

MODELAGEM DOS CORREDORES ECOLÓGICOS ENTRE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO FEDERAIS NO PARANÁ CENTRAL: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIOS.

Modelling the ecological corridors between federal protected areas in Central Paraná: a multicriteria approach.

Luiz Augusto Macedo Mestre

Doutor em Ecologia (SDSU). Professor Associado da Universidade Federal do Paraná, Setor Litoral, Matinhos, PR, Brasil.

luiz.mestre@ufpr.br

Recebido: 04/07/2024

Aceito: 23/03/2025

Resumo

As Unidades de Conservação (UCs) federais no centro do Estado do Paraná tem grande importância conservacionista, pois abrigam uma área muito explorada e fragmentada, a ecorregião das Florestas das Araucárias e Campos Gerais. O isolamento destas regiões causa perda de diversidade local, evidenciando a relevância do planejamento de áreas de interligação e restauração entre estas UCs. O presente estudo usou modelagem multicritérios com análise hierárquica (AHP) para estimar a localização de corredores ecológicos entre as seguintes UCs Federais no Paraná Central; 1) Parque Nacional (Parna) Campos Gerais, 2) Reserva Biológica (Rebio) da Araucárias, 3) Floresta Nacional (Flona) Irati, 4) Flona Assungui, 5) Flona Piraí do Sul. Foram modeladas três áreas ligando as cinco UCs. Os polígonos resultantes coincidem com locais importantes para a biodiversidade regional, como calhas de grandes rios e áreas de preservação permanente. Apesar de coincidirem com outras áreas de preservação Estaduais e Particulares, também incluem localidades naturais não consideradas anteriormente. Estudos como o proposto mostram a importância do geoprocessamento aplicado à área ambiental e auxiliam no planejamento de medidas necessárias à conservação da biodiversidade no Estado do Paraná e no Brasil.

Palavras-chave: análise multicritérios AHP, biodiversidade, Sistema de Informações Geográficas.

Abstract

The Federal Protected Areas (PAs) in the central Paraná State are important for nature conservation, as they preserve parts of Araucaria Forests and Campos Gerais ecoregions in a highly exploited and fragmented area. The isolation of these regions leads to a loss of local diversity, highlighting the importance of planning areas for connectivity and restoration. This study used multi-criteria hierarchical analysis (AHP) to estimate the location of ecological corridors between the following Federal PAs in Central Paraná: 1) Campos Gerais National Park (Parna), 2) Araucárias Biological Reserve (Rebio), 3) Irati National Forest (Flona), 4) Assungui Flona, 5) Piraí do Sul Flona. Three areas connecting the five PAs were modelled. The resulting polygons coincide with important sites for regional biodiversity, such as channels of large rivers and permanent conservation areas.

Although many coincide with other public and private protected areas, they include natural sites not previously considered. Studies such as this show the importance of geoprocessing in conservation and its support for biodiversity conservation planning in the State of Paraná and Brazil.

Keywords: AHP multicriteria analysis, biodiversity, Geographic Information System.

1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação (UCs) federais no centro do Estado do Paraná desempenham um papel importante na conservação da biodiversidade, abrigando a ecorregião das Florestas das Araucárias e Campos Gerais, parte do domínio da Floresta Atlântica (Olson *et al.*, 2001). A região, historicamente marcada pela exploração de ervamate e madeira, tem sido cada vez mais modificada em áreas para agricultura e pecuária (Priori *et al.*, 2012). Nesse contexto, foram criadas UCs como o Parque Nacional dos Campos Gerais (Parna), a Reserva Biológica das Araucárias (Rebio) e as Florestas Nacionais (Flona) de Irati, Assungui e Piraí do Sul, visando proteger as áreas naturais remanescentes.

Essas UCs estão localizadas em uma paisagem fragmentada, composta por cidades, áreas agrícolas, terrenos degradados e fragmentos com vegetação nativa. Esse isolamento, causado pela fragmentação das florestas, ameaça as populações biológicas, reduzindo a variabilidade genética, prejudicando a migração e a emigração, podendo levar à perda de diversidade e extinção local (Fahrig; Merriam, 1994; Seoane *et al.*, 2010). Para mitigar esses efeitos, é recomendada a criação de corredores ecológicos conectando as UCs e permitindo a continuidade das populações biológicas destas áreas (Rosemberg *et al.*, 1997; Hilty *et al.*, 2006). No entanto, a complexidade do mosaico de usos do solo exige uma análise cuidadosa que combine critérios biológicos, sociais e geográficos para determinar os melhores locais para conectarem estas regiões (Pereira; Cestaro, 2016).

A modelagem de dados geográficos com múltiplos critérios é uma ferramenta valiosa para esse tipo de análise. O método Analytic Hierarchy Process (AHP) é amplamente utilizado para auxiliar na tomada de decisões, permitindo a comparação de diferentes elementos com base em critérios comuns e atribuindo pesos subjetivos a variáveis (Saaty; Vargas, 2001; Sadasivuni *et al.*, 2009). A aplicação dessa metodologia possibilita uma visão integrada e fundamentada das alternativas, considerando diferentes aspectos da realidade (Demir *et al.*, 2024).

Na área ambiental, a análise multicritério AHP tem sido eficaz em diversas aplicações, como na identificação de locais de importância ecológica para espécies ameaçadas (*i.e.* Kushwaha *et al.*, 2024), na modelagem de impactos ambientais (Wang *et al.*, 2024), e na análise de áreas aptas para grandes empreendimentos (Islam *et al.*, 2024; Kang *et al.*, 2024). No Brasil, o método foi utilizado para mapear áreas suscetíveis a desastres naturais, como inundações, erosão e incêndios (Santos *et al.*, 2022; Bolleli *et al.*, 2021; Ladislau *et al.*, 2021). Além disso, a modelagem de corredores ecológicos utilizando análise multicritérios AHP também foi aplicada em diferentes regiões brasileiras, como no Vale do Rio Paraíba do Sul (Camarinha *et al.*, 2011), no Maranhão (Masullo *et al.*, 2017), no Oeste Paulista (Santos; Rocha, 2019) e no Distrito Federal (Takahashi *et al.*, 2021). Observa-se assim a validade deste método para a definição de áreas de conexão entre fragmentos de vegetação, com base nos critérios de importância regional, em diferentes escalas e níveis de relevância.

A partir deste cenário, considera-se a importância da predição dos corredores ecológicos para auxiliar na manutenção da biodiversidade nas UCs Federais do interior do Paraná. O presente estudo apresenta os resultados da modelagem de corredores utilizando a análise multicritérios AHP e sugere a localização das melhores regiões conectoras entre cinco unidades de conservação no Centro do Estado. A partir dos resultados, são discutidas as áreas prioritárias para conservação, fornecendo subsídios para políticas públicas e ações voltadas à preservação das Florestas com Araucária e dos Campos Gerais.

2. METODOLOGIA

O presente estudo utiliza modelos de dados geográficos utilizando o polígono que abrange 11 municípios paranaenses, os quais compreendem as áreas de entorno de cinco unidades de conservação Federais (Parna Campos Gerais, Rebio da Araucárias, Flona Irati, Flona Assungui, Flona Piraí do Sul). Foi considerada como área de estudo o polígono que contém todos os municípios descritos na área de estudo (Figura 1). A escolha dos critérios de avaliação foi designada pela importância ecológica, geográfica e social, utilizando bases disponíveis em fontes oficiais (Fernandes, 2016).

Neste trabalho, foram consideradas quatro feições já utilizadas em estudos sobre corredores ecológicos (Fernandes, 2016), como o uso do solo, a hidrografia, as populações humanas vivendo nas regiões e o acesso às UCs representadas pela malha viária, justificadas a seguir. O uso do solo é um critério fundamental na modelagem de

corredores ecológicos, pois influencia diretamente a conectividade entre as áreas naturais e a capacidade das populações biológicas de se moverem. A presença de atividades agrícolas, pecuárias ou urbanas pode ser um obstáculo significativo para a migração das espécies, por outro lado, áreas com vegetação nativa ou semi-natural facilitam o deslocamento e contribuem para a manutenção da biodiversidade. A hidrografia é um fator também importante na definição destas conexões, pois funciona como rotas de dispersão, alimentação e reprodução para muitas espécies, garantindo heterogeneidade de habitats e disponibilidade de água. O número de pessoas vivendo nas regiões afeta a funcionalidade dos corredores, representando pressão sobre os recursos locais e gerando barreiras à movimentação de espécies. Por fim, o acesso às áreas representa a presença de obstáculos (*i.e.* rodovias, grandes cidades ou outras barreiras físicas). A ausência destas barreiras caracteriza maior facilidade de movimentação de fauna e dispersão de flora. Elementos estes, cruciais para que os corredores ecológicos cumpram seu papel de promover o fluxo biológico entre as áreas protegidas.

Abaixo é descrita a área de estudo, as bases geográficas utilizadas e os procedimentos metodológicos envolvendo a análise multicritérios para delinear os corredores biológicos. Todos os procedimentos metodológicos foram realizados utilizando o software Qgis 2.18 e 3.10 (2020), a representação das conexões entre as tabelas foi desenhada com OMT-G Designer (Online, UFMG).

2.1. Área de estudo

O ambiente geográfico deste estudo é o interior do estado do Paraná, sendo definida área de estudos o conjunto dos 11 municípios que contém as Unidades de Conservação: 1) Parna Campos Gerais, 2) Rebio da Araucárias, 3) Flona Irati, 4) Flona Assungui, 5) Flona Piraí do Sul. Desta maneira, foram assim considerados dados do IBGE (2010 e 2020) para descrever a área de estudo, sendo este o perímetro que contém os seguintes municípios e em parenteses suas áreas e número de habitantes (hab.); a) Campo Largo (1.243,551 km², 136.327 hab.), b) Carambeí (649,680 km² e 23.823 hab.), c) Castro (2.531,503 km² e 71.809 hab.), d) Fernandes Pinheiro (406,500 km² e 5.602 hab.), e) Imbituva (756,535 km² e 32.940 hab.), f) Ipiranga (927,087 km² e 14.142 hab.), g) Irati (999,515 km² e 61.088 hab.), h) Palmeira (1.470,072 km² e 33.994 hab.), i) Piraí do Sul (1.403,066 km² e 25.617 hab.), j) Ponta Grossa (2.054,732 km² e 355.336 hab.), k) Teixeira Soares (902,793 km² e 12.567 hab.) (Figura 1).

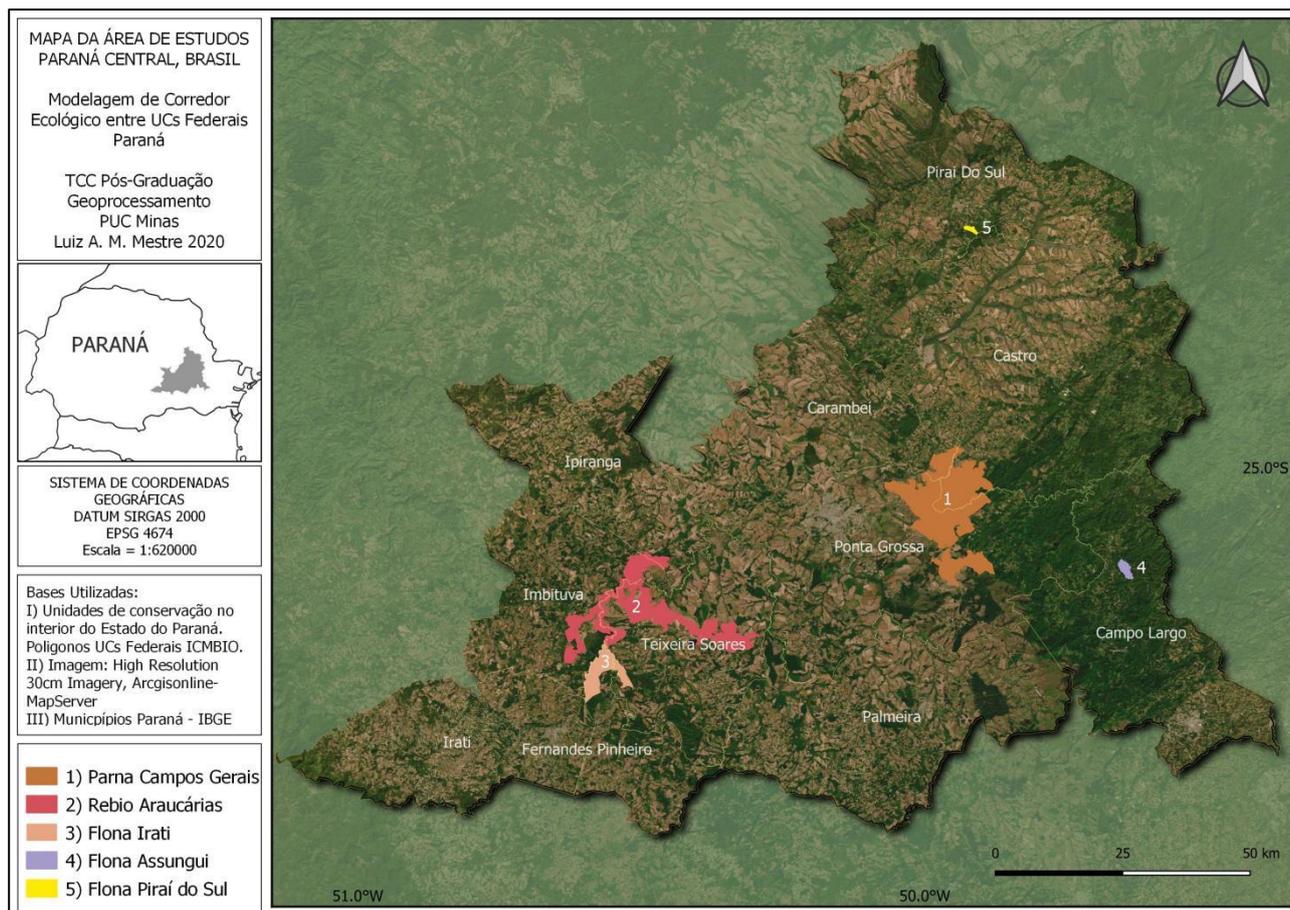


Figura 1 - Mapa da área de estudo. Figura mostrando os 11 municípios utilizados como área de estudo, abrangendo as cinco Unidades de Conservação Federais (Parna, Parques Nacionais; Rebio, Reserva Biológica; Flona, Floresta Nacional) no Paraná Central, Brasil.

Fonte: Autor, 2020 (QGIS 3.0).

2.2. Bases Geográficas

Foram determinados o modelo de dados e os tipos de dados geográficos (vetorial e raster), manipulados utilizando o software Qgis (versão 3.10). A construção da base de dados secundários foi obtida em fontes padronizadas como mostradas a seguir.

A) Bases da Área de estudo. Foi definida como área de estudos o conjunto dos 11 municípios em que as UCs foram abrangidas, incluindo divisas e municípios intermediários. Foram considerados os vetores que representam os limites dos seguintes municípios: a) Campo Largo, b) Carambeí, c) Castro, d) Fernandes Pinheiro, e) Imbituva, f) Ipiranga, g) Irati, h) Palmeira, i) Pirai do Sul, j) Ponta Grossa, k) Teixeira Soares (Figura 1). Os arquivos-base foram extraídos da base de dados do Instituto Água e Terra do Paraná (IAT, 2020). Os arquivos foram selecionados, recortados e dissolvidos, compondo outro arquivo único denominado Área de Estudos.

B) Unidades de Conservação Federais (UCs). Os arquivos das Unidades de Conservação Federais estudadas foram obtidos pela página oficial do Instituto Chico

Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2020). As UCs focos deste estudo foram selecionadas e salvas em arquivos vetoriais separadamente.

C) Acessos. Os acessos, ruas e rodovias foram extraídas por recorte da área de estudo do arquivo base obtido na base de dados do Open Street Maps (OSM, 2020).

D) Setores População. Os arquivos dos números de habitantes por setores censitários foram obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). Os setores foram selecionados e recortados pela área de estudos. Foi feita a união dos arquivos e tabelas e escolhidos os códigos representando a população habitante em cada setor, referente ao número dos moradores em domicílios particulares permanentes ou da população residente em domicílios particulares permanentes (código V002, IBGE, 2020). O arquivo CSV “PR Básico” usado na união também foi obtido no site do IBGE (IBGE, 2020). Este foi aberto como arquivo vetorial utilizado a junção (join) para integrar a tabela obtida no censo 2010 (IBGE), atribuindo assim um valor com número de pessoas por setor censitário. O arquivo multi-polígono resultante foi rasterizado e reclassificado com base na tabela (AHP) apresentada em Ferreira (2016). Os valores do número de pessoas foram incluídos na tabela em quatro classes, respeitando a amplitude dos dados do censo utilizado (IBGE, 2010).

E) Drenagem ou base hidrográfica. A base cartográfica que representa os rios e riachos foi obtida no site do Instituto Água e Terra do Paraná, arquivo caracterizado como Drenagem (IAT, 2020). Este arquivo foi recortado pela área de estudo. A camada foi acrescida de um atributo/coluna, denominada classe, com número inteiro que representa o vetor a ser rasterizado. O arquivo então foi rasterizado e analisado a distância (proximidade) da drenagem. Assim, a drenagem como variável de atração foi classificada e foram atribuídos valores de importância relacionados à distância da drenagem (AHP). Por fim, este arquivo foi reclassificado (ferramenta reclassify simple, QGis 3.1). Gerando imagens com o peso dado de acordo com 6 classes de distância, baseadas no Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012). As seguintes classes 1) >500m; 2) 500-200m; 3) 200-100m; 4) 100-50m; 5) 50-30m; 6) <30m.

F) Uso da terra. As bases vetoriais referentes ao Uso da Terra foram obtidas no site do Instituto Água e Terra, e foram baixadas para cada município contido na área de estudos (IAT, 2020).

2.3. Procedimentos Metodológicos

O modelo foi montado com as bases vetoriais disponíveis no banco de dados geográfico gerado nas etapas anteriores. Utilizamos o Sistema de Coordenadas de Referência padronizado para todos os arquivos, EPSG: 4674, Sistema de Coordenadas Geográficas Sirgas 2000. Os dados matriciais foram classificados em uma superfície de custo, chamada esforço total, e finalmente recortados em uma área consistente com a pergunta, finalizando em um arquivo denominado de corredor. Os arquivos de entrada raster foram montados a partir das tabelas, com a diferença de peso, gerados e inseridos no projeto. Construiu-se uma superfície de esforço variando de 0 a 100. Utilizou-se a ferramenta calculadora raster (raster calculator, GDAL), atribuindo-se valores aos arquivos a serem utilizados. As superfícies de entrada raster foram calculadas e interrelacionadas conforme os pesos, gerando uma superfície de saída. Este resultado foi usado para gerar uma superfície de custo e a soma destes custos deu origem aos polígonos que denominamos aqui como corredores.

As variáveis de uso de terra foram hierarquizadas e comparadas par a par de acordo com adaptação de Ferreira (2016). Foram utilizadas as categorias do uso da terra com detalhamento considerado condizente a conservação da floresta local e mais adequado as conexões de diversidade biológica na área de estudo. As condições de uso da terra foram comparadas por uma matriz de par normalizada onde foram atribuídos os valores referentes a importância de cada categoria para a conexão da fauna e flora local (Tabela S1). O peso calculado foi incluído como coluna e condição de uso condicionado ao valor (Tabela S2). Os valores dos pesos foram substituídos no arquivo vetorial inserindo mais uma coluna e utilizando a função CASE nos seguintes valores: Área Construída / Urbanizada = 41; Solo Exposto / Mineração = 25; Agricultura perene / anual = 15; Pastagem/Campo = 9; Plantios Florestais = 5; Água = 3; Floresta Nativa/Várzea = 2. Então foi rasterizado com base nos valores de peso (Tabela S2). As unidades de saída na rasterização foram configuradas com resolução de 3000 pixels com extensão da área de estudos delimitada pelo vetor área de estudos.

A análise da superfície custo-distância foi realizada para o estudo de viabilidade de corredores, seguindo a metodologia de Rodrigo Nobrega discutida por Ferreira (2016). Na sequência metodológica foram consideradas as grandezas em ordem e valor de importância para um corredor ecológico entre as UCs, utilizando-se a tabela de peso (AHP, Tabela S3), sendo atribuídos os valores de peso total as feições (Tabela S4). Obteve-se um coeficiente de consistência (CR) de 0,09 para a matriz de comparação, o

que é um valor considerado adequado (Saaty, 2012). Foi então gerado um raster em calculadora raster com a seguinte fórmula:

$$(\text{Uso_da_Terra} * 56 + \text{Drenagem} * 26 + \text{Populacao} * 12 + \text{Acesso} * 6) / 100.$$

Em seguida foi utilizada a ferramenta r.cost.raster usando como base a camada raster gerada de peso e origem (UC). Os arquivos raster de custo de cada UC foram gerados e posteriormente combinados em soma com a calculadora raster. O raster final foi considerado como o corredor. O corredor entre as UCs foi posteriormente filtrado (calculadora raster) no valor visualmente com mais clara diferença de contraste. Finalmente a imagem foi vetorizada para compor o mapa usado na descrição do corredor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obteve-se os resultados descritos abaixo, incluindo a identificação e associação entre as tabelas com atributos numéricos e geometrias; e a análise multicritério AHP para a modelagem do corredor ecológico entre as UCs Federais do Paraná Central.

3.1. Identificação e associação das Tabelas

Neste estudo, foram identificados os arquivos vetoriais e criadas tabelas com base nos atributos discriminados no diagrama (Figura 2). Foram criadas as tabelas com atributos alfanuméricos, sendo os arquivos com geometrias estabelecidas envolvendo a área de estudo. Foram criadas as tabelas com os atributos 'nm_mun' (nome dos municípios) e 'cd_mun' (código do município utilizado pelo IBGE), sendo estes atributos considerados como chaves estrangeiras presentes em todas as tabelas, consequentemente os outros atributos considerados como chaves primárias. As chamadas chaves primárias são as tabelas: 1) Setores Base IBGE, 2) Uso do Solo, 3) Drenagem, 4) Acesso, 5) População por setores na área de estudo (Figura 2). A tabela central caracteriza a área de estudo, com dados geográficos e dados descritivos dos 11 municípios que compõe a área de estudos. Esta está associada com todas as outras tabelas, considerando dados de populações humanas presentes em cada setor, incluindo a base modificada das informações presentes nos setores do IBGE censo 2010. Além disso, estão associadas espacialmente as tabelas que representam a drenagem, o uso do solo e o acesso em toda a área considerada no arquivo central. Nos modelos

considerados a seguir, foi suprimida a tabela Setores IBGE 2010, pois estes dados foram base para a tabela Setores População.

As tabelas foram organizadas nos seguintes arquivos vetoriais: 1) Área de Estudo, compreendendo o perímetro que representa a junção dos municípios que contém as unidades de conservação foco deste estudo. 2) Municípios de abrangência de área de estudo: Campo Largo, Carambeí, Castro, Fernandes Pinheiro, Imbituva, Ipiranga, Irati, Palmeira, Piraí do Sul, Ponta Grossa, Teixeira Soares. Os municípios tem associações espaciais com 3) Acesso, 4) Uso do Solo, 5) Setores da População e 6) Drenagem.

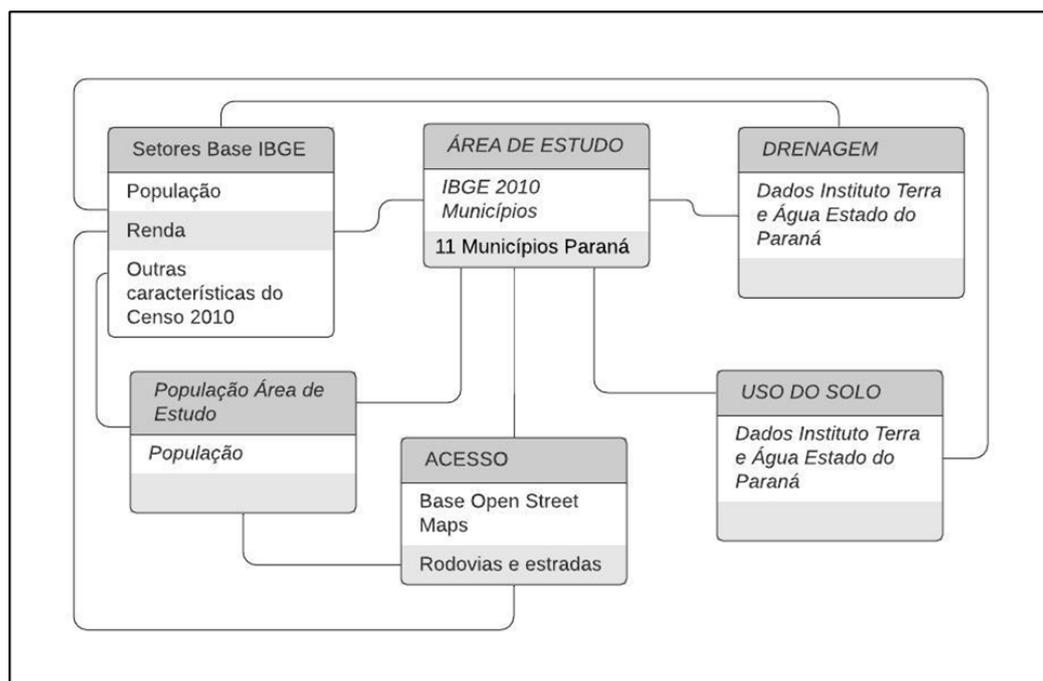


Figura 2 - Diagrama mostrando a associação entre as tabelas, suas bases oficiais e as conexões utilizadas na modelagem dos corredores Ecológicos entre as UCs Federais do Paraná Central (desenvolvidas no OMT-G Designer, online).

Fonte: Autor, 2020.

3.2. Análise Multicritérios

A análise da superfície custo-distância foi feita para o estudo de viabilidade de corredores (com base no estudo de Ferreira, 2016). As localizações de três corredores entre as cinco UCs Federais foram realizadas utilizando análise dos critérios estabelecidos pelo uso do solo, drenagem, acesso e número de habitantes no setor. Os critérios foram os mesmos utilizados nos estudos de Ferreira (2016) e Takahashi e colaboradores (2021). Foram posteriormente aplicados os filtros de intensidade entre 2000 e 6000 sobre o raster resultante considerado esforço combinado (Figura S1). Os

pesos combinados dos critérios foram utilizados para se obter o vetor com o corredor mais adequado (Tabela S4).

Foi assim modelado um corredor central ligando o Parna Campos Gerais (1) e a Rebio das Araucárias (2) (Figura 3). A análise multicritérios indicou o corredor na porção sul do Parna e da Rebio, coincidindo com a parte mais preservada da região. Esta localização indica uma oposição à cidade de Ponta Grossa, que está entre estas UCs. A área indicada como corredor contém parte da APA da Escarpa Devoniana e o Parque Estadual de Vila Velha, localizado a cerca de 5 km da parte Sul do Parna, mesmo sem terem sido incluídos nos dados da análise multicritérios (Figura 4). O Parque de Vila Velha tem uma área bem representativa da vegetação nativa, o que certamente influenciou este direcionamento geográfico e mostra a congruência com o observado e a consequente validade da modelagem. Além disso, este corredor também mostra a importância dos pequenos rios e áreas de mata ciliar que estão contidos no vetor resultante da análise, dando ênfase à parte Sul da Rebio. Apesar destas áreas terem sido mapeadas e consideradas como estratégicas para conservação da Biodiversidade no Estado do Paraná (IAT, 2020), o corredor proposto ainda considera o eixo de conexão leste-oeste, não incluído nestas áreas.

Outro corredor resultante da análise deste estudo conecta o Parna dos Campos Gerais com a Flona Assungui localizada a cerca de 25 km leste da porção sul do Parna (Figura 3 e Figura 4). Apesar desta conexão estar pouco precisa na indicação destas análises, pois abrange uma área extensa, mostra novamente a importância da porção sul do Parna e também da região intermediária entre estas UCs. A região intermediária não está inserida atualmente em áreas estratégicas do Estado (IAT, 2020), apesar de ser uma região ainda pouco desmatada, com uma grande quantidade de rios e riachos na região entre os municípios de Castro, Ponta Grossa e Campo Largo. Sugerimos, com base nesta análise, a consideração futura pelas instituições competentes para esta região de importância conservacionista, tanto a nível Municipal como estadual.

Por fim, foi delineada a ligação entre o Parna Campos Gerais e a Flona Piraí do Sul, conectando a porção norte com a Flona ao sul (Figura 4). A conexão resultante das análises une as UCs pelas calhas dos rios Ribeirão das Pedras, Maracanã e Iapó. Interessante observar que esta conexão não passou pelo Parque Estadual Caxambu, a aproximadamente 12 km desta UC Federal. Além disso, a análise mostra a relevância da calha dos rios citados anteriormente para esta conexão, localidades não incluídas nas áreas consideradas como Reserva da Biosfera (site UCs no Brasil, socioambiental, 2021),

traçadas logo ao lado deste corredor. Considera-se, assim, que os resultados deste estudo podem conseqüentemente nortear projetos e políticas públicas direcionadas à legalização e averbação de reservas públicas ou privadas. Este resultado mostra a importância de novas áreas no Estado do Paraná, ainda não enfatizadas anteriormente.

A análise multicritérios AHP pode ser considerado um método consistente para indicar áreas de importância geográfica, econômica e ecológica (Kushwaha, *et al.* 2024). Além disso, abordagens mais complexas podem sugerir áreas mais susceptíveis para recuperação ambiental (Tang *et al.*, 2024). Ao utilizar estas abordagens é possível identificar áreas mais suscetíveis à recuperação ambiental, direcionando a implementação de ações que promovam a recuperação de ecossistemas degradados e a conectividade ecológica, especialmente em regiões onde a fragmentação da paisagem e a perda de habitats são desafios significativos. Além disso, o método proposto mostrou-se importante para ser utilizado em estudos visando a definição de áreas prioritárias à conservação de recursos hídricos, um dos pilares das políticas públicas essenciais (Vettorazzi, 2006).

O mapeamento das áreas mais adequadas para a implantação de corredores ecológicos, como discutido por Camarinha *et al.* (2011), Masullo *et al.* (2017) e Santos e Rocha (2019), são exemplos de como este método pode ser utilizado para sugerir políticas ambientais regionais. Esses estudos, ao utilizar critérios como drenagem, malha viária, relevo e uso do solo, contribuem para planejamentos de longo prazo. Estes autores apontaram áreas adequadas para a implantação de corredores baseados em pesos e características geográficas de outras regiões do Brasil. Apesar destes estudos terem utilizado critérios diferentes em áreas também diferentes, observa-se que obtiveram resultados igualmente satisfatórios, indicando áreas de relevante interesse para conservação. Observa-se que outros fatores dependentes da região e disponibilidade de fontes de dados podem ser considerados nas análises multicritérios, como a declividade e número de áreas de preservação permanente e reserva legal (Takahashi *et al.*, 2012) e/ou tipos de solo e grau de fragmentação da paisagem (Santos; Rocha, 2019). Estes pontos reafirmam a validade e a importância do método de análise multicritérios para se propor corredores ecológicos.

A análise multicritérios (AHP) demonstrou ser uma ferramenta importante para a identificação e proposição de áreas prioritárias para conservação, bases para políticas públicas ambientais nestas regiões. Esse método tem ganhado destaque na avaliação de atributos geográficos, econômicos e ecológicos, integrando informações de diferentes fontes, facilitando a tomada de decisão e permitindo uma análise holística dos territórios.

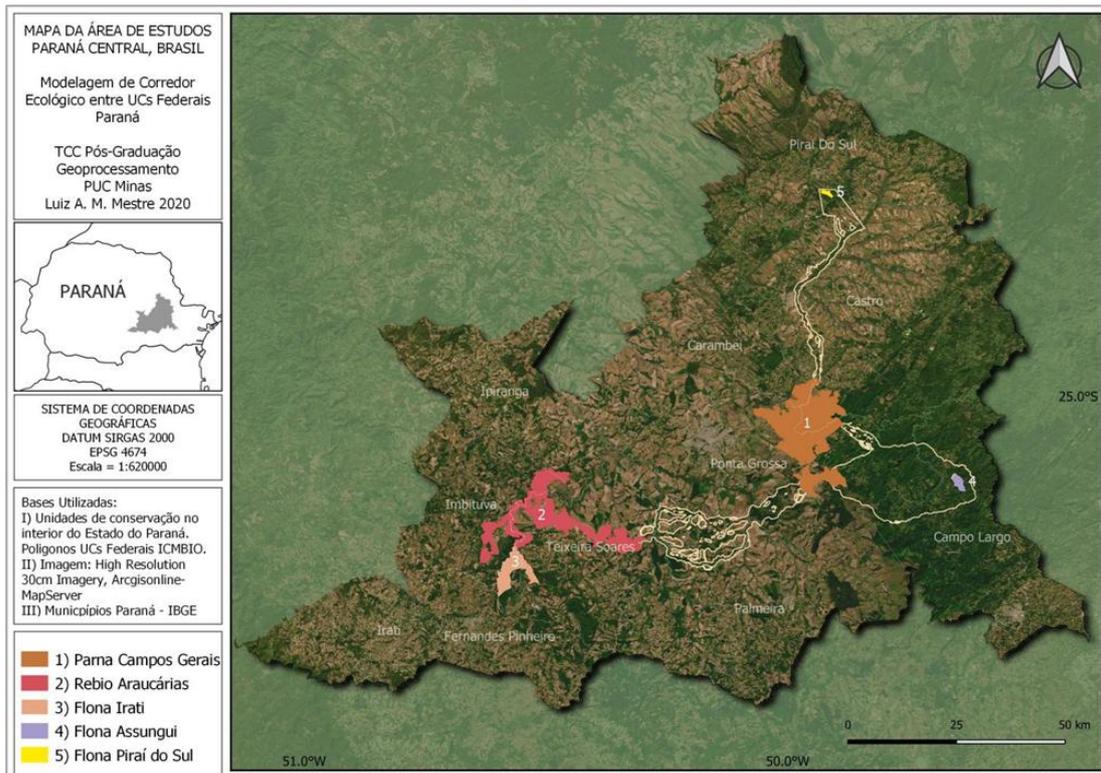


Figura 3 - Resultado da modelagem dos corredores ecológicos entre as UCs Federais (Parna, Parques Nacionais; Rebio, Reserva Biológica; Flona, Floresta Nacional) do Paraná Central. Corredores em amarelo foram modelados com base em análise multicritérios AHP.

Fonte: Autor, 2020.

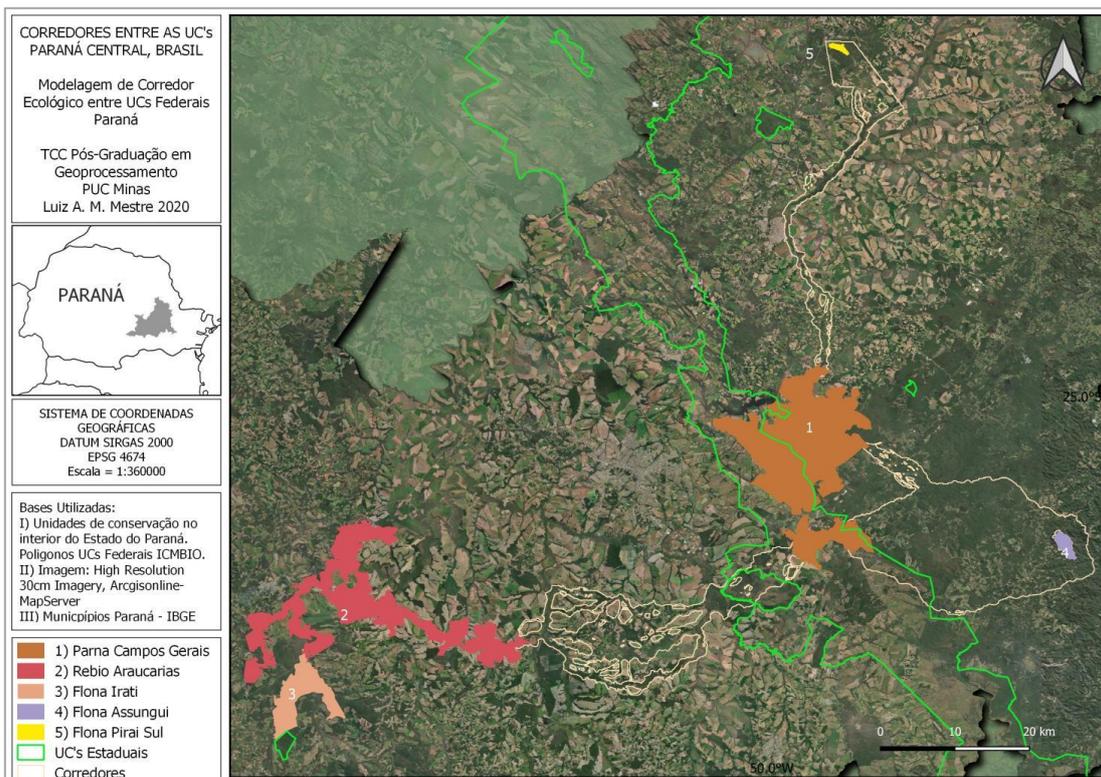


Figura 4 - Resultado da modelagem dos corredores ecológicos entre as UCs Federais (Parna, Parques Nacionais; Rebio, Reserva Biológica; Flona, Floresta Nacional) do Paraná Central, detalhando as regiões estudadas e incluindo os polígonos que representam as UCs Estaduais e mostrando a conexão entre estas áreas. **Fonte:** Autor, 2020.

3. CONCLUSÕES

No presente estudo foi estimada a localização de corredores ecológicos entre cinco unidades de conservação Federais no Paraná Central. Para este fim, foi utilizada modelagem de dados geográficos usando análise geográfica multicritérios AHP. A abordagem multicritérios, ao agregar diferentes perspectivas (como aspectos ecológicos, econômicos e sociais), contribui para uma gestão mais integrada e adaptativa. Fator essencial para garantir que políticas públicas de conservação sejam efetivas e sustentáveis. A aplicação deste método, ao considerar múltiplos critérios como uso do solo, drenagem, acesso e número de habitantes, permitiu identificar áreas prioritárias para a criação de corredores ecológicos, abordando de forma estratégica a conectividade entre as UCs e destacando áreas ainda não incluídas em políticas públicas estaduais. As calhas de grandes rios no Paraná Central são aqui enfatizadas como áreas importantes de ligação entre as UCs consideradas neste estudo. Os resultados reforçam a importância de utilizar abordagens multicritérios em estudos ambientais, pois a combinação de dados geográficos, econômicos e ecológicos facilita a implementação de ações de conservação mais eficazes e proporciona uma base sólida para decisões que visem a preservação e a restauração de áreas naturais. Sugere-se que estudos subsequentes incluam mais fontes de interesse biológico e geográfico como tipo de florestas, condições de relevo e tipos climáticos regionais. Por fim, observa-se que estudos como o proposto mostram a importância do geoprocessamento aplicado a área ambiental, podendo auxiliar no delineamento de projetos e medidas para a conservação da biodiversidade do Estado do Paraná e do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores do programa de pós-graduação em Geoprocessamento da PUC Minas por propiciar a base teórica e metodológica aplicada neste estudo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, D. G. P.; LANA, C. E. Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG). **Caderno de Geografia**. v. 27, n. 49. 2017.

BOLLELI, T. M.; SANTANA, D. S.; MAUAD, F. F.; MATHEUS LIMA DE ANDRADE, M. L.; ANDRADE, A. C. Variação Temporal da suscetibilidade erosiva no município de Boa Esperança, Sul de Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 248-261, 2021.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. (Eds.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. 168p.

CAMARINHA, P. I. M.; FERREIRA, C. C.; FERREIRA, M. C.; SOARES, P. V.; SIMÕES, S. J.; TRANNIN, I. C. B. Proposta metodológica para a definição de corredor ecológico com base em modelagem cartográfica – a bacia do rio Paraíba do Sul, porção paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 15., 2011. Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 1989-1989.

FAHRIG, L.; MERRIAM, G. Conservation of fragmented populations. **Conservation Biology**. v. 8, n. 1, p. 50-59, 1994.

FERREIRA, J. I. **Modelagem de dados geográficos para a definição do corredor do rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte: o caso da Alça Sul**. 2016. 148 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

FERREIRA, J. I.; OLIVEIRA, L. K.; NOBREGA, R. A. A. Modelagem de dados geográficos para definição de corredores alternativos no rodoanel da região metropolitana de Belo Horizonte: cenários comparativos. **Revista TCU**, v. 137, p. 70-79, 2016.

HILTY, J. A.; LIDICKER, W. Z.; MERENLENDER, A. M. **Corridor Ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation**. Island Press, 2006. 325p.

ISLAM, R.; AZIZ, T.; ALAUDDIN, M.; KADER, Z.; ISLAM R. Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach. **Renewable Energy**, v. 220. 2024.

IAT. **Site do Instituto Água e Terra do Paraná**. Base INDE, 2010. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>. Acesso em: 01 nov. 2020.

IBGE. **Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 01 nov. 2020.

IBGE. **Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 01 nov. 2020.

ICMBIO. **Site do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais. Acesso em: 01 nov. 2020.

KANG, Y. O.; YABAR, H.; MIZUNOYA, T.; HIGANO, Y. Optimal landfill site selection using ArcGIS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) and Analytic Hierarchy Process (AHP) for Kinshasa City. **Environmental Challenges**, v. 14, n. 100826, 2024.

KUSHWAHA, S. P. S.; SUBRATA NANDY, S.; TOMAR, S. Nilgai (*Boselaphus tragocamelus*) Habitat Evaluation in Asola-Bhatti Wildlife Sanctuary, Delhi Using Multi-Criteria Analysis. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 50, p. 08-18, 2024.

LADISLAU, F. F.; SILVA, J. C.; MOREIRA, A. P. M.; NASCIMENTO, G. L.; RUCHKYS, U. A. Análise Multicritério aplicada ao mapeamento de risco de incêndio na APA Sul RMBH. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 66, p. 661-681, 2021.

MASULLO, Y. A. G.; CASTRO, C. E.; ROCHA, R. C. Estudo de viabilidade para a implementação de corredores ecológicos na ilha do Maranhão. **Geosul**, v. 32, n. 65, p. 239 - 259, 2017.

OLSON, D. M.; DINERSTEIN, E.; WIKRAMANAYAKE, E. D.; BURGESS, N. D.; POWELL, G. V. N.; UNDERWOOD, E. C.; D'AMICO, J. A.; ITOUA, I.; STRAND, H. E.; MORRISON, J. C.; LOUCKS, C. J.; ALLNUTT, T. F.; RICKETTS, T. H.; KURA, Y.; LAMOREUX, J. F.; WETTENGEL, W. W.; HEDAO, P., KASSEM, K. R. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. **Bioscience**, n. 51, v. 11, p. 933-938, 2001.

OSM. **Site do Open Street Maps**. Disponível em: <http://download.geofabrik.de/south-america/brazil.html>. Acesso em: 21 set. 2023.

PEREIRA, V.H.C.; CESTARO, L. A. Corredores ecológicos no Brasil: avaliação sobre os principais critérios utilizados para definição de áreas potenciais. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 58, p. 16 - 33, 2016.

PRIORI A.; POMARI, L. R.; AMÂNCIO, S. M.; IPÓLITO, V. K. **História do Paraná: séculos XIX e XX**. Maringá: Eduem, 2012. 89p.

ROSEMBERG, D. K.; NOON, B. R.; MESLOW, E. C. Biological corridors: Form, function, and efficacy. **Bioscience**, v. 47, n. 10, p. 677-687, 1997.

SAATY, T. L. **Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World**. Third Revised Edition. Pittsburgh: RWS Publications, 2012.

SANTOS, C. R.; ROCHA, P. C. Análise integrada de dados espaciais utilizando multicritério para a delimitação de corredores ecológicos. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research**, v. 10, n. 2, p. 4-18, 2019.

SANTOS, T. G.; FERREIRA, A. B. R.; VENTORINI, S. E.; ZACHARIAS, A. A.; TEIXEIRA, A. L. Análise multicriterial de decisão aplicada às áreas suscetíveis a inundação na bacia do córrego do Lenheiro – São João Del-Rei, Minas Gerais. **GEOgraphia**, v. 24, n. 53, 2022.

SEOANE, C. E. S.; DIAZ, V. S.; SANTOS T; FROUFE, L. C. M. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 207-216, 2010.

TANG, B.; WANG, H.; LIU, J.; ZHANG, W.; ZHAO, W.; CHENG, D.; ZHANG, L.; JIAO, L. Identification of ecological restoration priority areas integrating ecological security and feasibility of restoration, **Ecological Indicators**, v. 158, p. 111557, 2024.

TAKAHASHI, R. S.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T.; SANO, E. E.; CONTRERAS, F.; RAMOS, A.P.M. Implementação de Corredores Ecológicos no Distrito Federal e Entorno Baseado em Critérios Ponderados. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 44, p. 36167, 2021.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal, visando à conservação de recursos hídricos.** 2006. 151 f. Tese (Livre-docência em Topografia) - Departamento de Engenharia Rural, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

WANG, X.; LIU, B.; HE, S.; YUAN, H.; J.I., D.; QI, L.; SONG, Y.; XU, W. An Analytic Hierarchy Process Method to Evaluate Environmental Impacts of In Situ Oil Shale Mining. **Sustainability**, v. 16, p. 1363, 2024.

Recebido: 04/07/2024

Aceito: 23/03/2025

Anexo I - Material Suplementar

Tabela S1: Valores de comparação para a categoria **Uso do Solo** usados neste estudo adaptado de Fernandes (2016).

N	Descrição	1 Área Construída / Urbanizada	2 Solo Exposto / Mineração	3 Agricultura perene / anual	4 Pastagem	5 Plantios Florestais	6 Água	7 Floresta Nativa
1	Área Construída / Urbanizada	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	9.00	9.00
2	Solo Exposto / Mineração	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	9.00
3	Agricultura perene / anual	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
4	Pastagem/Campo	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
5	Plantios Florestais	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
6	Água	0.11	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
7	Floresta Nativa/Várzea	0.11	0.11	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
	Soma ds pesos	2.01	4.90	9.79	16.68	25.53	34.33	43.00

Tabela S2: Valores de comparação para a categoria **Uso do Solo**. Valores seguidos os propostos por Fernandes (2016, PUC Minas 2020). Tabela com os dados normalizados e calculados os pesos (P em porcentagem %), o quais assim recalculados na matriz utilizada como Uso do Solo.

N	Descrição	1 Área Construída / Urbanizada	2 Solo Exposto / Mineração	3 Agricultura perene / anual	4 Pastagem	5 Plantios Florestais	6 Água	7 Floresta Nativa	P (%)
1	Área Construída / Urbanizada	0.50	0.61	0.51	0.42	0.35	0.26	0.21	0.41
2	Solo Exposto / Mineração	0.17	0.20	0.31	0.30	0.27	0.26	0.21	0.25
3	Agricultura perene / anual	0.10	0.07	0.10	0.18	0.20	0.20	0.21	0.15
4	Pastagem/ Campo	0.07	0.04	0.03	0.06	0.12	0.15	0.16	0.09
5	Plantios Florestais	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.09	0.12	0.05
6	Água	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.07	0.03
7	Floresta Nativa/Várzea	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02

Tabela S3: Pesos atribuídos as feições consideradas com base em Fernandes (2016).

Descrição	1	2	3	4
	Uso da Terra	Hidrografia	População	Acesso
UsoTerra	1.00	3.00	5.00	7.00
Hidrografia	0.33	1.00	3.00	5.00
Populacao	0.20	0.33	1.00	3.00
Acesso	0.14	0.20	0.33	1.00

Tabela S4: Combinação dos pesos utilizados para cálculo de peso combinado, consideradas como Fernandes (2016).

Descrição	Uso da Terra	Hidrografia	População	Acesso	Pesos
Uso da Terra	0.60	0.66	0.54	0.42	0.55
Hidrografia	0.20	0.22	0.32	0.30	0.26
População	0.12	0.07	0.11	0.18	0.12
Acesso	0.09	0.04	0.04	0.06	0.06

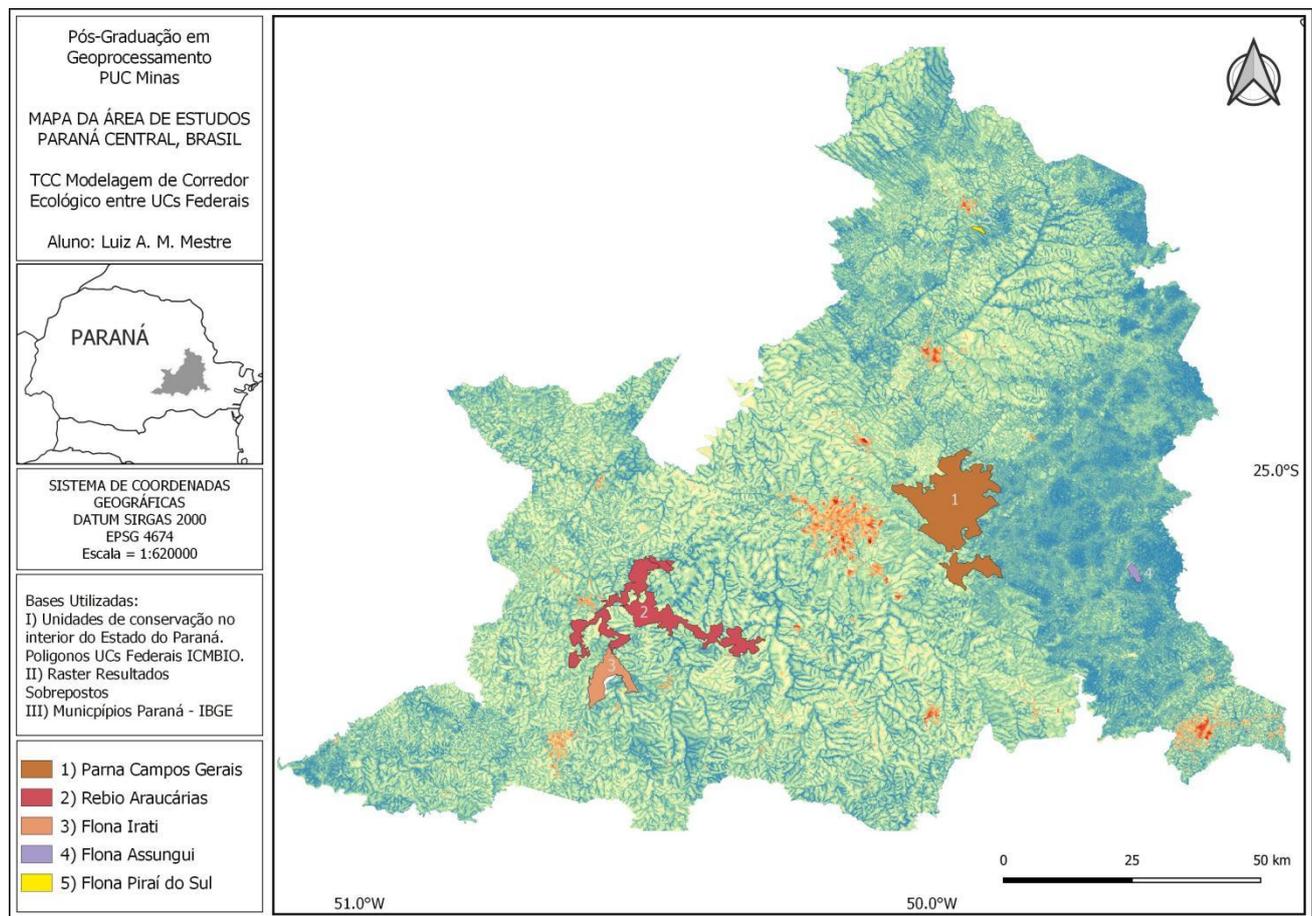


Figura S1 - Base geográfica da análise multicritério. Resultado Final dos pesos combinados para a geração dos corredores. Pesos estão representados por cores variando entre o vermelho claro (menor peso para passagem do corredor); laranja, amarelo (intermediários); azul (maior peso para passagem do corredor).