



PROJETO

Plano integrado de melhoria do uso do solo para conservação do patrimônio espeleológico e da sociobiodiversidade em ambientes cársticos

PRODUTO 9

Mapa das áreas prioritárias na região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central

Goiânia, 18 de março de 2025

PRODUTO 9

Mapa das áreas prioritárias na região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central

Contrato: TCCE ICMBio/Vale III nº. 017/2023

Termo de compromisso



Coordenação executiva



Gestão Operacional



Apoio Local



Parceiro Executor



EQUIPE DE TRABALHO

Organização

Alexandre Sampaio • ICMBio/CBC
Bárbara Araújo Gonçalves • ICMBio/CBC

EXECUÇÃO DAS ÁNALISES DE PRIORIZAÇÃO ESPACIAL

Bruno R. Ribeiro • Primavera 22
Thaís Andrade Ferreira Dória • Primavera 22

FACILITAÇÃO

Sigrid Wiederhecker • Vallie
Tayanna Amaral • Vallie

AGRADECIMENTOS

A todos os participantes, organizadores, financiadores e suas organizações:
IBRAM, Embrapa, Hidrobase, IEF-MG, ICMBio, UFPE e UnB.

Sumário

SIGLAS	3
APRESENTAÇÃO	5
Objetivo geral do relatório	6
ANÁLISES DE PSC NA ESCALA DO CARSTE DO BRASIL CENTRAL	7
Objetivo do projeto	8
BASE DE DADOS	9
Compilação e sistematização de dados	9
1ª Oficina PSC	10
Pré-processamento dos dados	11
Indicadores selecionados	12
Áreas prioritárias para restauração	15
Biodiversidade	16
Espeleologia – ambientes cársticos	18
Fitofisionomias	21
Fogo	22
Oportunidades	24
Potencial agrícola	28
Potencial de regeneração	30
Qualidade de pastagens	32
Recursos Hídricos	33
Serviços ecossistêmicos	35
Social	37

Vetores de Pressão.....	40
Vulnerabilidade de solos	43
Importância dos indicadores	45
Ferramenta utilizada para priorização espacial.....	48
Regras de remoção de unidades de planejamento.....	48
Recortes de prioridades	49
Indicadores utilizados a posterior.....	50
Resultados	52
Mapas de áreas prioritárias	52
Avaliação do desempenho das análises	55
Resultados por ottobacias, municípios e unidades de conservação.....	58
Implicações para tomada de decisão	63
Referências.....	63
Principais produtos	64

SIGLAS

Órgãos e Instituições

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
APA	Área de Proteção Ambiental
APANRV	APA Nascentes do Rio Vermelho
CBC	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação em Biodiversidade e Restauração Ecológica (ICMBio)
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (ICMBio)
CNCFlora	Centro Nacional de Conservação da Flora
COESP	Coordenação de Ações Integradas para Conservação de Espécies (ICMBio)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudanças do Clima
NGI	Núcleo de Gestão Integrada

Conceitos e Ferramentas

BHO	Base Hidrográfica Ottocodificada
CAZ	Core Area Zonation (Zoneamento por Área Núcleo, método do Zonation)
GIS	Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
MAPBIOMAS	Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
PSC	Planejamento Sistemático para Conservação
PRIMs	Planos de Redução de Impactos sobre a Biodiversidade
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TCCE	Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica
UC	Unidade de Conservação
Zonation	Programa para análise de priorização espacial

APRESENTAÇÃO

O projeto “**Plano integrado de melhoria do uso do solo para conservação do patrimônio espeleológico e da sociobiodiversidade em ambientes cársticos**” tem como objetivo central promover a conservação do patrimônio espeleológico por meio da promoção de práticas agrícolas sustentáveis em propriedades rurais.

Como parte integrante de suas ações, o projeto prevê a execução de um mapeamento diagnóstico, com foco nas áreas cársticas, visando a priorização de áreas para promoção de boas práticas agropecuárias e de conservação do solo. A identificação de áreas prioritárias será conduzida com base nos princípios do Planejamento Sistemático da Conservação (PSC), com objetivo de otimizar a identificação de áreas que ofereçam uma maior relação custo-efetividade para a implementação de ações.

A seleção de áreas prioritárias é baseada em uma ampla gama de indicadores, abrangendo informações sobre aspectos físicos, bióticos e da sociobiodiversidade dos ambientes cársticos. A identificação das áreas-alvo do projeto ocorrerá por meio de uma análise de priorização espacial, conduzida em escala nacional, abrangendo a região cárstica do Grupo Bambuí, e regional, com foco na região da APA das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), Goiás.

A identificação de áreas prioritárias busca indicar o conjunto de áreas custo-efetivas que orientarão a elaboração de um plano integrado de melhoria do uso do solo e conservação do patrimônio espeleológico e da sociobiodiversidade. O plano é desenvolvido por uma ação conjunta do Centro Nacional de Avaliação da Biodiversidade e de Pesquisa e Conservação do Cerrado (CBC) e do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), ambos vinculados ao ICMBio.

O principal objetivo do plano é fomentar a conservação espeleológica por meio da melhoria nas condições do solo através da implementação de estratégias e ações que incentivem a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, resultando em ganhos econômicos aos proprietários rurais e contribuindo para conservação do patrimônio espeleológico e da sociobiodiversidade.

O projeto intitulado “Plano integrado de melhoria do uso do solo para conservação do patrimônio espeleológico e da sociobiodiversidade em ambientes cársticos” foi contemplado por meio do TCCE ICMBio/Vale nº. 01/2022. O termo de compromisso de compensação espeleológica foi firmado entre a Vale S.A. e o Instituto Chico Mendes de Conservação para a Biodiversidade (ICMBio), com gestão operacional realizada pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS).

Objetivo geral do relatório

Dando seguimento à execução do projeto, neste relatório serão apresentados e sumarizados os **objetivos do projeto, a importância dos indicadores selecionados e os principais resultados das análises de priorização espacial para seleção de áreas prioritárias** para implementação de ações que permitam mudanças no uso do solo com vista à conservação do patrimônio espeleológico e da sociobiodiversidade na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

ANÁLISES DE PSC NA ESCALA DO CARSTE DO BRASIL CENTRAL

A identificação de áreas prioritárias para o desenvolvimento de ações de conservação, restauração ou manejo da biodiversidade consiste em uma das etapas do PSC (Margules e Pressey, 2000). O planejamento feito de forma sistematizada visa otimizar de forma custo-eficiente a utilização dos recursos para o alcance dos objetivos do planejamento.

Fundamentada em princípios como insubstituibilidade, vulnerabilidade, complementaridade, representatividade, eficiência, flexibilidade, a priorização espacial usa de informações acerca da distribuição de indicadores de interesse que devem ser priorizados (e.g., espécies, habitats, serviços ecossistêmicos) e de indicadores a serem evitados (e.g., áreas antrópicas, áreas com alto custo de oportunidade). Como resultado desse processo, é gerado um ranking de áreas prioritárias para execução das ações previstas no planejamento, áreas estas onde é possível maximizar os benefícios e reduzir os custos envolvidos no processo.

Nesse exercício de priorização espacial, o mapeamento foi realizado considerando as regiões cársticas do Grupo Geológico Bambuí, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Minas Gerais, Bahia e Distrito Federal (**Figura 1**). O limite da área de estudo foi definido com base no livro As Grandes Cavernas do Brasil (Auler, Rubbioli e Ezio, 2001) e disponibilizado pelo CECAV/ICMBio.



Figura 1. Mapa da área de abrangência do mapeamento de áreas prioritárias em regiões cárticas do Grupo Geológico Bambuí, no Brasil Central.

Objetivo do projeto

Identificar **áreas convertidas em atividades humanas** que representem alto risco para a **conservação espeleológica, a biodiversidade e a sociobiodiversidade** e alto potencial de mudança, a fim de **adotar práticas agrícolas mais sustentáveis e/ou a restauração** de áreas degradadas em

unidades de conservação e propriedades rurais em regiões cársticas do Brasil Central.

BASE DE DADOS

Compilação e sistematização de dados

A primeira etapa do trabalho consistiu na busca por informações espaciais acerca da cobertura e uso do solo, meio físico, meio biótico e da sociobiodiversidade em ambientes cársticos, com foco no contexto nacional da região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

A busca por dados espaciais foi feita com base em dois procedimentos:

- (i) compilação de dados geoespaciais brutos a partir de diferentes fontes, incluindo o compartilhamento de dados gerados por colaboradores que atuam em diferentes centros do ICMBio (p.ex. CECAV, COESP, entre outros).
- (ii) levantamento e sistematização de dados que foram indicados por pesquisadores com atuação na região cárstica do Brasil Central e/ou disponíveis e mapeados em artigos científicos e outros materiais acadêmicos desenvolvidos em ambientes cársticos.

Inicialmente, um total de 25 dados espaciais foram compilados, os quais foram organizados e classificados em 15 categorias temáticas mais abrangentes. Vale notar que o número de dados e categorias foi posteriormente ajustado após a realização da 1ª oficina de PSC, cujos desdobramentos resultou na remoção de alguns indicadores e suas respectivas categorias, assim como na inclusão de novos indicadores e de novas categorias. As bases de dados com informações disponíveis para a

região cárstica, Grupo Bambuí, no Brasil Central foram apresentadas com maiores detalhes no **Relatório 07**.

A fonte, metadados e uma indicação dos dados pré-selecionados foram disponibilizadas para guiar o processo de discussão e validação dos dados durante a 1ª Oficina de PSC referente a essa escala espacial mais abrangente, realizada no dia 26/09/2024.

1ª Oficina PSC

As oficinas participativas desempenham um papel fundamental no contexto do PSC, pois envolvem diferentes atores no processo de tomada de decisões relacionadas à definição de áreas prioritárias. Tais oficinas pretendem ser um espaço colaborativo com especialistas, pesquisadores(as) e atores locais para promover o debate para construção coletiva de aspectos técnicos e científicos relacionados ao planejamento.

A 1ª oficina PSC realizada no âmbito da segunda etapa do projeto, a qual contempla a região do Carste do Brasil Central, ocorreu, por videoconferência, no dia 26 de setembro de 2024, e teve como **objetivo definir e validar o conjunto de indicadores a serem utilizados na análise de priorização espacial** conduzida na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central, bem como indicar a importância de cada indicador na escolha das áreas prioritárias. O público-alvo da oficina foi formado por especialistas e pesquisadores(as) representando diferentes setores da sociedade e com conhecimento acerca de diferentes temas, tais como o meio físico e biótico de ambientes cársticos, restauração, priorização espacial e aspectos socioeconômicos da região (**Figura 2**).



Figura 2. Participantes da oficina online realizada para avaliação e validação dos cenários de priorização elaborados. Fonte: Vallie.

A 1ª oficina realizada teve como principais objetivos i) validar o objetivo específico da análise de priorização espacial; ii) revisar e validar os indicadores a serem utilizados na análise de priorização espacial e; iii) definir a importância (peso) atribuído a cada indicador.

Os resultados da 1ª oficina de PSC foram detalhados no **Relatório 08**.

Pré-processamento dos dados

Todos os indicadores foram processados e padronizados para serem utilizados na análise de priorização espacial. Para isto, todos os indicadores foram associados a um raster padrão com resolução espacial de 1 km² e com extensão dos limites da região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central. Em outras palavras, **células de 1 km² foram utilizadas como unidade**

de planejamento, isto é, a unidade que serão ordenadas de acordo com sua contribuição relativa para atingir o objetivo do planejamento.

A definição do tamanho da célula foi uma decisão conjunta da equipe, visando facilitar a tomada de decisão sobre a escolha das áreas de intervenção do projeto, que englobam as propriedades rurais da região.

Os dados utilizados no processo de priorização espacial foram obtidos em diferentes fontes e em formato matricial (*raster*) ou vetorial (*shapefile*). Os dados em formato *shapefile* foram convertidos em formato *raster* com resolução espacial de 1 km².

De modo geral, o processamento dos dados foi executado no ambiente R (versão 4.2.2), por meio do pacote “terra” e, sobretudo, das funções *rasterize* (para converter arquivos *shapefiles* em *raster*), *aggregate* (para agrregar células em uma célula de menor resolução), e *resample* (para padronizar as dimensões dos arquivos *rasters*). Esta última função foi utilizada para reamostrar dados categóricos através do método “vizinho mais próximo” (quando se tratava de dados categóricos) ou o método de interpolação bilinear (quando se tratava de dados contínuos).

Indicadores selecionados

Os indicadores (i.e., dados) utilizados na priorização espacial foram selecionados de forma a proporcionar uma representação abrangente do contexto multifacetado da região cártica do Grupo Bambuí, no Brasil Central, sobretudo no que diz respeito aos aspectos do meio físico e da sociobiodiversidade da região.

A base de dados discutida e validada durante a 1^a Oficina e nas reuniões pós-oficina é constituída por **18 indicadores classificados em 14 categorias mais abrangentes**. Esta base é sumarizada na **Tabela 1**, com uma breve

descrição dos dados que compõem cada indicador e um resumo do seu processamento para a análise de priorização.

Um dos resultados adicionais do processo de priorização espacial é a compilação de diversas informações sobre a região, abrangendo aspectos como biodiversidade, ameaças, dados socioeconômicos, entre outros.

Como resultado, vários outros dados sobre a região cárstica do Grupo Bambuí foram compilados, resumidos e disponibilizados, mesmo que não tenham sido diretamente utilizados na análise de priorização. A lista dos dados considerados como potenciais indicadores está disponível no

Relatório 08.

Tabela 1. Indicadores selecionados para a priorização espacial que visa apoiar a elaboração do Plano Integrado de Melhoria do Uso do Solo para Conservação do Patrimônio Espeleológico e da Sociobiodiversidade na região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central. A escolha dos indicadores foi realizada de forma participativa e validada por especialistas durante e após a 1ª Oficina de PSC.

Categoria	Descrição do dado	Justificativa
Áreas prioritárias para restauração	Áreas prioritárias para restauração.	Favorecer áreas previamente identificadas como prioritárias para restauração, otimizando a alocação de recursos e maximizando os ganhos ambientais e socioeconômicos.
Biodiversidade	Registros de 187 espécies da fauna endêmica de cavernas localizadas na região cárstica do Brasil Central.	Favorecer áreas que, se restauradas, possam contribuir para o aumento da quantidade e/ou conectividade do habitat de espécies, principalmente para aquelas que se encontram ameaçadas de extinção.
Espeleologia	Dados espaciais de cavernas (registros de localização).	Favorecer a seleção de locais com grande concentração de cavernas com base no mapeamento de cavernas do CANIE.
	Modelo do potencial espeleológico no país.	Identificar áreas com alta probabilidade de ocorrência de novas cavernas, garantindo que regiões de grande valor espeleológico sejam beneficiadas por projetos de restauração ecológica.

Categoria	Descrição do dado	Justificativa
Fitofisionomias	Mapeamento da vegetação brasileira, atual e pretendida na escala de 1:250.000.	Restaurar áreas historicamente cobertas por matas secas (florestas estacionais), que desempenham papel crucial na manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos na região cárstica.
Fogo	Dados de frequência de fogo nos biomas Cerrado e Caatinga de 1985 a 2023.	Indicador utilizado para criação de dois cenários: 1) Favorecer a seleção de áreas onde há alta incidência de fogo para implementar ações de manejo visando a redução de queimadas; 2) Evitar locais com alta incidência de queimadas, que representarem riscos ao sucesso de ações de restauração.
Oportunidades	Bases de transportes (rodovias).	Facilitar a logística de implementação das ações de restauração e seus custos associados ao priorizar áreas próximas a rodovias.
	Bases de transportes (ferrovias).	Reducir custos de transporte e aumentar a viabilidade de projetos de restauração em áreas acessíveis por ferrovias.
	Bases de transportes (hidrovias).	Reducir custos de transporte e aumentar a viabilidade de projetos de restauração em áreas acessíveis por hidrovias.
Potencial agrícola	Potencialidade agrícola natural criado com base em aspectos pedológicos e topográficos.	Favorecer, quando for relevante, a seleção de áreas com maior potencial agrícola, onde a restauração ecológica ou produtiva possa beneficiar a produção agrícola.
Potencial de regeneração	Potencialidade de regeneração natural para o bioma cerrado e caatinga.	Priorizar áreas com alta capacidade de regeneração natural para reduzir custos de restauração e acelerar o retorno ambiental das áreas degradadas.
Qualidade de pastagens	Dados de qualidade de pastagens, classificados em três categorias de degradação: severa, moderada e sem sinais.	Priorizar pastagens degradadas para implementação de práticas de manejo sustentável, melhorando a produtividade e reduzindo impactos ambientais negativos associados a erosão e perda de solo.
Recursos Hídricos	Provisão hídrica sazonal.	Favorecer a seleção de áreas com alta contribuição para a provisão hídrica subterrânea e superficial, garantindo a segurança hídrica e reduzindo impactos da

Categoría	Descrição do dado	Justificativa
		erosão e da sedimentação nos ambientes cársticos.
Serviços ecossistêmicos	Estoque de carbono no solo.	Priorizar áreas com alto potencial de sequestro de carbono para maximizar os benefícios climáticos da restauração ecológica e da conservação do solo.
Social	Comunidades e assentamentos.	Favorecer a seleção de comunidades e assentamentos ou suas proximidades para promover benefícios socioeconômicos e inclusão na implementação de ações de restauração.
	Índice de vulnerabilidade social.	Direcionar ações de restauração para áreas onde a recuperação ambiental pode gerar maior impacto social, beneficiando populações em situação de vulnerabilidade.
Vetores de Pressão	Empreendimentos minerários (em fase de concessão ou estabelecidas), energéticos (eólicos, termoelétricos, hidrelétricos e barramentos) e de transporte (base de aeroportos).	Evitar áreas com grande concentração de empreendimentos que possam inviabilizar ou dificultar a implementação das ações de restauração.
Vulnerabilidade de solos	Mapa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica no Brasil.	Favorecer a restauração de áreas mais suscetíveis à erosão, reduzindo a perda de solo e protegendo recursos hídricos e espeleológicos.

Áreas prioritárias para restauração

Áreas prioritárias para restauração foram identificadas por meio de uma análise multicritério no âmbito do projeto GEF Territórios. Os principais indicadores utilizados na análise incluem áreas prioritárias para recuperação (identificadas em um exercício de priorização feito pelo Instituto Internacional para Sustentabilidade - IIS), riqueza e endemismo de espécies, áreas estratégicas dos PANs/PATs, unidades de conservação, terras indígenas e territórios quilombolas, corredores ecológicos, áreas de baixa compatibilidade para implementação em empreendimentos (PRIMs/ICMBio) e espécies invasoras.

Estes dados, disponibilizados pela COESP/ICMBio na resolução aproximada de 1km², foram padronizados para a subsequente análise de priorização espacial tendo como base o raster de referência gerado para o território do estudo na resolução de 1 km² (**Figura 3**). Os valores dos pixels variam de 0 a 0,75, com os maiores valores indicando as áreas mais prioritárias.

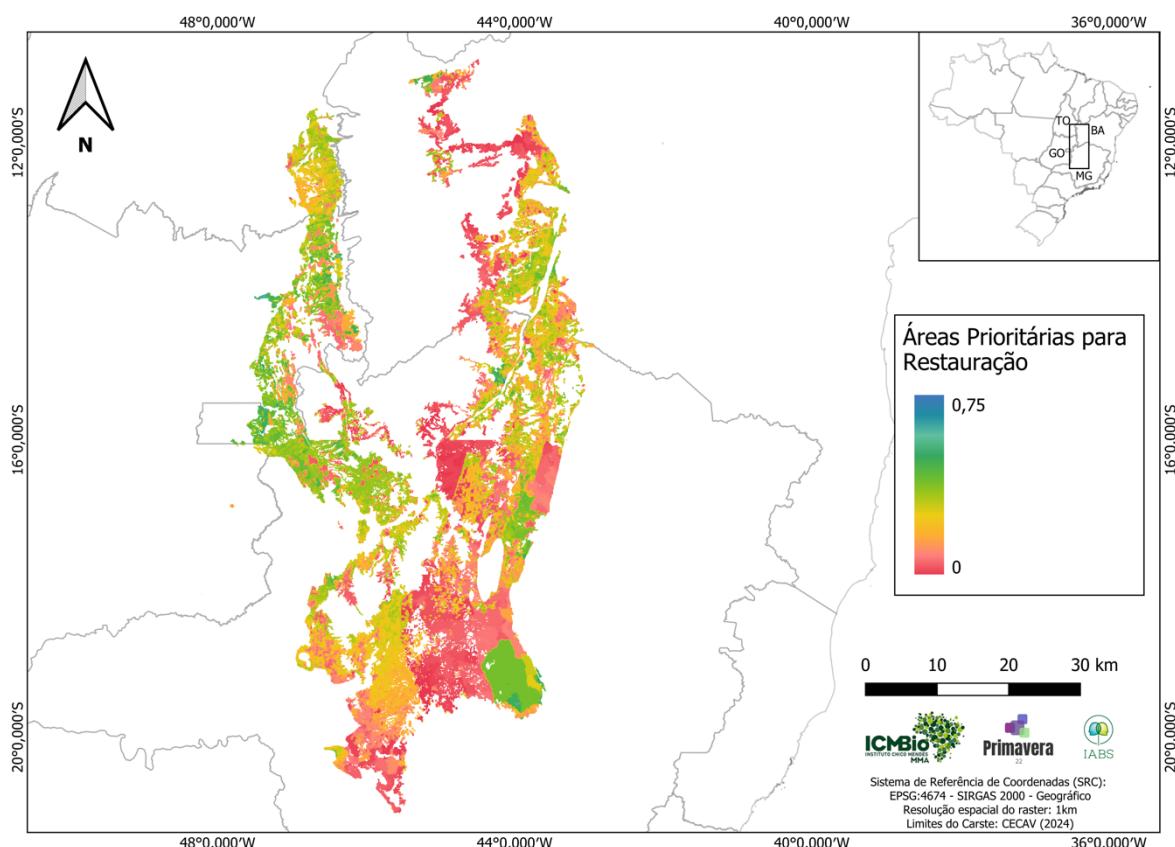


Figura 3. Mapeamento das áreas prioritárias para restauração na região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central.

Biodiversidade

Os dados de biodiversidade foram gerados a partir dos registros de ocorrência de **187 espécies da fauna endêmica de cavernas**, conforme dados disponibilizados pela Coordenação de Ações Integradas para Conservação de Espécies (COESP/ICMBio) referentes à avaliação das

espécies de troglóbios em 2024. Dentre estas, 76 espécies encontram-se ameaçadas de extinção (37 na categoria ‘criticamente em perigo’ [CR], 23 na categoria ‘em perigo’ [EN] e 16 na categoria ‘vulnerável’ [VU]).

Os registros da fauna foram fornecidos pelo CECAV/ICMBio, originados da base de dados da Plataforma Salve. Esses registros **foram utilizados para estimar o habitat potencial das espécies**, considerando a distribuição original dos habitats no território de estudo. Para tanto, foi utilizado como referência o mapeamento da vegetação brasileira original disponibilizado pelo IBGE (2021) na escala de 1:250.000, em formato vetorial (*shapefile*). Dada a considerável conversão de áreas originais em áreas antrópicas na região do Brasil Central, a decisão de usar o dado de fitofisionomia do IBGE é fundamentada pelo fato de este dado apresentar também o **mapeamento da vegetação pretérita, permitindo, assim, a recuperação da informação sobre o habitat original das espécies**, tendo a vegetação como um proxy (i.e. indicador de habitat) (**Figura 4**).

A partir da sobreposição entre os registros de ocorrência e as classes de vegetação pretérita mapeadas no local desses registros, foi obtida a informação sobre o habitat original ocupado por cada espécie. Assim, as feições de vegetação identificadas por meio desta sobreposição foram consideradas como o habitat original da espécie em toda a extensão da região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central.

A fim de padronizar o dado de entrada para a subsequente análise de priorização espacial, o dado vetorial de vegetação foi convertido em *raster*. Para tanto, foi usado como base o *raster* de referência gerado para o território do estudo na resolução de 1 km². Neste procedimento, as classes de vegetação pretérita identificadas como habitat original da espécie foram convertidas em um *raster* de dados contínuos, cujos valores representam a proporção de habitat na área da célula na resolução de 1 km² (**Figura 4**).

Assim, para cada espécie a estimativa da distribuição do habitat original representa a proporção de habitat em cada célula de 1 km² (**Figura 4**).

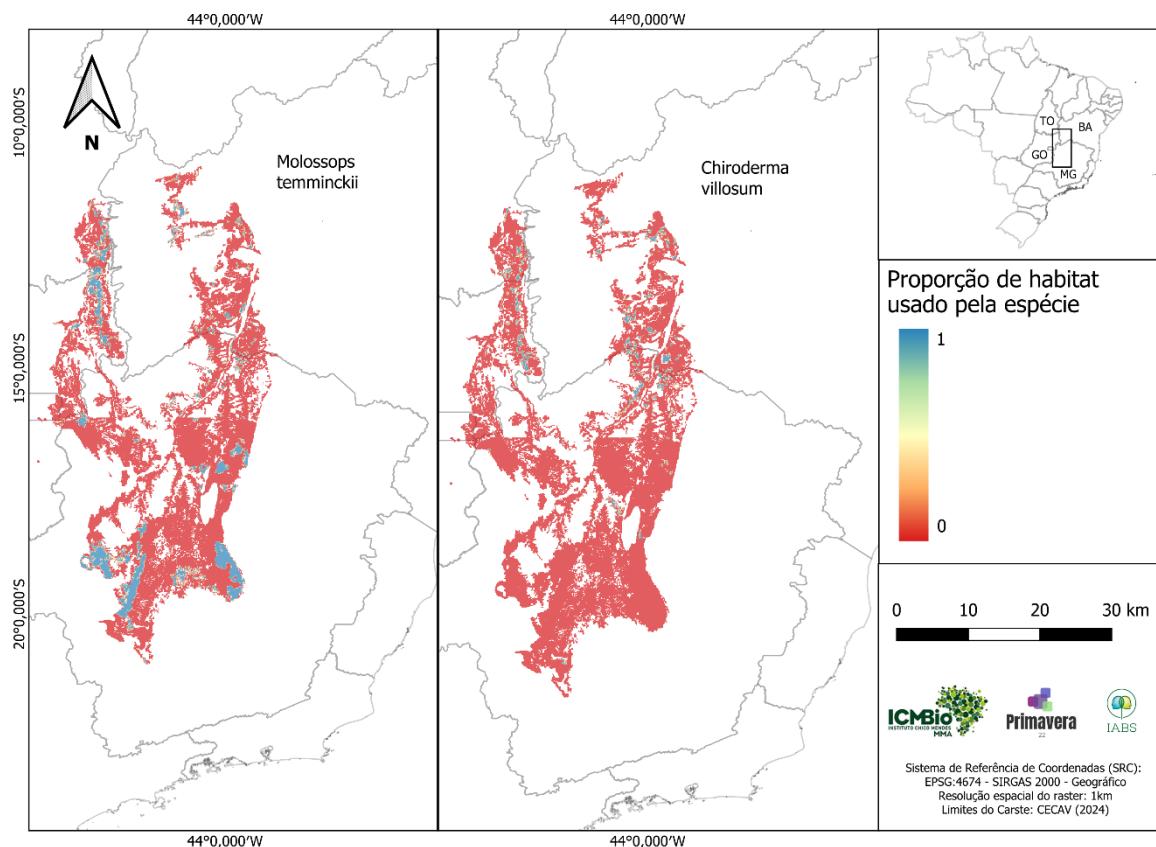


Figura 4. Mapeamento da distribuição de habitat de duas espécies de morcegos (*Molossops temminckii*, *Chiroderma villosum*) que exemplificam distintos padrões de distribuição na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Espeleologia – ambientes cársticos

O patrimônio espeleológico da região cárstica do grupo Bambuí, no Brasil Central, foi representado com base nos registros de ocorrência de 23.518 cavernas em todo o território brasileiro, conforme disponibilizados no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) (<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de->

[pesquisa/cavernas/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie](https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cavernas/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie)).

O arquivo vetorial obtido foi recortado para a área de estudo e convertido para o formato *raster*, utilizando como base o *raster* de referência gerado para a área de estudo, com resolução de 1 km². Nesse processo, cada célula do *raster* recebeu um valor correspondente ao número de cavernas presentes em sua área (mínimo de 0 e máximo de 102 cavernas por pixel, **Figura 5**).

Além da informação sobre a localização de cavernas já catalogadas, também foi incluído na análise de priorização um indicador do potencial espeleológico na região. Esse modelo foi construído a partir da relação entre o número de cavernas conhecidas nas principais litologias, incluindo carbonatos, quartzitos, arenitos e minério de ferro. O grau de potencialidade de cavernas é representado em cinco classes: “Muito Alto”; “Alto”; “Médio”; “Baixo”; e “Ocorrência Improvável” (**Figura 6**). Maiores detalhes sobre a metodologia podem ser encontrados em https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cavernas/publicacoes/Potencialidades%20de%20Ocorrencias%20de%20cavernas?_authenticator=e772307f20f7682f79b1b533dfd38e41861d149b CECAV, 2012).

O arquivo de potencialidade de cavernas, obtido em formato vetorial (*shapefile*) também foi recortado para a área de estudo e, em seguida, rasterizado utilizando como base o *raster* de referência na resolução de 1 km². Nesse processo, cada célula do *raster* recebeu um valor correspondente ao grau de potencialidade de ocorrência de cavernas, classificado em cinco categorias: muito alto (valor 4), alto (valor 3), médio (valor 2); baixo (valor 1) e ocorrência improvável (valor 0) (**Figura 6**).

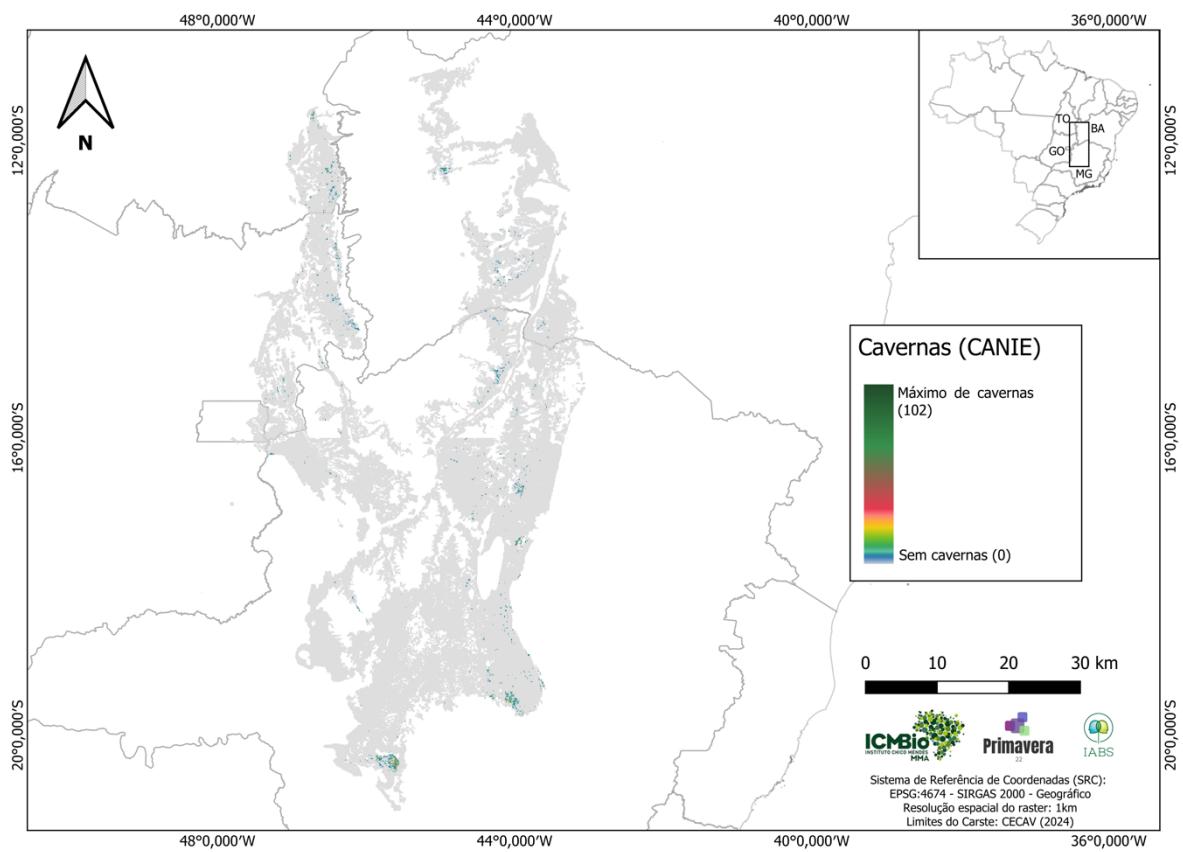


Figura 5. Distribuição espacial dos registros de ocorrência de cavernas na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

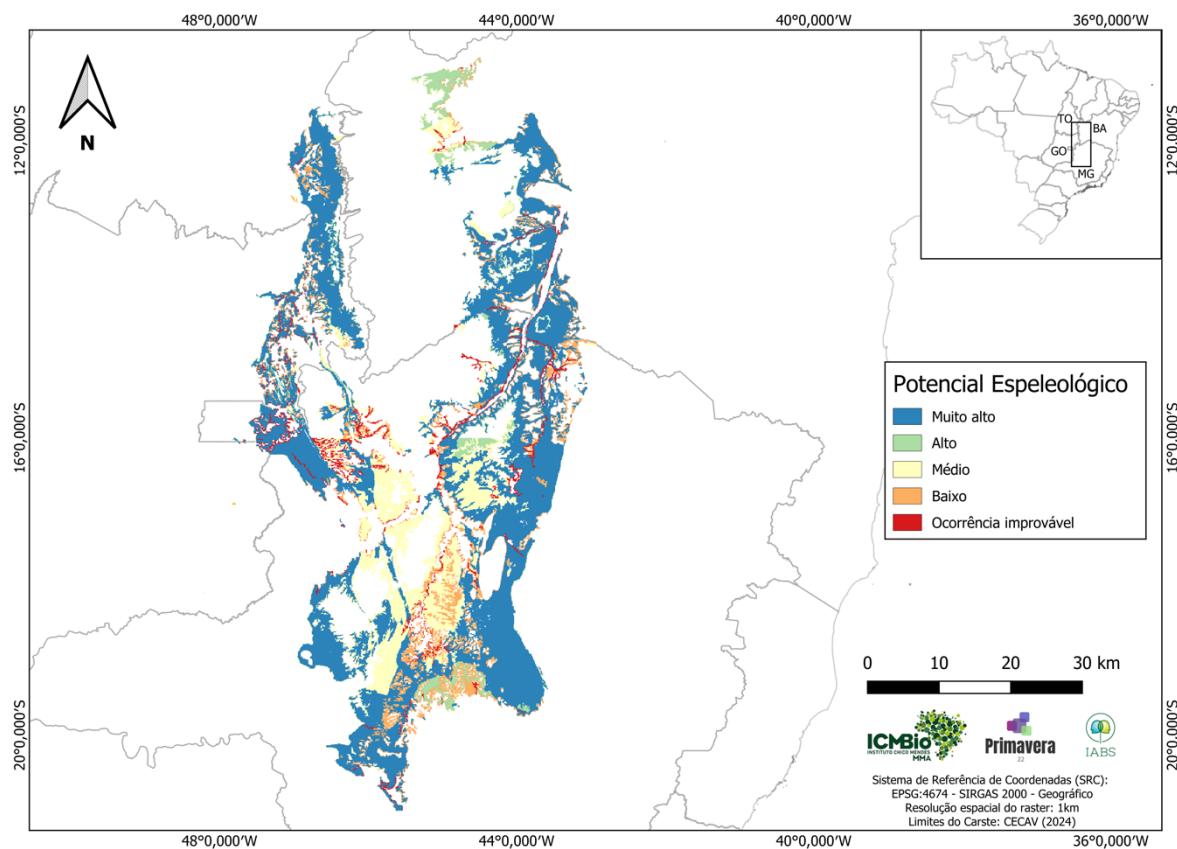


Figura 6. Modelo do potencial espeleológico na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Fitofisionomias

O habitat na região cárstica do Brasil Central foi representado pela distribuição espacial das **matas secas** (i.e., **florestas estacionais deciduais e semideciduais**). Assim, os dados de habitat foram gerados a partir do mapeamento da vegetação brasileira disponibilizado em formato vetorial (*shapefile*) pelo IBGE (2021) na escala de 1:250.000, o qual inclui também informações sobre a vegetação pretérita que ocorria na região antes da sua conversão em áreas antrópicas.

Tendo como base o dado histórico da vegetação, a representação espacial dos habitats de interesse para a priorização espacial foi feita por meio da

etapa de rasterização, que consistiu em converter a feição correspondente a classes de vegetação pretérita classificada como “Floresta Estacional Decidual” em um raster cujos valores indicam a presença desse tipo de vegetação na célula com área de 1 km² (**Figura 7**).

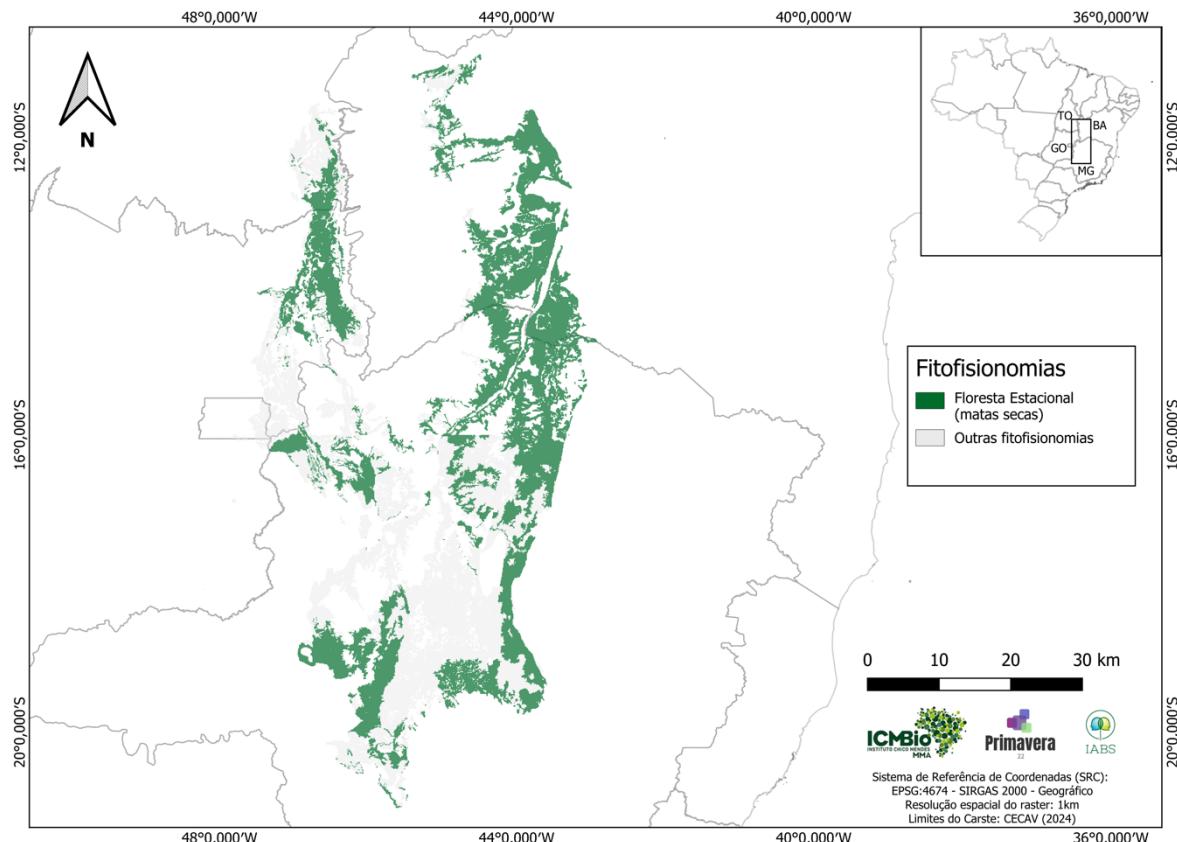


Figura 7. Distribuição espacial dos habitats que representam a ocupação histórica da região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central, pela vegetação de matas secas (florestas estacionais).

Fogo

O indicador de frequência de queimadas foi utilizado para distinguir dois cenários de priorização espacial. No primeiro cenário, esse indicador representa uma oportunidade que poderá repercutir em benefícios na região por meio da restauração ou recuperação de áreas onde há alta

incidência de fogo, de modo a favorecer o manejo e a redução de queimadas nessas áreas.

Por outro lado, a frequência de queimadas de uma área pode **ser um fator de risco** ao sucesso de ações de restauração. Dessa forma, em um segundo cenário, esse indicador não foi utilizado, de forma a não favorecer locais com alta incidência de queimadas.

Os dados de incidência de fogo foram compilados a partir do Projeto MapBiomas Fogo (2024, coleção 3.0) para o período compreendido entre 1985 e 2023. Este dado foi obtido no formato *raster* na resolução de 30 m e seus valores representam a frequência de incidência de fogo no território da região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central para o período selecionado.

O processamento destes dados consistiu na etapa de agregação, no intuito de agrupar células menores de 30 m em células maiores de 1 km. Para tanto, foi considerado o valor máximo no observado no conjunto de células menores como o valor que representa a frequência de fogo na célula maior, com resolução de 1 km² (**Figura 8**).

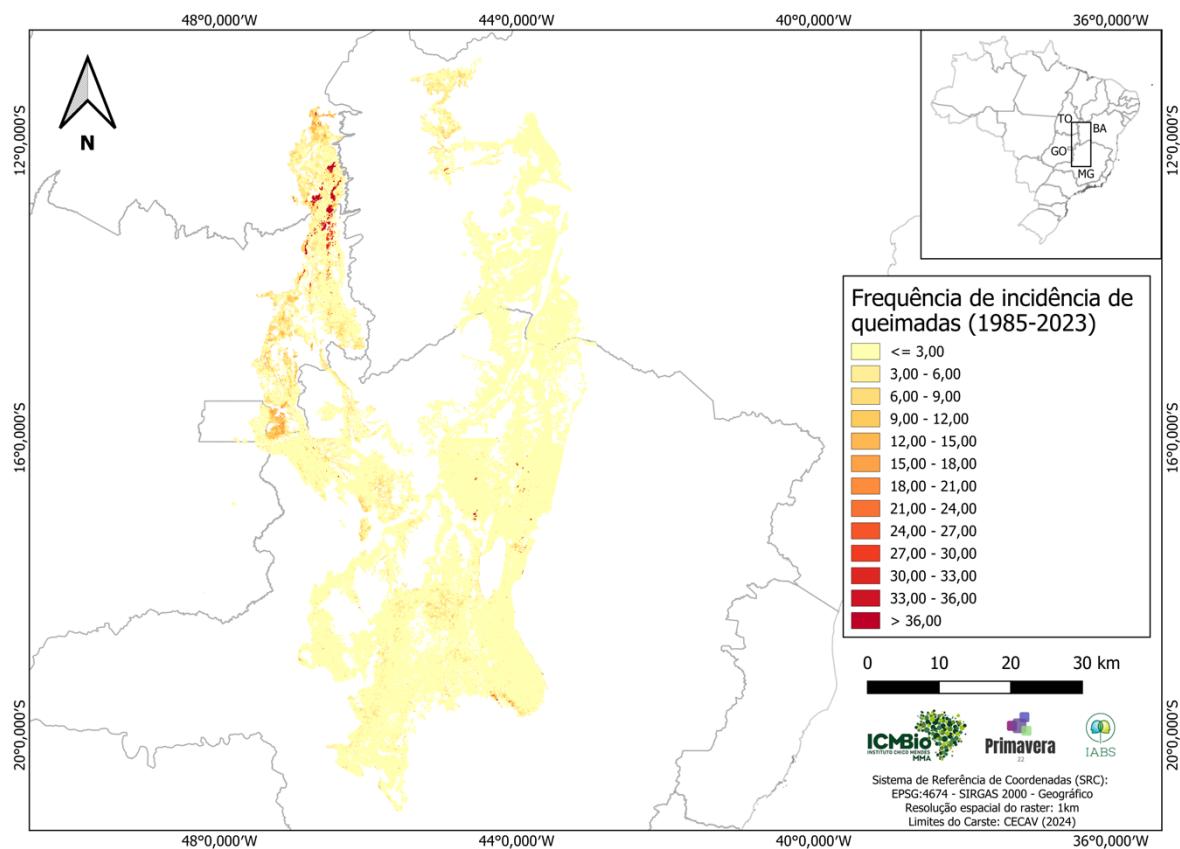


Figura 8. Distribuição espacial da frequência de incidência de fogo na região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central no período de 1985 a 2023.

Oportunidades

A proximidade de rodovias, ferrovias e hidrovias pode facilitar a implementação de projetos de restauração ecológica, reduzindo custos e desafios logísticos relacionados ao transporte de insumos, como mudas, sementes e equipamentos, além de melhorar o acesso das equipes técnicas às áreas de intervenção. Projetos localizados próximos a vias de acesso permitem a distribuição mais eficiente dos materiais necessários para o plantio e manejo da vegetação, além de facilitar o escoamento de produtos em sistemas agroflorestais e de restauração produtiva. Ainda, a maior acessibilidade também possibilita um monitoramento contínuo e

intervenções adaptativas, aumentando as chances de sucesso das iniciativas de restauração.

Diante do exposto, essas facilidades logísticas foram representadas pelas vias de acesso correspondentes às rodovias, ferrovias e hidrovias. Estes dados foram obtidos no formato vetorial (*shapefile*) a partir da base de dados geoespaciais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2024, disponível em <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>). A partir destes dados foram gerados três *rasters*, cujas células de 1 km² representam o inverso da distância euclidiana entre as vias de acesso correspondentes às rodovias, ferrovias e hidrovias, respectivamente (**Figuras 9-11**). Dessa forma, áreas com maior acessibilidade (i.e. menor distância ou maior inverso da distância em relação às vias) foram priorizadas, favorecendo a implementação eficiente dos projetos de restauração.

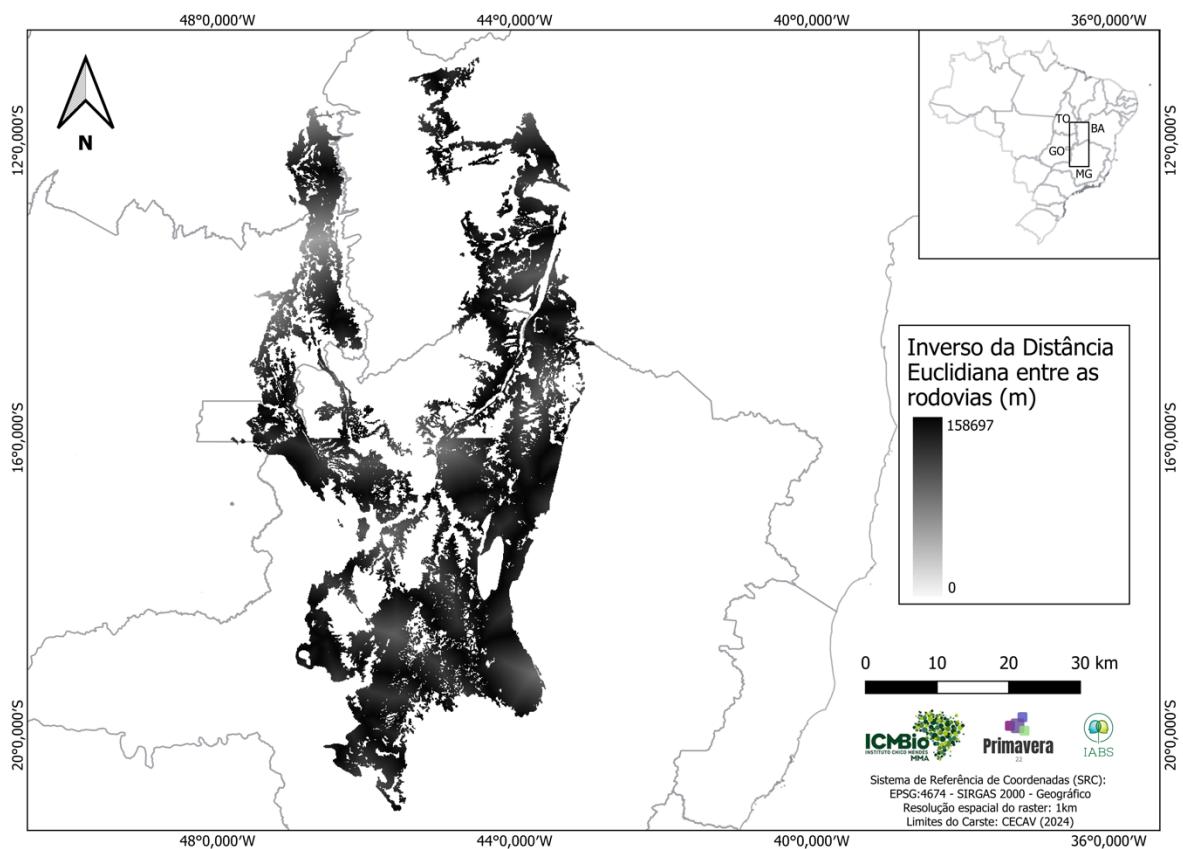


Figura 9. Inverso da distância euclidiana entre rodovias na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

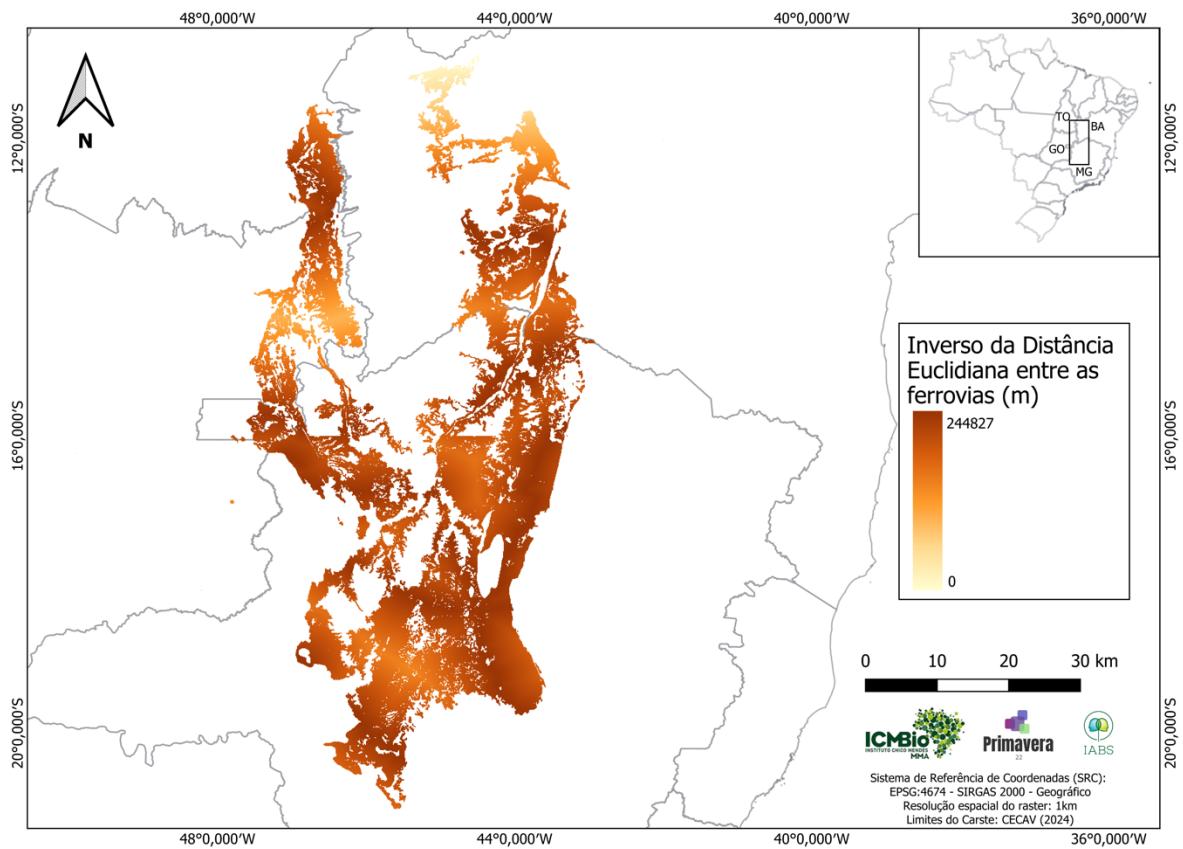


Figura 10. Inverso da distância euclidiana entre ferrovias na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

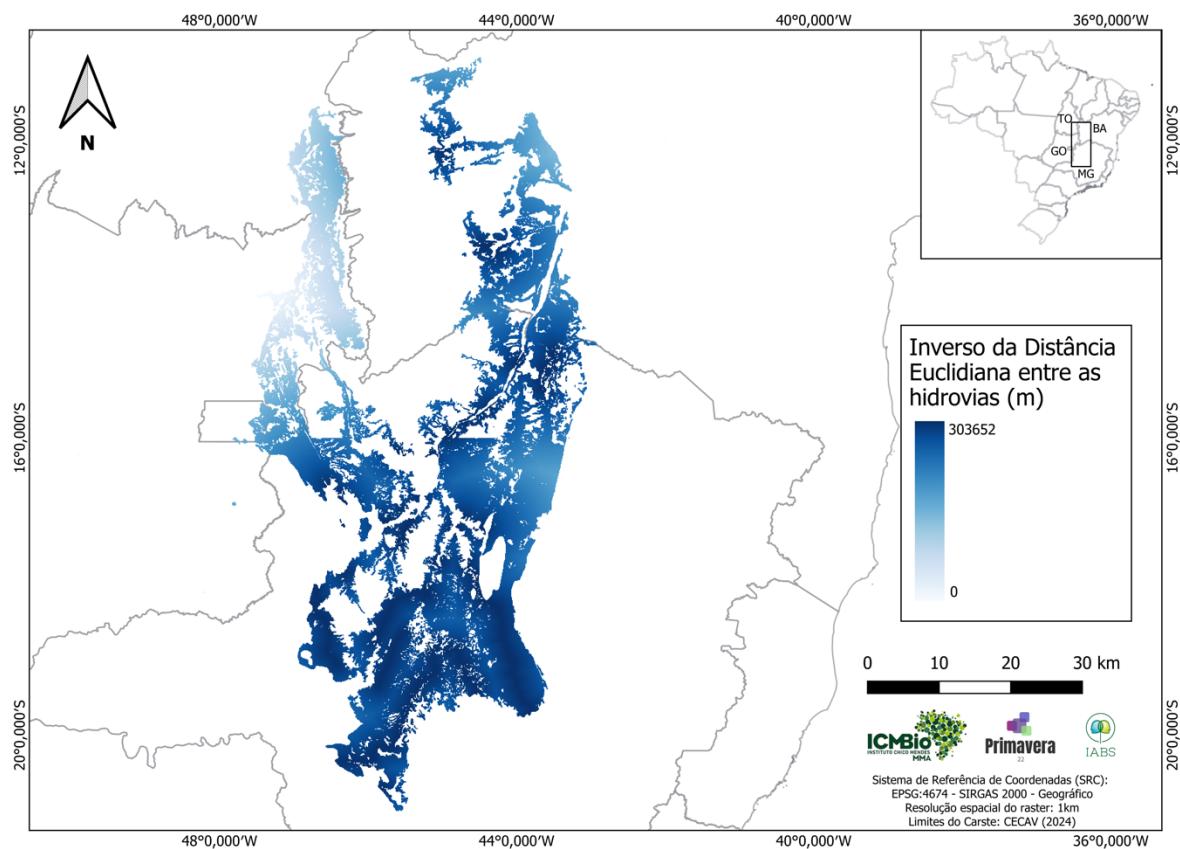


Figura 11. Inverso da distância euclidiana entre hidrovias na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Potencial agrícola

Áreas com alto potencial agrícola no território da região também foram consideradas como oportunidades para o direcionamento de ações de melhoria de uso do solo. A restauração ecológica próxima a áreas agrícolas pode trazer diversos benefícios para a agricultura, contribuindo para a sustentabilidade da produção. A recuperação da vegetação nativa melhora a infiltração e retenção da água no solo, reduzindo a erosão e o assoreamento de corpos d'água. Além disso, a restauração pode atuar como barreira contra ventos e pragas, protegendo as culturas agrícolas e diminuindo a necessidade de defensivos químicos. Outro benefício importante é o aumento da biodiversidade, favorecendo a presença de

polinizadores e inimigos naturais de pragas, o que pode elevar a produtividade das lavouras. A conectividade ecológica promovida pela restauração também auxilia na regulação do microclima, reduzindo temperaturas extremas e contribuindo para a resiliência da paisagem agrícola diante das mudanças climáticas.

O dado de potencialidade agrícola natural de terras, criado com base em aspectos pedológicos e topográficos, foi obtido na escala de 1:250.000 no site do IBGE (2019, <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/24252-macrocaracterizacao-dos-recursos-naturais-do-brasil.html?edicao=35547&t=acesso-ao-produto>). O mapa, disponibilizado no formato vetorial (*shapefile*), classifica as terras em cinco categorias de potencialidade agrícola: A1 - Muito Boa, com alta aptidão para o desenvolvimento agrícola; A2 - Boa, com boa aptidão agrícola; B - Moderada, com potencial moderado para a agricultura; C - Restrita, onde as limitações reduzem a viabilidade agrícola; e D - Fortemente Restrita, caracterizada por restrições severas ao uso agrícola. Assim, a fim de padronizar esta informação para ser utilizada como indicador na análise de priorização espacial, o dado vetorial foi rasterizado com base no raster de referência para a região de estudo na resolução de 1km². Para tanto, os valores das células foram atribuídos conforme a categoria de potencialidade agrícola: 5 para muito boa, 4 para boa, 3 para moderada, 2 para restrita e 1 para fortemente restrita (**Figura 12**).

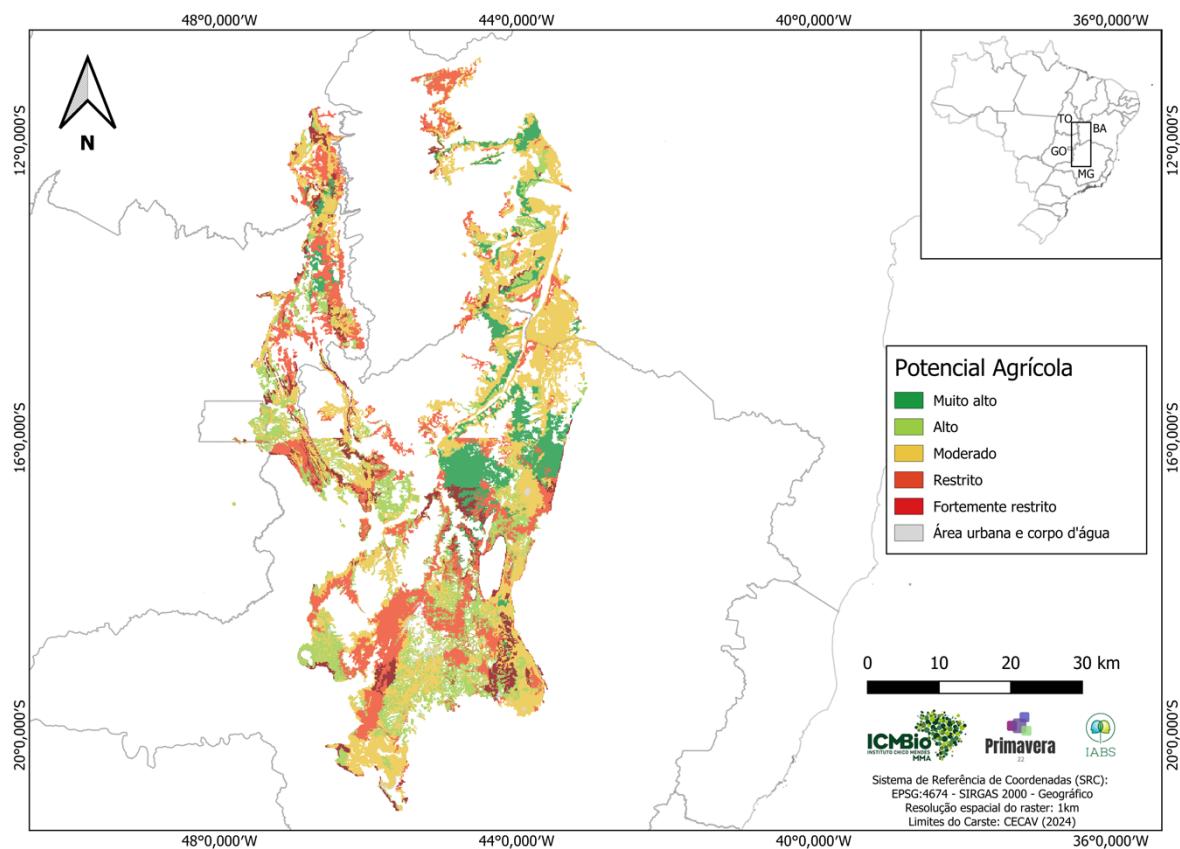


Figura 12. Distribuição espacial do potencial agrícola na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Potencial de regeneração

O potencial de regeneração natural de uma área pode facilitar o processo de restauração ao acelerar a recuperação da vegetação nativa e reduzir a necessidade de intervenções ativas, como plantios diretos e controle de espécies invasoras. Áreas com alta capacidade de regeneração, seja pela presença de um banco de sementes no solo, proximidade de remanescentes florestais ou condições ambientais favoráveis, tendem a ser mais resilientes e demandar menos insumos e mão de obra, diminuindo significativamente os custos de implementação e de manutenção da restauração. Considerando esses fatores, no processo de priorização

espacial foi favorecida a seleção de áreas degradadas, especialmente pastagens, porém com alto potencial de regeneração.

Os dados sobre o potencial de regeneração natural da Caatinga foram fornecidos pelo MMA/WRI no formato vetorial (*shapefile*), enquanto os dados para o Cerrado foram disponibilizados no formato matricial (*raster*) por Daniel Mascia da Embrapa, tendo como base a publicação deste dado por Silva et al. (2023). Ambos os conjuntos de dados apresentam uma classificação categórica do potencial de regeneração, permitindo a identificação de áreas com alto, médio e baixo potencial de regeneração natural (**Figura 13**).

Para ser utilizado como indicador na análise de priorização espacial, o dado de potencial de regeneração da Caatinga foi rasterizado com base no raster de referência na resolução de 1 km² e a partir da atribuição de valores às células conforme a categoria de potencial de regeneração natural: valor 3 para potencial alto, 2 para potencial médio e 1 para potencial baixo

(Figura 13). O dado de potencial de regeneração do Cerrado, disponibilizado em formato matricial (*raster*) na resolução aproximada de 1,4 km, foi padronizado para o tamanho de 1 km. Para tanto, e seguindo as informações disponibilizadas por Silva et al. (2023), os valores das células foram categorizados conforme se segue: um alto potencial de regeneração (valor 3) foi atribuído para as células com valores originais acima de 50%, um médio potencial de regeneração (valor 2) foi atribuído para as células com valores originais entre 30% e 50%, enquanto um baixo potencial de regeneração (valor 1) foi atribuído para células com valores originais até 30% **(Figura 13).**

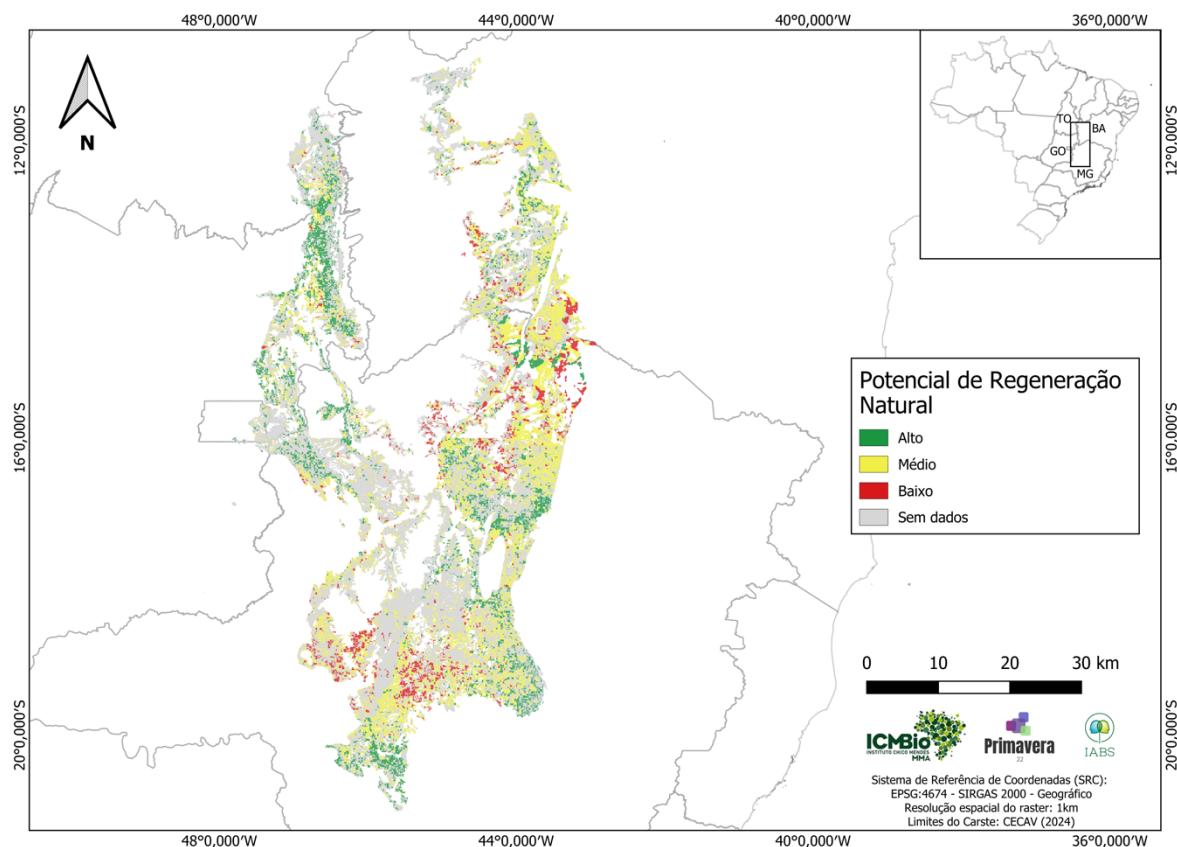


Figura 13. Potencial de regeneração na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Qualidade de pastagens

Os dados de qualidade de pastagens na região foram obtidos a partir da base de dados do Projeto MapBiomas (coleção 8). Este dado, disponibilizado em formato matricial (raster) na escala de 30 m, foi produzido pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) em parceria com o Projeto MapBiomas, e representa a qualidade da pastagem quanto ao seu grau de degradação. Assim, este indicador é representado por um raster cujos valores discretos indicam três **categorias de pastagens (ou níveis de degradação): sem sinais de degradação (valor 1), moderadamente degradadas (valor 2) e severamente degradadas (valor 3)**.

Uma vez que o dado original se encontra na resolução de 30 m, o processamento deste dado foi realizado por meio da etapa de agregação, que consiste no agrupamento de células na resolução original para criação de células em um tamanho maior (i.e., 1 km). Para tanto, o valor da classe mais abundante (i.e., moda) no conjunto das células agregadas foi atribuído como valor da célula na resolução de 1 km², representando, assim, a classificação da pastagem correspondente a esse valor (**Figura 14**).

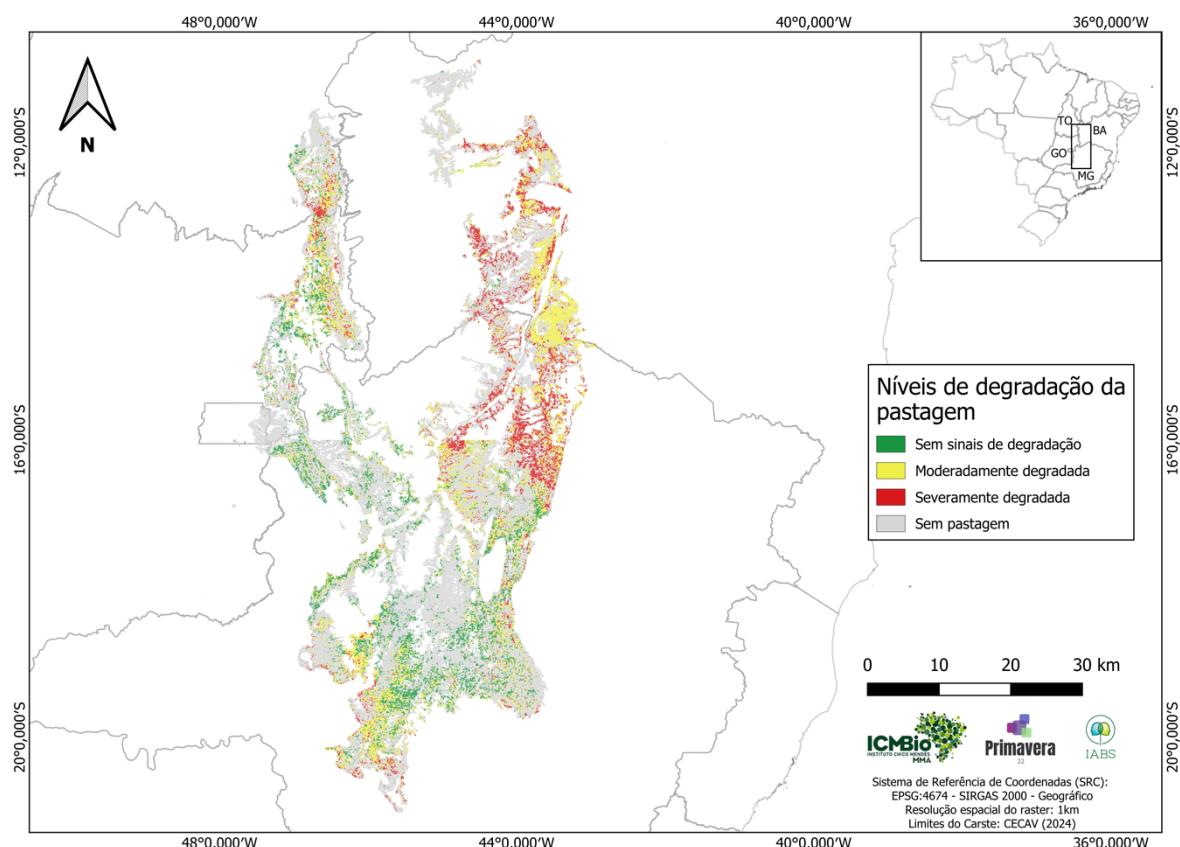


Figura 14. Distribuição espacial da qualidade das pastagens quanto ao grau de degradação na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Recursos Hídricos

Recursos hídricos, sobretudo os subterrâneos, são essenciais para a dinâmica e manutenção dos ambientes cársticos, correspondendo também a um

componente que é muito suscetível à erosão e aporte de sedimentos que, em última instância, afetam o patrimônio espeleológico. Na ausência de mapeamentos em larga escala dos rios subterrâneos, que são de grande influência para a formação de dolinas e cavernas, a hidrografia da região cárstica do Grupo Bambuí foi representada pelo dado de provisão hídrica sazonal (SWY- *Seasonal Water Yield*), produzido e disponibilizado pela COESP/ICMBio no âmbito do Plano de Redução de Impactos da Mineração sobre a Biodiversidade e o Patrimônio Espeleológico (PRIM-Mineração).

Este dado, disponibilizado no formato matricial (*raster*) na resolução aproximada de 1 km, foi gerado por meio do software InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) através de métodos de modelagem que mapeiam e avaliam os bens e serviços ecossistêmicos. Conforme detalhado no Apêndice D do documento PRIM-Mineração, diferentes variáveis relacionadas a precipitação, evapotranspiração, uso e cobertura da terra, elevação e hidrologia do solo foram usadas para gerar o modelo de provisão hídrica sazonal, o qual quantifica o volume de água produzido por uma bacia hidrográfica que chega aos corpos d'água ao longo de um ano (ou seja, estima a contribuição das células do *raster* para a provisão de recursos hídricos). Um dos dados de saída do modelo de provisão hídrica é o escoamento subterrâneo, que corresponde, no processo hidrológico, ao fluxo de captação lenta, também chamado de *baseflow*. Este dado representa a precipitação, em milímetros (mm), que chega aos cursos d'água mais gradualmente através do fluxo subsuperficial e permanece nas bacias hidrográficas pelo período de meses a anos. Uma vez que este fluxo tem grande contribuição para a provisão hídrica sazonal, o escoamento subterrâneo foi utilizado neste exercício de priorização para representar os recursos hídricos na região do estudo (**Figura 15**).

Este dado foi padronizado na resolução de 1 km² tendo como base o raster de referência da região cárstica do Grupo Bambuí no Brasil Central. Os maiores valores representam células com maior contribuição para o escoamento subterrâneo (**Figura 15**).

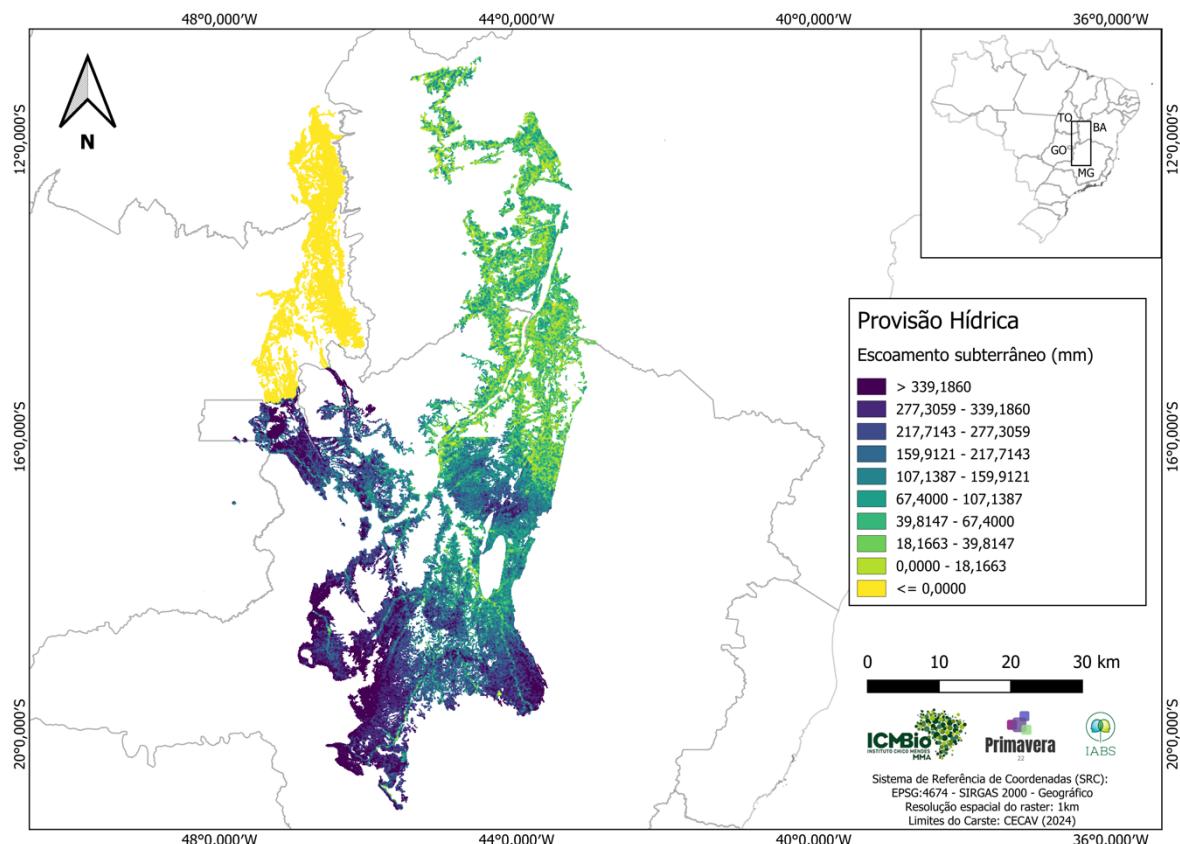


Figura 15 Escoamento subterrâneo na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Serviços ecossistêmicos

Direcionar projetos de restauração para áreas com alto potencial de estocagem de carbono é fundamental para maximizar os benefícios climáticos da recuperação ambiental. Essas áreas possuem condições favoráveis para o sequestro de carbono, um serviço ecossistêmico

fundamental para a mitigação das mudanças climáticas ao remover CO₂ da atmosfera e armazená-lo na biomassa e no solo.

Para representar esse serviço ecossistêmico, foi utilizado o mapa de estoque de carbono orgânico do solo do Brasil (Embrapa, 2021; disponível em <https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/?q=estoque%20de%20carbono%20org%C3%A2nico>). Esses dados foram produzidos por mapeamento digital de solos para seis diferentes profundidades do solo (0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm e 100-200 cm) e disponibilizados em formato matricial (raster) na resolução de 90 m como parte integrante do Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos do Brasil (PronaSolos). Segundo informações da Embrapa, o carbono estocado entre 0 e 30 cm está fortemente relacionado ao manejo e uso agrícola do solo, enquanto o carbono presente entre 30 cm e 1 m tem maior vínculo com a profundidade das raízes, que depositam matéria orgânica e carbono ao longo do tempo.

Para ser utilizado como indicador na análise de priorização espacial, esse dado foi agregado para a resolução de 1 km², considerando o valor total de estoque de carbono (mg/ha) em cada célula, ou seja, o somatório dos valores correspondentes ao estoque de carbono em cada profundidade (**Figura 16**).

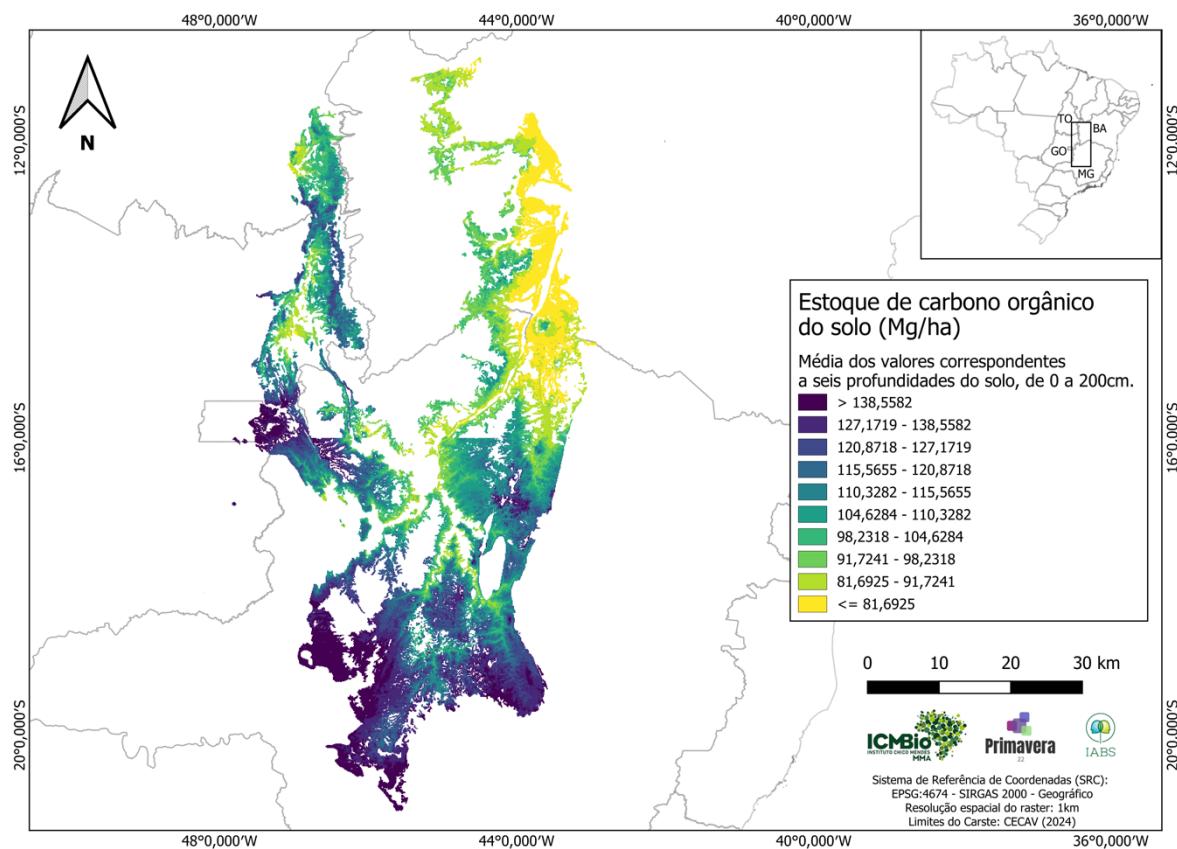


Figura 16. Estoque de carbono orgânico no solo, correspondente à soma dos valores estimados para as seis diferentes profundidades na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Social

A restauração ecológica, além de seus benefícios ambientais, tem um grande potencial para gerar impactos sociais e econômicos positivos, especialmente para populações vulneráveis. A implementação de projetos de restauração cria oportunidades de emprego e renda em diversas etapas da cadeia produtiva, desde a coleta de sementes e produção de mudas até o plantio, monitoramento e manejo das áreas restauradas. Isso pode fortalecer a economia local, estimulando atividades sustentáveis e capacitando comunidades para atuarem como protagonistas na recuperação ambiental. A restauração também pode melhorar a

segurança hídrica e alimentar, além de reduzir riscos de desastres naturais e contribuir para a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais.

Para favorecer a seleção de áreas prioritárias que tragam benefícios às comunidades, especialmente aquelas em situação de maior vulnerabilidade, foram utilizados dois indicadores principais: (i) a localização de povoados, representados pelos assentamentos rurais, territórios quilombolas e indígenas, e (ii) o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). Os dados de assentamentos e quilombolas foram obtidos no formato vetorial (*shapefile*) a partir da base de dados do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2024,

https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py), enquanto os limites espaciais dos territórios indígenas foram compilados, também no formato vetorial (*shapefile*) a partir do site da Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI, 2024, <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>). Tendo como base o raster de referência na resolução de 1 km², todos estes dados de localização dos povoados foram rasterizados na forma de um mapa binário, cujo valor 1 indica a presença desses povos na célula de 1 km (**Figura 17**).

Já as informações sobre IVS por município foram obtidas a partir da tabela disponibilizada no site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2010, <https://ivs.ipea.gov.br/#/repositorio>). Para representar a distribuição espacial do IVS, os dados municipais desta tabela foram espacializados (i.e. vetorizados no formato *shapefile*) a partir da associação destes valores aos polígonos dos municípios. Nesta etapa foram considerados os valores totais do IVS, os quais abrangem diferentes segmentos populacionais em termos de sexo, cor e situação domiciliar. Como o projeto abrange municípios situados nos biomas Caatinga e Cerrado, a espacialização do IVS foi realizada exclusivamente para os municípios pertencentes a essas regiões. O

processamento deste dado para fins de execução da análise de priorização espacial consistiu em rasterizar o dado vetorial com base no raster de referência da região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central, de modo a gerar um raster na resolução de 1 km² cujos valores das células representam o IVS do município onde a célula está inserida (**Figura 18**).

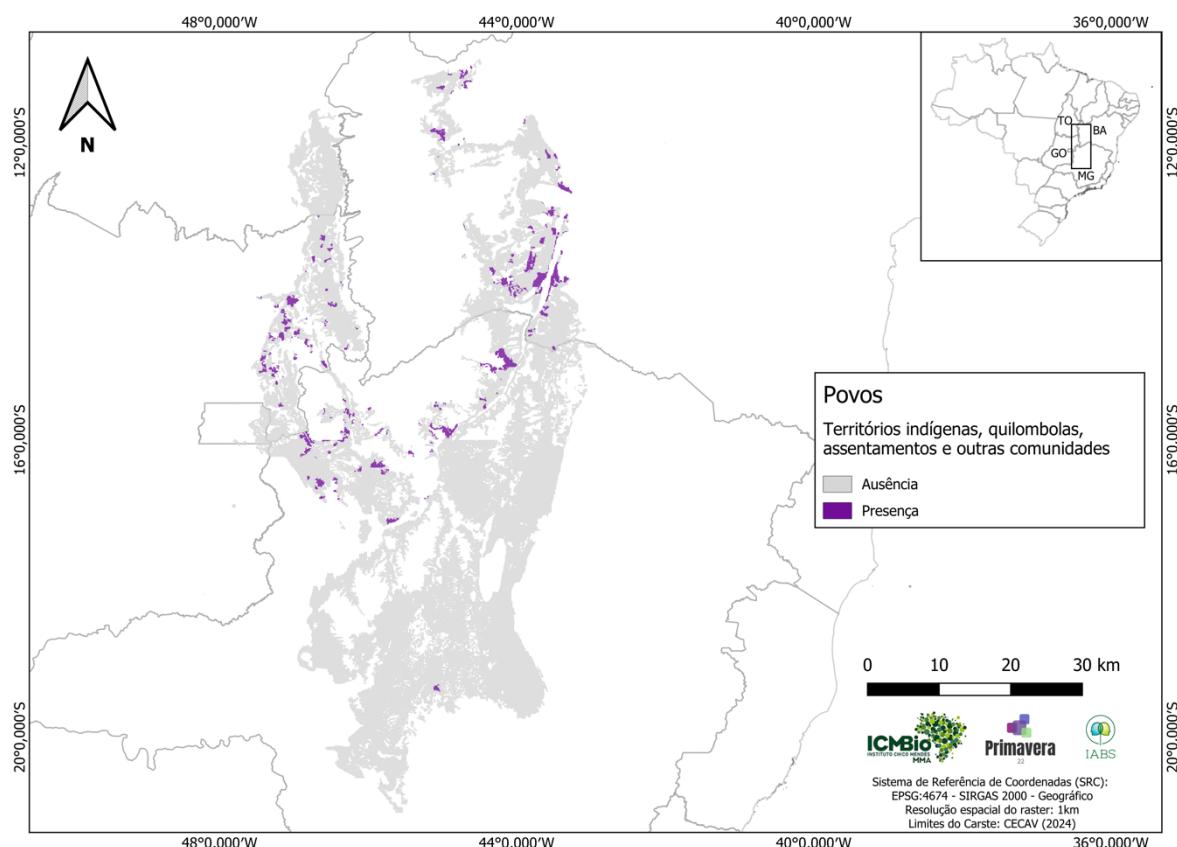


Figura 17. Mapeamento dos povos tradicionais na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

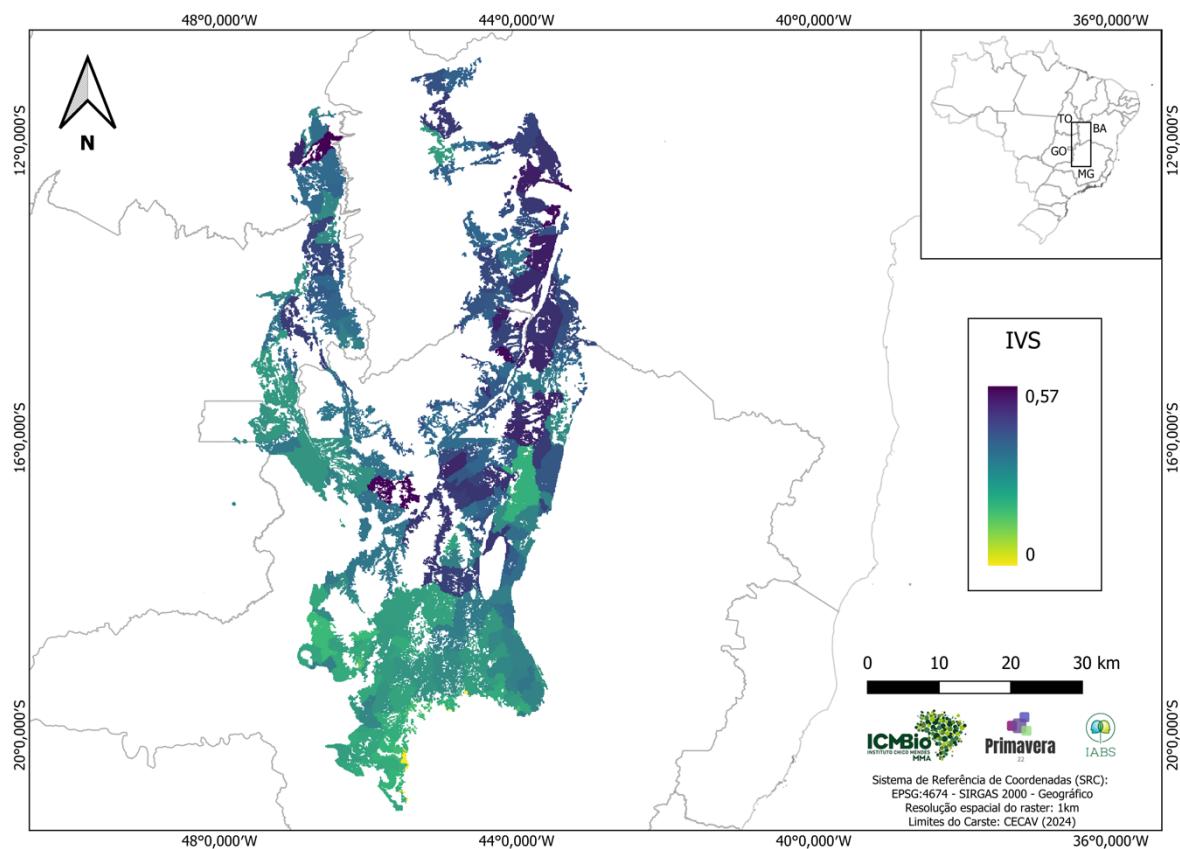


Figura 18. Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) dos municípios situados na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Vetores de Pressão

No exercício de priorização, os vetores de pressão representam áreas a serem evitadas, pois podem impor dificuldades, ou até mesmo obstáculos, à implementação de projetos de restauração. Para representar esses vetores, foram considerados dados sobre empreendimentos minerários (em fase de concessão ou já estabelecidos) e infraestrutura de projetos energéticos (eólicos, termelétricos, hidrelétricos e barramentos) e de transporte (como aeroportos). Esses elementos foram agrupados e utilizados como um indicador de vetores de pressão no processo de priorização espacial. Na análise, esse indicador recebeu um peso negativo, indicando que, sempre

que possível, tais áreas deveriam ser evitadas na seleção de áreas prioritárias para restauração.

Foram obtidos dados vetoriais sobre processos minerários nos estados de Tocantins, Bahia, Minas Gerais, Goiás e no Distrito Federal na base de dados da Agência Nacional de Mineração (ANM, 2024,

<https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>). Dentre as diferentes fases desses processos, apenas aquelas atualmente em fase de extração minerária — ou seja, concessão de lavra, direito de requerer lavra, lavra garimpeira, licenciamento e registro de extração — foram consideradas na priorização. As demais fases representam apenas a mineração prevista para essas regiões e, portanto, não foram incluídas no exercício de priorização espacial. Essa classificação segue a metodologia adotada pela COESP/ICMBio. Para utilização desse indicador na análise de priorização espacial, o dado vetorial (*shapefile*) dos processos minerários foi rasterizado na resolução de 1 km² e atribuindo o valor 1 às células que contêm empreendimentos minerários ativos.

Além dos dados minerários, foram compilados muitos dados referentes aos empreendimentos energéticos/elétricos que se sobrepõem com a região do estudo. Estes dados, obtidos em formato vetorial (*shapefile*) a partir da base de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024,

<https://sigel.aneel.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=c1716d81d491426197bf497ace41db8d>), abrangem empreendimentos eólicos, termoelétricos, hidrelétricos e barramentos. De modo similar ao descrito para os processos minerários, estes dados de empreendimentos energéticos foram convertidos em formato *raster*, cujo valor 1 indica a existência desses empreendimentos célula de 1 km².

Quanto aos dados de transporte, a localização das bases de aeroportos foi compilada, em formato vetorial (*shapefile*) a partir da base do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2024, disponível em <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>). Este dado foi padronizado para a análise espacial a partir da conversão do dado vetorial em dado matricial (*raster*), tendo como base o *raster* de referência na resolução de 1 km², de modo a gerar um mapa binário cujo valor 1 indica a presença de aeroportos na célula de 1 km².

Como resultado deste processamento dos indicadores de vetores de pressão, representados pelos dados de mineração, empreendimentos energéticos e de transporte, foram gerados três *rasters* binários, cujos valores 0 indicam a ausência do vetor de pressão e cujos valores 1 indicam a presença do vetor de pressão. Esses *rasters* foram sobrepostos e somados no intuito de gerar um único indicador destes vetores de pressão na região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central a partir do somatório dos três *rasters* gerados para cada vetor separadamente (**Figura 19**). Assim, o indicador de vetores de pressão corresponde a um *raster* cujos valores variam de 0 a 2, representando o quantitativo de empreendimentos/instalações com base nos três vetores analisados (mineração, energia e transporte).

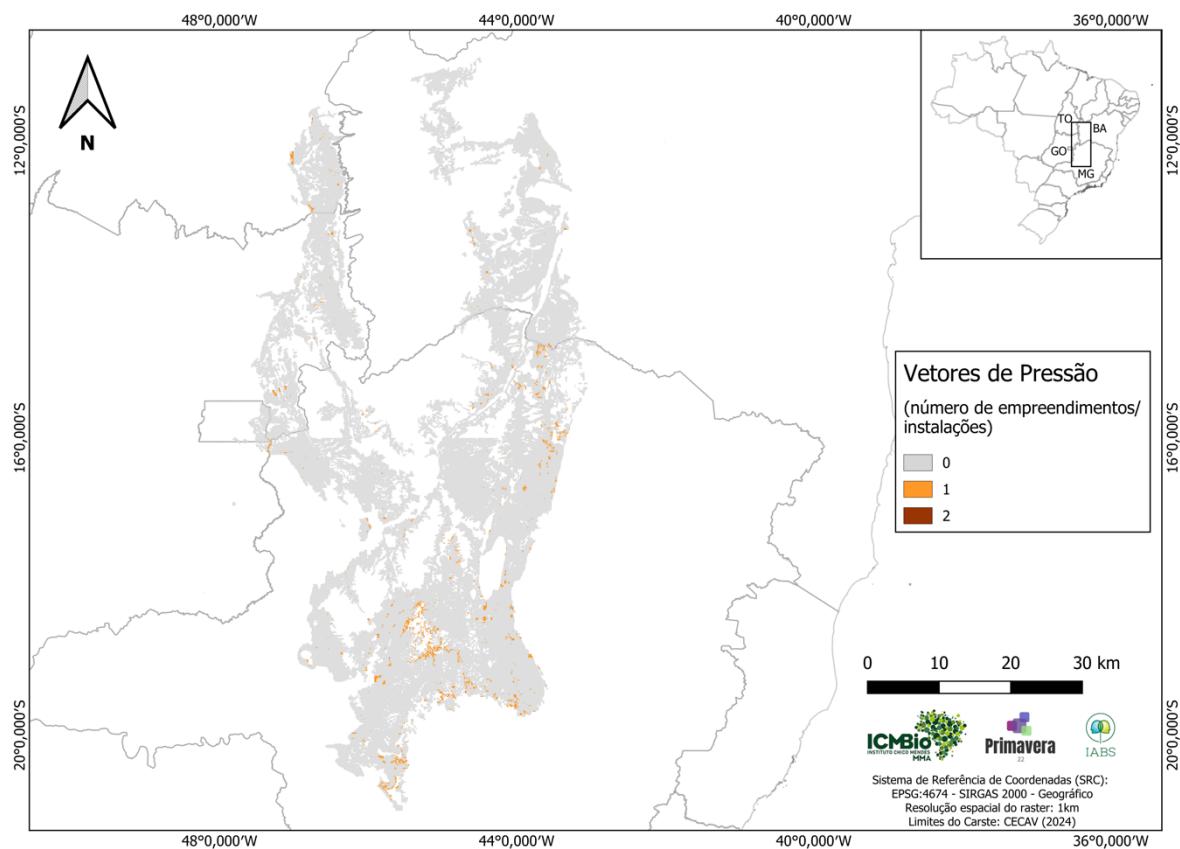


Figura 19. Distribuição dos principais vetores de pressão na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central. Foram considerados como vetores de pressão empreendimentos minerários (em fase de concessão ou já estabelecidos) e infraestruturas de projetos energéticos (eólicos, termelétricos, hidrelétricos e barramentos) e de transporte (e.g., aeroportos).

Vulnerabilidade de solos

Solos vulneráveis à erosão hídrica, especialmente aqueles identificados pelo mapa de vulnerabilidade, estão sujeitos a processos erosivos intensificados pela suscetibilidade do solo e pela exposição aos fatores causadores da erosão, como o uso inadequado e a redução da cobertura do solo. Desse modo, a restauração nessas áreas pode reduzir significativamente a perda de solo e melhorar a fertilidade, contribuindo para a estabilização do solo, a melhoria da qualidade da água e a recuperação da vegetação nativa.

Na análise de priorização espacial, o indicador de vulnerabilidade de solos foi representado pelo mapa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica no Brasil (Embrapa, 2019,

<https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/?q=vulnerabilidade%20dos%20solos>), o qual expressa o grau de vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos levando-se em consideração dois fatores principais: a suscetibilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil e o nível de exposição aos processos erosivos em função do uso e cobertura do solo. Este dado foi disponibilizado em formato matricial (*raster*), na resolução de 30 m, e cujos valores representam níveis de vulnerabilidade expressos em cinco classes de intensidade: Muito Baixa (valor 1), Baixa (valor 2), Média (valor 3), Alta (valor 4) e Muito Alta (valor 5). Para as células para sem dados disponíveis foi atribuído o valor 0.

No intuito de padronizar este dado para inclusão na análise de priorização, o dado original obtido na resolução de 30 m foi agregado em células de 1 km², tendo como base o *raster* de referência gerado para a região cárstica, Grupo Bambuí, do Brasil Central. Neste processamento do dado, o valor atribuído às células de 1 km foi definido com base na classe de vulnerabilidade mais abundante na célula, utilizando o critério modal (**Figura 20**).

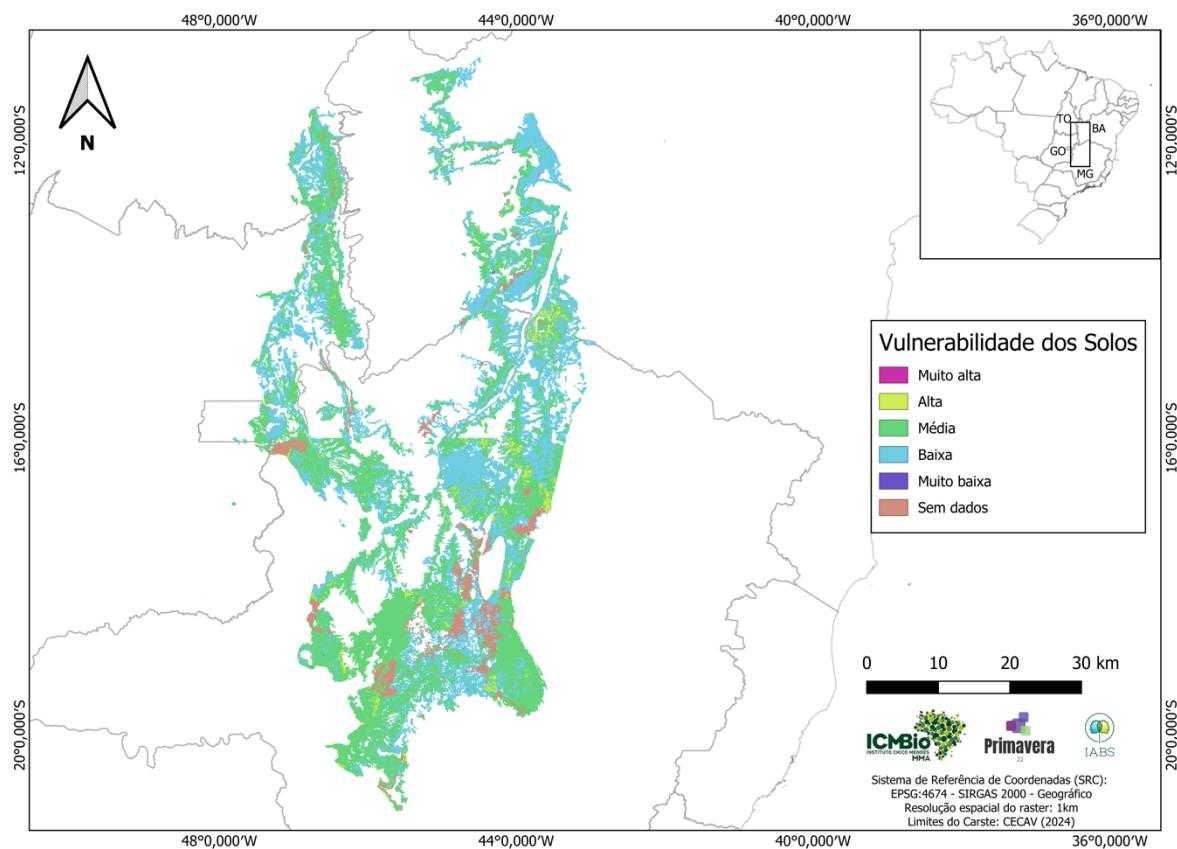


Figura 20. Distribuição espacial dos níveis de vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Importância dos indicadores

Uma etapa importante da análise de priorização espacial é a definição da importância relativa de cada indicador para a análise. **A importância relativa é determinada por meio da atribuição de diferentes pesos considerando a importância do indicador para atingir o objetivo da análise.**

Além disso, características dos indicadores tais como o nível de ameaça de espécies, o total de remanescente de um habitat, dentre outros fatores, também podem ser utilizadas para atribuição de pesos.

A atribuição de pesos, apesar de ser uma escolha um tanto quanto arbitrária, é fundamental para obtenção de uma solução balanceada que reflete os objetivos do planejamento. Os pesos atribuídos aos indicadores

podem ser **positivos**, de modo a favorecer a seleção de determinadas áreas, ou **negativos**, para que certas áreas de alto custo sejam, sempre que possível, desconsideradas como importantes no *ranking* de prioridades.

Uma estratégia para auxiliar a definição dos pesos, principalmente quando há muitos indicadores a serem considerados na análise, é primeiramente ordenar os indicadores de acordo com sua importância para o objetivo em questão e, em um segundo momento, atribuir valores (pesos). Os pesos podem ser atribuídos individualmente a cada indicador individual ou a categorias de indicadores, tal como a categoria “Espeleologia” composta por dois indicadores.

O ordenamento das categorias de indicadores de acordo com sua importância para o atingir o objetivo da análise de priorização espacial foi uma etapa realizada durante a 1^a Oficina PSC. O resultado desse processo foi a criação de dois cenários (i.e., variantes da análise de priorização considerando diferentes pesos), sendo i) um cenário “melhoria de pastagens”, onde o indicador da qualidade de pastagens recebeu um peso alto, independente do seu potencial de regeneração natural; ii) um cenário denominado “restauração ecológica”, no qual busca-se priorizar áreas degradadas (principalmente pastagens) com alto potencial de regeneração natural, além dos demais indicadores. Posteriormente, estes cenários também foram testados com e sem a inclusão do indicador “fogo” (ver seção “Fogo”).

A distribuição dos pesos para as categorias de indicadores é apresentada na **Tabela 2**. Vale destacar que os indicadores dentro de uma mesma categoria (e.g., registros de cavernas e potencial espeleológico na categoria “Espeleologia”) receberam um mesmo peso, isto é, valor um.

Além dos pesos atribuídos aos diferentes indicadores, o peso das espécies (indicador “biodiversidade”) foi ponderado pela sua categoria de ameaça:

CR - Criticamente em Perigo = 2; EN - Em Perigo = 1.5; VU - Vulnerável = 1.25, Não Ameaçada = 1. Deste modo, espécies Criticamente em Perigo foram consideradas 25 e 50% mais importantes do que espécies Em Perigo e Vulneráveis, respectivamente. Da mesma forma, espécies em perigo foram consideradas como sendo 25% mais importantes do que espécies vulneráveis.

Tabela 2. Importância (peso) dos indicadores selecionados nos diferentes cenários de priorização espacial que visa apoiar a elaboração do Plano Integrado de Melhoria do Uso do Solo para Conservação do Patrimônio Espeleológico e da Sociobiodiversidade na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central. A determinação dos pesos dos indicadores foi realizada de forma participativa e validada por especialistas durante e após a 1ª Oficina de PSC.

Categoria de indicadores	Cenário	
	Melhoria de pastagens	Restauração
Áreas prioritárias para restauração	3	3
Biodiversidade	3	3
Espeleologia	4	4
Fitofisionomias	3	3
Fogo	2	2
Oportunidades	1	1
Potencial agrícola	2	2
Potencial de regeneração	0	4
Qualidade de pastagens	4	3
Recursos Hídricos	3	3
Serviços ecossistêmicos	3	3
Vetores de Pressão	-1	-1
Vulnerabilidade de solos	3	3

Ferramenta utilizada para priorização espacial

O programa **Zonation** (versão 5, Moilanen et al. 2009; disponível em <https://zonationteam.github.io/Zonation5/>) foi utilizado para identificação de áreas prioritárias no âmbito do projeto. A análise de priorização no Zonation se inicia com a divisão da área de interesse (denominada “paisagem”) em unidades de planejamento, nesse caso, células de 1 km². A importância relativa de cada célula para o objetivo do planejamento é calculada com base na regra de remoção de células.

De forma geral, a seleção de áreas prioritárias é realizada por meio da remoção de hierárquica e interativa de **unidades de planejamento, segundo a qual unidades de planeamento com menor contribuição relativa para conservação ou restauração da paisagem são removidas primeiro**. A análise termina quando todas as unidades de planejamento são removidas. Ao final, é gerado um ranking de áreas prioritárias que varia de zero a um, isto é, áreas menos a mais importantes, respectivamente.

Regras de remoção de unidades de planejamento

Na prática, o ranqueamento das unidades de planejamento e o consequente mapeamento das áreas prioritárias é feito com base na escolha do algoritmo que determina como as unidades de planejamento serão removidas na análise. Duas regras de remoção principais estão

disponíveis no Zonation: função de benefício aditivo (Additive Benefit Function, ABF) e zoneamento por área núcleo (Core Area Zonation, CAZ)¹.

Em linhas gerais, a regra de remoção CAZ atribui maior importância (ou maior valor de conservação) às unidades de planejamento contendo indicadores que seriam mais impactados com a remoção destas áreas. A regra de remoção ABF, por sua vez, busca favorecer células onde haja uma maior representação média dos indicadores definidos na análise, mesmo que isso implique em reduzir a representação individual de alguns indicadores no conjunto de áreas prioritárias. Assim, o ABF tem sido utilizado para identificar um conjunto de áreas prioritárias que contenham uma maior diversidade de indicadores, além de evitar, quando for o caso, os custos associados. Esta regra de remoção foi utilizada nas análises de priorização espacial na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central.

Recortes de prioridades

Para facilitar a tomada de decisão, os resultados da priorização espacial são apresentados em recortes da região, representando diferentes níveis de prioridade para do projeto.

O principal resultado da análise de priorização espacial é um mapa de áreas prioritárias, apresentado em conjuntos de cores para facilitar a sua interpretação. Assim, as áreas com prioridade extremamente alta (EA) são mostradas em cores mais fortes, seguido pelas áreas de prioridade muito alta

¹ No Zonation v.5 são apresentadas variantes do algoritmo CAZ, dentre as quais destacamos aqui a CAZMAX

(MA), alta (A) e relevante (R). A prioridade das demais áreas não é apresentada (cinza).

Cada conjunto de prioridade ocupa uma determinada porção da área do território. As áreas de prioridade EA ocupam 5% da área. Os demais recortes de prioridades são aninhados, isto é, as áreas de prioridade MA ocupam 10% da área e já incluem áreas de prioridade EA. As áreas de prioridade MA ocupam 20% do território, e as áreas de prioridade relevante 30%.

Além dos mapas, os principais resultados da análise podem ser apresentados na forma de tabelas e gráficos. Em ambos, por exemplo, é possível avaliar o quanto da distribuição espacial dos indicadores está representada em cada conjunto de áreas prioritárias.

É importante destacar que a definição dos recortes de prioridades (por exemplo, 5%, 10% ou 20% da paisagem) e de suas respectivas categorias (por exemplo, 5% = Extremamente alto) pode variar entre diferentes exercícios de planejamento. No entanto, seu propósito principal deve ser facilitar a tomada de decisão, proporcionando uma visualização clara e auxiliando na seleção das áreas prioritárias.

Indicadores utilizados a posterior

A fim de melhor orientar a tomada de decisão quanto ao direcionamento das ações a serem implementadas no território, os resultados da priorização também foram resumidos e mapeados em uma escala mais ampla, neste caso, na escala de ottobacias hidrográficas, municípios e unidades de conservação.

A delimitação das ottobacias hidrográficas foi obtida a partir da base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). A escolha desse recorte se justifica pela importância das bacias não apenas como unidades de gestão

dos recursos hídricos, mas também pela sua relação direta com a dinâmica dos ambientes cársticos. Optou-se pelo nível 6 da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) – o nível de maior detalhamento espacial –, permitindo uma identificação mais precisa e assertiva das regiões prioritárias dentro da área de estudo no Carste do Brasil Central.

Os dados sobre os limites municipais e das unidades de conservação foram extraídos das bases do IBGE e do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), por meio do pacote R “geobr”. Esses recortes foram utilizados para identificar quais municípios e unidades de conservação apresentam maior concentração de áreas prioritárias para restauração e manejo sustentável.

Dado que a priorização espacial foi originalmente conduzida em uma resolução de 1 km², foi necessário um processo de agregação estatística para resumir os valores de prioridade das células dentro de cada unidade espacial maior (ottobacias, municípios ou unidades de conservação). Para isso, foram testadas diferentes métricas estatísticas, como média, mediana, moda e soma. No entanto, o percentil 70 demonstrou ser a métrica mais adequada para refletir a concentração de áreas prioritárias dentro de um polígono.

Na prática, para cada unidade espacial analisada, a função *extract* do pacote R *terra* foi utilizada para identificar todas as células do *raster* de áreas prioritárias contidas no polígono. Em seguida, foi calculado o percentil 70 dos valores dessas células, ou seja, o valor abaixo do qual se encontram 70% das células e acima do qual estão os 30% mais prioritários. Essa abordagem reduz o impacto de valores extremos (como células isoladas de alta prioridade), garantindo que áreas com um conjunto significativo de células prioritárias sejam melhor representadas no ranqueamento final. Assim, ottobacias, municípios ou unidades de conservação que concentram diversas células de

alta prioridade continuam sendo destacados, enquanto áreas com apenas um ou poucos pixels de alta prioridade isolados não distorcem a análise.

Após o ranqueamento, foram aplicados os mesmos critérios de classificação utilizados para categorizar as células prioritárias (ver seção “Recortes de Prioridades”) para definir os diferentes níveis de prioridade das bacias, municípios e unidades de conservação.

Resultados

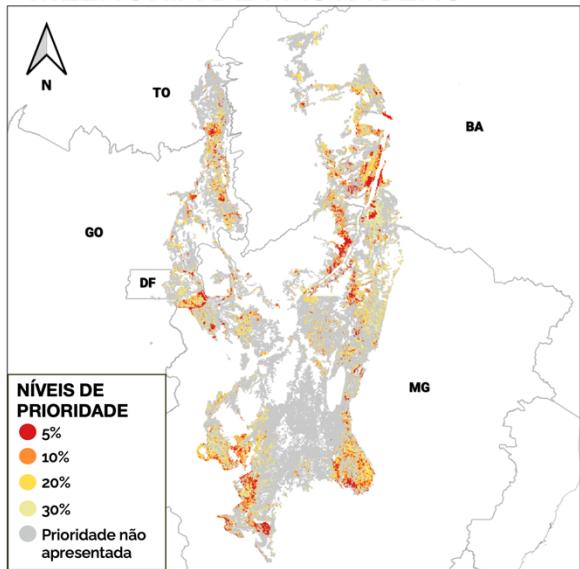
Mapas de áreas prioritárias

Os mapas das áreas prioritárias identificadas em cada um dos quatro cenários de priorização são apresentados nas **Figuras 22-23**. Nestes mapas, as áreas prioritárias foram classificadas em ordem decrescente de prioridade: 1) EA; 2) MA; 3) A e 4) R. Tais áreas cobrem aproximadamente 30% do território.

Independente do cenário, as áreas prioritárias concentram-se primariamente nas porções nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste território, devido sobretudo à alta concentração de cavernas (e.g., dolinas), pastagens degradadas e, no cenário “restauração ecológica” ao alto potencial de regeneração natural dessas regiões (**Figura 22-23**).

Ao comparar a distribuição espacial das áreas prioritárias, é possível notar diferenças mais significativas quando o indicador de foco é adicionado na análise. A adição desse indicador destaca um conjunto maior de áreas de maior prioridade – principalmente dos recortes EA e MA – no noroeste da região (**Figura 22-23**).

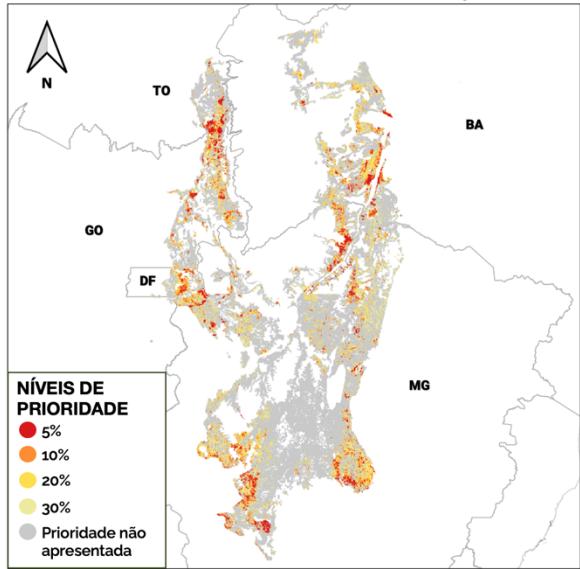
MELHORIA DE PASTAGENS



CATEGORIA

	17	30	51	63
Biodiversidade Habitat de 187 espécies de troglóbios	17	30	51	63
Espeleologia Registros de cavernas e potencial espeleológico	48	54	62	67
Fitofisionomia Distribuição histórica de mata seca	9	17	33	47
Fogo Frequência de queimadas	0	0	0	0
Oportunidades Distância a ferrovias, rodovias e hidrovias	5	10	20	30
Potencial agrícola Potencial do solo para agricultura	5	10	20	30
Potencial de regeneração Potencial de regeneração natural	6	13	26	38
Degradação de pastagens Níveis de degradação de pastagens	13	24	45	64
Restauração Áreas prioritárias para restauração	7	14	26	37
Serviços ecosistêmicos Estoque de carbono orgânico abaixo do solo	5	10	20	30
Social IVS, povos indígenas, quilombolas e assentamentos	22	36	55	64
Vetores de pressão Instalações de energia, transporte e mineração	5	5	5	5
Vulnerabilidade de Solos Vulnerabilidade de solos à erosão hídrica	6	11	22	33
Recursos hídricos Escoamento subterrâneo (provisão hídrica)	6	12	23	34

MELHORIA DE PASTAGENS | FOGO

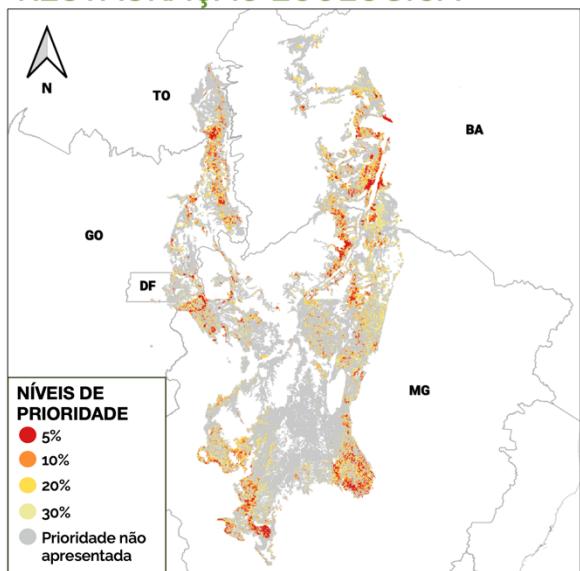


CATEGORIA

	16	29	50	62
Biodiversidade Habitat de 187 espécies de troglóbios	16	29	50	62
Espeleologia Registros de cavernas e potencial espeleológico	48	54	61	68
Fitofisionomia Distribuição histórica de mata seca	8	16	31	46
Fogo Frequência de queimadas	16	24	34	44
Oportunidades Distância a ferrovias, rodovias e hidrovias	5	10	20	30
Potencial agrícola Potencial do solo para agricultura	5	10	20	31
Potencial de regeneração Potencial de regeneração natural	6	12	25	37
Degradação de pastagens Níveis de degradação de pastagens	12	22	42	60
Restauração Áreas prioritárias para restauração	7	14	26	37
Serviços ecosistêmicos Estoque de carbono orgânico abaixo do solo	5	10	20	31
Social IVS, povos indígenas, quilombolas e assentamentos	21	36	55	64
Vetores de pressão Instalações de energia, transporte e mineração	5	5	5	5
Vulnerabilidade de Solos Vulnerabilidade de solos à erosão hídrica	6	11	22	33
Recursos hídricos Escoamento subterrâneo (provisão hídrica)	6	12	23	25

Figura 22. Áreas prioritárias para implementação do projeto visando a implementação de ações com enfoque na **melhoria de pastagens** em áreas cárticas do Grupo Bambuí, no Brasil Central. O mapeamento das áreas é apresentado em diferentes recortes de prioridade: Extremamente Alta, cobrindo cerca de 5% da área da área; Muito Alta (10%); Alta (20%) e Relevante (30%). As prioridades são aninhadas e o nível de prioridade das demais áreas não é apresentado nestes recordes (região em cinza).

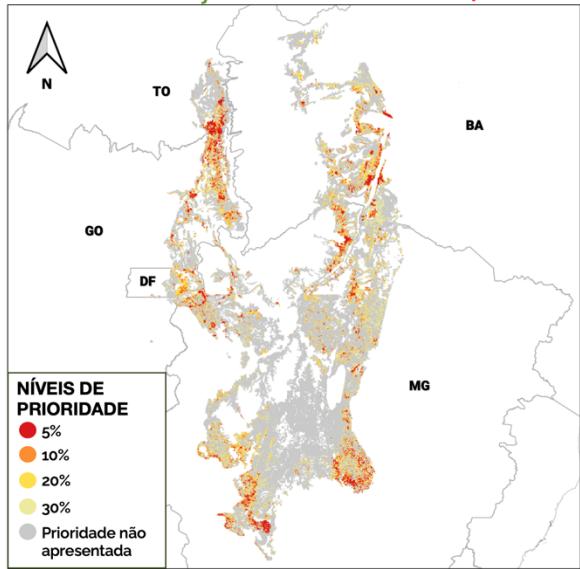
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA



CATEGORIA

	16	28	48	61
Biodiversidade Habitat de 187 espécies de troglóbios	16	28	48	61
Espeleologia Registros de cavernas e potencial espeleológico	47	53	61	67
Fitofisionomia Distribuição histórica de mata seca	8	16	31	45
Fogo Frequência de queimadas	0	0	0	0
Oportunidades Distância a ferrovias, rodovias e hidrovias	5	10	20	30
Potencial agrícola Potencial do solo para agricultura	5	10	21	31
Potencial de regeneração Potencial de regeneração natural	11	21	38	54
Degradação de pastagens Níveis de degradação de pastagens	12	23	44	61
Restauração Áreas prioritárias para restauração	7	14	25	36
Serviços ecosistêmicos Estoque de carbono orgânico abaixo do solo	5	10	20	30
Social IVS, povos indígenas, quilombolas e assentamentos	21	34	52	63
Vetores de pressão Instalações de energia, transporte e mineração	5	5	5	5
Vulnerabilidade de Solos Vulnerabilidade de solos à erosão hidrálica	6	11	22	33
Recursos hídricos Escoamento subterrâneo (provisão hídrica)	6	11	21	32

RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA | FOGO



CATEGORIA

	16	28	48	60
Biodiversidade Habitat de 187 espécies de troglóbios	16	28	48	60
Espeleologia Registros de cavernas e potencial espeleológico	47	53	61	67
Fitofisionomia Distribuição histórica de mata seca	8	16	31	44
Fogo Frequência de queimadas	15	23	34	42
Oportunidades Distância a ferrovias, rodovias e hidrovias	5	10	20	30
Potencial agrícola Potencial do solo para agricultura	5	10	21	31
Potencial de regeneração Potencial de regeneração natural	11	20	37	53
Degradação de pastagens Níveis de degradação de pastagens	11	21	41	58
Restauração Áreas prioritárias para restauração	7	14	26	37
Serviços ecosistêmicos Estoque de carbono orgânico abaixo do solo	5	10	20	30
Social IVS, povos indígenas, quilombolas e assentamentos	21	33	53	64
Vetores de pressão Instalações de energia, transporte e mineração	5	5	5	5
Vulnerabilidade de Solos Vulnerabilidade de solos à erosão hidrálica	6	11	22	33
Recursos hídricos Escoamento subterrâneo (provisão hídrica)	6	11	21	33

Figura 23. Áreas prioritárias para implementação do projeto visando a implementação de ações de **restauração em áreas de pastagens degradadas** em áreas cársticas do Grupo Bambuí, no Brasil Central. O mapeamento das áreas é apresentado em diferentes recortes de prioridade: Extremamente Alta, cobrindo cerca de 5% da área da área; Muito Alta (10%); Alta (20%) e Relevante (30%). As prioridades são aninhadas e o nível de prioridade das demais áreas não é apresentado nestes recordes (região em cinza).

Avaliação do desempenho das análises

Um passo essencial no planejamento espacial é a avaliação do desempenho das soluções geradas, pois ela permite medir o grau de representação dos diferentes indicadores dentro das áreas prioritárias. Essa análise fornece evidências sobre o impacto potencial da implementação das ações do projeto na conservação da região. Os resultados do desempenho, apresentados nas tabelas das **Figuras 22-23**, demonstram a representatividade espacial dos indicadores em cada um dos recortes de prioridade analisados.

Ao comparar os cenários, observa-se uma alta representação dos indicadores de espeleologia, sociais, biodiversidade e degradação de pastagens, independentemente da inclusão do indicador de fogo **Figuras 22-23**. Esse padrão indica que a priorização espacial está alinhada aos objetivos do projeto, garantindo que as áreas selecionadas contemplam aspectos fundamentais para a manejo e restauração da região. Além disso, os cenários “melhoria de pastagens” e “restauração ecológica” apresentaram resultados esperados, refletindo suas abordagens específicas.

Ao comparar as tabelas de desempenho dos cenários “melhoria de pastagens” e “restauração ecológica”, as principais diferenças situam-se, como esperado, na maior representação do indicador de potencial de regeneração natural no cenário “restauração ecológica” **Figura 24**. Esse resultado indica, de forma geral, uma alta concentração de cavernas em áreas de pastagens degradadas com alto potencial de regeneração natural.

Comparação entre os cenários

Carste Brasil Central



CATEGORIA				
Biodiversidade Habitat de 187 espécies de troglóbios	0,8	2,0	2,3	1,5
Espeleologia Registros de cavernas e potencial espeleológico	0,7	0,5	0,2	0
Fitofisionomia Distribuição histórica de mata secas	0,1	0,5	1,1	1,7
Fogo Frequência de queimadas	0	0	0	0
Oportunidades Distância a ferrovias, rodovias e hidrovias	0,1	0,1	0,1	0,2
Potencial agrícola Potencial do solo para agricultura	0	-0,2	-0,4	-0,5
Potencial de regeneração Potencial de regeneração natural	-5,0	-8,5	-12,8	-16,5
Degradação de pastagens Níveis de degradação de pastagens	1,0	1,3	1,4	2,4
Restauração Áreas prioritárias para restauração	0,0	-0,1	0,4	0,4
Serviços ecosistêmicos Estoque de carbono orgânico abaixo do solo	0,1	0,1	0,2	0,4
Social IVS, povos indígenas, quilombolas e assentamentos	1,2	2,5	2,6	1,0
Vetores de pressão Instalações de energia, transporte e mineração	0	0	0	0
Vulnerabilidade de Solos Vulnerabilidade de solos à erosão hídrica	0,1	0,1	0,0	0,3
Recursos hídricos Escoamento subterrâneo (provisão hídrica)	0,3	0,6	1,3	2,5

Figura 24. Comparação da representação dos indicadores nos diferentes recortes de prioridades (colunas). Valores positivos indicam maior representação dos indicadores no cenário de "melhoria de pastagens", enquanto valores negativos indicam maior representação no cenário de "restauração ecológica".

Outro aspecto relevante é a presença de compensações (trade-offs) entre indicadores. Por exemplo, no cenário "melhoria de pastagens", a inclusão do indicador de fogo resultou em uma leve redução na representação de pastagens dentro das áreas prioritárias (**Figura 25**). Isso sugere que as queimadas ocorrem com maior frequência em áreas de vegetação nativa ou em usos do solo distintos das pastagens, influenciando a distribuição espacial das prioridades.

Comparação entre os cenários

Carste Brasil Central



CATEGORIA				
Biodiversidade Habitat de 187 espécies de troglóbios	0,2	0,9	0,8	0,3
Espeleologia Registros de cavernas e potencial espeleológico	-0,3	-0,1	0,1	0,1
Fitofisionomia Distribuição histórica de mata seca	0,2	0,8	1,1	1,4
Fogo Frequência de queimadas	-16,2	-24	-34,4	-43,6
Oportunidades Distância a ferrovias, rodovias e hidrovias	0,2	0,3	0,3	0,4
Potencial agrícola Potencial do solo para agricultura	0,2	0,1	0,2	0,4
Potencial de regeneração Potencial de regeneração natural	0,3	0,7	1	1,1
Degradação de pastagens Níveis de degradação de pastagens	1,2	1,8	3,1	3,2
Restauração Áreas prioritárias para restauração	0	-0,3	-0,6	-0,8
Serviços ecosistêmicos Estoque de carbono orgânico abaixo do solo	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
Social IVS, povos indígenas, quilombolas e assentamentos	0,8	0,1	-0,8	0,3
Vetores de pressão Instalações de energia, transporte e mineração	0	0	0	0
Vulnerabilidade de Solos Vulnerabilidade de solos à erosão hídrica	0,1	0,2	0,1	0,2
Recursos hídricos Escoamento subterrâneo (provisão hídrica)	0,2	0	-0,4	-0,4

Figura 25. Comparação da representação dos indicadores no cenário de "melhoria de pastagens", com e sem a inclusão do indicador de fogo. Valores positivos indicam maior representação dos indicadores no cenário sem esse indicador, enquanto valores negativos indicam maior representação no cenário com sua inclusão.

Também é importante ressaltar que as tabelas de desempenho nas **Figuras 22-23** apresentam a média de representação das categorias de indicadores. Entretanto, dentro de uma mesma categoria, há variações significativas entre os indicadores individuais. No cenário "restauração ecológica" (com inclusão do indicador de fogo), por exemplo, a categoria "espeleologia" apresenta uma representação média de 47% nas áreas prioritárias EA. No entanto, ao analisar os indicadores individualmente, percebe-se uma maior representatividade dos "registros de cavernas" (89%) em comparação ao "potencial espeleológico" (6%). Da mesma forma, na categoria "social", há uma maior representação do indicador "localização de povos indígenas, quilombolas e assentamentos" (88%) em relação ao "índice de vulnerabilidade social" (5%), resultando em uma representação média de 21% para essa categoria.

Resultados por ottobacias, municípios e unidades de conservação

A agregação das áreas prioritárias identificadas ao nível de ottobacias, municípios e unidades de conservação é fundamental para facilitar a integração dos resultados com processos de planejamento e gestão territorial. Esses recortes permitem uma melhor comunicação dos resultados com tomadores de decisão e gestores públicos, além de possibilitar a articulação entre diferentes escalas de governança. Os resultados das ottobacias, municípios e unidades de conservação prioritárias são apresentados nas **Figuras 26-28**.

A distribuição das ottobacias, municípios e unidades de conservação prioritárias segue um mesmo padrão espacial, independente do cenário. É possível observar maior concentração de prioridades nas regiões sul e centro norte da área de estudo.

Dos 238 municípios na região, nove municípios foram considerados com prioridade EA no cenário “melhoria de pastagens” e sete no cenário “restauração ecológica” (**Tabela 3**). Dentre as 58 unidades de conservação da região, 16 unidades foram categorizadas com prioridade EA, das quais 4 são de uso sustentável e 12 de proteção integral, 6 são das esferas federal e 10 estadual (**Tabela 4**).

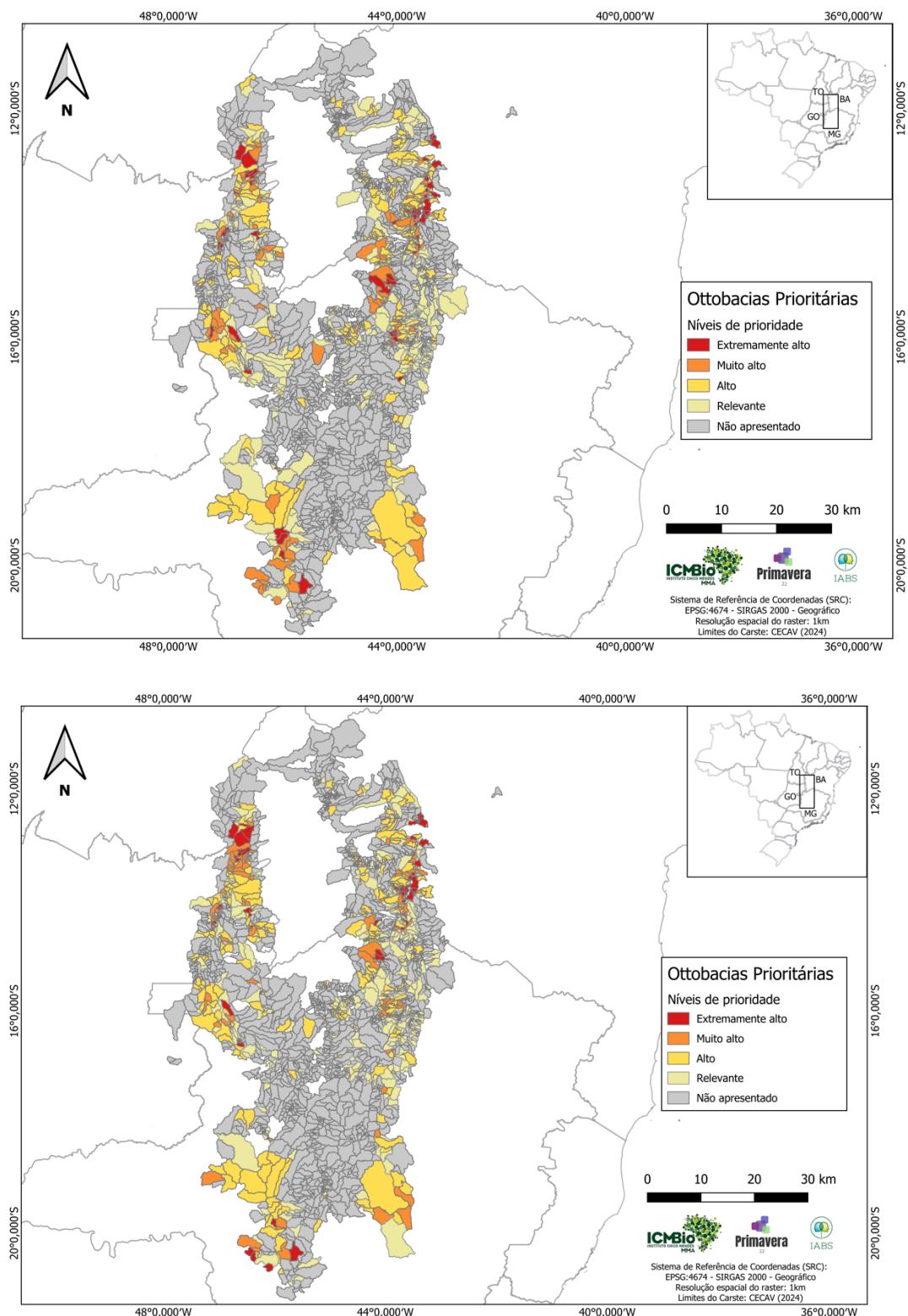


Figura 26. Ottobacias prioritárias nos cenários “melhoria de pastagens” e “restauração ecológica”, respectivamente Ambos os mapas foram criados considerando a inclusão do indicador fogo.

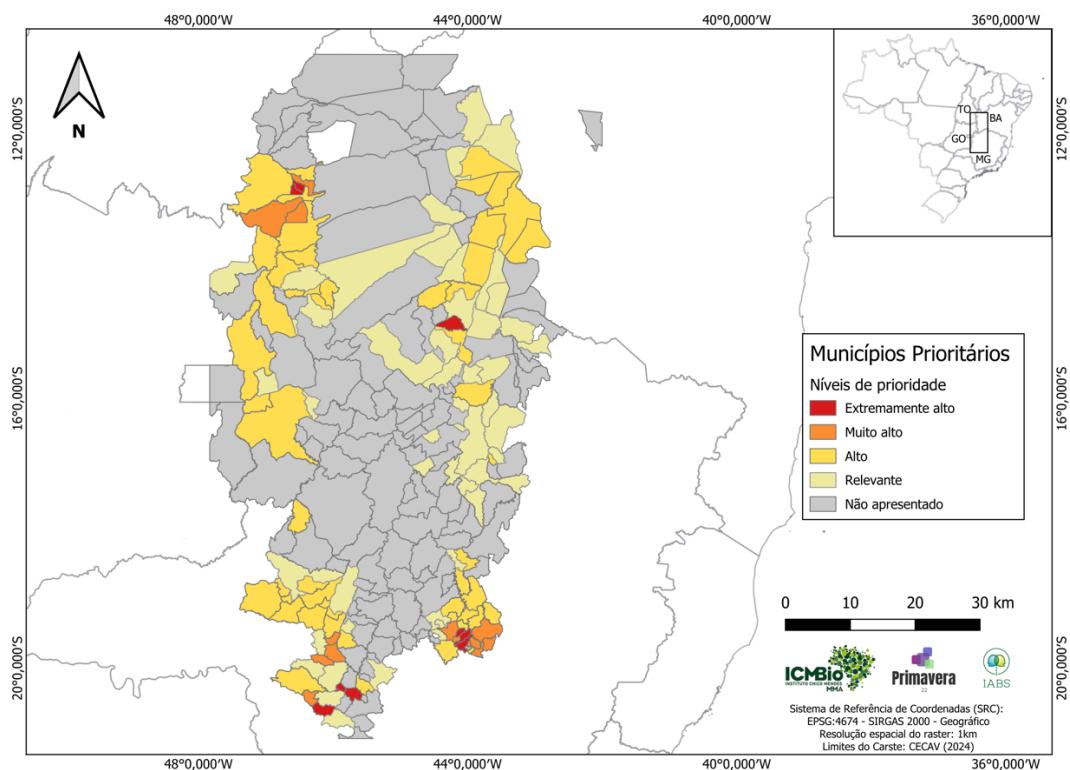
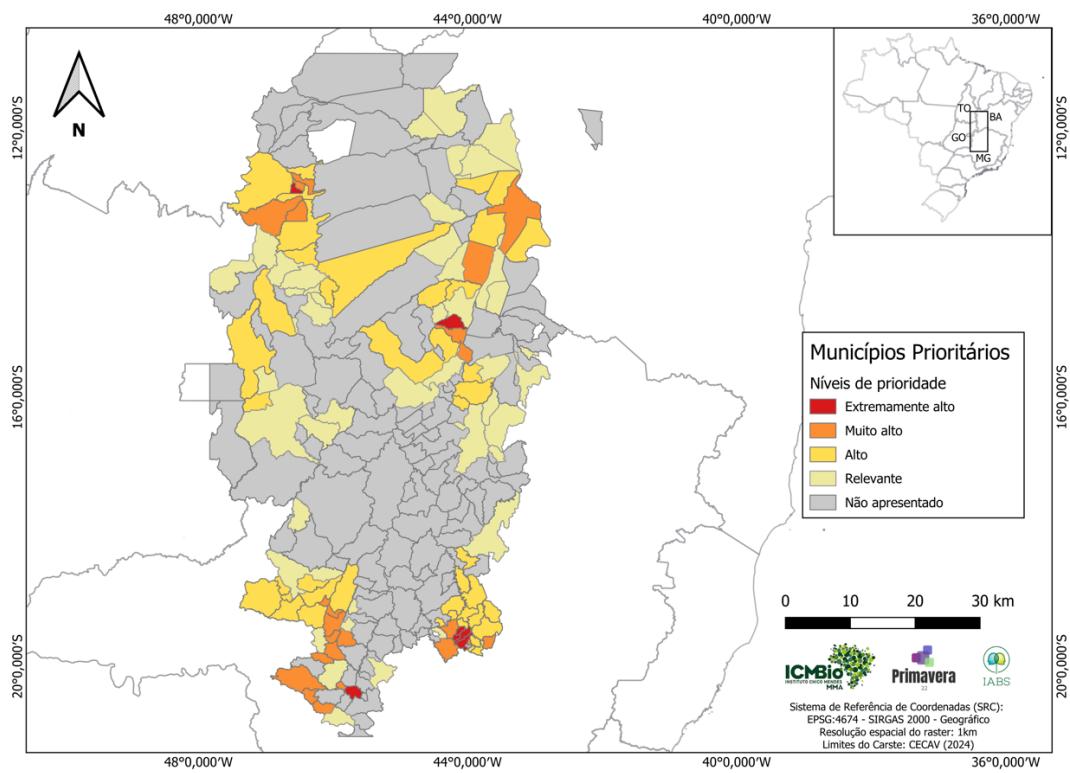


Figura 27. Municípios prioritários nos cenários "melhoria de pastagens" e "restauração ecológica", respectivamente. Ambos os mapas foram criados considerando a inclusão do indicador fogo.

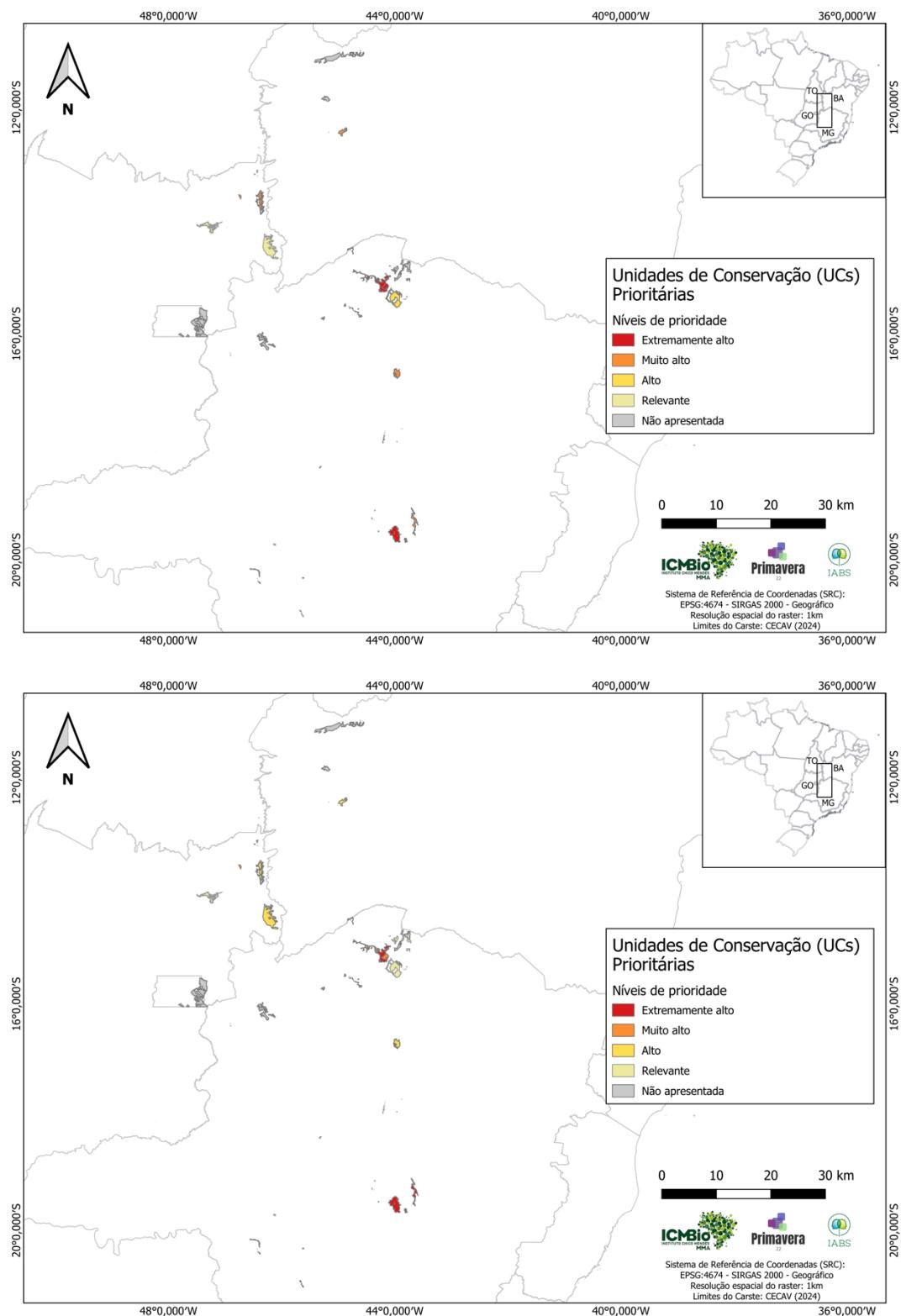


Figura 28. Unidades de conservação prioritárias nos cenários “melhoria de pastagens” e “restauração ecológica”, respectivamente. Ambos os mapas foram criados considerando a inclusão do indicador fogo.

Tabela 3. Dez dos municípios situadas na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central, classificados com prioridade Extremamente Alta ou Muito Alta segundo os cenários “melhoria de pastagens” ou “restauração ecológica”.

Municípios	Estado	Cenário	
		Melhoria de pastagens	Restauração ecológica
Capim Branco	Minas Gerais	Extremamente alto	Muito alto
Capitólio	Minas Gerais	Muito alto	Extremamente alto
Combinado	Tocantins	Muito alto	Extremamente alto
Doresópolis	Minas Gerais	Muito alto	Extremamente alto
Matozinhos	Minas Gerais	Extremamente alto	Extremamente alto
Nova Alegre	Minas Gerais	Extremamente alto	Extremamente alto
Pains	Minas Gerais	Extremamente alto	Extremamente alto
Pedro Leopoldo	Minas Gerais	Extremamente alto	Extremamente alto
Prudente de Moraes	Minas Gerais	Extremamente alto	Extremamente alto
São João das Missões	Minas Gerais	Extremamente alto	Extremamente alto

Tabela 4. Unidades de conservação na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central, classificadas com prioridade Extremamente alta.

Unidade de Conservação	Categoria	Esfera
Área De Proteção Ambiental Carste Da Lagoa Santa	Uso sustentável	Federal
Área De Proteção Ambiental Cavernas Do Peruaçu	Uso sustentável	Federal
Monumento Natural Estadual De Santo Antônio	Proteção integral	Estadual
Monumento Natural Estadual Gruta Rei Do Mato	Proteção integral	Estadual
Monumento Natural Estadual Lapa Vermelha	Proteção integral	Estadual
Monumento Natural Estadual Peter Lund	Proteção integral	Estadual
Monumento Natural Estadual Vargem Da Pedra	Proteção integral	Estadual
Monumento Natural Estadual Várzea Da Lapa	Proteção integral	Estadual
Monumento Natural Experiência Da Jaguara	Proteção integral	Estadual

Unidade de Conservação	Categoria	Esfera
Parque Estadual Cerca Grande	Proteção integral	Estadual
Parque Estadual Do Sumidouro	Proteção integral	Estadual
Parque Nacional Cavernas Do Peruaçu	Proteção integral	Federal
Parque Nacional Da Serra Do Cipó	Proteção integral	Federal
Reserva Particular Do Patrimônio Natural Aurora Natura	Uso sustentável	Federal
Reserva Particular Do Patrimônio Natural Capão Das Éguas	Uso sustentável	Estadual

Implicações para tomada de decisão

Por fim, é importante ressaltar que, além da priorização espacial, fatores ambientais, políticos e socioeconômicos no âmbito municipal e setorial podem influenciar tanto as dificuldades quanto as oportunidades para a implementação das ações do projeto. Dessa forma, os mapas gerados devem ser interpretados como um suporte estratégico para a tomada de decisão, devendo ser complementados por discussões com as equipes técnicas e, fundamentalmente, com os diferentes tomadores de decisão e partes interessadas envolvidas no projeto.

Referências

MARGULES, C.; PRESSEY, R. Systematic conservation planning. *Nature*, v. 405, p. 243–253, 2000. <https://doi.org/10.1038/35012251>

AULER, A.; RUBBIOLI, E.; EZIO, B. As Grandes Cavernas do Brasil. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001.

MOILANEN, A.; WILSON, K. A.; POSSINGHAM, H. P. Spatial conservation prioritization: quantitative methods and computational tools. Oxford: Oxford University Press, 2009.

CECAV. Modelo do Potencial Espeleológico no Brasil. Brasília: ICMBio, 2012.

IBGE. Mapa de Vegetação do Brasil - Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021.

SILVA, T. R.; SILVA, T. R.; SANO, E. E.; VIEIRA, D. L. M. Mapping the regeneration potential of native vegetation in cultivated pastures of the Brazilian Cerrado. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, art. 1038, 2023.

<https://doi.org/10.1007/s10661-023-11606-x>

EMBRAPA. Mapa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica no Brasil. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019.

EMBRAPA. Mapa de estoque de carbono no solo do Brasil. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2021.

IPEA. Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2010.

Principais produtos

- Base de dados bruta e processada, esta utilizada no exercício de priorização espacial
- Apresentação (ppt) da metodologia de PSC e dos principais resultados obtidos
- Scripts utilizados nas etapas de pré e pós-processamentos dos dados (indicadores) da análise de priorização espacial
- Principais resultados da priorização espacial, incluindo os resultados do Zonation (1 cen até 4 cen), mapas estáticos dos indicadores e das áreas prioritárias (imagens mapas) e mapas dinâmicos dos resultados de todos os cenários de priorização espacial
- Relatórios desenvolvidos ao longo do projeto de PSC na região cárstica do Grupo Bambuí, no Brasil Central