

*Mapeamento geoecológico no Parque Nacional dos Campos
Ferruginosos de Carajás/Pará-Brasil*

*Geocological mapping of the Campos Ferruginosos de
Carajás National Park, Pará state, Brazil*

*Cartografiado geoecológico del Parque Nacional dos
Campos Ferruginosos de Carajás/Pará-Brasil*

Maria Rita Vidal

Universidade do Sul e Sudeste do Pará
ritavidal@unifesspa.edu.br

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas

Universidade do Sul e Sudeste do Pará
abraaolevi@unifesspa.edu.br

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo classificar as tipologias das paisagens, lastreadas pela metodologia da Geoecologia das Paisagens, aplicada ao Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás (PNCF), cartografando as unidades geoecológicas, associando-as a formações geomorfológicas, drenagem, fitofisionomias e ocorrência de mosaicos de solos. As bases metodológicas foram compostas a partir da Geoecologia das Paisagens associadas às técnicas dos sistemas geoinformativos. Como resultados, tem-se que a variação da topografia associada aos tipos de solos e clima pretérito determinam duas grandes fitofisionomias: formações florestais e formações herbáceo-arbustivas de cangas. Seis subunidades geoecológicas foram identificadas e classificadas no Parque: encostas florestadas com capão florestal denso, planalto dissecado com floresta ombrófila aberta, planalto dissecado com floresta ombrófila densa, depressões florestadas com Buritizal, platô com campo rupestre com canga couraçada, platô com campo rupestre de canga nodular. Conclui-se que o PNFC é composto de seis unidades geoecológicas com singularidades diversas e elevada geodiversidade, um tipo raro de geossistema que deve ser melhor estudado para desvendar suas complexidades.

Palavras-chave: Geoecologia das Paisagens, Sistema de Informação Geográfica, Parque Nacional Campos Ferruginosos.

Abstract

This study aimed to classify the landscape typologies of the Campos Ferruginosos de Carajás National Park (PNCF). The methodological bases were composed from the

Geoecology of Landscapes associated with the Geographic Information System (GIS) techniques. Results showed that topography variation associated with soil types and pasture climate present two major phytophysionomies: forest and herb, and shrub (canga) formations. Six geoecological subunits were identified and classified in the PNCF: densely forested slopes, dissected plateau with open ombrophilous forest, dissected plateau with dense ombrophilous forest, buriti (*Mauritia flexuosa*) forested depressions, plateau with rupestrian field (canga couraçada), plateau with grassy Field (canga nodular). Thus, it is possible to conclude that the PNCF comprises geoecological units with diverse singularities and high geodiversity - a rare geosystem that should be better studied in order to unravel its complexities.

Keywords: Geoecology of Landscapes, Geographic Information System, Campos Ferruginosos de Carajás National Park.

Resumen

El trabajo tuvo como objetivo clasificar las tipologías de paisajes del Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás (PNCF). Las bases metodológicas fueron compuestas a partir de la Geoecología de Paisajes asociados a las técnicas de los sistemas geoinformativos. Como resultante se tiene que la variación de la topografía asociada a los tipos de suelos y clima remoto determinan dos grandes fitofisionomías: formaciones forestales y formaciones herbáceo-arbustivas de cangas. Seis subunidades geoecológicas fueron identificadas y clasificadas en el Parque: laderas forestadas con capón forestal denso, altiplano disecado con floresta umbrófila abierta, altiplano disecado con floresta umbrófila densa, depresiones forestadas con Buritizal, meseta con campo rupestre con canga acorazada, meseta con campo rupestre de canga nodular. Se concluye que el PNCF está compuesto de unidades geoecológicas con singularidades diversas y elevada geodiversidad, un tipo raro de geosistema que debe estudiarse mejor para desvelar sus complejidades.

Palabras clave: Geoecología de los Paisajes, Sistema de Información Geográfica, Parque Nacional Campos Ferruginosos.

Introdução

No Brasil, os geossistemas ferruginosos estão inseridos nas áreas estratégicas para a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais (JACOBI et al., 2015). Os principais geossistemas ferruginosos no Brasil constituem verdadeiras paisagens ímpares, com predomínio e elevada concentração de ferro. Essas paisagens estão localizadas apenas na Serra do Carajás-PA, em Caetité-BA, no Vale do Rio Peixe Bravo-MG, na Bacia do Rio Santo Antônio-MG, no Quadrilátero Ferrífero-MG e em Morraria de Urucum-MS (SOUZA; CARMO, 2015).

As maiores áreas de depósitos de minério no Brasil concentram-se nos Estados de Minas Gerais com 72,5% das reservas e teor do minério em torno de 46,3% de Fe; Mato Grosso do Sul com 13,1% das reservas e teor do minério em torno de 55,3%; e no Estado do Pará com 10,7% das reservas e 64,8% de teor do minério (SOUZA; CARMO, 2015, p. 56). Destes, a maioria dos depósitos de minérios de ferro hematíticos de alto teor (entre 60-67% de Ferro-Fe) são resultantes do enriquecimento das formações ferríferas bandadas associado ao período Pré-Cambriano (BEUKES et al., 2002).

O elevado teor de minério de Ferro no Estado do Pará (região da Serra dos Carajás) associado à elevada geodiversidade inserem a mesorregião do Sudeste do Pará

como uma área de grandes interesses econômicos e, conseqüentemente, grandes conflitos entre demandas regionais e internacionais que refletem o padrão de desenvolvimento para a Amazônia Brasileira (MELLO-THÉRY, 2011).

No Sudeste do Pará, na região de Carajás, identifica-se geossistemas ferruginosos com paisagens complexas que detêm rica geodiversidade, por apresentar-se em áreas de cangas. Essas paisagens são assim, um tipo raro de geossistema composto por paisagens constituídas pela predominância de afloramentos rochosos de hematita, identificáveis no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PARNA)(SCHAEFER et al., 2008; 2002). Sendo um tipo raro de geossistemas, associado diretamente aos afloramentos rochosos de hematita, contém solos rasos congregacionados e vegetação com elevado índice de endemismo que compõe a savana metalófila ou áreas de Cangas(CARMO et al.,2012; CORRÊA, et al., 2016; MOTA et al., 2018).

As áreas de cangas a exemplo do PARNA dos Campos Ferruginosos localizam-se em *hotpots* mundiais de diversidade (SMITH; CLEEF, 1988). Estes oferecem uma gama de serviços e funções ambientais que expressam a importância de estudos integrados sobre essas paisagens. Por sua elevada biodiversidade em plena área de cangas, em 2017, na Serra de Carajás, foi criado o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás como Unidade de Conservação de Proteção Integral.

A formação dessas paisagens confere atributos para a preservação e conservação, entre eles: espécies raras da flora e fauna, complexa litologia, seus tipos de solos e a expressiva quantidade de cavidades naturais em ferro, que podem ser melhor identificadas sobre a base de conhecimento da Geoecologia das Paisagens proposta por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), Hasdenteufel et al. (2008) e Serrano e Manent (2016), que detêm nos estudos integrados a delimitação e caracterização das unidades geoecológicas. Sobre a base de conhecimento da estrutura e funcionamento das paisagens é possível determinar o diagnóstico e a situação ambiental, elementos-chave para a tomada de decisões estratégicas de desenvolvimento político-administrativo no Parque.

Através de estudos integrados baseados no paradigma geográfico da Geoecologia das Paisagens, analisam-se as paisagens como um sistema integrado que se relaciona e se intercomunica entre seus componentes, levando em conta os condicionantes ambientais e características climáticas. Assim, a paisagem como complexo territorial permite compreender suas estruturas, processos, dinâmica e estado atual sobre a ótica sistêmica (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004; VIDAL, 2014; MARTINEZ; RODRIGUEZ; HERNÁNDEZ, 2014).

Neste trabalho os objetivos foram: (i) delimitar e classificar as unidades geoecológicas que compõem o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, (ii) determinar a estrutura e funcionamento dessas paisagens.

A região que abriga o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos compreende vastas áreas com características distintas de outras regiões da Amazônia, por possuir paisagens com dois ecossistemas em perfeita harmonia – floresta ombrófila e savana metalófila; pela importância ecossistêmica das florestas amazônicas e pelo endemismo

conferido às savanas metalólicas (HAFFER; PRANCE, 2002; AB'SÁBER, 2003; ARDENTE et al., 2016), essas áreas resguardam importantes serviços ecossistêmicos tão importantes à sustentabilidade ecológica/ambiental e social (CONSTANZA et al., 1997; CONSTANZA, 2000)¹, nas quais existem características específicas para a estrutura e funcionamento das paisagens.

Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo pertence ao Domínio Amazônico, mas detém fortes influências climáticas do Domínio Cerrado. A Serra de Carajás é um complexo montanhoso caracterizado pela expressiva riqueza de recursos minerais, com relevos acidentados e presença de platôs de afloramentos de rochas ferruginosas isolados (AB'SÁBER, 1986).

Neste complexo montanhoso, também referido como Província Mineral de Carajás, localizado no Sudeste do Pará, na região da Serra de Carajás, situa-se o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos – Unidade de Conservação de Proteção Integral, instituída em 2017, que abrande os municípios de Canaã do Carajás e Parauapebas.

A unidade de conservação foi estabelecida através do Decreto s/n, de 5 de junho de 2017, como mecanismo de compensação ambiental sobre as ações de mineração na região, que tem como objetivo proteger a diversidade biológica da Serra da Bocaina e do Tarzan e suas paisagens naturais, distribuídos em uma área de 79.029ha (setenta e nove mil e vinte e nove hectares).

A criação do Parque atende ao cumprimento da condicionante determinada pelo IBAMA/ICMBio à mineradora Vale/SA como compensação ambiental pela instalação do Projeto de Mineração Ferro Carajás S11D (ICMBio, 2018).

O projeto S11D é atualmente o maior complexo minerador no Brasil. Localizado no município de Canaã dos Carajás, no Sudeste do Pará, o projeto traz o sistema truckless que substitui os tradicionais caminhões fora de estrada por correias transportadoras, essa ação possibilita um menor impacto ao conjunto de Unidades de Conservação (Mosaico Carajás) na qual tem influência o S11D.

O Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás passou a ser a sexta unidade que compõe o Mosaico Carajás (Figura 01).

¹Indicamos o texto de Potschin e Haines-Young (2011) sobre serviços ecossistêmicos a partir da exploração geográfica: POTTSCHIN, M. B.; HAINES-YONG, R. H. Ecosystem services: Exploring a geographical perspective, *Progress in Physical Geography*, SAGE, 35(5) 575–594, 2011.

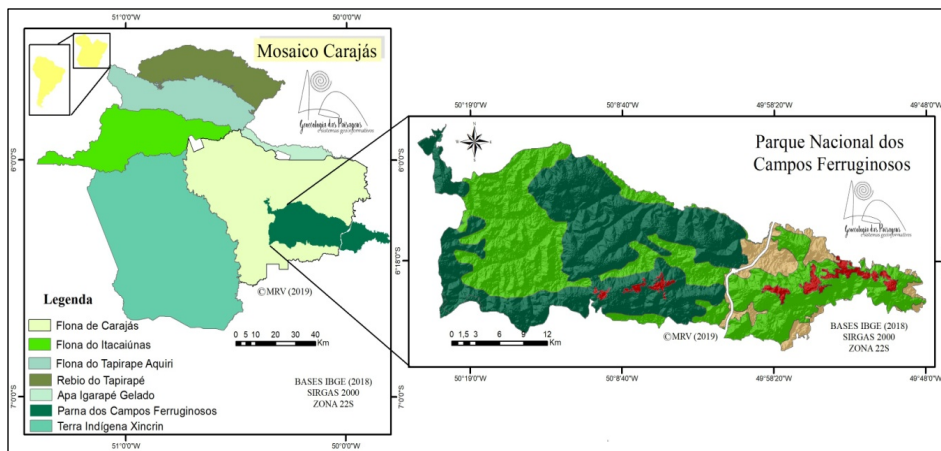


Figura 01: Localização geográfica das unidades de conservação que compõem o Mosaico Carajás/PA acrescida da Terra Indígena Xinxrin do Cateté, com destaque para o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás

Fonte: Bases vetoriais do IBGE. Organização dos autores.

O Mosaico é composto por um conjunto de seis unidades de conservação próximas, com sobreposição e categorias com usos diferentes. Justaposta ao mosaico, tem-se ainda a Terra Indígena (TI) Xicrin do Cateté (ALMEIDA, 1994).

Compõem o mosaico Carajás: a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Floresta Nacional do Itacaiúnas, Reserva Biológica do Tapirapé, Área de Proteção Ambiental do Igarapé do Gelado, Floresta Nacional de Carajás - e o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás juntas somam aproximadamente 12.000km²(ICMBio, 2018).

Estudos para a criação do Parque dos Campos Ferruginosos já apontam para essa unidade ser o maior Parque Nacional com cavernas em rochas ferríferas do país, além de abrigar espécies raras e registros arqueológicos das primeiras ocupações humanas na Amazônia (ICMBio, 2018).

Materiais e métodos

A criação de uma base de dados, considerando simultaneamente os fatores abióticos (geologia, geomorfologia, clima, hidrografia) e bióticos (cobertura vegetal e fauna), é o princípio da ação direta para a elaboração de mapas temáticos e posterior delimitação das unidades de paisagem geocológica.

Para Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004) a unidade de paisagem com a individualização, tipologia das unidades espaciais, possibilita os estudos das unidades geocológicas que abordam as propriedades de diferenciação paisagística, sendo fundamental na diferenciação morfológica e topológica da paisagem (VIDAL, 2014). Para este estudo foi criada a base de dados referente aos condicionantes ambientais da porção Leste da Folha Serra de Carajás (SB.22-Z-A). Os dados contidos nos planos de

informações temáticas foram adquiridos através de downloads dos dados vetoriais em órgãos oficiais.

Utilizou-se os seguintes dados vetoriais e matriciais para o mapeamento temático da área de estudo e posterior delimitação das unidades de paisagem: a) Malha Territorial Estado do Pará (IBGE, 2007); b) Geologia/litologia (CPRM, 2019); c) Geomorfologia (IBGE, 2007); d) Solos (IBGE, 2007); e) Vegetação (IBGE, 2007); f) Cobertura da Terra (IBGE, 2012); g) Hipsometria e MDT/Modelo Digital do Terreno que são dados retirados do radar de abertura sintética (SAR) ALOS PALSAR 2018, com resolução espacial de 12,5m, essas imagens foram disponibilizadas pela Earth Data em seu site (www.asf.alaska.edu).

Imagem de Satélite Sentinel-2 (USGS, 2019), com 10m de resolução espacial foi utilizada para vetorização e composição do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) para as manchas de vegetação. O método de NDVI tem sido usado para múltiplos fins, seja para estimar colheitas, monitoramento de cobertura vegetal – no continente africano tem-se usado como ferramenta meteorológica para estimar perda de vegetação para o seguro safra; outros autores têm utilizado comparações de índices de vegetal para definir a melhor equação em distintos fenômenos (TURVEY; MCLAURIN, 2012; KOIDE; KOIKE, 2012; VIÑA et al., 2011).

A delimitação das formações florestais para classificação dos valores do NDVI/Sentinel-2B foram associados aos valores obtidos pelo MDT-AlosPalsar, além das coletas de pontos do receptor de Sistema de Posicionamento Global (GPS) usado em campo. Assim o uso dos dados obtidos dos Raster de NDVI tem uma resolução de quadriculas de 10x10 metros e o MDT com 12,5x12,5 metros e foram os primeiros indicadores espaciais que permitiram realizar uma métrica espacial da vegetação.

Os pontos de GPS permitiram planejar os levantamentos em campo e reorganizar os pixels do NDVI para as classes vegetacionais, para análise das medidas radiométricas encontradas na área. Assim a pesquisa ficou na dependência, de um lado, da resolução espacial das imagens de satélite e de radar; e, de outro, da dependência do número de classes capazes de serem identificadas em campo.

Assim a metodologia para definição de classes de vegetal por medidas radiométricas foi cortejada com os estudos de Epiphanyo et al. (1996), Lang e Blaschke (2009), Koide e Koike (2012) e Sashikkumar et al. (2017), os quais associam de forma direta o uso de imagens orbitais, fenologia vegetal e as formas de relevo, para produzir cartas de vegetal usadas no planejamento de paisagens ou mesmo no planejamento/monitoramento de colheitas.

Quadro 01: Cruzamento de informações Raster e Pontos de GPS.

Unidades Geomorfológicas	Classes de Vegetal	Variações Radiométricas	Pontos coletados por GPS	Erro médio de posicionamento
Platô	Campos Rupestres	0.233947516 – 0.436062675	- 49,926646 W/- 6,324309E - 49,838840 W/- 6,325274E - 49,918704W/- 6,291468E - 50,134096W/- 6,329743E	0,3000cm
Depressão	Depressão Florestada	0.436062675 – 0.623143443	- 49,978281W/- 6,290837E - 49,933302W/- 6,285813	0,3000cm
Patamares e encostas	Floresta Ombrófila aberta	0.623143443 – 0.731911331	- 50,288139W/- 6,265641E - 49,930784W/- 6,351513E -50,297326W/- 6,223068E	0,3000cm
Patamares e encostas	Floresta Ombrófila Densa	0.731911331 – 0.875684943	- 50,095042W/- 6,287046E -50,002463W/- 6,324837E -49,922668W/- 6,308960E	0,3000cm

Fontes: Imagens Sentinel-2B 2019; MDT- Alos PalSar (2018). Elaborado pelos autores (2019).

A partir da interpretação de imagens de satélites e com base nos mapas elaborados em escala regional, traçou-se as linhas iniciais para a delimitação dos mapas temáticos. Estes possibilitaram a elaboração de arquivos vetoriais, validados e comprovados após as reambulações realizadas em campo. Para a síntese cartográfica, lançou-se mão do *software* Arcgis² para processamento dos dados espaciais e composição dos mapas temáticos. Para composição das tabelas e figuras usou-se o Programa CorelDraw que possibilita maior liberdade para a finalização gráfica.

Metodologia

A etapa inicial para a delimitação das unidades de paisagem consistiu em agrupar todos os planos de informações com a extração dos atributos e convenção para os formatos vetoriais, seguidos de suas reclassificações, abordando todos os condicionantes geoecológicos da paisagem estudada (Figura 02). A base para o mapeamento e compartimentação geomorfológica foi estabelecida pelas macroformas do relevo

²*Software* licenciado e administrado pelo CTIC/Unifesspa para uso no Laboratório de Geografia Física da Faculdade de Geografia.

brasileiro – planaltos e depressões, considerando a classificação de Ross (2006), o qual traz uma perspectiva de os processos morfogenéticos e tectônicos (ROSS, 2016).

Toda a área do PARNA dos Campos Ferruginosos insere-se em áreas de planalto dissecado, caracterizado por maciços residuais, de topos aplainados, intercortados por conjunto de picos, interpenetrados por faixas de terras mais baixas. Foram retiradas as Informações do relevo da área através da composição dos dados de hipsometria e do Modelo Digital do Terreno (MDT), sobre os aportes teóricos e conceituais de Valeriano (2008) e Guimarães et al. (2008) que usam modelos digitais de elevações para caracterização geomorfológica em seus elementos de elevação e declividade – entre outros. Sobrepondo às formas de relevo, foram consideradas as tipologias da vegetação. Onde as classes de vegetação com base nos dados do IBGE (2012) levaram a uma primeira delimitação das manchas de paisagens.

Para aproximação das classes de vegetação estabelecida pelo IBGE, para a área de estudo elaborou-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), realizado a partir do cálculo da diferença entre as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo (banda 8) e vermelho (banda 4), divididos pela soma das reflectâncias dessas duas bandas, seguindo as bases metodológicas de Ponzoni et al. (2012), Richter e Schläpfe (2012) e Sashikkumar et al. (2017), que trabalham com índice de vegetação por diferenciação normalizada em imagens multiespectrais.

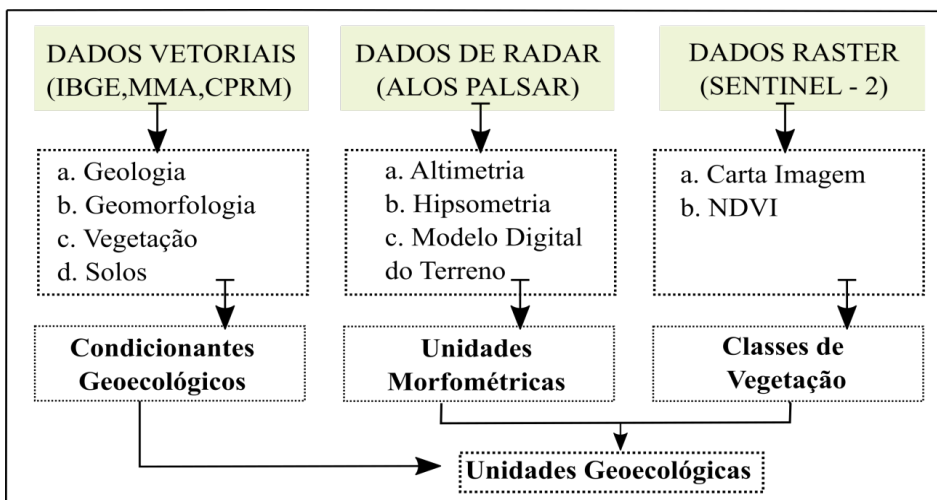


Figura 02: Fluxograma Metodológico.

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

De acordo com a Agência espacial europeia (ESA), as imagens do satélite Sentinel-2B são disponibilizadas em nível de correção atmosférica que permite otimizar o tempo com correções de números digitais para grandezas físicas no software de geoprocessamento. Posteriormente, a imagem raster foi reclassificada para gerar as

seguintes classes fisionômicas a saber: Floresta Ombrófila densa, Floresta Ombrófila aberta, depressão florestada e campos rupestres. Essas foram as bases fitoecológicas que subsidiaram a delimitação das unidades geoecológicas, descritas no Manual da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012); adaptando os conceitos de Rizzini (1979) e Ab'Saber (1986), além dos trabalhos de campo na área, sempre auxiliados pelas imagens de satélites, cenas de radar e sistemas geoinformativos.

A sobreposição dos planos de informações entre condicionantes, o MDT e o NDVI da área de estudo, levou à definição do Mapa de Unidades Geoecológicas na escala de 1:240.000. A combinação de todos os condicionantes físicos-naturais ao sabor das variabilidades climáticas pretéritas deixou de herança à região de Carajás características únicas, compostas por paisagens complexas. A delimitação das unidades geoecológicas deu-se a partir do intercrucamento dos diferentes condicionantes como clima, relevo, complexo geológico, solos, aspectos biogeográficos, dentre outros expressos pelas seguintes unidades geoecológicas (Figura 03).



Figura 03: Unidades Geoecológicas estabelecidas no Parque dos Campos Ferruginosos Carajás/PA
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O Transcurso entre os Condicionantes Físicos e as Unidades Geoecológicas

É inegável a aplicabilidade dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) aos estudos ambientais. A criação de uma base de dados, considerando simultaneamente os fatores abióticos (geologia, geomorfologia, clima, hidrografia) e bióticos (cobertura vegetal e fauna), compreendidos na Figura 04, é o princípio da ação direta para a delimitação das unidades de paisagem (geoecológicas).

Os sistemas formadores das paisagens do Parque dos Campos Ferruginosos são complexos e para compreendê-los, deve-se levar em consideração os estudos sobre a estrutura, funcionamento, dinâmica temporal e evolução das paisagens, para assim fazer apontamentos sobre o grau de modificação e transformação antropogênica (VIDAL, 2014).

Como unidades de paisagem entendem-se a individualização, tipologia das unidades espaciais (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004). Os estudos das unidades geoecológicas abordam as propriedades de diferenciação paisagística, sendo fundamental na diferenciação morfológica e topológica da paisagem (VIDAL, 2014). O geossistema ferruginoso denominado de “canga” é o termo empregado para se referir às

unidades espaciais cujo substrato litológico é constituído, sobretudo, por rochas com elevado teor de minério de ferro.

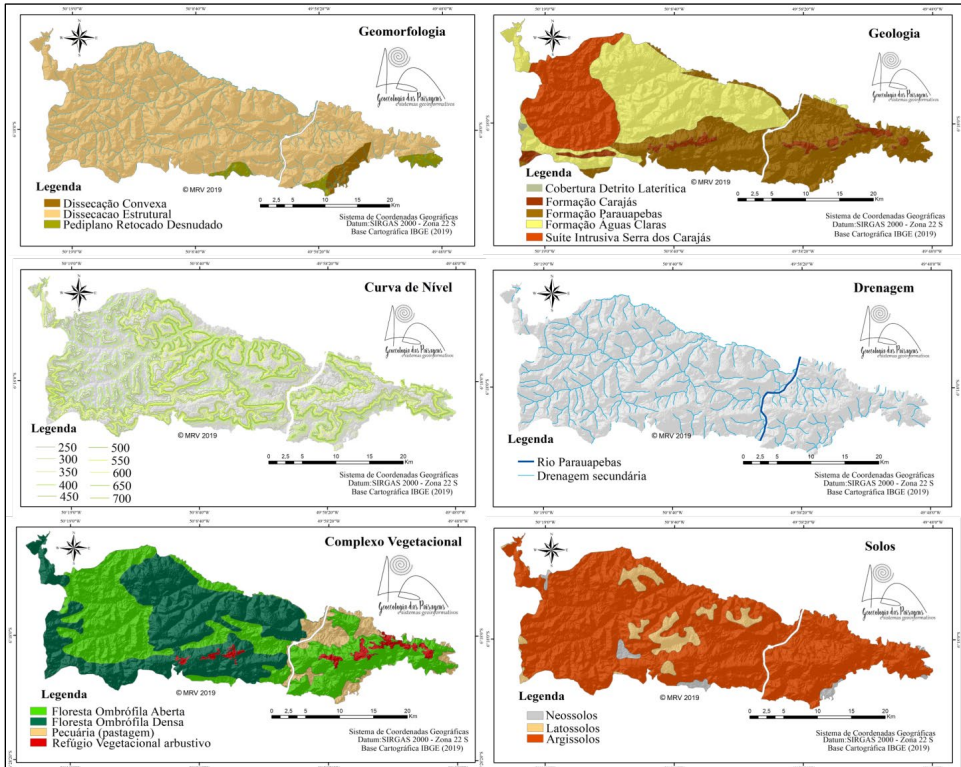


Figura 04: Condicionantes Geoambientais formadores dos Geossistemas do Parque dos Campos Ferruginosos. Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Nesses geossistemas incluem todos os condicionantes físicos, como componentes mineralógicos, climatológicos, hidrológicos, pedológicos, biogeográficos que interagem na composição dessas paisagens denominadas por Ab'Saber (1986) de paisagens de exceção. As paisagens dos Campos Ferruginosos podem ser metodologicamente classificadas através da identificação das unidades geoeológicas que apontam as classes estabelecidas na composição do NDVI, elaborado a partir de imagens Sentinel-2B (Figura 05).

As unidades geoeológicas delimitadas formam e desempenham funções particulares que garantem a estrutura e funcionamento da paisagem no PARNA dos campos ferruginosos. Sua dinâmica revela um alto grau de equilíbrio sistêmico, em processo ativo de resiliência, capaz de comportar níveis elevados de perturbações antropogênicas.

As bases da morfometria implicam diretamente nas dinâmicas dos fluxos. A Figura 06 mostra o mapa hipsométrico, o mapa de declividade e as unidades morfométricas do relevo para os Parques Ferruginosos.

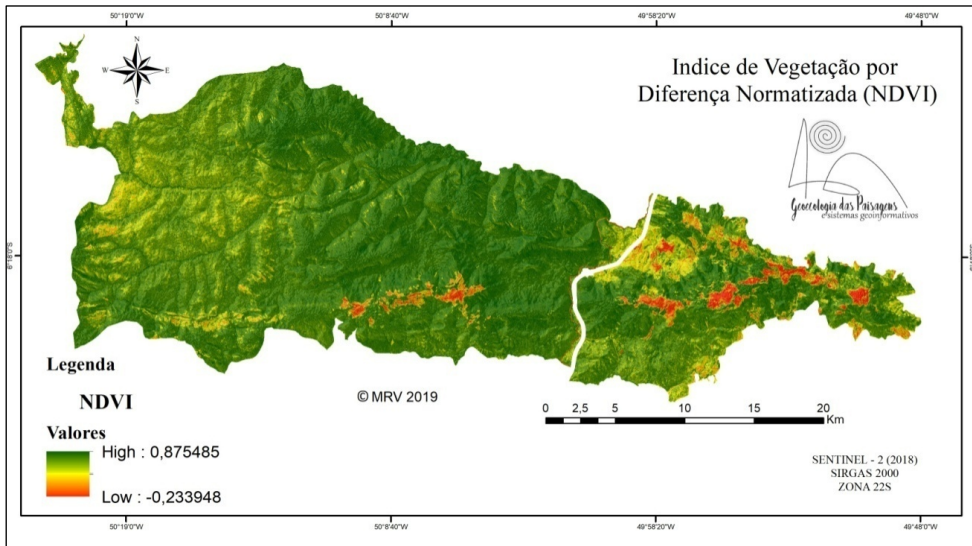


Figura 05: Mapa das classes de Vegetação do Parque Campos Ferruginosos obtidos através do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).
Fonte: Sentinel-2B (2018). Organizado pelos autores (2019).

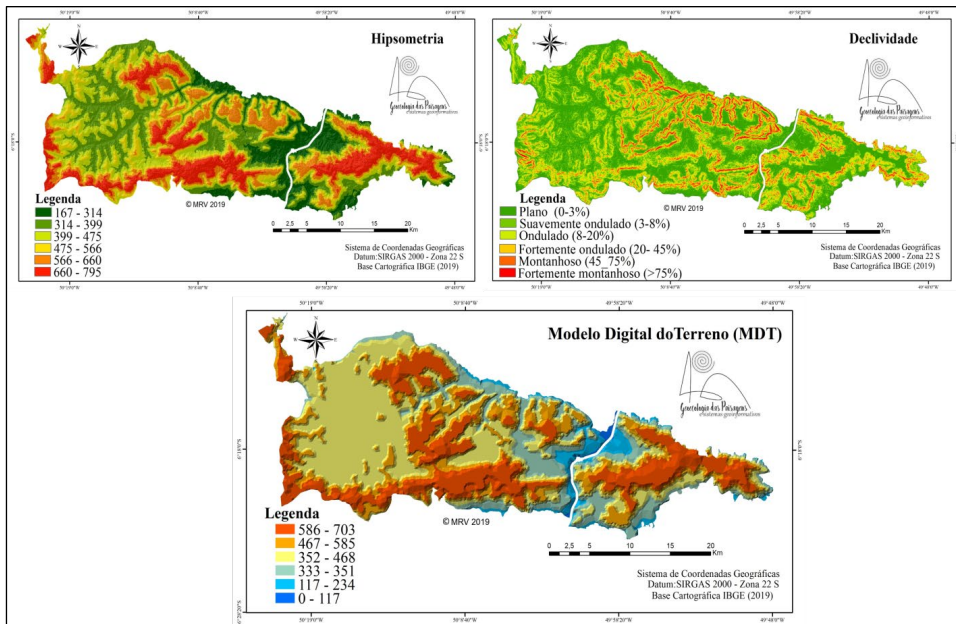


Figura 06: Classes altimétricas, hipsometria e modelo digital do terreno dos Parques Ferruginosos, Carajás-PA.
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A Figura 06 mostra que as altitudes variam de 142-772 metros e que apenas 27% do Parque possui altimetrias acima de 543 metros, apontando para 2 platôs que chegam a 772 metros (Serras da Bocaina e do Tazan). A declividade apresenta-se sob o predomínio de suave ondulado no Planalto dissecado com formação florestal e fortemente ondulado em áreas dos platôs com formação herbácea e arbustiva de cangas, propiciando a formação de drenagem intermitente nos períodos de maior precipitação. A análise morfológica foi apoiada por perfis topográficos cruzados, onde levaram em consideração critérios de altitude e grau de dissecção do relevo (Figura 07).

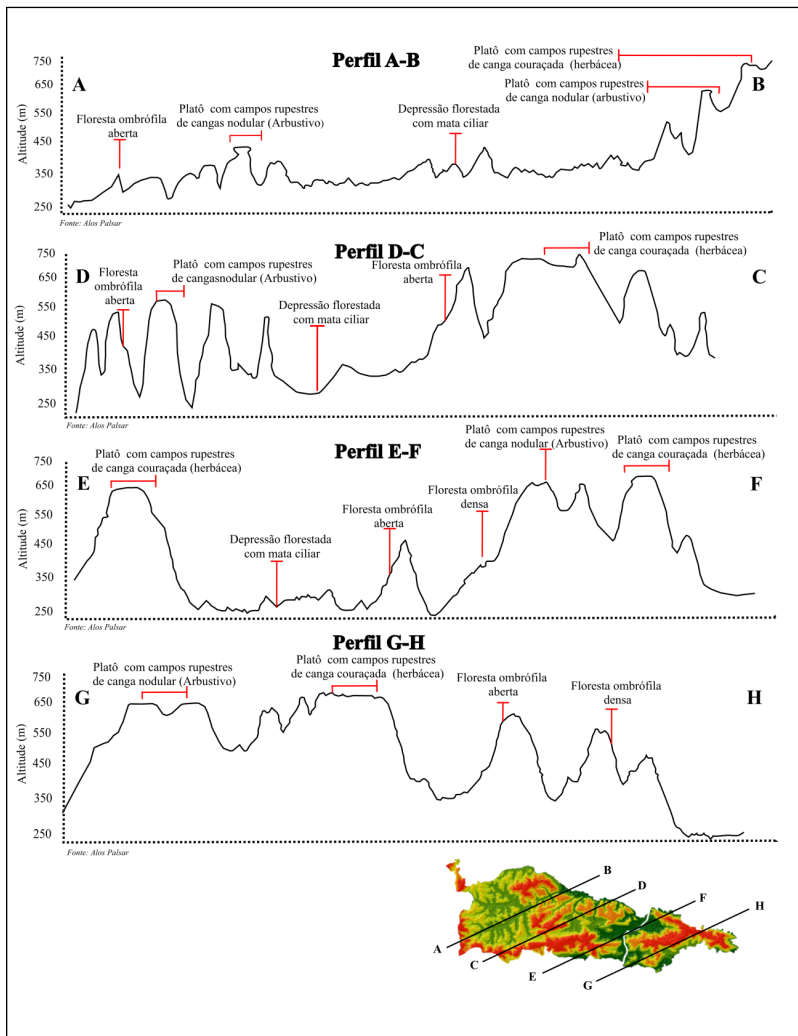


Figura 07: Perfis Topográficos da área de estudo a partir da base de dados Alos Palsar
Fonte: Composição no ArcGIS com dados AlosPalsar.Organizado pelos autores.

No tocante à configuração geomorfológica, a região de Carajás está inserida em duas grandes unidades morfoestruturais: Planalto Dissecado do Sul do Pará e Depressão Periférica do Sul do Pará. Toda a área do PARNA dos Campos Ferruginosos insere-se em áreas de planalto dissecado, caracterizado por maciços residuais, de topos aplanados, intercordados por conjunto de picos, interpenetrados por faixas de terras mais baixas. Fluxos de energia hidroclimática também compõem o quadro sinérgico das unidades funcionais e geoecológicas (Figura 08).




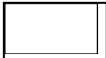
Unidades Funcionais	Funções Desempenhadas	Unidades/exemplo no PARNA
Unidades Emissoras 	Garantem o fluxo de matéria e energia para o restante das áreas, em geral encontra-se em níveis mais elevados.	Com altitudes em torno de 700m constituem os platôs das Serras da Bocaina e do Tarzan.
Unidades Transmissoras 	São expressas pelas áreas que transportam E.M.I essa função é exercida e controla pela direção das vertentes.	Canais fluviais, vertentes e encostas das Serras da Bocaina e Tarzan.
Unidades Acumuladoras 	Armazenam, absorvem, filtram e amortizam os fluxos que são transmitidos de forma concentrada ou seletivamente através das áreas mais altas para as áreas mais rebaixadas.	Áreas deprimidas no sopé das vertentes, planícies fluviais, com altitudes modestas em torno de 200m.
Unidades Reguladoras 	Operam no sistema, regulam o armazenamento de sedimentos e a contenção dos processos erosivos	Áreas de Cangas no Platô das Serras, são as áreas mais elevadas acima de 500m.

Figura 08: Unidades Funcionais do PARNA dos Campos Ferruginosos
 Fonte: Organizado pelos autores(2019).

A paisagem, como todos os elementos, cumpre determinadas funções, ações e trabalho, gerando produtos como resultados. A função geoecológica do geossistema pode ser definida, de acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004, p. 132), “como o objetivo que cumpre o sistema em garantir a estrutura e funcionamento tanto do geossistema como do sistema superior ao qual pertence”. A partir do enfoque de funcionamento, pode-se delimitar as unidades funcionais da paisagem: Unidades Acumuladoras; Unidades Transmissoras e Unidades Emissoras.

Paisagens de Ferro: Unidades Geocológicas do Parna dos Campos Ferruginosos, Carajás-PA

As unidades geocológicas do PARNA-CFC se caracterizam por suas variadas trocas entre os processos físicos e biológicos. A zona de interface dinâmica dessa paisagem implica na resultante entre as interações do relevo, vegetação, solo e atmosfera. Nesse transcurso, compreende-se que todo o conjunto dos platôs com a presença de vegetação herbáceo-arbustiva, denominada de savana metalófica, em associação com a Floresta Ombrófila nos patamares e vertentes, constitui dois geossistemas distintos (Planalto dissecado de formação florestal e Platô com formação herbáceo-arbustivo de canga).

Os critérios morfológicos e fisiográficos permitem uma definição das subunidades de paisagem, sendo ainda relacionadas pelos fluxos integradores atuantes nas unidades geocológicas (Figura 09). Os sistemas ambientais têm como componentes principais os rios, as florestas e a canga; já as unidades funcionais delimitam a ordem de funções sistêmicas da paisagem (emissão, transmissão, acumulação e regulação) que permitem equilibrar todo o funcionamento da paisagem, caracterizando-se como um ambiente dinâmico em estado de equilíbrio.

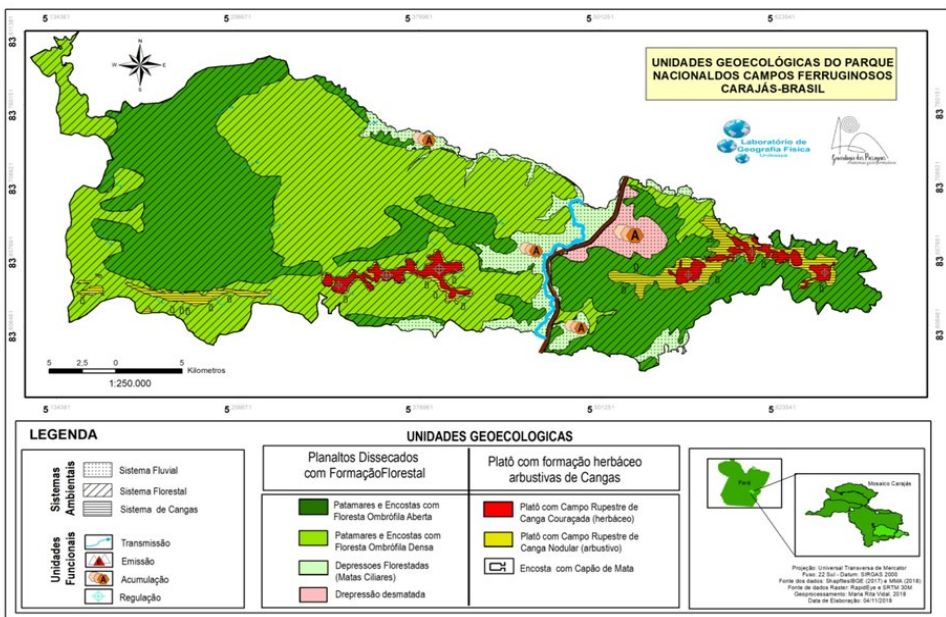


Figura 09: Mapa de Unidades Geocológicas do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos
Fonte: Vidal (2019).

Planalto Dissecado com Formação Florestal

- **Patamares e encostas com Floresta Ombrófila Densa**

Inserida no sistema Florestal no qual predomina as relações entre a vegetação de grande porte com os condicionantes geoambientais (pluviosidade, solos, relevo, clima, temperaturas), essa unidade se estabelece sobre rochas de formação graníticas, onde os fatores climáticos tropicais como elevadas temperaturas (médias de 25°C) e de alta precipitação são determinantes para a composição fisionômica dessa unidade. Os Patamares e encostas com Floresta Ombrófila Densa estão associados às encostas das serras distribuindo-se até áreas mais rebaixadas como os terraços fluviais, com altitudes de 376-452 metros, com relevo forte ondulado (20-45%), como pode ser visto no mapa hipsométrico (Figura 06). Compreende para essa unidade um mosaico de solos composto por Plintossolos Pétricos, Latossolos, Argissolos Vermelho-Amarelo e nas áreas mais acidentadas solos de neoformação (Neossolos). A vegetação dessa unidade é caracterizada pela floresta com caráter de perenifolia que se mantém sempre verde, latifoliadas com a predominância de folhas largas que se desenvolvem em ambientes muito úmidos, característicos de áreas ombrófilas. Como sistema funcional, tem-se o predomínio de funções de emissão e transmissão onde as relações com a pluviosidade e temperaturas se dão com maior propriedade para os processos atuantes nessa subunidade.

- **Patamares e encostas com Floresta Ombrófila Aberta**

Nos Patamares e encostas com Floresta Ombrófila Aberta, por ser a vegetação distribuída de forma mais esparsa, uma maior intensidade da luz solar penetra na floresta possibilitando espécies de maior porte. As altitudes da unidade estão entre 291-376 metros. O relevo predomina o ondulado, com declividades entre 8 e 20% de desníveis e ora apresenta vertentes escarpadas. Palmeiras e bambus são frequentes, assim como grande quantidade de cipós, o que a denomina de “Mata de cipós”. A presença de afloramentos rochosos associados a arenitos e granitos confere solos rasos, com predominância de argissolos. Os fluxos de sedimentos, nutrientes e energias advindos dos processos de erosão do platô, tornam a unidade funcional à acumulação mais significativa, que se associa à função de emissão para as áreas mais rebaixadas como as depressões florestadas com mata ciliar e depressões sem vegetação.

- **Depressões Florestadas com Matas Ciliares**

Próximo à borda do platô do eixo Norte da Serra da Bocaina as depressões florestadas com matas ciliares, áreas com relevo plano (0-3%) de declividade, com altitudes entre 142-291 metros, essa unidade demonstra singularidades no sub-bosque quanto à composição da flora, com floresta que compõe a mata ciliar que acompanha os pequenos cursos d'água na unidade, cursos esses que na sua grande maioria são intermitentes, permanecem com água apenas no período de elevadas precipitações, sendo a paisagem dessa subunidade marcada por ambiente que bordeja os cursos hídricos. Os solos aluviais predominam ao longo da drenagem, são em geral solos mal drenados. Nas depressões a acumulação de sedimentos e a ação da água são fatores determinantes dessa

unidade onde os argissolos predominam. A vegetação é caracterizada por espécies da planície da fluvial como buritis (*Mauritia flexuosa*) e/ou buritiranas (*Mauritiellaarmata*).

- Depressões sem vegetação-desmatada

Área rebaixada caracterizando ambiente antropizado que bordejia a estrada de Ferro Carajás na região dos municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás. Nas depressões sem vegetação-desmatada predomina na paisagem como a do extremo do Eixo Norte da Serra da Bocaina, nas suas bordas ocorrem fragmentos de floresta secundária em diferentes estágios sucessionais. Mesmo estando a unidade em pousio, a vegetação é muito descaracterizada por impactos antrópicos que ocorreram antes da criação da unidade de conservação – ações como desmatamento seguido de incêndios sucessivos nas antigas instalações de fazendas. As áreas de uso antrópico consolidado incluem ainda pastos e açudes que revelam cicatrizes na paisagem, ou seja, são as marcas das formas de uso e ocupação que outrora havia na área.

Platô com formações herbáceo-arbustivas de Cangas

- Platô com Campo Rupestre com Vegetação Herbácea

Os platôs com campo rupestre com vegetação herbácea foram preservados do desmonte erosivo que naturalmente modelou o relevo da região, portanto, são feições residuais que permanecem na paisagem, com altitudes que podem chegar a 772 metros, em pequenas áreas nos topos dos platôs (ver Figura 07), com relevo plano a suavemente ondulado. Poucos indivíduos de porte arbóreo povoam essa unidade que tem sua fisionomia campestre circundada pela vegetação dos campos rupestre arbustivo. No tocante aos solos, tem-se o domínio de plintossolos, solos rasos e congregados. A paisagem heterogênea com feições de campo gramíneo temporário, campo brejoso permanente e depressões doliniformes, com lagos rasos e efêmeros que se formam na superfície do platô de Canga. Estes lagos possibilitam o estabelecimento de fauna e flora em condições extremamente secas nos períodos de estiagem, atuam ainda como recarga hídrica para o aquífero. Nos lagos permanentes se desenvolvem vegetação de caráter hidrófila. A função de emissão para as áreas mais rebaixadas predomina em toda a subunidade.

- Platô com Campo Rupestre com Vegetação Arbustiva

Com altitudes que se aproximam de 637 metros, tem-se nessa subunidade o aumento do porte dos indivíduos da flora; o maior grau de fraturamento da canga possibilita um maior acúmulo de solos, tomando para essa área a função de emissão a mais significativa. Os solos predominantes são os plintossolos, que dão suporte ao porte arbustivo. De formação descontínua, o Platô com campo rupestre com vegetação Arbustiva ocupa as áreas de platôs da serra da Bocaina e do Tarzan que marcam os divisores de água da Serra de Carajás, detém em suas vertentes relevo escarpado, no qual abriga um número significativo de cavidades em ferro. Esse fator leva à existência de uma *hot cave* de valor patrimonial incomensurável, a produção de guano pode alcançar até 50

cm de espessura. A presença da espécie endêmica *ipomea cavalcantei* spp. confere à área característica de singularidade.

- Encosta com Capão de Mata

Os capões de canga de Mata estão associados às escarpas das rochosas, declividades acima de >75%. Esse fator leva ao colapso da estrutura crustal e possibilita a formação de cavernas e abrigos em áreas ferríferas. Os solos com profundidades relativas possibilitam o acúmulo hídrico associado à disposição de matéria orgânica. Assim, desenvolve-se matas altas que quebram a monotonia da fisionomia dos campos rupestres das Serras da Bocaina e Tazan, formando manchas de formações florestais isoladas, de menor porte que as florestas ombrófilas densa e aberta (Capões). A esses ambientes está associada a formação de cavidades em áreas de ferro.

Ao nos reportarmos à complexa paisagem que compõe os PARNA CFC fica evidente o potencial ecológico do patrimônio natural, que toma para si a necessidade de implementar o plano de manejo e o plano de uso público da unidade de conservação, seja pelos serviços ambientais como fornecimento e filtragem de água, ciclagem dos elementos pedológicos e florestal, sumidouro de gás carbônico etc., seja pela urgência de estabelecer conexões ecológicas e sociais com a área.

As unidades geocológicas revelam a existência de geossistemas em equilíbrio, nos quais os componentes da paisagem têm suas funções bem delimitadas por fatores geológicos/estruturais e suas formas de relevo (vertentes, colinas e escarpas) associadas de forma direta com as variabilidades climáticas que atuam no passado e no presente, formando paisagens de ferro espetaculares.

Considerações finais

A representação geomorfológica dos planaltos tem relação interdependente com o platô de Canga, que se mescla em uma simbiose de relações de fluxos e matérias. Os planaltos dissecados revelaram alto nível de fluxos hídricos e sedimentológicos para as áreas mais baixas. Esse processo alimenta bacias hidrográficas e ajuda na produção de solos férteis em áreas fraturadas, proporcionando o desenvolvimento de vegetação. Nas encostas de mata densa encontram-se florestas ombrófilas que são resultantes de níveis topográficos ligeiramente planos, por volta de patamares de 20-25% de declividade, e fluxos hídricos produzidos pelas massas de ar estacionárias nas bordas das serras.

O Platô da Serra de Carajás revela vegetações herbáceas-arbustivas dos campos rupestres, caracterizando paisagens espetaculares contidas nessa unidade geocológica. O platô regulamenta todos os fluxos (superficiais e subsuperficiais) para as demais unidades. A garantia de fluxos está estabelecida pela infiltração da água, estas ajudam na configuração da composição das cavidades naturais (cavernas em ferro), o que já configura a região do PARNA dos campos ferruginosos como a maior concentração de cavernas em área de ferro.

A partir da análise geoecológica é possível perceber duas dinâmicas importantes no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos:

a) dinâmica das unidades com Formação Florestal pelas forças hidroclimatológicas e morfopedológicas, tornando as unidades um ambiente sensível às ações humanas, do ponto de vista ecológico;

b) dinâmica das unidades com formação de campo rupestre que são regidas pela relação clima, tipo de substratos geológicos e ação morfopedológica.

Sistemas ambientais e unidades geoecológicas revelam a dinâmica sistêmica encontrada na área, ratificando o objetivo dessa nova unidade de conservação. Estudos de cunho fitogeográficos e pedomorfogenéticos mais detalhados devem ser os próximos passos da presente pesquisa.

Novamente a metodologia Geoecológica associada aos sistemas geoinformativos foram as principais prerrogativas de identificação de componentes geoecológicos de difícil acesso dentro do PARNA Campos Ferruginosos, onde essas dificuldades devem ser superadas por uso de modernos e avançados instrumentos de captura de imagem como fotografias aéreas realizadas por drones.

Referências

- AB'SÁBER, A.N. Geomorfologia da região. In: ALMEIDA, J. M. G.de. *Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento*. São Paulo: Brasiliense, Brasília, 1986.
- AB'SÁBER, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 3. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALMEIDA, A. W. B. de. *Carajás: a guerra dos mapas*. Belém: Ed. Falangola, 1994.
- ARDENTE, N. C.; FERREGUETTI, A. C.; GETTINGER, D.; LEAL, P. et al. Diversity and Impacts of Mining on the Non Volant Small Mammal Communities of Two Vegetation Types in the Brazilian Amazon. *PLoS ONE*, 11(11), 2016.
- BEUKES, N.J.; GUTZMER, J.; MUKHOPADHYAY, J. The geology and Genesis of high-grade hematite iron ore deposits. *Iron Ore Conference*. Perth, Australia, 2002. p. 23-29.
- CARMO, F.F.; CAMPOS, I.C.; JACOBI, C.M. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, p. 48-53, 2012.
- CONSTANZA, R. Social Goals and the Valuation of Ecosystem Services. *Journal Ecosystems*, Springer-Verlag, n. 3, p. 4-10, 2000.
- CONSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystems service and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 17, 1997.
- CORRÊA, G. R.; SCHAEFER, C.E.G. R.; CORRÊA, G.F. Caracterização de solos derivados de rochas máficas na Serra de Carajás. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, v. 11, n. 1, p. 33-47, 2016.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índice de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do Feijão. *Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, n.6, 1996.

GUIMARÃES, R. F. et al. Movimentos de massa. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

HAFFER, J.; PRANCE, G. T. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozoico: sobre a Teoria dos Refúgios da diferenciação biótica. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 16, n. 46, 2002.

HASDENTEUFEL, P.; MATEO, J. M.; BAUME, O.; TORRES, R. J. La Geoecología como herramienta para la gestión ambiental - Estudio de caso de la cuenca hidrográfica superficial del río Quibú, Provincia Ciudad de La Habana, Cuba. *Revista Universitaria de Geografía*, n. 17, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, Base cartográfica vetorial: informações ambientais/Geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, [2007]. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: mar. 2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, Base cartográfica vetorial: informações ambientais/cobertura da terra. Rio de Janeiro: IBGE, [2012]. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: mar. 2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira: Sistema fitogeográfico: Inventário das formações florestais e campestres: Técnicas e manejo de coleções botânicas: Procedimentos para mapeamentos*. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, Base cartográfica vetorial: malha territorial do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, [2017]. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: fev. 2019

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, ICMBio. *Proposta de criação do Parque nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás*, 2017. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Cartilha_baixa_.pdf. Acesso em: 26 dez. 2018.

JACOBI, C.M.; CARMO, F.F. ; CAMPOS, I.C. Iron geosystems: priority areas for conservation in Brazil. In: Tibbett, M. Mining in *Ecologically Sensitive Landscapes*. 1st edition. Collingwood: CSIRO-CRC, 2015

KOIDE, K.; KOIKE, K. Applying vegetation indices to detect high water table zones in humid warm-temperate regions using satellite remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, n. 19, 2012.

LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da paisagem com Sig*. Trad. Hermann Kux. São Paulo: Oficina de texto, 2009.

MARTINEZ, A. A. A.; RODRIGUEZ, J. M. M.; HERNÁNDEZ, A. C. Los paisajes de humedales, marco conceptual y aspectos metodológicos para su estudio y ordenamiento. *Mercator*, Fortaleza, v. 13, n. 2, p. 169-191, mai./ago. 2014.

MELLHO-THÉRY, N. A. de. *Território e gestão ambiental da amazônia: terras públicas e os dilemas do Estado*. São Paulo: Annablume, 2011.

MOTA,N.F.O.; WATANABE.M.T. C.;ZAPPI. D.C.; HIURA,A.L; PALLOS,J.; VIVEROS,R.S; GIULIETTI, A.M.; VIANA,P.L. Cangas da Amazônia: a vegetação única de Carajás evidenciada pela lista de fanerógamas. *Rodriguésia*, v. 69, n.3, Rio de Janeiro, 2018.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. *Sensoriamento remoto da vegetação*. 2. ed. atual. ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176p.

RICHTER,R.; SCHLÄPFKE, D. *Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery*. ATCOR-2/3 UserGuide, Version 8.2 BETA, February 2012.

RIZZINI, C.T. *Tratado de Fitogeografia do Brasil*. Aspectos sociológicos e florísticos. São Paulo: Editora de humanismo, Ciência e Tecnologia, 1979.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. *Mercator*, a. 1, n.1, 2002.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E.V.da; CAVALCANTI, A. P.B. *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. Fortaleza: Editora UFC, 2004.

ROSS, J. L. S. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S.O relevo brasileiro no contexto da América do Sul. *Revista Bras. Geogr.*, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p. 21-58,2016.

SERRANO, A. M.; MANENT, M. B. Zonificación geoecológica del paisaje urbano. *Mercator*, Fortaleza, v.15, n.2, p. 117-136, abr./jun., 2016.

SASHIKKUMAR, M. C. et al. Remote Sensing for Recognition and Monitoring of Vegetation Affected by Soil Properties. *Journal Geological Society of India*, v.90, 2017.

SCHAEFER, G. E.R.; KER, J.C.F.; COSTA, L.M. Pedogenesis on the Uplands of the Diamantina Plateau: a chemical land micropedological study. *Geoderma*, 2002.

SCHAEFER, G.E.R.;SIMA, F.N. B.; MENDONÇA, B.A.F.; SABOYA, A.S.; FERREIRA JUNIOR, W.G.; NUNES, J.A.; CORREA,G.R. *Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás-Pará*. Relatório técnico Vale do rio Doce, 2008.

SOUZA, F. C. R.de; CARMO, F. F.do. Geossistemas Ferruginosos do Brasil. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). *Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais*. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015.

SMITH, M.B.; CLEEF, A.M. Composition and Origins of the World's Tropicalpine Floras. *Jornal de Biogeografia*, v. 15, n. 4, 1988.

TURVEY, C. G.; MCLAURIN, M. Applicability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Index-Based Crop Insurance Design. *Journal American Meteorological Society*, 2012.

VALE. *RIMA do Projeto Ferro Carajás SIID*. Paraupébas: Vale, 2012.

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

VIDAL, M. R. *Geoecologia das paisagens: fundamentos e aplicabilidades para o planejamento ambiental no baixo curso do rio Curu-Ceará-Brasil*. 2014. 190f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

VIÑA, A.; GITELSON, A. A.; NGUY-ROBERTSON, A.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment*, n. 115, 2011.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Gestão do PARNA Campos Ferruginosos/ICMBIO por permitir o desenvolvimento da pesquisa científica e pela licença de finalidades acadêmicas que nos permitiu a visita à área.

Maria Rita Vidal

Professora Dra. em Geografia Física, ICH-Faculdade de Geografia,
Universidade do Sul e Sudeste do Pará-Unifesspa.

Folha 31, Quadra 07, Lote Especial, s/n.º - Nova Marabá, Marabá - PA,
68507-590

E-mail: ritavidal@unifesspa.edu.br

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas

Doutorando em Geografia Humana-USP, Professor da Faculdade de
Geografia/ICH da Universidade do Sul e Sudeste do Pará-Unifesspa.

Folha 31, Quadra 07, Lote Especial, s/n.º - Nova Marabá, Marabá - PA,
68507-590

E-mail: abraaolevi@unifesspa.edu.br

Recebido para publicação em julho de 2019
Aprovado para publicação em dezembro de 2019