



PROPOSTA TÉCNICA E FINANCEIRA

METODOLOGIA E DEFINIÇÃO DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NAS BACIAS DO RIO PARANAÍBA, RIO GRANDE, RIO PARAÍBA DO SUL, RIO TIETÊ e RIO PARANÁ (RH1).



Contato: Prof. José Ambrósio Ferreira Neto

DSc. Cientista Social

Universidade Federal de Viçosa

Departamento de Economia Rural

**Viçosa - MG
Julho/2024**

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. IDENTIFICAÇÃO | 3 |
| 2. JUSTIFICATIVA | 3 |
| 3. OBJETIVOS..... | 4 |
| 4. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS AÇÕES..... | 5 |
| 5. METAS/PRODUTOS/RESULTADOS ESPERADOS | 7 |
| 6. PÚBLICO BENEFICIÁRIO | 8 |
| 7. METODOLOGIA | 8 |
| 7.1. DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS DO MEIO FÍSICO: ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL (IVA) E ÁREA DE RECARGA HÍDRICA..... | 8 |
| 7.1.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA..... | 9 |
| 7.1.2. DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS DO MEIO FÍSICO: ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL (IVA) E ÁREA DE RECARGA HÍDRICA..... | 10 |
| 7.2. DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS:..... | 10 |
| 7.3. DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS: ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS)..... | 14 |
| 7.3.1. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS A SEREM LEVANTADAS: | 16 |
| 7.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL (IVSA)..... | 18 |
| 7.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO AMBIENTAL..... | 18 |
| 7.6. CAMPANHAS DE CAMPO..... | 19 |
| 8. DEFINIÇÃO DA PRIORIDADE NA REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS..... | 19 |
| 9. CAPACIDADE TÉCNICA E GERENCIAL PARA EXECUÇÃO DO OBJETO. | 21 |
| 10. DETALHAMENTO DOS CUSTOS..... | 21 |
| 11. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO..... | 21 |
| 12. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO e FINANCEIRO | 21 |
| 13. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS METAS/FASE NA REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS EM CADA BACIA..... | 22 |
| 14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 24 |

1. IDENTIFICAÇÃO

Título do Projeto: METODOLOGIA E DEFINIÇÃO DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Bacia Hidrográfica: RIO PARANAÍBA, RIO GRANDE, RIO PARAÍBA DO SUL, RIO TIETÊ e RIO PARANÁ (RH1)

2. JUSTIFICATIVA

O histórico de degradação no âmbito das bacias hidrográficas está diretamente relacionado ao crescimento econômico desordenado ocorrido nas últimas décadas, que intensificou a exploração dos sistemas naturais e, associado ao manejo inadequado da água e do solo, tem refletido na própria bacia os efeitos dessa degradação. Os resultados dessa relação sociedade x natureza pode ser compreendidos a partir da piora da qualidade e quantidade da água, que impacta diretamente no bem-estar da população, bem como nas atividades agrícolas e industriais. Além da água, os impactos da degradação de ambientes naturais refletem diretamente na redução da biodiversidade, mesoclima e no microclima local. Neste contexto, as ações de restauração são importantes e necessárias em muitas das regiões antropizada e, também, em áreas que estão em processo de expansão urbana, industrial e/ou agrícola, como ocorre em diferentes regiões brasileiras.

O uso de ferramentas para a avaliação socioambiental criteriosa em bacias hidrográficas permite identificar os fatores que contribuem para a sua degradação, etapa fundamental para a determinação de critérios para definir as áreas prioritárias à restauração e subsidiar a tomada de decisão. Desta forma, a sistematização e análise de variáveis do meio físico e biótico, assim como das características sociais e econômicas, são fundamentais para a definição de áreas prioritárias para a recuperação ambiental, e combinação dessas variáveis podem produzir diferentes alternativas de ação. O planejamento para uma efetiva recuperação ambiental pressupõe, portanto, conhecer os recursos existentes em escala adequada, integrar diversas informações geoespacializadas e propor soluções abrangentes, baseadas em uma inteligência territorial.

No contexto das exigências impostas pela aplicação dos Art. 6º e Art. 8º da Lei 14.182/2021, bem como das atividades previstas no Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas e no Programa Águas Brasileiras, as ações de restauração serão importantes para mitigar os impactos da degradação em diversas regiões. Antevendo que as ações impostas por essa Lei serão individualizadas e independentes, faz-se necessário o diagnóstico do meio físico e socioeconômico, tendo as bacias hidrográficas como unidade de planejamento, de modo a identificar as áreas onde essas ações serão mais eminentemente demandadas para que sua restauração potencialize os ganhos ambientais da implantação dos projetos, elevando os ganhos de ordem ambiental e socioeconômico para as bacias como um todo.

A proposta busca definir as áreas em situação de vulnerabilidade socioambiental que, por sua vez, estão também localizadas em áreas com maior potencial de recarga hídrica, nas bacias dos rios Paranaíba, Grande, Paraíba do Sul, Tietê e Paraná (RH1) todas de grande importância no cenário agropecuário, social e ambiental, com importante papel no provimento de recursos hídricos para geração de energia, consumo humano e irrigação. O potencial de recarga hídrica e as vulnerabilidades socioambientais de uma

área são definidos a partir da análise combinada de diferentes variáveis ambientais, dentre elas, se destacam as características edafoclimáticas, incidências de incêndios, uso e cobertura da terra, e, também, de variáveis de infraestrutura, demográficas e econômicas associadas às formas prévias de organização social e econômica das populações que residem nas bacias. A geoespacialização dessas vulnerabilidades pode auxiliar o planejador a identificar e selecionar as áreas para recomposição da vegetação nativa, por meio das atividades e programas impostos pela Lei 14.182/2021. Esta proposta visa, portanto, selecionar as áreas nas bacias hidrográficas onde as ações de restauração, favoreçam, simultaneamente, a recarga hídrica e a recuperação ambiental, bem como, as comunidades e regiões menos desenvolvidas da bacia, a fim de alcançar resultados mais inclusivos e permanentes.

Tais bacias representam uma grande espinha dorsal de divisores hidrológicos fundamentais ao Brasil, entre as Bacias hidrográficas do São Francisco e Paraná, integram setores mais dinâmicos de penetração da agricultura de base tecnológica, e grande espaço de expansão urbana e industrial.

3. OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é definir áreas prioritárias para a recuperação ambiental, visando a revitalização das bacias hidrográficas dos rios Paranaíba, Grande, Paraíba do Sul, Tietê e Paraná (RH1), consequentemente, promover melhoria na disponibilidade de água e na segurança hídrica para as cidades, reservatórios, geração de energia e atividades agropecuárias. Ao cumprir este objetivo espera-se atingir aos seguintes resultados:

- Metodologia de priorização: composição de modelo que permita a integração de dados em uma análise multicritério, envolvendo a modelagem da vulnerabilidade ambiental, hidrológica, climática e socioeconômica das bacias hidrográficas; e
- Mapeamento de áreas prioritárias para recuperação ambiental das bacias hidrográficas, que se constituam em um instrumento para definição, desenvolvimento e aplicação de ações de revitalização e conservação de água e solo.

Objetivos Específicos

- i. Levantar informações físicas, ambientais, hidrográficas e socioeconômicas em escala adequada para a área de influência das bacias hidrográficas;
- ii. Elaborar camadas com informações geoespacializadas de características físicas, ambientais, hidrográficas, uso do solo, sociais, econômicas e de infraestrutura da bacia, visando a definição de variáveis e critérios de priorização de áreas para revitalização das bacias hidrográficas;
- iii. Gerar Índice de Vulnerabilidade Ambiental para áreas das bacias hidrográficas;
- iv. Gerar Índice de Vulnerabilidade Social para as bacias hidrográficas, tendo como unidade de análise os setores censitários dos municípios selecionados;

- v. Gerar o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental para as bacias hidrográficas;
- vi. Elaborar mapa do potencial de recarga hídrica (Área de Recarga) para as bacias hidrográficas;
- vii. Elaborar mapa final de áreas prioritárias para revitalização das bacias hidrográficas, a partir do cruzamento e sobreposição das camadas de informação geradas em cada etapa;
- viii. Apresentar e discutir o mapa final de áreas prioritárias com stakeholders e partes interessadas, incluindo lideranças regionais e público alvo direto (produtores rurais, usuários da água, prefeituras, empresas de geração de energia, dentre outros.);
- ix. Gerar scripts em linguagem R que possibilitem o processamento de imagens e informações, como descrito no objetivo ii e de forma automatizada, para contribuir na atuação dos diferentes índices utilizados na priorização de áreas para recuperação ambiental;
- x. Envolver equipes, indicadas pelo MIDR, para transferência conhecimento sobre a análise e produção de todo o material contemplado na proposta de modo a contribuir para geração de aprendizado institucional sobre o tema; e
- xi. Produção de mapa de *hotspots* de áreas de alta e muito alta vulnerabilidade social.

4. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS AÇÕES

A área de estudo proposta abrange quarenta unidades hidrográficas do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH - Nível 2 de Sub-bacias¹), que estão distribuídas nas bacias dos rios Grande, Paranaíba, Tietê, Paraíba do Sul e Paraná (RH1) (Figura 01). No total, são 693.846,29 km² (Tabela 1) de área compreendidas em parte de seis Unidades da Federação: Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul e Paraná, mais o Distrito Federal.

¹ Fonte: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/6141f37f-f15d-42e7-8495-ae9ddad0846f> acesso em julho de 2024.

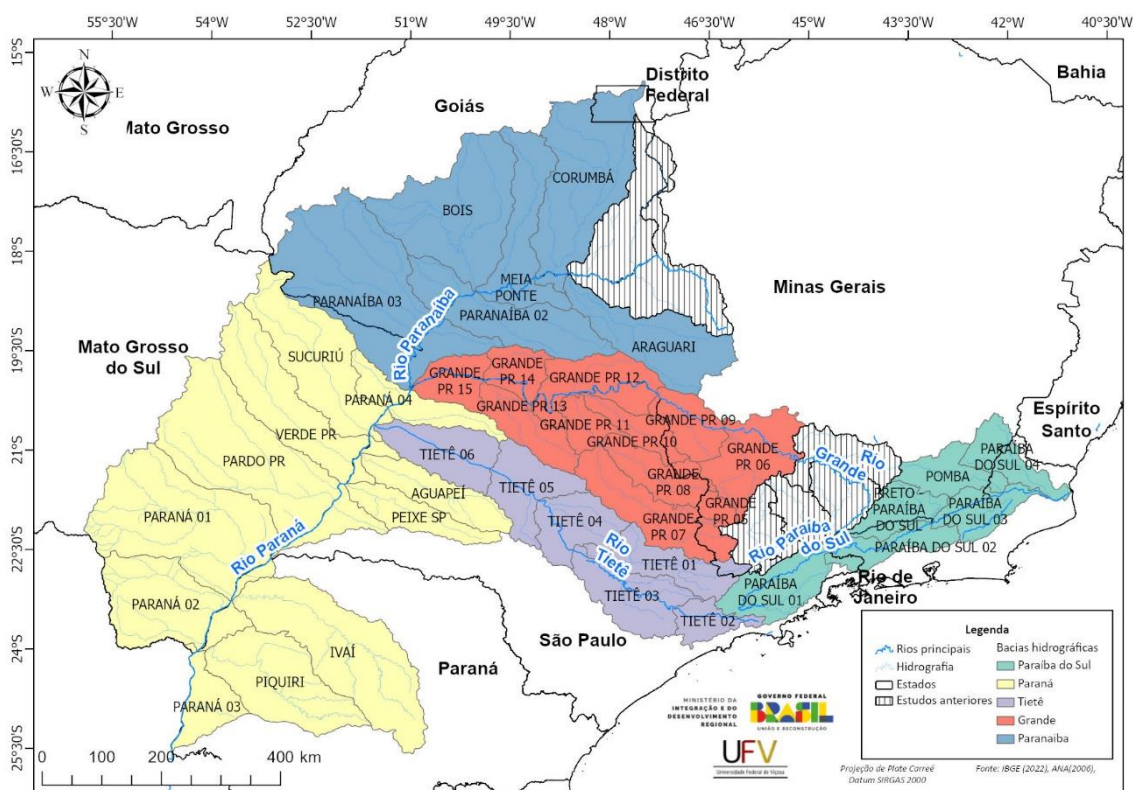


Figura 1. Distribuição espacial da área de estudo proposta, contendo quarenta sub-bacias, distribuídas nas bacias dos rios Grande, Paraíba do Sul, Paranaíba, Tietê e Paraná (RH1).

Tabela 1. Relação das bacias e das sub-bacias contempladas na proposta de estudo, incluindo a área de abrangência, em hectare (ha) e quilômetro quadrado (km²).

| Bacia | Sub-bacias | Area (km ²) | Area (ha) |
|------------------|--------------|-------------------------|----------------------|
| Paranaíba | ARAGUARI | 21.634,28 | 2.163.428,10 |
| | BOIS | 34.695,62 | 3.469.562,17 |
| | CORUMBÁ | 35.580,95 | 3.558.094,91 |
| | MEIA PONTE | 19.038,60 | 1.903.860,07 |
| | PARANAÍBA 02 | 23.000,69 | 2.300.068,91 |
| | PARANAÍBA 03 | 51.403,34 | 5.140.334,33 |
| Total | | 185.353,48 | 18.535.348,49 |
| Bacia | Sub-bacias | Area (km ²) | Area (ha) |
| Grande | GRANDE PR 05 | 2.408,67 | 240.866,51 |
| | GRANDE PR 06 | 16.057,05 | 1.605.705,02 |
| | GRANDE PR 07 | 17.815,47 | 1.781.546,97 |
| | GRANDE PR 08 | 10.295,13 | 1.029.513,24 |
| | GRANDE PR 09 | 9.113,78 | 911.378,03 |
| | GRANDE PR 10 | 6.722,10 | 672.210,49 |
| | GRANDE PR 11 | 5.192,60 | 519.259,91 |
| | GRANDE PR 12 | 15.050,49 | 1.505.049,31 |
| | GRANDE PR 13 | 9.966,11 | 996.611,03 |
| | GRANDE PR 14 | 7.044,53 | 704.452,81 |
| | GRANDE PR 15 | 8.058,02 | 805.802,48 |
| Total | | 107.723,96 | 10.772.395,79 |
| Bacia | Sub-bacias | Area (km ²) | Area (ha) |

| | | | |
|----------------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| Paraíba do Sul | PARAÍBA DO SUL 01 | 12.920,22 | 1.292.021,79 |
| | PARAÍBA DO SUL 02 | 8.691,44 | 869.143,92 |
| | PARAÍBA DO SUL 03 | 8.728,82 | 872.881,72 |
| | PARAÍBA DO SUL 04 | 8.824,97 | 882.496,84 |
| | POMBA | 8.556,30 | 855.630,09 |
| | PRETO - PARAÍBA DO SUL | 8.474,88 | 847.488,10 |
| Total | | 56.196,62 | 5.619.662,46 |
| Bacia | Sub-bacias | Area (km²) | Area (ha) |
| Tietê | TIETÊ 01 | 12.539,37 | 1.253.936,62 |
| | TIETÊ 02 | 5.838,60 | 583.860,34 |
| | TIETÊ 03 | 14.650,07 | 1.465.007,41 |
| | TIETÊ 04 | 11.864,01 | 1.186.401,06 |
| | TIETÊ 05 | 13.091,79 | 1.309.179,14 |
| | TIETÊ 06 | 14.158,75 | 1.415.874,90 |
| Total | | 72.142,59 | 7.214.259,46 |
| Bacia | Sub-bacias | Area (km²) | Area (ha) |
| Paraná (RH1) | AGUAPEÍ | 12.152,45 | 1.215.244,60 |
| | IVAÍ | 36.582,16 | 3.658.215,53 |
| | PARANÁ 01 | 44.635,09 | 4.463.508,68 |
| | PARANÁ 02 | 24.862,97 | 2.486.296,54 |
| | PARANÁ 03 | 8.795,86 | 879.585,69 |
| | PARANÁ 04 | 10.789,46 | 1.078.945,53 |
| | PARDO PR | 46.051,53 | 4.605.152,69 |
| | PEIXE SP | 10.090,57 | 1.009.057,19 |
| | PIQUIRI | 24.299,68 | 2.429.967,84 |
| | SUCURIÚ | 27.452,97 | 2.745.296,93 |
| | VERDE PR | 26.716,93 | 2.671.693,07 |
| Total | | 272.429,64 | 27.242.964,31 |
| Área total a ser estudada | | 693.846,29 | 69.384.630,51 |

5. METAS/PRODUTOS/RESULTADOS ESPERADOS

Meta 1. Desenvolvimento e aplicação de metodologia de priorização de áreas para restauração: composição de modelo que permita a integração de dados para análise multicritério abrangendo a modelagem da vulnerabilidade ambiental, hidrológica, climática e socioeconômica das 5 Bacias Hidrográficas contempladas pela proposta;

Meta 2. Mapeamento das áreas prioritárias para restauração das bacias hidrográficas, de modo a constituir instrumento para definição, desenvolvimento e aplicação de ações de revitalização e conservação de água e solo;

Meta 3. Transferência de conhecimentos sobre a metodologia delineada contribuindo para formação de massa crítica sobre o tema junto à equipe indicada pelo Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR).

| META | PRODUTO | RESULTADO |
|------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1 | Relatórios e mapas | IVS, IVA, IVSA e áreas de recarga hídrica |
| 2 | Relatórios e mapas | Definição de áreas prioritárias para recuperação ambiental |
| 3 | Scripts em linguagem R, contendo a sequência das etapas de processamento | Formação de pessoal |

6. PÚBLICO BENEFICIÁRIO

População residente nas áreas de influência direta e indireta das bacias hidrográficas analisadas e todos os usuários do sistema elétrico nacional.

7. METODOLOGIA

7.1. DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS DO MEIO FÍSICO: ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL (IVA) E ÁREA DE RECARGA HÍDRICA

O diagnóstico do meio físico proporcionará uma visão abrangente e detalhada dos aspectos ambientais das bacias hidrográficas selecionadas para o estudo, permitindo a determinação de locais para a alocação de práticas de manejo, conservação e restauração dos ambientes, com priorização na preservação dos recursos hídricos.

Neste estudo, a dimensão ambiental é caracterizada sob dois grandes grupos de variáveis: as áreas de recarga hídrica e o índice de vulnerabilidade ambiental (IVA). A primeira fornece informações da localização de locais com maior potencial de recarga de águas subterrâneas, utilizando parâmetros como a posição no relevo, as características do substrato (solo e geologia) e dados de entrada e saída de água do sistema.

A outra variável, o IVA, envolve a avaliação do grau de susceptibilidade de um ambiente aos efeitos negativos decorrentes de eventos ou fenômenos específicos, utilizando parâmetros relacionados à capacidade e intensidade do uso do solo, e a sua fragilidade, aos aspectos sobre a segurança hídrica e de agentes de degradação, como o fogo. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma resumido da metodologia e nos itens a seguir serão detalhadas cada uma das variáveis ambientais propostas, bem como a base de dados utilizada para sua obtenção.

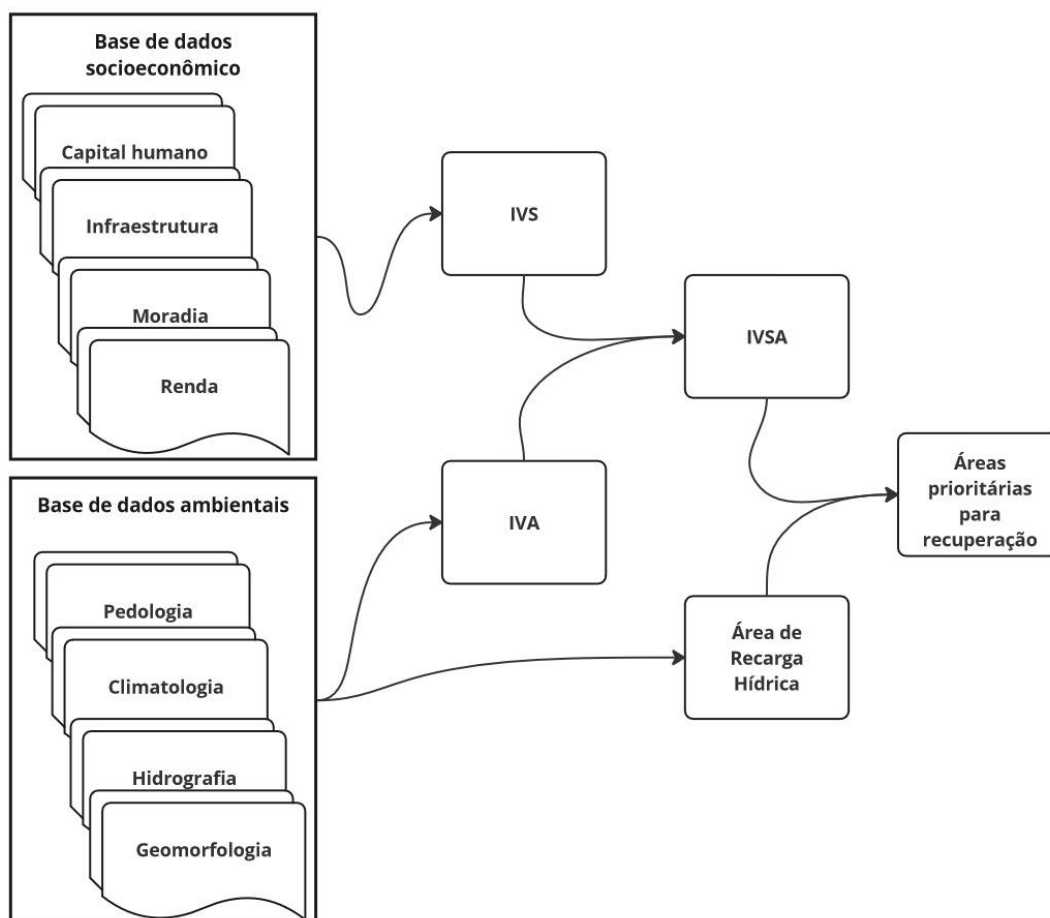


Figura 2. Fluxograma sintetizado da metodologia priorização de áreas para recuperação ambiental nas bacias hidrográficas.

7.1.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA

As áreas de recarga hídrica podem ser definidas como áreas do terreno sobre as quais a precipitação na forma de chuva tem maior probabilidade infiltrar no solo e abastecer o lençol freático (FREEZY e CHERRY, 1979). A manutenção da vegetação e o manejo e conservação do solo em áreas com elevado potencial de recarga do sistema subterrâneo são cruciais para a preservação dos recursos hídricos. Essas práticas favorecem a percolação de água no subsolo, garantindo um fluxo mais estável para os corpos de água superficiais, especialmente na época de seca (VASCONCELOS et al., 2013). A compreensão do processo de recarga do aquífero é um passo importante para integrar a gestão do uso da terra com a dos recursos hídricos e será essencial para a priorização de áreas para a recomposição da vegetação nativa.

Neste estudo será replicada uma metodologia desenvolvida pela própria equipe de trabalho para mapear e classificar locais adequados para recarga de aquíferos utilizando análise multicritério (AHP) e sistema de informações geográficas (SIG). Considerando a literatura e as condições locais da região e, com base em pesquisas anteriores, no presente estudo serão utilizados como critérios para definição de áreas de recarga os seguintes parâmetros: a posição no relevo, a declividade do terreno, a pedologia e a hidrogeologia, e, também, o balanço hídrico climatológico (diferença entre precipitação e evapotranspiração).

7.1.2. DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS DO MEIO FÍSICO: ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL (IVA) E ÁREA DE RECARGA HÍDRICA

O termo "vulnerabilidade ambiental" está relacionado ao grau de susceptibilidade de um ambiente (natural ou um tipo particular de ecossistema) aos efeitos negativos decorrentes de um evento ou fenômeno. A avaliação da vulnerabilidade é fundamental para a gestão ambiental em uma bacia hidrográfica, pois permite a identificação de áreas ou recursos em risco e as ameaças impostas pela diminuição ou perda de tais recursos (WANG, LIU e YANG, 2008).

Neste trabalho propõe-se uma metodologia para mapear a vulnerabilidade ambiental nas bacias dos rios Paranaíba, Grande, Paraíba do Sul, Tietê e Paraná (RH1) utilizando análise multicritério e sistema de informações geográficas (SIG). Considerando a literatura e as condições locais das regiões e com base em pesquisas anteriores, propõe-se quatro parâmetros como principais critérios para definição da vulnerabilidade ambiental nas áreas das bacias: adequação do uso do solo, potencial de erosão, queimadas (focos de calor) e segurança hídrica. Essas variáveis podem ser alteradas e outras incluídas em função das características da bacia, das atividades antrópicas exercidas e da disponibilidade de dados existente. Ademais, em função da variabilidade da área de abrangência do estudo, serão propostas estratificações das áreas das bacias, onde as variáveis e seus pesos podem ser alterados em função do agrupamento de regiões com padrões semelhantes.

A importância relativa desses parâmetros, expressa em pesos, será obtida por meio do Processo Analítico Hierárquico (AHP), e os mapas serão multiplicados em ambiente SIG, para a obtenção do mapa final. A descrição das fontes de dados e procedimentos de análise de cada um dos critérios propostos serão detalhados a seguir.

7.2. DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

a. Precipitação

Pelo fato de a precipitação pluvial ser a principal entrada de água no sistema hidrológico, essa informação será utilizada para gerar outras variáveis do trabalho, dentre elas podemos citar: balanço hídrico climatológico e erosividade da chuva. Seu conhecimento é de fundamental importância tanto para a identificação dos locais mais favoráveis ao aproveitamento da água visando a recarga hídrica, quanto para a delimitação dos locais de maior erosão hídrica. Em regiões de clima tropical a erosão hídrica tende a ser mais severa do que em outros tipos de clima, uma vez que, via de regra, nessas áreas ocorrem maiores índices pluviométricos.

A precipitação na área de estudo será obtida por meio da espacialização dos dados das estações hidrometeorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA). Uma análise prévia será realizada para a definição de quais estações serão utilizadas, considerando uma série de no mínimo 30 anos de dados. Uma alternativa adicional, que também será avaliada, é a utilização dos dados do TerraClimate (ABATZOGLOU et al. 2018), disponibilizado pelo Laboratório Climatológico da Universidade de Idaho, com resolução espacial de 4 quilômetros.

b. Evapotranspiração

A evapotranspiração é a principal saída de água do sistema hidrológico, e corresponde a parcela da água que retorna para a atmosfera tanto via evaporação da

superfície do solo quanto pela transpiração das plantas. Por meio do mapa gerado será possível identificar os locais que possuem maior evapotranspiração real, sendo que as áreas com menor evapotranspiração deverão ser priorizadas, visando um melhor aproveitamento da água. A evapotranspiração será utilizada no balanço hídrico climatológico juntamente com a precipitação.

A evapotranspiração na área de estudo será obtida utilizando os dados especializados de evapotranspiração real média anual, obtidos do produto MOD16A2.006 (Running, Mu e Zhao, 2017), disponibilizado pela Agência Espacial dos Estados Unidos da América (NASA), com resolução espacial de 500 m.

c. Hidrografia: levantamento e mapeamento da rede de drenagem

Mapear a rede de drenagem da área de estudo e validá-los em campo será de grande importância para o delineamento das áreas de preservação permanente de cursos d'água, a fim de determinar o estado atual de degradação dessas áreas em função do uso do solo atual identificado. Além disso, o diagnóstico da disponibilidade e demanda dos recursos hídricos da região será importante para identificar locais com maior potencial de conflito, sendo utilizado como informação para priorização de áreas a receber recursos para recuperação ambiental.

A rede de drenagem da área de estudo será obtida por meio do mapeamento realizado pela Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS) (<http://geo.fbds.org.br/>) na escala de 1:25.000. Será também realizado um diagnóstico da segurança hídrica nas bacias através do mapa do Índice de Segurança Hídrica (ISH), cedido pela Agência Nacional de Águas - ANA (<https://pnsh.ana.gov.br/>). O Índice de Segurança Hídrica retrata, com simplicidade e clareza, as diferentes dimensões da segurança hídrica (humana, econômica, ecossistêmica e resiliência), incorporando o conceito de risco aos usos da água.

d. Morfologia: levantamento e mapeamento das feições geomorfológicas e de declividade nas áreas que receberão os serviços ambientais

O formato da encosta (curvatura horizontal) e a declividade são responsáveis pela regulação da velocidade de escoamento superficial durante um evento de precipitação, definindo, assim, as áreas com maior propensão à recarga hídrica (VALERIANO, 2008). As vertentes mais suaves e de maior comprimento possuem maior propensão à infiltração, enquanto as vertentes mais íngremes proporcionam maior velocidade do escoamento superficial tendendo a reduzir a infiltração da água no solo. Portanto, as características morfológicas do terreno serão fundamentais na definição das áreas de recarga.

A altitude, declividade e a curvatura horizontal do terreno serão obtidas através do MDE (Modelo Digital de Elevação) das imagens do radar Shuttle Radar Topography Mission - SRTM com resolução espacial de 30m (<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>).

e. Solos: levantamento e mapeamento da tipologia e das propriedades dos solos

A infiltração da água nos solos é um processo fundamental para a recarga natural de aquíferos e para regulação das vazões da rede de drenagem superficial, sendo influenciada por alguns fatores de ordem natural como profundidade, mineralogia, textura, estrutura, umidade inicial, presença de pedregosidade, porosidade e relevo, que são atributos relacionados ao tipo do solo e sua localização (GASPAR, CAMPOS e

CADAMURO, 2007). Consequentemente, o conhecimento da cobertura pedológica das diferentes regiões em estudo torna-se fundamental para a definição de áreas de recarga e, também, para a identificação de áreas frágeis.

O mapa de solos para a área de estudo será obtido do Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil, desenvolvido por IBGE (2018) na escala de 1:250.000, e atualizado para a última versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, com legenda ajustada em conformidade.

f. Hidrogeologia

A heterogeneidade geológica pode ter um grande efeito no fluxo de água subterrânea regional, podendo afetar a inter-relação entre os sistemas locais e regionais, o padrão superficial das áreas de recarga e descarga e as quantidades de fluxo que são descarregadas através dos sistemas (FREEZE e CHERRY, 1979). Nesse contexto, a hidrogeologia torna-se fundamental, uma vez que a identificação da rocha de origem de um determinado local possibilita determinar quais regiões são mais recomendadas para serem áreas de recarga em uma bacia hidrográfica.

A hidrogeologia da região será obtida dos mapas de unidades geológico-ambientais estaduais, na escala de 1:100.000, fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (<http://geowebapp.cprm.gov.br/ViewerWEB/>).

g. Focos de queimadas

O estudo e avaliação das consequências das queimadas no ambiente são fundamentais para mitigar os impactos sobre a fauna, a flora e, principalmente, sobre os solos e suas propriedades, caracterizando-se como uma fonte de degradação relevante. As queimadas afetam diretamente a qualidade do ar, pela emissão de gases, e a qualidade dos solos, volatizando nutrientes e mineralizando a matéria orgânica, proporcionando perda da fertilidade natural do solo e, consequentemente, comprometendo diretamente o crescimento da vegetação. Portanto, mapear as áreas com maior densidade de focos de queimadas é importante para identificar locais com maior vulnerabilidade ambiental dentro da área de estudo.

Os focos de queimadas na região serão obtidos por meio dos dados de focos de calor nos últimos cinco anos dos satélites AQUA e TERRA, disponibilizados no banco de dados de queimadas do INPE (<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>). Como já observado em outros estudos, a mesma queimada pode ser representada por mais de um foco, que pode ser devido à passagem de satélites diferentes ou duplicidade do mesmo satélite, quando se trata de cicatrizes maiores ou com presença de fumaça por longas áreas com temperatura compatível com a de captação dos sensores. Logo, para amenizar a multiplicidade dos focos serão realizados processamentos de identificação, agrupamento e retirada de informações repetidas. Para avaliar a distribuição espacial das queimadas será utilizado o Índice de Densidade de Kernel (IDK), que permite identificar áreas críticas onde há concentração de focos de calor.

h. Potencial de Erosão

O potencial de erosão consiste na expectativa de perda de solo, não levando em consideração o uso e cobertura da terra, ou seja, corresponde às perdas de solo em áreas sem qualquer cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica (MARTINS et al. 2010; OLIVEIRA et al., 2015). Em relação às áreas de recarga, torna-se necessário que as áreas com elevado potencial de erosão sejam identificadas com a finalidade de

se propor medidas conservacionistas que visem ao aumento da infiltração da água no solo.

A metodologia a ser utilizada nesse trabalho, tem como pressuposto que o potencial de erosão pode auxiliar na gestão ambiental, mais especificamente no diagnóstico das áreas que possuem maior susceptibilidade a erosão, sendo essas áreas prioritárias para restauração, recomposição da cobertura vegetal nativa e/ou implementação de práticas mecânicas conservacionistas. Para sua estimativa são considerados alguns fatores da Equação Universal de Perda de solos (USLE), formulada por Wischmeier e Smith (1978), sendo eles: Erosividade da Chuva (R), Erodibilidade do solo (K) e Fator declividade de comprimento da encosta (LS). Esses fatores serão obtidos utilizando variáveis físicas e climáticas das áreas de estudo, como precipitação, mapa de solos e declividade do terreno.

i. Uso do Solo

O mapeamento do uso e cobertura da terra é importante para o planejamento de ações sobre o território, fornecendo subsídios ao monitoramento ambiental e à preservação da biodiversidade. A elaboração de um mapa de uso e cobertura tem como fundamento a interpretação, análise e registro de informações no que concerne a observação da paisagem em foco. No presente estudo, o mapa de uso e ocupação será fundamental para a análise da conformidade legal das áreas de Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal na escala da paisagem, além da obtenção da adequação do uso do solo, que consiste na comparação entre o uso indicado de uma porção da terra com o uso atual.

O mapa de uso e ocupação do solo na área de estudo será elaborado com imagens Sentinel 2 de resolução de 10 metros (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). A partir das bandas do vermelho e infravermelho, será calculado o índice de vegetação NDVI, que será utilizado juntamente com as bandas do visível e do infravermelho para classificação da imagem, conjuntamente com arquivos referentes ao meio físico, dentre os quais: arquivos de temperatura e precipitação, do modelo digital de elevação e da drenagem numérica. Os usos terão amostras coletadas na imagem de trabalho e, quando necessário, será realizada a consulta em uma imagem de melhor resolução. O método de classificação adotado será o supervisionado, utilizando os softwares ArcGis® 10.7.1 (ESRI, 2019) para coleta de amostras e R (R CORE TEAM, 2017) para a rotina de classificação. O algoritmo utilizado será o Random Forest (BREIMAN, 2001), que pode ser considerado um dos algoritmos de classificação mais usados atualmente para classificação de imagens. Para validação da classificação obtida no mapa de uso e cobertura, será realizada campanha de campo com observação do uso do solo em pontos selecionados da área de estudo para aferição e corroboração dos usos mapeados com os usos reais. De forma alternativa, será avaliada a possibilidade de utilização dos dados de classes de uso e cobertura do MapBiomias (MapBiomias, 2023), produzido com base em imagens Sentinel, com 10 metros de resolução espacial.

j. Adequação do uso da terra

A análise de adequação do uso da terra é utilizada para fins de planejamento conservacionista em uma série de sistemas de classificação das terras e consiste na determinação da intensidade que a terra pode ser utilizada sem que ocorra a redução

da sua capacidade produtiva em decorrência da erosão do solo (LEPSCH et al., 2015; PRUSKI, 2009). Com base nessa análise será possível identificar locais cujos usos estão em acordo ou desacordo com o indicado, sendo que locais cujas intensidades de uso estão acima do indicado contribuem mais intensamente com as externalidades negativas da mudança de uso e cobertura.

A adequação do uso da terra será realizada com base na metodologia de capacidade de uso da terra proposta por Lepsch et al. (2015) e Rio Grande do Sul (1979), e será determinada a partir da sobreposição de critérios relacionados ao solo, relevo e aspectos legais (LEPSCH ET AL., 2015; RIO GRANDE DO SUL, 1979; CALEGARIO ET AL. 2017).

Com relação ao solo, serão utilizados os seguintes fatores na determinação da capacidade de uso: profundidade efetiva, drenagem interna, risco de inundação e fertilidade aparente. Em relação ao relevo, serão considerados dois critérios, a declividade e posição no relevo. A capacidade de uso com base na declividade será determinada a partir de adaptação dos intervalos apresentados por Lepsch et al. (2015), enquanto que em relação à posição do relevo será realizada conforme metodologia apresentada por Calegario et al. (2017), a qual consiste na divisão das elevações do relevo em terços e, a partir da declividade do terço médio, estima-se a capacidade de uso nos terços superiores.

Quanto aos aspectos legais, serão consideradas as limitações de uso em Áreas de Preservação Permanente (APPs) impostas pela Lei de proteção da vegetação nativa (Lei 12.651/2012). Portanto, para as APPs mapeadas serão atribuídas classes de capacidade VIII, visto que são áreas destinadas à cobertura vegetal nativa. A partir da sobreposição de todos os critérios apresentados, pixel a pixel, será obtido o mapa de capacidade de uso da terra para as bacias.

Para realizar a análise de adequação do uso da terra será necessário associar uma classe de intensidade de uso dos solos aos usos e coberturas identificados na área de estudo. Para tal será utilizado o mapa de uso e cobertura e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Dessa maneira, será estimado, indiretamente, a biomassa vegetal que cobre o solo, sendo este um indicativo de proteção do solo contra a energia da precipitação. A partir dos mapas de capacidade e intensidade de uso da bacia será determinado o número de classes excedentes, que representa o quanto o solo está sendo utilizado em relação à sua capacidade.

7.3. DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS: ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS)

Nos estudos de gestão de bacias hidrográficas e na definição de áreas para recuperação ambiental e implantação de projetos de recomposição florestal, tem sido destacada a importância de incorporar as características sociais e econômicas locais. Sua influência sobre a demanda por recursos naturais e nas ações para manutenção e recuperação da qualidade desses é cada vez mais valorizada no desenvolvimento de planos e políticas ambientais.

Portanto, uma abordagem interdisciplinar, que busca valorar tanto as características biofísicas, quanto as socioeconômicas, ao considerar as pessoas como parte importante do ecossistema, possibilita abordar parte da complexidade existente nos territórios, e assim, alcançar resultados mais sustentáveis e duradouros. A utilização de índices de vulnerabilidade na definição de áreas prioritárias para ações de prevenção,

enfrentamento ou mitigação de situações de risco ambiental de comunidades, ou povoamentos, está alicerçada na ampla reflexão conceitual e metodológica sobre o tema da “vulnerabilidade”.

A Vulnerabilidade pode ser entendida como uma condição definida por fatores ou processos físicos, ambientais, sociais ou econômicos que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade, ou sistema a efeitos adversos (LIXIN et al., 2014). Esta sessão se fundamenta a partir do componente social, assim a vulnerabilidade é entendida como a suscetibilidade de grupos sociais ou da sociedade em geral as perdas potenciais, incorporando um conjunto de características e condições preexistentes que tornam as pessoas mais ou menos vulneráveis a impactos (BURTON, 2014; LIMA et al., 2020). Assim, a sua mensuração permite a avaliação das características presentes nessas comunidades identificando aquelas que se encontram socialmente e economicamente desfavorecidas (CHAKRABORTY, 2019).

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), como indicador socioeconômico a ser considerado na priorização das áreas degradadas para recuperação, está balizado em sua expressividade na literatura nacional e internacional. Sendo utilizado como instrumento de análise da capacidade de resiliência de comunidades em grande escala, inclusive daquelas afetadas por eventos extremos, como os desastres ambientais. Assim, os fatores de ordem socioeconômica desempenham um papel fundamental na determinação da vulnerabilidade e da capacidade de recuperação de uma determinada área ou comunidade afetada. O mesmo indicador é entendido, também, como metodologicamente consistente no contexto proposto, por poder ser aplicado em níveis micro, incluindo subdivisões nos municípios.

Neste estudo propõe-se uma metodologia para mapear e classificar a vulnerabilidade social nas bacias dos rios Paranaíba, Grande, Paraíba do Sul, Tietê e Paraná (RH1) juntas abrangem 1.426 municípios e o Distrito Federal, totalizando 146.236 setores censitários.

Considerando a literatura, as condições locais das quatro bacias hidrográficas em estudo e com base em pesquisas anteriores, propõe-se a construção do índice de vulnerabilidade social (IVS), ao nível de setores censitários. As variáveis descritas abaixo (Tabela 2, 3 e 4) e suas respectivas pontuações serão calculadas dentro de três subíndices (grupos): capital humano, constituído de cinco variáveis; infraestrutura de quatro variáveis; renda, de quatro variáveis, para criar variáveis combinadas (Equação 1 e 2), que serão calculadas para produzir o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS).

$$Grupo_i = \sum_{i=1}^n x_i * P_i \quad \text{Equação 1}$$

Em que x_i é o indicador i ; e P_i é o peso atribuído ao indicador i .

$$IVS = \frac{1}{3} \left[\sum_{i=1}^n Grupo_i \right] \quad \text{Equação 2}$$

A importância relativa desses grupos de indicadores será obtida por média aritmética, e os mapas obtidos por meio de ambiente SIG, em que cada um desses subíndices contribuirá para o cálculo final do IVS com o mesmo peso. É importante destacar que as variáveis dos três grupos (A, B e C) terão pesos distintos a serem definidos com base nas características únicas de cada bacia em estudo, na literatura

especializada e pela equipe técnica. Ademais, as variáveis podem ser alteradas e outras incluídas em função das características da bacia e das atividades antrópicas exercidas.

Os dados que compõem as variáveis deste índice, serão obtidos por meio do censo agropecuário (IBGE, 2017), com maior ênfase às áreas de interesse de recuperação ambiental. Esses são os dados mais recentes do IBGE, e se estabelecem como a fonte de dados oficial do país que melhor representa as especificidades do território rural, devido à sua escala de atuação (IBGE, 2011; IBGE, 2020; FUNDAÇÃO RENOVA, 2018). Além dos dados dos censos, serão utilizados o mapeamento dos stakeholders, que serão identificados por meio do processo de mineração de dados via internet e checagem *in loco*. A seguir, estão descritos os procedimentos realizados no cálculo do Índice de Vulnerabilidade Social — IVS de forma detalhada.

7.3.1. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS A SEREM LEVANTADAS:

a. Grupo A - Capital Humano

O capital humano dos indivíduos será calculado a partir de variáveis que retratam aspectos como educação e composição etária e racial, que interferem nas perspectivas, atuais e futuras, em relação à inclusão social e vulnerabilidade dos indivíduos inseridos nas áreas rurais. O estudo parte do pressuposto que as populações caracterizadas como minorias raciais, idosos, crianças e com baixa escolaridade são mais vulneráveis socialmente. Na Tabela 2 são elencados a proposta de indicadores para o cálculo do Subíndice Capital Humano.

Tabela 2. Descrição dos indicadores que compõem o Subíndice Capital Humano (Grupo A)

| Indicador | Descrição |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) Percentual de produtores com nível de escolaridade até o ensino médio e superior | Relação entre o número total de produtores e o nível de escolaridade, estratificada por grupos de escolaridade: ensino médio e superior, multiplicado por 100. |
| 2) Taxa de analfabetismo de produtores de 15 anos ou mais. | Razão entre o número de produtores com 15 anos ou mais, não alfabetizados, e o número total de produtores com 15 anos ou mais de idade, do setor censitário, multiplicado por 100 |
| 3) Percentual de produtores com mais de 65 anos (classes de idade) | Razão entre o número de produtores com 65 anos ou mais, e o número total de produtores do setor censitário, multiplicado por 100. |
| 4) Percentual de produtores mulheres responsáveis pelo estabelecimento não alfabetizadas | Razão entre o número de produtores mulheres responsáveis pelo estabelecimento não alfabetizadas, e o número total de produtores, do setor censitário, multiplicado por 100. |
| 5) Percentual de produtores não brancos (cor ou raça) | Razão entre o número de produtores não brancos, e a população total do setor censitário, multiplicado por 100. |

b. Grupo B - Infraestrutura e moradia

Esse segundo subíndice buscará evidenciar as condições de acesso básico a serviços de infraestrutura, que em princípio, deveriam estar presentes na sociedade e que influem substancialmente no bem-estar dos indivíduos, como propriedades com acesso à luz, água, veículos, telefone e internet. A localização e tamanho das propriedades rurais, e as condições dessas moradias também são consideradas fatores cruciais na identificação das áreas mais vulneráveis. Na Tabela 3 são elencados a

proposta de indicadores para o cálculo do Subíndice Infraestrutura e moradia.

Tabela 3. Descrição dos indicadores que compõem o Subíndice Moradia e Infraestrutura (Grupo B)

| Indicador | Descrição |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) Número de estabelecimentos com recursos hídricos | Razão entre o número de estabelecimentos com recursos hídricos, e o total de estabelecimentos, do setor censitário, multiplicado por 100. |
| 2) Percentual de estabelecimentos sem acesso à rede geral de energia elétrica | Razão entre o número de produtores do estabelecimento com acesso à rede geral de energia elétrica, e o total de estabelecimentos do setor censitário, multiplicado por 100. |
| 3) Percentual de produtores que não são proprietários (a) de terras | Razão entre o número de produtores que não são proprietários (a) de terra, e o número total de estabelecimentos, do setor censitário, multiplicado por 100. |
| 4) Percentual de estabelecimento com automóveis e/ou máquinas agrícolas | Razão entre o número de estabelecimentos com acesso à automóveis e/ou máquinas agrícolas, e o total de estabelecimentos, no setor censitário, multiplicado por 100. |
| 5) Percentual de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação | Razão entre o número de estabelecimento com o uso de irrigação, e o total de estabelecimentos, no setor censitário, multiplicado por 100. |
| 6) Percentual de estabelecimento com telefone | Razão entre o número de estabelecimentos com acesso a telefone, e o total de estabelecimentos, no setor censitário, multiplicado por 100. |
| 7) Percentual de estabelecimento com acesso à internet | Razão entre o número de estabelecimentos com acesso à internet, e o total de estabelecimentos, no setor censitário, multiplicado por 100. |

c. Grupo C - Renda

Esse terceiro subíndice buscará medir a vulnerabilidade em relação à insuficiência de renda, principalmente, em relação aos chefes de família, fator que impacta no grau de vulnerabilidade social, pois pode determinar as condições de vida das famílias no que se refere à moradia, alimentação, educação, entre outros, fatores que impactam diretamente no acesso a bens e serviços e auxiliam na identificação da situação de vulnerabilidade das populações. Na Tabela 4 são elencados a proposta de indicadores para o cálculo do Subíndice Renda.

Tabela 4. Descrição dos indicadores que compõem o Subíndice Renda (Grupo C).

| Indicador | Descrição |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) Percentual de estabelecimentos com pessoal ocupado com laço de parentesco com o produtor | Razão entre o número de estabelecimentos com pessoal ocupado com laço de parentesco com o produtor, e o total de estabelecimentos, multiplicado por 100. |
| 2) Valor da produção dos estabelecimentos anual (classes) | Relação entre o tamanho do estabelecimento e o valor da produção estratificada por grupos, segundo IBGE. |
| 3) Finalidade principal da produção agropecuária do estabelecimento | Razão entre estabelecimentos cuja produção se destina a consumo próprio, e o total de estabelecimentos, no setor censitário, multiplicado por 100 |
| 4) Número de estabelecimentos que | Razão de estabelecimentos que obtiveram receitas |

| Indicador | Descrição |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| obtiveram receitas com outras rendas do produtor | externas, e o total de estabelecimentos, no setor censitário, multiplicado por 100. |
| 5) Percentual de estabelecimentos que receberam financiamentos rurais | Razão entre o número de estabelecimentos que receberam financiamento, e o total de estabelecimentos, no setor censitário, multiplicado por 100. |

d. Índice de Vulnerabilidade Social

O IVS será estruturado na forma de uma “árvore” de decisão, onde informações socioeconômicas e demográficas básicas de cada setor censitário serão agregados nos três subíndices (Capital Humano; Infraestrutura e Moradia; e Renda), conforme apresentado acima, que representam aspectos distintos da vulnerabilidade social, para compor, mediante média ponderada, o índice final. Cada um desses subíndices contribuirá para o cálculo final do IVS com o mesmo peso. Os mapas serão multiplicados em ambiente SIG, para a obtenção do mapa do Índice de Vulnerabilidade Social para cada uma das bacias hidrográficas, classificado em classes de vulnerabilidade (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo) ao nível de setor censitário para as áreas rurais, dado que, as ações de restauração serão voltadas a essa área.

7.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL (IVSA)

O Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) será calculado por meio da média ponderada entre os mapas dos Índices de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) e o social (IVS). O peso para cada índice será estabelecido em reuniões técnicas entre os membros da equipe envolvidos na elaboração do estudo, em que serão consideradas as características dos componentes ambientais e socioeconômicos das áreas da bacia e as interações entre eles. De acordo com a demanda e os objetivos estabelecidos, o IVSA poderá ser classificado em classes categóricas relativas, que indiquem diferentes níveis de vulnerabilidade da bacia, como por exemplo, IVSA alto, médio e baixo.

7.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO AMBIENTAL

O mapeamento das áreas prioritárias para a recuperação ambiental em cada bacia será elaborado a partir dos mapas temáticos do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) e da Área de Recarga Hídrica, em que os locais onde ocorrem maior vulnerabilidade socioambiental serão identificados e classificados conforme seu potencial de recarga hídrica. A distinção da localização das áreas prioritárias em relação ao potencial de recarga hídrica permitirá identificar onde as ações de recuperação potencialmente terão maior efeito sobre a recarga de água no sistema subterrâneo.

O mapeamento das áreas prioritárias, juntamente com o conjunto de base dados elaborados pelo estudo, permitirá a elaboração de diversos diagnósticos complementares, como por exemplo, o agrupamento das áreas prioritárias mapeadas de acordo com o tipo de usos e coberturas atuais (agricultura, pastagem, solo exposto, etc), permitindo assim dimensionar e planejar as possíveis ações de recuperação dentre técnicas vegetativas e/ou práticas mecânicas conservacionistas.

7.6. CAMPANHAS DE CAMPO

As campanhas de campo na área de estudo tem o objetivo de reconhecimento da paisagem natural e antropizada e são importantes para validação dos dados secundários ambientais e socioeconômicos, assim como dos resultados obtidos por meio dos processamentos em SIG. Com o planejamento da rota contemplando as diferentes regiões de cada bacia, será possível reconhecer *in loco* os padrões geomorfológicos, da vegetação, dos usos agropecuários, dos padrões de moradia, infraestrutura e produtiva nas áreas das bacias, dentre outras informações fundamentais, como por exemplo, o levantamento de pontos de controle para a avaliação da qualidade do mapeamento do uso e cobertura do solo.

8. DEFINIÇÃO DA PRIORIDADE NA REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS

Levando em consideração a importância dos estudos de vulnerabilidade socioambiental no processo de uso e conservação dos recursos hídricos e a importância econômica das cinco bacias contempladas na proposta, bem como a realidade de usos múltiplos destas, a definição da prioridade temporal na entrega dos produtos levará em consideração o número de centrais de geração de energia elétrica encontrado nelas. A opção pelo número de centrais de geração de energia elétrica leva em conta tanto a dimensão econômica, pelo ativo gerado, como o papel de ambiental que os reservatórios cumprem tanto em termos de regulação de vazões, armazenamento de água, melhoria na ambiência, etc.

As figuras e a tabela a seguir contém o quantitativo dos diferentes tipos centrais de geração de energia elétricas nas bacias contempladas na proposta.²

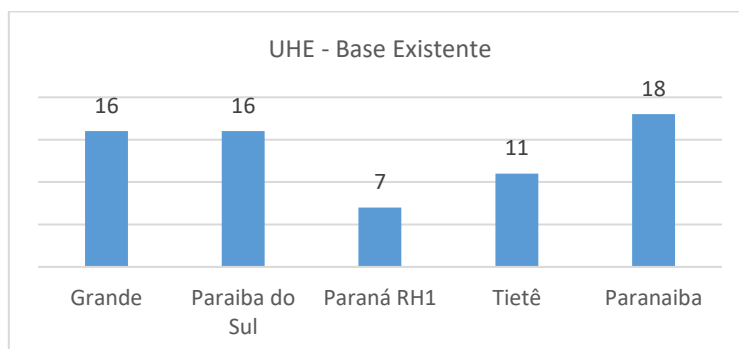


Figura 3. Usinas Hidrelétricas existentes nas bacias dos rios Grande, Paraíba do Sul, Paraná (RH1), Tietê e Paranaíba, 2024.

² Fonte: EPE. Plano de dados abertos da EPE. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, RJ, 2022. Disponível em: < <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

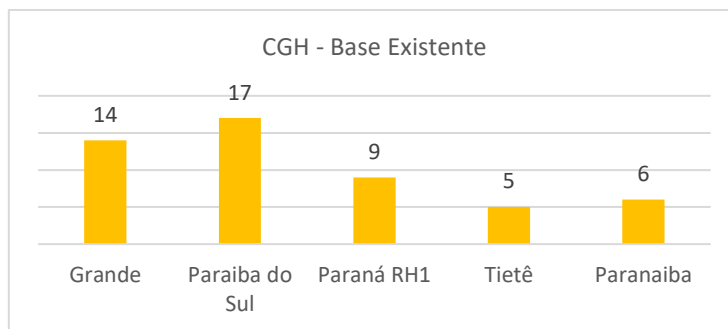


Figura 4. Centrais Geradoras Hidrelétricas existentes nas bacias dos rios Grande, Paraíba do Sul, Paraná (RH1), Tietê e Paranaíba, 2022.

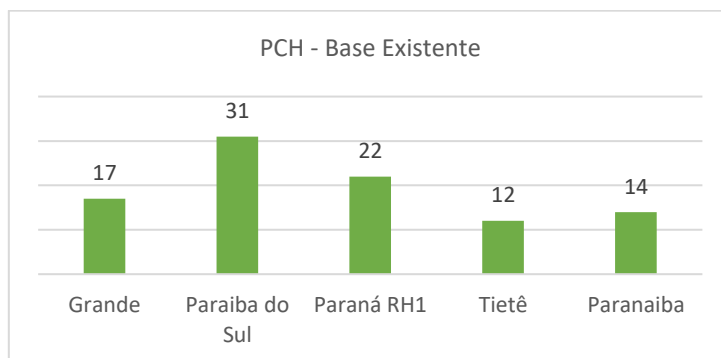


Figura 5. Pequenas Centrais Hidrelétricas existentes nas bacias dos rios Grande, Paraíba do Sul, Paraná (RH1), Tietê e Paranaíba, 2022.

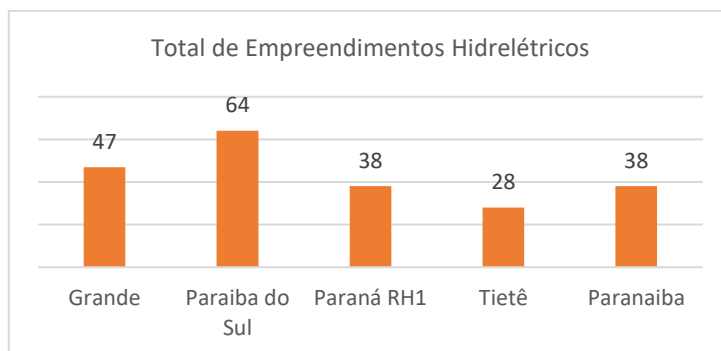


Figura 6. Total de Empreendimentos Hidrelétricos existentes nas bacias dos rios Grande, Paraíba do Sul, Paraná (RH1), Tietê e Paranaíba, 2022.

Tabela 5. Quantitativo e tipos de empreendimentos hidrelétricos existentes nas bacias rios Grande, Paraíba do Sul, Paraná (RH1), Tietê e Paranaíba, 2022.

| Bacia | UHE | CGH | PCH | Total de Empreendimentos |
|----------------|-----|-----|-----|--------------------------|
| Grande | 16 | 14 | 17 | 47 |
| Paraíba do Sul | 16 | 17 | 31 | 64 |
| Paraná RH1 | 7 | 9 | 22 | 38 |
| Tietê | 11 | 5 | 12 | 28 |
| Paranaíba | 18 | 6 | 14 | 38 |

Assim, com base nas informações apresentadas, a bacia do Rio Paraíba do Sul é

a que concentra o maior número de empreendimentos hidrelétricas entre as 5 bacias contempladas nessa proposta, representando 30% do total. Desse modo, propõem-se escalonar a realização e entrega dos serviços, tendo por base o número de empreendimentos de hidrelétricas existentes em cada bacia, na seguinte ordem: bacia do rio Paraíba do Sul, bacia do rio Grande, Bacia do rio Tietê, bacia do Paraná (RH1) e bacia do rio Paranaíba. É importante ressaltar que os estudos já foram realizados para as cabeceiras dos rios Paranaíba e Grande.

9. CAPACIDADE TÉCNICA E GERENCIAL PARA EXECUÇÃO DO OBJETO.

Para realização dos estudos serão utilizados os laboratórios e instalações da Universidade Federal de Viçosa, especificamente dos Departamentos de Solos e Nutrição de Plantas, de Engenharia Agrícola, de Economia Rural, de Administração, LabGeo e Centro de Referência em Recursos Hídricos, aos quais a equipe técnica está diretamente vinculada.

10. DETALHAMENTO DOS CUSTOS

O custo total para realização dos estudos será de **R\$7.306.491,94** (Sete milhões, trezentos e seis mil, quatrocentos e noventa e um reais e noventa e quatro centavos). Conforme descrito na Planilha “**Orçamento 5 bacias 2024 17_01**” anexo.

11. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

| |
|-----------------------------------------------------------------|
| Parcela 1: 25% na assinatura do convênio |
| Parcela 2: 20% na entrega da Bacia do Rio Grande |
| Parcela 3: 15% na entrega da Bacia do Rio Paraíba do Sul |
| Parcela 4: 23% na entrega da Bacia do Paraná (RH1) |
| Parcela 5: 17% na entrega da Bacia do Rio Tietê |

12. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO e FINANCEIRO

| | Bacias | Área (km²) | Número de UHs | Custo |
|--------------------|----------------|-------------------|---------------|-------------------------|
| Ano 1 | Paraíba do Sul | 56.196,62 | 64 | R\$ 589.387,59 |
| | Grande | 107.723,96 | 47 | R\$ 1.130.023,37 |
| | Tietê | 72.142,59 | 12 | R\$ 756.744,56 |
| | Total | 236.063,17 | 139 | R\$ 2.476.155,52 |
| Ano 2 | Paraná RH1 | 272.429,64 | 38 | R\$ 2.856.710,71 |
| | Paranaíba | 185.353,48 | 38 | R\$ 1.943.523,77 |
| | Total | 457.783,12 | 76 | R\$ 4.800.234,48 |
| Total Geral | | 693.846,29 | 215 | R\$ 7.276.390,00 |

13. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS METAS/FASE NA REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS EM CADA BACIA

| ANO 1: BACIAS DOS RIOS GRANDE, PARAÍBA DO SUL E TIETÊ | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Metas | Produtos | Mês de entrega | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Meta 1 | P1. Mapa de hidrografia | | X | | | | | | | | | | |
| | P2. Mapa de disponibilidade hídrica | | X | | | | | | | | | | |
| | P3. Mapa de curvatura horizontal | | | | X | | | | | | | | |
| | P4. Mapa de pedologia | X | | | | | | | | | | | |
| | P5. Mapa de hidrogeologia | | | | | X | | | | | | | |
| | P6. Mapa de precipitação | | X | | | | | | | | | | |
| | P7. Mapa de evapotranspiração | | | X | | | | | | | | | |
| | P8. Mapa de balanço hídrico climatológico | | | | X | | | | | | | | |
| | P9. Mapa de densidade de queimadas | | | X | | | | | | | | | |
| | P10. Mapa de potencial de erosão | | | | | X | | | | | | | |
| | P11. Mapa de uso e cobertura do solo | | | | | | X | | | | | | |
| | P12. Mapa de adequação do uso da terra | | | | | | | X | | | | | |
| | P13. Mapa de áreas de recarga | | | | | | | X | | | | | |
| | P14. Mapa do índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) | | | | | | | | X | | | | |
| | P15. Mapa com representação das informações socioeconômicas, fundiárias, stakeholders, estratificadas por índices. | | | X | | | | | | | | | |
| Meta 2 | P16. Mapa de vulnerabilidade em relação ao Capital Humano | | | | | X | | | | | | | |
| | P17. Mapa de vulnerabilidade em relação à Infraestrutura e moradia | | | | | | X | | | | | | |
| | P18. Mapa de vulnerabilidade em relação à Renda | | | | | | | X | | | | | |
| | P19. Mapa do índice de Vulnerabilidade Social (IVS) | | | | | | | | X | | | | |
| | P20. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) | | | | | | | | | | X | X | |
| | P21. Mapa de áreas prioritárias para a recuperação ambiental | | | | | | | | | | X | X | |
| | P22. Mapa de <i>hotspots</i> de área de alta e muito alta vulnerabilidade social | | | | | | | | X | X | | | |
| Meta 3 | P23. Scripts em R para processamento da priorização de áreas para recuperação ambiental | | | | | | | | | | X | X | |
| | P24. Relatório com a descrição da metodologia e resultados encontrados | | | | | | | | | | X | X | |
| | P25. Metadados dos mapas produzidos | | | | | | | | | | | X | X |
| | P26. Apresentação e discussão dos resultados com stakeholders e partes interessadas | | | | | | | | | | | X | X |

| ANO 2: BACIAS DOS RIOS PARANAÍBA E PARANÁ (RH1) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Metas | Produtos | Mês de entrega | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Meta 1 | P1. Mapa de hidrografia | | X | | | | | | | | | | |
| | P2. Mapa de disponibilidade hídrica | | X | | | | | | | | | | |
| | P3. Mapa de curvatura horizontal | | | | X | | | | | | | | |
| | P4. Mapa de pedologia | X | | | | | | | | | | | |
| | P5. Mapa de hidrogeologia | | | | | X | | | | | | | |
| | P6. Mapa de precipitação | | X | | | | | | | | | | |
| | P7. Mapa de evapotranspiração | | | X | | | | | | | | | |
| | P8. Mapa de balanço hídrico climatológico | | | | X | | | | | | | | |
| | P9. Mapa de densidade de queimadas | | | X | | | | | | | | | |
| | P10. Mapa de potencial de erosão | | | | | X | | | | | | | |
| | P11. Mapa de uso e cobertura do solo | | | | | | X | | | | | | |
| | P12. Mapa de adequação do uso da terra | | | | | | | X | | | | | |
| | P13. Mapa de áreas de recarga | | | | | | | X | | | | | |
| | P14. Mapa do índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) | | | | | | | | X | | | | |
| | P15. Mapa com representação das informações socioeconômicas, fundiárias, stakeholders, estratificadas por índices. | | | X | | | | | | | | | |
| Meta 2 | P16. Mapa de vulnerabilidade em relação ao Capital Humano | | | | | X | | | | | | | |
| | P17. Mapa de vulnerabilidade em relação à Infraestrutura e moradia | | | | | | X | | | | | | |
| | P18. Mapa de vulnerabilidade em relação à Renda | | | | | | | X | | | | | |
| | P19. Mapa do índice de Vulnerabilidade Social (IVS) | | | | | | | | X | | | | |
| | P20. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) | | | | | | | | | | X | X | |
| | P21. Mapa de áreas prioritárias para a recuperação ambiental | | | | | | | | | | X | X | |
| | P22. Mapa de <i>hotspots</i> de área de alta e muito alta vulnerabilidade social | | | | | | | | X | X | | | |
| Meta 3 | P23. Scripts em R para processamento da priorização de áreas para recuperação ambiental | | | | | | | | | | X | X | |
| | P24. Relatório com a descrição da metodologia e resultados encontrados | | | | | | | | | | X | X | |
| | P25. Metadados dos mapas produzidos | | | | | | | | | | | X | X |
| | P26. Apresentação e discussão dos resultados com stakeholders e partes interessadas | | | | | | | | | | | X | X |

14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S.A.; HEGEWISCH, K. C. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning** 45(1), 5-32, 2001.

CALEGARIO, A. T. et al. Capacidade de uso e manejo da terra em zonas de recarga. Viçosa: IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, 2017.

CHAKRABORTY, Liton. et al. A place-based socioeconomic status index: Measuring social vulnerability to flood hazards in the context of environmental justice. *International journal of disaster risk reduction*, v. 43, p. 101394, 2020.

ESRI. (2019). *ArcGIS Desktop: Release 10.7.1* [Software]. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

FREEZE, R. A., & CHERRY, J. A. (1979). **Groundwater**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

FUNDAÇÃO RENOVA. Metodologia de priorização. Definição de critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental na Bacia do Rio Doce. 2018, 199 p. Disponível em:
<https://www.fundacaorenova.org/wpcontent/uploads/2020/02/metodologiadepriorizarrecuperacaoambientalufvufmg.pdf>.

GASPAR, M.T.P.; CAMPOS, J.E.G.; CADAMURO, A.L. de M. **Condições de infiltração em solos na região de recarga do sistema aquífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 542-50, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil: Solos** [Mapa]. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de informações do Censo Demográfico 2020.

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 175, 2015.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**. v. 38, n. 87, p. 517-526. 2010.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; WENDLAND, E. (2015). Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. **Earth Surface Processes and Landforms** 40 (11), 1524-1532.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>.

RIO GRANDE DO SUL. **Manual de conservação do solo**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, p. 42- 72, 1979.

Running, S. W., Mu, Q., & Zhao, M. (2017). **MOD16A2 MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006**. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi:10.5067/MODIS/MOD16A2.006

Valeriano, M. M. (2008). **Topodata**: Guia para utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE.

VASCONCELOS, V. V.; MARTINS JUNIOR, P. P.; HADAD, R. M. Methodology for rapid assessment of aquifer recharge areas. **Geologia USP Série científica**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 6-6., 2013.

WANG, S. Y.; LIU, J. S.; YANG, C. J. Eco-environmental vulnerability evaluation in the Yellow River Basin, China. **Pedosphere**, v. 18, n. 2, p. 171-182, 2008.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. **USDA Agriculture Handbook No. 537**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.