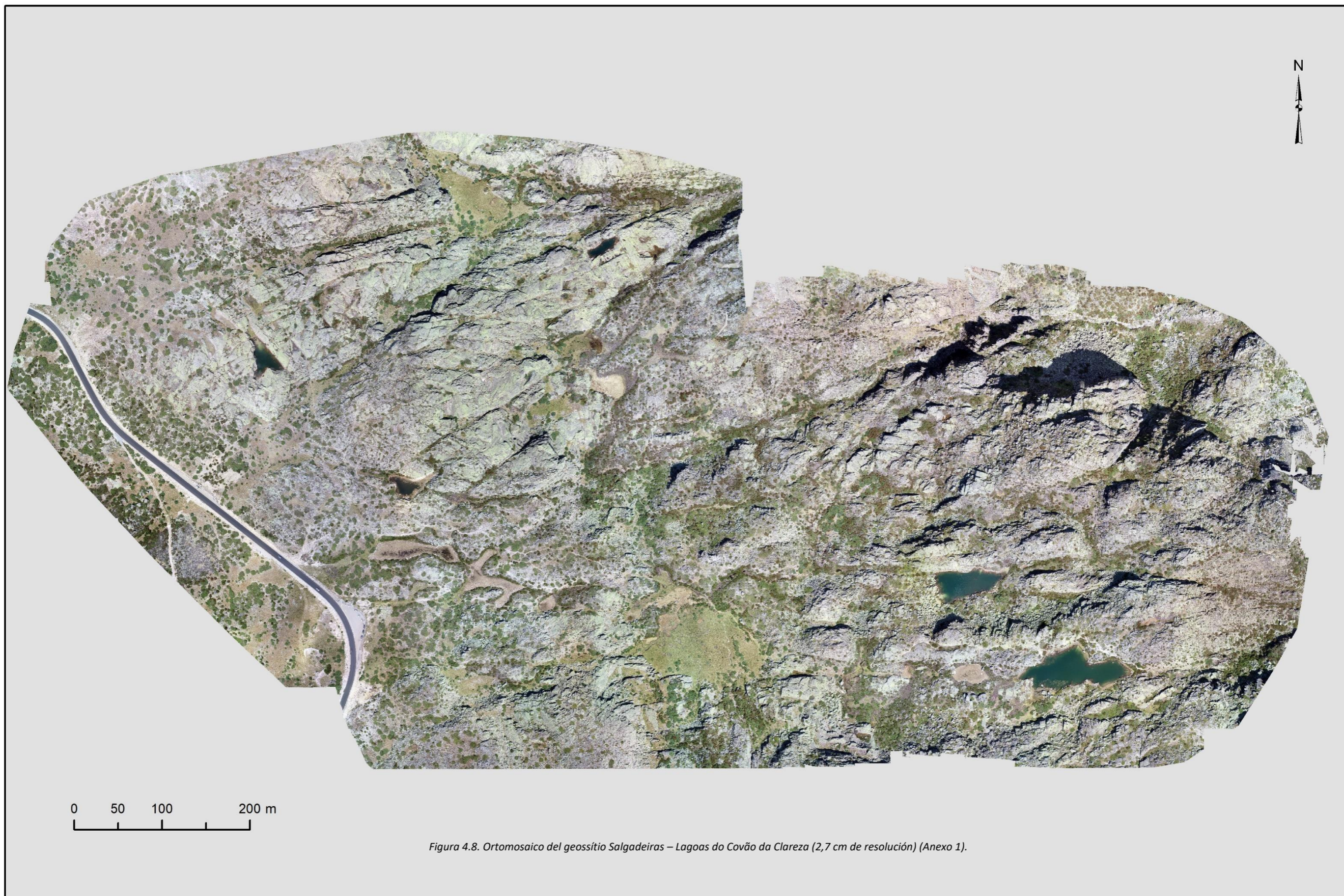


Figura 4.8. Ortomosaico del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clarezza (2,7 cm de resolución) (Anexo 1).



Figura 4.9. Ortomosaico del geossítio Moreias da Lagoa Seca (3,4 cm de resolución (Anexo 2)).



Figura 4.10. Ortomosaico del geossítio Covão do Boi (3,2 cm de resolución) (Anexo 3).

4.3. Análisis de la cartografía de alta resolución

4.3.1. Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza

El geossítio Salgadeiras presenta un paisaje propio de montaña, conjugando una diversa vegetación con afloramientos graníticos marcados por la dinámica glaciaria, característica del territorio más elevado de Serra da Estrela. En el análisis del geossítio, se identifica también la existencia de la “Rota do Maciço Central”, un sendero peatonal que cruza toda el área de estudio, y que fue útil en el proceso de identificación de áreas de pisoteo. La cobertura superficial del área estudiada de Salgadeiras no se encuentra dominado por un componente en particular (Fig. 4.11), compartiéndolo entre afloramientos graníticos en un 35%, áreas arbustivas con un 36% y comunidades herbáceas en un 17%. Las áreas de las lagunas temporales ocupan un 5% de la superficie, dejando el 7% para áreas con suelo desnudo y conjunto de rocas dispersas.

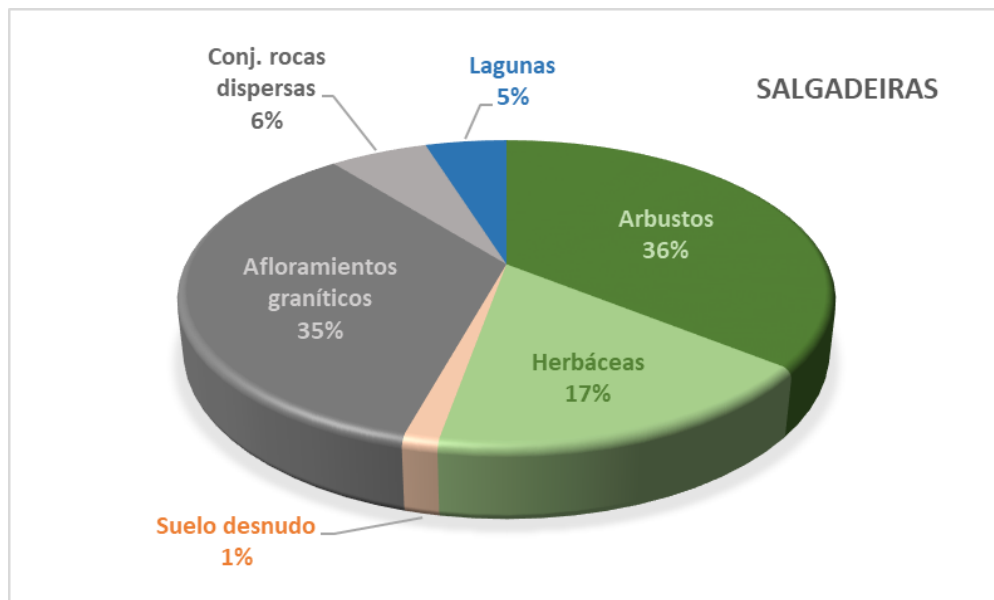


Figura 4.11. Valores porcentuales de la cobertura superficial del geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza

La resolución de los modelos digitales obtenidos, permitió crear cartografía con un nivel de detalle muy alto, siendo posible identificar varios componentes como zonas de pisoteo, vegetación, conjuntos de lagunas de diferentes dimensiones, áreas de suelo desnudo y depósitos. El proceso de interpretación y caracterización utilizó los ortomosaicos como soporte de edición, y se utilizaron como fuentes de apoyo y consulta, la nube de puntos densificada 3D, el DSM y sus modelos derivados de pendiente y sombreado. Como se muestra en la figura 4.12, la cartografía final del geossítio tiene como componentes

principales la: geomorfología, hidrografía, vegetación y componentes antrópicos.

a. Geomorfología

El paisaje de Salgadeiras está compuesto por superficies graníticas desnudas y pulidas en varias ubicaciones, con depósitos de bloques angulares dispersos y áreas de suelo desnudo adyacentes a la carretera principal. La resolución del ortomosaico permitió localizar los sectores con afloramientos graníticos, logrando representar diaclasas siguiendo las fracturas superficiales de los afloramientos, logrando mapear sus orientaciones. Se identificaron en la cartografía bloques erráticos dispersos, categorizadas por su dimensión, en menores y mayores a un metro de diámetro y sectores que presentaban suelo desnudo, distribuidas por toda el área del geossítio.

b. Hidrografía

El geossítio de Salgadeiras es un local muy visitado por su paisaje y por sus lagunas representativas. Se delimitaron 20 lagunas temporales (Tab. 4.1), que en épocas de invierno concentran agua y que para épocas de verano se encuentran prácticamente secas.

ID	UTM		Área (m ²)
	Coordenadas X	Coordenadas Y	
1.	617818	4466132	19,8
2.	617829	4466134	20,6
3.	617929	4466222	21,1
4.	617686	4466199	22,4
5.	617926	4466138	27,3
6.	617692	4466205	28,3
7.	617897	4466139	33,1
8.	617970	4466163	35,8
9.	617932	4466147	36,2
10.	617940	4466155	42,4
11.	617964	4466174	46,8
12.	617948	4466185	50,2
13.	617671	4466274	59,8
14.	617827	4466191	73,9
15.	618076	4466116	83,2
16.	617643	4466211	236,9
17.	617791	4466194	252,4
18.	617725	4466221	1352,9
19.	617926	4466188	1613,6
20.	617636	4466255	1689,1

Tabla 4.1. Características generales de las lagunas temporales identificadas, geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

El área mayor de la laguna temporal identificada es de 1690 m², localizada en el sector Oeste del geossítio, a solo 60 metros de la carretera principal. También fueron delimitadas otras lagunas de 1613 m² y 1350 m², localizadas al Este de la primera laguna, a solo 20 metros de distancia. Las otras 17 lagunas presentan un área entre los 20 y 250m², todas ellas sin presencia de agua al momento de la captura fotográfica, sin embargo, se lograron identificar por características como la humedad del suelo, su vegetación distintiva y su delimitación rocosa (Fig. 4.12). Los modelos de sombreado y curvas de nivel creados, permitieron definir la profundidad de 1 a 1,5 m. Se identificaron también canales de drenaje derivadas de las lagunas temporales, adyacentes a la zona de turberas del geossítio.

c. Vegetación

La vegetación en este local presenta características del piso bioclimático superior, con vegetación tolerante a la nieve o al hielo. Se identifican prados “quionófilos”, así como también comunidades de turberas en el sector Este del geossítio. Se identificó vegetación arbustiva, constituida por zimbros rastreros (*Juniperus communis*), y especies de gramíneas permanentes, como el cervum (*Nardus stricta*), gramínea típica en zonas húmedas de montaña, caracterizada por presentar espigas superficiales en este geossítio (Fig. 4.12).

d. Componentes antrópicos

En la categoría de componentes antrópicos, se localizó la red de zonas de pisoteo presentes en el área accesible del geossítio, siendo categorizadas por zonas de pisoteo en suelo desnudo y por zonas de pisoteo en vegetación, particularmente en gramíneas (Fig. 4.13).

Esta red de pisoteo se encuentra localizada mayoritariamente en el sector Norte del geossítio, con dirección Oeste-Este, ligando la carretera EN339 hacia las lagunas (Fig. 4.12). Las áreas de pisoteo en suelo desnudo identificadas presentan una extensión de 1810 metros, y las áreas de pisoteo con presencia de vegetación de 1550 metros. En relación con el área total estudiada del geossítio (0,13 km²), los valores de ocupación del pisoteo son de 25846 m/km². Adicionalmente a la caracterización de la red de pisoteo, estableciendo sus medidas lineales, definiendo una línea central en los caminos, se representaron también las extensiones aproximadas afectadas por pisoteo, que serán fuente de apoyo para el proceso de monitoreo con el fin de detectar variaciones a través del tiempo. Finalmente, dentro de otros componentes antrópicos se catalogan la carretera, estacionamientos y paneles informativos del geossítio.

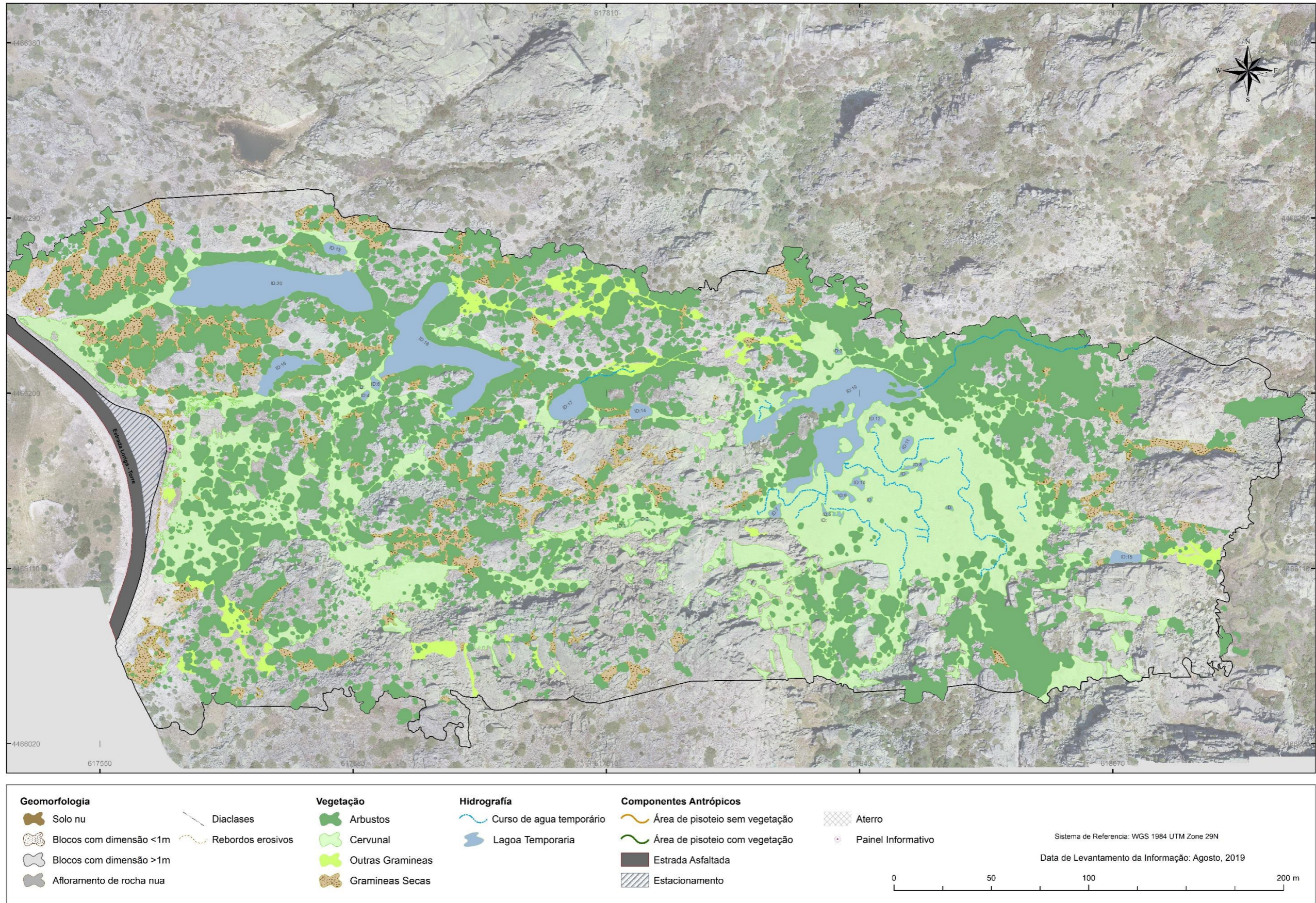


Figura 4.12. Mapa de ultra-alta resolução de la cobertura superficial (landcover) del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clarezza (Anexo 4).

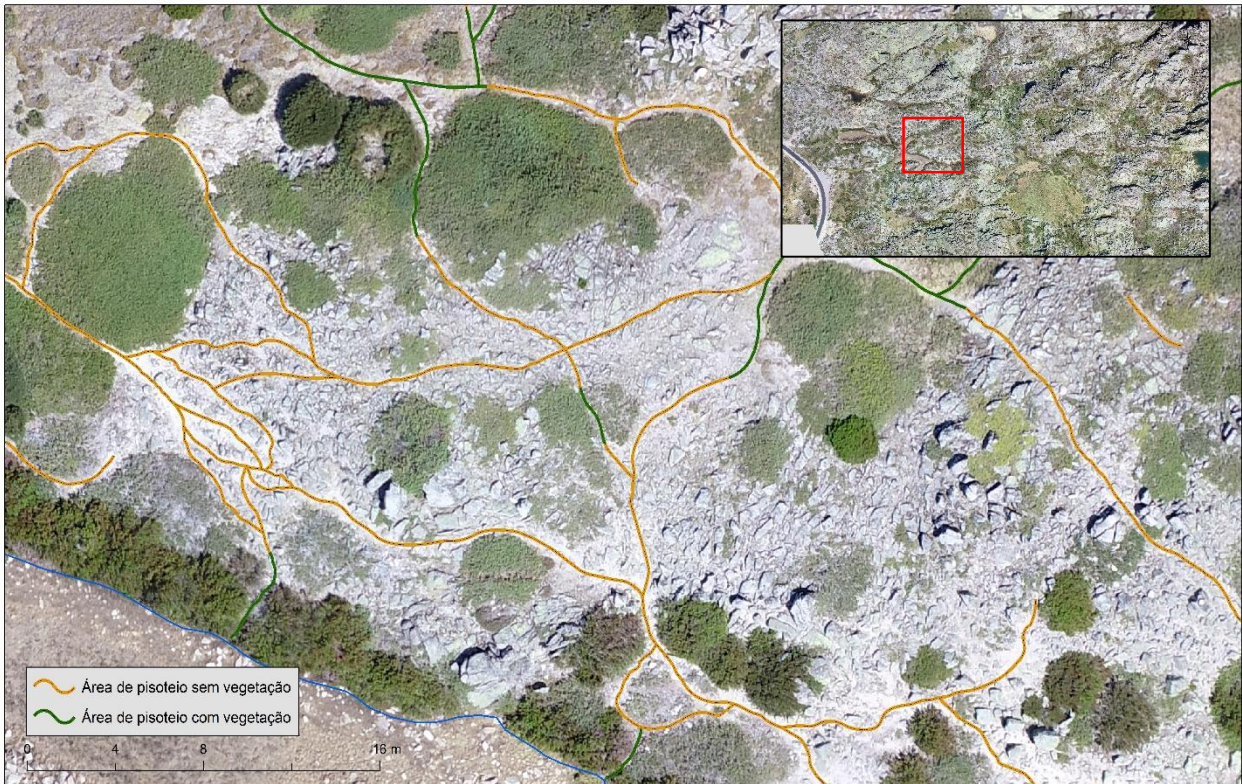


Figura 4.13. Ejemplo del pisoteo en el geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clarezza.

4.3.2. Moreias da Lagoa Seca

El geossítio Moreias da Lagoa Seca está caracterizado por una densa cobertura de arbustos, y por el gran valor científico que encierra al poseer evidencias geomorfológicas de las dinámicas glaciares del Valle del Zêzere. Este geossítio se localiza en la vertiente oriental del valle, alrededor de 1400 metros, y presenta un territorio comprendido por una vegetación arbustiva, bloques graníticos distribuidos por toda la superficie del geossítio, y una zona deprimida entre dos crestas morrénicas, que forma al componente que da origen a su nombre: Laguna Seca.

La cobertura superficial del área estudiada de Lagoa Seca se encuentra dominada por comunidades arbustivas, ocupando un 85% del terreno (Fig. 4.14), las especies herbáceas un 3,5% y un 9% ocupada por grupos de rocas graníticas dispersas. El área de laguna temporal ocupa un 2% de la superficie, dejando menos de 1% para áreas con suelo desnudo.

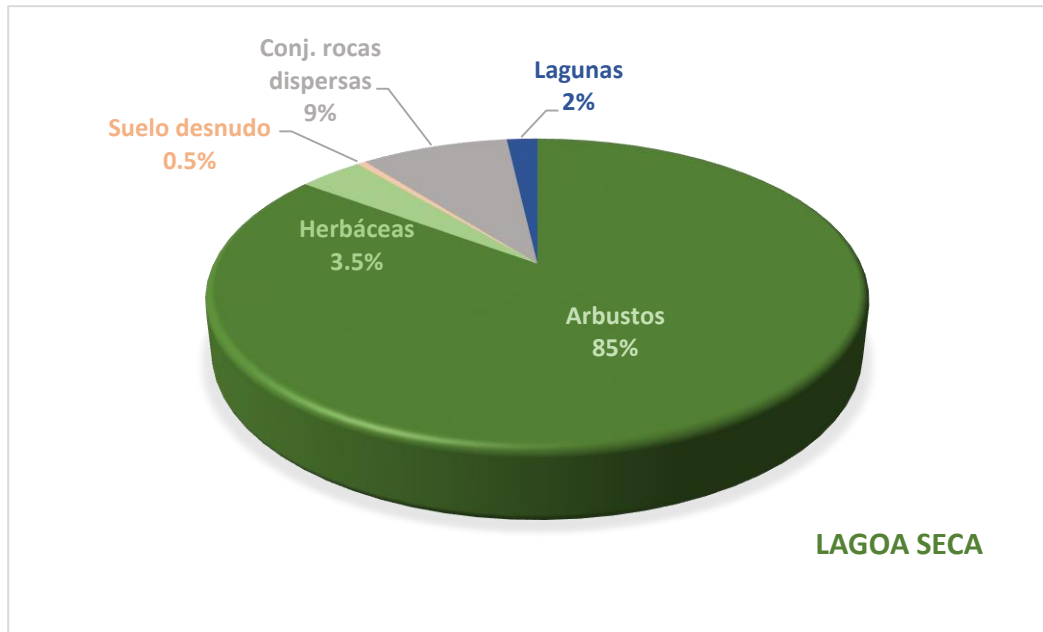


Figura 4.14. Valores porcentuales de la cobertura superficial del geossítio de Lagoa Seca.

Este geossítio es el único de los tres estudiados, que no presenta un acceso directo a la carretera principal, y no muestra un alto flujo de visitantes (información oral G. Vieira), manteniendo así sus componentes y dinámicas naturales sin alteraciones o impactos generados por la actividad directa de los visitantes. El impacto principal en el área, ha sido un incendio forestal ocurrido en 2005 y que destruyó parte de la cubierta arbórea que existía. La cartografía de Lagoa Seca representa componentes principales como su geomorfología, hidrografía, vegetación y elementos antrópicos (Fig. 4.15).

a. Geomorfología

Se identificaron principalmente, grandes bloques graníticos, diferenciadas por su dimensión (mayores y menores a un metro) siendo útiles, por un lado, para la definición de los lineamientos de crestas morrénicas glaciares en el geossítio. Nuestro análisis permitió ir más allá del conocimiento anterior (Vieira, 2004) en que se tenían identificado 4 arcos morrénicos. Según nuestra interpretación, el Geossítio tiene, efectivamente, 5 arcos morrénicos bien definidos en el collado (Fig. 4.15). Los arcos fueron caracterizados siguiendo las líneas de rocas graníticas de gran dimensión y armonizado con el paisaje de collado del geossítio. La resolución del ortomosaico permitió también, mapear la localización de alveolos en bloques de rocas graníticas, concavidades resultado de procesos químicos de disolución post-glaciares, que aparecen principalmente en el cuarto y quinto arco morrénico (Fig. 4.16). Se identificaron 69 alveolos en rocas graníticas, con un diámetro entre los 10 cm y los 90 cm aproximadamente.

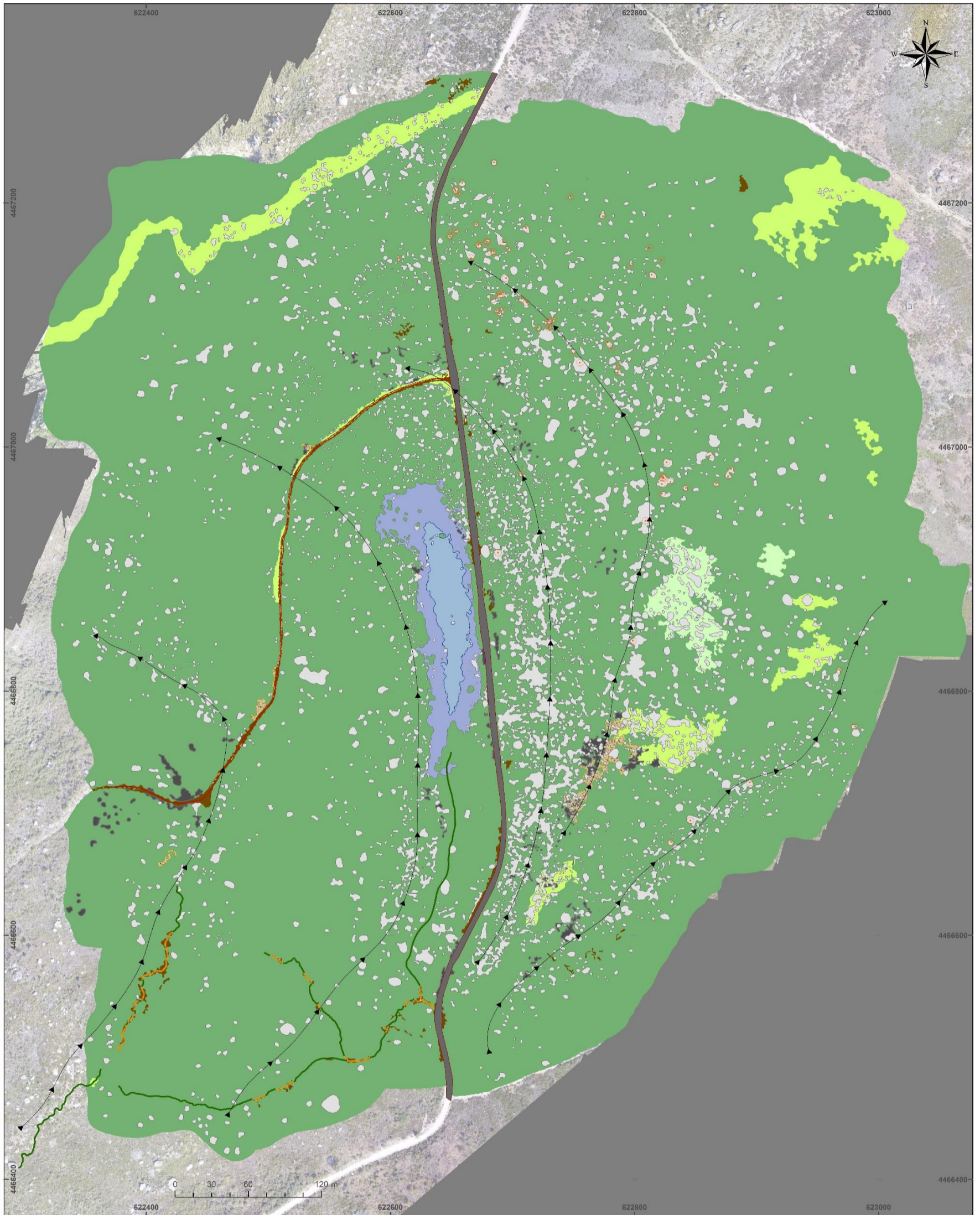


Figura 4.15. Mapa de ultra-alta resolução de la cobertura superficial (landcover) del geossítio Moreias da Lagoa Seca (Anexo 5).



Figura 4.16. Individualización de alveolos en bloques de rocas graníticas – Geossítio Moreias da Lagoa Seca.

b. Hidrografía

El único elemento identificado en el geossítio, fue la zona de la laguna seca, una laguna temporaria, que en épocas de verano no presenta volúmenes de agua. Sin embargo, debido a los rastros de humedad y diferencias en el tipo de vegetación de la zona, fue posible establecer los perímetros de la laguna. Se diferenciaron dos categorías: el perímetro de la laguna en su estado máximo de acumulación, encerrando 5 900 m, y el perímetro de la laguna en su estado regular de acumulación con 3 120 m.

c. Vegetación

El geossítio Moreias da Lagoa Seca está caracterizada por floresta de “giestais” e “urzais” con especies como urze roja (*Erica australis*) y giestas amarillas (*Cytisus striatus*) y blancas (*Cytisus multiflorus*). Se identificaron gramíneas en los sectores Norte del geossítio, mayoritariamente en el sector Noroeste, debido a la creación de nuevas áreas de acceso, y en los sectores Sureste. Entre las gramíneas representadas se ubican diversas comunidades como cervunal y gramíneas secas.

d. Componente antrópico

Su localización alejada de la carretera principal y la presencia de una vía carrozable, pero no asfaltada, bien definida en el centro del geossítio, conlleva a no encontrar una gran red de zonas de pisoteo en este geossítio (Fig. 4.17), localizándose estas, solo en el sector Suroeste. Las zonas de pisoteo en suelo desnudo fueron de aproximadamente 245 m, y de 725 m de zonas de pisoteo en gramíneas. En relación con el área total estudiada del geossítio (0,49 km²), los valores de ocupación del pisoteo son de 1979 m/km². En este geossítio fue más complicado establecer las áreas de pisoteo en geometría poligonal, ya que no se identificaban claramente, y solo fue posible representarlas de manera lineal. Finalmente, se caracterizaron la vía carrozable, la vía cortafuego localizada en el sector occidental del collado y la mesa interpretativa del geossítio.

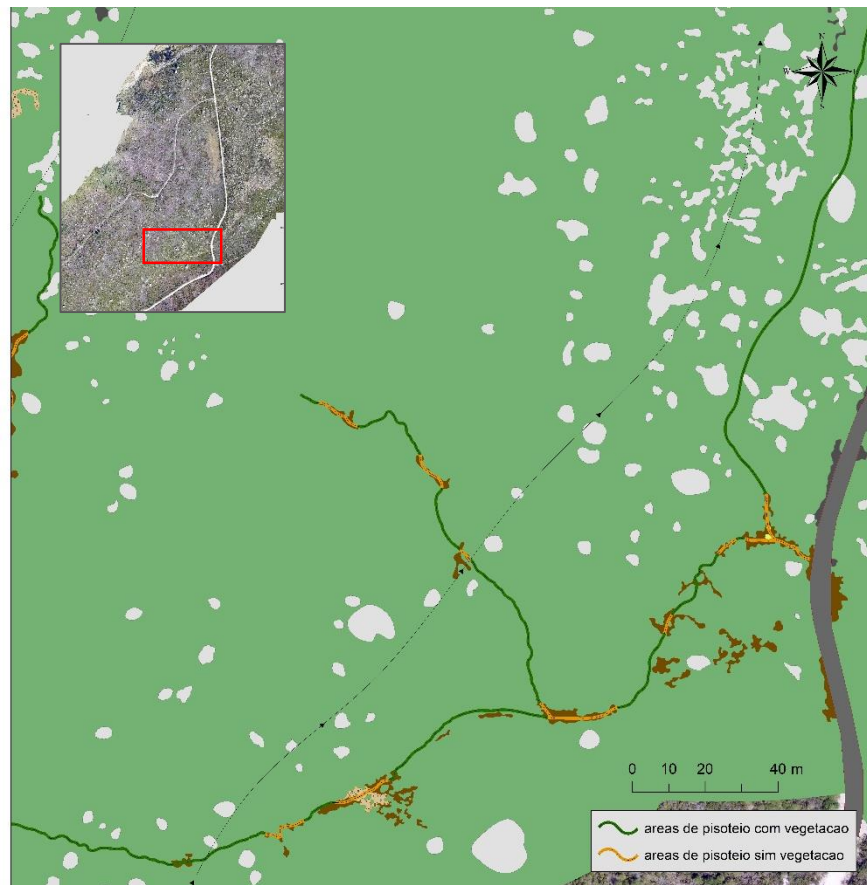


Figura 4.17. Sector Suroeste con áreas de pisoteo – Geossítio Moreias da Lagoa Seca.

4.3.3. Covão do Boi

Covão do Boi es el local que presenta las características más heterogéneas de los tres geossítios estudiados, una miscelánea de afloramientos graníticos imponentes y prados de gramíneas endémicas, particularidad que amplía su interés científico y turístico. La cobertura superficial del área estudiada de Covão do Boi se encuentra dominada por afloramientos graníticos, ocupando un 49% del terreno (Fig. 4.18), las especies arbustivas un 21% y las herbáceas un 20%. Los conjuntos de rocas graníticas ocupan un 7% de la superficie estudiada, y un 3% por suelo desnudo. Este geossítio no presenta cuerpos de agua, apenas líneas de agua sin flujo permanente.

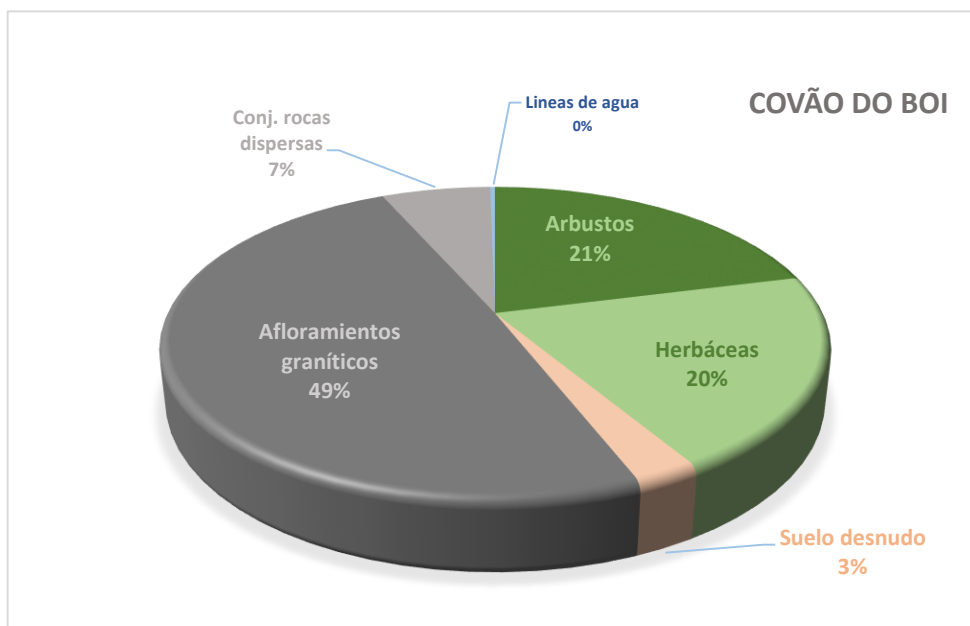


Figura 4.18. Valores porcentuales de la cobertura superficial del geossítio de Covão do Boi.

El geossítio de Covão do Boi se localiza a 1840 m, y presenta la particularidad del monumento a la Señora de Boa Estrela, esculpida sobre roca granítica y representa un punto de visita obligatoria del lugar. Otra característica, son las formaciones graníticas llamadas: “Columnas Graníticas de Covão do Boi”, resultado de un proceso de alteración granítica, subsecuentemente afectadas por la dinámica glaciaria, y que emergieron a la superficie posteriormente debido a procesos de erosión hídrica post-glaciaria. La cartografía de este geossítio, presenta los mismos componentes anteriores (Fig. 4.19), adicionando una categorización de las columnas graníticas identificadas.

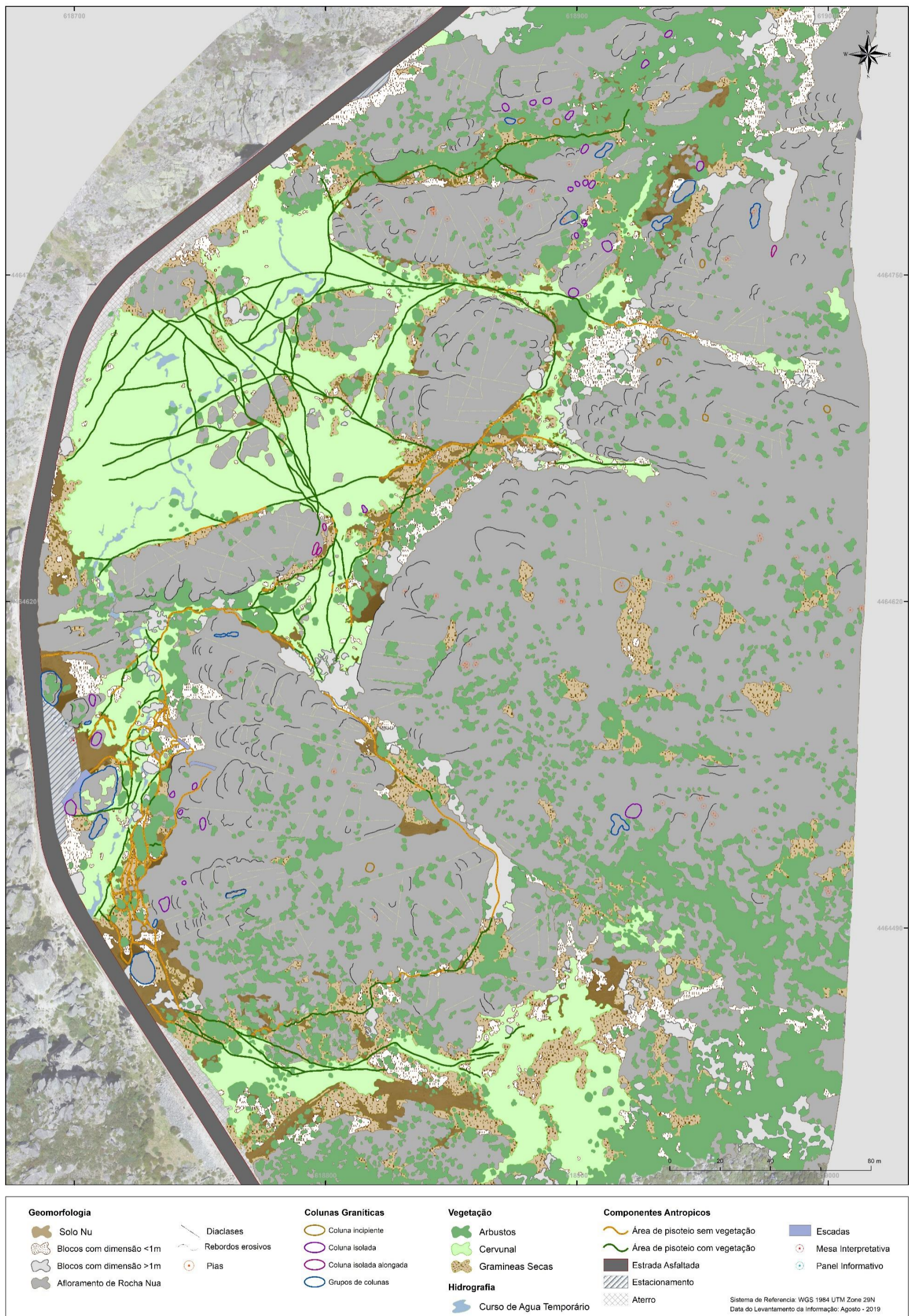


Figura 4.19. Mapa de ultra-alta resolução de la cobertura superficial (landcover) del geossítio Covão do Bo (Anexo 6).

a. Geomorfología

El elemento preponderante en Covão do Boi, son los afloramientos graníticos, componente principal del paisaje natural de este geossítio. Para percibir mejor la cartografía, se representaron los bordes erosivos de los afloramientos, indicador de los límites de pendiente y líneas escarpadas. Se caracterizaron también, particularidades de las rocas graníticas como diaclasas y alveolos. Al igual que Lagoa Seca, las rocas graníticas de Covão do Boi presentaron un gran número de alveolos, distribuidos por el sector Central, Norte y Este del geossítio (Fig. 4.20), todas identificadas en afloramientos graníticos. Se identificaron 76 alveolos, con un diámetro entre los 50 cm y 60 cm aproximadamente. Finalmente, se representaron áreas con presencia de suelo desnudo, y conjuntos de bloques de rocas dispersas.

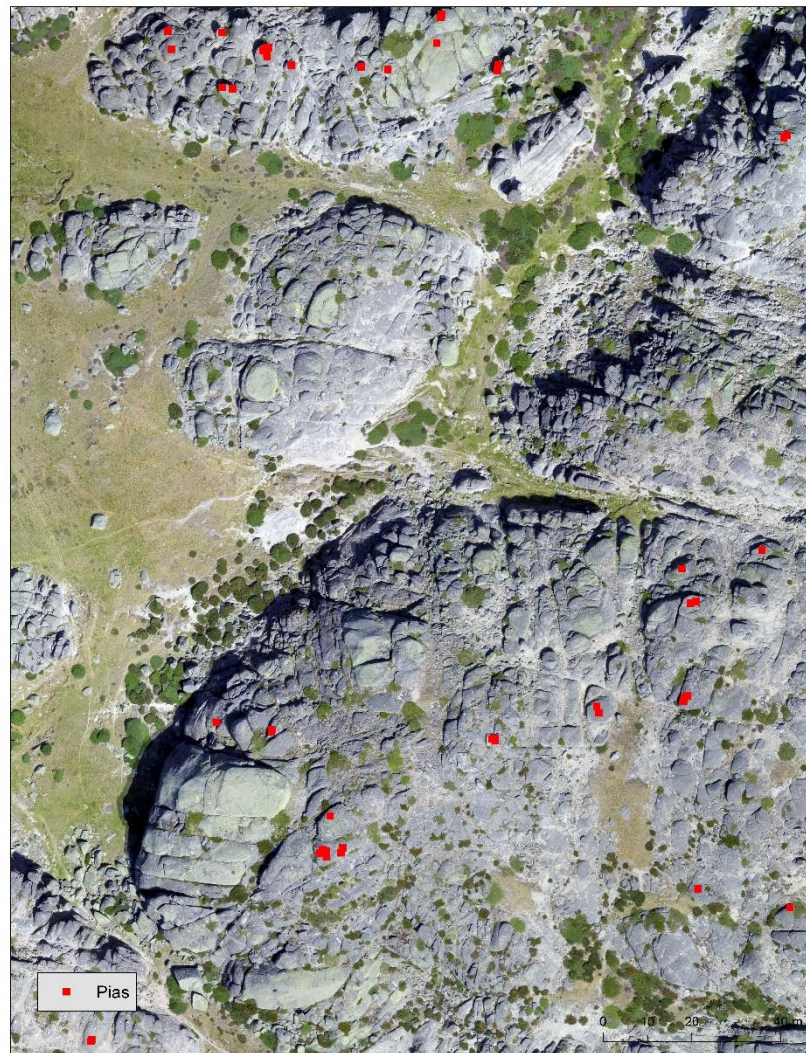


Figura 4.20. Distribución de algunos alveolos en bloques graníticos – Geossítio Covão do Boi.

b. Hidrografía

Las líneas de agua identificados en Covão do Boi, se localizan en dos sectores específicos del geossítio. En el prado de gramíneas adyacente a la carretera principal, en dirección Noroeste y con presencia de agua permanente; la otra zona de líneas de agua se localiza en zona inferior del monumento a la Señora de Boa Estrela, sin presentar un flujo permanente.

c. Vegetación

Covão de Boi es un territorio dominado por grandes afloramientos graníticos, sin embargo, se identificaron zonas con una amplia presencia de especies de gramíneas de tipo cervunal y áreas con grandes comunidades arbustivas. Los sectores Sur y Noroeste, muestran prados de gramíneas extensas, situadas adyacentes a las vías y con flujo hídrico permanente. Los grupos arbustivos se localizan también en sectores marcados, en el sector Norte y Sureste del geossítio, dándose paso entre los dominantes afloramientos graníticos.

d. Componente antrópico

El geossítio de Covão do Boi presenta una gran red de zonas de pisoteo, particularmente en áreas adyacentes a la carretera y a los pies del monumento de la Señora de Boa Estrela (Fig. 4.19). Las zonas de pisoteo con vegetación son de 2 890 m, mayoritariamente sobre herbáceas, y 1 150 m de zonas de pisoteo en suelo desnudo. En relación con el área total estudiada del geossítio (0.13 km²), los valores de ocupación del pisoteo son de 31076 m/km². Finalmente, fueron identificados otros elementos como la carretera principal, estacionamiento y paneles informativos.

4.3.4. Categorización de columnas graníticas

Covão do Boi es un geossítio que presenta un conjunto de Columnas Graníticas que encierran un alto valor científico. Las dimensiones de las columnas son variadas, con alturas entre los 0,5 m y los 9 metros, y con un diámetro de entre 1 y 5 metros. El sector Noreste del área estudiada presenta la mayoría de las columnas graníticas (Fig. 4.21), pero también se identificaron columnas de gran tamaño, en el área del monumento de la Señora de Boa Estrela.

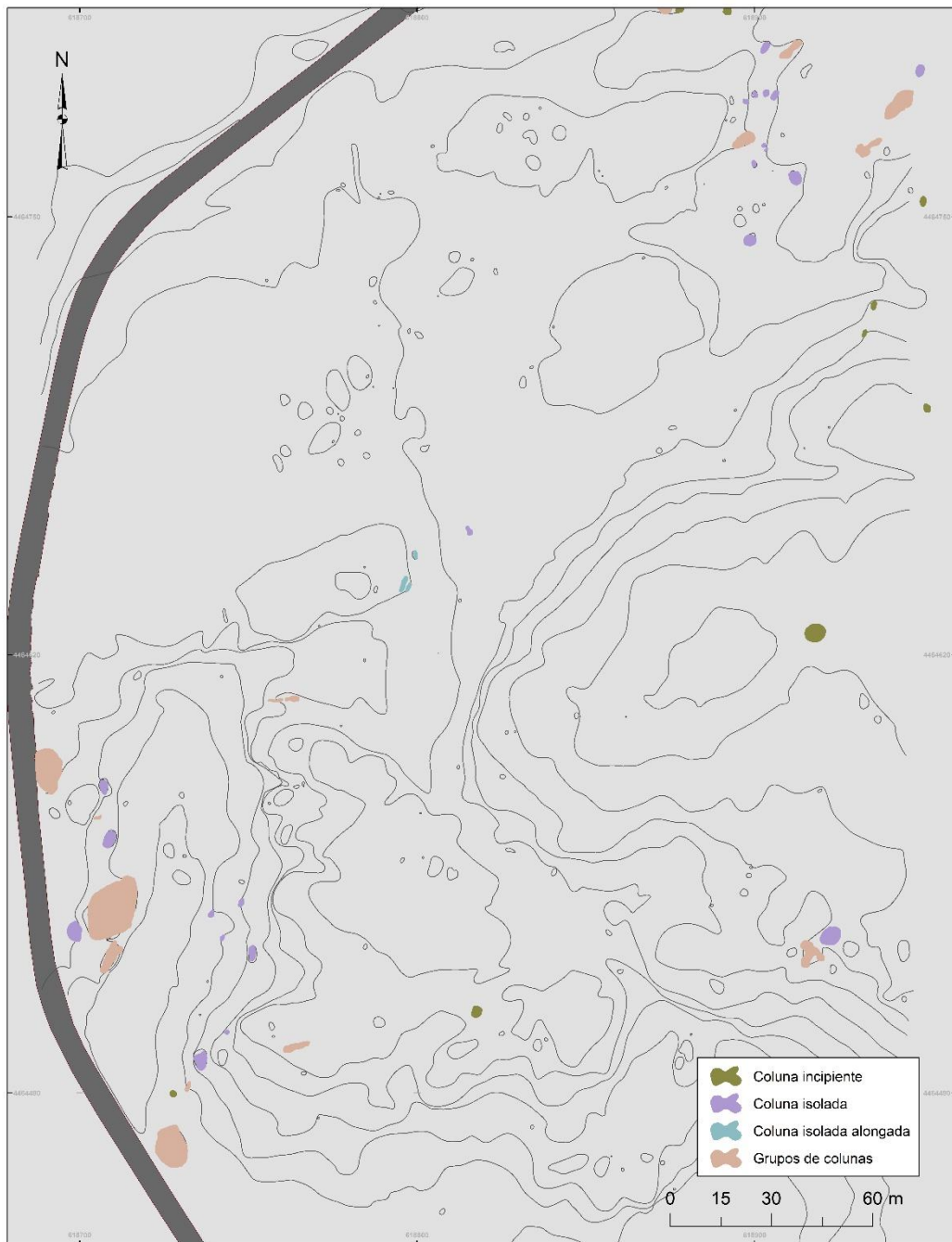


Figura 4.21. Mapeo de las Columnas Graníticas – Geossítio Covão do Boi.

En el proceso de categorización de las columnas, se utilizó la nube de puntos densos georreferenciados 3D como elemento principal de identificación, y se emplearon como fuentes de apoyo, el modelo de sombras “Hillshade” y las curvas de nivel con equidistancia de 1 metro, para el soporte de criterios. Se establecieron así, 4 categorías de columnas, representadas por el límite de la estructura de sus bases:

a. Columnas Incipientes

En la categoría de columnas incipientes, encontramos aquellas columnas con poco desarrollo vertical, es decir, aquellas pequeñas columnas que no superaban el metro de altura, pero que, presentan toda la forma cilíndrica con desarrollo vertical de una columna granítica (Fig. 4.22). Se logró identificar 10 elementos en esta categoría, la mayoría de ellas localizada en el sector Norte del geossítio (Fig. 4.21).

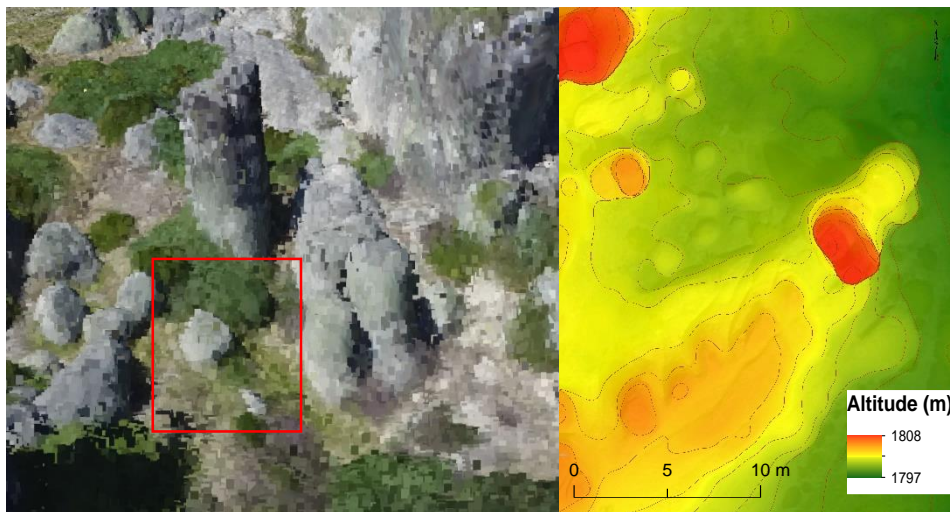


Figura 4.22. Representación 3D de una columna incipiente – Geossítio Covão do Boi.

b. Columnas Aisladas

Las columnas aisladas, como su nombre lo indica, son aquellas columnas desarrolladas de manera solitaria, sin otras formaciones adyacentes (Fig. 4.23). En el análisis del modelo 3D, se estableció que la altura de estas columnas tiene un rango entre uno y nueve metros. Se identificaron 28

columnas en esta categoría, localizadas en el sector Norte del geossítio, con una distribución particular en forma de arco (Fig. 4.21).

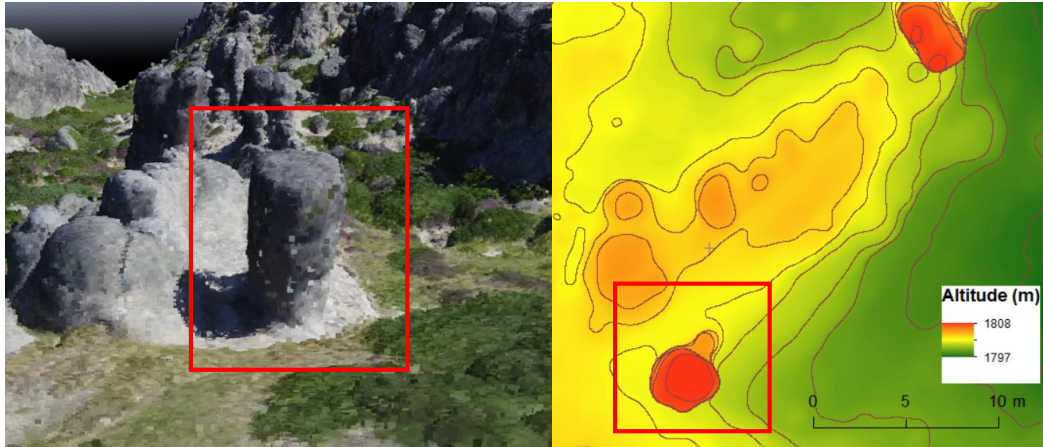


Figura 4.23. Representación 3D de una columna aislada – Geossítio Covão do Boi.

c. Columnas agrupadas

Como su nombre lo indica, las columnas agrupadas reúnen un número de columnas unidas en su estructura por la base (Fig. 4.24), formando así una presentación conjunta de las columnas graníticas. Se identificaron 16 elementos, de diferentes alturas, siendo la mayor altura un grupo de 15 metros.

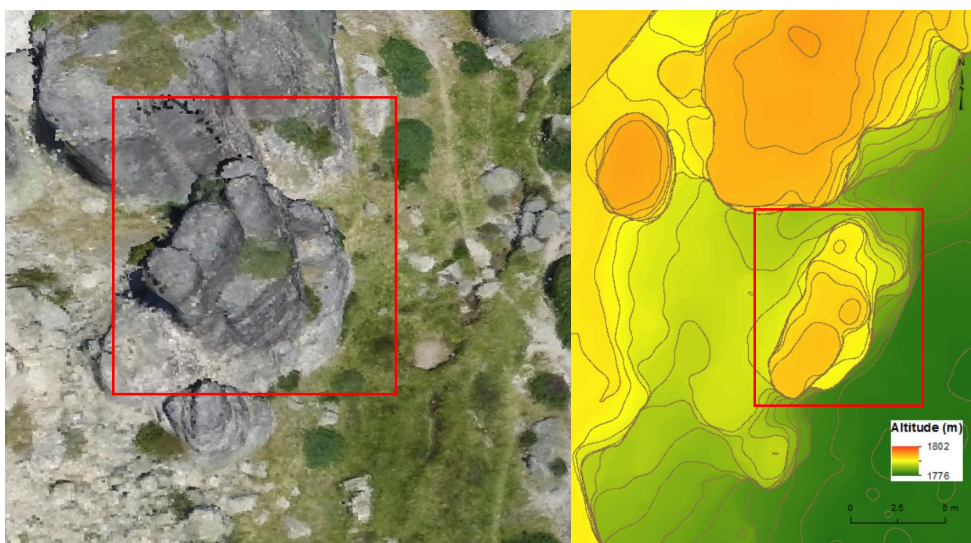


Figura 4.24. Representación 3D de columnas agrupadas – Geossítio Covão do Boi.

d. Columnas aisladas prolongadas

Columnas en solitario que presentan una estructura prolongada horizontalmente (Fig. 4.25), y presentan alturas de entre los 2 y 4 metros. Se identificaron 4 elementos en esta categoría.

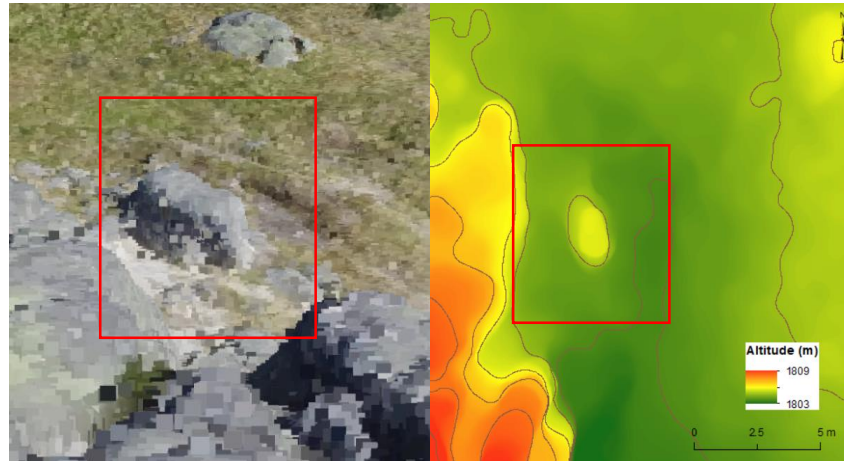


Figura 4.25. Representación 3D de columnas aisladas prolongadas – Geossítio Covão do Boi.

4.4. Análisis del potencial de los mapas y modelos 3D para el monitoreo de dinámicas naturales y del impacto antrópico

4.4.1. Introducción

Para la etapa de monitoreo de los geossítios, fue necesario hacer un análisis comparativo de las cartografías generadas a detalle. La cartografía de base fue el punto de partida para realizar un diagnóstico del área de los geossítios, procediendo a una comparación de los componentes estratégicos a monitorear: áreas de pisoteo, áreas de suelo desnudo y sectores con comunidades de vegetación herbácea y arbustiva. Adicionalmente a los mapas de ultra-alta resolución de la cobertura superficial de los geossítios, se utilizaron como fuentes de apoyo los ortomosaicos y la nube de puntos densificada 3D. Se crearon también, base de datos SIG para cada geossítio, y se estableció una fuente de información cartográfica para estudios de monitoreo a futuro. La presentación de los resultados se describe de manera particular por geossítio, evaluando las diferencias encontradas entre los años pasados y actuales.

4.4.2. Cambios en el geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza

Para el geossítio Salgadeiras, se utilizaron fotografías aéreas de julio del 2015 y agosto del 2019. El área de monitoreo se tuvo que ajustar al tamaño del área de superposición entre ambas capturas, consiguiendo solo analizarse el área central del geossítio capturado en el año 2019 (Fig. 4.26). El estudio se inició con el análisis de las áreas de pisoteo, identificando en primer lugar, nuevas áreas específicamente en el sector Este del geossítio, sobre vegetación herbácea y arbustiva. En el año 2015 se aprecia trayectorias de pisoteo bien definidas, diferenciadas en algunos sectores por encontrarse en áreas de bloques de rocas y suelo desnudo (Fig. 4.27). Para el año 2019, los trayectos aumentan notoriamente, creciendo de 104 a 111 tramos. Las nuevas áreas de pisoteo sobre vegetación para el año 2019, presentan un crecimiento del 13% con respecto al año 2015 (106 m), y en áreas con suelo desnudo 5% de crecimiento (54 m) con respecto al año 2015.

La transformación también se desarrolla en las características del suelo de las áreas de pisoteo, mudando de algún tipo de vegetación a desarrollarse en suelo desnudo. Se identificaron 18 m de áreas de pisoteo sobre vegetación en el 2015 que pasaron para el año 2019 en áreas de pisoteo sobre suelo desnudo (Fig. 4.28). La red de áreas de pisoteo presente en el geossítio de Salgadeiras para el año 2019, se desarrolla de manera desordenada y persiguiendo un patrón de dirección camino hacia las áreas de visualización de las lagunas. El sector adyacente a la carretera es el área con mayores trayectos de pisoteo, generando un gran impacto en esa área en particular (Fig. 4.29).

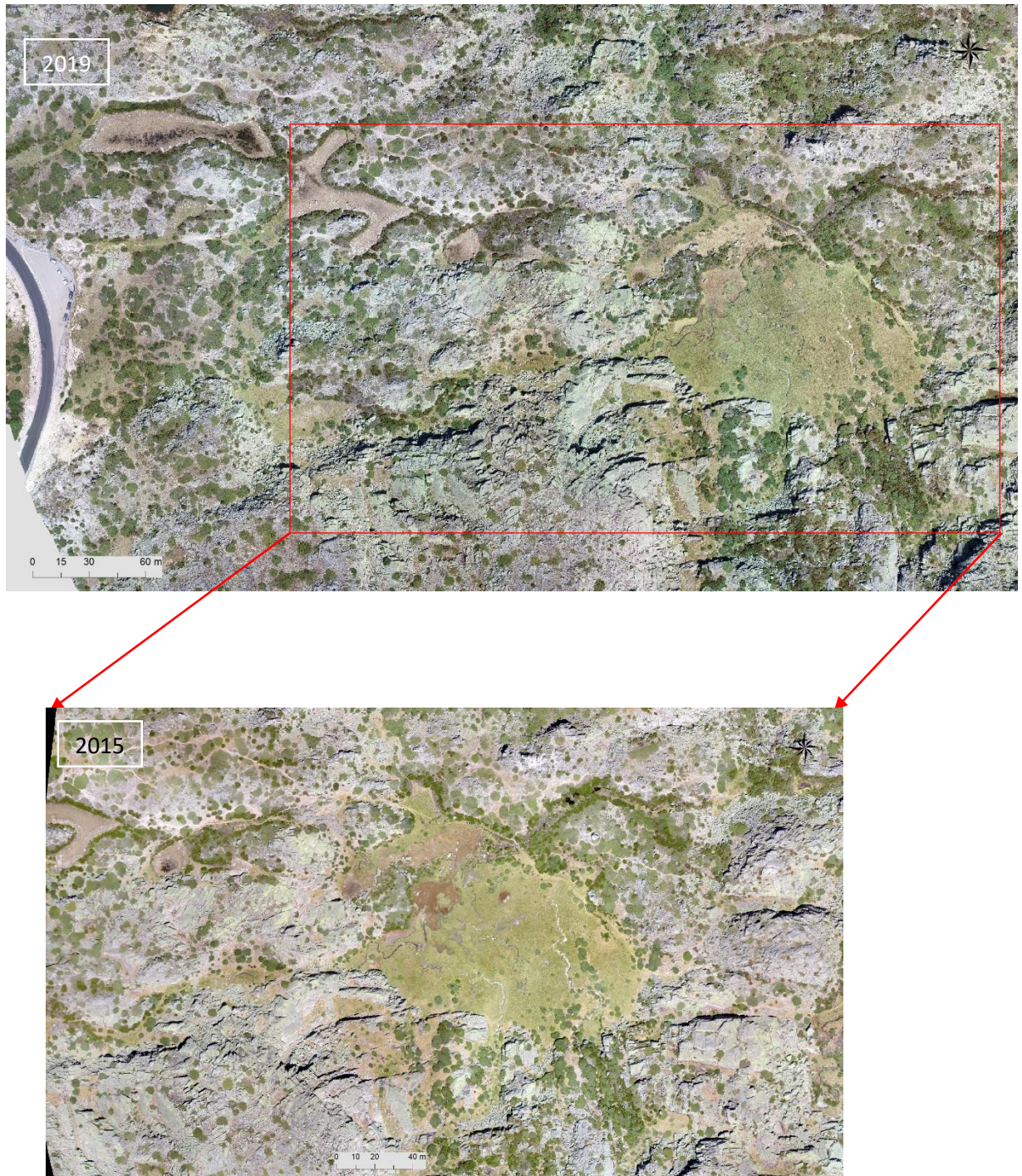


Figura 4.26. Área específica de monitoreo del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

El dato de áreas de suelo desnudo no presenta mayor crecimiento, solo se identifica una transformación de 18 m² de suelo desnudo en el año 2019, que para el año 2015 presentaban vegetación herbácea. Esta variación se concentra en las áreas donde se observan evidencias de pisoteo, infiriéndose que la transformación se debe a la dinámica ejercida por las pisadas de los visitantes.

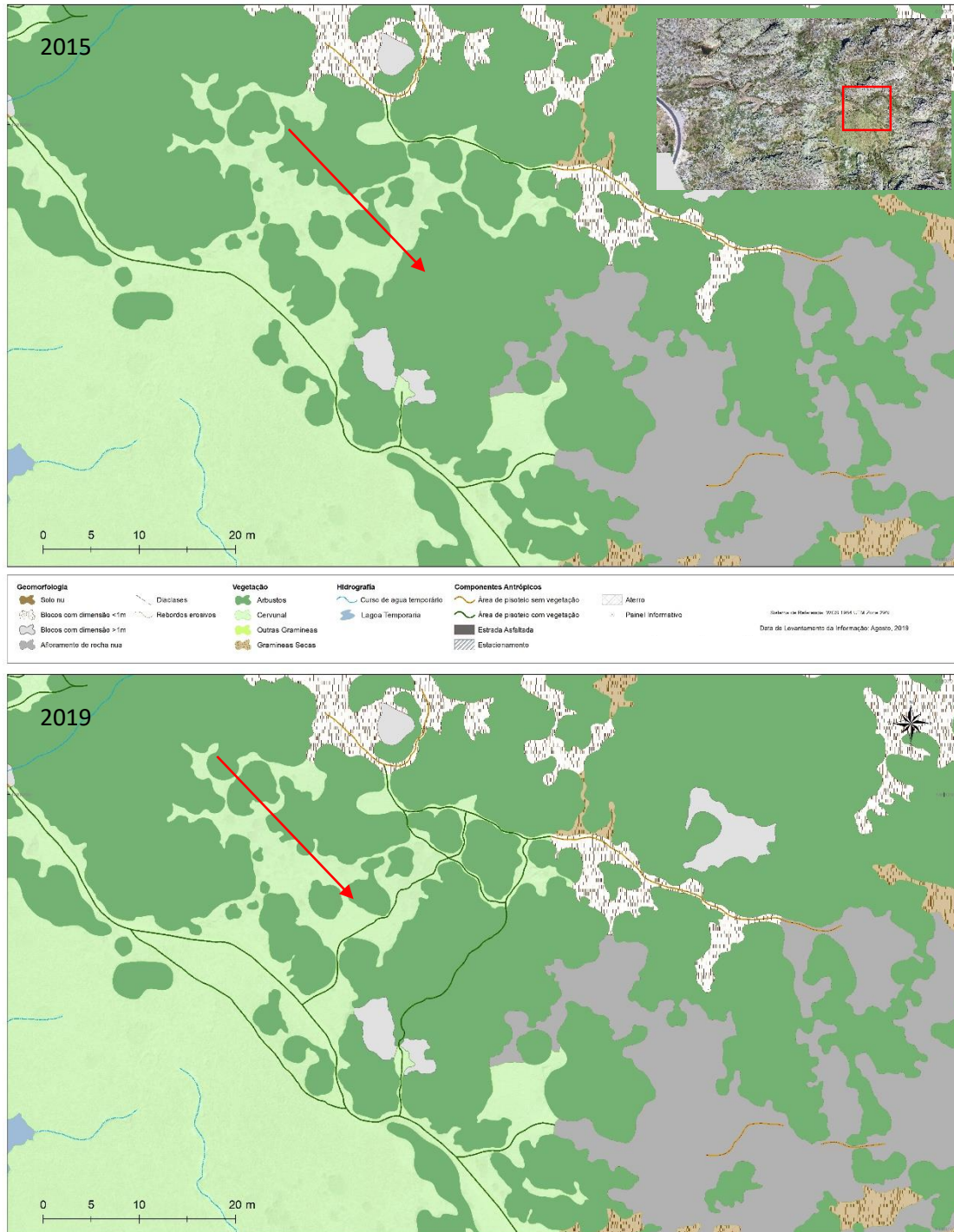


Figura 4.27. Identificación de nuevas áreas de pisoteo en el sector Este del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

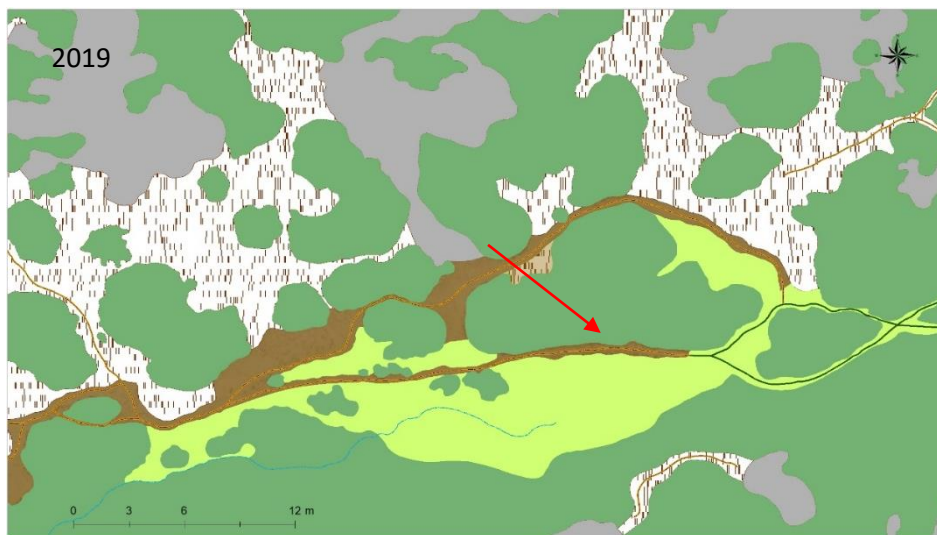
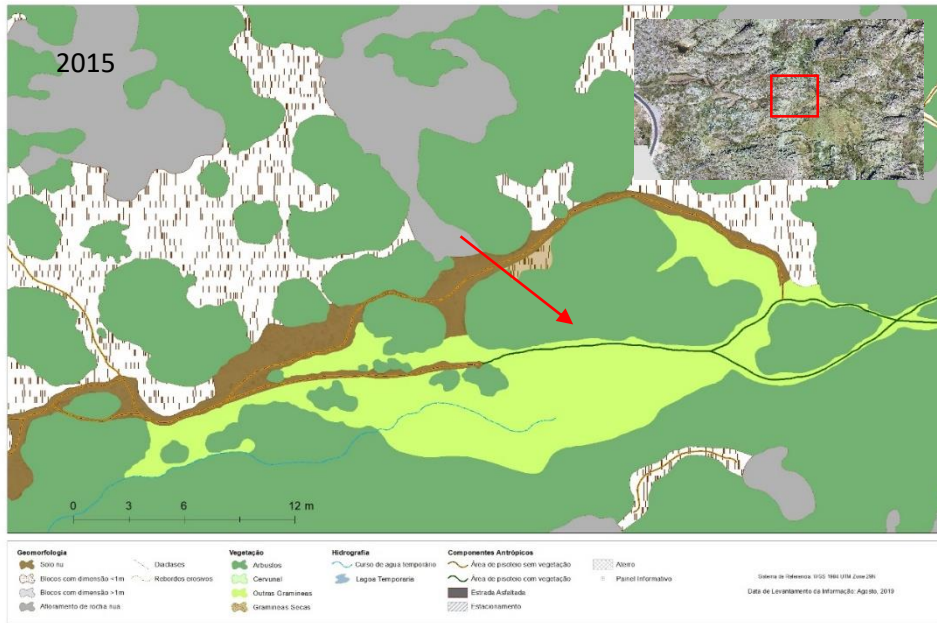


Figura 4.28. Transformación de áreas de pisoteo de suelo con vegetación a suelo desnudo - Sector central del geossítio Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

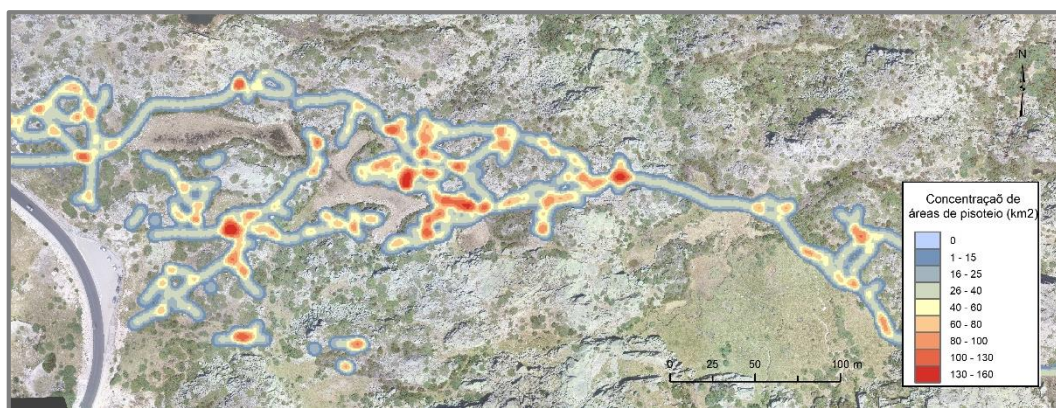


Figura 4.29. Mapa de densidad de las áreas de pisoteo (2019) en el geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

En el análisis comparativo final del geossítio de Salgadeiras para los años 2015 y 2019, se generaron mapas de densidad utilizando criterios con las trayectorias de pisoteo en la superficie, identificando las áreas de concentración y revelando un aumento de áreas en el sector Este del geossítio, y en menor tamaño, en el sector Suroeste (Fig. 4.30), ambos sectores adyacentes a las lagunas temporales identificadas en este estudio. En la figura 4.31 se localiza las áreas que mostraron un crecimiento en el análisis de monitoreo, identificando las áreas en el ortomosaico del geossítio.

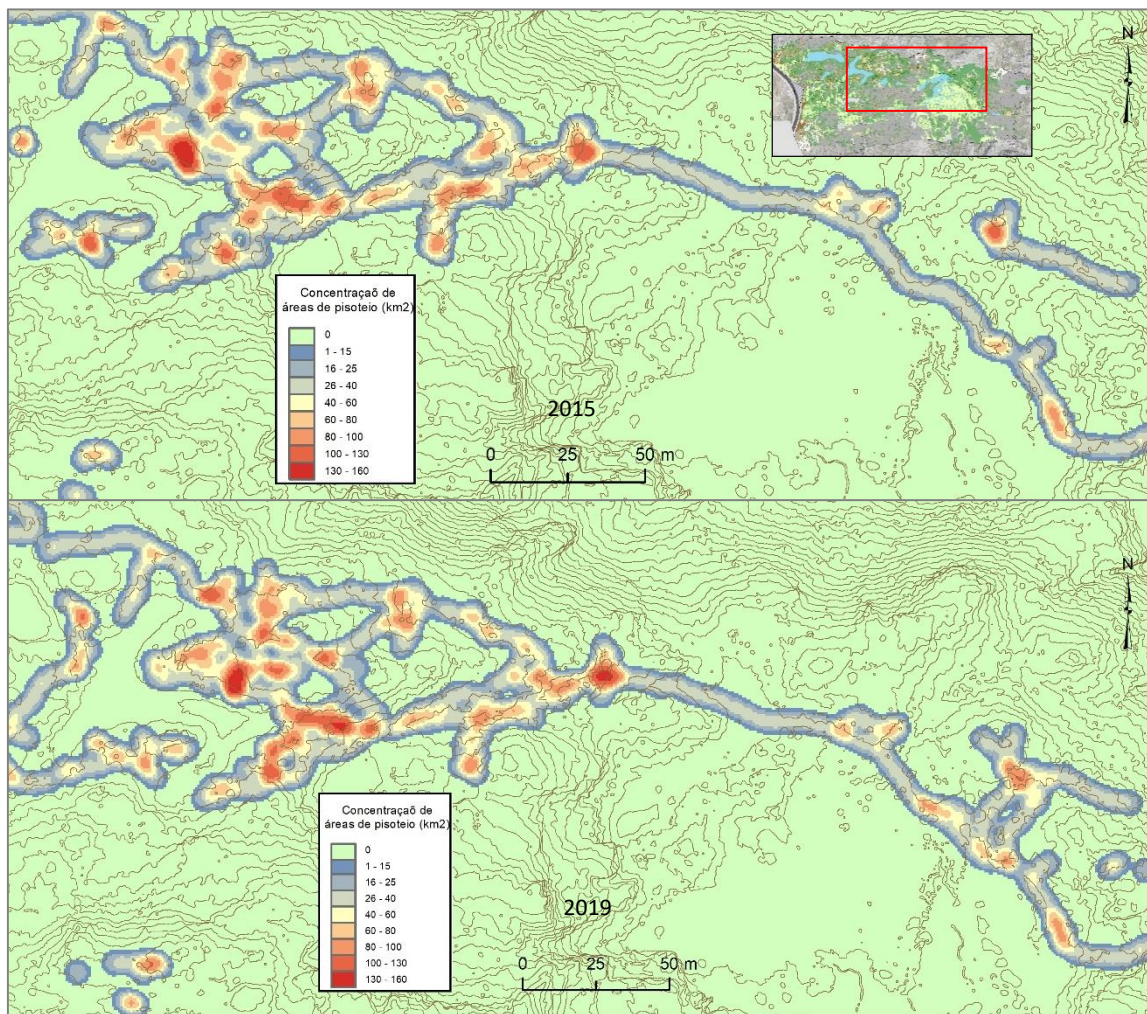


Figura 4.30. Concentración de las áreas de pisoteo (Mapas de densidad) del geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

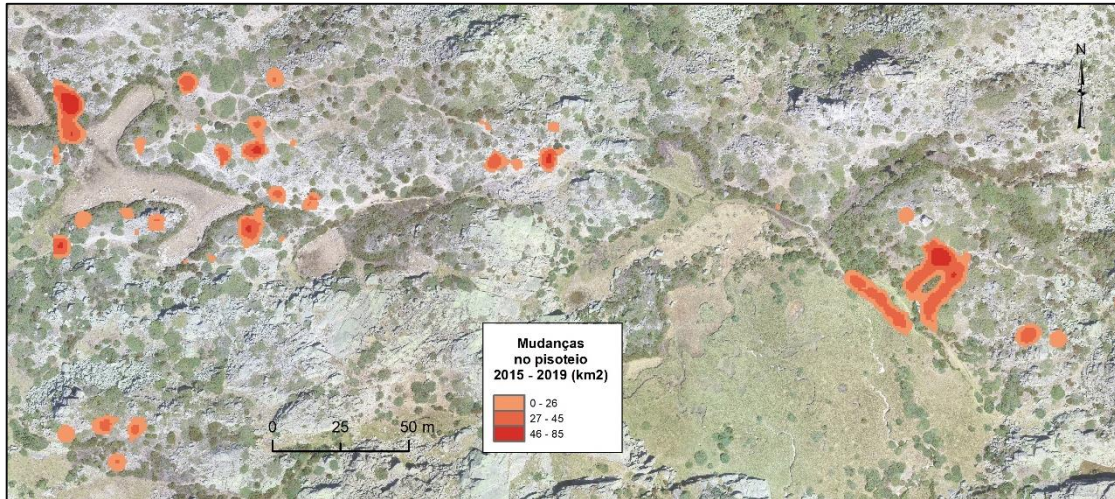


Figura 4.31. Áreas de pisoteo con crecimiento (2015 – 2019) del geossítio de Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza.

4.4.3. Cambios en el geossítio de Lagoa Seca

Para el análisis comparativo del geossítio de Lagoa Seca, se utilizaron fotografías de fechas de mayo del 2014 y agosto del 2019, siendo el geossítio con mayor espacio de tiempo a monitorear. El área total de las fotografías de ambas fechas, es similar, siendo posible monitorear el área de la cartografía de base del 2019 en su totalidad. En el análisis de los componentes estratégicos, seguiremos observando las áreas de pisoteo, áreas de suelo desnudo y sectores con comunidades de vegetación herbácea.

Las características particulares de este geossítio, conllevan a no identificar un gran número de modificaciones en su territorio, pero en el análisis de los pocos ejemplares, se establece una transformación distinta a la encontrada en el geossítio de Salgadeiras. Para el año 2014 se identifican áreas de suelo desnudo adyacentes a las zonas de pisoteo, que para el año 2019, se encuentran ocupadas por vegetación arbustiva (Fig. 4.32). Los valores identificados fueron de 135 m² de suelo desnudo, que para el año 2019 son ocupadas por arbustos.

Las nuevas áreas de pisoteo sobre vegetación para el año 2019, presentan un crecimiento de solo 4% (27 m) con respecto al año 2014. En áreas sobre suelo desnudo un decrecimiento del 10% (-27 m) con respecto al año 2014. Una hipótesis sobre aquellos factores que intervienen en la escasa variación en la red de áreas de pisoteos en Lagoa Seca, se pueden atribuir a factores como la localización de caminos pre-establecidos que cruzan por el área central del geossítio, la distancia que presenta este geossítio a la carretera principal, el subsecuente menor número de visitantes que recibe, en comparación con los otros dos geossítios estudiados.

Otra de las diferencias identificadas, se desarrolla en la zona Noroeste del geossítio, una transformación de áreas con densos arbustos a espacios con

especies herbáceas. La configuración de crear nuevos caminos de acceso y la instalación de diferentes componentes de prevención contra incendios forestales por autoridades municipales, modificaron un sector del collado Norte, siendo la actividad antrópica la responsable de su transformación, una nueva área de 5 950 m² de un conjunto de vegetación herbácea para el año 2019 (Fig. 4.33).

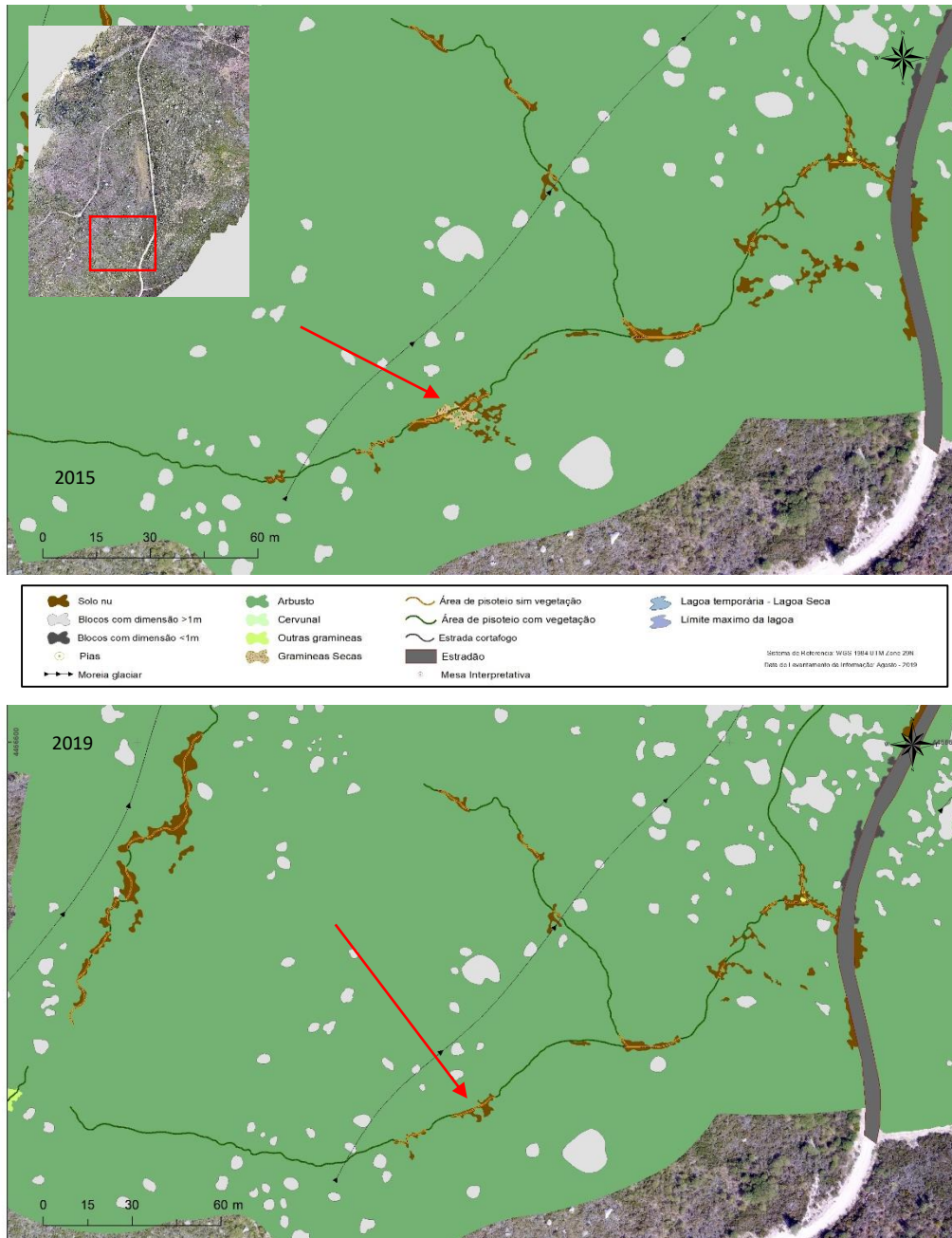


Figura 4.32. Transformación de áreas de pisoteo en suelo desnudo en el sector Sur del geossítio de Lagoa Seca.

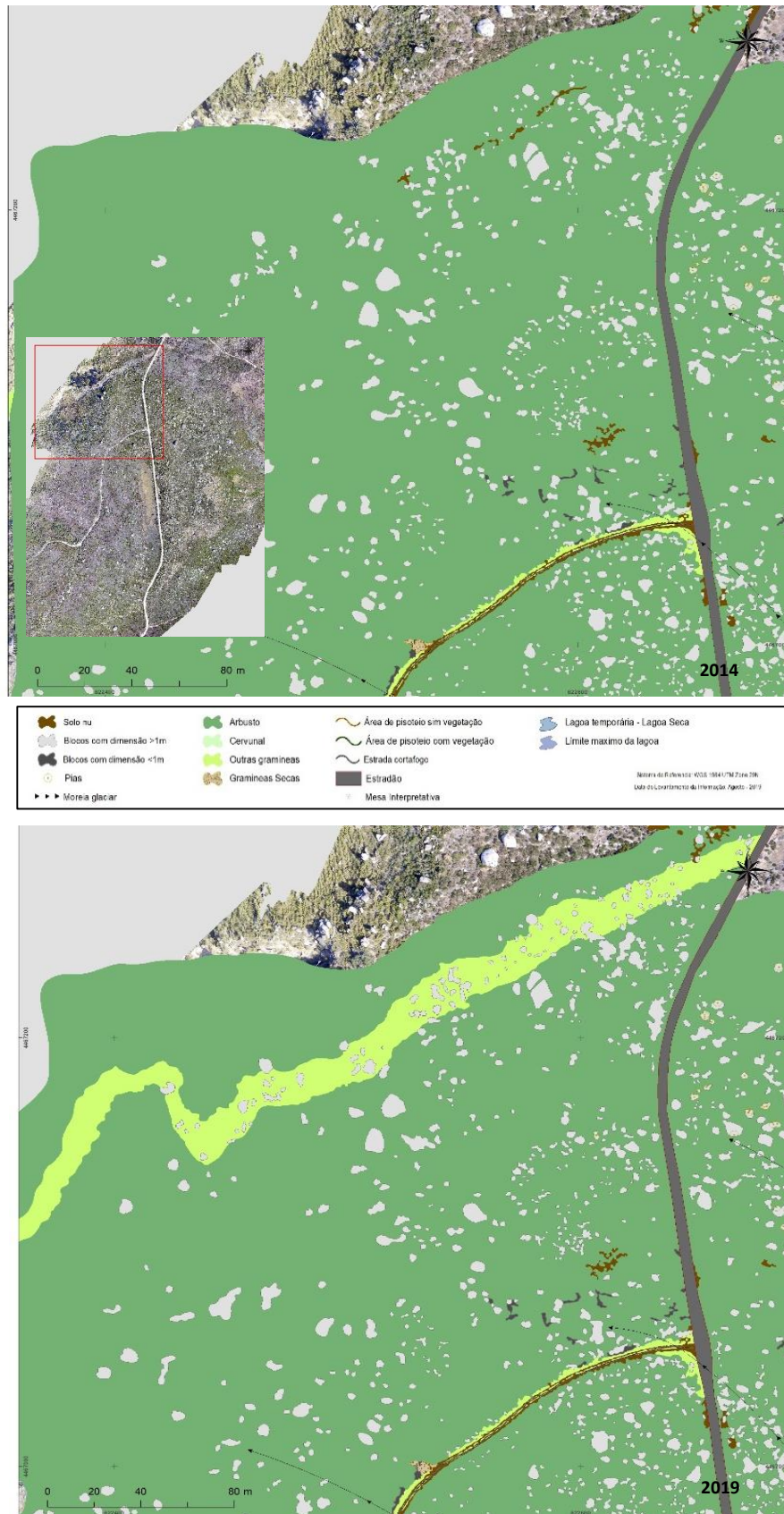


Figura 4.33. Transformación de áreas con vegetación arbustiva a herbácea en el sector Norte del geossítio de Lagoa Seca.

En síntesis, el geossítio de Lagoa Seca no presenta transformaciones en el terreno producto de la actividad turística. Enfocándonos en las áreas de pisoteo, no se identificó crecimiento, solo una transformación en el tipo de suelo. Para el año 2019, áreas de pisoteo en suelo desnudo cambiaron a áreas de pisoteo sobre vegetación herbácea; es decir, no se identificaron nuevas áreas de pisoteo. En la figura 4.34 se observa en los mapas de densidad, que la concentración de áreas de pisoteo se mantiene en el sector Sur, con dirección Oeste, y una orientación Norte particular hacia la ubicación de la laguna seca. Sin embargo, se identifican variaciones en el terreno en la vegetación, ocasionadas por modificaciones gubernamentales o por incendios forestales en años pasados.

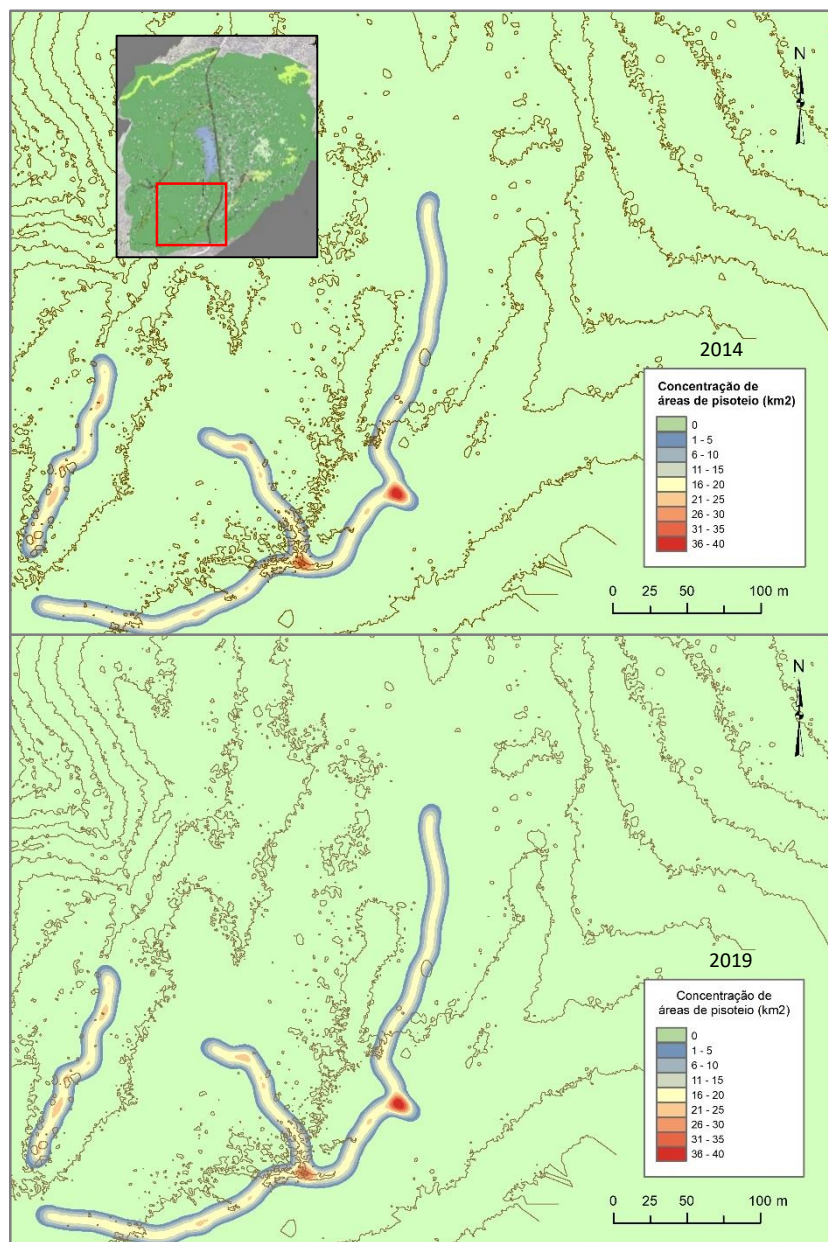


Figura 4.34. Concentración de las áreas de pisoteo (Mapas de densidad) del geossítio de Lagoa Seca

4.4.4. Cambios en el geossítio de Covão do Boi

El geossítio de Covão do Boi es el local donde el rango de tiempo de monitoreo fue menor, solo de dos años de diferencia. Las fotografías aéreas utilizadas para el análisis fueron de fechas de noviembre del 2017 y agosto del 2019. El área de los ortomosaicos fue similar, logrando monitorear la totalidad de la cartografía final del año 2019.

Analizando los componentes estratégicos, solo se identificaron diferencias en la red de áreas de pisoteo sobre el prado de gramíneas cervunal, sector Noroeste adyacente a la carretera principal (Fig. 4.35). Las nuevas áreas de pisoteo sobre vegetación para el año 2019, presentan un crecimiento de 6% (154 m) con respecto al año 2017. En áreas sobre suelo desnudo se identificaron los mismos 1,150 m de longitud. En todos los componentes restantes, no fue posible identificar modificaciones.

Definitivamente, el no poder analizar una cartografía más antigua, genera un rango de espacio limitado de monitoreo, donde probablemente no se hayan generado transformaciones evidentes. Otro factor influyente, podría ser la fecha de la toma de datos del año 2017, ya que, al ser un mes más húmedo y de otoño podría ya tener alguna vegetación recuperada respecto al verano que es muy seco.

En general, Covão do Boi representa un área natural que recibe constantes visitas a lo largo del año, y que concentra sus áreas de pisoteo en sectores adyacentes a la carretera principal, siguiendo una orientación hacia la zona de ubicación del monumento de la Senhora de Boa Estrela, y hacia las cúspides de los afloramientos graníticos o hacia la cumbre del Cántaro Raso. El mapa de concentración de las áreas de pisoteo muestra su localización y distribución, así como también el crecimiento identificado para el año 2019, en el sector Noroeste del geossítio (Fig. 4.36).

En la figura 4.37 se localiza las áreas que mostraron un crecimiento en el análisis de monitoreo, identificando las áreas en el ortomosaico del geossítio.

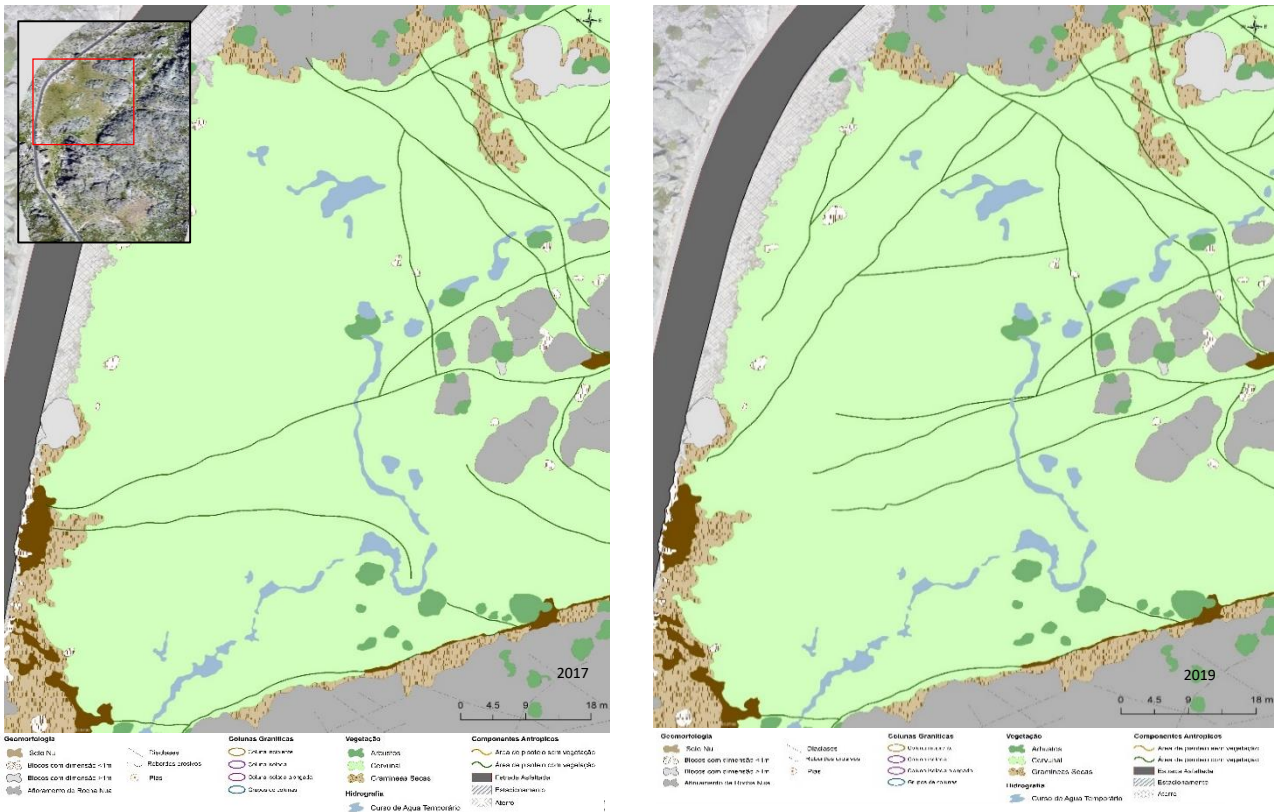


Figura 4.35. Transformaciones en la red de áreas de pisoteo en el geossítio Covão do Boi.

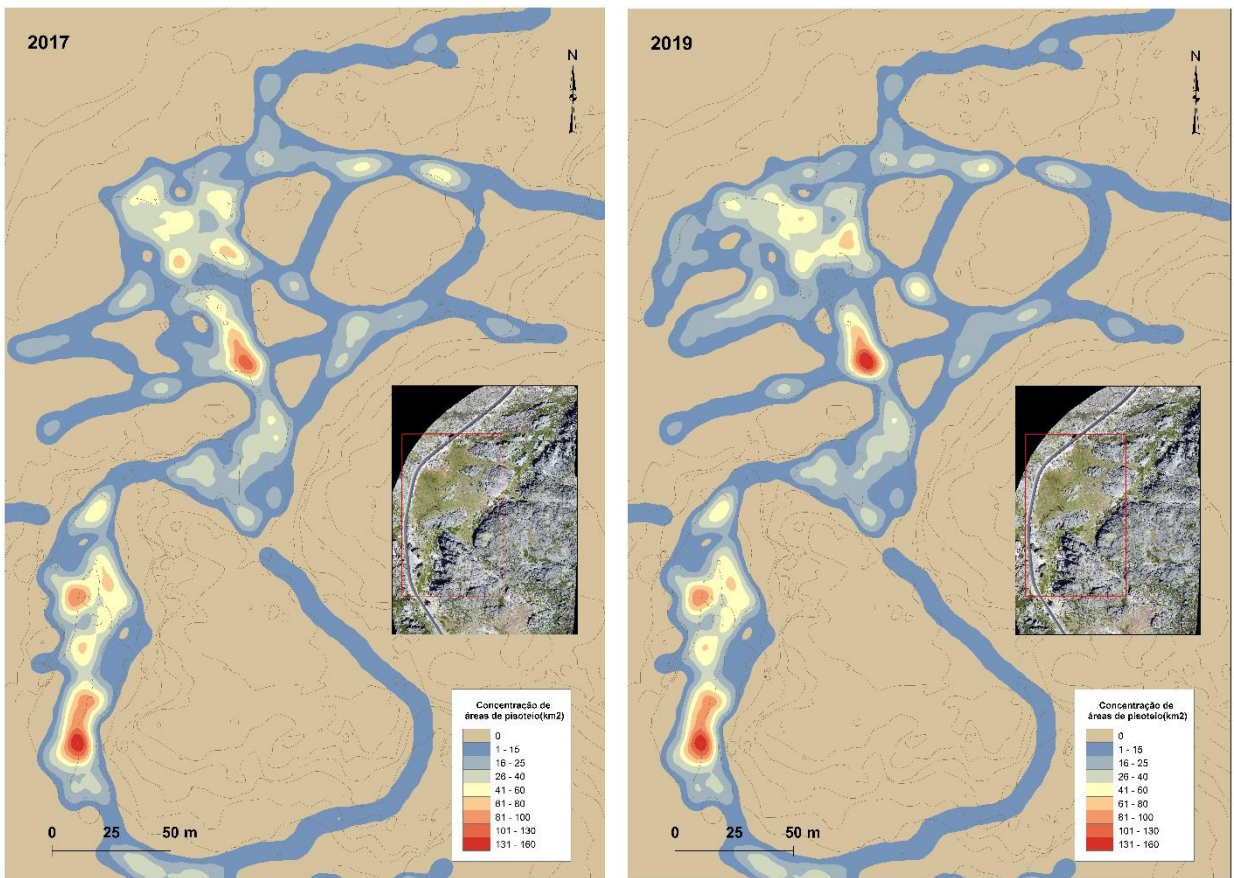


Figura 4.36. Concentración de las áreas de pisoteo (Mapas de densidad) del geossítio de Covão do Boi.

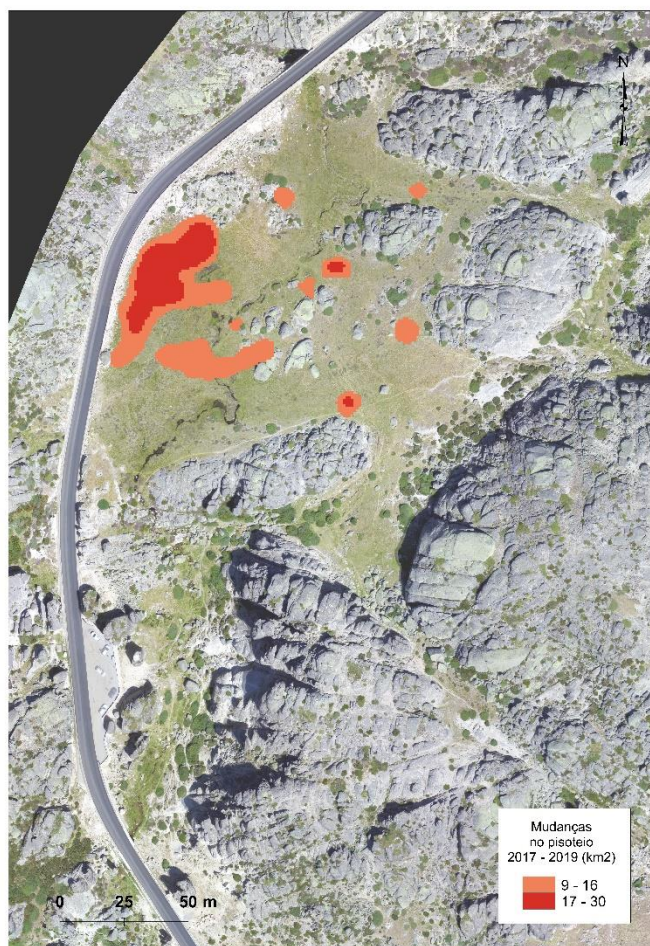


Figura 4.37. Áreas de pisoteo con crecimiento (2017 – 2019) del geossítio de Covão do Boi.

4.4.5. Alcances del empleo de la metodología para el monitoreo

La etapa de monitoreo enfocó el análisis en aquellos componentes que tuvieran un impacto sobre la cobertura superficial de los geossítios, y que presentaran una vinculación con actividades ejecutadas por los visitantes. Como se describe en párrafos anteriores, se realizaron análisis sobre las variaciones que presentaron las redes de pisoteo sobre la superficie, identificando nuevas áreas o transformaciones en ellas. En los tres geossítios se constituyó un aumento en la red de pisoteo, así como transformaciones en las características del suelo donde se desarrollaban, traspasando de áreas en suelo con vegetación en años anteriores, a desarrollarse en suelo desnudo en la actualidad. Salgadeiras fue el geossítio que mayores transformaciones presentó, en un rango de tiempo de 4 años (2015 – 2019), fue posible identificar un incremento del 13% (106 m) en las áreas de pisoteo sobre vegetación y 5% (54 m) sobre suelo desnudo. Lagoa Seca presentó características particulares en un rango de tiempo de 5 años (2014 – 2019), identificando un crecimiento del 4% (27 m) en áreas de pisoteo sobre vegetación y un decrecimiento de -10% (-27 m) en áreas sobre suelo desnudo. Los valores de Lagoa Seca se contrastan con los otros dos geossítios, donde se

identifican nuevas áreas de pisoteo y también transformaciones en ellas; este geossítio no presenta nuevas áreas, solo se identifican transformaciones, pasando de áreas de pisoteo sobre suelo desnudo a suelo con vegetación. Covão do Boi, en el escaso rango de monitoreo (2017 – 2019), presentó un crecimiento en sus áreas de pisoteo sobre suelo con vegetación del 6% (153 m), y ningún cambio en las áreas sobre suelo desnudo.

Un alcance importante de la etapa de monitoreo son los mapas de concentración del dinamismo del pisoteo en los geossítios, logrando identificar la distribución alrededor de toda el área superficial del geossítio, así como también establecer la ubicación de ellas y que orientación persiguen. Las áreas de pisoteo, en los tres geossítios estudiados, se orientan hacia sectores que concentran mayor interés entre los visitantes. En Salgadeiras se orientan hacia las lagunas y áreas altas que permitan un mejor avistamiento del paisaje natural; en Lagoa Seca, en mucho menor proporción, hacia el sector de la laguna seca; y en el geossítio de Covão do Boi, las áreas de pisoteo se orientan hacia el monumento de la Senhora de Boa Estrela y hacia las cúspides de los grandes afloramientos graníticos y el Cántaro Rasso, un relieve notable a 1928 m de altitud, localizado al Norte de Covão do Boi y representa un local de mucho interés para la práctica de escalada. Sería recomendable que una etapa de planificación de estrategias de geoconservación para los geossítios, se identifique aquellos puntos de mayor interés entre los visitantes para orientar la gestión hacia esas áreas específicas, concentrando las medidas de protección en áreas potencialmente vulnerables debido a la actividad que puedan generar.

Debido a la experiencia brindada en esta etapa de estudio y análisis, se definen algunos criterios que podrían ser útiles en futuros proyectos de monitoreo para áreas naturales. Las fotografías aéreas y cartografía temática que será utilizada en las fases de análisis y monitoreo, deberán constituir en lo posible, la misma aérea que se desea monitorear, permitiendo así un análisis uniforme del territorio. En el caso de trabajar con fotografías aéreas, se recomienda evaluar información que haya sido capturada en las mismas épocas del año, de ser preciso incluso en los mismos días y horas, para que sea posible un análisis con las mismas características del territorio, sin inconvenientes meteorológico como nubes, o problemas por las diferencias en las estaciones climáticas del año. Un aspecto adicional en el trabajo con fotografías aéreas, son las resoluciones de las imágenes, donde realizar diagnósticos territoriales en base a ortomosaicos de diferentes resoluciones, no generan los mismos detalles cartográficos, y por consiguiente el análisis no será exacto.

Finalmente, este estudio de monitoreo no solo ha brindado información sobre la transformación que sufrieron los componentes en análisis en el territorio de los geossítios en estudio, información cualitativa y cuantitativa, también fue posible generar mapas descriptivos donde se representa la distribución y concentración

de dichos componentes a lo largo de toda el área de los geosítios, estableciendo mapas comparativos generales y focalizados en áreas específicas. Resultados que será utilizados en la etapa de planificación y gestión para la geoconservación de los geosítios

Capítulo 5

Aportes para un plan de gestión enfocado en la geoconservación

5.1. Alcances e ideas

Esta investigación se basó en el desarrollo de técnicas y métodos relacionados a tecnologías de información geográfica, particularmente en la detección remota y sistemas de información geográfica como herramientas valiosas para estudios de monitoreo y diagnóstico del territorio. Se efectuaron prácticas integradas de tratamiento y análisis de datos georreferenciados con la finalidad de crear instrumentos que sean útiles para delinear planes de gestión sostenible en espacios naturales protegidos.

Se realizaron misiones de vuelo con VANT para la adquisición de datos y posterior generación de modelos digitales de superficie para el territorio de tres geossítios en Serra da Estrela. Se desarrollaron protocolos de vuelo y metodologías prácticas para el procesamiento de fotografías aéreas, aplicables al estudio de las características físicas de distintos geossítios del Estrela Geopark. Los resultados arrojaron un alto detalle en los modelos digitales, logrando identificar con precisión componentes naturales como arbustos, gramíneas, afloramientos graníticos, bloques de rocas diferenciadas por su dimensión, características geomorfológicas como alveolos y diaclasas, delimitación de las áreas ocupadas por cuerpos de agua y dinámicas antrópicas como las áreas de pisoteo; toda la información fue almacenada en una base de datos SIG y se crearon mapas de ultra-alta resolución de la cobertura superficial por cada geossítio.

En el análisis de monitoreo se pudieron identificar aspectos relacionados con las actividades de los visitantes, como las diversas redes de áreas de pisoteo. De manera general, los tres geossítios exhiben una red áreas de pisoteo ligadas a sus atractivos turísticos, identificando un crecimiento de esta red en el intervalo estudiado, y que presenta impactos en la composición del paisaje como el deterioro de algunas comunidades biológicas. Para el análisis del impacto e influencia del pisoteo, se crearon mapas de calor por cada geossítio y año de estudio, constituyéndose como herramientas para el análisis de la presión sufrida de cada local de interés. La información cartográfica generada fue una fuente de datos precisa para la base del análisis, alcanzando los parámetros de resolución deseados con fines de elaborar estrategias de geoconservación para los geossítios.

Considerando la visión de geoconservación del Estrela Geopark y las características de los resultados alcanzados en esta investigación, se desarrollaron algunas propuestas que puedan contribuir con un plan de gestión para los geossítios, enfocadas en las alteraciones identificadas. Se plantean acciones que contribuyan con las políticas de protección y conservación para intentar disminuir y/o eliminar los impactos a futuro de dichas actividades.

En el ámbito de esta investigación se presenta una contribución para un futuro plan de gestión para los geossítios seleccionados. Este plan presenta las características naturales de cada geossítio, enumerando las alteraciones identificadas y presentando un conjunto de instrumentos para la gestión de la conservación, interpretación y difusión del patrimonio natural de los geossítios, pretendiendo ser una contribución para una gestión sostenible del Estrela Geopark. Esta propuesta evalúa condiciones para un Geoturismo sostenible, proporcionando reglas generales para la promoción del territorio, la recepción de visitantes, la información y la educación sobre temas de conservación natural. La visión de establecer geossítios protegidos e interpretados se apoya en el desarrollo de actividades de comunicación a los visitantes sobre conocimientos geo-científicos y conceptos ambientales.

La protección de los geossítios no se puede sostener solamente en el marco legal, debe apoyarse también en planes de desarrollo activos, porque el patrimonio geológico puede degradarse de manera natural, y los esquemas de gestión, frecuencia de implementación y un monitoreo periódico, brinda diagnósticos constantes sobre el mismo. La participación de todos los actores involucrados es necesaria para el éxito de las medidas de geoconservación (Brilha, 2005).

La estructura de la propuesta para un plan de gestión que presentamos se divide en cuatro ámbitos. El primero presenta los objetivos sobre los cuales se debe constituir el plan de gestión, interrelacionado con las directrices estratégicas del Estrela Geopark. En segundo punto, se describe el marco legal que ampara las medidas de protección del territorio del Estrela Geopark, explicando los componentes y áreas que se busca proteger, y que representa un respaldo para las acciones de conservación a implementar. En tercer punto, se detalla el diagnóstico territorial para cada geossítio, enfocado en las alteraciones identificadas dentro del análisis de la cartografía final en la investigación. Se concluye describiendo las acciones propuestas para la geoconservación de los geossítios, y una gestión sostenible del Estrela Geopark.

5.2. Objetivos de un plan de gestión de geossítios

Un plan de gestión para los geossítios debe garantizar los siguientes componentes:

- Asegurar la protección de los valores naturales, paisajísticos y culturales en áreas vulnerables para la conservación de la naturaleza;
- Encuadrar las actividades humanas a través de una gestión racional de los recursos naturales, considerando el desarrollo sostenible del territorio;
- Crear condiciones para una gestión sostenible que relacione la biodiversidad y geodiversidad;

- Analizar el papel desempeñado por la actividad turística sobre el desarrollo natural de los geossítios;
- Planificar las posibles acciones a implementar en los geossítios con miras a un equilibrio natural.

5.3. Sustento normativo

La protección de geossítios se gestiona de mejor manera cuando se localizan dentro de áreas legalmente protegidas, formando parte de un sistema de disposiciones legales y políticas asociadas entre sí, que se ubican en varios niveles administrativos nacionales, y que son complementadas por instrumentos legales internacionales (Brilha & Pereira, 2020). La protección geológica rara vez se encuentra descrita de manera explícita, sin embargo, podemos identificar que el patrimonio geológico del Estrela Geopark se encuentra amparada bajo diferentes normativas de protección implícitas, que se desempeñan de manera complementaria. Entre ellas se encuentra la clasificación del territorio de una parte amplia de Serra da Estrela como Parque Natural en el año 1976, la aprobación del convenio RAMSAR en 1980, la Ley de preservación de hábitats naturales de 1990 o las directrices dictadas en el Reglamento del Plan de Ordenamiento del Parque Natural de 1999, y la reciente aprobación del Estrela Geopark como Geopark Mundial de la UNESCO, brindando un estatuto que contribuye con el marco legal de protección.

En Serra da Estrela, merecen destaque los siguientes elementos del marco legal:

Decreto ley nº 557/1976 – Presidencia del Consejo de Ministros. El 16 de julio de 1976 se clasificó el territorio de Serra Estrela como Parque Natural. La clasificación describe al territorio de Serra da Estrela como un extraordinario componente natural de gran valor paisajístico, con panorámicas de rara belleza, mostrando un área de montaña donde subsisten refugios de vida salvaje y formaciones vegetales endémicas de importancia nacional. Por esas razones se considera de vital importancia conferir un alto valor natural a preservar en el tiempo, promoviendo un uso racional a través del tiempo, considerando los problemas de conservación de la naturaleza, protección del paisaje y sitios de interés, así como también el bienestar de las poblaciones. El área definida como Parque Natural forma parte del territorio del Estrela Geopark (Fig. 2.3).

Decreto nº 1010/1980 – Aprobación de la Convención sobre Zonas Húmedas de Importancia Internacional (RAMSAR). La convención sobre Zonas Húmedas constituye un Tratado intergubernamental, y representa el primer Tratado Global sobre conservación. El tratado reconoce la importancia estratégica para la conservación de la naturaleza de las Zonas Húmedas, pantanos, charcos, turberas o agua, natural o artificial, permanente o temporal.

Decreto ley nº 140/1999 – Presidencia del Consejo de Ministros. El 21 de mayo de 1999 se aprueba la ley relativa a la preservación de los hábitats naturales y de fauna y flora salvaje. En el anexo B-1 de la ley, se describen las especies que representan un alto valor de conservación como las formaciones herbáceas de “*Nardus stricta*”, de características perennes y densas, ricas en especies y en sustratos de Serra da Estrela. También se menciona la importancia de las turberas como hábitats complejos donde se desarrollan diversos tipos de comunidades de acuerdo con el origen de agua de los cuales dependen.

Resolución del Consejo de Ministros nº 83/2009 – Reglamento del Plan de Ordenamiento del Parque Natural de Serra da Estrela (POPNSE). El plan de ordenamiento del Parque Natural de Serra da Estrela posee naturaleza jurídica de reglamento administrativo y con ello se debe conformar los planes intermunicipales y municipales de ordenamiento del territorio, tales como los programas y proyectos, de iniciativa pública o privada, a realizarse en el territorio del Parque Natural. Constituyendo objetivos generales como: “Asegurar la protección y la promoción de los valores naturales, paisajísticos y culturales, en especial en áreas consideradas prioritarias para la conservación de la naturaleza”, “enfocar las actividades humanas a través de una gestión racional de los recursos naturales, considerando el desarrollo sostenible”, y “promover y divulgar el turismo de naturaleza, sin que generen riesgos para la conservación de los valores naturales y paisajísticos”.

Planes Director de los Municipios (PDM). Un Plano Director Municipal (PDM) es un instrumento legal fundamental en la gestión de un territorio municipal, que define el cuadro estratégico de desarrollo territorial del municipio y tomando por base un lado de intereses colectivos como la preservación de la naturaleza y de sus poblaciones. En el caso particular de los geosítios en estudio, envuelve dos jurisdicciones municipales: Seia y Manteigas, municipios que elaboran sus PDM orientado a estrategias de conservación que complementen las políticas desarrolladas por el Estrela Geopark.

Además, el territorio de Estrela Geopark fue aprobado como Geopark Mundial de UNESCO en la 4ta Sesión del Consejo de Geopark Mundiales de 2019 y será ratificada en 2020. Los Geoparks UNESCO tienen como objetivo valorizar territorios con patrimonio geológico de relevancia internacional, potenciando su desarrollo a través de actividades que benefician a las comunidades locales, con una perspectiva de desarrollo sostenible, y contribuyendo a la geoconservación y preservación de actividades tradicionales. La UNESCO reconoce la especial

relevancia del territorio de Serra da Estrela, sustentando su aprobación en la riqueza del patrimonio geomorfológico de origen glaciar y en la fuerte relación cultural de la población con la montaña.

5.4. Diagnóstico de los impactos sobre los geossítios estudiados

5.4.1. Salgadeiras – Lagoas do Covão da Clareza

El geossítio de Salgadeiras presenta un territorio que integra varios atractivos turísticos con un número de visitantes desconocido, pero que genera impactos en diversos sectores del geossítio. Salgadeiras es un geossítio con una alta singularidad en sus recursos naturales, siendo muchas de ellas, vulnerables a alteraciones. Analizando la cartografía obtenida, se localizan redes de pisoteo en crecimiento, particularmente en áreas sobre vegetación. La etapa de monitoreo muestra nuevas trayectorias de pisoteo en el espacio de cuatro años de análisis, identificando los sectores de concentración y distribución, y estableciendo una alta vulnerabilidad para el deterioro de especies singulares. Los mapas de densidad brindaron información sobre los sectores donde se concentraban las áreas de pisoteo, estableciendo una orientación e identificando las comunidades vulnerables como el sector de turberas y especies arbustivas y herbáceas endémicas. El análisis de la cartografía aportó directrices sobre los puntos que concentran mayor interés entre los visitantes, guiados por las áreas de pisoteo, se definió a las lagunas, temporales y permanentes, como el mayor atractivo turístico del geossítio, y el sector Este como punto de visualización panorámica del paisaje de montaña. En general, las exposiciones naturales necesitan medidas para mantener sus composiciones, y establecer accesos que no degraden su hábitat.

5.4.2. Moreias da Lagoa Seca

Lagoa seca es uno de los tres geossítios que más alteraciones presenta en su terreno, relacionadas principalmente a eventos como incendios forestales y a medidas implementadas para tratar de recuperar las áreas afectadas (reforestación). Este geossítio cuenta con una localización estratégica que recoge huellas geomorfológicas valiosas para diversos estudios científicos de su territorio. Con respecto al análisis sobre las alteraciones producidas por los visitantes, Lagoa Seca muestra características diferenciadas con los otros dos geossítios, donde su localización apartada de la carretera principal, y la ausencia de puntos llamativos turísticos, permiten que este geossítio mantenga un área relativamente libre de alteraciones producidas por sus visitantes. Sin embargo,

como se menciona en párrafos anteriores, Lagoa Seca representa un local relevante en el campo científico, en estudios sobre el territorio de Serra da Estrela, y que con el impulso de las estrategias implementadas por el Estrela Geopark, viene recogiendo la importancia que posee.

Analizando la cartografía obtenida, presenta una superficie mayoritariamente arbustiva densa, con pocas áreas de vegetación herbácea, pero con territorio alterado por incendios forestales. Las áreas de pisoteo identificadas fueron limitadas al sector Sur del geossítio, con apenas algunos metros de desarrollo, no siendo posible identificar variaciones en el tiempo. Sin embargo, las pocas áreas de pisoteo identificadas reflejaron un direccionamiento de los visitantes hacia la ubicación de la laguna seca, pudiendo generarse algún tipo de impacto en el paisaje a futuro. Otra particularidad de Lagoa Seca es su exposición frente a incendios forestales como lo demuestra el sector Noreste del geossítio, superficie alterada por incendios forestales ocurridos el año 2015, y modificaciones en el sector Noroeste, donde se realizó una transformación del suelo de vegetación arbustiva a herbácea, como medida de prevención contra estos eventos (“cortafuegos”).

El diagnóstico en este geossítio, resalta los aspectos científicos que ostenta, como la interpretación de los arcos morrénicos, así como la identificación y localización de alveolos en las rocas graníticas, definiéndose como instrumentos que contribuyan para estudios científicos posteriores.

5.4.3. Covão do Boi

El geossítio de Covão do Boi representa un punto ineludible para los visitantes del Estrela Geopark, con el monumento a la señora de Boa Estrela. Los imponentes afloramientos graníticos y su paisaje natural, convierte a este geossítio en uno de los más interesantes de este territorio. Este geossítio de interés multidisciplinario encierra recursos biológicos, culturales, históricos y geológicos, requiriendo un plan de gestión equilibrado, que articule todos los ámbitos. Covão do Boi presenta, en mayor medida que los otros dos geossítios, una mayor exposición de su patrimonio geológico y biológico, precisando de un plan de gestión con una visión holística y desarrollo de proyectos multidisciplinarios.

El análisis de la cartografía obtenida presenta una red de áreas de pisoteo amplias. Con un pequeño espacio de monitoreo de dos años, no se puede interpretar grandes alteraciones en el territorio. Sin embargo, se puede percibir en el sector Noroeste del geossítio, áreas de pisoteo sobre comunidades herbáceas vulnerables, que requieren de medidas de protección y conservación.

Así también, se identifican comunidades vegetales vulnerables en el sector inferior del monumento a la Senhora de Boa Estrela, propensas a alteraciones producidas por el constante pisoteo de los visitantes que desean llegar al monumento o en dirección hacia las cumbres de los afloramientos graníticos.

Los mapas de densidad de pisoteo brindaron información sobre los sectores de concentración y distribución de las áreas de pisoteo alrededor del geossítio, siendo posible identificar las orientaciones y puntos de interés para los visitantes. Durante el análisis, se dificultó la interpretación de áreas de pisoteo o alteraciones sobre los afloramientos graníticos del geossítio, debido a la escasa vegetación como fuente de identificación. Sin embargo, el trabajo de campo durante las misiones de vuelo, brindó información que colaboro con la identificación de las vulnerabilidades a las que estaba expuesto este patrimonio geológico. Se identificaron áreas alteradas del granito por efecto de los pisoteos, en las actividades de senderismo o avistamiento de paisajes; también se identificaron construcciones de pequeñas torres de rocas graníticas sobre las cumbres de los afloramientos graníticos (Fig. 5.1). Estas, localmente llamadas “*mariolas*”, son realizadas por los visitantes y que representan un alto impacto porque altera el paisaje geomorfológico y el hábitat de algunas especies que se encuentran en esos espacios, como es el caso de *Lacerta monticola*, un lagarto endémico de Estrela (información oral: F. Loureiro).



Figura 5.1 Pequeñas torres de rocas graníticas “*mariolas*” - Geossítio de Covão do Boi

5.5. Medidas y acciones propuestas

El diagnóstico territorial de los geosítios, establece criterios esenciales en la planificación de acciones y estrategias de gestión a implementar en los geosítios del Geopark.

En base a las vulnerabilidades identificadas en el análisis de la cartografía, se propone realizar estudios multidisciplinarios para definir las acciones y medidas estratégicas de conservación adecuadas para el territorio del Estrela Geopark. Estudios como:

a. Estudio de capacidad de carga turística para los geosítios

Reconociendo el impacto que generan las actividades de pisoteo en sectores vulnerables, se propone estudios de capacidad de carga máxima, de manera que sea un instrumento de planificación para el flujo turístico de cada geosítio. Un estudio de capacidad de carga representa el máximo nivel de uso por visitantes que un área puede mantener, constituyendo el límite de la actividad humana, es decir, si ese límite es excedido, el recurso natural podría deteriorarse (Ceballos-Lascuráin, 1996). Para este estudio, se necesita establecer criterios de análisis, que no debe enfocarse únicamente en el número de visitantes que recibe un espacio, también se debe considerar la distribución en toda el área, las actividades y comportamiento de los visitantes, así como el estado de la infraestructura turística (Zelenka & Kacatl, 2014). La capacidad de carga es variable en el tiempo, con características dinámicas y que depende de la velocidad del cambio, siendo recomendable establecer estudios periódicos por cada geosítio.

De manera complementaria, se plantea la instalación de sensores de movimiento, que ayuden a definir el número de visitantes que reciben los geosítios en un determinado espacio de tiempo. Se puede generar una base de datos estadísticos y cartográficos, pudiendo crearse mapas que establezcan los sectores con mayor tránsito peatonal.

b. Prácticas de monitoreo periódicas con tecnologías SIG

La información y resultados obtenidos en esta investigación, revelan los beneficios positivos del uso de técnicas de detección remota para topografías como la de Serra da Estrela. Nuevas tecnologías fotogramétricas apoyadas con los VANT brindan información precisa y de alta resolución que permite un diagnóstico del territorio para prácticas de interpretación, monitoreo y gestión de espacios naturales. Se propone estudios metodológicos para implementar planes de interpretación y monitoreo del territorio, presentándose como una herramienta para la toma de decisiones en el manejo de espacios naturales protegidos.

c. Evaluación de la instalación de senderos en los geossítios

Los resultados alcanzados en esta investigación revelan una alta vulnerabilidad frente a la actividad de pisoteo de los visitantes en los tres geossítios, que pueden generar alteración en el paisaje natural y en los hábitats comprometidos. Se propone evaluaciones interdisciplinarias para abordar esta problemática e identificar una medida adecuada que no altere los ecosistemas ni el paisaje de los geossítios. Alternativas como senderos bien delimitados, caminos o pasadizos que puedan orientar a los visitantes y que no perjudiquen el patrimonio natural de los locales.

Capítulo 6

Conclusiones

El contexto actual ha colocado en la palestra los temas de conservación y valoración del paisaje geográfico, particularmente del patrimonio geológico, generando diversos métodos y criterios que pueden ser utilizados en los procesos de inventariado, comprensión, conservación y protección de los sitios de interés geológico. El uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) para la obtención de fotografías aéreas permitió realizar de forma rápida ortomosaicos y modelos digitales de superficie de tres geossítios, constituyendo información de base de muy alto detalle para la gestión y monitoreo futuro de los geossítios. La cartografía de alta resolución, obtenida a través de VANT, ha brindado información eficaz y precisa que contribuyen con estos procesos, convirtiendo esta técnica en un instrumento importante para la planificación de los espacios naturales.

El análisis detallado de los ortomosaicos y los modelos digitales de superficie (DSM) permitió elaborar mapas de cobertura del suelo, caracterizando algunos elementos geomorfológicos, como los alveolos y columnas graníticas de forma cuantitativa e incluso identificar un nuevo arco morrénico en el geossítio de Lagoa Seca. Las columnas graníticas de Covão do Boi fueron analizadas y divididas en clases, en función de sus características morfológicas. Por primera vez fueron contadas las columnas del geossítio de Covão do Boi, identificando un total de 58 columnas graníticas.

Los mapas producidos permitirán identificar las aéreas más afectadas por las actividades humanas, en particular los sectores con pisoteo sobre vegetación y suelo desnudo. Se verifico que entre el año 2014 y 2019, en todos los geossítios se registró un aumento del pisoteo de 4 a 13%, excepto en los sectores sin vegetación en Lagoa Seca, donde se verifico una reducción de 10%. Los sectores donde aumento el pisoteo parecen distribuirse en pequeños clústeres a lo largo de caminos ya existentes, en las cercanías de las carreteras de acceso, o en sectores con mayor interés escénico (lagunas).

Las políticas integradas entre el Estrela Geopark y sus socios estratégicos fortalece su territorio, completando iniciativas y prácticas en pro de conservar, proteger y proponer un desarrollo equilibrado del patrimonio natural con las comunidades que en ella habitan. El trabajo estratégico del Estrela Geopark con los municipios robustece aún más su desempeño, en coordinación constante para un desarrollo económico y social de sus pobladores. La organización del Geopark viene realizando un trabajo integrador en el territorio de Serra da Estrela, generando conocimiento para las poblaciones locales y visitantes, difundiendo lo valioso del patrimonio geológico y conjugándolo con una gestión sostenible en el tiempo.

Los Geoparks pueden ser oportunidades para la sostenibilidad cultural y el desarrollo de territorios rurales, intentando reducir la tasa de desempleo y migración mediante la participación de los pobladores locales en actividades propuestas por el Geopark, enfocadas en mejorar la economía local a través del Geoturismo, la educación, las actividades de conservación y estrategias innovadoras de desarrollo. La actividad del Geoturismo es una práctica turística muy desarrollada en los últimos años en territorios

de montaña, y envuelve todos los ámbitos de interés del Estrela Geopark, promoviendo el turismo en áreas naturales centrándose en la geología y el paisaje, enfocado hacia los geosítios, la conservación de la geodiversidad a través de la apreciación y el aprendizaje. Se presenta con esta actividad, oportunidades de desarrollo económico y a la par, espacios de análisis para interpretación del territorio y diseño de estrategias de geoconservación y desarrollo sostenible.

El Estrela Geopark es un territorio muy atractivo para visitantes nacionales e internacionales, y es necesario armonizar la actividad turística con las prácticas de geoconservación. Este trabajo muestra que la utilización de fotografías aéreas de ultra-alta resolución, obtenidas a través de VANT, permite una caracterización del uso del suelo muy detallada. Demostró que los geosítios estudiados sufrieron un aumento del pisoteo en un periodo de estudio muy corto, por el que es urgente medidas de gestión adecuadas. Adicionalmente, el resultado de esta investigación también pretende brindar instrumentos que apoyen con la obtención de los objetivos planteados por el Geopark y que pueda servir como elemento de partida para futuros estudios científicos y de gestión del territorio de Serra da Estrela.

Bibliografía

- Borba, W. A., (2011). Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 38, n.1, 3-13.
- Brilha, J. (2005). Património geológico e geoconservação: A conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga. Palimage Editores, 190 pp.
- Brilha, J. (2015). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. The European Association for Conservation of the Geological Heritage, *Geoheritage*, 119-134.
- Brilha, J., Andrade, C., Azerêdo, A., Barriga, F.J.A.S., Cachão, M., Couto, H., Cunha, P.P., Crispim, J.A., Dantas, P., Duarte, L.V., Freitas, M.C., Granja, H.M., Henriques, M.H., Henriques, P., Lopes, L., Madeira, J., Matos, J.M.X., Noronha, F., Pais, J., Piçarra, J., Ramalho, M.M., Relvas, J.M.R., Ribeiro, A., Santos, A., Santos, V.F. & Terrinha, P., (2005). Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as input for the European geological heritage characterisation. *Articles 177 – Episodes*, Vol. 28, Nº 3, 178 pp.
- Brilha, J.; Galopim, A.M. (2010). Geoconservation in Portugal: an Introduction. Associação Portuguesa de Geólogos. *Ciências geológicas: Ensino, Investigação e sua História*, Volume II, 436 pp.
- Brilha, J.; Pereira, P. (2020). Geoconservation in Portugal with Emphasis on the Geomorphological Heritage. in Vieira G., Zêzere, J.L. & Mora, C. (Eds.), *Landforms and Landscapes of Portugal*, Springer: 307-314.
- Canesin, T., Brilha, J., Díaz-Martínez E., (2020). Best practices and constraints un Geopark management: Comparative analysis of two Spanish UNESCO global geoparks. *The European Association for Conservation of the Geological Heritage 2020*, 4-15
- Castro, E., Fernandes, G., Firmino, G., (2015). Tourism Charter of Serra da Estrela: a tool for planning and tourism promotion. *Innovation, Management and Education in Tourism and Hospitality*, 39-45
- Carcavilla L., & Garcia Cortes, A., (2014). Geoparques. Significado y funcionamiento. Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Economía y Competitividad, 2-7.
- Ceballos-Lascuráin, H. (1996). Tourism, ecotourism and protected areas. *IUCN Protected Areas Programme xiv*, 301 pp.
- Daveau, S., (1969). Structure et relief de la Serra da Estrela. *Finisterra v.4 n.8*, 159-197.
- Daveau, S., Coelho, C., Gama, E., Costa, V., Carvalho, L. (1977). Répartition et rythme des précipitations au Portugal, *Memórias do CEG, Nº3*, Lisboa. 192 pp.
- Daveau, S., Ferreira, A., Ferreira, N., Vieira, G., (1997.) Novas observações acerca da glaciação da Serra da Estrela. *Estudos do Quaternário*, 1, APEQ, Lisboa, 1997, 41-51.
- Estrela Geopark (2017). Application Dossier for UNESCO Global Geopark, 50 pp.
- Ferreira, N.; Vieira, G. (1999). Guia geológico e geomorfológico do Parque Natural da Serra da Estrela. ICN e IGM, Lisboa, 112 pp.

- Gonçalves, J.A., & Henriques, R., (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 101 - 111.
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. Department of Geography Queen Mary, University of London. John Wiley & Sons, Ltd., 66-133.
- Gray, M. (2008). *Geodiversity: developing the paradigm*. *Proc Geol Assoc* 119, 287-298.
- Henriques, MH.; Brilha, J. (2017). UNESCO Global Geoparks: a strategy towards global understanding and sustainability. *IUGS – Vol.40, nº4*, 349-355
- Henriques, MH.; Pena Reis, R.; Brilha, J.; Mota, T. (2011). Geoconservation as na Emerging Geoscience. *Geoheritage* 2011 3: 117-128.
- Hose, T.A. (2000). European Geotourism – geological interpretation and geoconservation promotion for tourists. *Geological Heritage: its conservation and management*. D. Baretino, W.A.P. Wimbledon and E. Gallego (Eds.), 127-146.
- Jansen, J. (2002). *Guía Geobotánico da Serra da Estrela*. Inst. Conservação da Natureza. Lisboa. 276 pp.
- Johansson, C. E. (2000). The geodiversity of the Nordic countries, 4-12.
- Mora, C. (2006). *Características regionais e particularidades locais dos Planaltos e do alto Vale do Zêzere*. Tese de doutoramento em geografia – Universidade de Lisboa, 446 pp.
- Moreira, A.; Vieira, G. (2012). Modelação do glaciário do Zêzere durante a última deglaciação (Serra da Estrela, Portugal). *7ma Asamblea hispano-portuguesa de geodesia y geofísica*, 509-731.
- Pacheco, J.; Brilha, J. (2014). The importance of interpretation for the diffusion of geoheritage: a review. *Geological Communications*. LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP, 101-107.
- Pemberton, M. (2001). Conserving geodiversity, the importance of valuing our geological heritage. *Geological Society of Australia National Conference*, 3-11.
- Pereira, D.; Pereira, P.; Alves, M.I.; Brilha, J. (2006). *Inventariação Temática do Património Geomorfológico Português*. Centro de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga, 8 pp.
- Pereira, P. (2006). *Património geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação*. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 395 pp.
- Pereira, P.; Pereira, D.; Alves, M.I. (2004). *Património geomorfológico: da atualidade internacional do tema ao caso português*. Centro de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga, 18 pp.
- Pereira, P.; Pereira, D.I.; Brilha, J. (2010). The framework “Glacial and periglacial landforms and deposits” in the scope of the Portuguese Geological Heritage inventory. *Sociedade Geológica de Portugal – VIII Congresso Nacional de Geologia 2010*, 4-11
- Pinho, J. (2008). *Evolução histórica dos organismos no âmbito da administração pública florestal (1824-2012)*. *Cadernos de análise e prospetiva CULTIVAR – nº 11*, 87 pp.

- Rebelo, F.; Cunha, L.; Campar de Almeida, A. (1990). Contribuição da Geografia Física para a inventariação das potencialidades turísticas do Baixo Mondego. *Cadernos de Geografia* nº 9. 9-34.
- Reynard, E.; Brilha, J. (2018). *Geoheritage: assessment, protection and management*. Elsevier, Amsterdam, 53-55.
- Ribeiro, A. (2013). A evolução Geodinâmica de Portugal: os ciclos ante-mesozóicos. In: Dias, R.; Araújo, A.; Terrinha, P.; Kullberg, J.C.; (Eds.). *Geologia de Portugal no contexto da Ibérica*. Univ. Évora. 15-57 p.
- Sharples, C. (1995). *Geoconservation in forest management – principles and procedures*. Forestry Tasmania, Volumen 7, 37-50.
- Sharples, C. (2002). *Concepts and principles of geoconservation*, 82 pp.
- Smith, M.W.; Carrivick, J.L.; Quincey, D.J. (2016). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography* 40(2), 247-275.
- Teixeira, C. (1982). Comissão Nacional da Geologia. *Boletim da A.P.G.* Nº 3, 17-21.
- Vieira, G. (2000). Glacial and periglacial data integration in a GIS: methodology used in the Serra da Estrela, Portugal. *Geological Quarterly*, 2000, 44 (1): 27-31.
- Vieira, G. (2004). *Geomorfologia dos planaltos e altos vales da Serra da Estrela*. Dissertação de doutoramento em Geografia. Universidade de Lisboa, Departamento de Geografia, 391 pp.
- Vieira, G. (2008). Combined numerical and geomorphological reconstruction of the Serra da Estrela plateau icefield, Portugal. *Geomorphology* 97, 190-207.
- Vieira, G.; Mora, C. (1998). General characteristics of the climate of the Serra da Estrela. *IGU Commission on Climate Change and Periglacial Environments*. CEG and Department of Geography, University of Lisbon, 26-36.
- Vieira, G.; Jansen, J.; Ferreira, N. (2005). Environmental Setting of the Parque Natural da Serra da Estrela, T. Pinto Correia, R.G.H. Bunce & D.C. Howard (eda.), *Landscape ecology and management of Atlantic mountains*, Landscape Ecology Series, IALE Publication series number 2, 53-64.
- Vieira, G.; Mora, C.; Ramos, M. (2002). Ground temperature regimes and geomorphological implications in a Mediterranean mountain (Serra da Estrela, Portugal). *ScienceDirect – Geomorphology*, 57-72.
- Vieira, G.; de Castro, E.; Gomes, H.; Loureiro, F.; Fernandes, M.; Patrocínio, F.; Firmino, G.; Forte, J.P. (2020). The Estrela Geopark—From planation surfaces to glacial erosion. in Vieira G., Zêzere, J.L. & Mora, C. (Eds.), *Landforms and Landscapes of Portugal*, Springer: 341-357.
- Vieira, G.; Nieuwendam, A. (2020). Glacial and Periglacial landscapes of the Serra da Estrela. in Vieira G., Zêzere, J.L. & Mora, C. (Eds.), *Landforms and Landscapes of Portugal*, Springer: 185-198.
- Westoby, M.J.; Brasington, J.; Glasser, N.F. (2012). Structure from motion photogrammetry: A low cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179: 300-314.

- Wimbledon, W. (2011). Geosites – A mechanism for protection, integrating national and international valuation of heritage sites. Dept. of Earth Sciences, University of Bristol, 14 pp.
- Zelenka, J.; Kacetl, J. (2014). The concept of carrying capacity in tourism. *Amfiteatru Economic*. Vol. XVI. N° 36, 641-654.