UFV Universidade Federal de Viçosa

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NAS CABECEIRAS SELECIONADAS DAS **BACIAS DOS RIOS GRANDE**, **PARANAÍBA**, **SÃO FRANCISCO** E **PARNAÍBA**

3 CADERNO DE RESULTADOS

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Presidente: **Luiz Inácio Lula da Silva**
Vice-Presidente: **Geraldo José Rodrigues Alckmin Filho**

Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional - MDR
Ministro do Desenvolvimento Regional: **Antônio Waldez Góes da Silva**
Secretaria Nacional de Segurança Hídrica Secretário: **Giuseppe Serra Seca Vieira**

Departamento de Recursos Hídricos e Revitalização de Bacias Hidrográficas
Diretor: **José Roberto Carlos Cavalcante**

Coordenação-Geral de Revitalização de Bacias Hidrográficas
Coordenadora Geral: **Tarsila Cezar de Noronha Pessoa**

Responsáveis Técnicos
Alexandre Saia
Ramille Araujo Soares de Paula

Secretária
Edrene Braga Pinto

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

EQUIPE DE TRABALHO DO PROJETO

Prof. José Ambrósio Ferreira Neto
DSc. Cientista Social, Coordenador Geral - Departamento de Economia Rural

Prof. Antônio Carlos Brunozi Júnior
DSc. Cientista Contábil, Departamento de Administração e Contabilidade

Prof. Bruno Nery Fernandes Vasconcelos
DSc. Engenheiro Agrônomo, Departamento de Solos

Prof. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer
DSc. Engenheiro Agrônomo, Departamento de Solos

Prof. Demetrius David da Silva
DSc. Engenheiro Agrônomo, Departamento de Engenharia Agrícola

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
DSc. Engenheiro Agrônomo, Departamento de Solos

Prof. Evandro Rodrigues de Farias
DSc. Administração, Departamento de Administração e Contabilidade

Prof. Márcio Rocha Francelino
DSc. Engenheiro Agrônomo, Departamento de Solos

Prof. Ricardo Santos Silva Amorim
DSc. Engenheiro Agrônomo, Departamento de Engenharia Agrícola

Prof. Wilson da Cruz Vieira
DSc. Engenheiro Agrônomo, Departamento de Economia Rural

Bianca Diniz da Rocha
MSc. Engenheira Florestal, Departamento de Economia Rural

Clívia Dias Coelho
DSc. Engenheira Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola

Ernani Lopes Possato
DSc. Engenheiro Florestal, Departamento de Engenharia Florestal

Gustavo Vieira Veloso
DSc. Engenheiro Agrícola, Departamento de Solos

Mariane Paulina Batalha Roque
DSc. Geógrafa, Departamento de Economia Rural

Pedro Christo Brandão
DSc. Engenheiro Florestal, Departamento de Solos

Lucas Vieira Silva
Graduando de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Manuelle de Freitas Galvão
Graduanda de Engenharia Agrícola e Ambiental

Projeto gráfico e diagramação
Editora Asa Pequena

APRESENTAÇÃO

A conversão da cobertura do solo por meio da exploração dos recursos naturais para a implantação de sistemas agropecuários de uso intensivo e extensivo favoreceram a fragmentação dos ambientes naturais e os processos de degradação ao longo das últimas décadas. Os reflexos negativos desta degradação, sobretudo em áreas que o uso estava em dissonância com suas potencialidades e aptidões, incluem: redução da diversidade da flora e fauna; diminuição da quantidade e qualidade da água; e intensificação dos processos erosivos. Além dos efeitos diretos ao ambiente, a degradação do solo e da água pode ter consequências nocivas para a capacidade produtiva e a socioeconomia local.

Para reverter a degradação nos ambientes rurais, é fundamental implementar ações de restauração de ambientes naturais ou de mitigação dos impactos, como o uso de técnicas conservacionistas do solo e da água em áreas cultivadas. No entanto, há um descompasso entre a extensão total de área que pode se beneficiar dessas ações e os recursos disponíveis para essa finalidade. Nesse processo, se faz necessário também considerar as externalidades da dinâmica social e econômica de modo que as ações de recuperação ambiental se configurem também como oportunidades de geração

de emprego e renda para as comunidades envolvidas. Por isso, é crucial utilizar ferramentas de análise de inteligência territorial para identificar as áreas vulneráveis onde a implantação das ações de recuperação ou mitigação possibilitará a maior preservação e, consequentemente, o maior potencial de retorno dos serviços ecossistêmicos desejáveis.

Nesse contexto, a equipe multidisciplinar da Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveu uma metodologia de priorização de áreas para recuperação ambiental, com o objetivo de fornecer subsídios para a determinação locacional da aplicação de recursos e insumos destinados à recuperação ambiental, visando a otimização de ganhos sociais e ambientais nas áreas das bacias hidrográficas. O método é baseado na análise integrada do meio físico e da socioeconomia, a partir de dados oficiais disponíveis, como: mapeamentos das classes de solo e do relevo; dados de sensoriamento remoto; informações climatológicas e de queimadas; disponibilidade hídrica e dados socioeconômicos disponibilizados a nível de setores censitários.

O objetivo da metodologia de priorização desenvolvida pela UFV é identificar áreas em que a realização das práticas conservacionistas e de recuperação possui maior potencial de promover o incremento na quantidade e qualidade da água e dos serviços ecossistêmicos associados, além de contribuir com a segurança hídrica frente às demandas dos centros urbanos e das atividades agropecuárias e, desta forma, induzindo o equilíbrio entre o uso dos recursos naturais e a produção de serviços ecossistêmicos. A metodologia possibilita também direcionar os esforços de recuperação para as áreas que possuem melhores condições de cumprir a função ambiental de recarga hídrica e, ao mesmo tempo, possuem maior vulnerabilidade social.

O presente estudo, fruto de um Termo de Execução Descentralizada (TED) firmado entre o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), consiste na identificação de áreas prioritárias para as ações de revitalização nas áreas rurais em áreas nas cabeceiras de quatro importantes bacias hidrográficas no Brasil: Grande, Paranaíba, São Francisco e Parnaíba.

Este relatório apresenta a metodologia e os resultados alcançados na aplicação do método de priorização de áreas para recuperação ambiental nas cabeceiras. O documento do presente relatório está estruturado em quatro Cadernos: 1. Caderno de Caracterização, no qual é descrita a área de abrangência do estudo e é apresentado o resumo das características gerais das sub-bacias de cabeceira analisadas; 2. Caderno Metodológico, no qual a metodologia utilizada para a priorização de áreas para recuperação ambiental, comum a todas as bacias é apresentada de forma detalhada. 3. Caderno de Resultados, no qual são apresentados os resultados para cada variável (as áreas de recarga hídrica e os índices de vulnerabilidade ambiental, social e socioambiental), calculadas para cada cabeceira das quatro bacias, bem como os resultados das métricas e a localização das áreas prioritárias para recuperação ambiental. 5. Caderno de Apêndices, no qual são apresentados dados e informações complementares, assim como os relatórios resultantes das campanhas de campo realizadas pela equipe UFV nas áreas do presente estudo.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 5

CADERNO DE RESULTADOS 9
1. PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE 10
1.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA 10
1.1.1. Balanço Hídrico Climatológico 10
1.1.2. Declividade 13
1.1.3. Distância à hidrografia 13
1.1.4. Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica 13
1.1.5. Análise Multicritério AHP para determinação das Áreas de Recarga Hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande 23
1.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA 25
1.2.1. Adequação do uso da terra 25
1.2.2. Área Queimada 29
1.2.3. Susceptibilidade à erosão 29
1.2.4. Balanço Hídrico Quantitativo 37
1.2.5. Análise Multicritério AHP 37
1.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS 41
1.3.1. Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Demográfico) 41
1.3.2. Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Agropecuário) 43
1.3.3. Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) 43
1.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA 47
1.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE 47

2. PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA 52
2.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA 52
2.1.1.Balanço Hídrico Climatológico 52
2.1.2. Declividade 56
2.1.3. Distância à hidrografia 56
2.1.4. Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica 56
2.1.5. Análise Multicritério AHP para determinação das Áreas de Recarga Hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba 62
2.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA 62

2.2.1. Adequação do uso da terra 62
2.2.2. Área Queimada 74
2.2.3. Susceptibilidade à erosão 74
2.2.4. Balanço Hídrico Quantitativo 80
2.2.5. Análise Multicritério AHP 80
2.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS 84
2.3.1. Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Demográfico) 84
2.3.2. Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Agropecuário) 86
2.3.3. Índice de Vulnerabilidade Social 86
2.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA 89
2.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA 89

3. RESULTADO DA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO 94
3.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA 94
3.1.1.Balanço Hídrico Climatológico 94
3.1.2. Declividade 99
3.1.3. Distância à hidrografia 99
3.1.4. Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica 99
3.1.5. Análise Multicritério AHP para determinação das Áreas de Recarga Hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco 104
3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA 104
3.2.1.Adequação do uso da terra 104
3.2.2. Área Queimada 116
3.2.3. Susceptibilidade à erosão 116
3.2.4. Balanço Hídrico Quantitativo 120
3.2.5. Análise Multicritério AHP 120
3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS 125
3.3.1. Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Demográfico) 127
3.3.2. Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Agropecuário) 127
3.3.3. Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) 127
3.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA 131
3.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO 131

4. RESULTADO DA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA 136
4.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA 136
4.1.1.Balanço Hídrico Climatológico 136
4.1.2. Declividade 140
4.1.3. Distância à hidrografia 140
4.1.4. Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica 140
4.1.5. Análise Multicritério AHP para determinação das Áreas de Recarga Hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba 149
4.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA 152
4.2.1. Adequação do uso da terra 152
4.2.2. Área Queimada 158
4.2.3. Susceptibilidade à erosão 158
4.2.4. Balanço Hídrico Quantitativo 163
4.2.5. Análise Multicritério AHP 163
4.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS 167
4.3.1.Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Demográfico) 167
4.3.2. Índice de Vulnerabilidade Social (Censo Agropecuário) 169
4.3.3. Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) 172
4.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA 172
4.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA 172

REFERÊNCIAS 178

CADERNO DE RESULTADOS

No **Caderno de Resultados**, são apresentados os resultados de cada variável do meio físico e social que compõem o estudo, assim como os mapas e quantitativos das Áreas Prioritárias para recuperação ambiental das sub-bacias das cabeceiras dos rios Grande, Paranaíba, São Francisco e Parnaíba.

1. PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE

1.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA

1.1.1. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

A precipitação média anual na cabeceira da bacia do rio Grande, no período entre 2001 e 2020, variou entre 1.455 e 2.347 mm (**Figura 1.1**), uma diferença de aproximadamente 892 mm entre as regiões de maior e menor precipitação. As regiões dos municípios de Barbacena, São João Del Rey e Varginha apresenta as maiores áreas com menor precipitação, abaixo de 1.553 mm, enquanto na região da Serra da Mantiqueira, na divisa entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro estão as áreas com maiores precipitação média anual, acima de 1.857 mm. Nas demais regiões da cabeceira, a precipitação média anual é intermediária, com volumes entre 1.553 e 1.857 mm.

A evapotranspiração média anual na cabeceira da bacia do rio Grande variou entre 222 e 1.420 mm e tem seu padrão relacionado, principalmente, ao uso e ocupação do solo, sendo que as maiores taxas de evapotranspiração estão associadas às formações florestais e as menores às áreas de formações campestres, pastagens e solo exposto (**Figura 1.2**). Neste sentido, nas regiões sul e sudeste da cabeceira, nos limites de Minas Gerais com os estados de São Paulo e do Rio de Janeiro encontram-se as áreas com maiores valores de evapotranspiração. Nessas regiões o relevo é movimentado, com áreas de encostas íngremes, composto pelas Serras da Mantiqueira, Serra do Papagaio, dentre outras, onde a aptidão para a agricultura é limitada, o que favorece a manutenção de remanescentes da Mata Atlântica. Por outro lado, ao sul de São João Del Rei, região onde se observa baixa

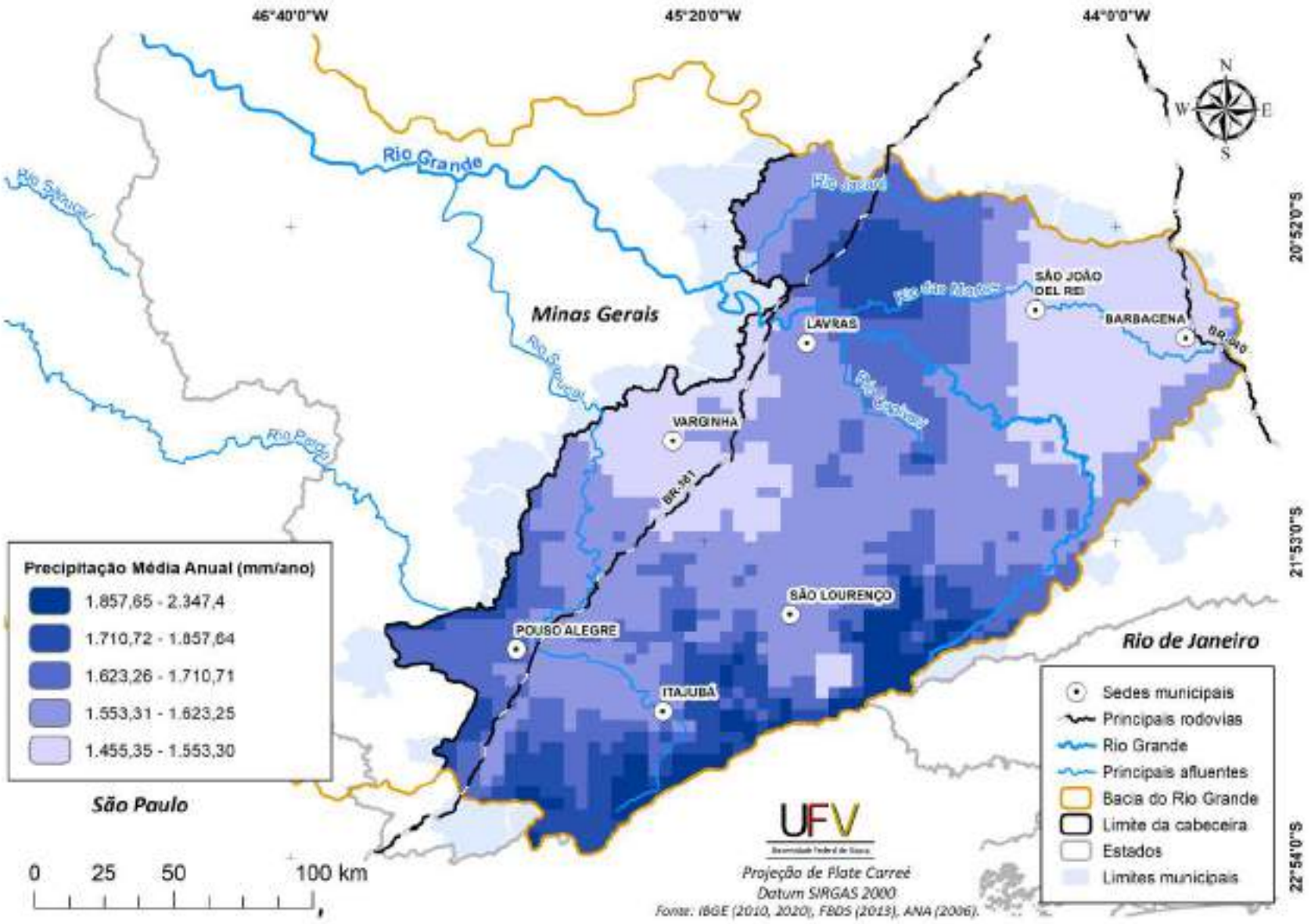

Figura 1.1. Mapa de precipitação média anual, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

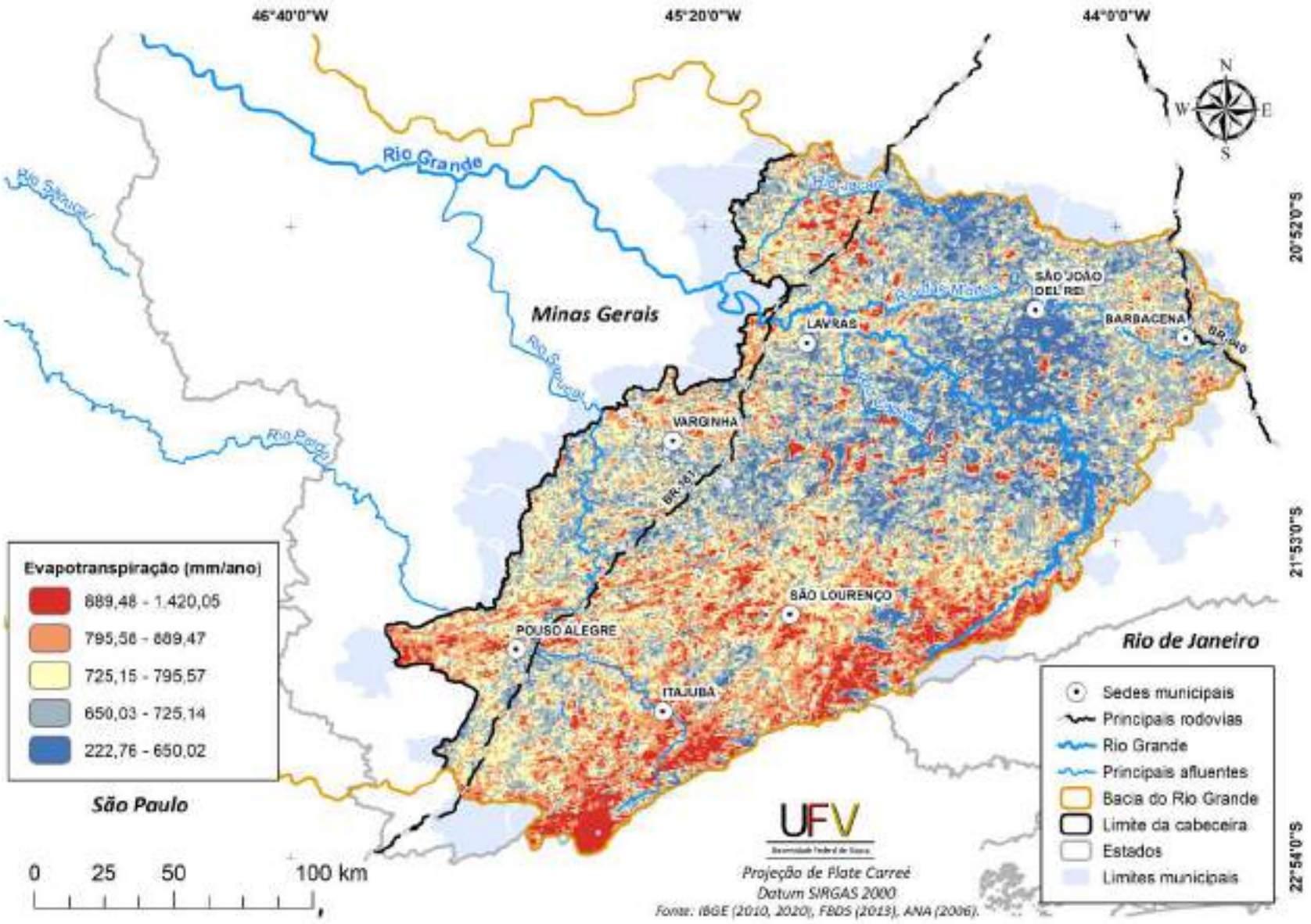

Figura 1.2. Mapa de evapotranspiração média anual, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

evapotranspiração, há o predomínio de pastagens e cultivos agrícolas anuais.

A média anual do balanço hídrico, no período de 2001 a 2020, variou entre 428 e 1.863 mm ano^{-1} (**Figura 1.3**). As áreas com BHC médio anual mais favorável, acima de 1.176 mm, corresponde apenas 1,74% do total da área da cabeceira da bacia do rio Grande, enquanto o intervalo mais representativo foi entre 777 e 873 mm correspondendo a 38,32%. As áreas com até 979,9 mm somaram 86,65% do total da área da cabeceira do rio Grande. As regiões com o balanço hídrico mais desfavorável da área da cabeceira estão próximas aos municípios de Varginha, São Lourenço e Barbacena, em Minas Gerais. Nessas áreas ocorrem os menores intervalos de valores de precipitação anual (**Figura 1.1**) acumulada na cabeceira que, associadas aos valores intermediários a elevados de evapotranspiração (**Figura 1.2**), resultaram no BHC mais desfavorável da área das sub-bacias. Após o reescalonamento do BHC, a maior porção da cabeceira (84,76%) ficou entre 0,21 e 0,40, enquanto a área correspondente ao valor acima de 0,61 foi de apenas 0,74% do total da área da cabeceira (**Figura 1.4**).

1.1.2. DECLIVIDADE

A maior parte das áreas das sub-bacias da cabeceira do rio Grande são de relevo ondulado (44,96%) e forte ondulado (31,58%), principalmente na metade sul da cabeceira (**Figura 1.5**). Parte das áreas planas da cabeceira (6,57%) estão associadas aos terraços formados pelos afluentes do rio Grande, como o rio Verde e o Sapucaí. Enquanto as áreas montanhosas (4,57%) e escarpadas (0,26%) estão principalmente concentradas na região da Serra da Mantiqueira. A declividade na área da cabeceira variou entre 0 e 326,7%, com média igual a 18,7% e desvio padrão de 13,3%. Desta forma, aplicando a regra do limite máximo para o reescalonamento, que corresponde ao valor médio mais três vezes os desvios, a declividade máxima utilizada como referência para reescalonar os dados foram de 58,6%. Ao reescalonar a variável Declividade entre 0 e 1, a maior porção da área ficou concentrada entre 0,61 e 1,0, totalizando 72,82%, ou seja, em áreas mais favoráveis à recarga hídrica, do ponto de vista da declividade (**Figura 1.6**).

1.1.3. DISTÂNCIA À HIDROGRAFIA

Os valores da distância à hidrografia na cabeceira da bacia do rio Grande variaram de 0 a 1.405 m (**Figura 1.7**). No entanto, em função do relevo movimentado da região, a maior parte das áreas estão concentradas em distâncias de até 253 m (87,91%), enquanto apenas 2,37% da área está acima de 391 m de distância da hidrografia.

O valor médio da distância à hidrografia foi igual a 135,96 m, com desvio padrão de 105,81 m, portanto o valor máximo definido para a operação de reescalonamento do mapa foi igual a 453,36 m. Após o reescalonamento, nota-se que para, 72,2% da área da cabeceira possui valores de Distância à Hidrografia abaixo de 0,4 evidenciando, portanto, menor potencial sob o ponto de vista de recarga hídrica; e apenas 3,51% da área está acima de 0,81, concentradas principalmente no porção oeste da área e no eixo entre os municípios Pouso Alegre e Itajubá, em Minas Gerais, onde os interflúvios são maiores proporcionalmente na área da cabeceira (**Figura 1.8**).

1.1.4. POTENCIAL PEDOHIDROLÓGICO À RECARGA HÍDRICA

A região da cabeceira da bacia do rio Grande apresenta um elevado potencial pedohidrológico à recarga hídrica, apresentando mais de 72% de sua área classificada como muito alto ou alto potencial pedohidrológico (**Figura 1.11**). Os solos predominantemente associados a estas áreas são os Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelos (**Figura 1.9**). A ocorrência destes solos nesta bacia está atribuída a distintas rochas metamórficas e ígneas relacionadas à província estrutural da Faixa Móvel Atlântica (**Figura 1.10**). Embora o relevo de ocorrência destes solos não seja plano, variando de ondula-

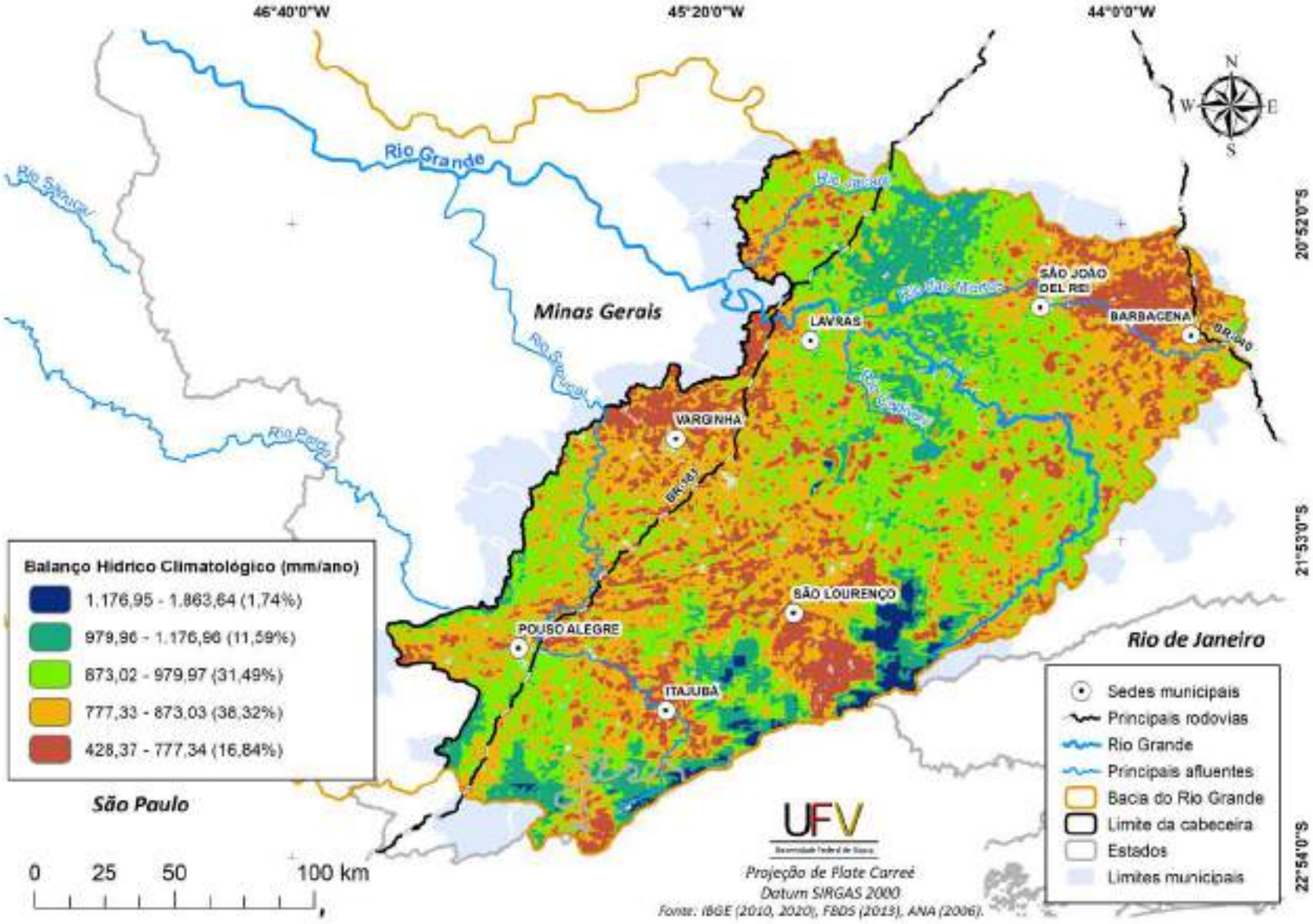

Figura 1.3. Mapa do balanço hídrico climatológico anual médio, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

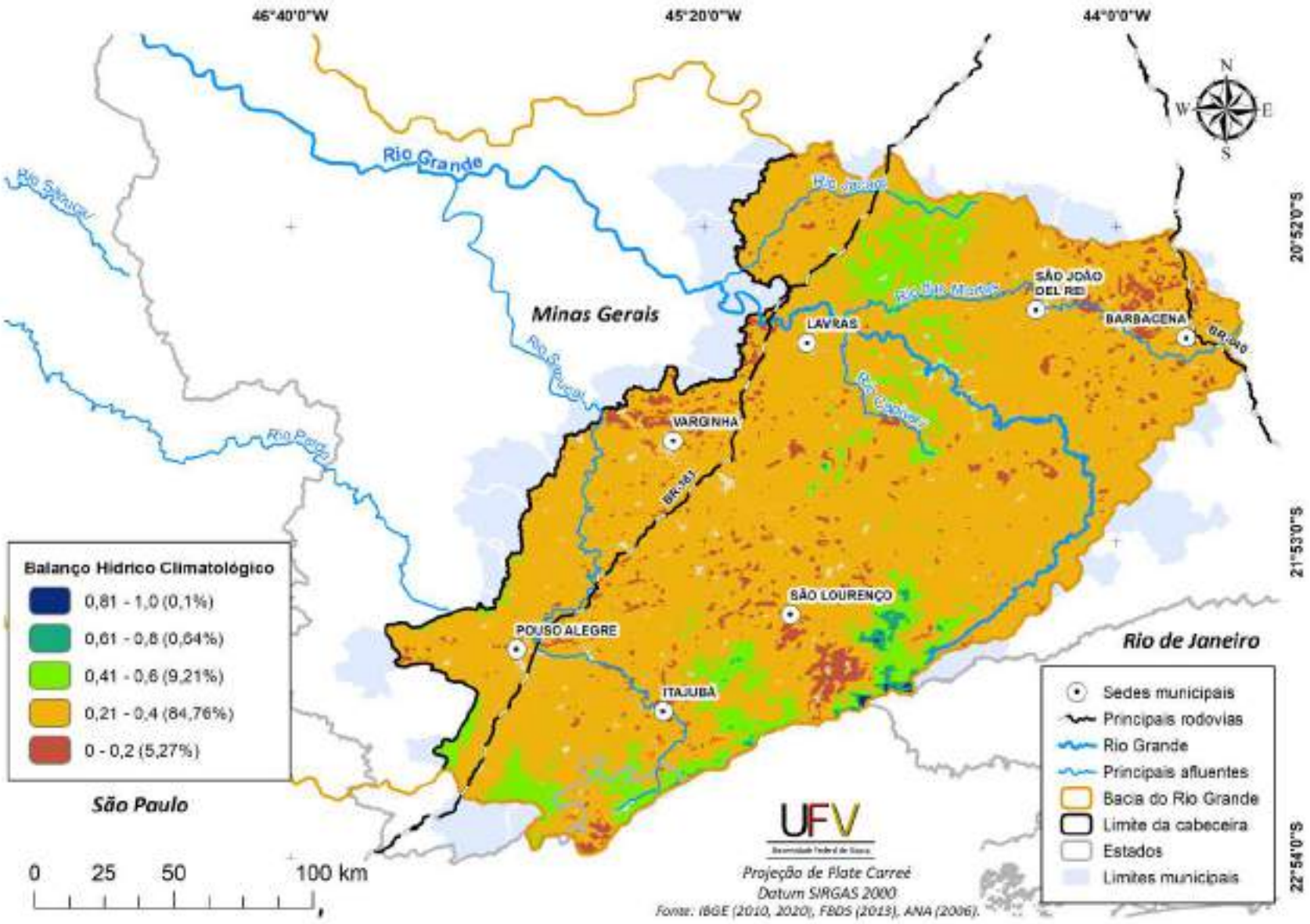

Figura 1.4. Mapa do balanço hídrico climatológico, reescalonado entre 0 e 1, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande

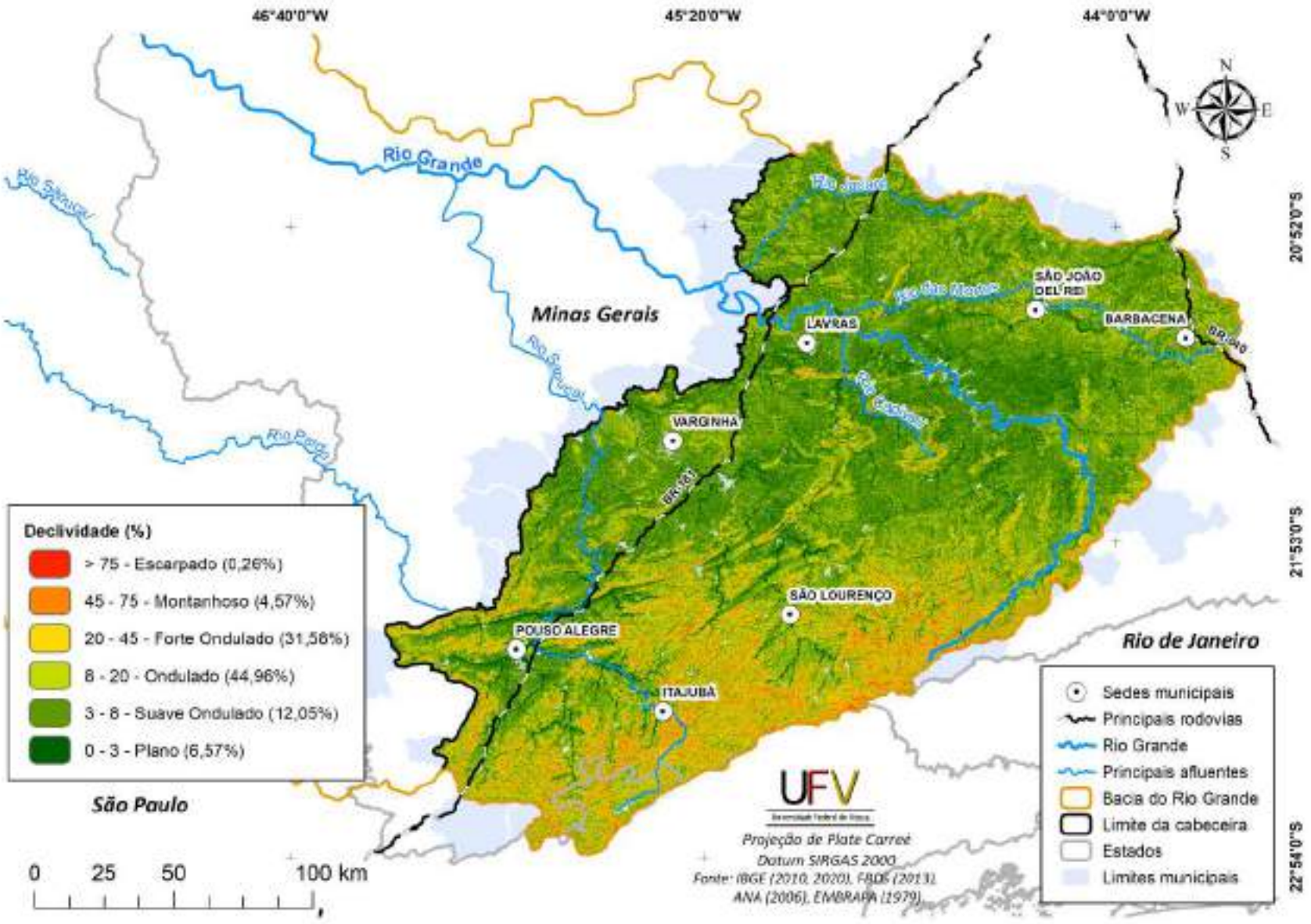

Figura 1.5. Mapa da declividade, em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

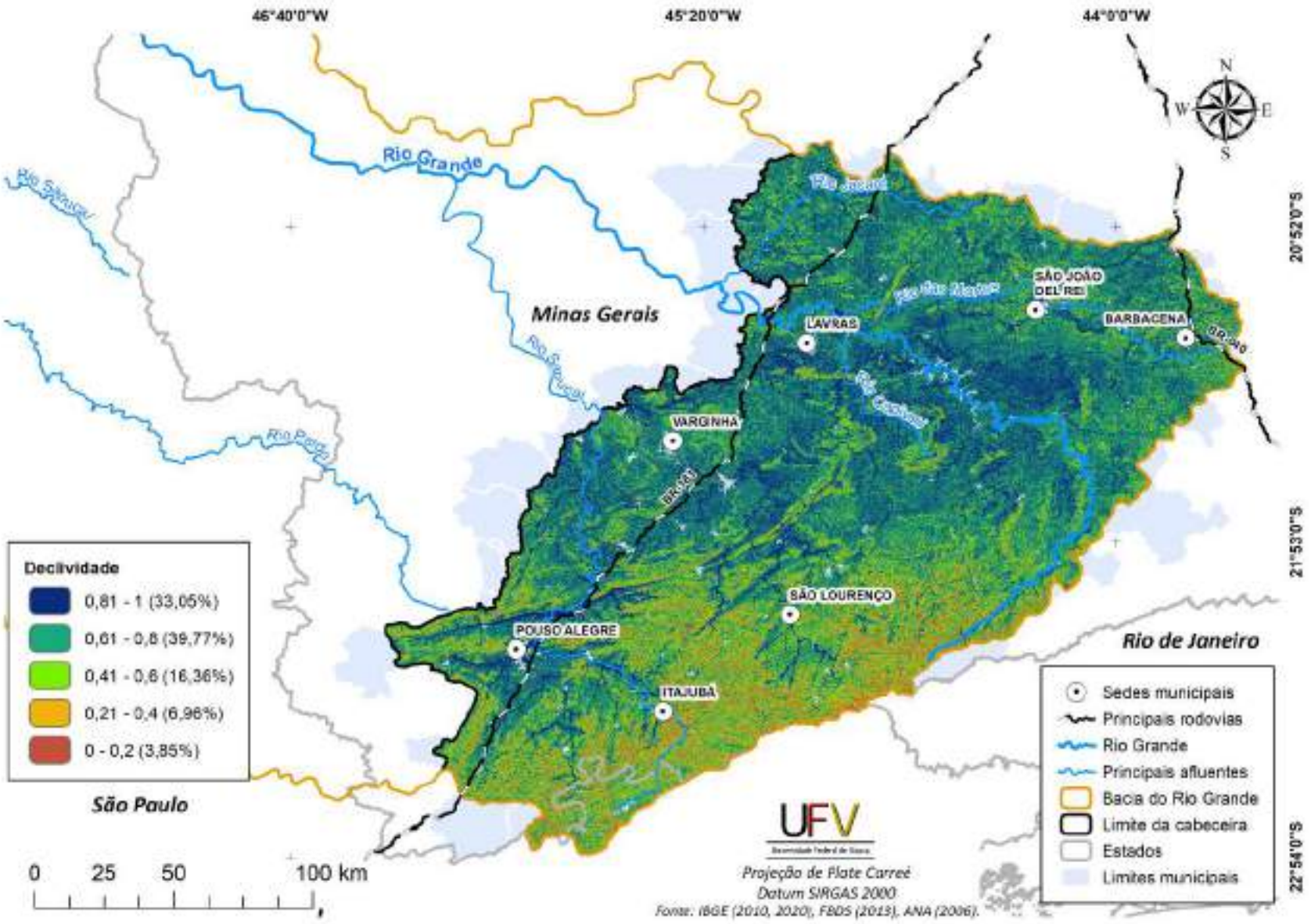

Figura 1.6. Mapa da declividade, em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, reescalonada entre 0 e 1.

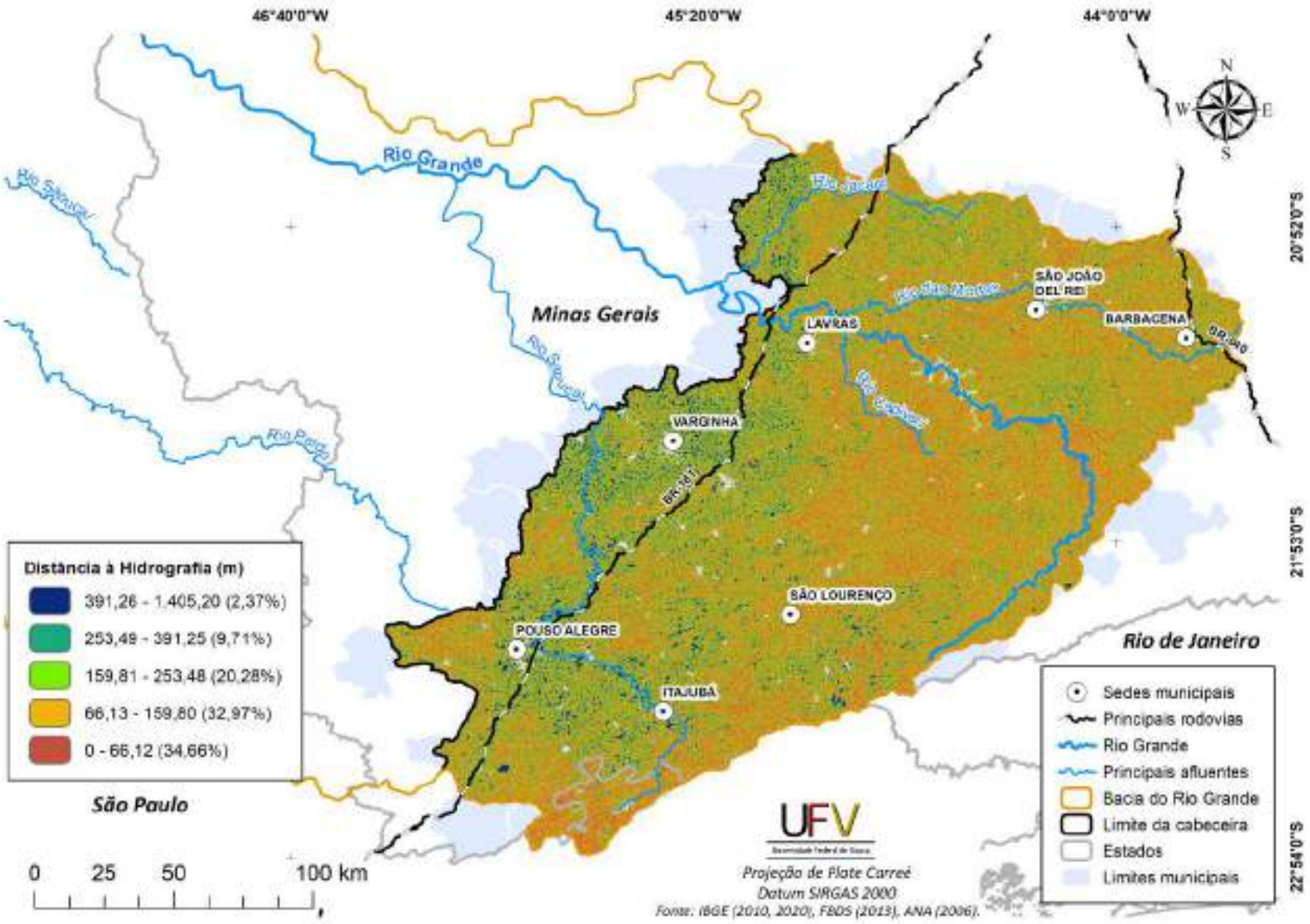

Figura 1.7. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

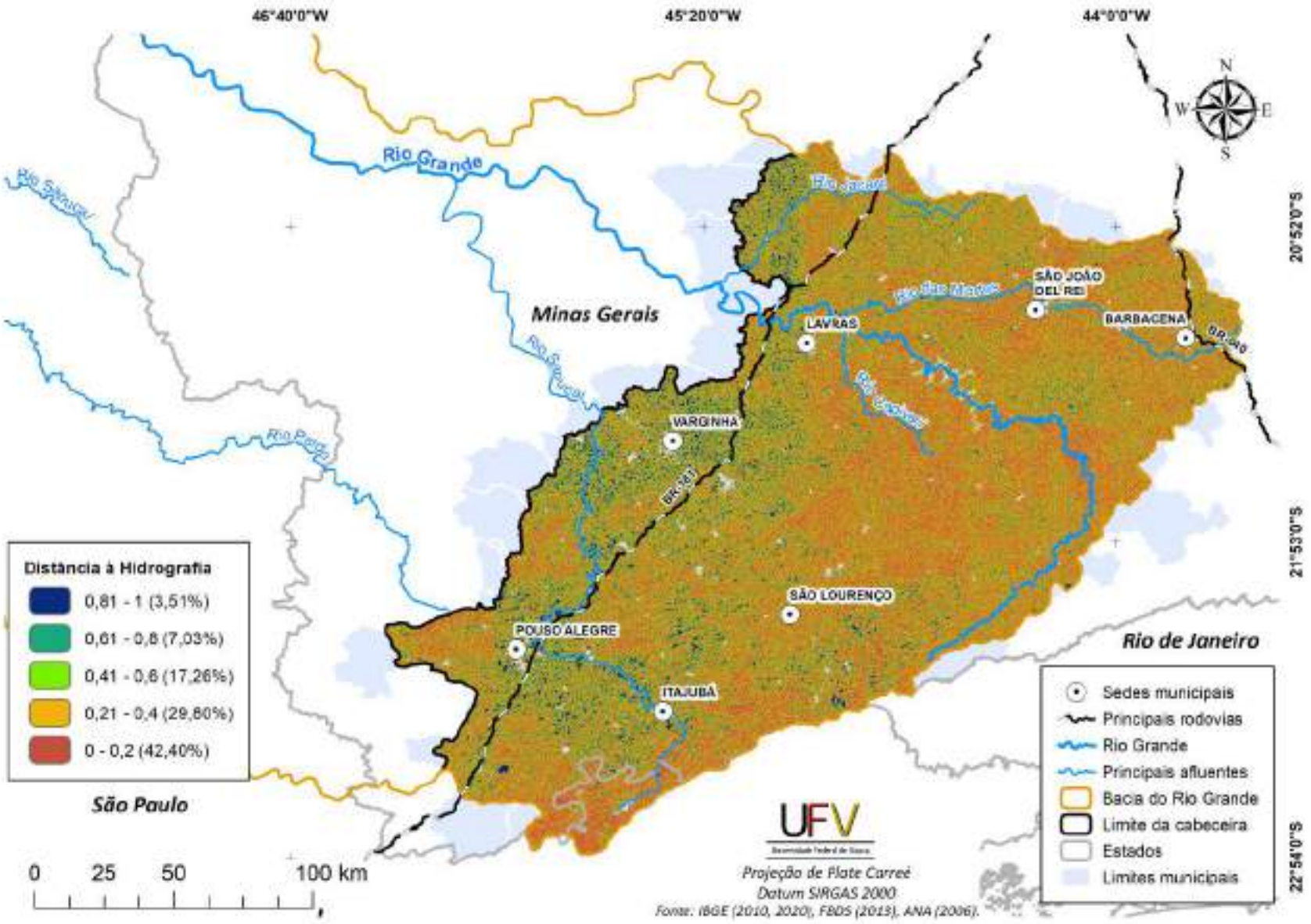

Figura 1.8. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, reescalonada entre 0 e 1.

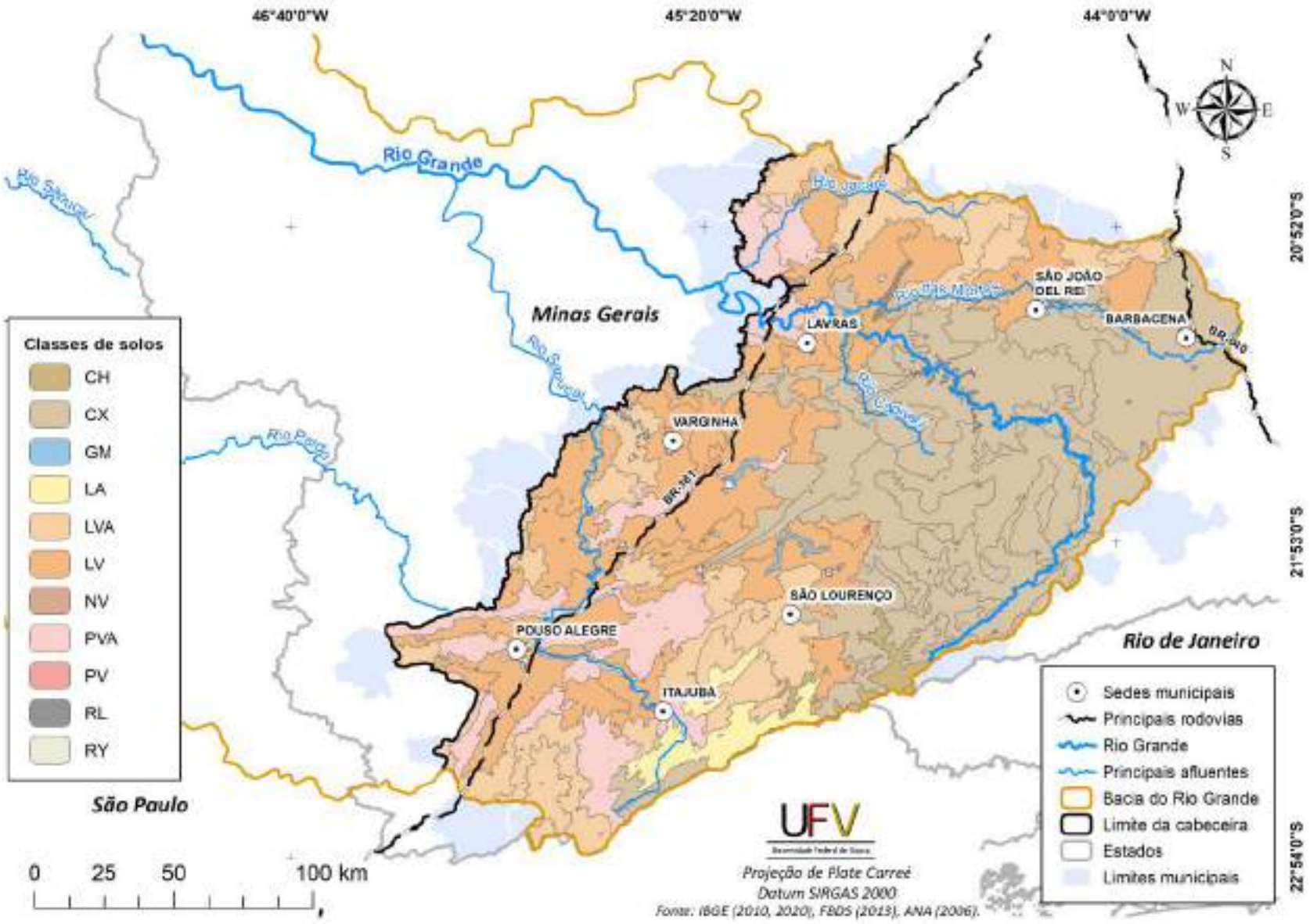

Figura 1.9. Mapa de classe de solos na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

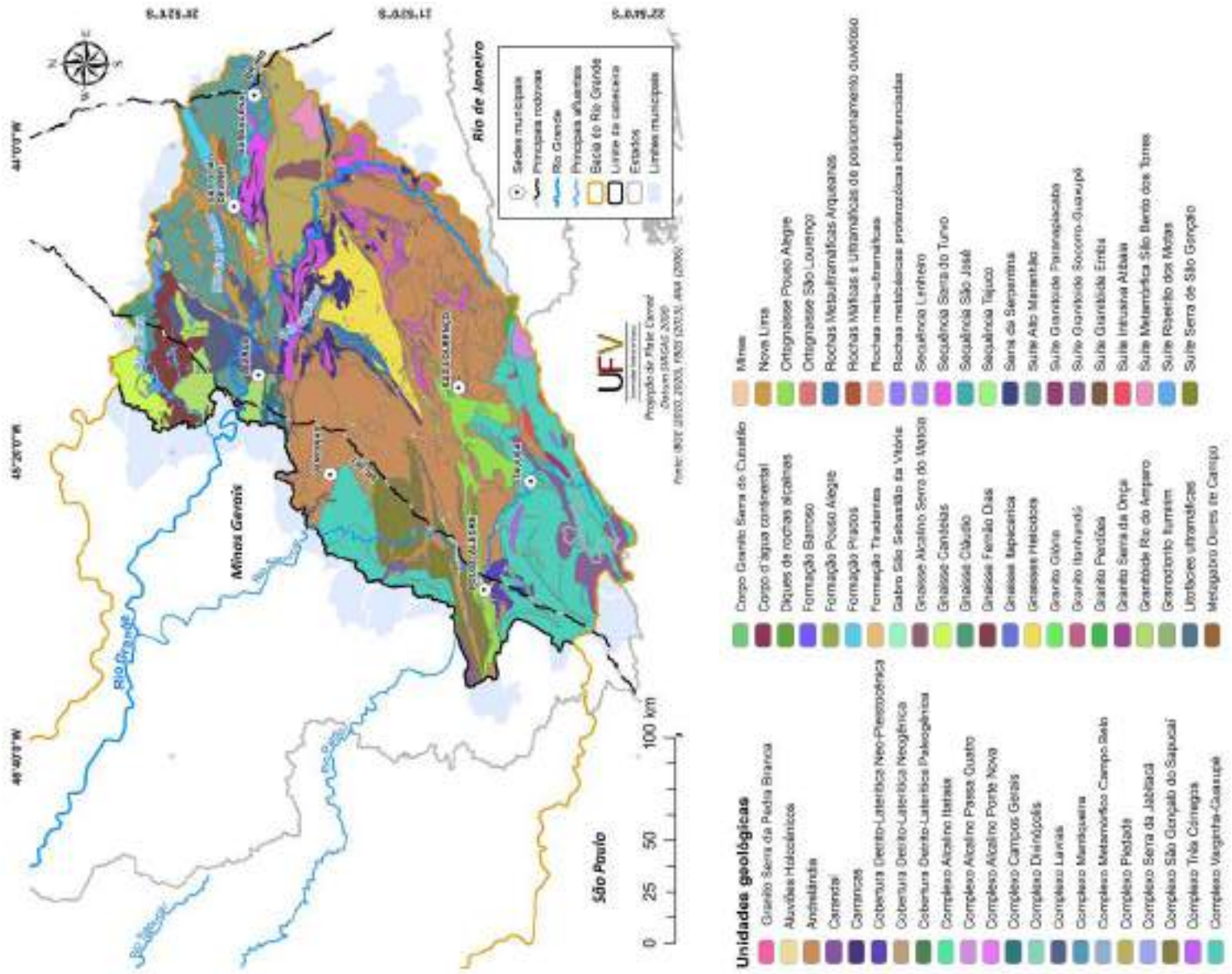

Figura 1.10. Mapa da geologia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

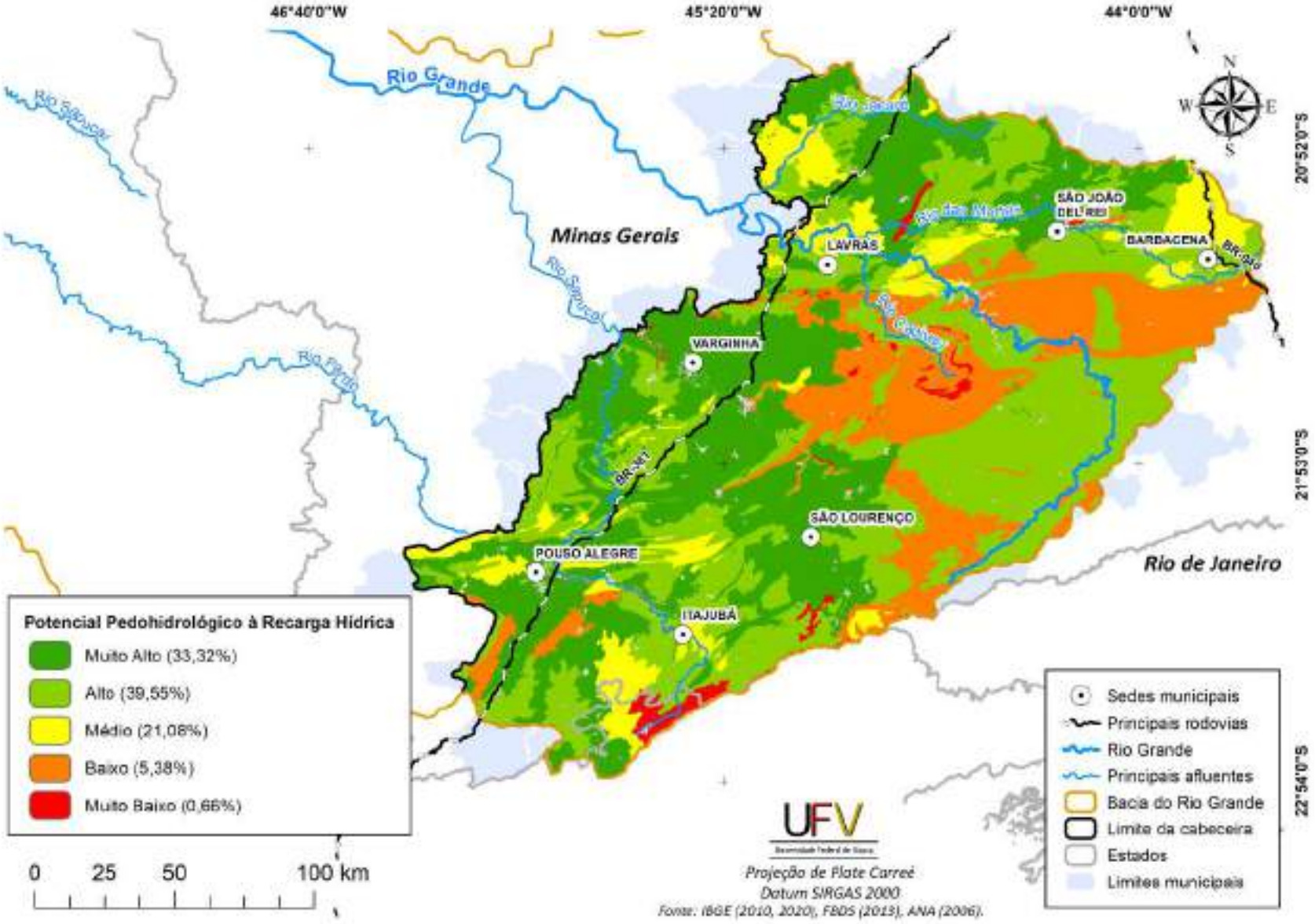

Figura 1.11. Mapa do potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

do a forte ondulado, os solos possuem características morfológicas e físicas, como profundidade efetiva, elevada porosidade total e grau de desenvolvimento estrutural forte, muito favoráveis para a infiltração e percolação de água. Sendo, portanto, as características intrínsecas aos solos a principal razão para esta expressiva área com potencial pedohidrológico muito alto e alto. Contribuem ainda com este potencial algumas áreas de Cambissolos Háplicos, que apesar de terem características morfológicas e físicas não tão favoráveis à recarga hídrica, nesta área da bacia ocorrem em relevo mais suavizado, e sempre associados à presença de Latossolos. A área mais representativa desta situação se encontra localizada na borda leste da cabeceira, aproximadamente na altura do município de Andrelândia.

Áreas com potencial pedohidrológico médio ocupam cerca de 21% da cabeceira da bacia do rio Grande, e relacionam-se principalmente com Argissolos Vermelho-Amarelos e em menor proporção com Cambissolos Háplicos. Os Argissolos são pedogeneticamente mais desenvolvidos do que os Cambissolos e, desta forma, possuem maior profundidade efetiva; são melhores estruturados; e, comumente, ocupam áreas de relevo menos declivoso do que os Cambissolos. As áreas de ocorrência destes solos na cabeceira, associadas à classe de potencial pedohidrológico "médio", ocorrem concentradas na porção norte e na porção sul da mesma. Representam, portanto, os solos com características morfológicas e físicas menos favoráveis à recarga hídrica, quando comparados, por exemplo, com os Latossolos.

As áreas de potencial pedohidrológico baixo e muito baixo, totalizam cerca de 6% da área total da cabeceira do Rio Grande. Esta baixa expressividade, em termos de área, do potencial pedohidrológico baixo e muito baixo, é algo muito desejável em relação à efetividade da recarga hídrica nesta bacia. Os solos associados a estas áreas, são solos de áreas planas e baixas da paisagem, onde predominam processos hidromórficos. Os principais representantes são os Gleissolos Háplicos. Os Gleissolos apresentam baixo potencial pedohidrológico em relação à recarga hídrica, pois já se encontram via de regra em posições baixas, já próximos ao lençol freático. Sendo assim, não são muito eficientes para o processo de recarga.

No mapa reescalonado de 0 a 1 (**Figura 1.12**), observa-se que há predominância de áreas com valores entre 0,21 e 0,80, para o potencial pedohidrológico à recarga hídrica, indicando potencial intermediário sob o ponto de vista da recarga na cabeceira da bacia do rio Grande.

1.1.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE

Na **Tabela 1.1** encontra-se a matriz de comparação dos critérios utilizada para obter a estimativa da importância relativa de cada variável, resultando nos pesos finais apresentados na **Tabela 1.2**. Foram consideradas nas análises as características e distribuições de cada uma das quatro variáveis na área da cabeceira do rio Grande e, após simulações e ponderações de especialistas das áreas de pedologia, geologia e recursos hídricos, o maior peso foi atribuído para a variável Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica, seguidas das variáveis Declividade, Balanço Hídrico Climatológico e Distância à Hidrografia.

Esses pesos foram multiplicados aos mapas das variáveis correspondentes para obter a classificação do potencial de recarga hídrica, que resultou no mapa da Área de Recarga nas sub-bacias da cabeceira do rio Grande (**Figura 1.13**). Para fins de análise, o mapa da Área de Recarga foi subdividido em dois grupos: o primeiro grupo denominado de Área Associada à Recarga Hídrica, correspondendo à 50% da área analisada com os maiores valores de potencial de recarga relativo à área da cabeceira; e o segundo grupo denominado de Área Dissociada à Recarga Hídrica,

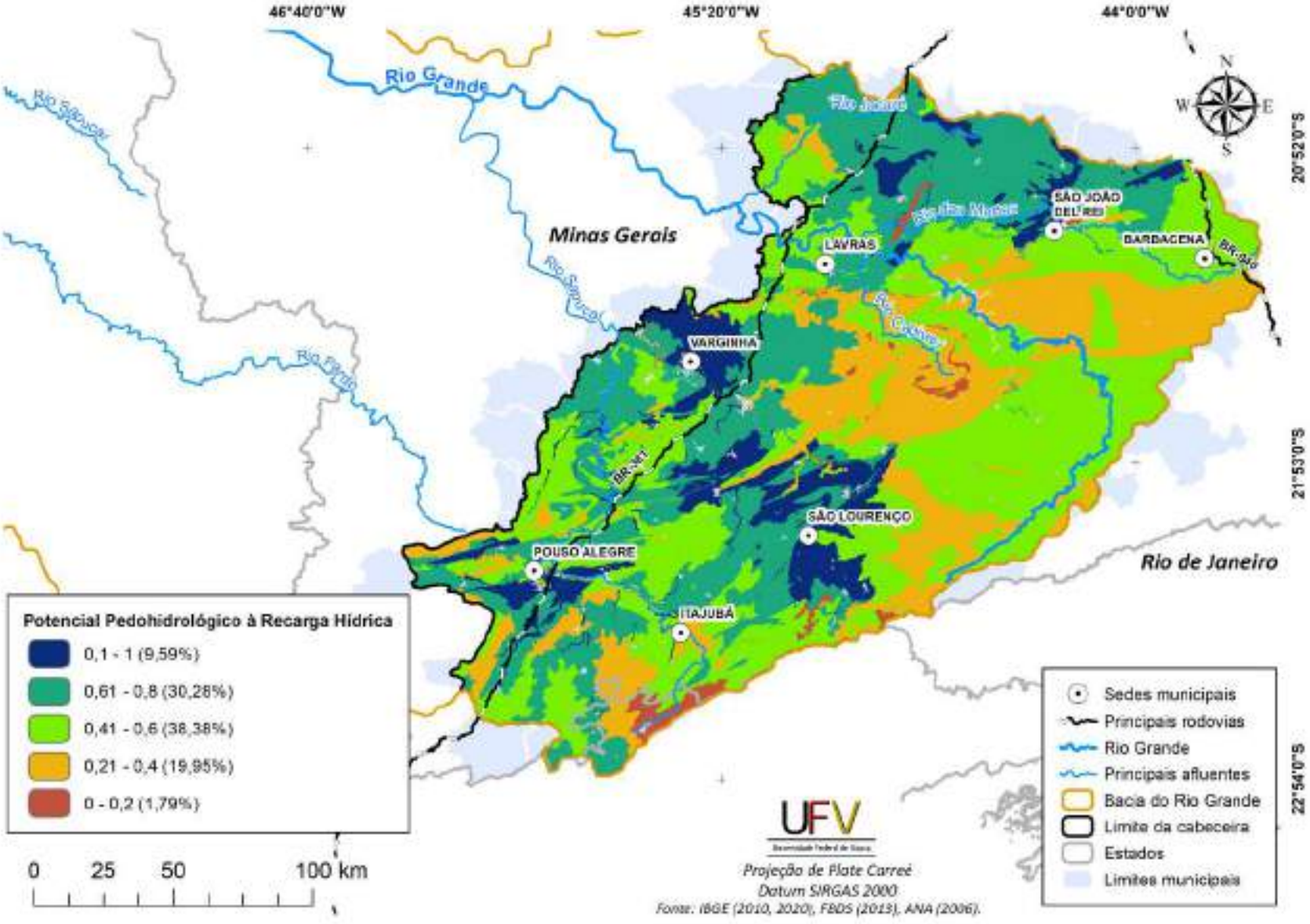

Figura 1.12. Mapa do potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, reescalonada entre 0 e 1.

Tabela 1.1. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

Pesos relativos AHP	Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	Declividade	Balanço Hídrico Climatológico	Distância à Hidrografia
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	1,00	2,00	3,00	3,00
Declividade	0,50	1,00	3,00	4,00
Balanço Hídrico Climatológico	0,33	0,33	1,00	1,00
Distância à Hidrografia	0,33	0,25	1,00	1,00

Tabela 1.2. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção da Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

Critério	Pesos finais (%)
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	43,2
Declividade	33,2
Balanço Hídrico Climatológico	12,1
Distância à Hidrografia	11,5

correspondente a outra metade com menor valor potencial de recarga hídrica. Essa subdivisão do potencial de recarga hídrica na área da bacia tem o intuito de identificar onde as ações de recuperação das áreas com maior vulnerabilidade socioambiental podem ter maior ou menor impacto sobre a recarga hídrica. Esses pontos serão abordados com mais detalhes no item Áreas Prioritárias.

O Coeficiente de Consistência (CR), utilizado para verificar a consistência dos pesos nos julgamentos dos especialistas, indica a probabilidade de que os valores da matriz tenham sido gerados aleatoriamente, sendo que a matriz que possui um CR maior que 0,10 deve ser reavaliada (SAATY, 1980). Na presente análise o valor encontrado de CR foi de 0,04, evidenciando a consistência na definição dos pesos.

1.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA

1.2.1. ADEQUAÇÃO DO USO DA TERRA

A capacidade de uso da terra foi definida como aquela correspondente ao fator limitante entre os critérios relacionados ao solo, ao relevo e aos aspectos legais, ou seja, para uma determinada área, o valor de capacidade de uso corresponde ao maior valor de classe de capacidade apresentado para os três critérios. Na **Figura 1.14** está o mapa de capacidade de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Grande e nela é possível observar que as classes III, IV, VII e VIII de capacidade de uso da terra são aquelas que predominam na bacia, correspondendo juntas a cerca de 88% de sua área total.

A maior parte da cabeceira da bacia do rio Grande, 53,69% da área total, se enquadrou nas classes VII e VIII, ou seja, são terras com limitações muito severas, inadequadas para lavouras e de uso restrito para pastagens e, restringindo-as à recreação e/ou proteção da flora e fauna silvestres ou ainda armazenamento de águas. Observa-se ainda que 23,13% foram classificadas como classe III ou IV, que são terras próprias para culturas com práticas intensivas ou complexas de conservação ou terras próprias para culturas anuais ocasionais, cultivos perenes limitados e culturas em rotação com pastagens, florestas e proteção de fauna e flora silvestre. O restante das áreas, cerca de 23,17% da bacia, foram classificadas como classes I, II, V e VI.

Na **Figura 1.15** está o mapa de uso e cobertura da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do Rio Grande. Os valores obtidos para o índice Kappa e exatidão global foram de 0,70 e 0,76, respectivamente, o que indica uma concordância substancial entre as classes de uso e ocupação do solo observadas em campo e a predição do modelo MapBiomas. Desta forma, entende-se que seja segura a sua utilização como input para determinação do IVA para a região estudada. De acordo com

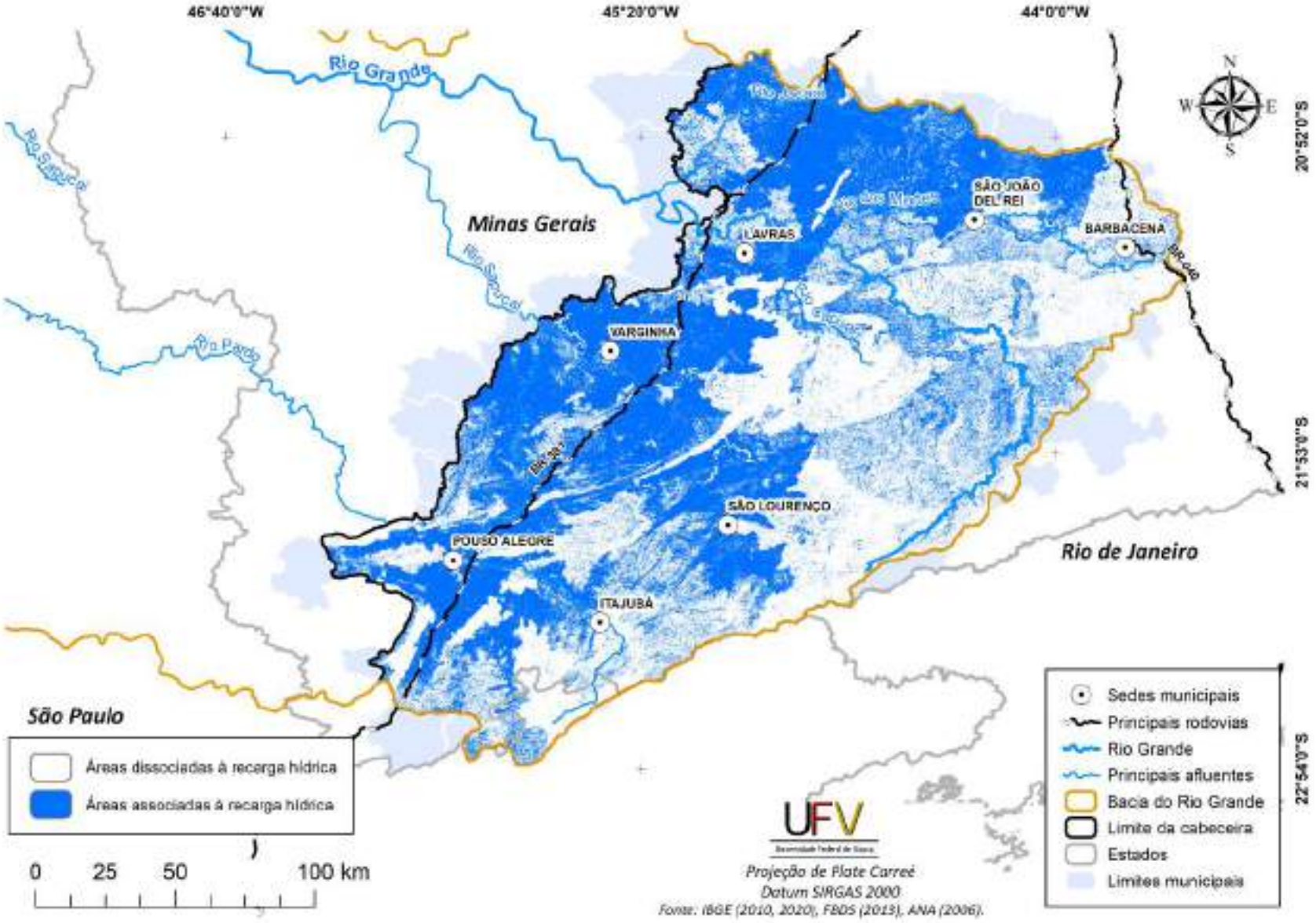

Figura 1.13. Mapa de áreas associadas (maior potencial) e dissociadas (menor potencial) à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

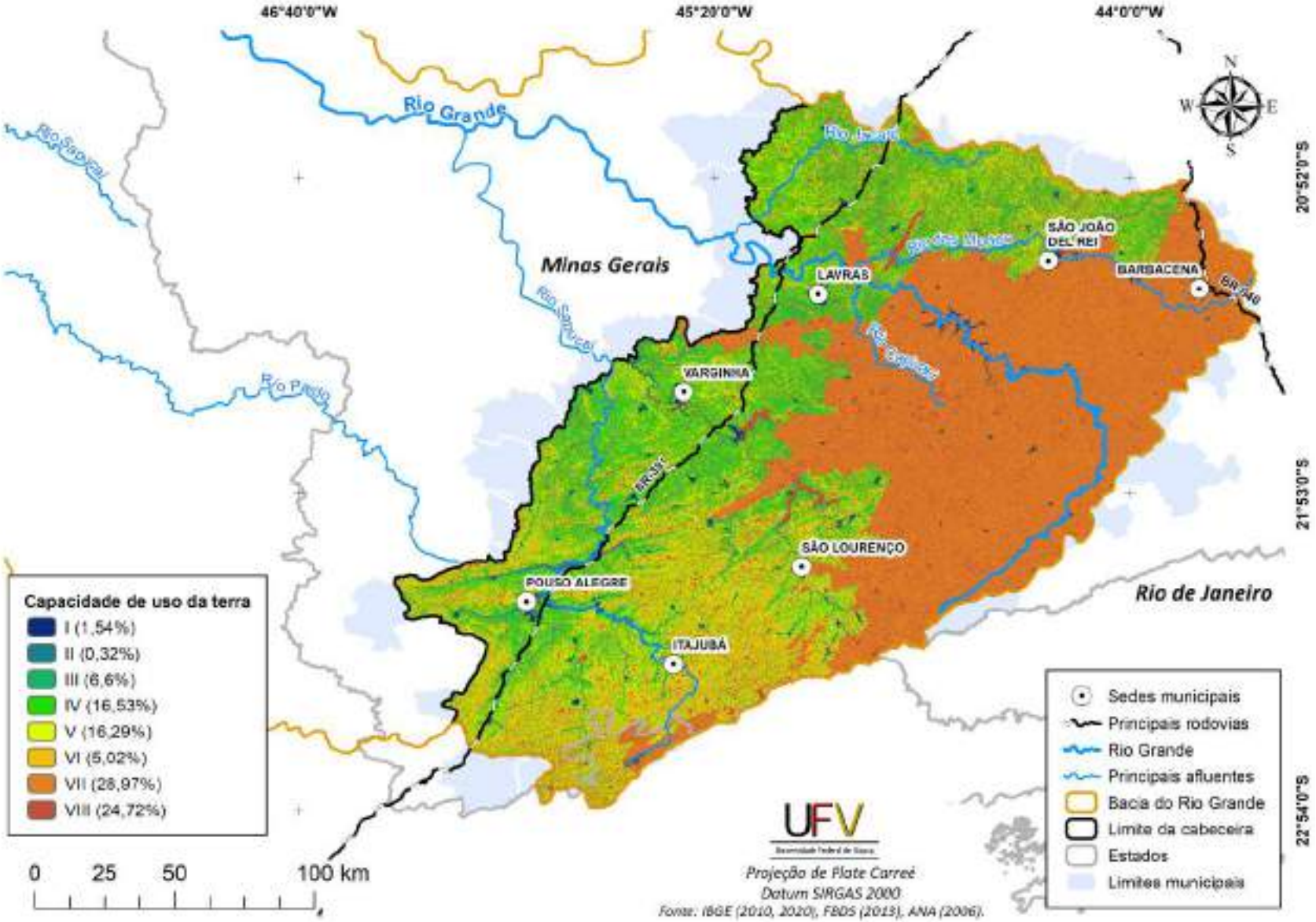

Figura 1.14. Mapa da capacidade de uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

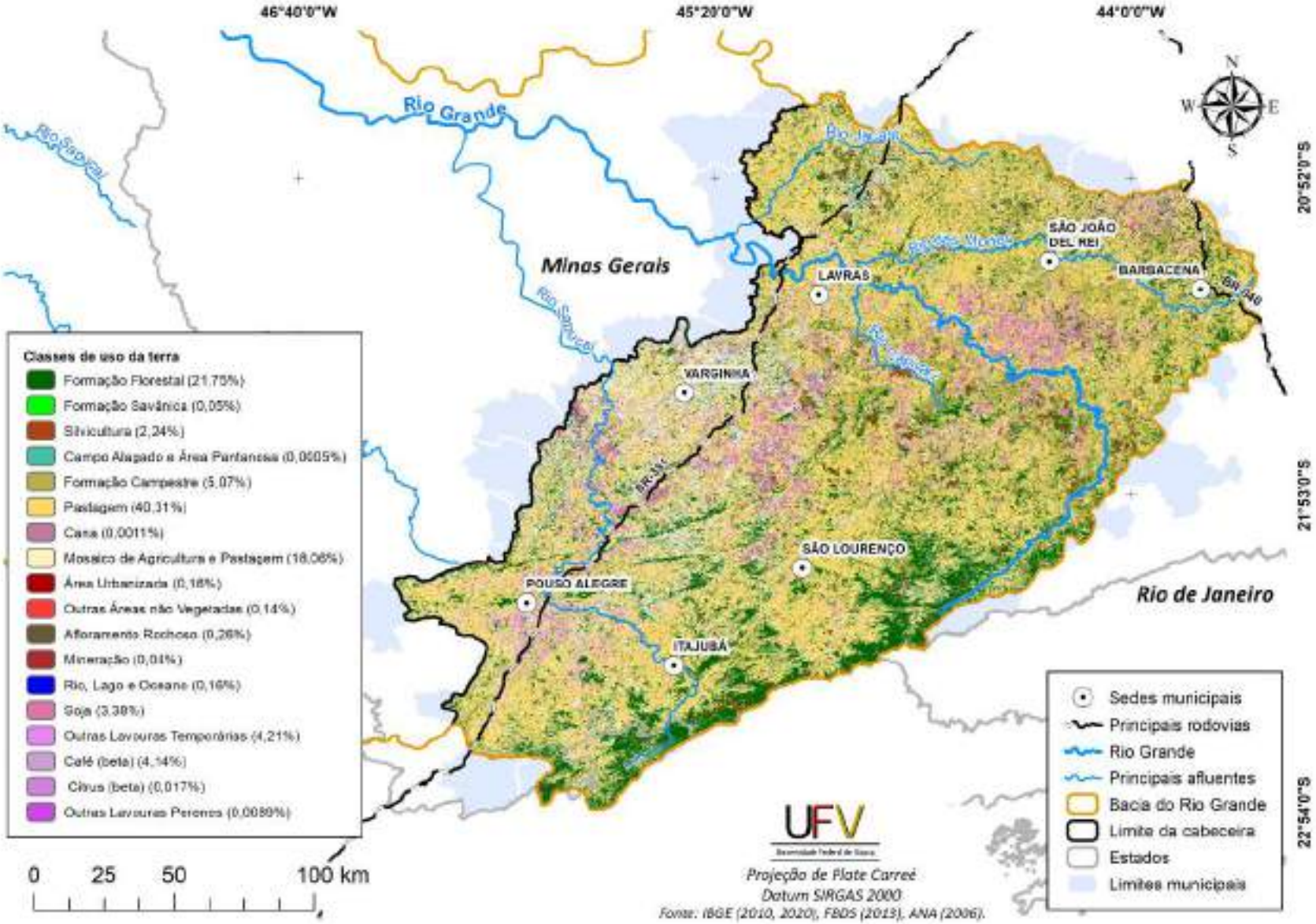

Figura 1.15. Mapa de classificação do uso e cobertura da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

estes dados, as áreas naturais (afloramento rochoso, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, formação florestal, formação savânica, rios e lagos) ocupam apenas 27,3% de toda a bacia, e as demais áreas, 72,7%, com maior destaque para pastagens e mosaicos de usos, com 39,8% e 17,9%, respectivamente.

Na **Figura 1.16** está o mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande. De acordo com a classificação proposta, cerca de 30% da área da bacia encontra-se atualmente com intensidade de uso nas classes I e II que são consideradas as classes de uso mais intensas, relacionadas à agricultura, mineração e áreas não vegetadas. Cerca de 40% da bacia encontra-se com intensidade de uso na classe III, relacionada a presença de pastagens, enquanto 29,4% encontram-se com intensidade de uso nas classes VI e VIII, que são consideradas classes de uso menos intenso quando comparadas às demais classes, e que estão associadas a formações naturais e a silvicultura.

Na **Figura 1.17** está o mapa de classes excedentes de capacidade do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Grande e, na **Figura 1.18**, o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que aproximadamente 41,9% da área da bacia do rio Paranaíba possui intensidade de uso da terra menor ou igual à capacidade de uso, enquanto em 58,1% da área da cabeceira da bacia, a intensidade de uso está acima da capacidade, sendo que 33,2% das áreas a intensidade excedem de quatro a seis classes a capacidade de uso.

As áreas com maior número de classes excedentes se localizam, majoritariamente, na região nordeste da bacia que estão associadas, principalmente, às áreas com solos altamente erodíveis, como Cambissolos Háplicos e com altas declividades, utilizados para usos como pastagens e plantio agrícola. Observa-se também áreas com elevado número de classes excedentes em áreas protegidas por aspectos legais, como áreas de reserva legal e áreas de proteção permanente, que possuem uso atual divergente daquele definido por lei.

1.2.2. ÁREA QUEIMADA

Na **Figura 1.19** está o mapa de recorrência de áreas queimadas na bacia hidrográfica do rio Grande e, na **Figura 1.20**, o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que em 96,4% da área da bacia não foram registradas áreas queimadas nos últimos dez anos, e no restante, cerca de 3,6% da área da cabeceira da bacia, um ou mais eventos de queimadas ocorreram durante esse período. Em apenas 0,1% da área da cabeceira da bacia foi detectada recorrência de queimadas em dois ou três anos, no período de dez anos analisado, correspondendo a uma baixa vulnerabilidade ambiental relacionada às queimadas no período avaliado.

Observa-se que a maior frequência de queimadas se encontra nas regiões próximas aos centros urbanos, principalmente, dos municípios de Lavras, São João del Rei e Barbacena, localizados na porção baixa da cabeceira da bacia.

1.2.3. SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

Na **Figura 1.21** está o mapa de erosividade da chuva na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande. A erosividade da chuva na bacia variou entre 7.011 e 9.459 MJ mm^{-1} ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} e tem seu padrão associado, principalmente, à distribuição da precipitação na bacia (**Figura 1.1**), sendo que os maiores valores de erosividade da chuva, acima dos 8.000 MJ mm^{-1} ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, são observados na região da Serra da Mantiqueira, na divisa entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

Na **Figura 1.22** está o mapa de erodibilidade do solo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande. Observa-se que as áreas com solos mais susceptíveis aos processos erosivos estão localizadas principalmente nas regiões central e sudeste das sub-bacias contempladas neste trabalho. Essa maior susceptibilidade

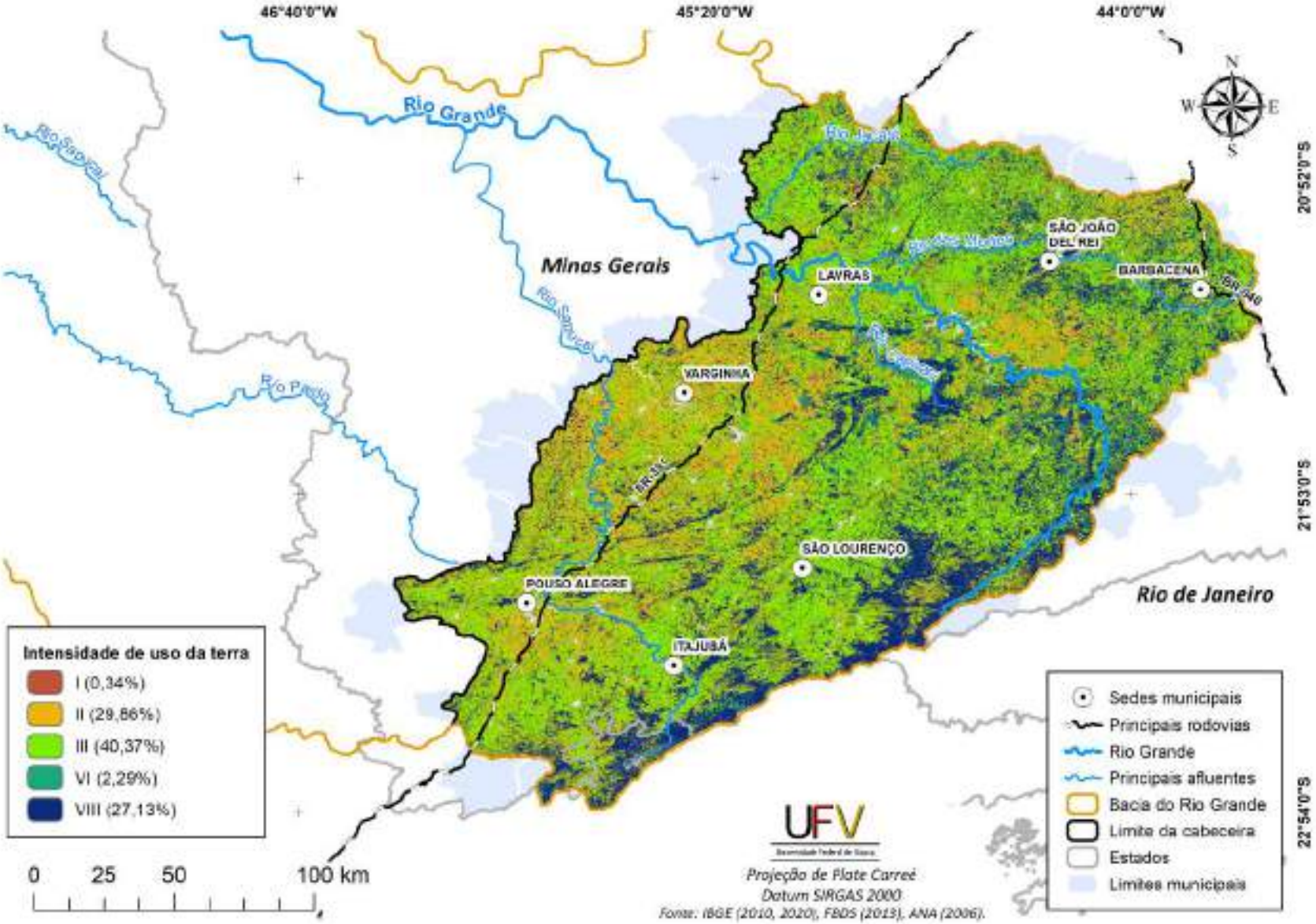

Figura 1.16. Mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

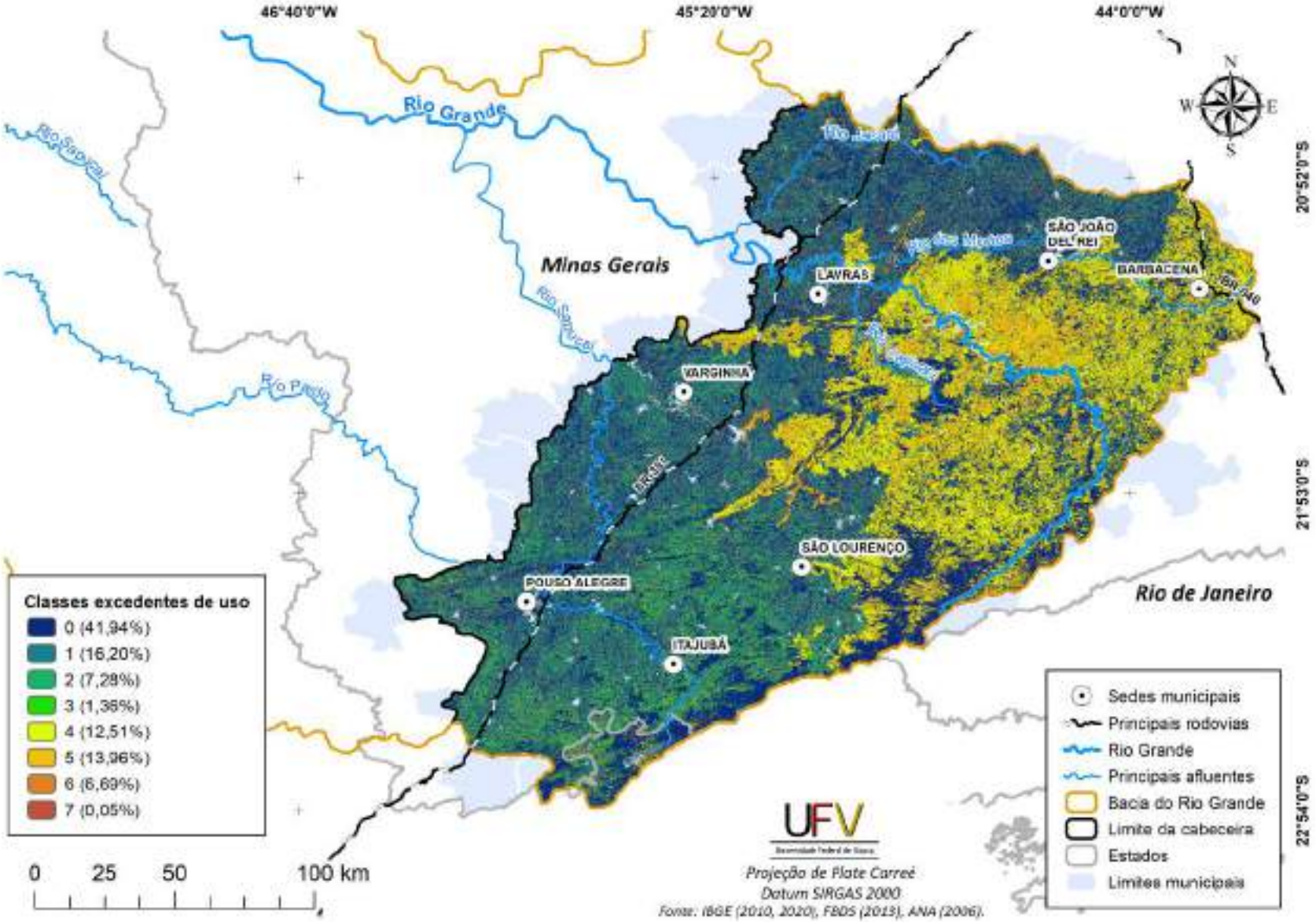

Figura 1.17. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

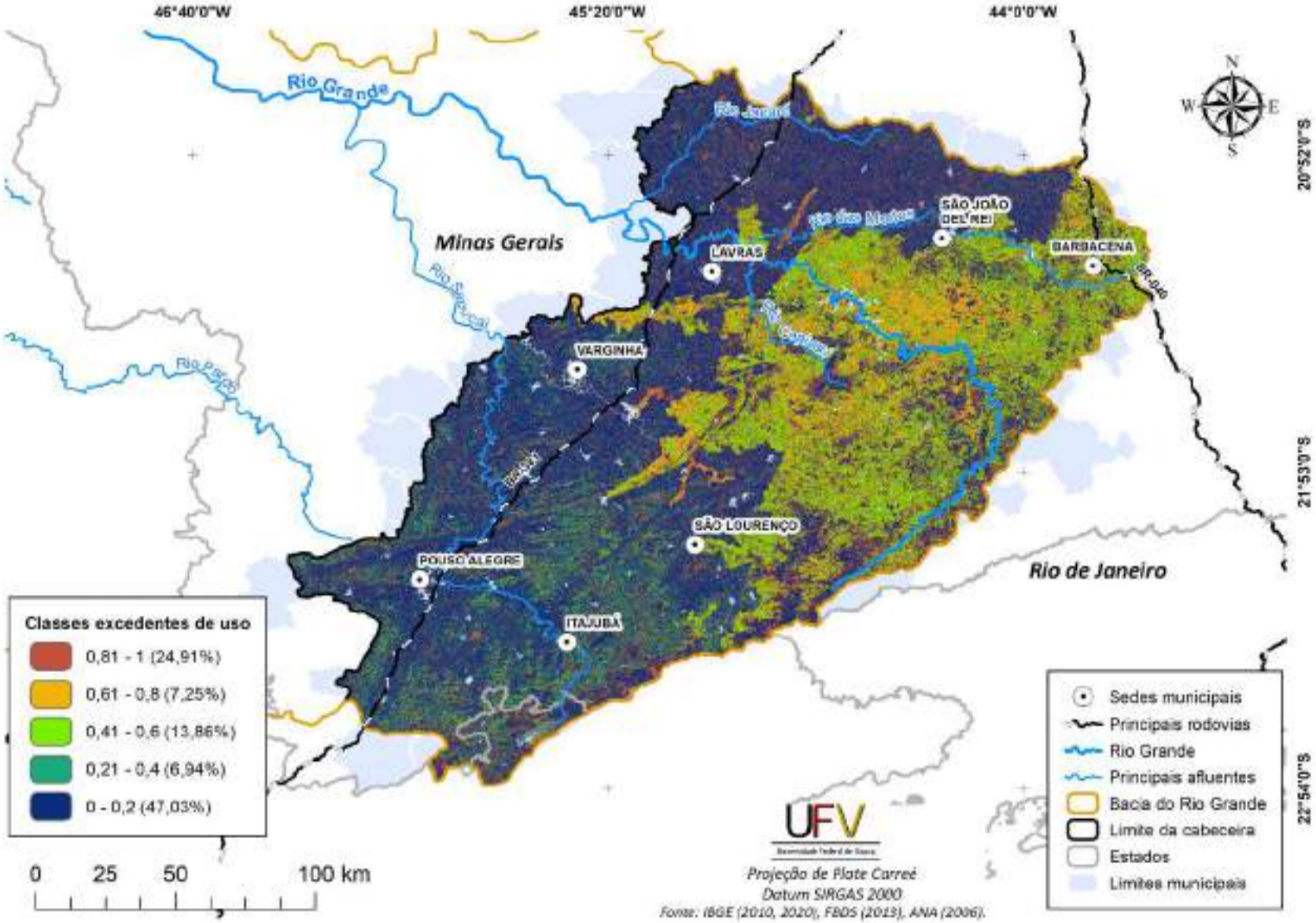

Figura 1.18. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, reescalonado de 0 a 1.

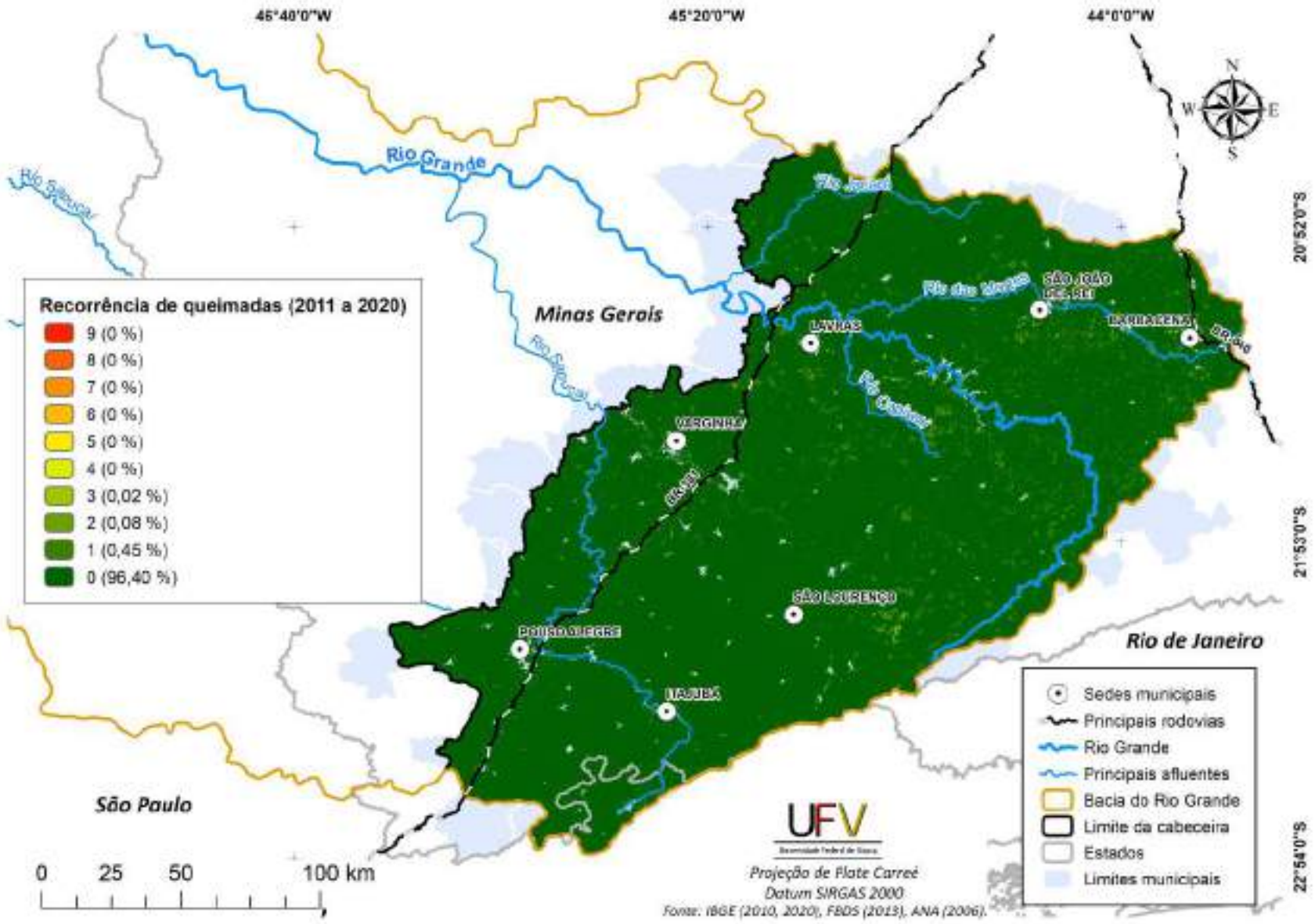

Figura 1.19. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

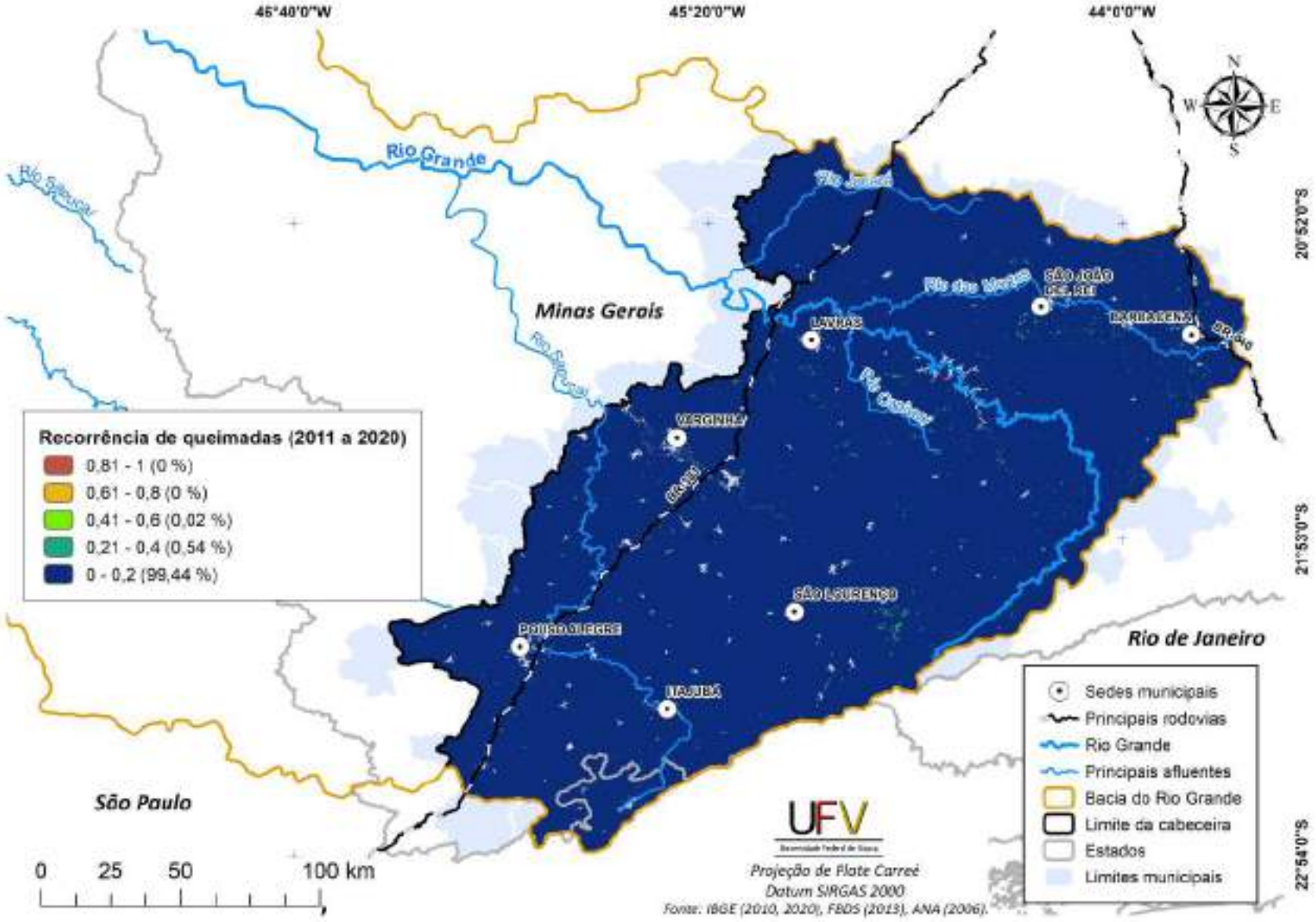

Figura 1.20. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, reescalonado de 0 a 1.

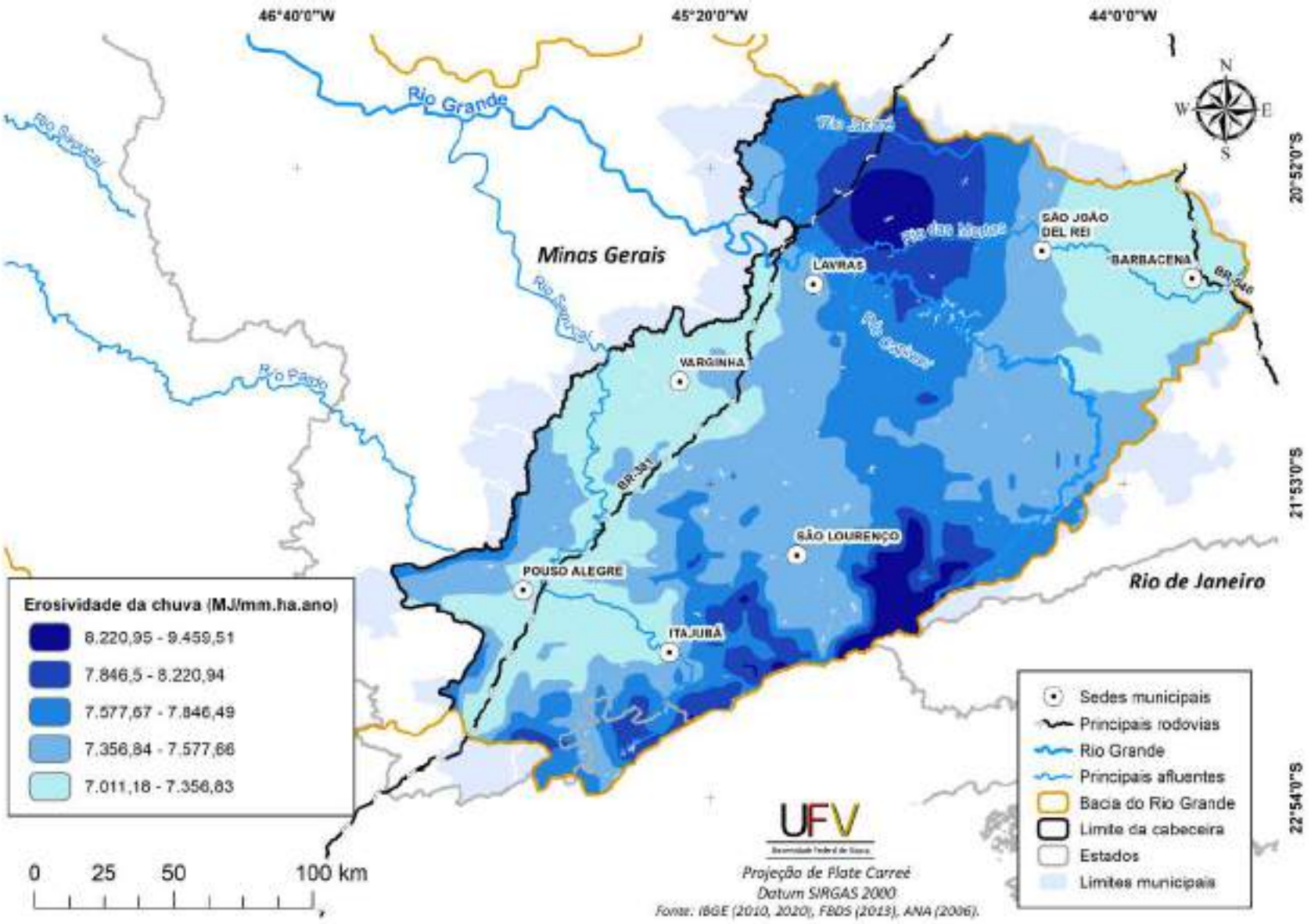

Figura 1.21. Mapa da erosividade da chuva na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

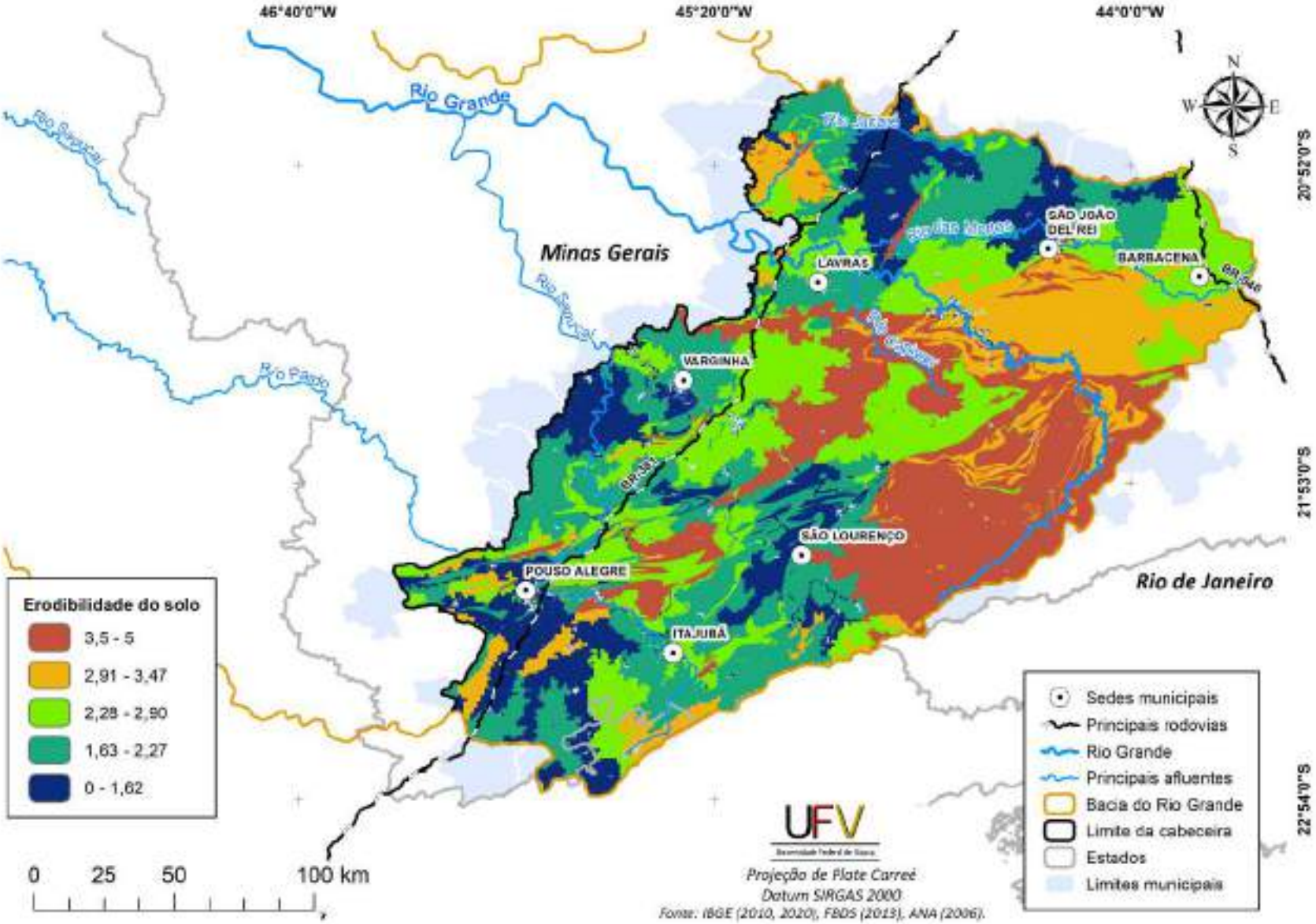

Figura 1.22. Mapa da erodibilidade do solo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

está relacionada, principalmente, à presença de Cambissolos Háplicos, sobre Xistos e Quartzitos dos Complexos Andrelândia, e a Cambissolos Háplicos associados a Neossolos Litólicos sobre rochas quartzíticas do complexo Carrancas. A elevada susceptibilidade à erosão observada se deve à pedogênese incipiente dos solos que apresentam uma profundidade efetiva rasa, e um grau de desenvolvimento estrutural fraco ou moderado. Estes aspectos intrínsecos ao solo, somados ao uso predominantemente marcado pelas pastagens e às declividades elevadas, tornam esta porção da bacia a mais susceptível à erosão.

Conforme já apresentado anteriormente nas **Figuras 1.5** e **1.6**, a declividade na bacia do rio Grande variou de 0 a 326,7%, com a maior parte da cabeceira (44,96% da área total) classificada em relevo ondulado, sendo que as áreas mais declivosas se encontram na região sul da bacia, marcada pela presença de rochas intensamente metamorfizadas como gnaisses e migmatitos do Complexo Varginha-Guaxupé, que representam a parte sul dos flancos ocidentais da Serra da Mantiqueira.

Na porção centro-norte da bacia ocorre outra área importante quanto à susceptibilidade à erosão, condicionada também pela ocorrência de Cambissolos Háplicos desenvolvidos sobre rochas metamórficas, principalmente gnaisses, do Complexo Piedade. Nesta área os Cambissolos Háplicos ocorrem de forma mais pronunciada em feições côncavas do relevo, associando-se a Latossolos Vermelho-Amarelos, que ocorrem em porções mais convexas.

Na **Figura 1.23** está o mapa de susceptibilidade à erosão na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande. Observa-se que as áreas com maior susceptibilidade à erosão são aquelas situadas nas partes central e sudeste da cabeceira, onde se encontram os maiores índices pluviométricos e as unidades pedológicas com maior susceptibilidade à erosão, como os Cambissolos Háplicos sobre Quartzitos e Granitos. No entanto, na região sul da cabeceira da bacia, também é observada uma área com grande susceptibilidade aos processos erosivos, devido à alta declividade do relevo neste local e a presença de Xistos do complexo Andrelândia, consideradas unidades geológicas com maior susceptibilidade à erosão.

1.2.4. BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

Na **Figura 1.24** está o balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, disponibilizado pela ANA (2022), e na **Figura 1.25** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que cerca de 88,4% da área da cabeceira da bacia possui disponibilidade hídrica excelente ou confortável, enquanto menos de 11,6% da área têm disponibilidade preocupante, crítica ou muito crítica. As sub-bacias com piores disponibilidades hídricas são aquelas localizadas próximas aos centros urbanos, onde as demandas para abastecimento humano e usos industriais são maiores.

1.2.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP

Na **Tabela 1.3** está a matriz de comparação dos critérios obtida pela análise de especialistas da UFV e utilizada na obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Grande e na **Tabela 1.4** está a estimativa da importância relativa dos critérios (pesos finais).

O Coeficiente de Consistência (CR), utilizado para verificar a consistência dos pesos nos julgamentos dos especialistas, indica a probabilidade de que os valores da matriz tenham sido gerados aleatoriamente, sendo que a matriz que possui um CR maior que 0,10 deve ser reavaliada (SAATY, 1980). Na presente análise o valor encontrado de CR foi de 0,02, mostrando a consistência na definição dos pesos.

Na **Figura 1.26** está o mapa final do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) na bacia do rio Grande. O mapa foi subdividido em 5 classes de igual área de acordo com o valor do IVA, sendo elas: muito baixo, baixo,

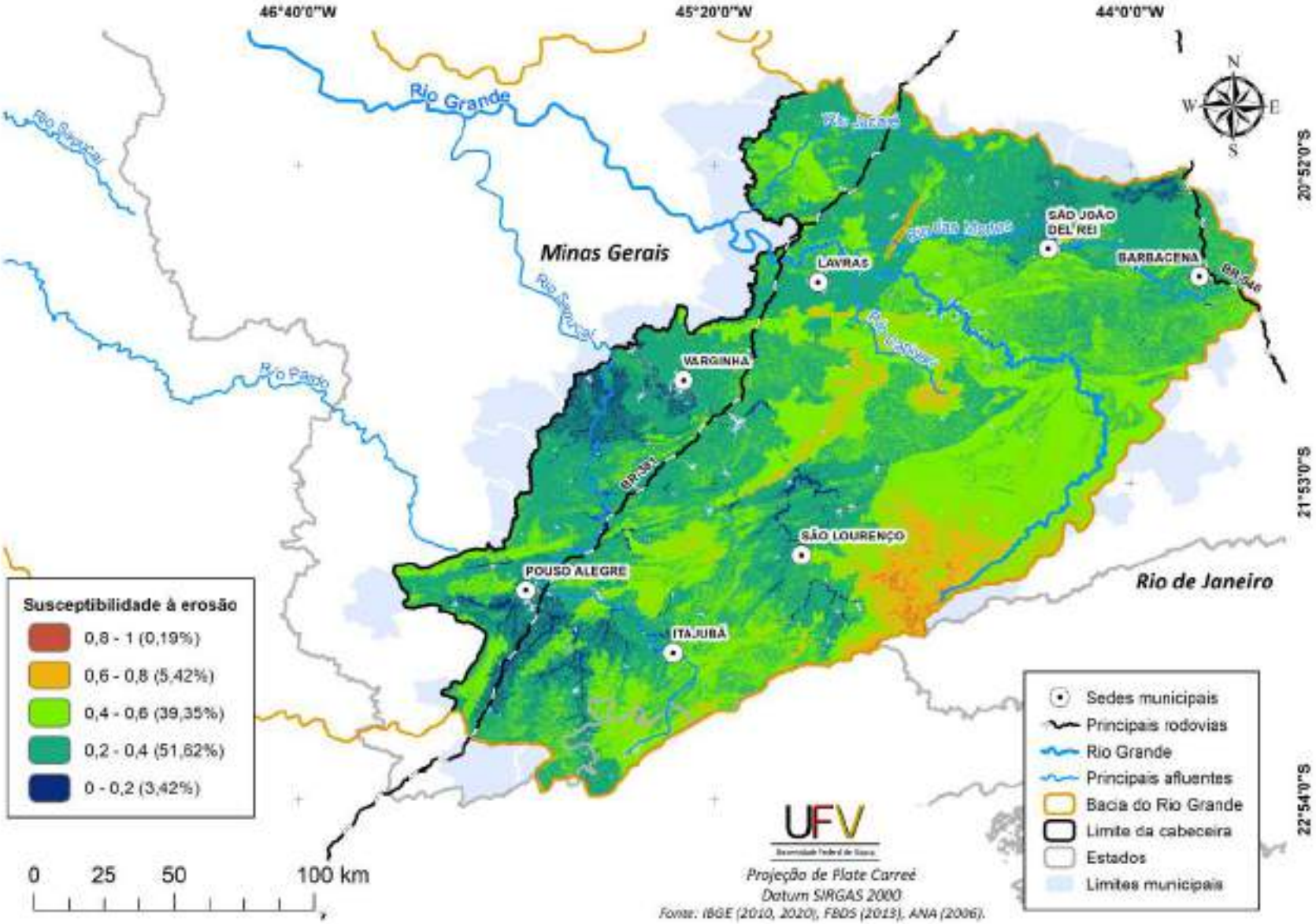

Figura 1.23. Mapa da susceptibilidade à erosão na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

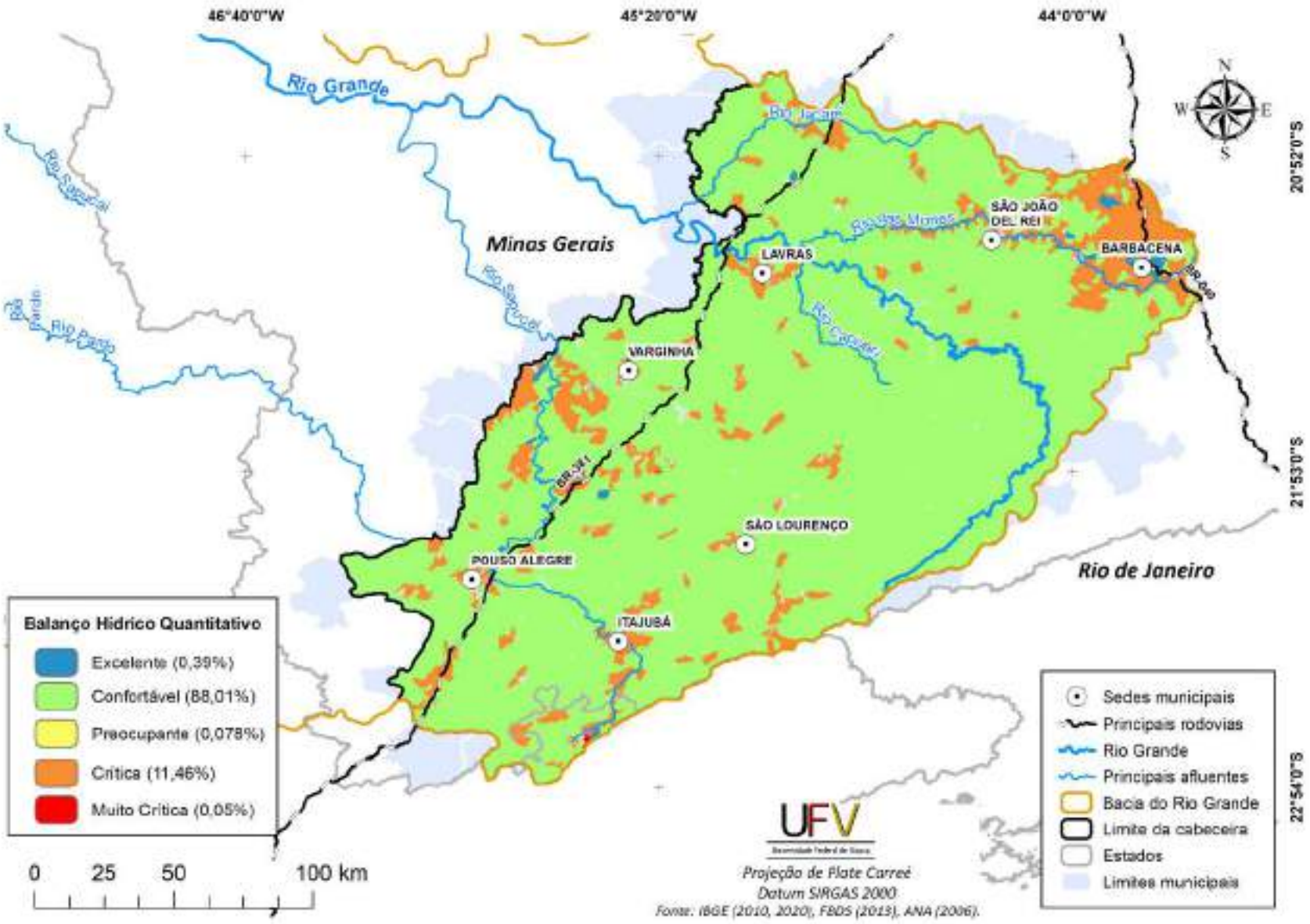

Figura 1.24. Mapa do balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

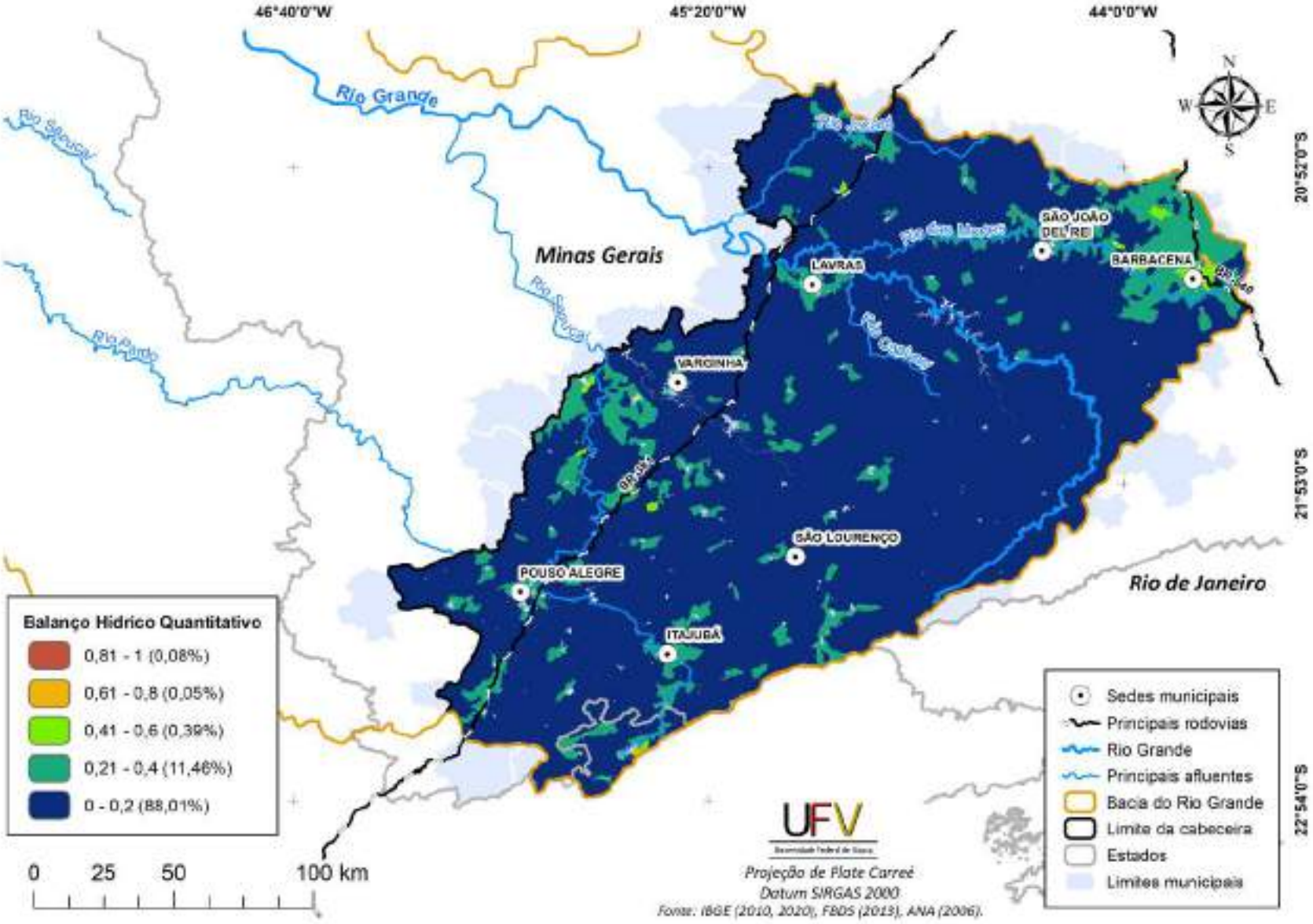

Figura 1.25. Mapa do balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, reescalonado de 0 a 1.

Tabela 1.1. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

Pesos relativos AHP	Adequação do Uso da Terra	Susceptibilidade à Erosão	Área Queimada	Balanço Hídrico Quantitativo
Adequação do Uso da Terra	1,00	0,50	7,00	4,00
Susceptibilidade à Erosão	2,00	1,00	7,00	4,00
Área Queimada	0,14	0,14	1,00	0,50
Balanço Hídrico Quantitativo	0,25	0,25	2,00	1,00

Tabela 1.4. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

Critério	Pesos finais (%)
Adequação do Uso da Terra	34,8
Susceptibilidade à Erosão	48,8
Área Queimada	5,7
Balanço Hídrico Quantitativo	10,7

médio, alto e muito alto. Observa-se que as áreas com maiores valores de IVA estão relacionadas, principalmente, às áreas com solos altamente erodíveis, como Cambissolos Háplicos e com altas declividades, sendo utilizados para usos como pastagens e plantio agrícola, localizadas na região nordeste da bacia.

Além disso, verificam-se também altos valores de IVA nas áreas com maior número de classes excedentes, associadas à presença de solos altamente erodíveis, áreas declivosas, usos e coberturas como pastagem, solo exposto e plantio agrícola em Áreas de Proteção Permanente (APP) e Reserva Legal. Nota-se também, nas áreas com altos valores de IVA, a influência das sub-bacias classificadas como Muito Críticas e Críticas em relação à disponibilidade hídrica, localizadas na região norte da bacia e próximas aos centros urbanos.

Como a variável área queimada recebeu um peso inferior às demais variáveis (5,7%), sua influência no mapa final do IVA é menos expressiva, sendo notada, principalmente, nas áreas com maior frequência de queimadas, que ocorrem nas proximidades dos municípios de Lavras, São João del Rei e Barbacena, localizados na porção baixa da bacia.

1.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS

Dada a metodologia utilizada (ver Caderno Metodológico), para a operacionalização do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), são apresentados os seus resultados para a Cabeceira da Bacia do Rio Grande. O IVS foi obtido sob duas óticas: com dados do Censo Demográfico (IVSCD), contemplando noções sobre as áreas urbana e rurais dos setores censitários dos municípios, e com dados do Censo Agropecuário (IVSCA), abrangendo conhecimentos sobre a produção e condições do meio rural da área de estudo. Por fim, foi considerado um IVS final (IVS), considerando o rural e o urbano em conjunto.

Importante mencionar que o IVS, independentemente se o urbano ou rural, foram convertidos em uma escala de 0 a 1, a fim de padronização, para criar um conjunto de índices em um intervalo de medição semelhante, sendo que o valor "1" é atribuído a setores censitários de vulnerabilidade muito alta e o valor "0" atribuído à vulnerabilidade muito baixa.

1.3.1. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO DEMOGRÁFICO)

Inicialmente, ao considerar o IVS do Censo Demográfico, é importante relatar que para esta cabeceira, esse índice foi formado por três componentes principais (gerados por **matriz de correlação**[1] na técnica estatística de Aná-

1 A correlação é um cálculo estatístico que torna possível a comparação de dois grupos de dados com valores padronizados, entendendo-se como eles se relacionam entre si (FREUND, 2006).

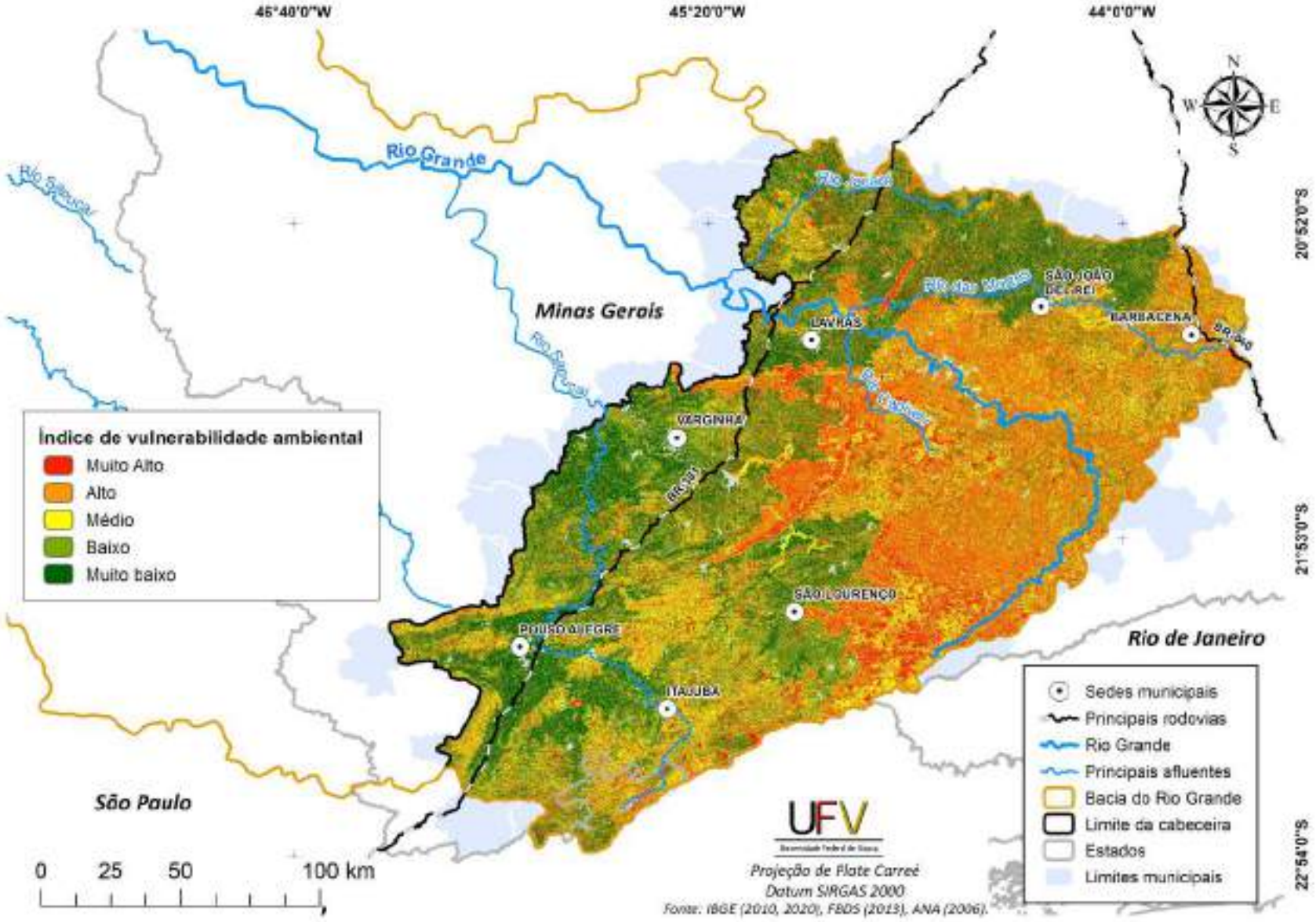

Figura 1.26. Mapa do índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

lise de Componentes Principais), que representam, de forma geral, as explicações das variações totais das variáveis originais utilizadas (para este índice, os três componentes explicam 77,7% da variância total das variáveis originais). Para esses componentes, na operacionalização, cada um deles possui um peso[2] de participação na composição do IVSCD, a saber: Componente 1 (peso de 0,53); Componente 2 (peso de 0,12), e Componente 3 (peso de 0,35). A soma desses pesos é igual a 1 ou 100%.

No contexto da análise de PCA realizada para o IVSD, o componente 1 foi responsável por aproximadamente 52% da variação total dos dados, indicando que ele apresentou a maior proporção explicativa entre as dimensões pensadas, seguido dos outros dois componentes 2 e 3, que obtiveram 17% e 9%, respectivamente, para a variação total dos dados. Indicando-se que o primeiro componente apresentou maior proporção explicativa entre as dimensões consideradas para o IVSD. Posto isto, os resultados desse índice estão dispostos na **Figura 1.27**.

Conforme já mencionado, o IVS Censo Demográfico foi dividido em cinco classes de igual área pelo método *quantile*, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto índice de vulnerabilidade social. Como resultado preponderante, aproximadamente 46,7% dos setores censitários desta cabeceira estão na classe de vulnerabilidade social baixa e muito baixa, enquanto 45,5% estão na classe vulnerabilidade social média. As outras classes tiveram percentuais baixos de quantidade de setores censitários. Com a média de 0,42, os resultados do IVSCD estão próximos aos encontrados no diagnóstico socioeconômico. Mesmo com metodologias diferentes, os achados do IVSCD ratificam a situação moderada de desenvolvimento dos territórios da cabeceira desta bacia.

1.3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO AGROPECUÁRIO)

Além do IVS Censo Demográfico, foi operacionalizado o IVS Censo Agropecuário, com a média de 0,42, os resultados do IVSCA corroboram aos encontrados no diagnóstico socioeconômico. Os pesos para os componentes principais obtidos foram os seguintes (também gerados pela matriz de correlação): Componente 1 (peso de 0,25); Componente 2 (peso de 0,25), Componente 3 (peso de 0,25) e Componente 4 (peso de 0,25).

No contexto da análise de PCA realizada para o IVSCA, os quatro componentes explicam 72,9% das variações totais das variáveis originais. O componente 1 foi responsável por aproximadamente 42% da variação total dos dados, indicando que ele apresentou a maior proporção explicativa entre as dimensões pensadas, seguido dos outros três componentes 2, 3 e 4, que obtiveram 15%, 9% e 8%, respectivamente, para a variação total dos dados. Indicando-se que o primeiro componente apresentou maior proporção explicativa entre as dimensões consideradas para o IVCA. Na **Figura 1.28** está apresentado o mapa do IVSCA da cabeceira da Bacia do Rio Grande.

Sobre os resultados encontrados, a maioria dos setores censitários analisados está concentrada nas classes de vulnerabilidade social baixa e muito baixa, 35,0%, e de vulnerabilidade social média, com 53,6%. Por outro lado, as classes de vulnerabilidade social alta (11,2%), vulnerabilidade social muito baixa (2,3%) e vulnerabilidade social muito alta (0,2%) foram as que tiveram as menores participações dos setores. Tal cenário observado demonstra similaridade no nível de desenvolvimento destes locais para o meio rural em consonância ao IVSCD.

1.3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS)

Por fim, na **Figura 1.29**, está apresentado o IVS Final, que considera em conjunto as informações urbanas e

2 Sobre esses pesos e os seus componentes principais, eles apresentam propriedades importantes, sendo: "cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados" (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p. 83-84).

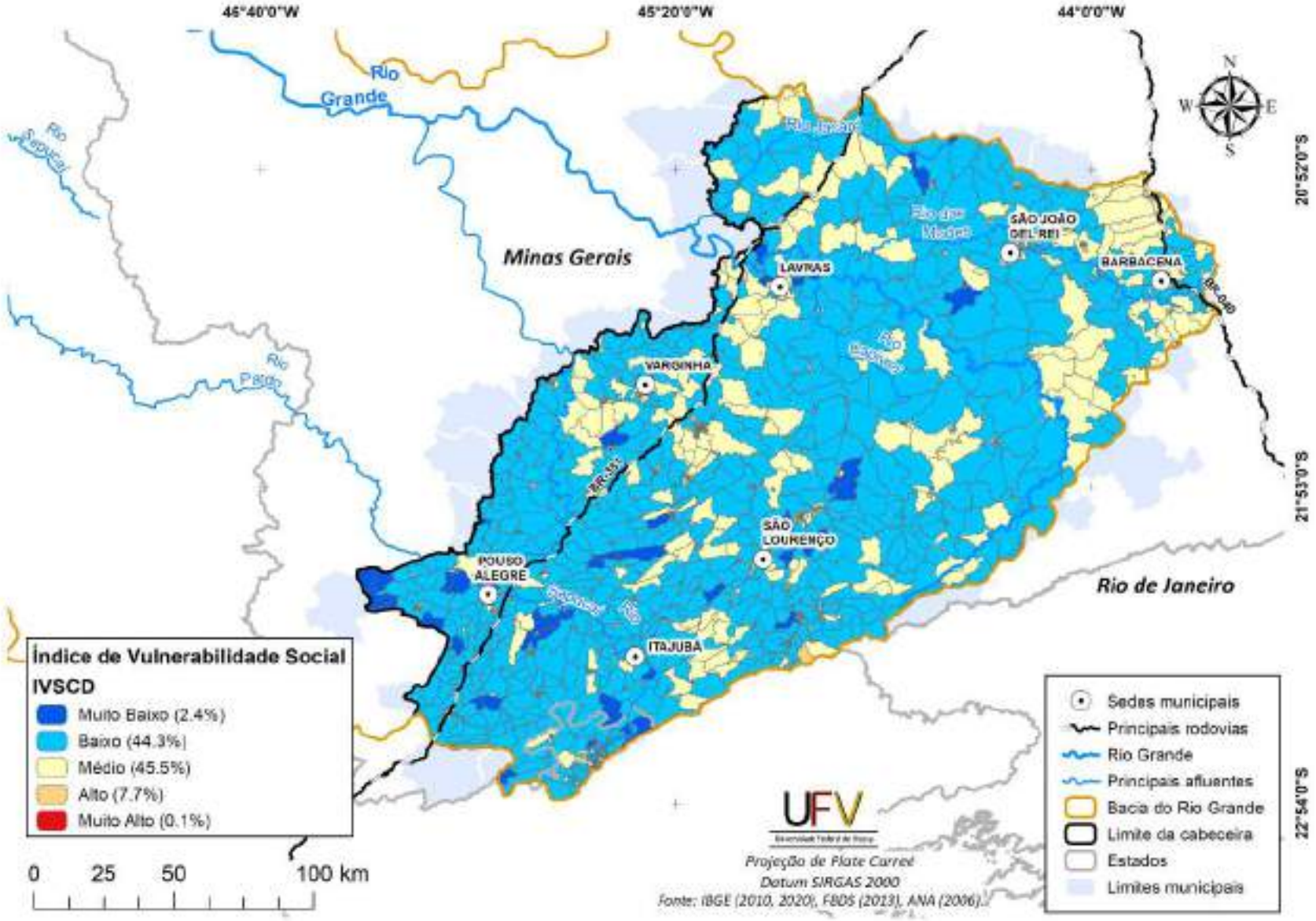

Figura 1.27. Mapa do IVS Censo Demográfico na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.
Fonte: IBGE, Censo Demográfico, 2010

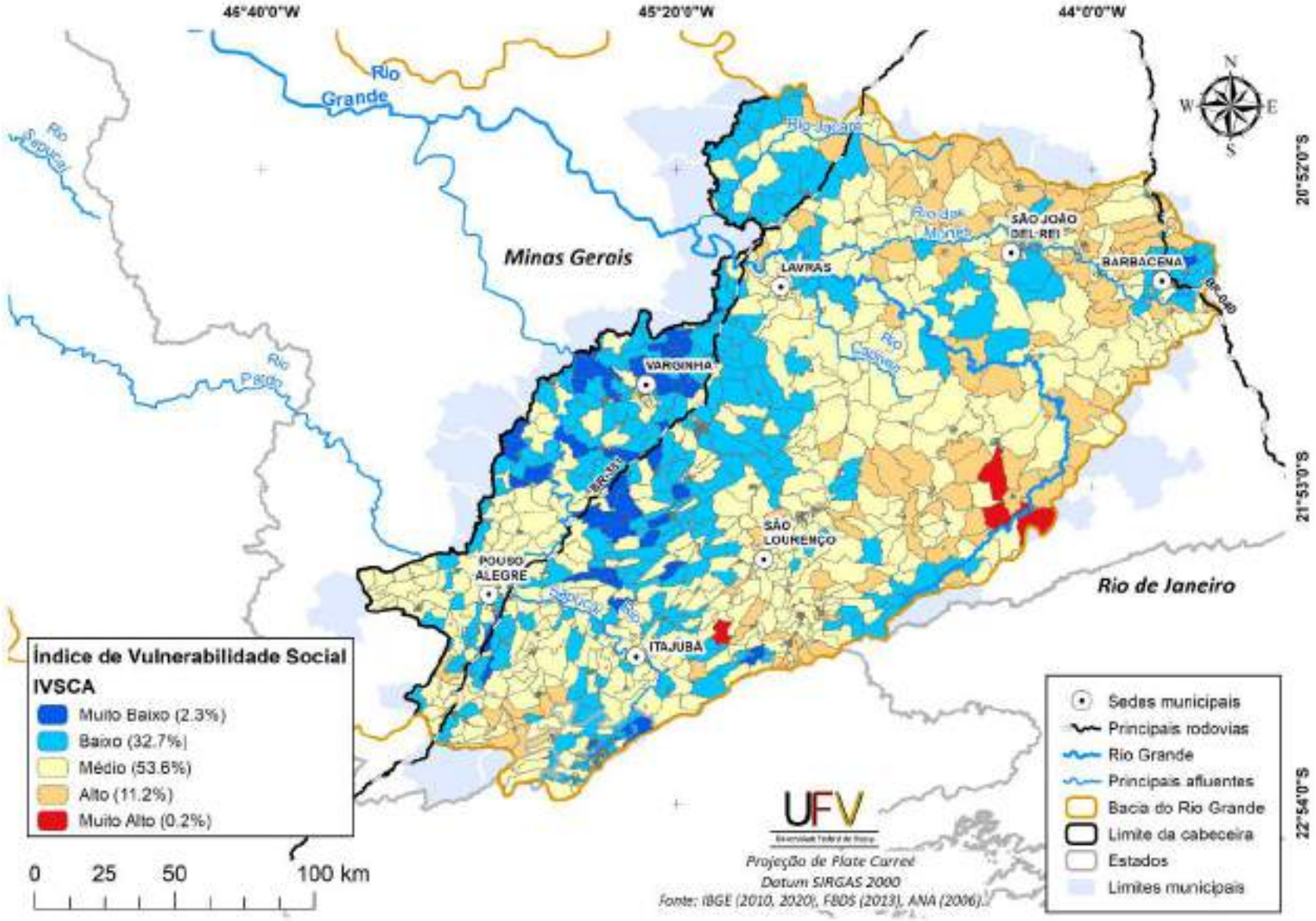

Figura 1.28. Mapa do IVS Censo Agropecuário na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.
Fonte: IBGE, Censo Demográfico, 2010

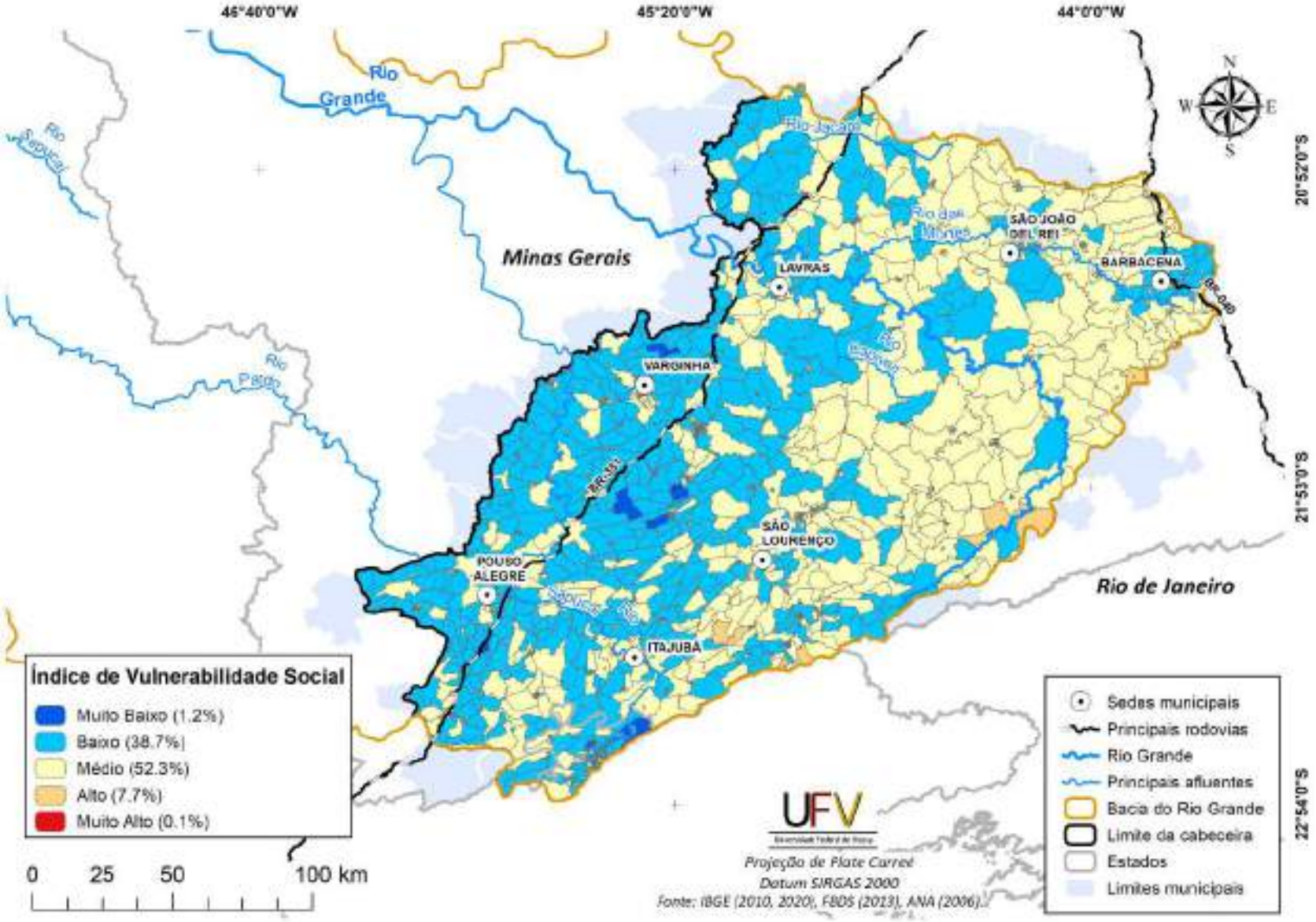

Figura 1.29. Mapa do IVS Final Vulnerabilidade Social na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.
Fonte: IBGE, Censo Agropecuário, 2017, e Censo Demográfico, 2010.

rurais dos setores censitários. Para a ponderação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) na região da cabeceira do rio Grande, foram consideradas as características e distribuições dos resultados obtidos a partir dos dados dos IVS Censo Demográfico e do Censo Agropecuário. Após simulações e ponderações feitas por especialistas das áreas das ciências sociais, econômicas e agrárias, foi atribuído um peso igual para cada um dos índices. A utilização desses pesos está atrelada à finalidade da elaboração deste índice, que é a intervenção e a restauração de áreas rurais específicas (mas que também são relacionadas e dependentes das áreas urbanas que as circundam).

Conforme mencionado, o IVS Final é dividido em cinco classes de área igual pelo método *quantile*. A média do IVS foi de 0,43415 e como já percebido nos IVS(s) em separado, as classes de vulnerabilidade social médio e baixo e muito baixo vulnerabilidade foram as com maiores participações nos resultados, correspondendo a aproximadamente 91%, dos setores censitários para esse índice. Isso demonstra e reforça que a vulnerabilidade social, nesta cabeceira, tem a tendência de condições moderadas, similar ao observado no diagnóstico socioeconômico com dados mais atuais, o que notadamente valida os resultados obtidos.

Na região da cabeceira da bacia do Grande, observa-se que as áreas urbanas e rurais apresentam condições semelhantes de desenvolvimento, isso é decorrente das atividades desenvolvidas localmente, como a produção de café e a pecuária leiteira. Nas regiões de relevo movimentado, com áreas de encostas íngremes, composto pelas Serras da Mantiqueira, dentre outras, onde a aptidão para a agricultura é limitada, favorece outras atividades, como o turismo.

Esses setores econômicos têm impactos nos ambientes rurais e nas cidades, com impactos diretos e indiretos nas pessoas. Contudo, nas regiões mais ao sul, nos limites de Minas Gerais com o Estado de São Paulo, estão concentradas as áreas menos vulneráveis. Áreas com indicadores favoráveis de vulnerabilidade também estão próximas aos municípios de Varginha, Lavras e Três Corações no estado de Minas Gerais. Por outro lado, ao norte, no estado de Minas Gerais, estão as áreas com os maiores indicadores de vulnerabilidade da área da cabeceira.

1.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA

Para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da bacia do rio Grande, foi calculada a média ponderada entre os resultados obtidos no cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) (**Figura 1.26**) e do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) (**Figura 1.29**). Após avaliações de distintos cenários, levando em consideração a literatura sobre o tema (SAATY; VARGAS, 2000; 2006), a experiência da equipe em trabalhos similares e as características socioambientais da cabeceira da bacia do rio Grande, confirmadas por meio das campanhas de campo realizadas pela equipe da UFV, foi definido o peso de 0,8 e 0,2 para o IVA e o IVS, respectivamente, para a obtenção do IVSA (**Figura 1.30**).

1.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE

As Áreas Prioritárias para recuperação ambiental nas sub-bacias da cabeceira do rio Grande totalizaram 429.261 ha. Desse total, 244.005 ha (56,8%) são de Muito Alta prioridade e 185.256 ha (43,1%) de Alta prioridade (**Figura 1.31**). Em relação ao uso do solo em Áreas Prioritárias, 256.258 ha (59,7%) estão sob pastagens e 173.003 ha (40,3%) sob usos agrícolas com culturas temporárias (**Figura 1.32**).

Do ponto de vista da recarga hídrica, 281.117 ha (65,5%) das Áreas Prioritárias para recuperação estão em áreas com maior potencial de recarga, denomina-

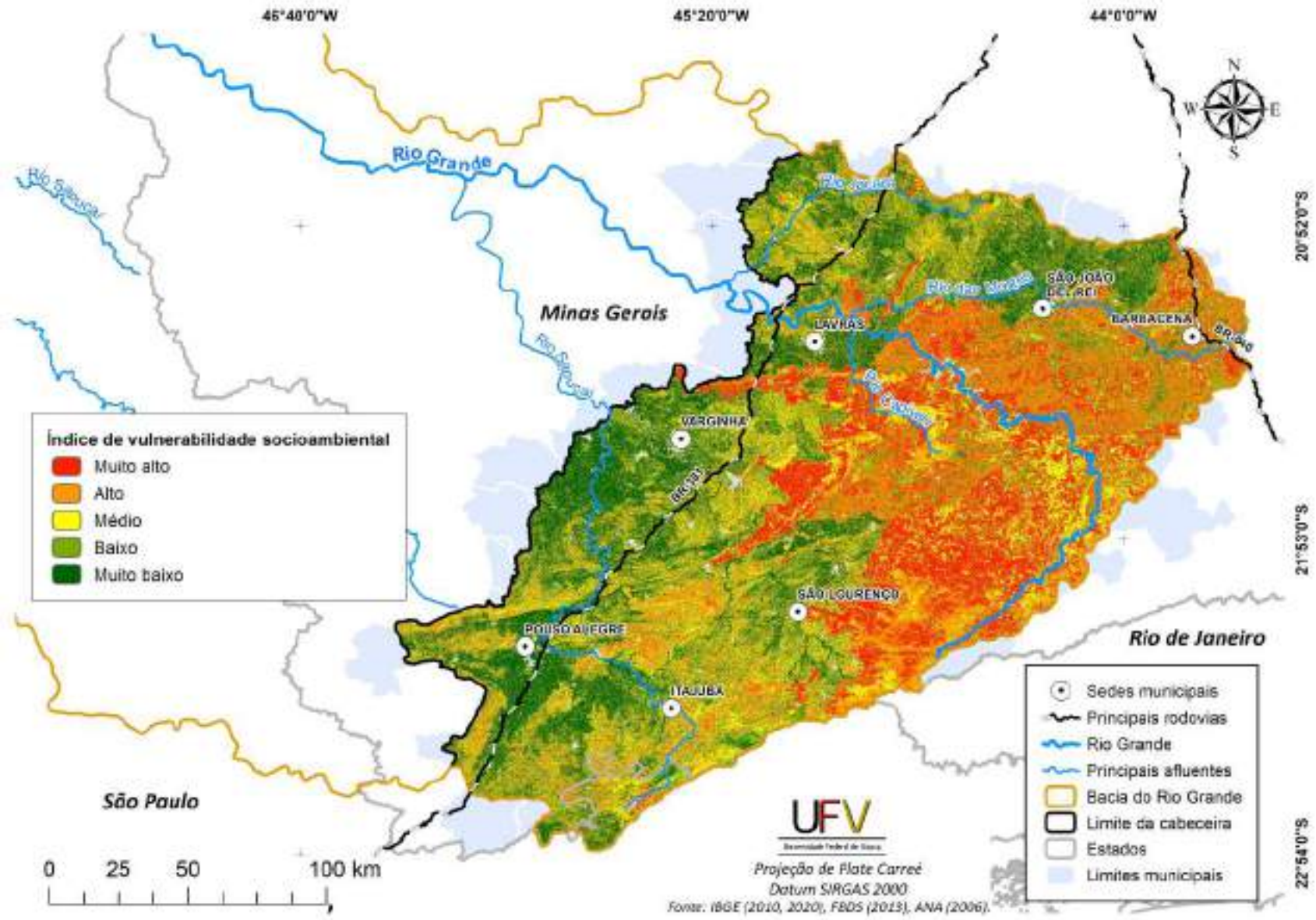

Figura 1.30. Mapa de classes do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

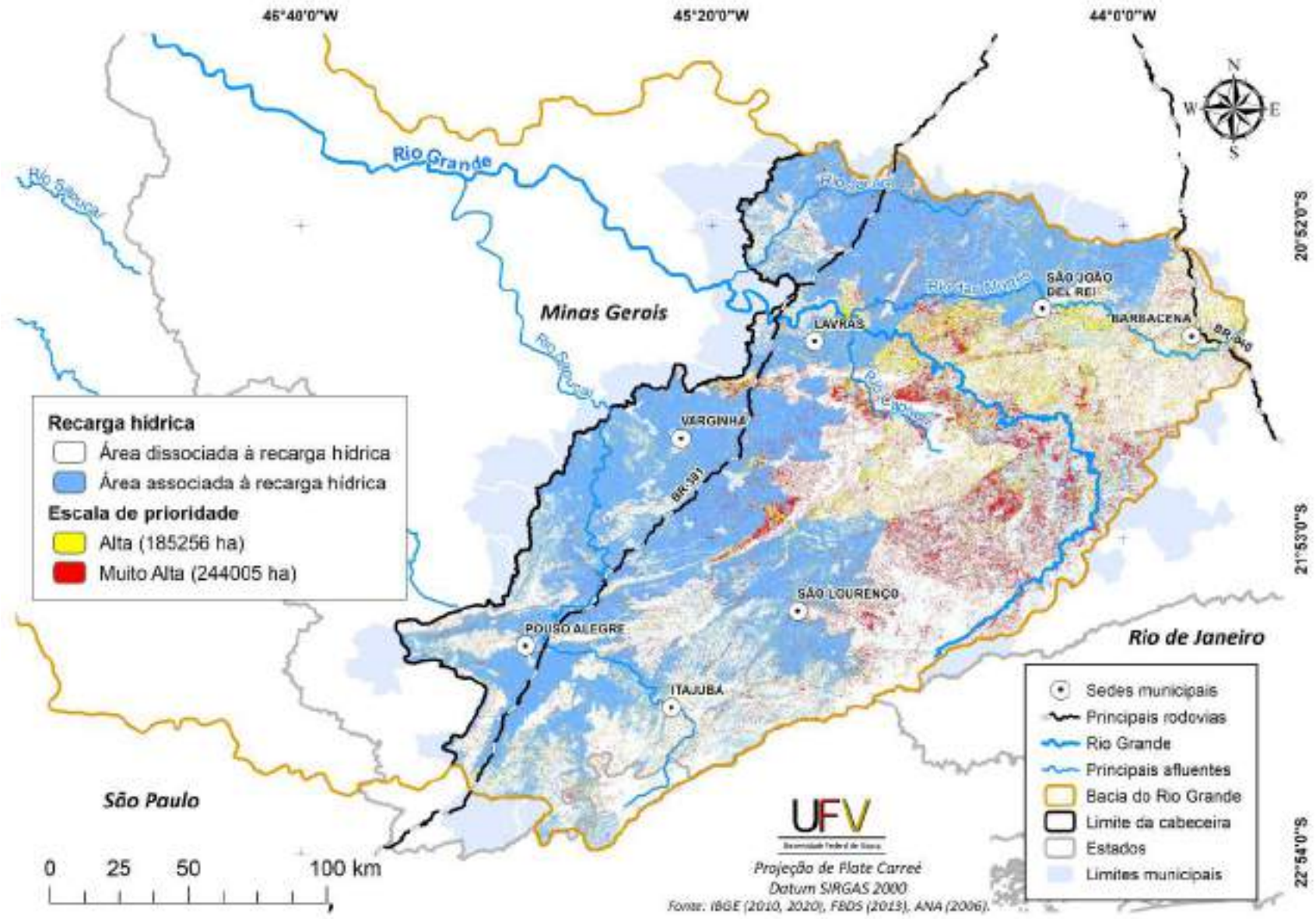

Figura 1.31. Mapa de escala das áreas prioritárias (Alta e Muito Alta) para recuperação ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

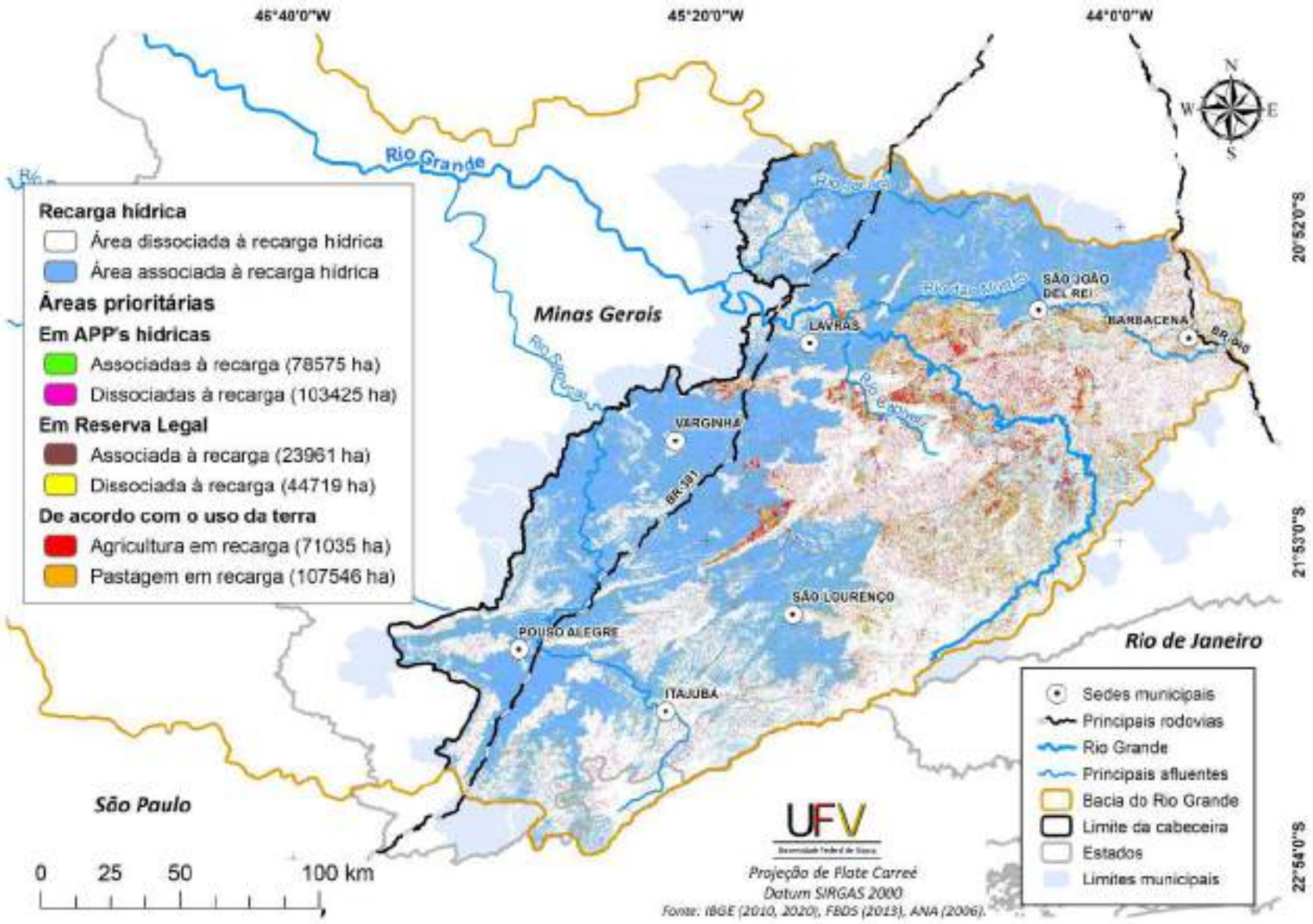

Figura 1.32. Mapa dos grupos de áreas prioritárias (APPs Hídricas, Reserva Legal, Pastagem em Recarga e Agricultura em Recarga) para recuperação ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

das de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica e 148.144 ha (34,5%) sob áreas com menor potencial de recarga ou Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica.

Das Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, 78.575 ha estão em APPs Hídricas, 23.961 ha em Reserva Legal, 107.546 ha em Pastagem em Recarga e 71.035 ha em Agricultura em Recarga (**Figura 1.33**). Dentre as Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica, 103.425 ha estão em APPs Hídricas e 44.719 ha em Reserva Legal (**Figura 1.34**).

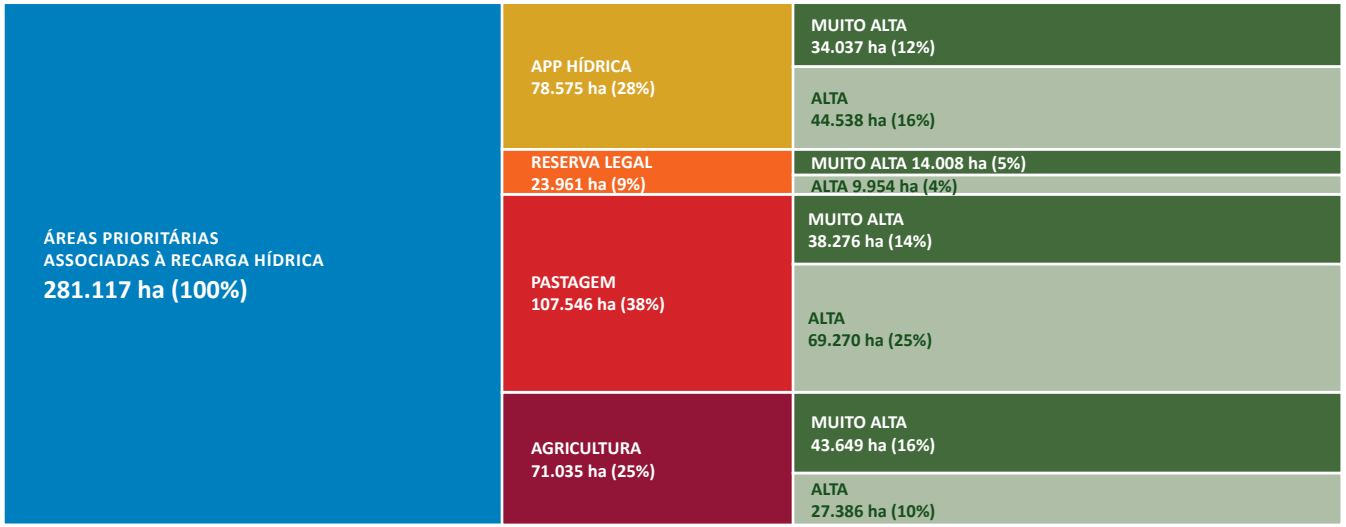

Figura 1.33. Total de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em recarga e Agricultura em recarga) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

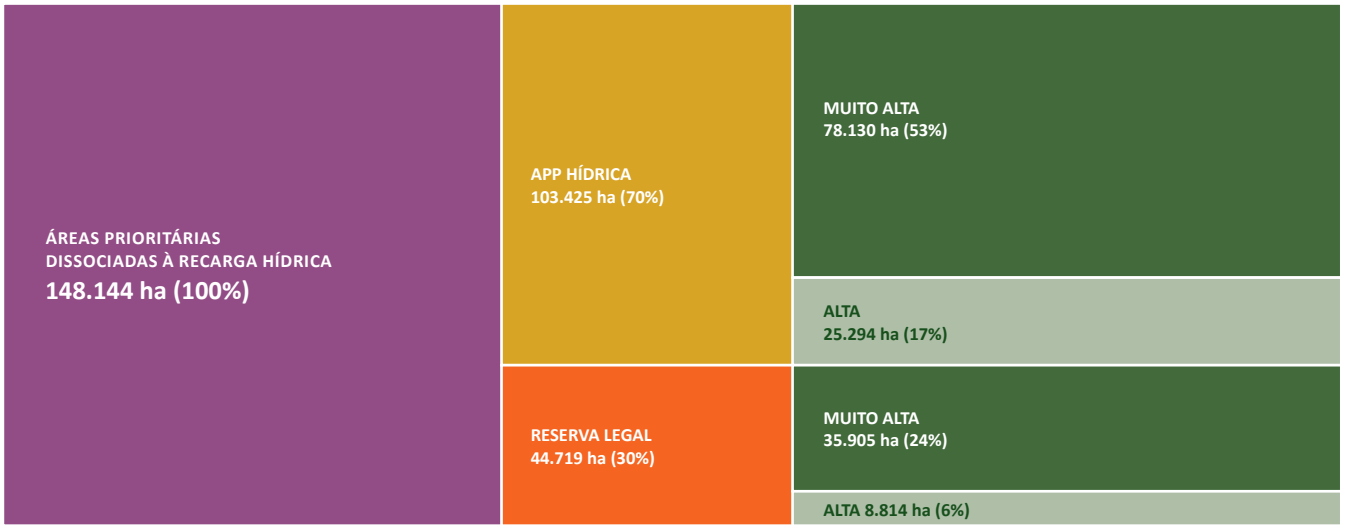

Figura 1.34. Total de Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica e Reserva Legal) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande.

2. PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA

2.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA

2.1.1. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

A precipitação média anual na cabeceira da bacia do rio Paranaíba, no período entre 2001 e 2020, variou entre 1.361 e 1.628 mm ano^{-1} (**Figura 2.1**), uma amplitude de apenas 267 mm ano^{-1} entre as regiões de maior e menor precipitação. As regiões com menor precipitação se localizam no estado de Goiás, principalmente na região de Catalão - GO e, no estado de Minas Gerais, na região próxima ao município de Paracatu - MG. Já as áreas de maior precipitação estão localizadas nas regiões do município de Patrocínio - MG e no limite sul da bacia até Araguari - MG.

A evapotranspiração média anual na cabeceira da bacia do rio Paranaíba variou entre 35 e 1.253 mm ano^{-1}. As maiores taxas de evapotranspiração estão associadas aos fragmentos de formações florestais e aos cultivos perenes, principalmente eucalipto e café, encontrados na região entre Patrocínio - MG e Araguari - MG e em outras áreas da cabeceira da bacia. Os valores menores e intermediários estão associados às áreas formadas por pastagens e solo exposto localizados, principalmente, na porção norte da cabeceira (**Figura 2.2**).

O balanço hídrico climatológico médio anual, no período de 2001 a 2020, variou entre 274 e 1.258 mm ano^{-1} (**Figura 2.3**). As áreas com BHC médio anual mais favorável, acima de 965 mm ano^{-1}, representou 16,41% do total da área da cabeceira da bacia do rio Paranaíba, enquanto o intervalo mais representativo foi entre 873 e 964 mm ano^{-1}, que correspondeu a 29,91% da área total. As áreas com até 671 mm ano^{-1} representam ape-

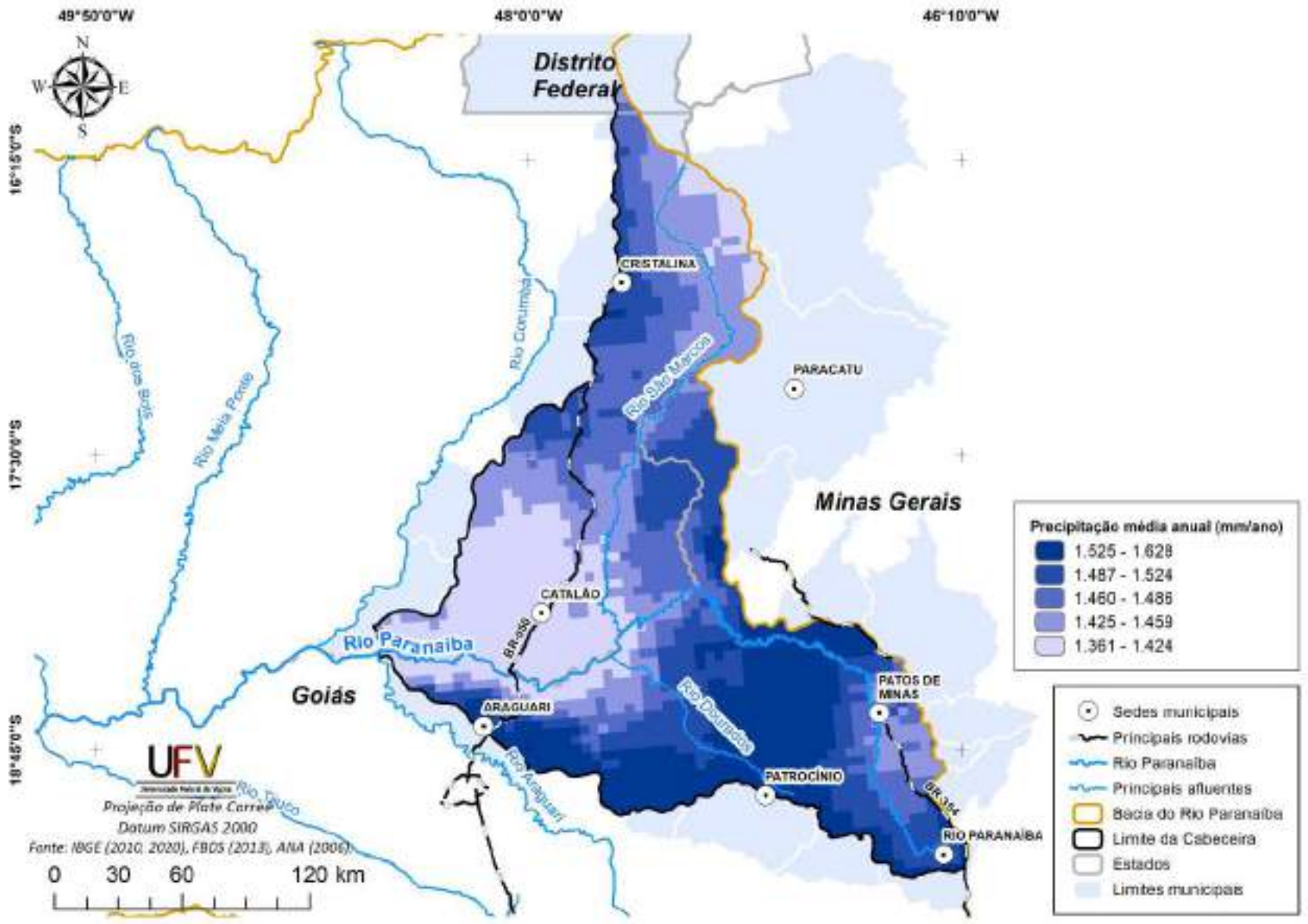

Figura 2.1. Mapa de precipitação média anual (período de 2001 a 2020) na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

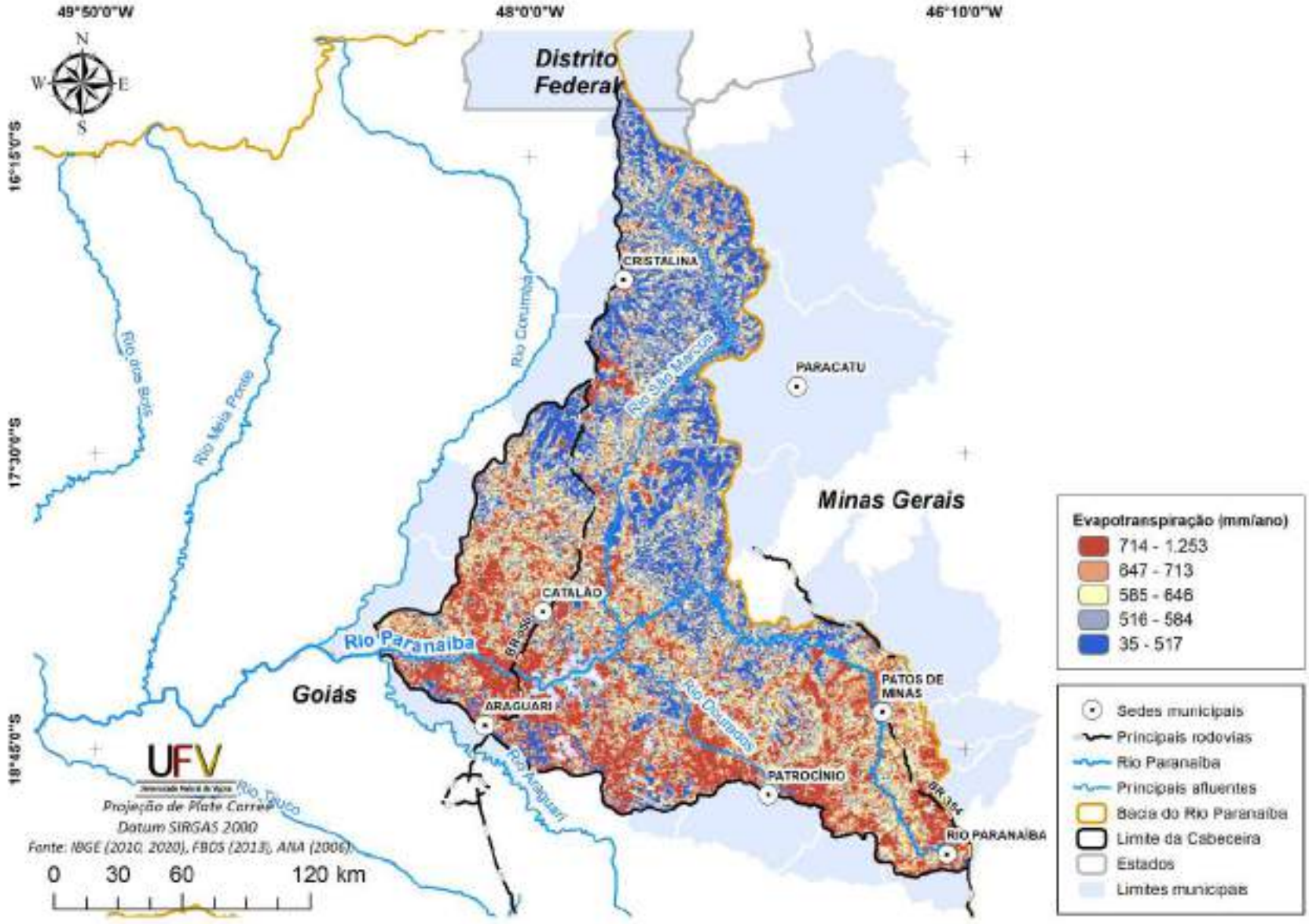

Figura 2.2. Mapa de evapotranspiração média anual (período de 2001 a 2020) na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

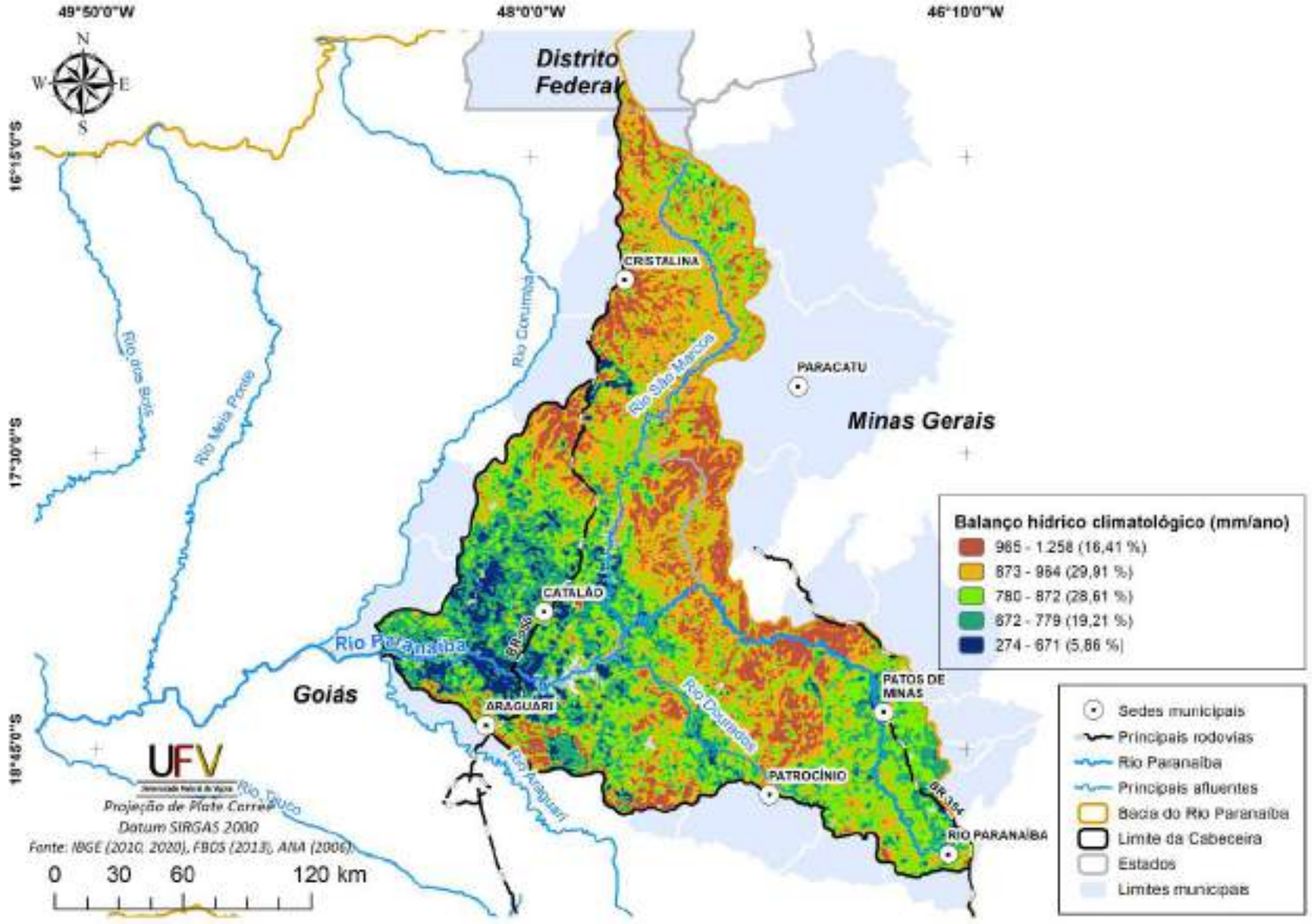

Figura 2.3. Mapa do balanço hídrico climatológico anual médio, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

nas 5,86% do total da área da cabeceira do rio Paranaíba e estão concentradas na região de Araguari - MG e Catalão - GO e, também na região próxima a nascente do rio Paranaíba, nos municípios de Rio Paranaíba, Patrocínio e Patos de Minas, em Minas Gerais. Ao reescalonar a variável BHC entre 0 e 1, a maior porção da área ficou concentrada entre 0,41 e 0,80, totalizando 92,06%, ou seja, predominando áreas com valores intermediários a mais favoráveis à recarga hídrica, do ponto de vista da disponibilidade de água para armazenamento (**Figura 2.4**).

2.1.2. DECLIVIDADE

As principais classes de relevo encontradas na cabeceira da bacia do rio Paranaíba são: suave ondulado (38,67%), ondulado (36,58%) e plano (18,17%) (**Figura 2.5**). O relevo forte ondulado está presente em 6,47% da área da cabeceira e as demais classes de relevo, escarpado e montanhoso, em apenas 0,2% da área total. A parte plana da cabeceira da bacia corresponde aos chapadões, enquanto as áreas declivosas estão principalmente associadas à ruptura de relevo, na borda dos chapadões presentes em toda a cabeceira. A declividade na área da cabeceira variou entre 0 e 101,7%, com média igual a 8,6% e desvio padrão de 6,7%. Desta forma, aplicando a regra do limite máximo para o reescalonamento, que corresponde à soma do valor médio mais três vezes o desvio padrão, a declividade máxima utilizada como referência para reescalonar os dados foi de 28,56%. Ao reescalonar a variável Declividade entre 0 e 1, a maior porção da área ficou concentrada entre 0,61 e 1,0, totalizando 74,35%, ou seja, em áreas mais favoráveis à recarga hídrica, do ponto de vista da declividade (**Figura 2.6**).

2.1.3. DISTÂNCIA À HIDROGRAFIA

Os valores da distância à hidrografia na cabeceira da bacia do rio Paranaíba variaram de 0 a 3.030 m (**Figura 2.7**). Aproximadamente 90% da área, no entanto, possui distâncias de até 724 m, enquanto apenas 2,42% da área está acima de 1.165 m de distância da hidrografia. Os menores valores de distância ocorrem principalmente na região à margem esquerda do rio Paranaíba, a partir de Patos de Minas - MG, incluindo a região do rio Dourados, próximo à Patrocínio - MG.

O valor médio da distância à hidrografia foi igual a 332,05 m, com desvio padrão de 302,90 m, portanto o valor máximo definido para a operação de reescalonamento do mapa foi igual a 1.240,85 m. Após o reescalonamento, nota-se que, para a variável Distância à Hidrografia, 78,01% da área da cabeceira possui valores abaixo de 0,4, portanto, com menor potencial de recarga hídrica e apenas 4,23% da área está acima de 0,81, localizadas nas áreas de chapadões da cabeceira da bacia do rio Paranaíba (**Figura 2.8**).

2.1.4. POTENCIAL PEDOHIDROLÓGICO À RECARGA HÍDRICA

Os solos predominantes na bacia do rio Paranaíba são os Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelos (**Figura 2.9**). Estes solos são oriundos, na bacia do Rio Paranaíba, de rochas metamórficas do mesoproterozóico e principalmente de rochas sedimentares do cenozóico e do terciário (neógeno) (**Figura 2.10**). Ocupam as porções mais suavizadas do relevo na forma de divisores tabulares, onde as características morfológicas e físicas destes solos bem desenvolvidos, como profundidade efetiva, elevada porosidade total e grau de desenvolvimento estrutural forte, que podem exercer forte influência sobre a infiltração e percolação de água. As classes de muito alto e alto potencial pedohidrológico à recarga hídrica ocupam 52,4% das áreas da cabeceira da bacia do rio Paranaíba (**Figura 3.11**). Contribuindo ainda com a classe de potencial pedohidrológico alto, encontra-se expressiva área de Plintossolos Pétricos concentrada no extremo norte da cabeceira do Rio Paranaíba. Esta classe de solo é importante nesta bacia, pois ocorre em condições de relevo mais suavizado e muitas vezes associada aos Latossolos. Além disso, são solos que, por terem uma constituição granulométrica composta

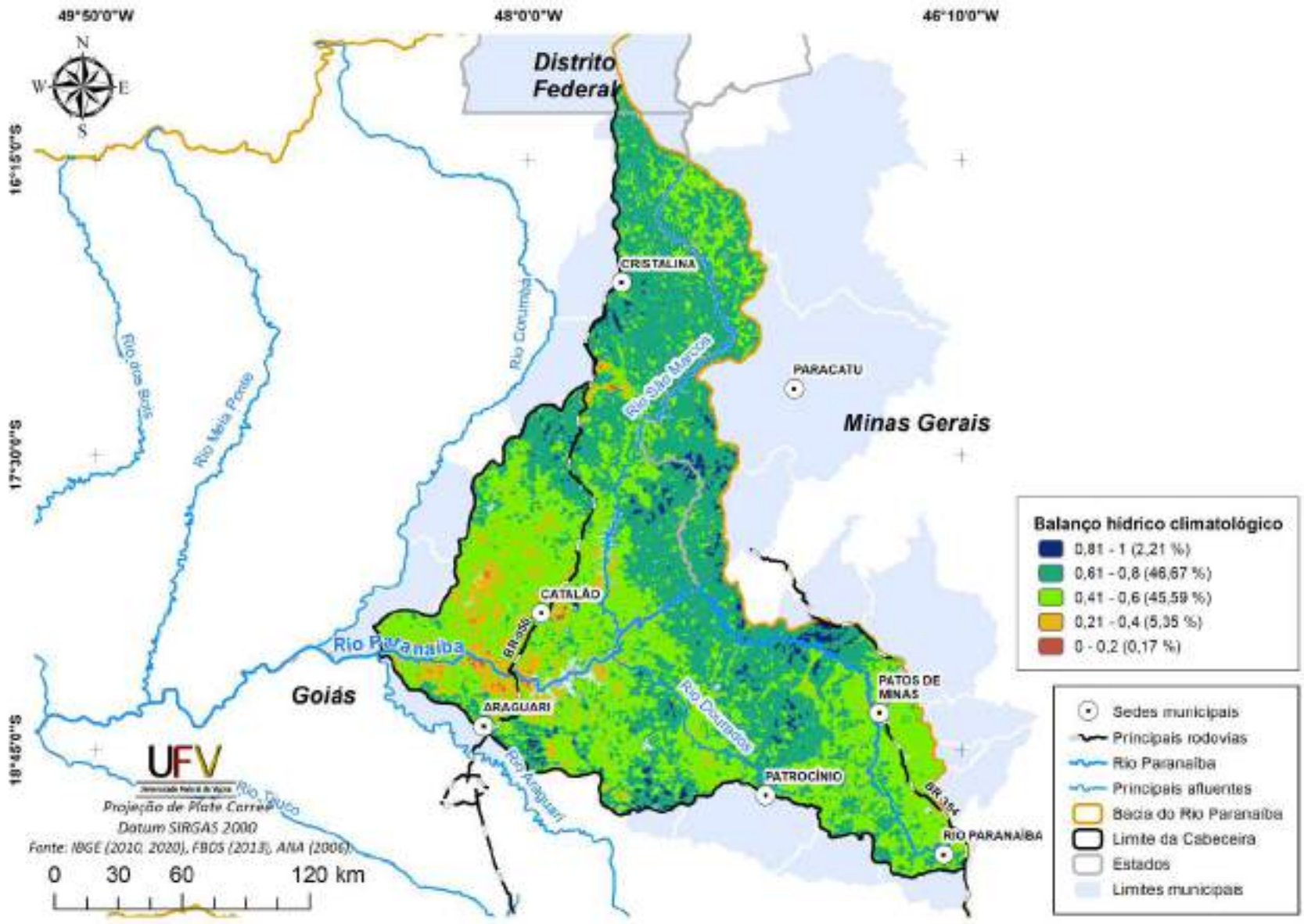

Figura 2.4. Mapa do balanço hídrico climatológico, reescalonado entre 0 e 1, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

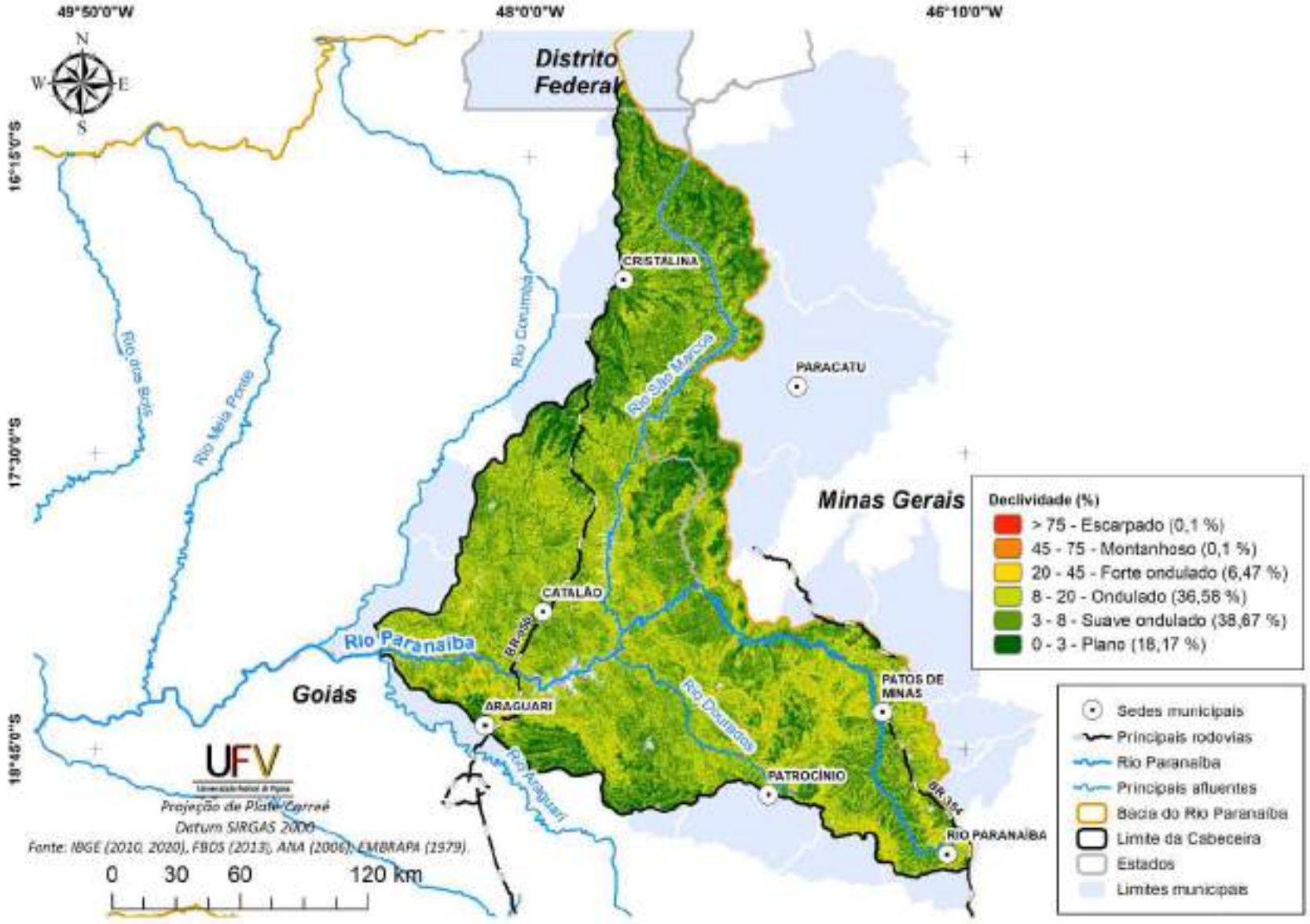

Figura 2.5. Mapa da declividade em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

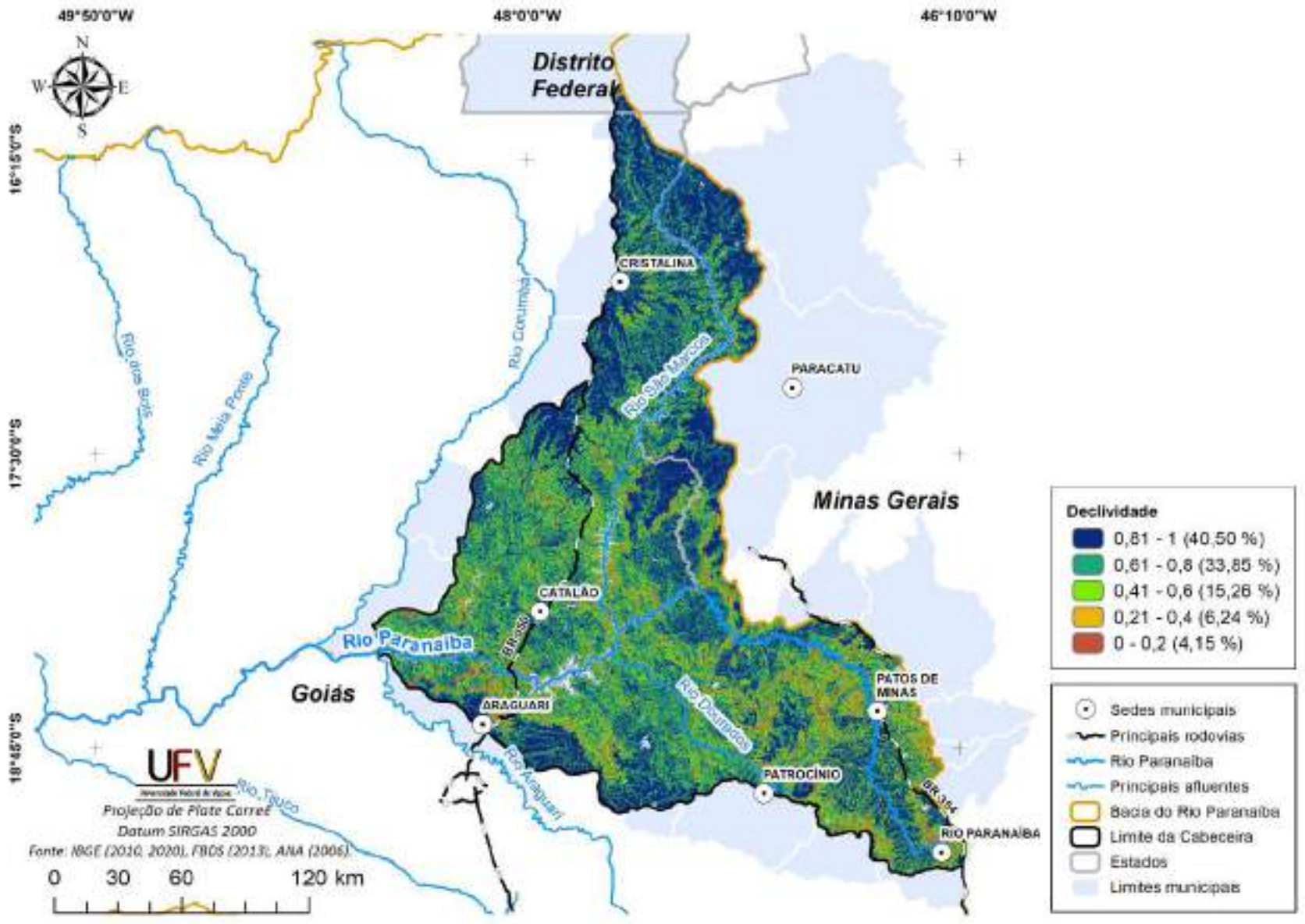

Figura 2.6. Mapa da declividade em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, reescalonada entre 0 e 1.

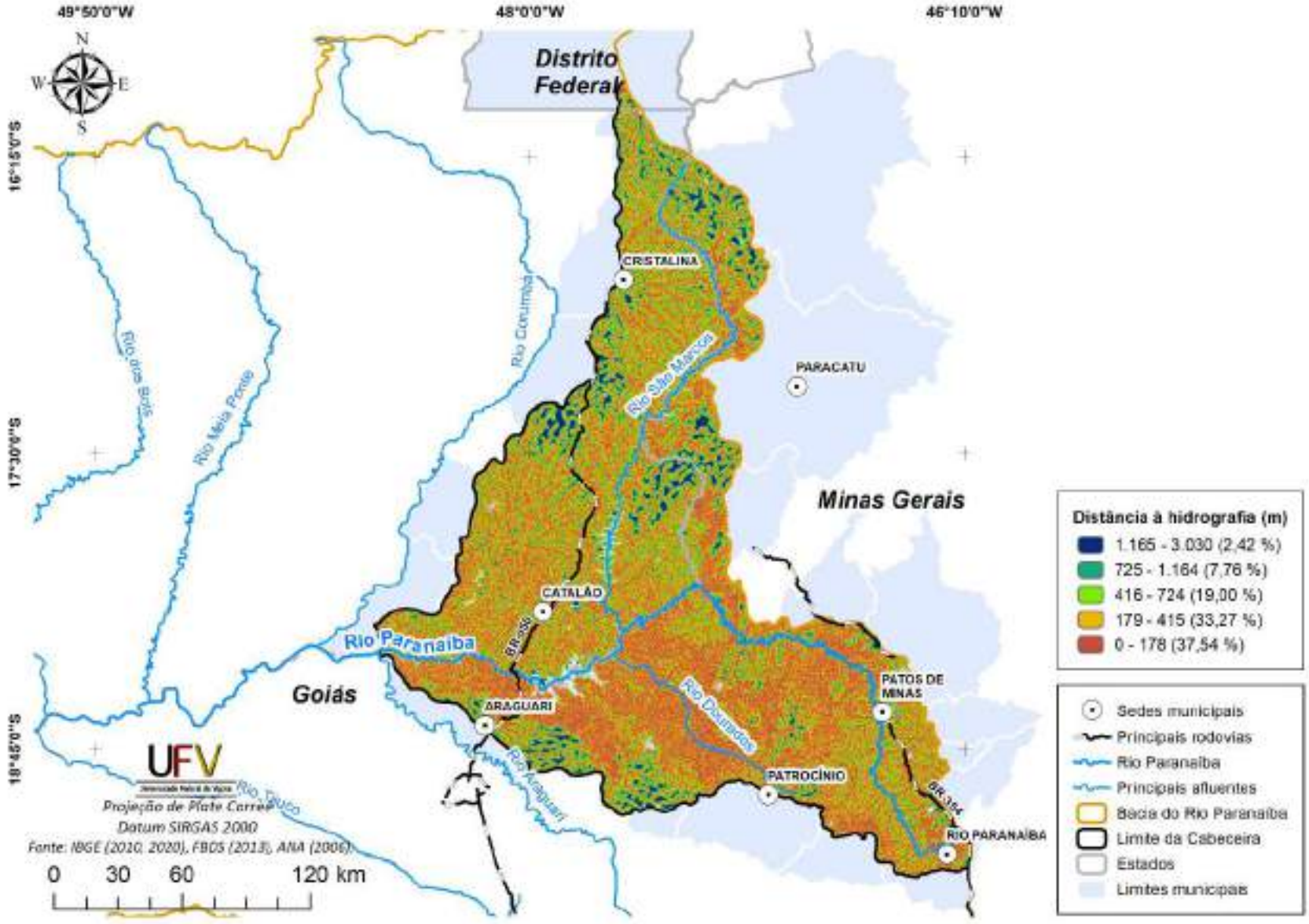

Figura 2.7. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

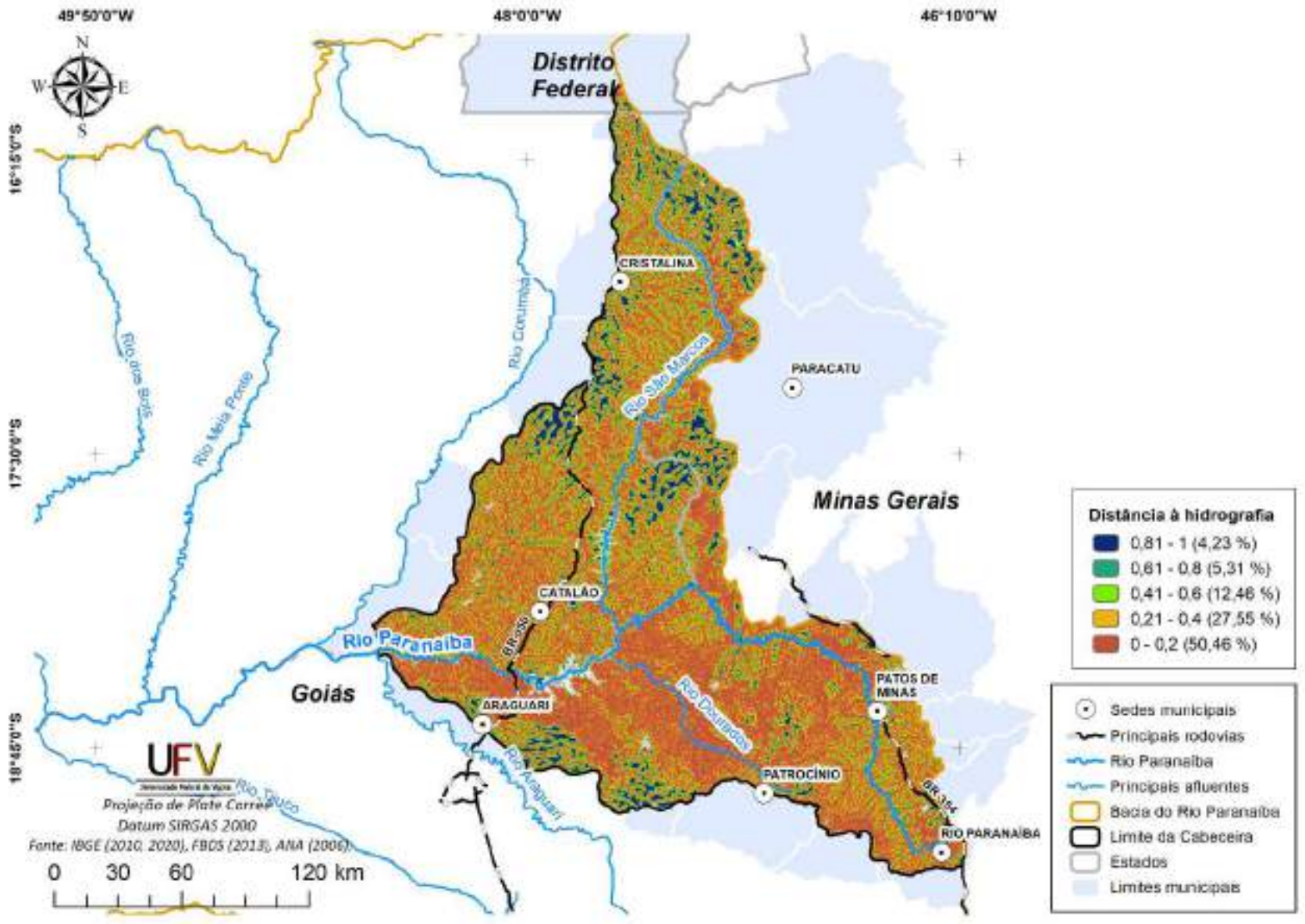

Figura 2.8. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, reescalonada entre 0 e 1.

por elevada porcentagem de cascalhos e petroplintitas, possuem elevada macroporosidade associada.

As áreas de potencial pedohidrológico médio ocupam 22,21% da bacia do Rio Paranaíba, estando associadas prioritariamente à classe dos Cambissolos no centro da bacia e dos Argissolos Vermelho-Amarelos na porção localizada ao sul da mesma. O grau de desenvolvimento pedogenético intermediário destas classes de solo confere características morfológicas e físicas como profundidade, estrutura e porosidade menos favoráveis à recarga hídrica. Além disso, o relevo de ocorrência destes solos é mais movimentado, predominando encostas com maior declividade, conforme já apresentado anteriormente, e nestas áreas predominam os processos de escoamento superficial em detrimento da infiltração da água no solo.

A representatividade das áreas de potencial pedohidrológico baixo e muito baixo alcança 25,35% da área da cabeceira do Rio Paranaíba. Os Neossolos Litólicos contribuem com maior expressividade, juntamente com os Cambissolos Háplicos que possuem menor contribuição nesta bacia para estas classes de potencial pedohidrológico baixo e muito baixo. São áreas relacionadas com os solos menos desenvolvidos e que consequentemente serão menos porosos, menos profundos e menos eficientes no favorecimento da recarga hídrica. Uma boa parte destas áreas encontra-se nas bordas dos divisores tabulares, onde predominam os processos erosivos por escoamento superficial, sendo menos favoráveis aos processos de recarga hídrica.

No mapa reescalonado de 0 a 1 (**Figura 2.12**), observa-se que há predominância de áreas com valores acima de 0,40, para o potencial pedohidrológico à recarga hídrica, indicando bom potencial sob o ponto de vista da recarga hídrica na cabeceira da bacia do rio Paranaíba.

2.1.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA

Na **Tabela 2.1** encontra-se a matriz de comparação dos critérios utilizada para obter a estimativa da importância relativa de cada variável, resultando nos pesos finais apresentados na **Tabela 2.2**. Esses pesos foram então multiplicados aos mapas das variáveis para obter a classificação do potencial de recarga, que resultou no mapa da Área de Recarga nas sub-bacias da cabeceira do rio Paranaíba (**Figura 2.13**). Para fins de análise, o mapa da Área de Recarga foi dividido em dois grupos: o primeiro grupo denominado de Área Associada à Recarga Hídrica, correspondendo à 50% da área analisada com os maiores valores de potencial de recarga hídrica; e o segundo grupo denominado de Área Dissociada à Recarga Hídrica, correspondente a outra metade com menor potencial de recarga hídrica. Essa subdivisão do potencial de recarga hídrica na área da bacia tem o intuito de identificar onde as ações de recuperação das áreas com maior vulnerabilidade socioambiental podem ter maior ou menor impacto sobre a recarga hídrica. Esses pontos serão abordados com mais detalhes no item Áreas Prioritárias.

2.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA

2.2.1. ADEQUAÇÃO DO USO DA TERRA

A capacidade de uso da terra foi definida como aquela correspondente ao fator limitante entre os critérios relacionados ao solo, ao relevo e aos aspectos legais, ou seja, para uma determinada área, o valor de capacidade de uso corresponde ao maior valor de classe de capacidade apresentado para os três critérios. Na **Figura 2.14** está o mapa de capacidade de uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba e nela é possível observar que as classes II, III, VII e VIII de capacidade de uso da terra são aquelas que predominam na bacia, correspondendo juntas a cerca de 95,54% de sua área total.

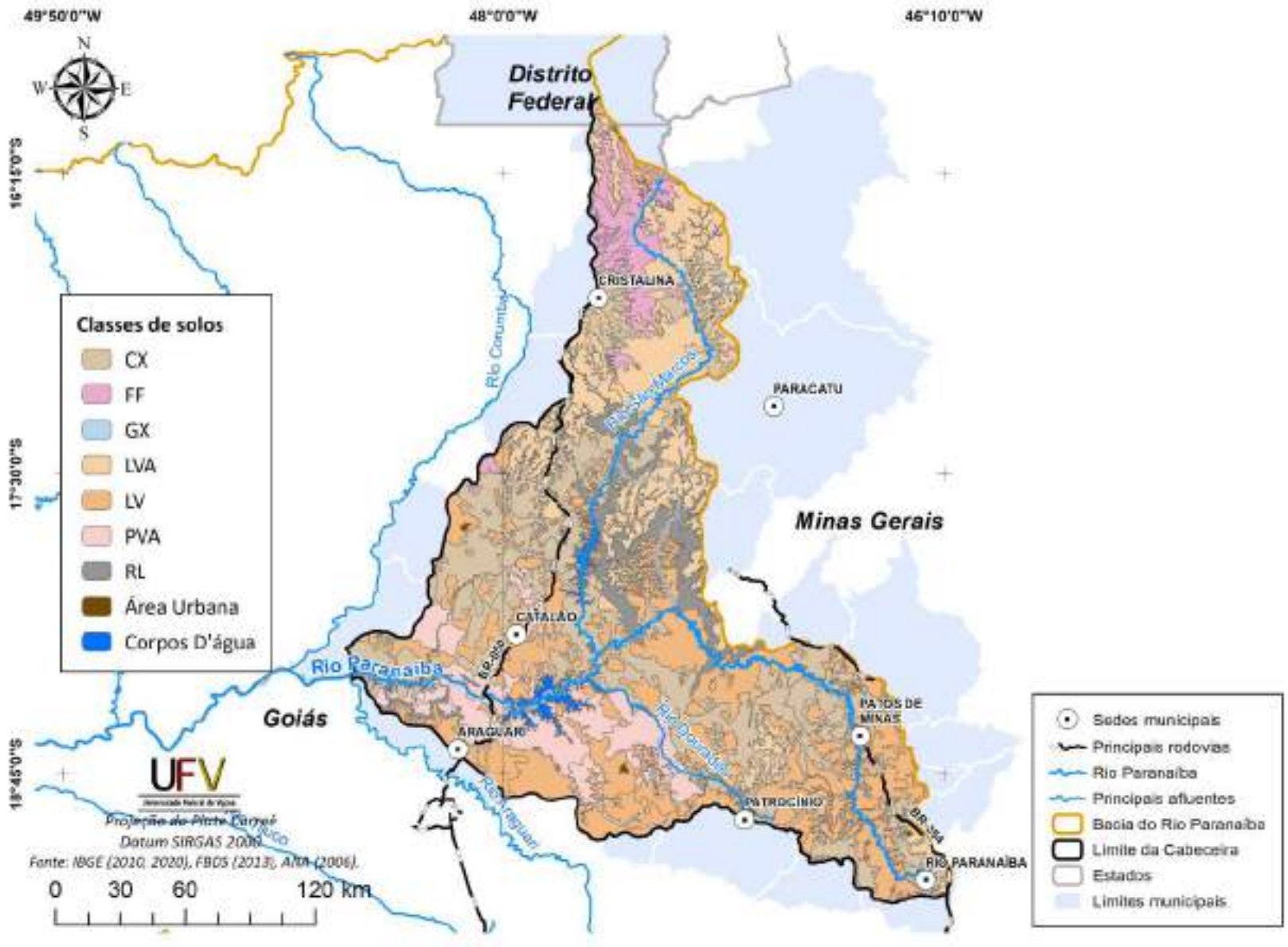

Figura 2.9. Mapa de classe de solos na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

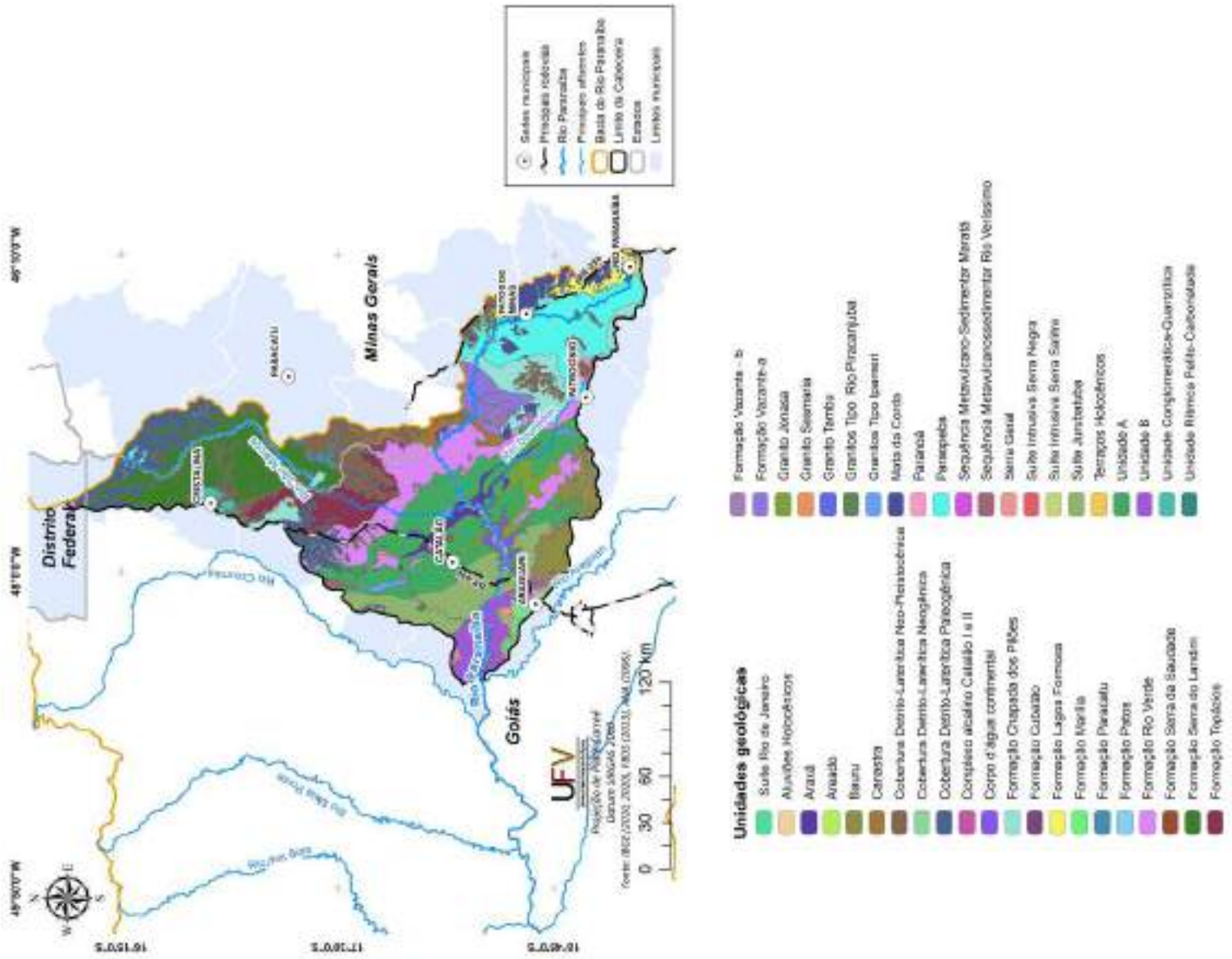

Figura 2.10. Mapa da geologia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

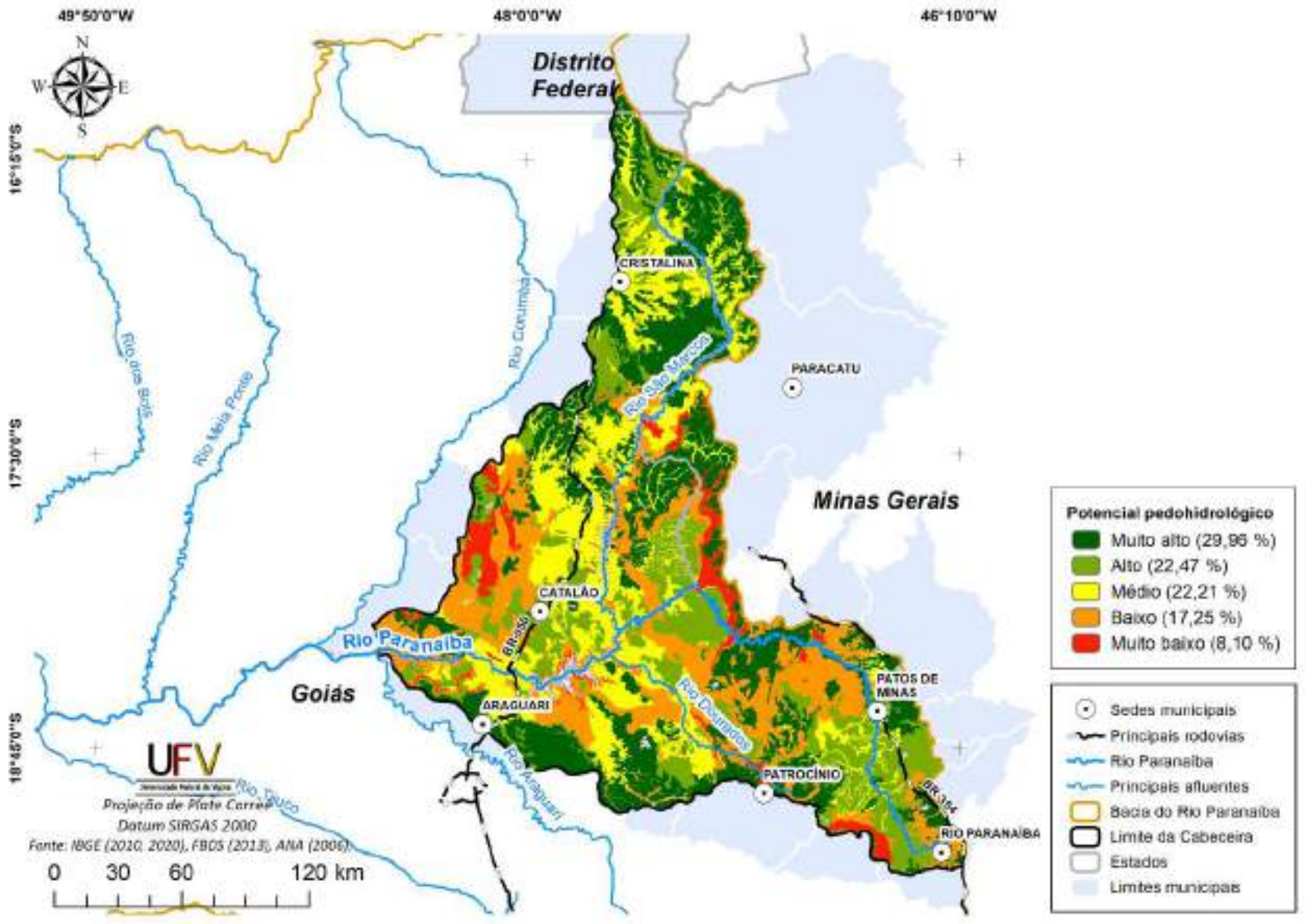

Figura 2.11. Mapa do potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

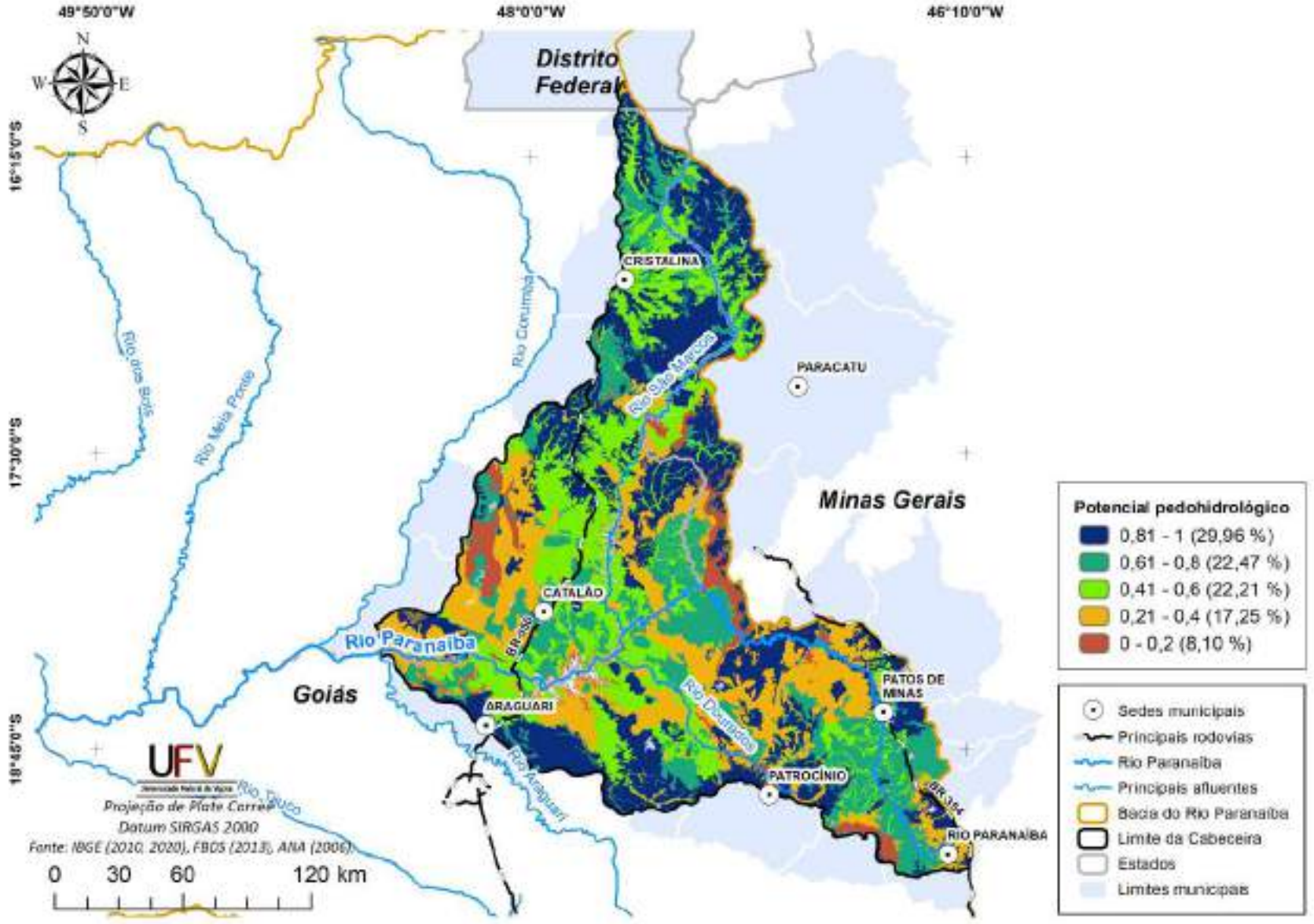

Figura 2.12. Mapa do potencial Pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, reescalonada entre 0 e 1.

Tabela 2.1. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção da Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Pesos relativos AHP	Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	Declividade	Balanço Hídrico Climatológico	Distância à Hidrografia
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	1,00	3,00	4,00	7,00
Declividade	0,33	1,00	3,00	5,00
Balanço Hídrico Climatológico	0,25	0,33	1,00	3,00
Distância à Hidrografia	0,14	0,20	0,33	1,00

Tabela 2.2. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção da Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Critério	Pesos finais (%)
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	54,0
Declividade	27,2
Balanço Hídrico Climatológico	13,1
Distância à Hidrografia	5,7

Na cabeceira da bacia do rio Paranaíba, 48,2% da área total foi enquadrada nas classes VII e VIII, ou seja, são terras com limitações muito severas, inadequadas para lavouras e de uso restrito para pastagens e florestas cultivadas, restringindo-as à recreação e/ou proteção da flora e fauna silvestres ou ainda armazenamento de águas. Observa-se ainda que 33,87% das áreas foram classificadas como classe II, que são aquelas terras próprias para culturas com práticas simples de conservação, enquanto 13,46% foram classificadas como classe III, que são terras próprias para culturas com práticas intensivas ou complexas de conservação. O restante das áreas, cerca de 2,36% da bacia, foram classificadas como classes I, IV, V e VI.

Na **Figura 2.15** está o mapa de uso e cobertura da terra das áreas da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Os valores obtidos para o índice Kappa e exatidão global foram de 0,71 e 0,79, respectivamente, o que indica uma concordância substancial entre as classes de uso e ocupação do solo observadas em campo e a predição do modelo MapBiomas. Desta forma, entende-se que seja segura a utilização destes dados como input para determinação do IVA para a região estudada. Observa-se que as áreas naturais (campo alagado e área pantanosa, formação campestre, formação florestal, formação savânica, rios e lagos) ocupam apenas 27,3% de toda a cabeceira da bacia, e as demais áreas, 72,7%, com destaque para pastagens e soja, com 28,8% e 24,5%, respectivamente.

Na **Figura 2.16** está o mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. De acordo com a classificação proposta, cerca de 42,62 % da área da bacia encontra-se atualmente com intensidade de uso nas classes I e II que são consideradas as classes de uso mais intensas, relacionadas à agricultura, mineração e áreas não vegetadas. Cerca de 29,48% da cabeceira da bacia encontra-se com intensidade de uso na classe III, relacionada a presença de pastagens, enquanto 27,91% encontram-se com intensidade de uso nas classes VI e VIII, que são consideradas classes de uso menos intenso quando comparadas às demais classes, e que estão associadas a formações naturais e a silvicultura.

Na **Figura 2.17** está o mapa de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba e na **Figura 2.18** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que aproximadamente 58% da área da cabeceira da bacia possui intensidade de uso da terra menor ou igual à capacidade de uso, enquanto 42% da área da cabeceira da bacia possui intensidade de uso acima da capacidade, sendo que a maior parte das áreas excedem a classe IV de intensidade de uso (26,94%).

As áreas com maior número de classes excedentes estão associadas, principalmente, às áreas mais declivosas na cabeceira da bacia e também às áreas com solos altamente erodíveis, como Neossolos Litólicos, sendo utilizados para usos como pastagens e plantio agrícola. Observa-se também áreas com elevado número de classes excedentes em áreas protegidas por aspectos legais, como as Áreas de Preservação Perma-

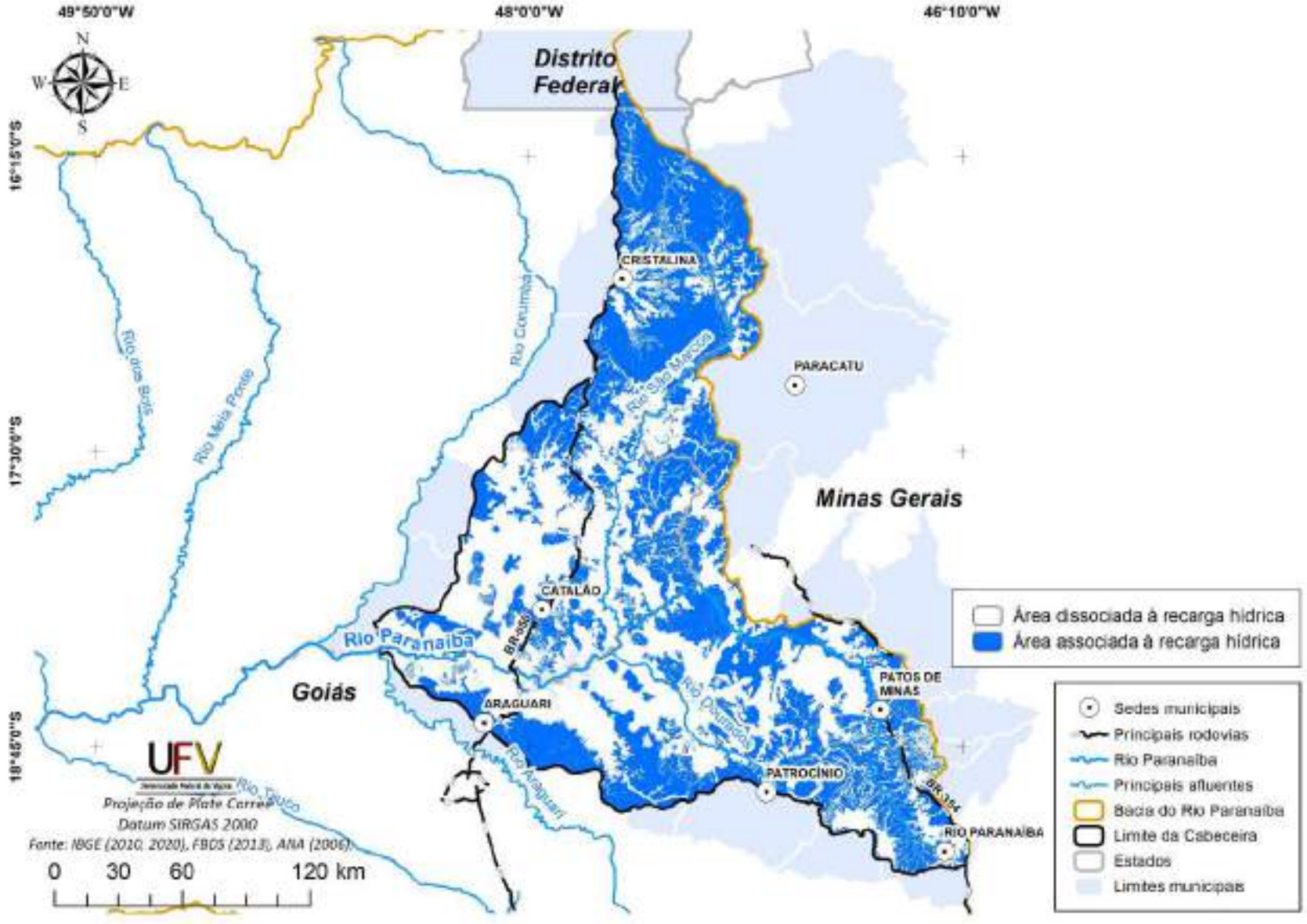

Figura 2.13. Mapa de áreas associadas (maior potencial) e dissociadas (menor potencial) à recarga hídrica na cabeceira da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

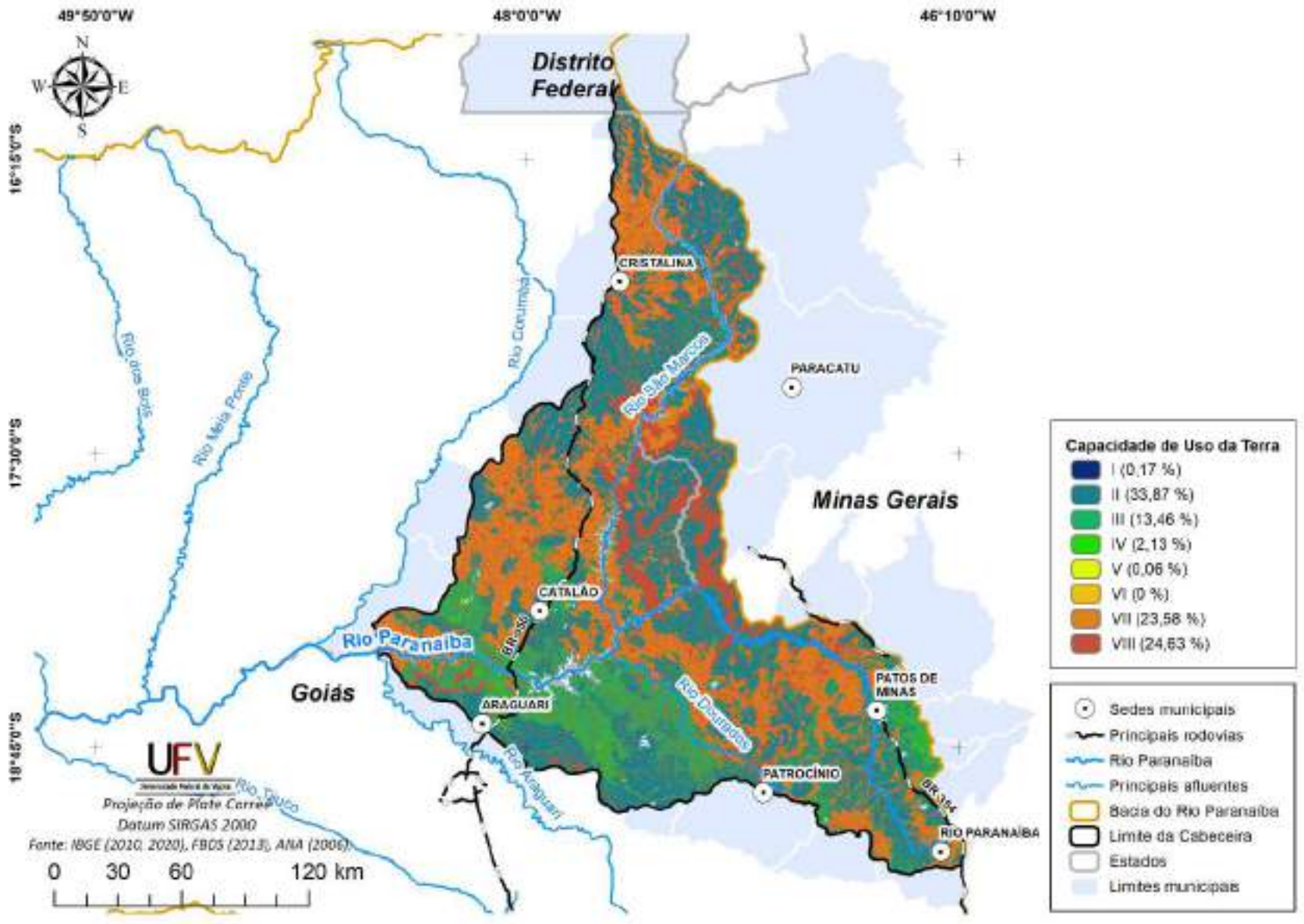

Figura 2.14. Mapa da capacidade de uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

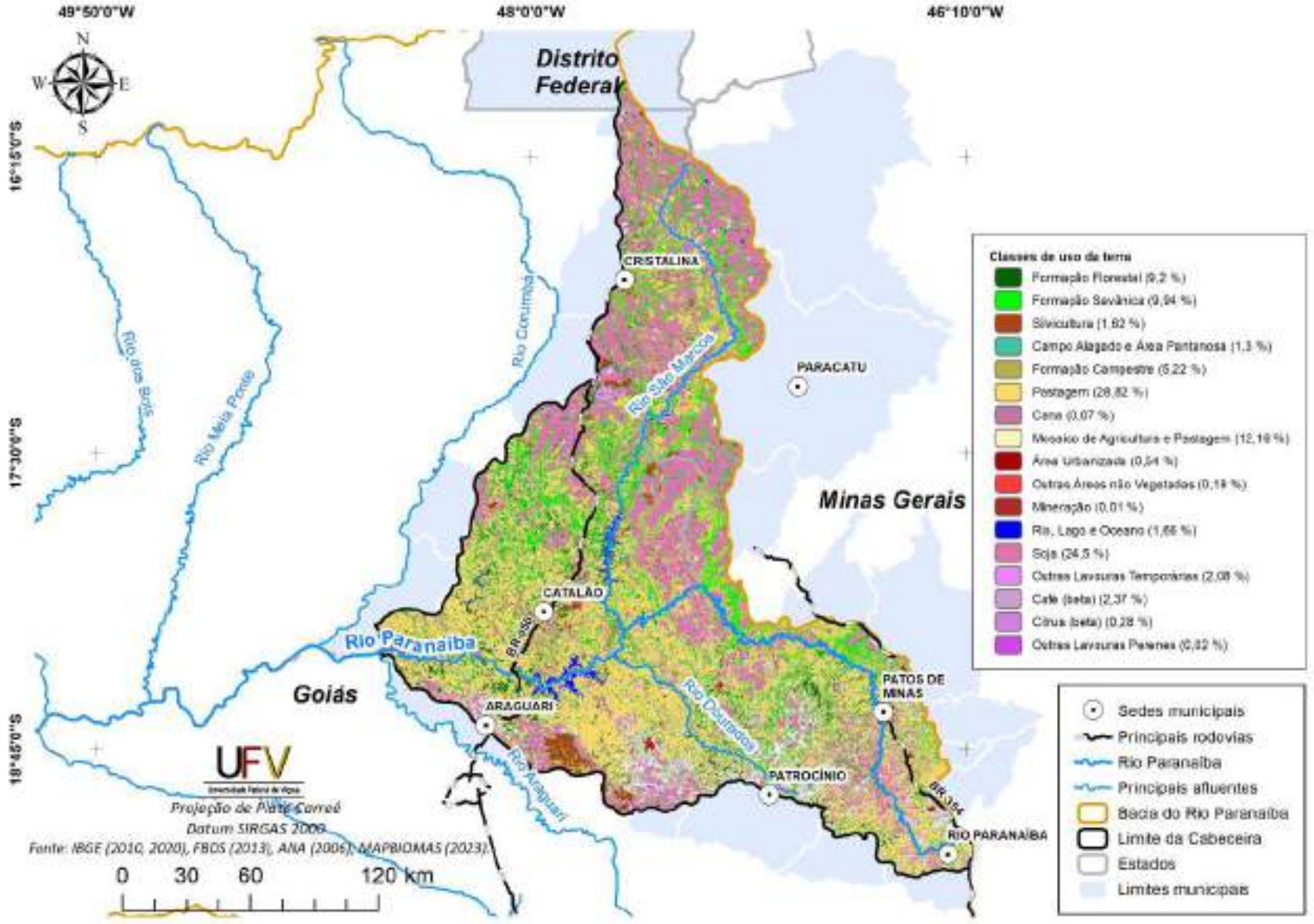

Figura 2.15. Mapa de classificação do uso e cobertura da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

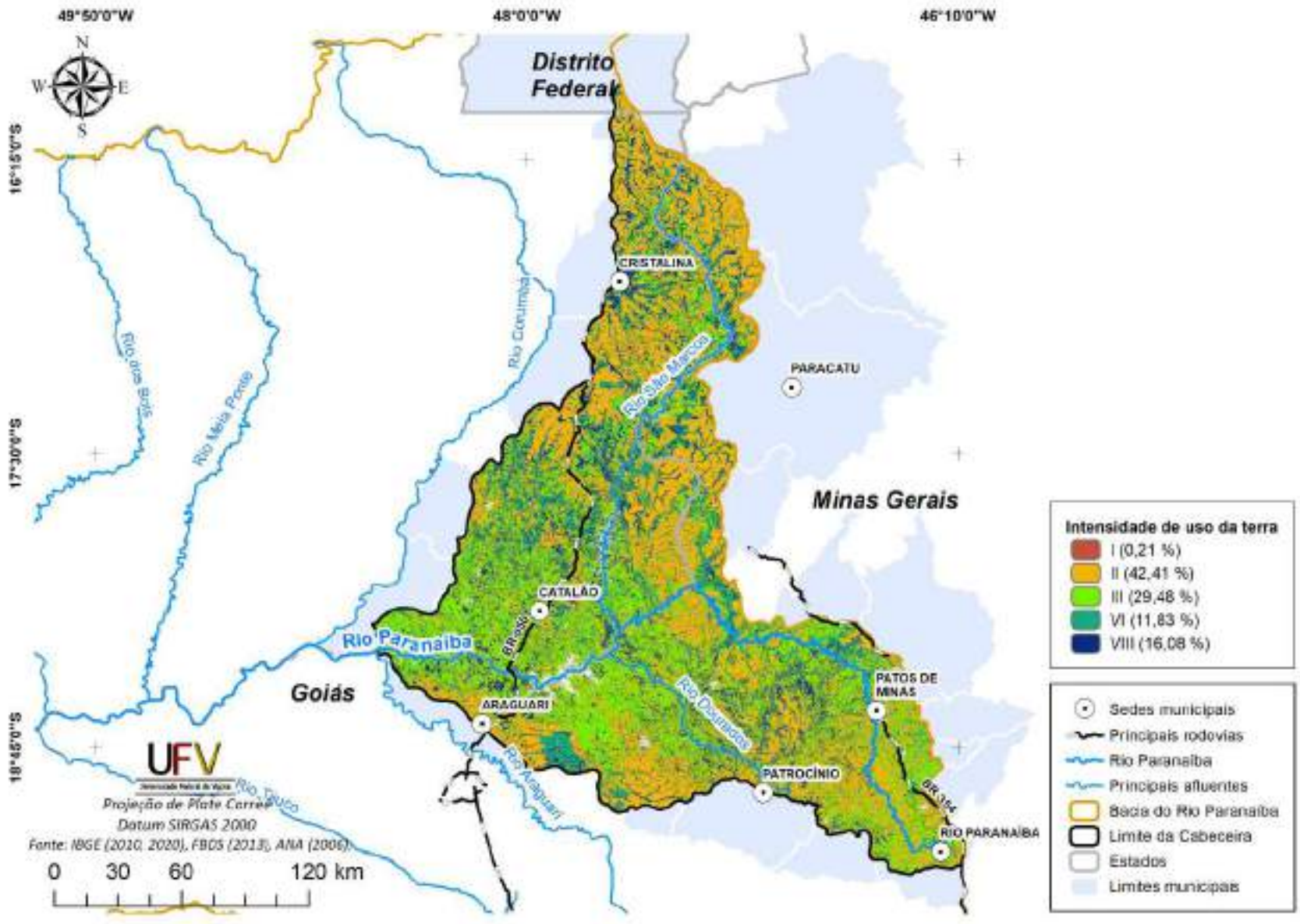

Figura 2.16. Mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

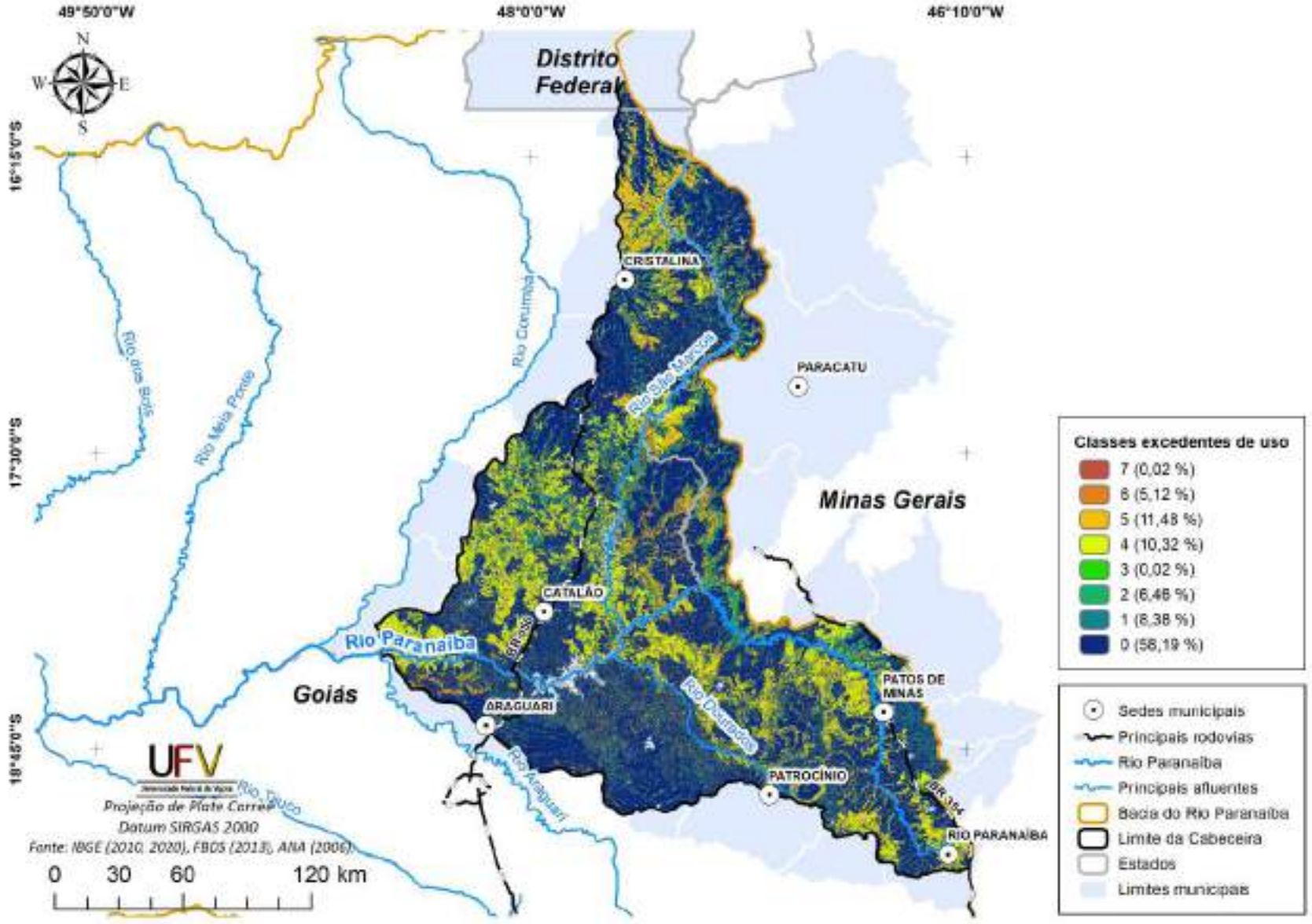

Figura 2.17. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

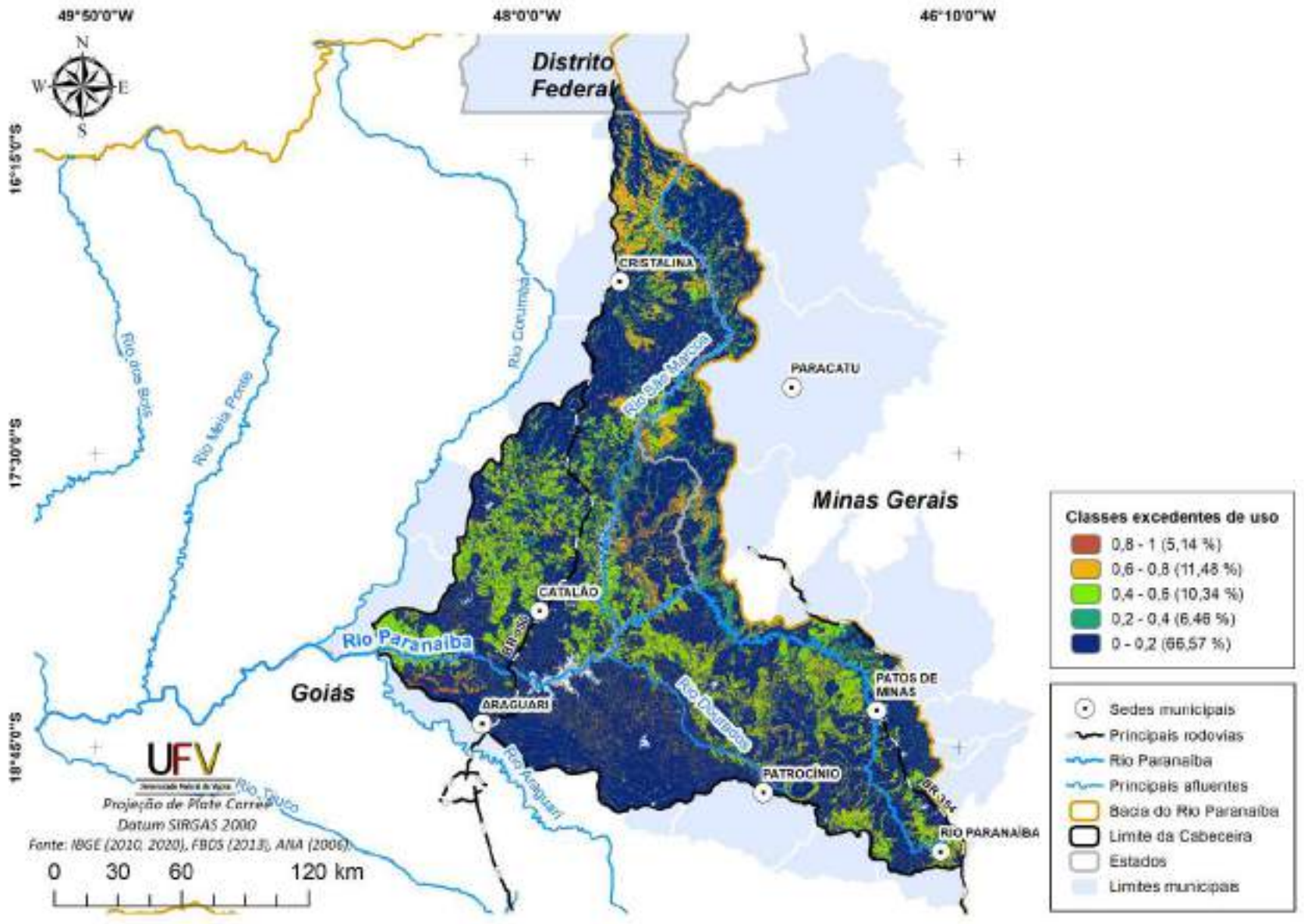

Figura 2.18. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, reescalonado de 0 a 1.

nente (APP) de Reserva Legal, que possuem uso atual divergente daquele definido por lei.

2.2.2. ÁREA QUEIMADA

Na **Figura 2.19** está o mapa de recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba e na **Figura 2.20** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que 96,6% da área da cabeceira da bacia não sofreu com queimadas nos últimos dez anos, e apenas cerca de 2,9% da área da bacia contém pelo menos uma queimada durante esse período. Além disso, somente 0,4% da área da cabeceira da bacia foi detectada a recorrência de queimadas em um ou mais anos no período de dez anos analisado, correspondendo a uma baixa vulnerabilidade ambiental do ponto de vista das queimadas no período analisado.

Observa-se que a maior frequência de queimadas se encontra nas regiões próximas aos centros urbanos, principalmente, do município de Cristalina, na região norte da bacia.

2.2.3. SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

Na **Figura 2.21** está o mapa de erosividade da chuva na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. A erosividade da chuva na bacia variou entre 7.657 e 8.713 MJ mm^{-1} ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} e tem seu padrão associado, principalmente, à distribuição da precipitação na bacia (**Figura 2.1**), sendo que os maiores valores de erosividade da chuva estão localizados, predominantemente, na parte centro-sul da bacia.

Na **Figura 2.22** está o mapa de erodibilidade do solo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Observa-se que as áreas com maior susceptibilidade aos processos erosivos estão localizadas principalmente nas regiões central e sul da bacia. Estas áreas correspondem à frente de dissecação da paisagem expressa pelo relevo mais movimentado que expõem as rochas das unidades litoestratigráficas mais antigas (neoproterozóico), localizadas abaixo da porção cimeira da paisagem representada pelos interflúvios tabulares desenvolvidos sobre as unidades litoestratigráficas mais recentes (mesoproterozóico, cenozóico). Os solos predominantes nessas áreas de maior erodibilidade são os Cambissolos Háplicos, associados a Neossolos Litólicos e a Plintossolos Pétricos Concrecionários, estes últimos com menor expressividade. As unidades litoestratigráficas predominantes nestes compartimentos de maior erodibilidade são a Formação Rio Verde e o Grupo Araxá, representados predominante por xistos. As áreas de alta susceptibilidade à erosão na porção sul da bacia estão relacionadas não somente com os Cambissolos Háplicos sobre xistos, mas também aos Argissolos Vermelho-Amarelos desenvolvidos sobre rochas graníticas da Suíte intrusiva Jurubatuba. Estes Argissolos ocorrem em áreas de relevo ondulado a forte ondulado e apresentam maior expressividade geográfica no setor sudoeste da bacia.

Conforme já apresentado anteriormente nas **Figura 2.5** e **2.6**, a declividade na bacia do rio Paranaíba variou de 0 a 101,7%, com a maior parte da bacia (38,7 % da área total) classificada em relevo suave ondulado, sendo que as áreas mais declivosas se encontram nas regiões central e sul da bacia. Esta distribuição de declividade na bacia do Rio Paranaíba acompanha uma compartimentação bem evidente da paisagem. As áreas menos declivosas, com relevo variando de plano a suave ondulado, são os divisores tabulares ou chapadas da porção cimeira. Já as áreas de maior declividade, variando de ondulado a forte ondulado, estão associadas às zonas de intensa dissecação, que no caso específico desta bacia estão associadas às porções mais baixas da paisagem.

Na **Figura 2.23** está o mapa de susceptibilidade à erosão na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Observa-se que as áreas com maior susceptibilidade à erosão são aquelas situadas na parte central da bacia, onde se encontram os maiores índices pluviométricos e as unidades pedológicas com maior susceptibilidade à erosão, como os Neossolos Litólicos e os Cambisso-

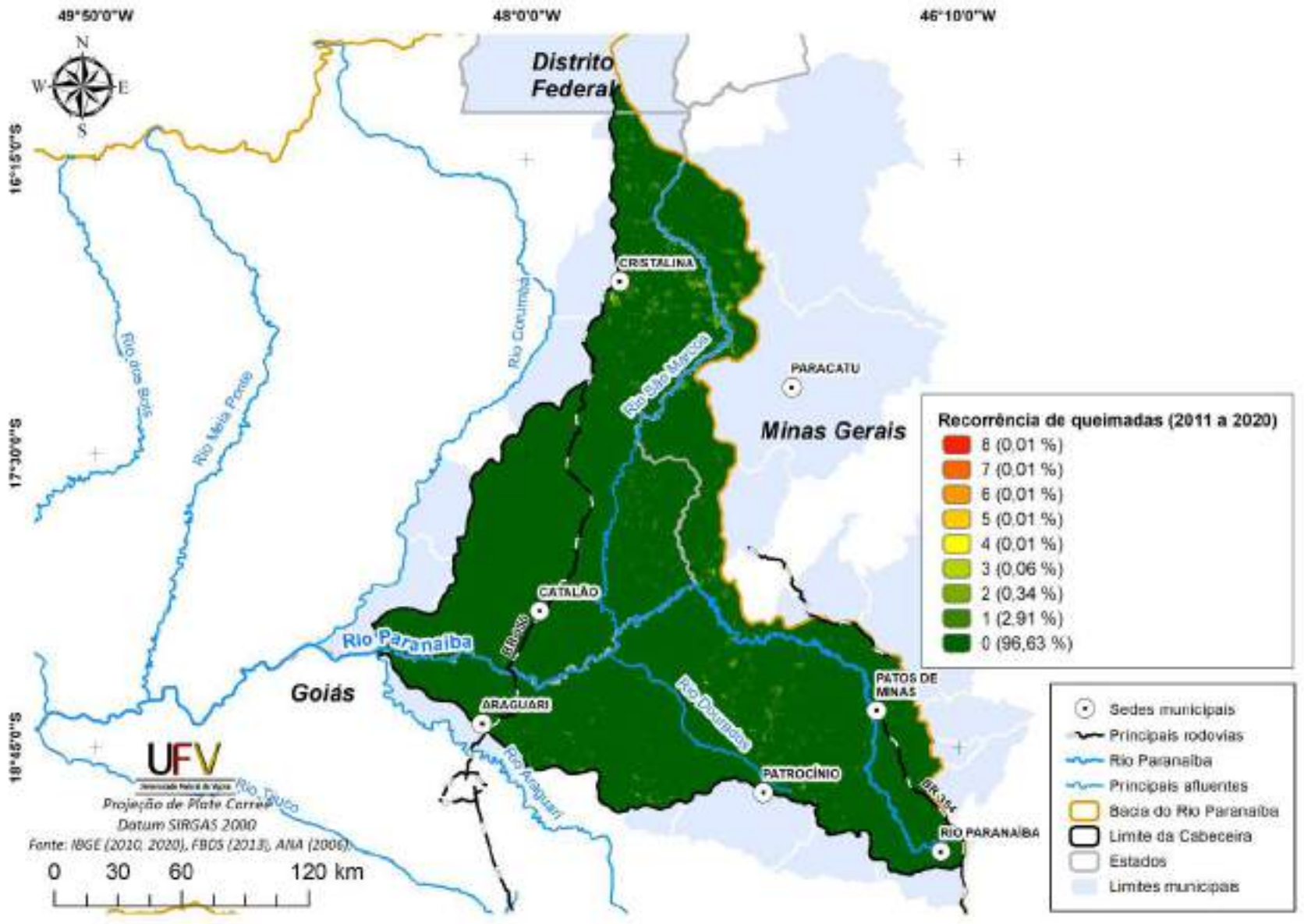

Figura 2.19. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

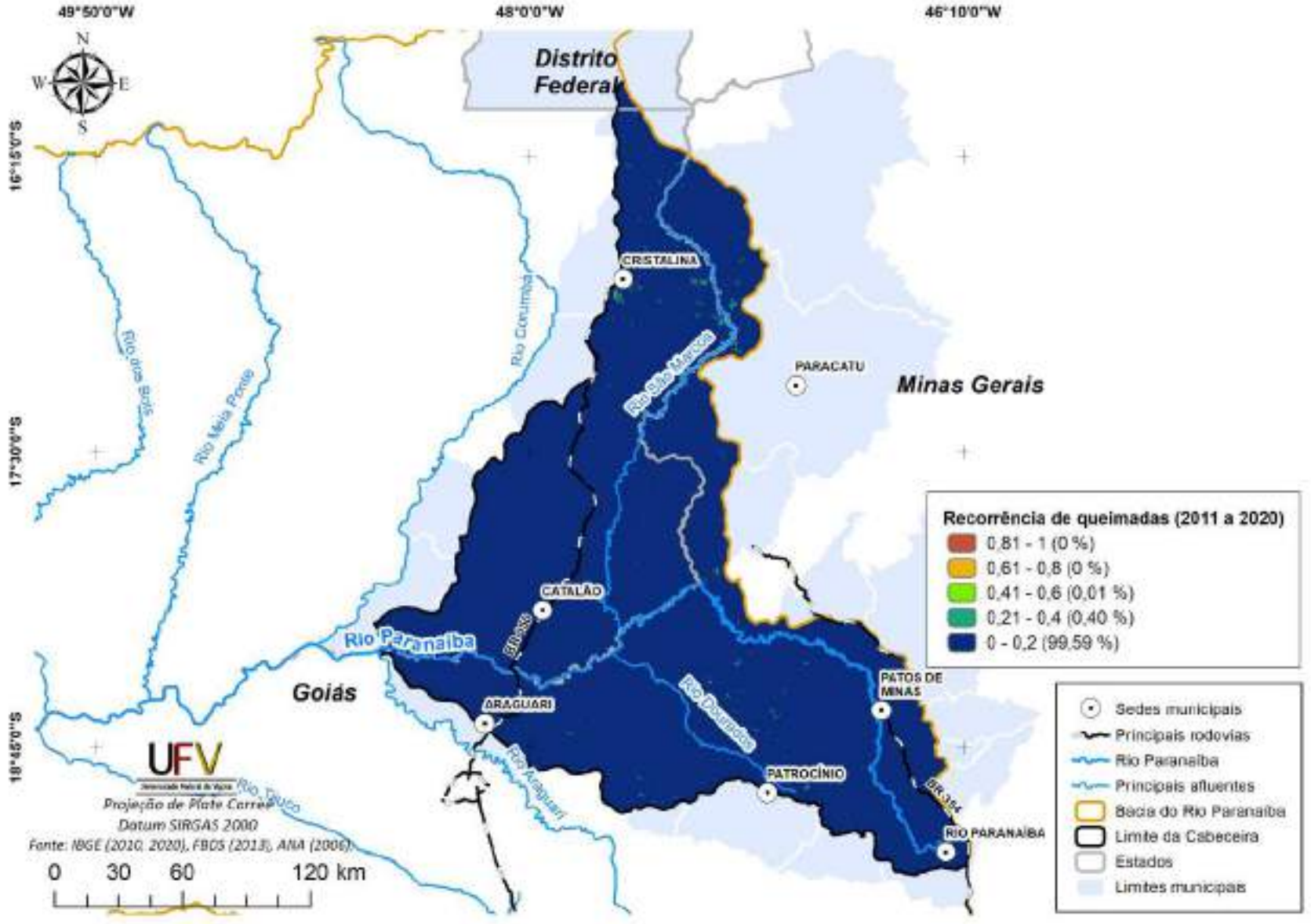

Figura 2.20. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, reescalonado de 0 a 1.

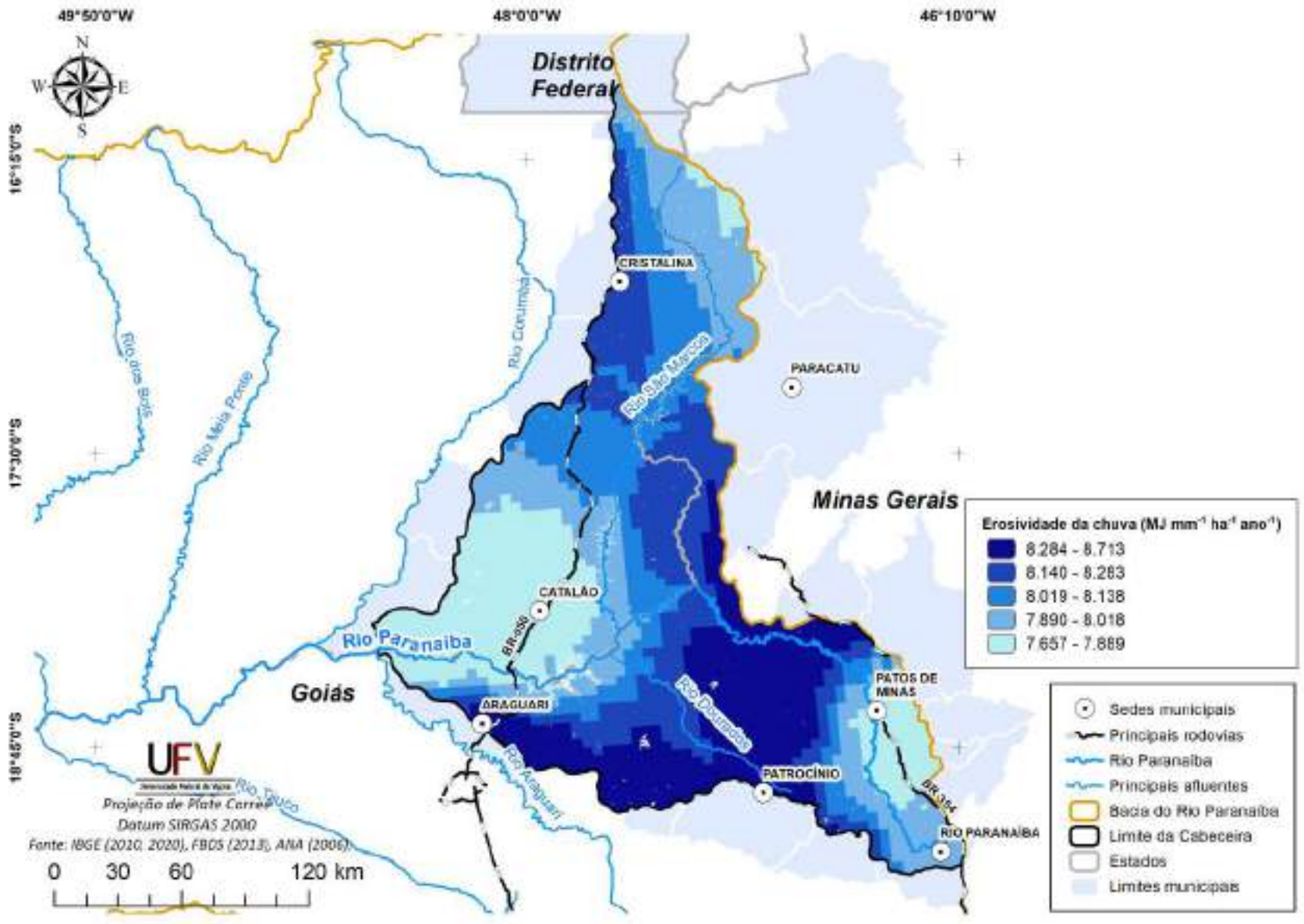

Figura 2.21. Mapa da erosividade da chuva na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

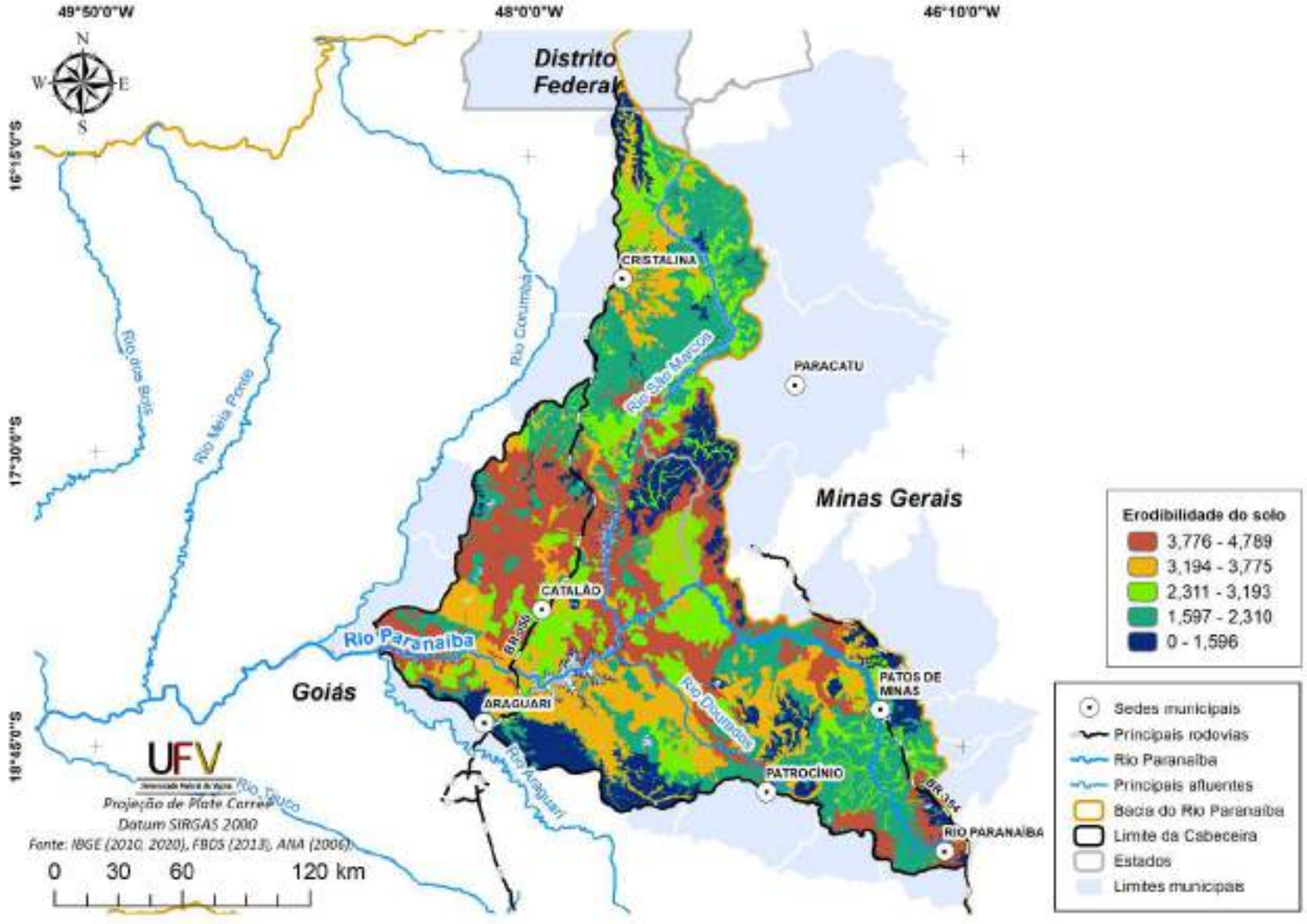

Figura 2.22. Mapa da erodibilidade do solo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

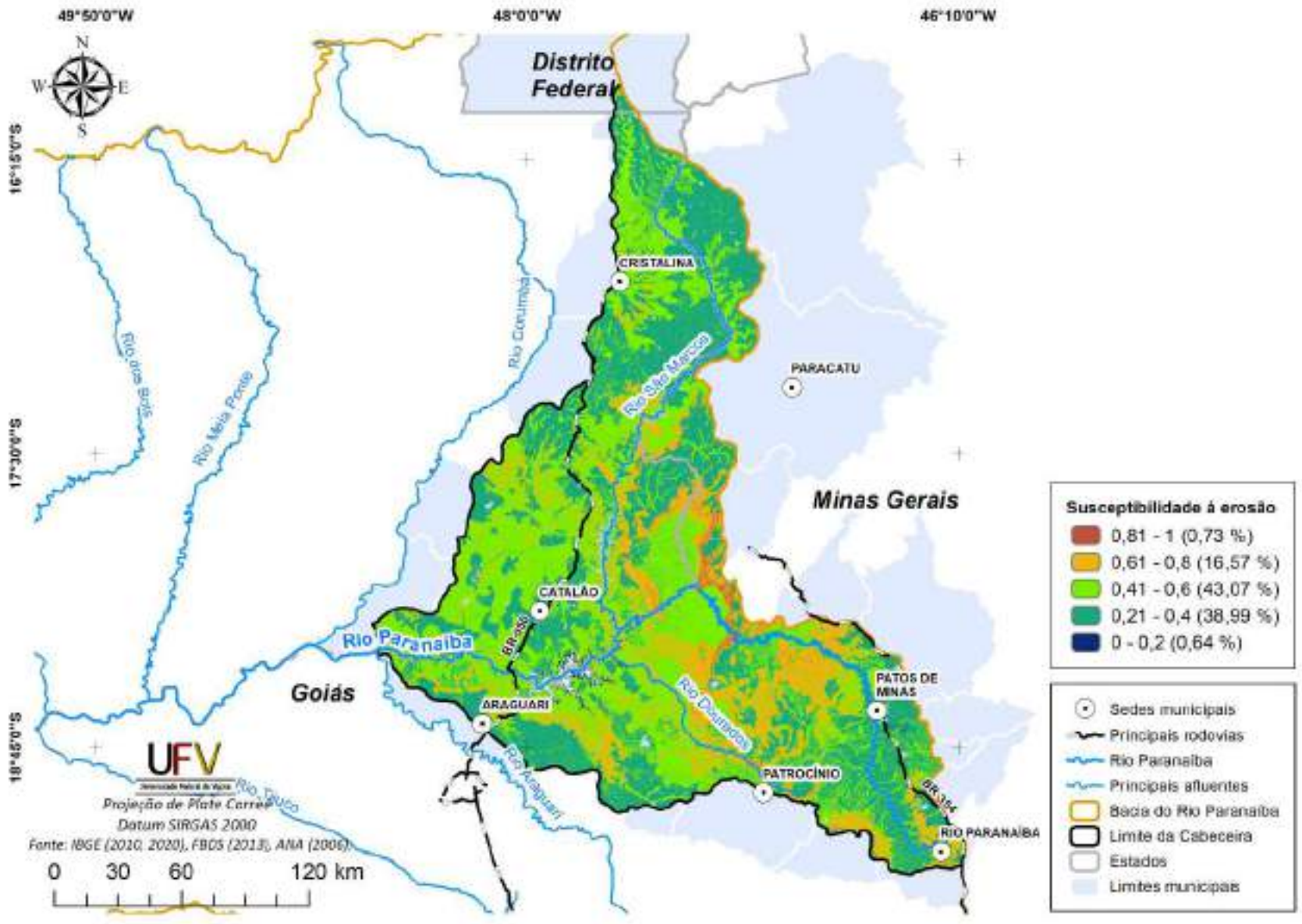

Figura 2.23. Mapa da susceptibilidade à erosão na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

los Háplicos, sobre xistos e metapelitos da Formação Rio Verde e do Grupo Araxá. Estas áreas circundam as feições mais estáveis do relevo representadas pelos divisores tabulares. Conforme já mencionado anteriormente, estas áreas congregam solos rasos, declividades pronunciadas, e cobertura vegetal menos densa, culminando em processos erosivos mais intensos.

Na cabeceira da bacia também é observada uma área com grande susceptibilidade aos processos erosivos, associada à região de abrangência do município de Cristalina-GO. Este fato decorre da presença de rochas quartzíticas de idade mesoproterozóica, denominadas na base cartográfica adotada neste trabalho como "Unidade Conglomerática Quartzítica". Essas rochas possuem muita resistência aos processos erosivos e por isso sustentam uma paisagem com cotas elevadas, próximas a 1.200 m, marcada pela presença de solos pouco desenvolvidos como Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos.

2.2.4. BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

Na **Figura 2.24** está o balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, disponibilizado pela ANA (2022), e na **Figura 2.25** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que em cerca de 54,58% da área da cabeceira a disponibilidade hídrica é excelente ou confortável, enquanto em 5,71% da área a disponibilidade é preocupante e em 39,71% da área a disponibilidade é crítica ou muito crítica. As sub-bacias com disponibilidade crítica ou muito crítico estão localizadas nas regiões norte e sul da bacia, onde há concentração de agricultura irrigada e, também, nas regiões próximas aos centros urbanos, onde as demandas para abastecimento humano e usos industriais são maiores.

2.2.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP

Na **Tabela 2.3** está a matriz de comparação dos critérios obtida pela análise de especialistas da UFV e utilizada na obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba e na **Tabela 2.4** está a estimativa da importância relativa dos critérios (pesos finais).

Tabela 2.4. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Critério	Pesos finais (%)
Adequação do Uso da Terra	36,7
Susceptibilidade à Erosão	36,7
Área Queimada	5,5
Balanço Hídrico Quantitativo	21,1

O Coeficiente de Consistência (CR), utilizado para verificar a consistência dos pesos nos julgamentos dos especialistas, indica a probabilidade de que os valores da matriz tenham sido gerados aleatoriamente, sendo que a matriz que possui um CR maior que 0,10 deve ser reavaliada (SAATY, 1980). Na presente análise o valor encontrado de CR foi de 0,01, mostrando a consistência na definição dos pesos.

Nas **Figura 2.26** está o mapa final do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) na cabeceira da bacia do

Tabela 2.3. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Pesos relativos AHP	Adequação do Uso da Terra	Susceptibilidade à Erosão	Área Queimada	Balanço Hídrico Quantitativo
Adequação do Uso da Terra	1,00	1,00	6,00	2,00
Susceptibilidade à Erosão	1,00	1,00	6,00	2,00
Área Queimada	0,17	0,17	1,00	0,20
Balanço Hídrico Quantitativo	0,50	0,50	5,00	1,00

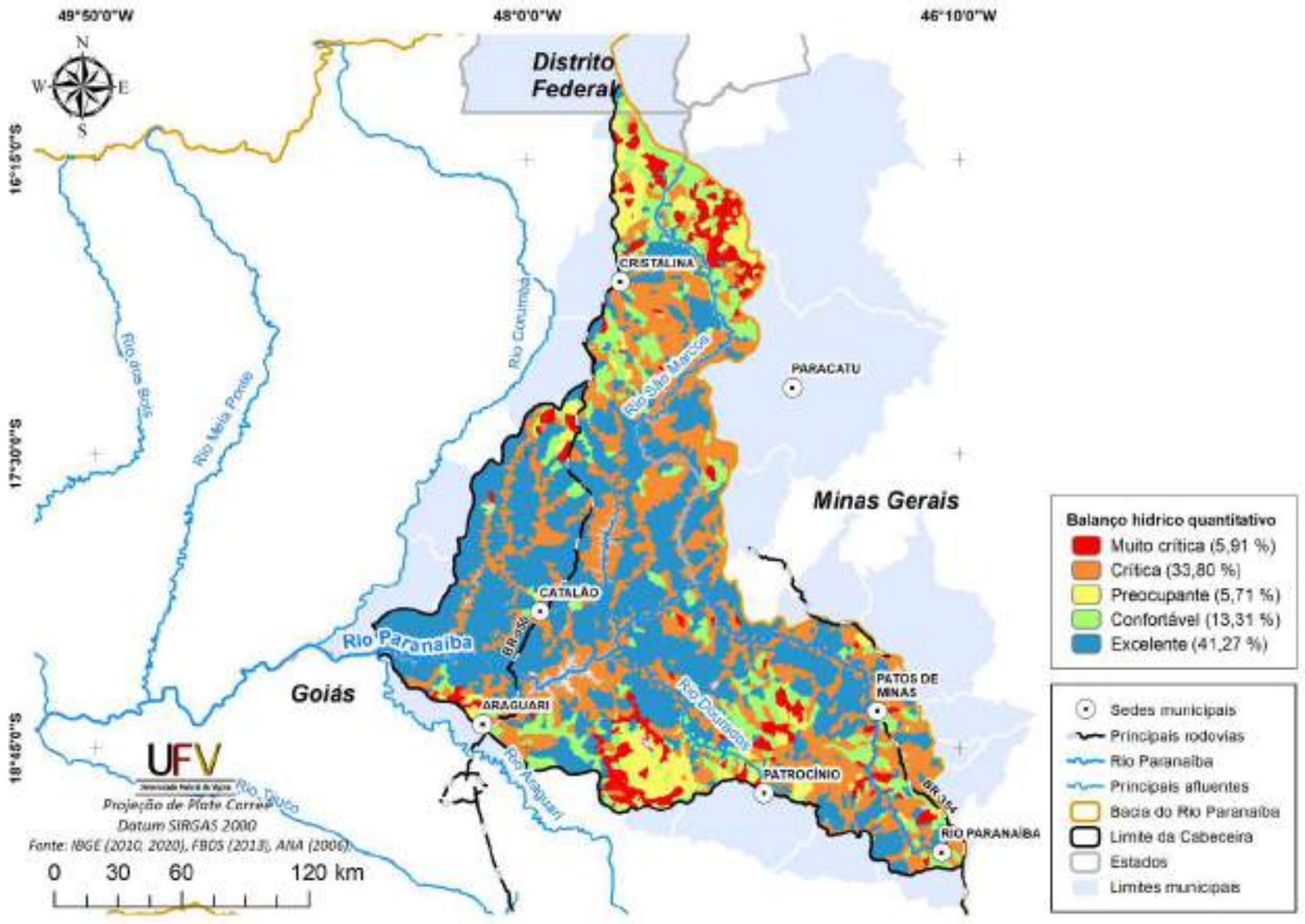

Figura 2.24. Mapa de balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

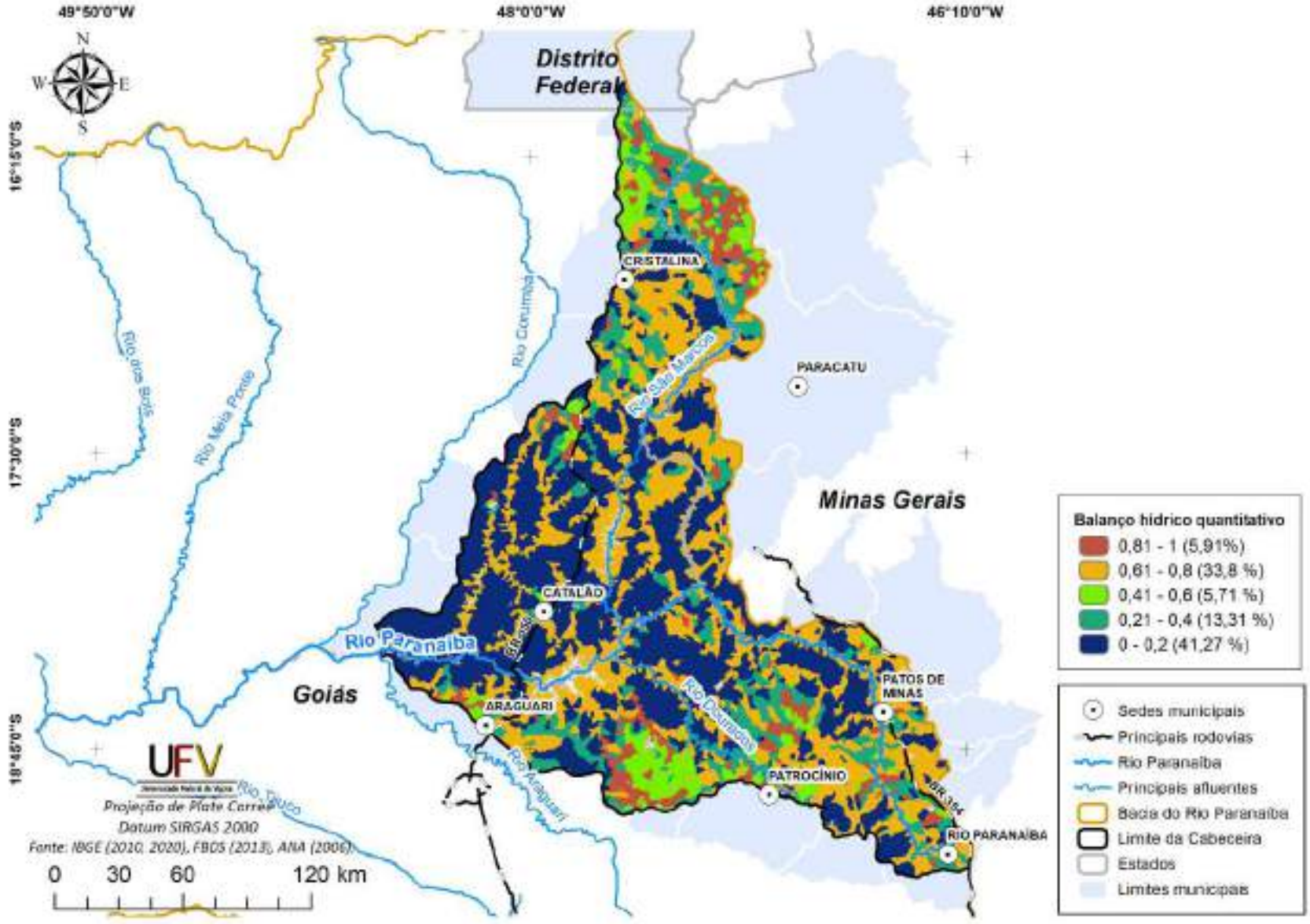

Figura 2.25. Mapa do balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, reescalonado de 0 a 1.

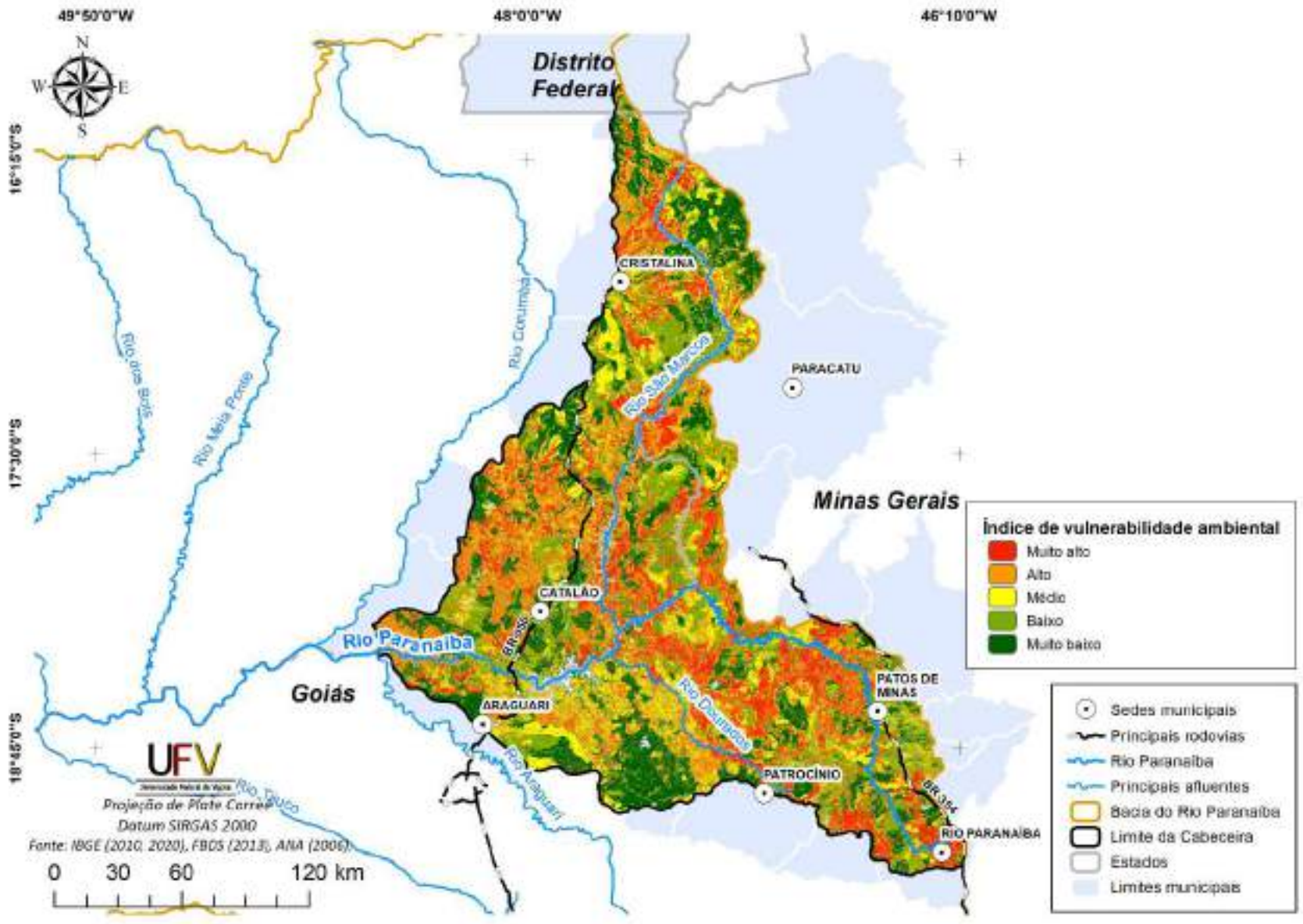

Figura 2.26. Mapa do índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

rio Paranaíba. O mapa foi subdividido em 5 classes de igual área de acordo com o valor do IVA, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito. Observa-se que as áreas com maiores valores de IVA estão relacionadas, principalmente, às áreas com solos altamente erodíveis, como Neossolos Litólicos, sendo utilizados para usos como pastagens e plantio agrícola.

Além disso, verificam-se também altos valores de IVA nas áreas com maior número de classes excedentes, em áreas protegidas por aspectos legais, como APPs Hídricas e Reserva Legal, que possuem uso atual divergente daquele definido por lei, como pastagem, solo exposto e plantio agrícola. Nota-se também, que em algumas áreas com IVA Alto e Muito Alto, houve influência das bacias com disponibilidade hídrica muito críticas e críticas, localizadas na região norte e sul da bacia e próximas aos centros urbanos.

Como a variável área queimada recebeu um peso inferior às demais variáveis (5,5%), sua influência no mapa final do IVA é menos expressiva, sendo notada, principalmente, nas áreas com maior frequência de queimadas, nas proximidades do município de Cristalina, na região norte da bacia.

2.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS

Dada a metodologia utilizada (ver **Caderno metodológico**) neste relatório para a operacionalização do IVS, são apresentados os seus resultados para a **Cabeceira da Bacia do Rio Paranaíba**. O IVS foi obtido sob duas óticas: com dados do Censo Demográfico (IVSCD), contemplando noções sobre as áreas urbana e rural dos setores censitários dos municípios, e com dados do Censo Agropecuário (IVSCA), abrangendo conhecimentos sobre as condições e produção do meio rural da área de estudo. Por fim, foi considerado um IVS final (IVS), considerando o rural e o urbano em conjunto.

Importante mencionar que o IVS, independentemente se o urbano ou rural, foram convertidos em uma escala de 0 a 1, a fim de padronização, para criar um conjunto de índices em um intervalo de medição semelhante, sendo que o valor "1" é atribuído a setores censitários de vulnerabilidade muito alta e o valor "0" atribuído à vulnerabilidade muito baixa.

2.3.1. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO DEMOGRÁFICO)

Inicialmente, ao considerar o IVS do Censo Demográfico, é importante relatar que para esta cabeceira, esse índice foi formado por três componentes principais (gerados pela **matriz de correlação**[1] na técnica estatística de Análise de Componentes Principais), que representam, de forma geral, as explicações das variações totais das variáveis originais utilizadas (para este índice, os três componentes explicam 78% das variações totais das variáveis originais). Para esses componentes, na operacionalização, cada um deles possui um peso[2] de participação na composição do IVSD, a saber: Componente 1 (peso de 0,34); Componente 2 (peso de 0,33), e Componente 3 (peso de 0,33). A soma desses pesos é igual a 1 ou 100%.

No contexto da análise de PCA realizada para o IVSD, o componente 1 foi responsável por aproximadamente 44% da variação total dos dados, indicando que ele apresentou a maior proporção explicativa entre as dimensões pensadas, seguido dos outros dois componentes 2 e 3, que obtiveram 24% e 10%, respectivamente, para a variação total dos dados. Indicando-se que o primeiro componente apresentou maior proporção explicativa. Posto isto, os resultados desse índice estão dispostos na **Figura 2.27**.

1 A correlação é um cálculo estatístico que torna possível a comparação de dois grupos de dados com valores padronizados, entendendo-se como eles se relacionam entre si (FREUND, 2006).

2 Sobre esses pesos e os seus componentes principais, eles apresentam propriedades importantes, sendo: "cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados" (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p. 83-84).

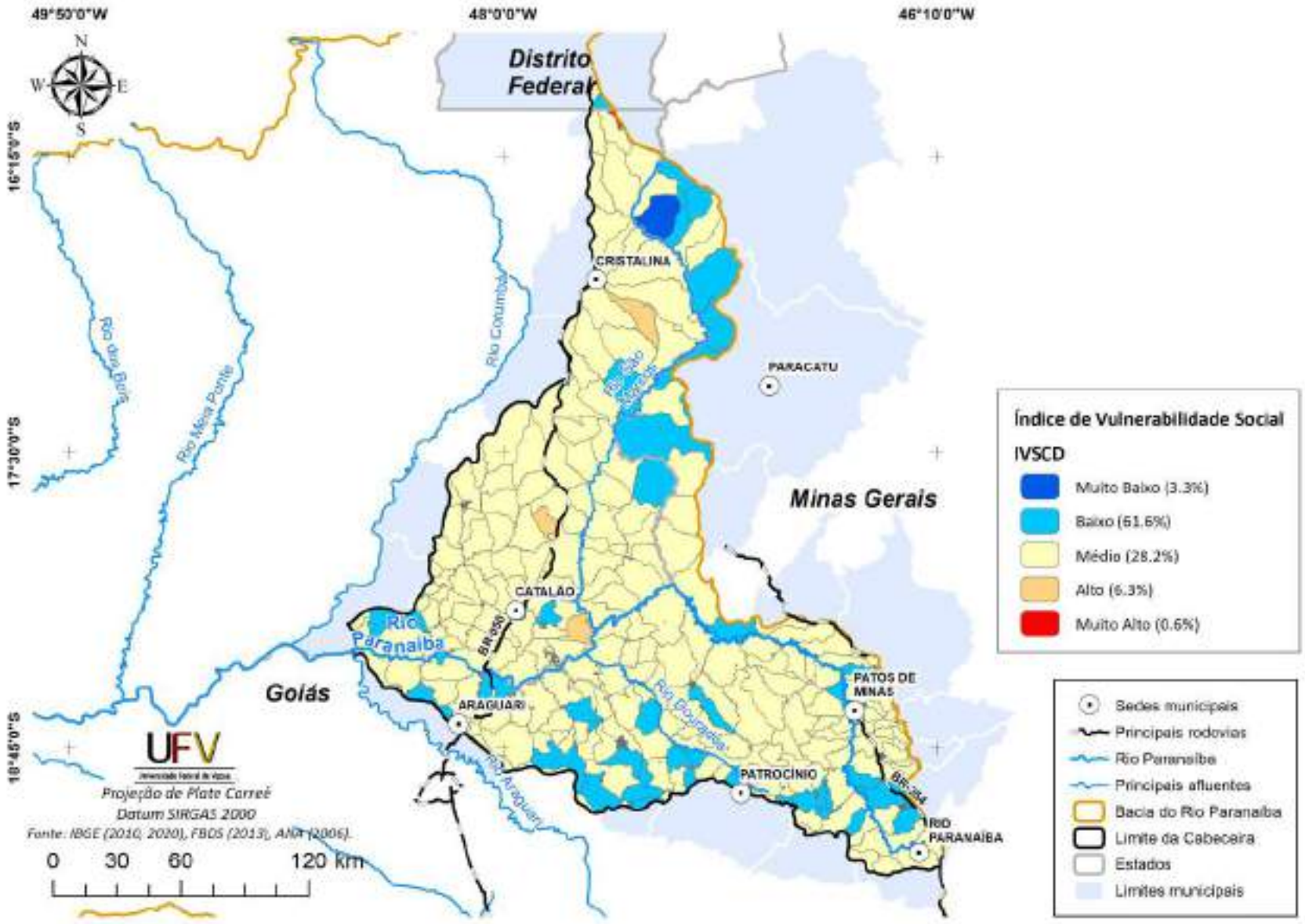

Figura 2.27. Mapa do IVS Censo Demográfico da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.
Fonte: IBGE, Censo Demográfico, 2010.

Conforme já mencionado, o IVS Censo Demográfico foi dividido em cinco classes de igual área pelo método *quantile*, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto índice de vulnerabilidade social. Como resultado preponderante, aproximadamente 63,5% dos setores censitários desta cabeceira estão na classe de vulnerabilidade social baixa, enquanto 29,1% estão na classe vulnerabilidade social média. As outras classes tiveram percentuais baixos de quantidade de setores censitários. Com a média de 0,35, os resultados do IVS-CD estão próximos aos encontrados no diagnóstico socioeconômico. Mesmo com metodologias diferentes, os achados do IVSCD ratificam a situação moderada de desenvolvimento dos territórios desta Bacia. Neste caso, principalmente para a área urbana.

2.3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO AGROPECUÁRIO)

Além do IVS Censo Demográfico, foi operacionalizado o IVS Censo Agropecuário, os resultados do IVSCA corroboram aos encontrados no diagnóstico socioeconômico. Os pesos para os componentes principais obtidos foram os seguintes (gerados pela **matriz de covariância**[3] na técnica estatística de Análise de Componentes Principais): Componente 1 (peso de 0,34); Componente 2 (peso de 0,33), e Componente 3 (peso de 0,33). Por meio desses pesos[4] demonstrou-se que os três componentes apresentaram pesos bem semelhantes, indicando-se proporcionalidade explicativa em todas as dimensões consideradas para o IVSCA, indicando-se que as variáveis desses componentes são proporcionalmente importantes para a composição do IVSCA dos setores censitários nessa bacia. Há ainda a menção de que, para o IVSCA, os três componentes explicam 99,8% da variação total das variáveis originais.

Na **Figura 2.28** está apresentado o mapa do IVSCA da cabeceira da bacia do rio Paranaíba.

A média do IVSCA médio foi de 0,38, a maioria dos setores censitários analisados está concentrada nos estratos de vulnerabilidade social baixo e muito baixo, 63,6%, e de vulnerabilidade social média, com 20,2%. Por outro lado, as classes de vulnerabilidade social alto e muito alto (16,2%), foram os que tiveram as menores participações dos setores. Tal cenário observado demonstra similaridade no nível de desenvolvimento destes locais para o meio rural em consonância ao IVSD e ao IFDM.

3 A covariância é um cálculo estatístico que torna possível a comparação de dois grupos de dados com valores não padronizados, entendendo-se como eles se relacionam entre si (FREUND, 2006).

4 Sobre esses pesos e os seus componentes principais, eles apresentam propriedades importantes, sendo: "cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados" (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p. 83-84).

2.3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL

Por fim, na **Figura 2.29**, está apresentado o IVS Final, que considera em conjunto as informações urbanas e rurais dos setores censitários. Para a ponderação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) na região da cabeceira do rio Paranaíba, foram consideradas as características e distribuições dos resultados obtidos a partir dos dados dos IVS Censo Demográfico e do Censo Agropecuário. Após simulações e ponderações feitas por especialistas das áreas das ciências sociais, econômicas e agrárias, foi atribuído um peso de 25% para o IVS com dados do Censo Demográfico, e o IVS com dados do Censo Agropecuário de 75%. A utilização desses pesos está atrelada à finalidade da elaboração deste índice, que é a intervenção e a restauração de áreas rurais específicas (mas que também são relacionadas e dependentes das áreas urbanas que as circundam).

Conforme mencionado, o IVS Final é dividido em cinco classes de intervalos iguais pelo método *quantile*. A média do IVS foi de 0,37 e como já percebido nos IVS(s) demográfico e agropecuário, as classes de vulnerabilidade social médio, baixo e muito baixo foram as com maiores participações nos resultados, correspondendo a aproximadamente 87%, dos setores censitários para esse índice. Isso demonstra e reforça que a vulnerabilidade social, nesta cabeceira, tem a tendência de condições moderadas, similar ao observado no diag-

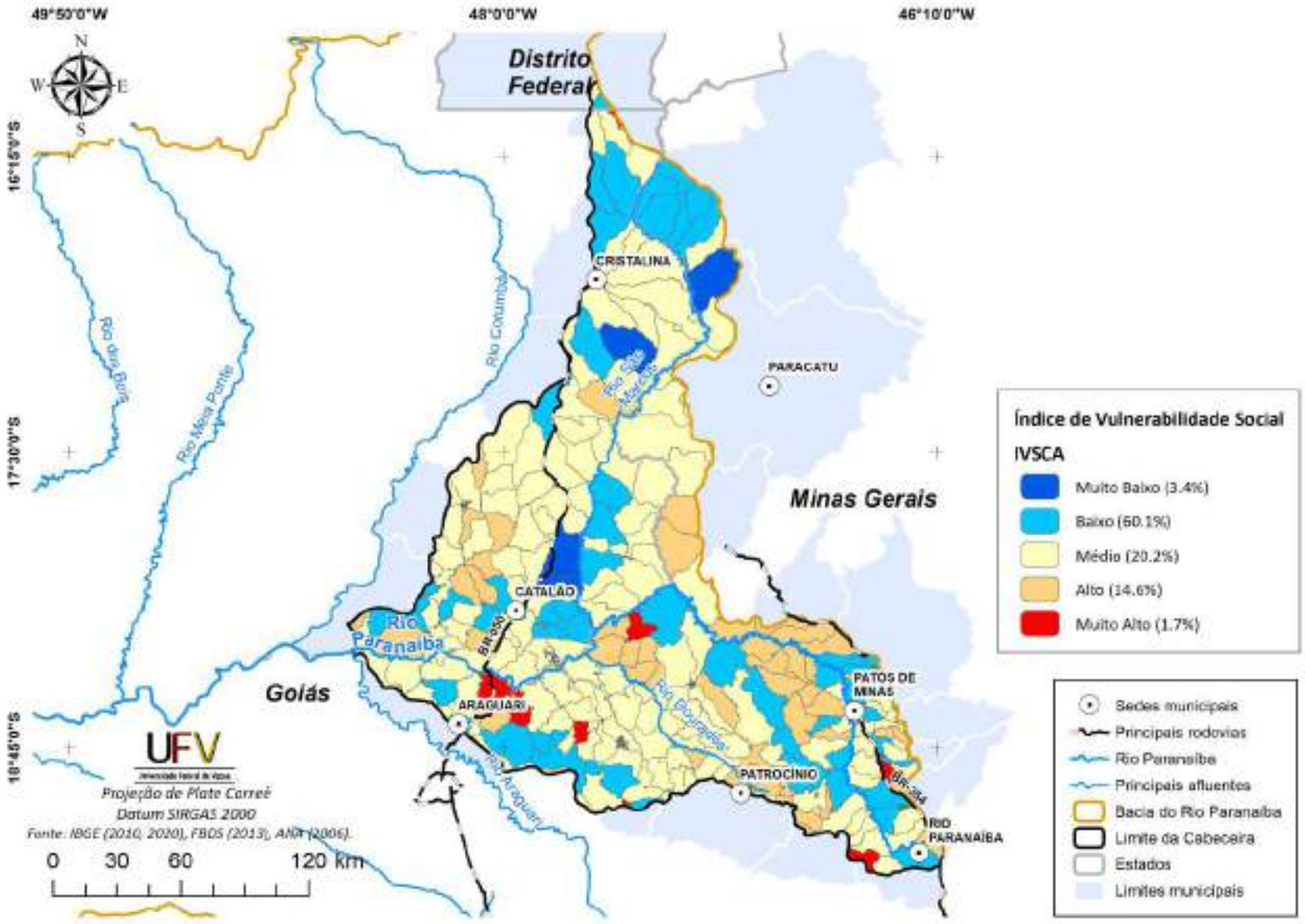

Figura 2.28. Mapa do IVS Censo Agropecuário na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.
Fonte: IBGE, Censo Demográfico, 2017.

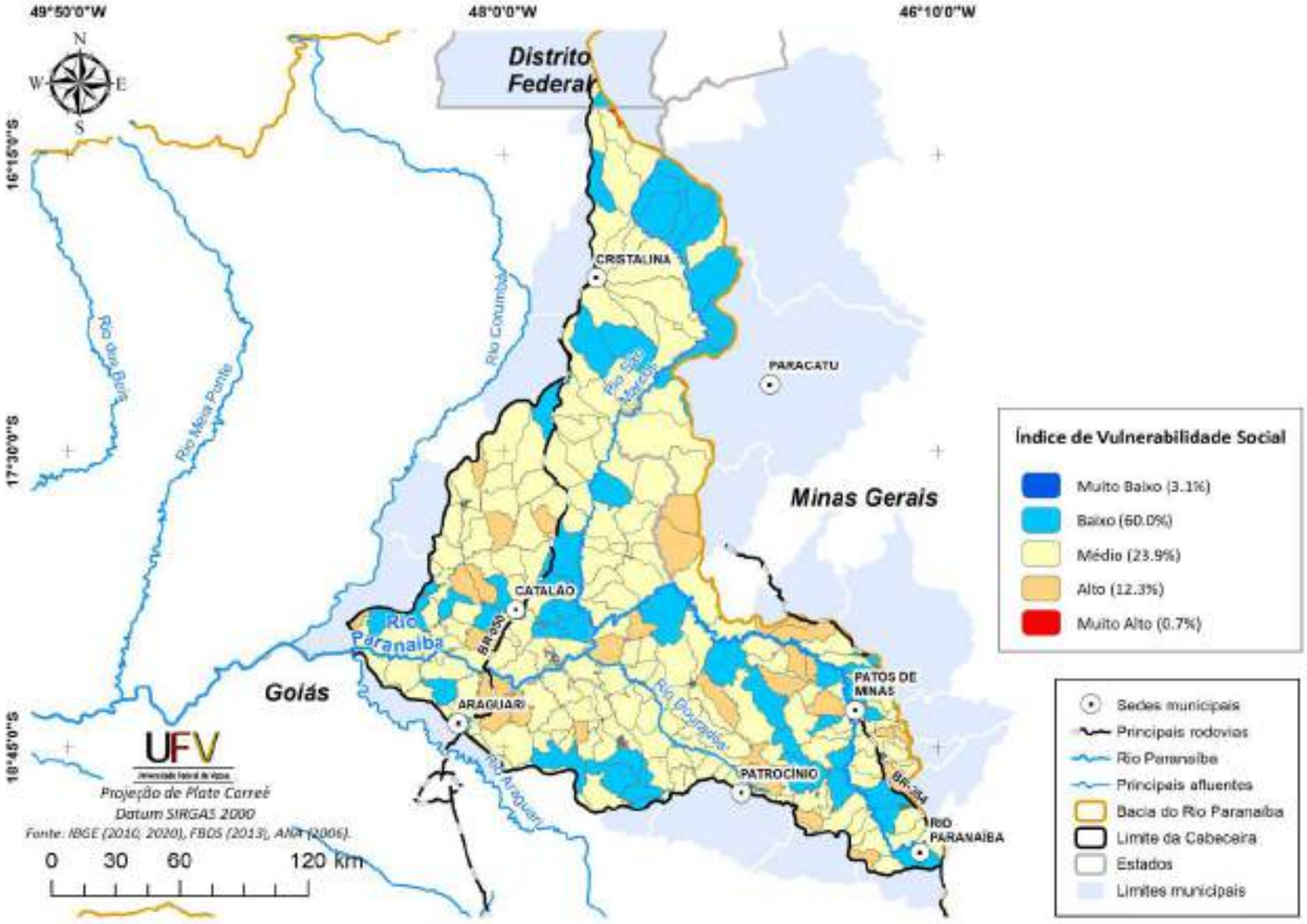

Figura 2.29. Mapa do IVS Final Vulnerabilidade Social na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.
Fonte: IBGE, Censo Agropecuário, 2017, e Censo Demográfico, 2010.

nóstico socioeconômico com dados mais atuais, o que notadamente valida os resultados obtidos.

Vale ressaltar que a área de abrangência da bacia do rio Paranaíba é importante para a economia do país, uma vez que é responsável pela produção de grande parte do milho, da soja e da pecuária bovina, que abastecem o mercado interno e externo, ou seja, a agricultura é uma das principais atividades econômicas da região, seguido da indústria que é uma importante fonte de empregos e renda, com destaque para a produção de etanol, outrossim, a região também apresenta desafios sociais, como a falta de saneamento básico em muitas cidades.

2.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA

Para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da cabeceira da bacia do rio Paranaíba, foi calculada a média ponderada entre os resultados obtidos no cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) (**Figura 2.26**) e do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) (**Figura 2.29**). Após avaliações de distintos cenários, levando em consideração a literatura sobre o tema (SAATY; VARGAS, 2000; 2006), a experiência da equipe em trabalhos similares e o reconhecimento socioambiental da bacia por meio das campanhas de campo realizadas pela equipe da UFV, foi definido o peso de 0,85 e 0,15 para o IVA e o IVS, respectivamente, para a obtenção do IVSA (**Figura 2.30**).

2.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA

As Áreas Prioritárias para recuperação ambiental nas sub-bacias da cabeceira do rio Paranaíba totalizaram 310.491 ha. Desse total, 216.967 ha (70%) são de Muito Alta prioridade e 93.524 ha (30%) de Alta prioridade (**Figura 2.31**). Em relação ao uso do solo em Áreas Prioritárias, 134.679 ha (43%) estão sob pastagens e 175.811 ha (57%) sob usos agrícolas com culturas temporárias (**Figura 2.32**).

Do ponto de vista da recarga hídrica, 150.399 ha (48%) das Áreas Prioritárias para recuperação estão em áreas com maior potencial de recarga, denominadas de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica e 160.092 ha (52%) sob áreas com menor potencial de recarga ou Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica.

Das Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, 17.063 ha estão em APPs Hídricas, 28.289 ha em Reserva Legal, 24.495 ha em Pastagem em Recarga e 80.552 ha em Agricultura em Recarga (**Figura 2.33**). Dentre as Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica, 68.214 ha estão em APPs Hídricas e 91.878 ha em Reserva Legal (**Figura 2.34**).

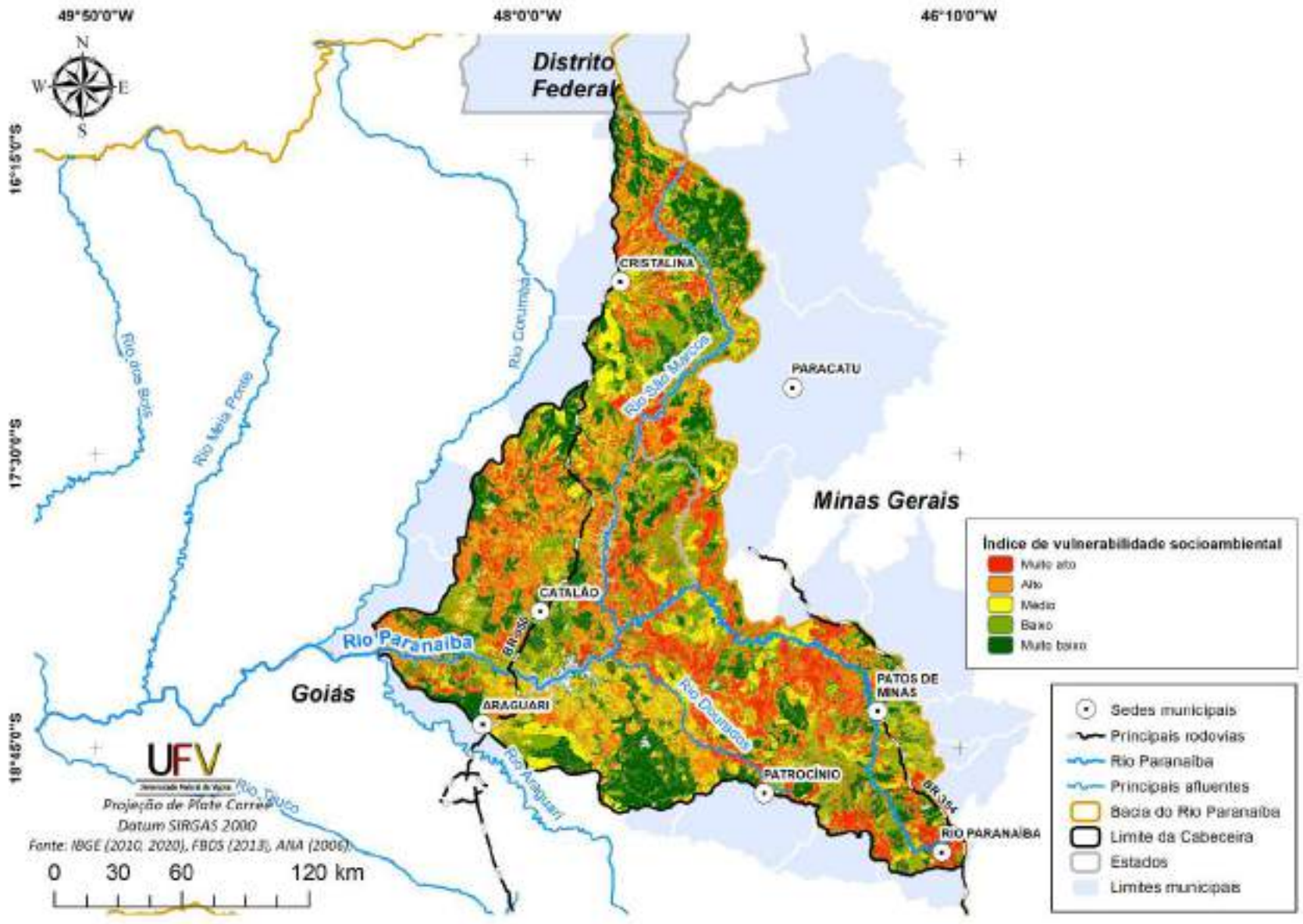

Figura 2.30. Mapa de classes do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

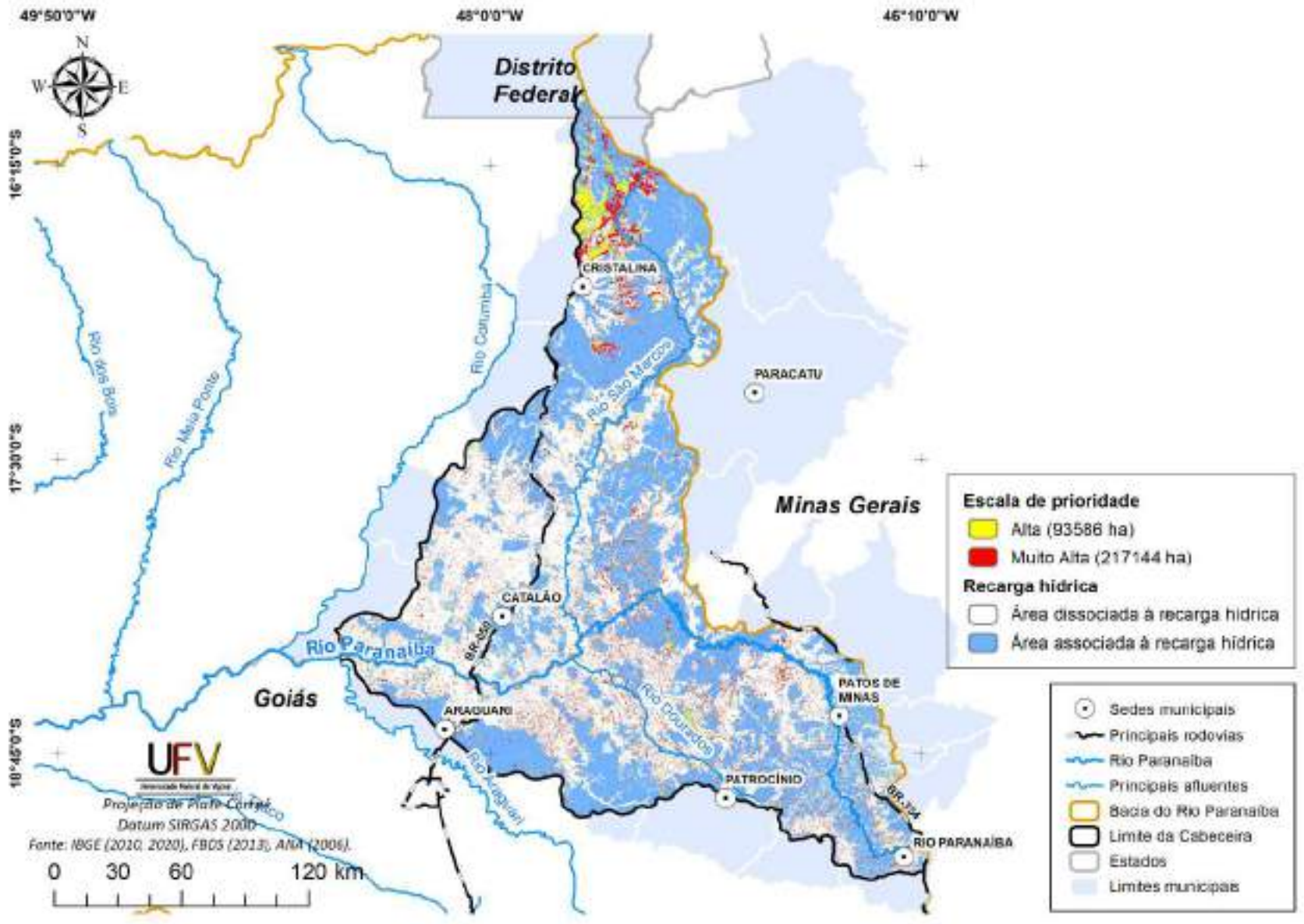

Figura 2.31. Mapa de escala das áreas prioritárias (Alta e Muito Alta) para recuperação ambiental das sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

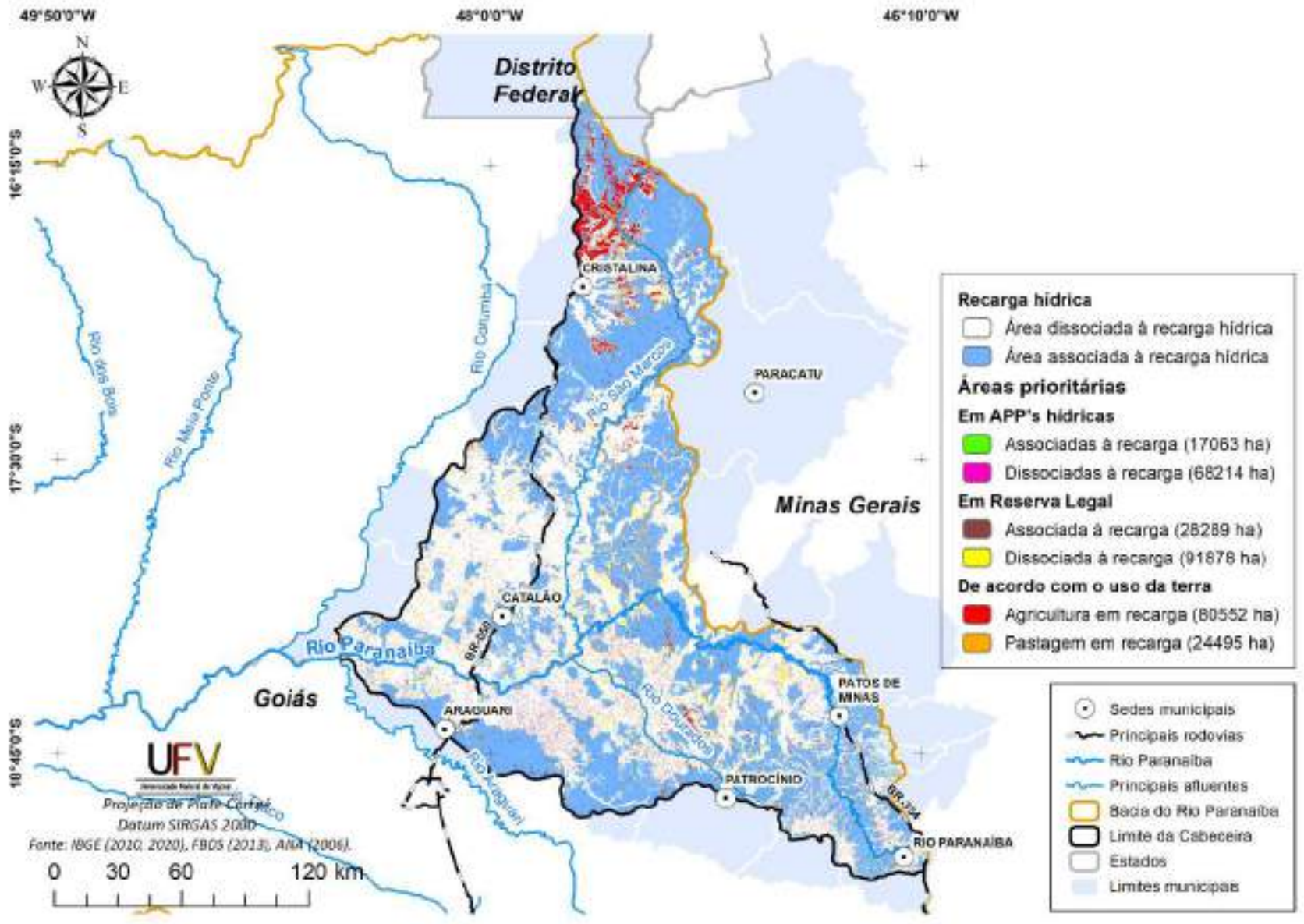

Figura 2.32. Mapa dos grupos de áreas prioritárias (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em Recarga e Agricultura em Recarga) para recuperação ambiental das sub-bacias na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

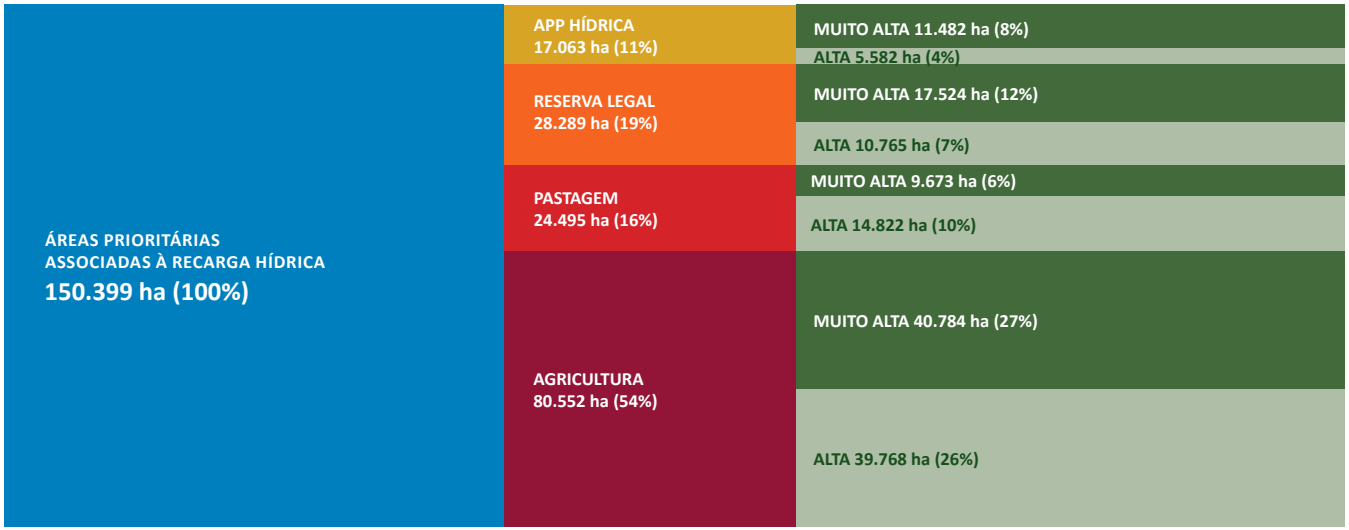

Figura 2.33. Total de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em recarga e Agricultura em recarga) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

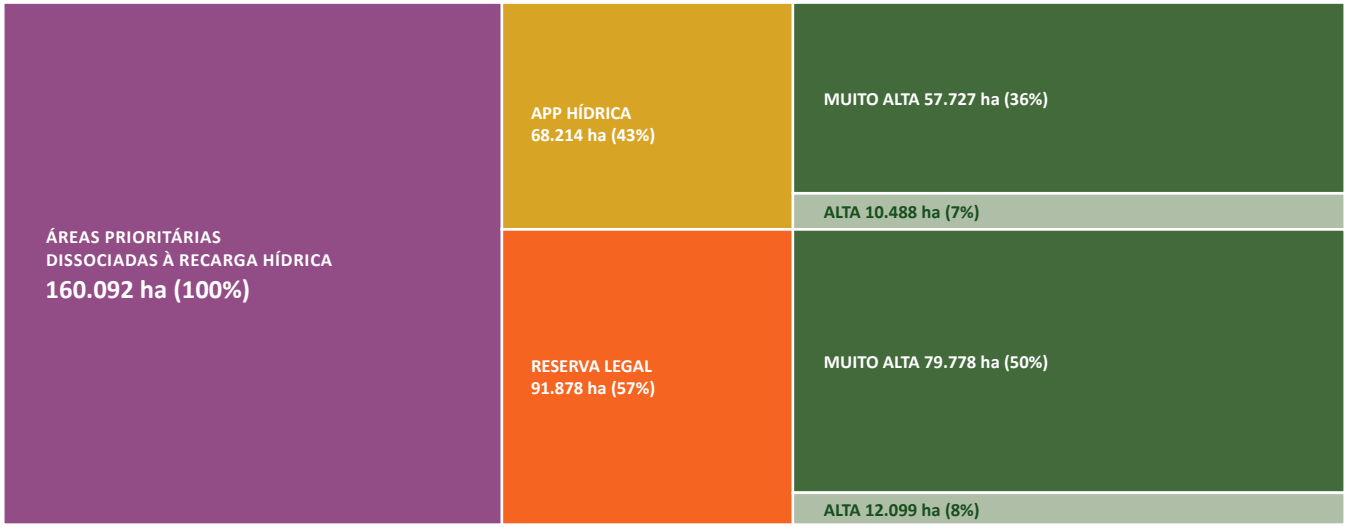

Figura 2.34. Total de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em recarga e Agricultura em recarga) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

3. RESULTADO DA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

3.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA

3.1.1. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

A precipitação média anual na cabeceira da bacia do rio São Francisco, no período entre 2001 e 2020, variou entre 1.135,6 e 1.734,4 mm ano^{-1} (**Figura 3.1**), uma amplitude de aproximadamente 600 mm ano^{-1} entre as regiões de maior e menor precipitação. As regiões com menor precipitação anual (<1.274 mm ano^{-1}), estão localizadas na região entre os municípios de Curvelo - MG e Pompéu - MG, na foz da bacia do rio Paraopeba, enquanto as regiões com maior precipitação anual (>1.579 mm ano^{-1}) estão localizadas próximas à nascente do rio São Francisco e do rio Pará, na porção sul da cabeceira da bacia.

A evapotranspiração média anual na cabeceira da bacia do rio São Francisco variou entre 196,6 e 1.309,4 mm ano^{-1} (**Figura 3.2**). As maiores taxas de evapotranspiração estão associadas aos fragmentos de formações florestais localizados próximos às Serras da Moeda e Azul, ao sul do município de Betim - MG e no oeste da cabeceira, ao norte do município de Medeiros - MG. Outro uso que contribui para a evapotranspiração elevada são os cultivos de eucalipto que, na cabeceira do rio São Francisco, estão localizados na região entre os municípios de Curvelo - MG, Pompéu - MG e Sete Lagoas - MG, bem como em Martinho Campos - MG localizada à Nordeste de Luz - MG. Os menores valores estão associados às áreas com formações campestres, pastagens e solo exposto. A maior quantidade de áreas com valores de evapotranspiração abaixo de 550 mm ano^{-1} está localizada no baixo rio Paraopeba, onde há uma extensa área coberta com vegetação campestre, com baixa cobertura vegetal e elevada área de solo exposto.

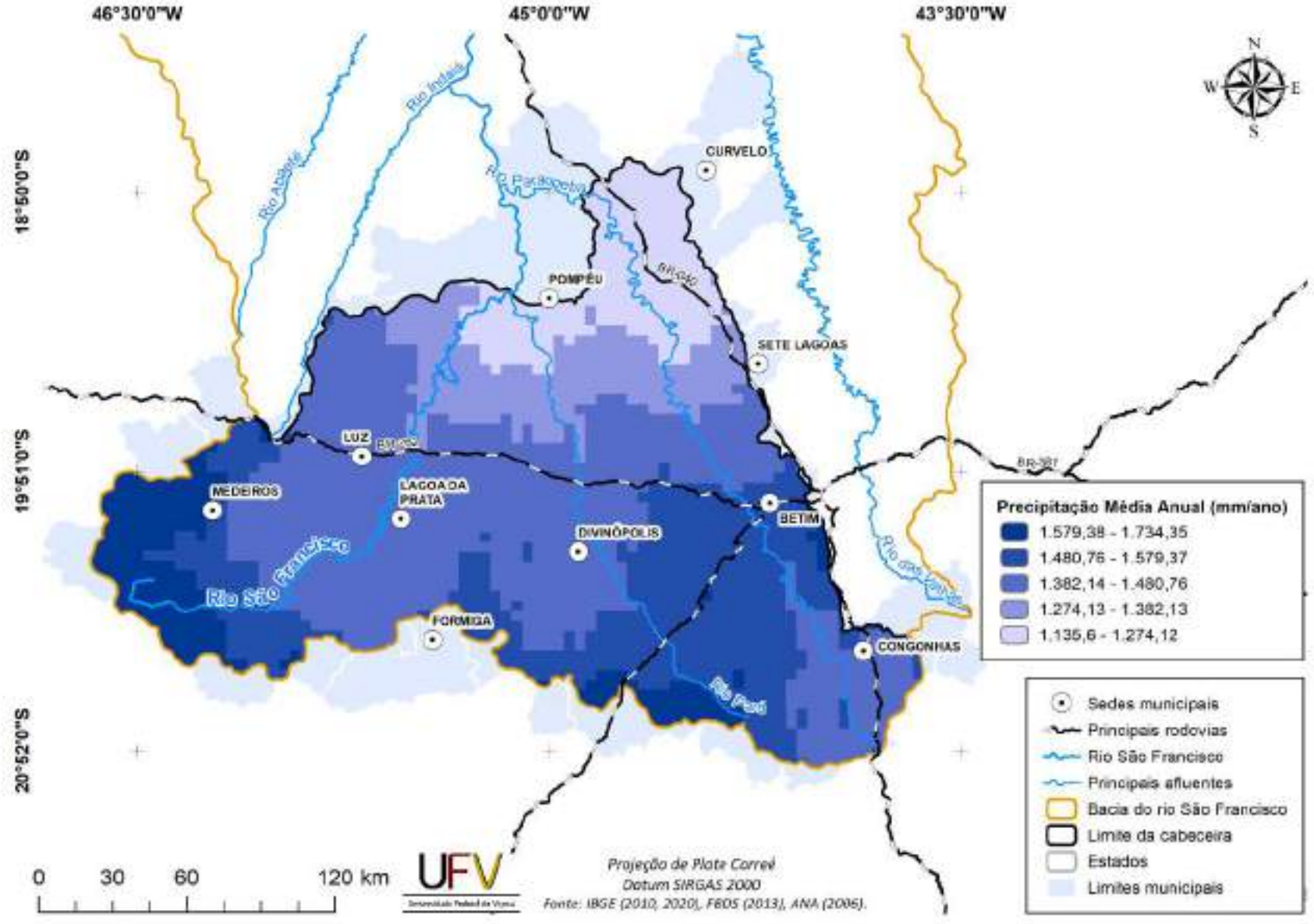

Figura 3.1. Mapa de precipitação média anual (período de 2001 a 2020) na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

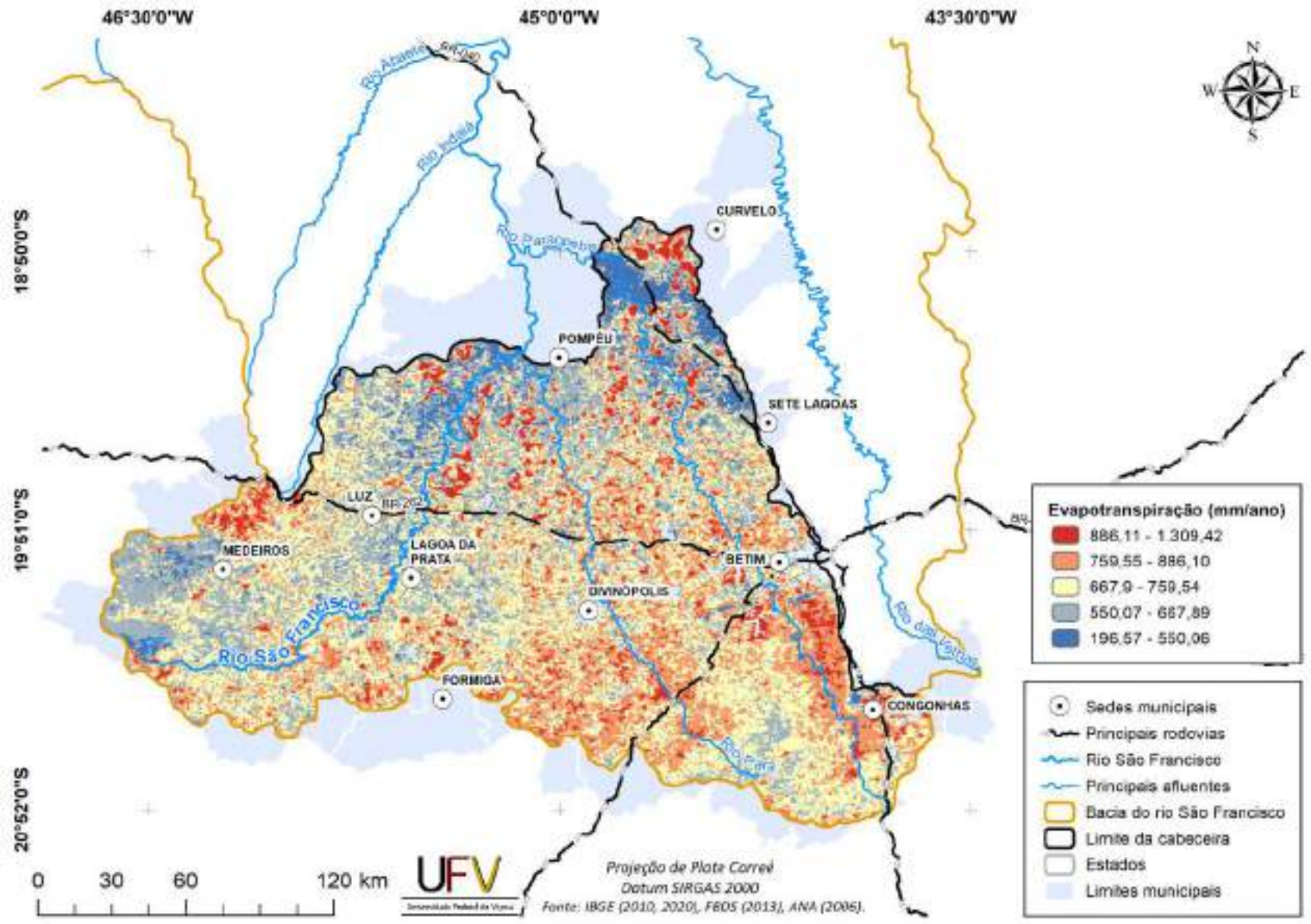

Figura 3.2. Mapa de evapotranspiração média anual (período de 2001 a 2020) na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

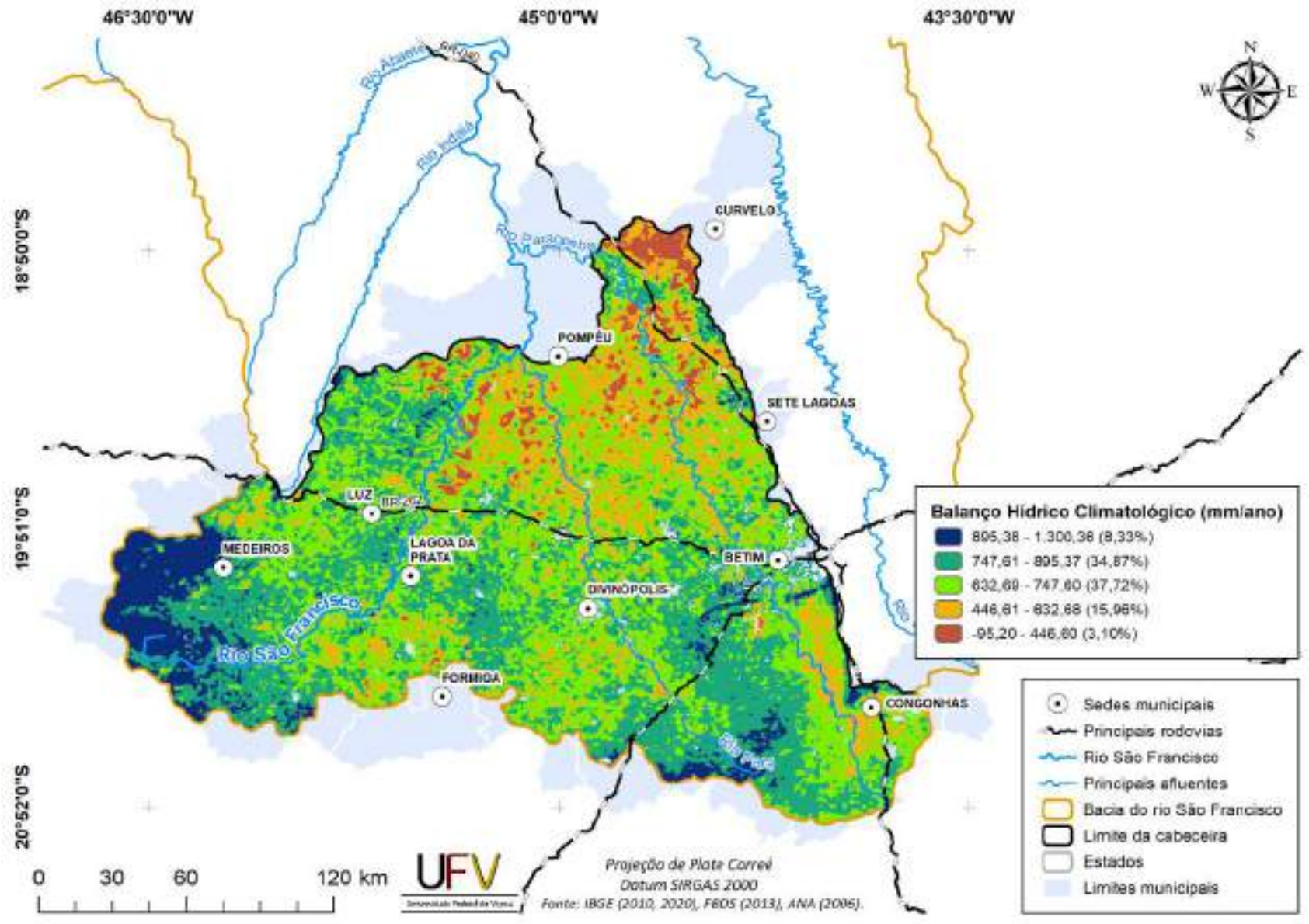

Figura 3.3. Mapa do balanço hídrico climatológico anual médio, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

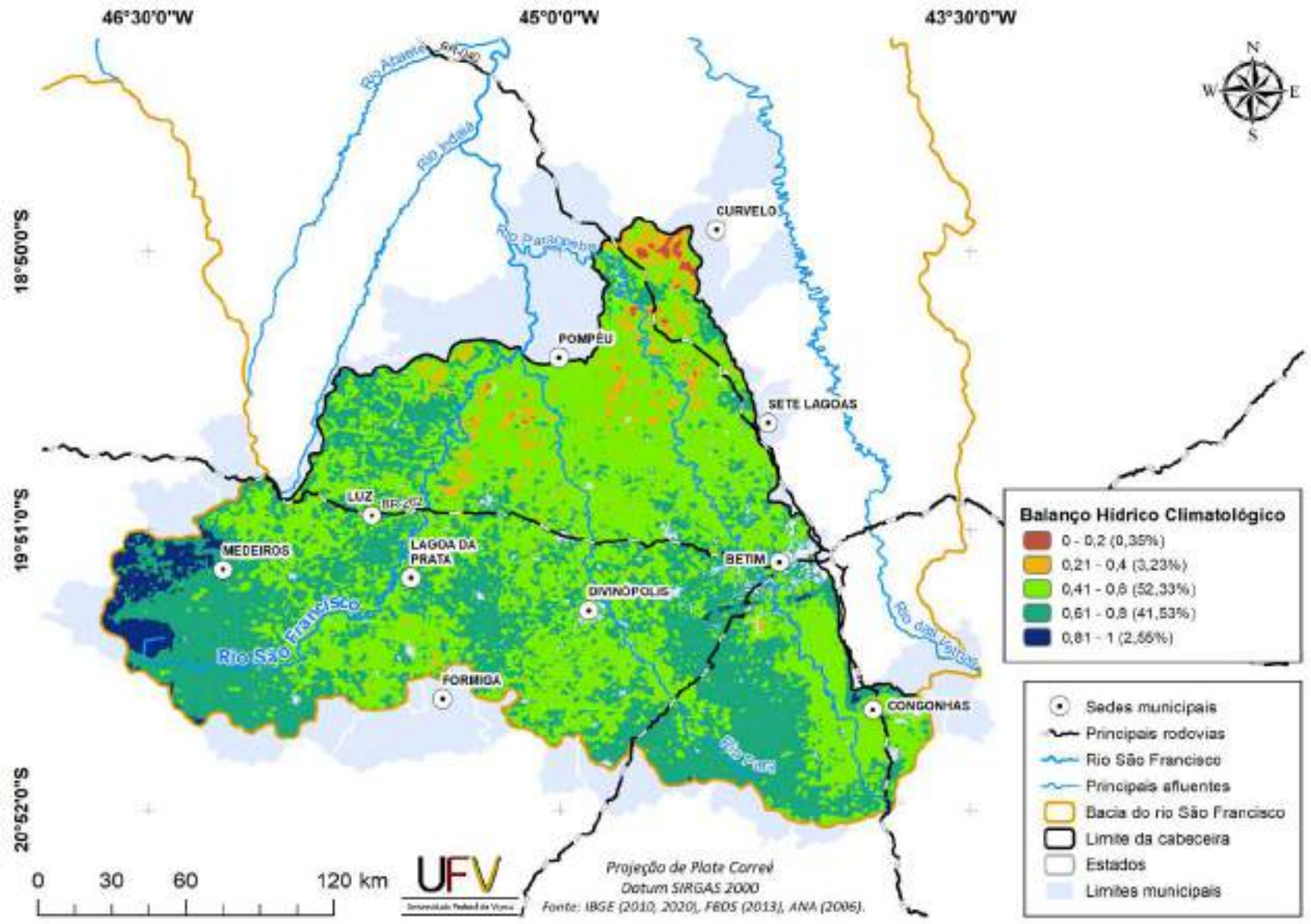

Figura 3.4. Mapa do balanço hídrico climatológico, reescalonado entre 0 e 1, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco

A média anual do balanço hídrico climatológico na cabeceira da bacia do rio São Francisco, no período de 2001 a 2020, variou entre -95,2 e 1.300 mm ano^{-1} (**Figura 3.3**). As áreas com BHC médio anual mais favorável, acima de 895 mm ano^{-1}, representou 8,33% do total da área da cabeceira, localizadas na região das nascentes dos rios São Francisco e Pará, enquanto o intervalo mais representativo foi entre 632 e 895 mm ano^{-1}, que ocorreu em 72,59% da área total. As áreas com BHC até 632 mm ano^{-1} representam 19,06% do total da área da cabeceira do rio São Francisco e estão localizadas na região de Curvelo - MG e Pompéu - MG. Ao reescalonar a variável BHC entre 0 e 1, a maior porção da área ficou concentrada entre 0,41 e 0,80, totalizando 93,86%, ou seja, concentrando em áreas com valores intermediários a mais favoráveis à recarga hídrica, do ponto de vista da disponibilidade de água para armazenamento (**Figura 3.4**).

3.1.2. DECLIVIDADE

As principais classes de relevo encontradas na cabeceira da bacia do rio São Francisco são: ondulado (43,84%) e suave ondulado (26,66%), forte ondulado (16,92%) (**Figura 3.5**). O relevo montanhoso e escarpado ocupa apenas 1,11% da área da cabeceira e o relevo plano está presente em 11,47% da área total. A parte plana da cabeceira da bacia está localizada principalmente na faixa próxima à margem direita do rio São Francisco, na região de Lagoa da Prata - MG e se estende até a região do município de Curvelo - MG. As áreas com declividade acima de 45% estão associadas às regiões de serra, como na Serra da Moeda, Azul, da Canastra e da Serra de Luz.

A declividade na área da cabeceira variou entre 0 e 296,87%, com média igual a 12,6% e desvio padrão de 9,9%. Desta forma, aplicando a regra do limite máximo para o reescalonamento, que corresponde à soma do valor médio mais três vezes o desvio padrão, a declividade máxima utilizada como referência para reescalonar os dados foi de 42,3%. Ao reescalonar a variável Declividade entre 0 e 1, a maior porção da área ficou concentrada entre 0,61 e 1,0, totalizando 76,3%, ou seja, em áreas mais favoráveis à recarga hídrica, do ponto de vista da declividade **(Figura 3.6**).

3.1.3. DISTÂNCIA À HIDROGRAFIA

Os valores da distância à hidrografia na cabeceira da bacia do rio São Francisco variaram de 0 a 2.966 m (**Figura 3.7**). Aproximadamente 94,11% da área está concentrada em distâncias de até 604,9 m, enquanto apenas 1,24% da área está acima de 1.035,3 m de distância da hidrografia. Os menores valores de distância estão localizados no Alto e Médio Paraopeba e Alto Pará, assim como na região da nascente do rio São Francisco. As maiores distâncias coincidem com as regiões mais planas da cabeceira, na margem direita do rio São Francisco em faixa que se estende de Lagoa da Prata - MG à Curvelo - MG.

O valor médio da distância à hidrografia foi igual a 208,3 m, com desvio padrão de 215,7 m, portanto o valor máximo definido para realizar o reescalonamento do mapa foi igual a 855,4 m. Após o reescalonamento, nota-se para a variável Distância à Hidrografia, 83,5% da área da cabeceira possui valores abaixo de 0,4, portanto com baixo potencial de recarga hídrica e apenas 4,0% da área está acima de 0,81, concentradas sobretudo na faixa entre Lagoa da Prata - MG e Curvelo - MG (**Figura 3.8**).

3.1.4. POTENCIAL PEDOHIDROLÓGICO À RECARGA HÍDRICA

A correlação entre as classes de solo (**Figura 3.9**) e litologias (**Figura 3.10**) associadas, com o Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica é direta e muito perceptível quando se cruza estes planos de informação. As classes de solo associadas às áreas de maior Potencial Pedohidrológico (muito alto e alto) (**Figura 3.11**), que somadas representam 46,8% da área da cabeceira da bacia, são associadas prioritariamente à classe dos

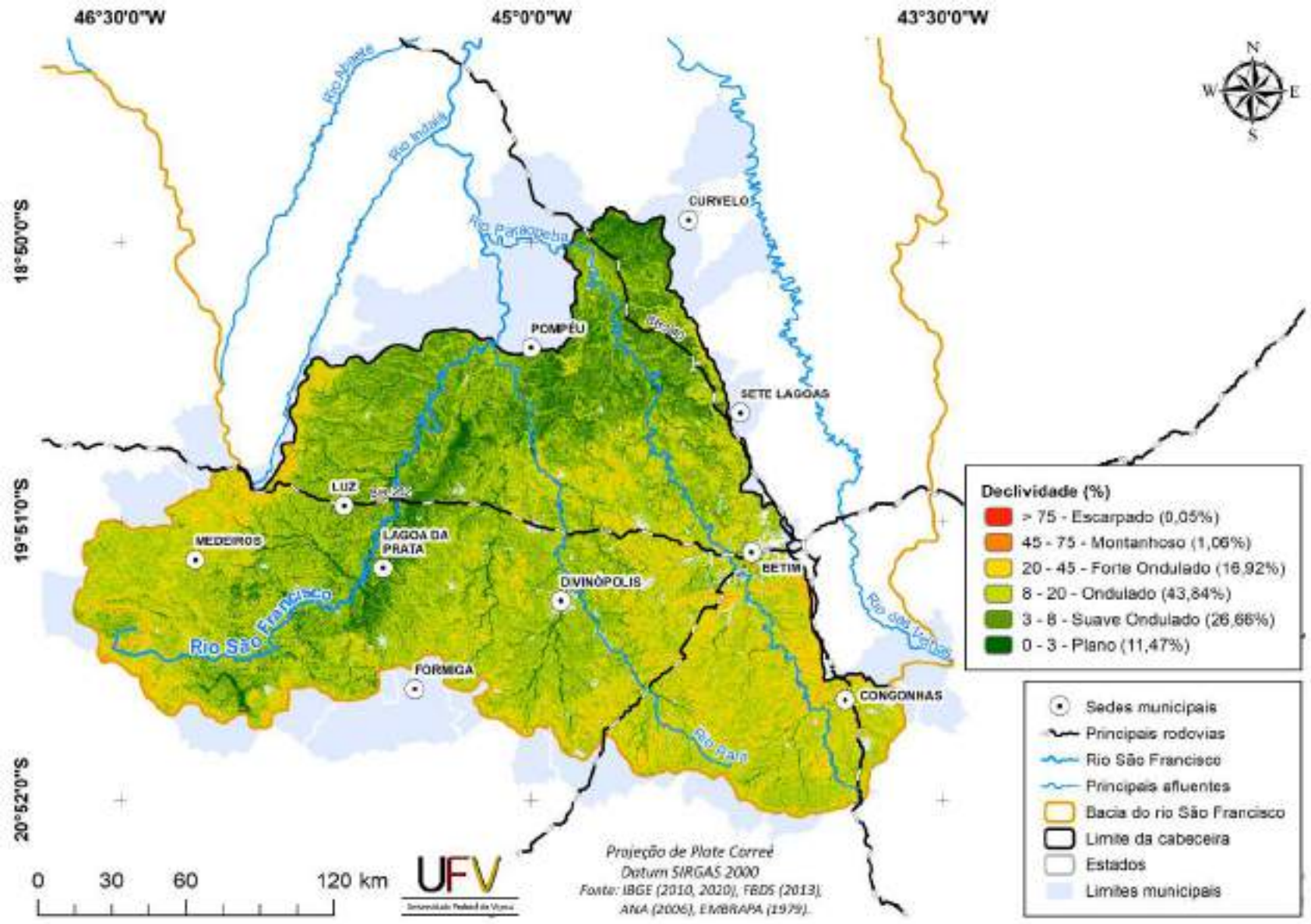

Figura 3.5. Mapa da declividade em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

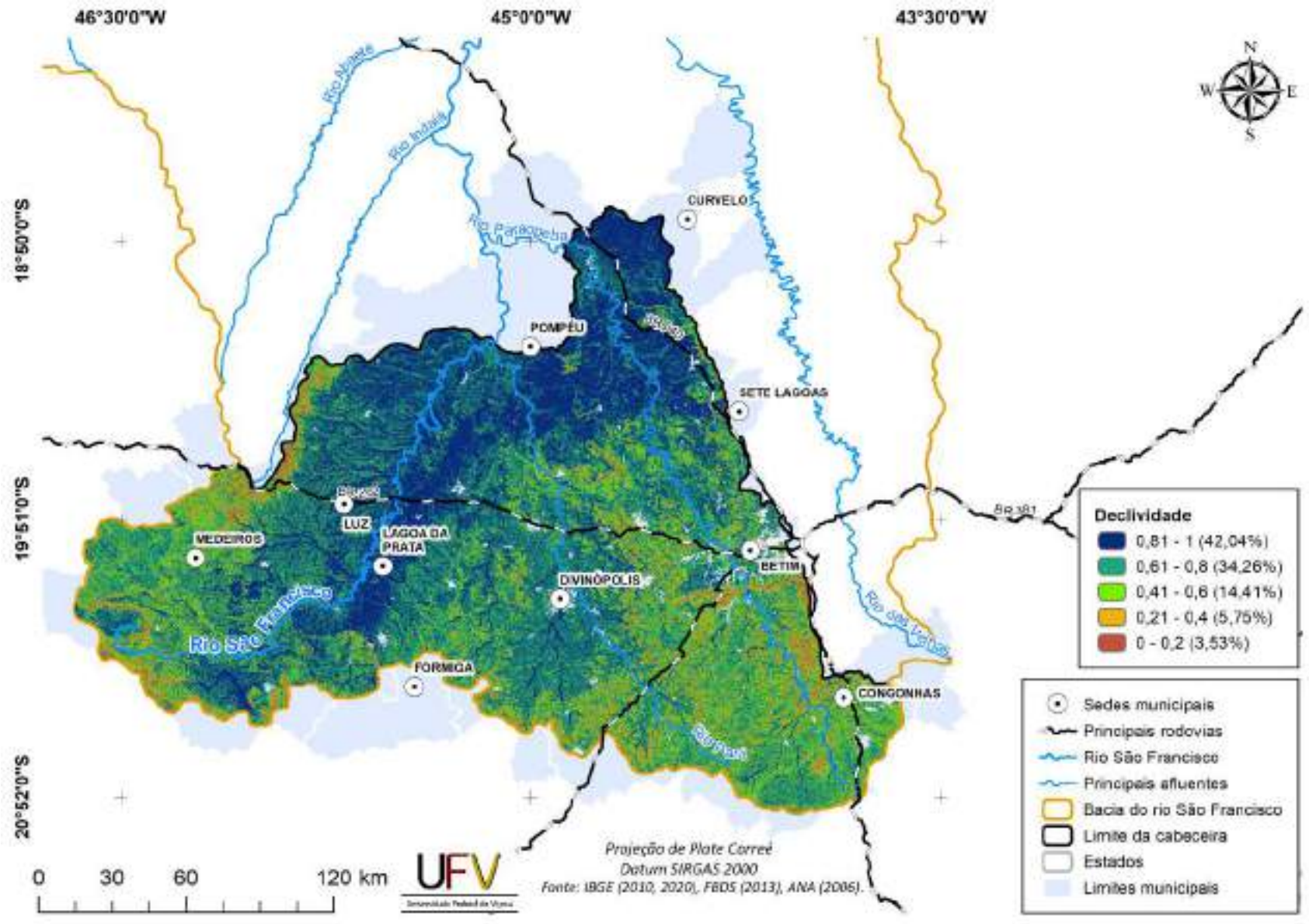

Figura 3.6. Mapa da declividade em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, reescalonada entre 0 e 1.

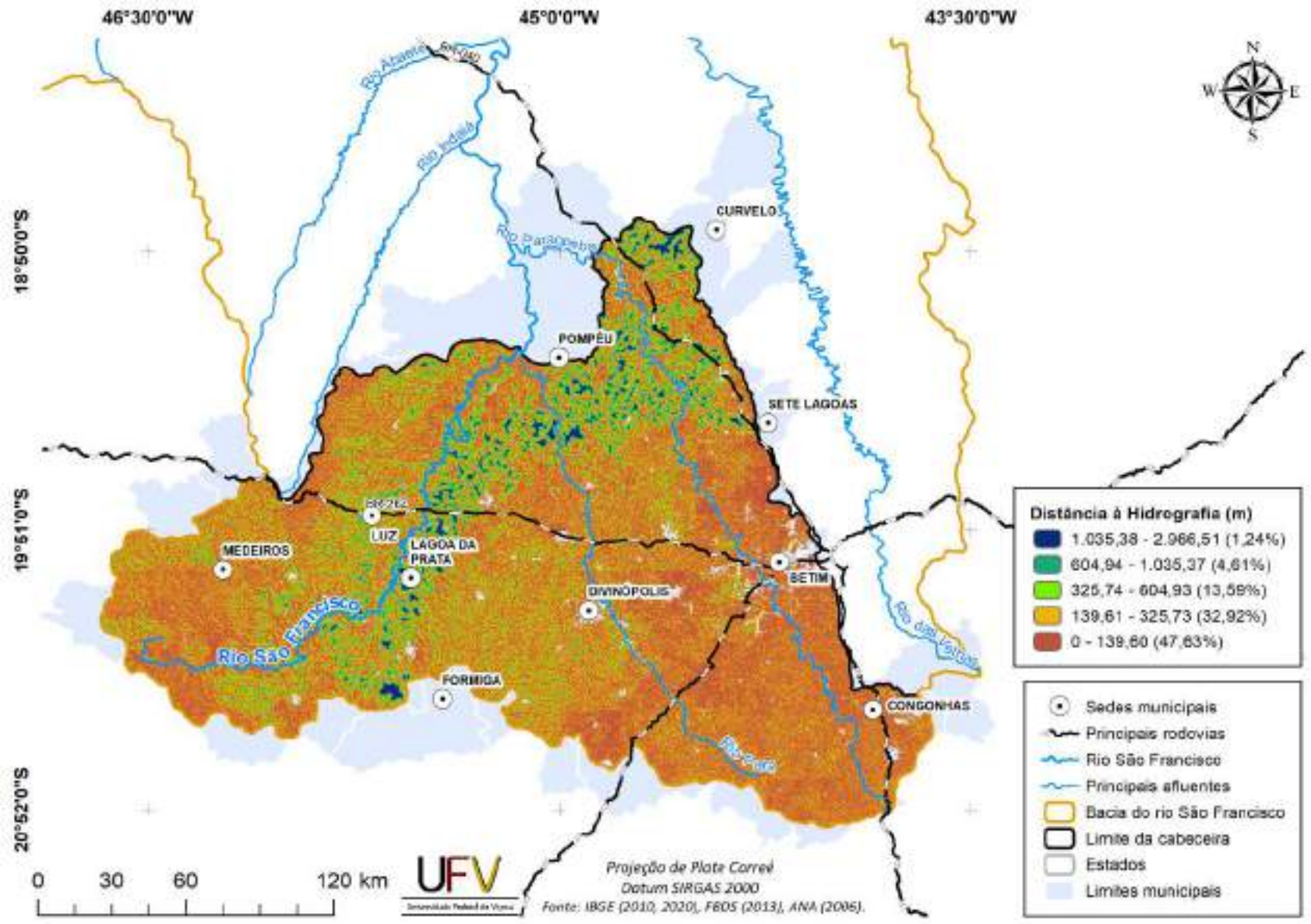

Figura 3.7. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

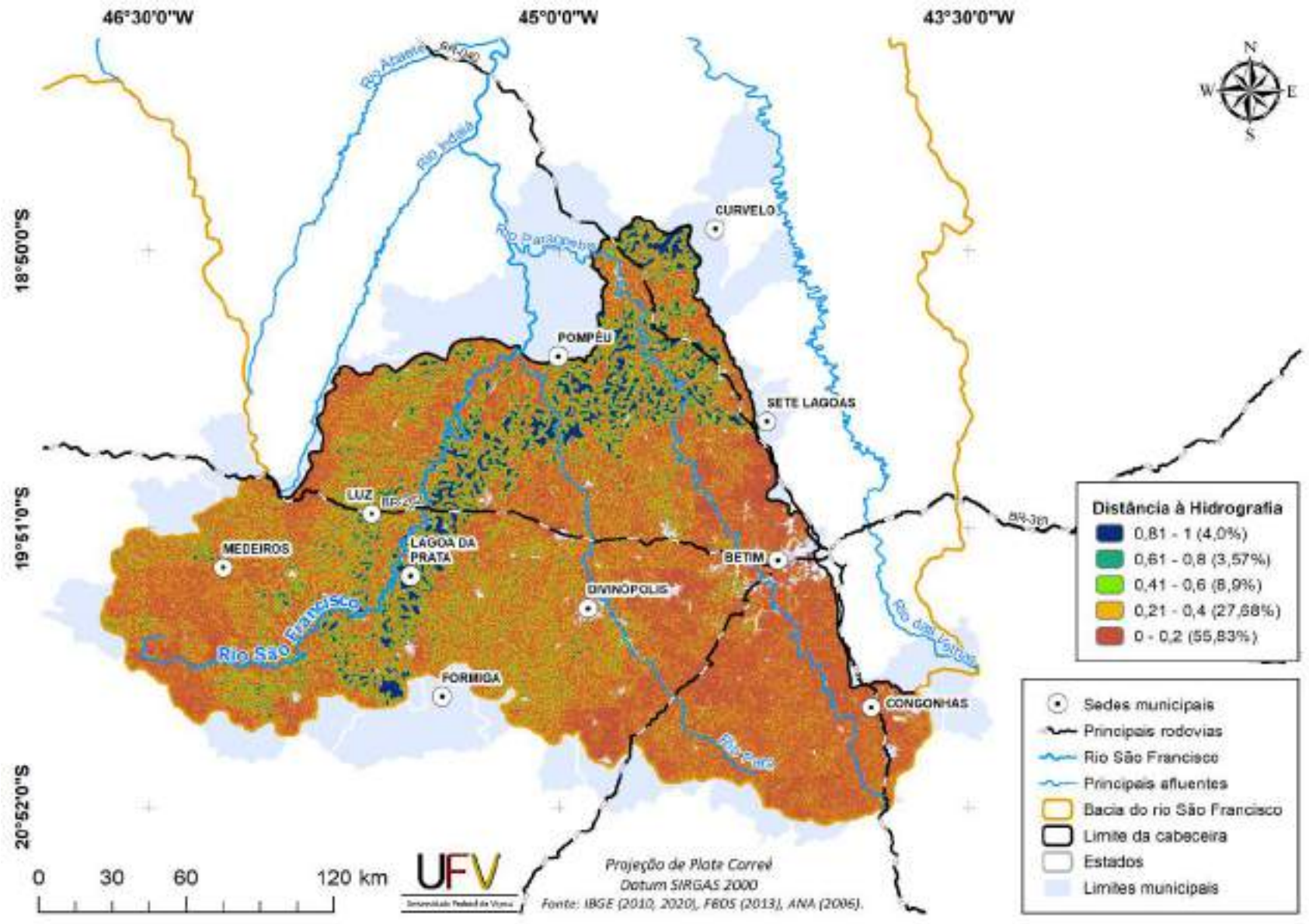

Figura 3.8. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, reescalonada entre 0 e 1.

Latossolos. Este fato se deve às características intrínsecas a esta classe de solos, que refletem aspectos de solos bem desenvolvidos, com profundidade efetiva muito boa, elevada porosidade total e um grau de desenvolvimento estrutural forte. Estes solos expressam, portanto, o mais alto grau de desenvolvimento das características físicas, que irão condicionar fortemente o potencial pedohidrológico, visto que estão intimamente associadas com a dinâmica de infiltração e percolação de água no solo. Na bacia do Rio São Francisco a ocorrência destes solos está associada a distintos tipos de rochas, sendo estas predominantemente sedimentares como calcários do Grupo Bambuí, e relacionadas ao embasamento cristalino (granitos/gnaisses).

As áreas de potencial pedohidrológico médio ocupam cerca de 21% da bacia do Rio São Francisco, e estão associadas a classes de solo de desenvolvimento intermediário como os Argissolos e também aos Cambissolos. Os Cambissolos irão contribuir com as áreas de médio e também de baixo potencial pedohidrológico. Este fato decorre primeiramente da enorme amplitude de ocorrência desta classe de solos, que pode estar associada a diferentes tipos de rochas e feições de relevo. Na bacia do Rio São Francisco os Cambissolos estão associados prioritariamente a rochas pelíticas e metapelíticas, apresentando maior potencial pedohidrológico quando ocorrem associados a feições de relevo ondulado.

As áreas de potencial pedohidrológico muito baixo ocupam uma porção inferior a 4% na Bacia do São Francisco, e estão relacionadas diretamente aos solos menos desenvolvidos que estão associados às rochas mais resistentes ao intemperismo. Destacam-se os Neossolos Litólicos associados aos quartzitos da Serra da Canastra ou do Quadrilátero Ferrífero no extremo sudeste da bacia, bem como aos Cambissolos e Neossolos Litólicos de rochas metapelíticas do Grupo Bambuí ao longo da borda oeste da bacia. No mapa reescalonado de 0 a 1 (**Figura 3.12**), observa-se que há predominância de áreas em valores intermediários, entre 0,21 e 0,80, para o potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia do rio São Francisco.

3.1.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Na **Tabela 3.1** encontra-se a matriz de comparação dos critérios, que foi utilizada para obter a estimativa da importância relativa de cada variável, resultando nos pesos finais apresentados na **Tabela 3.2**. Esses pesos foram então multiplicados aos mapas das variáveis para obter a classificação do potencial de recarga, que resultou no mapa da Área de Recarga nas sub-bacias da cabeceira do rio São Francisco (**Figura 3.13**). Para fins de análise, o mapa da Área de Recarga foi dividido em dois grupos: o primeiro grupo denominado de Área Associada à Recarga Hídrica, correspondendo à 50% da área analisada com os maiores valores de potencial de recarga; e o segundo grupo denominado Área Dissociada à Recarga Hídrica, correspondente a outra metade com menor valor de potencial de recarga hídrica. Essa subdivisão do potencial de recarga hídrica na área da bacia tem o intuito de identificar onde as ações de recuperação das áreas com maior vulnerabilidade socioambiental podem ter maior ou menor impacto sobre a recarga hídrica. Esses pontos serão abordados com mais detalhes no item Áreas Prioritárias.

3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA

3.2.1. ADEQUAÇÃO DO USO DA TERRA

A capacidade de uso da terra foi definida como aquela correspondente ao fator limitante entre os critérios relacionados ao solo, ao relevo e aos aspectos legais, ou seja, para uma determinada área, o valor de capacidade de uso corresponde ao maior valor de classe de capacidade apresentado para os três critérios. Na **Figura 3.14** está o mapa de capacidade de uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco

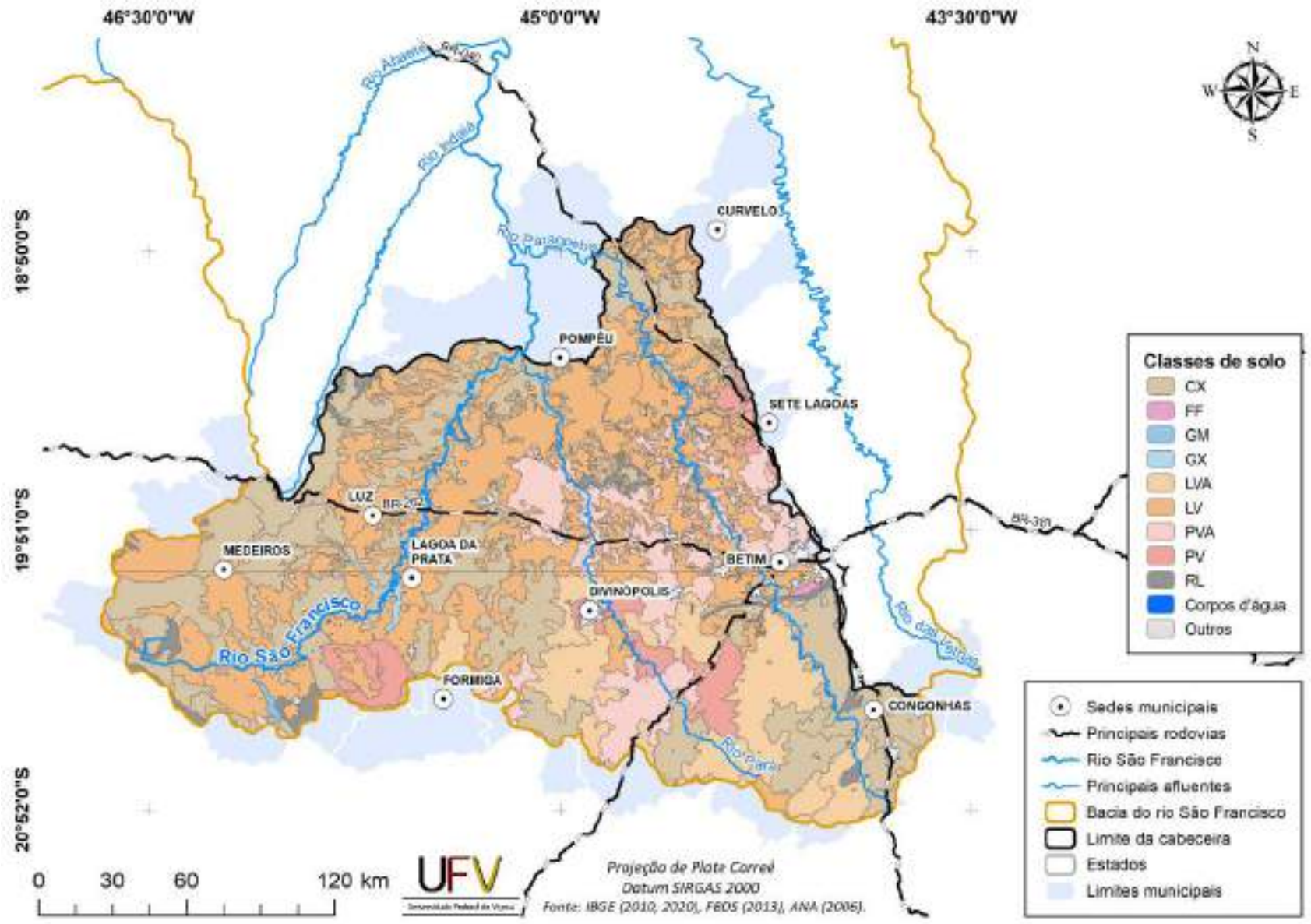

Figura 3.9. Mapa de classe de solos na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

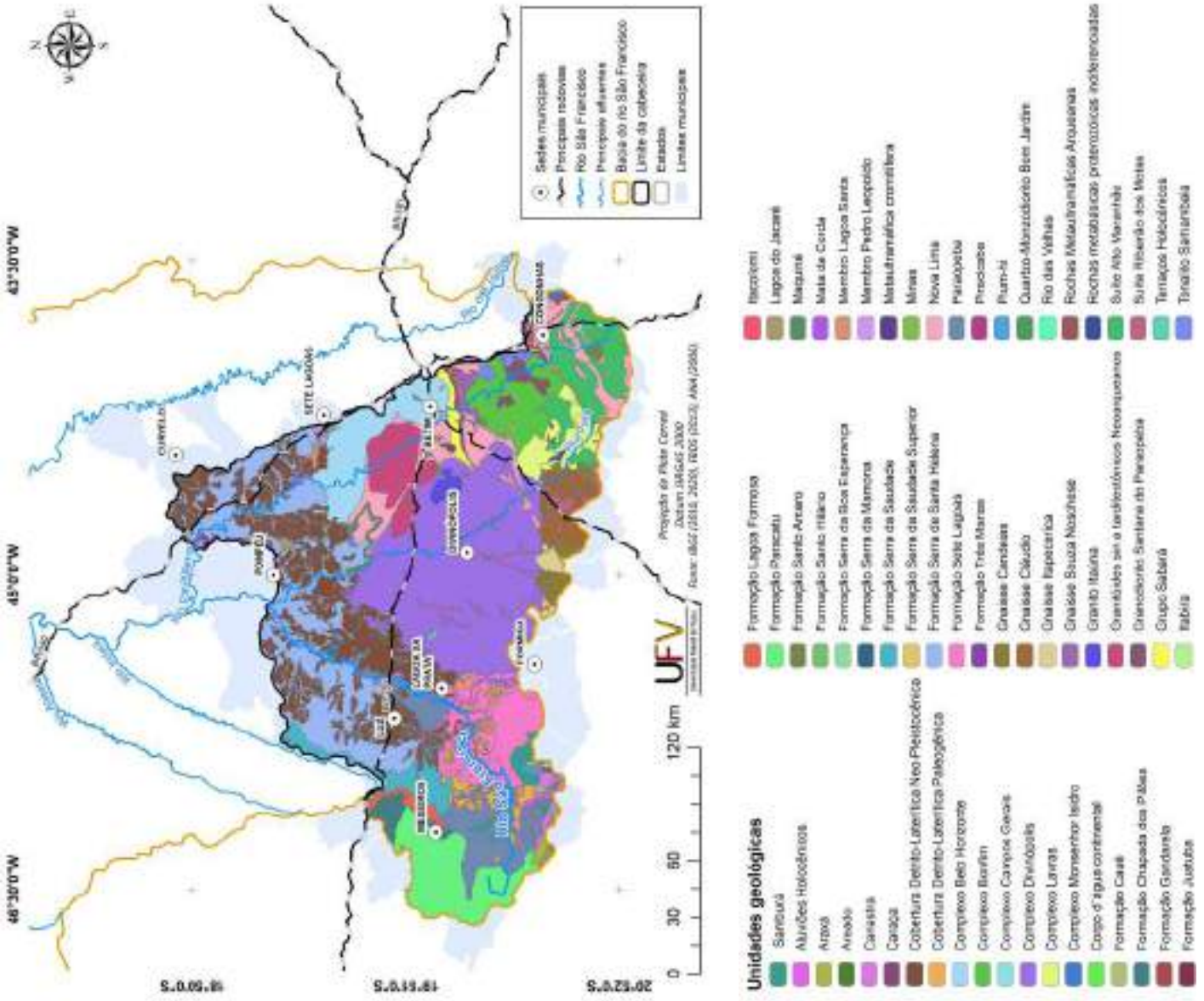

Figura 3.10. Mapa da geologia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

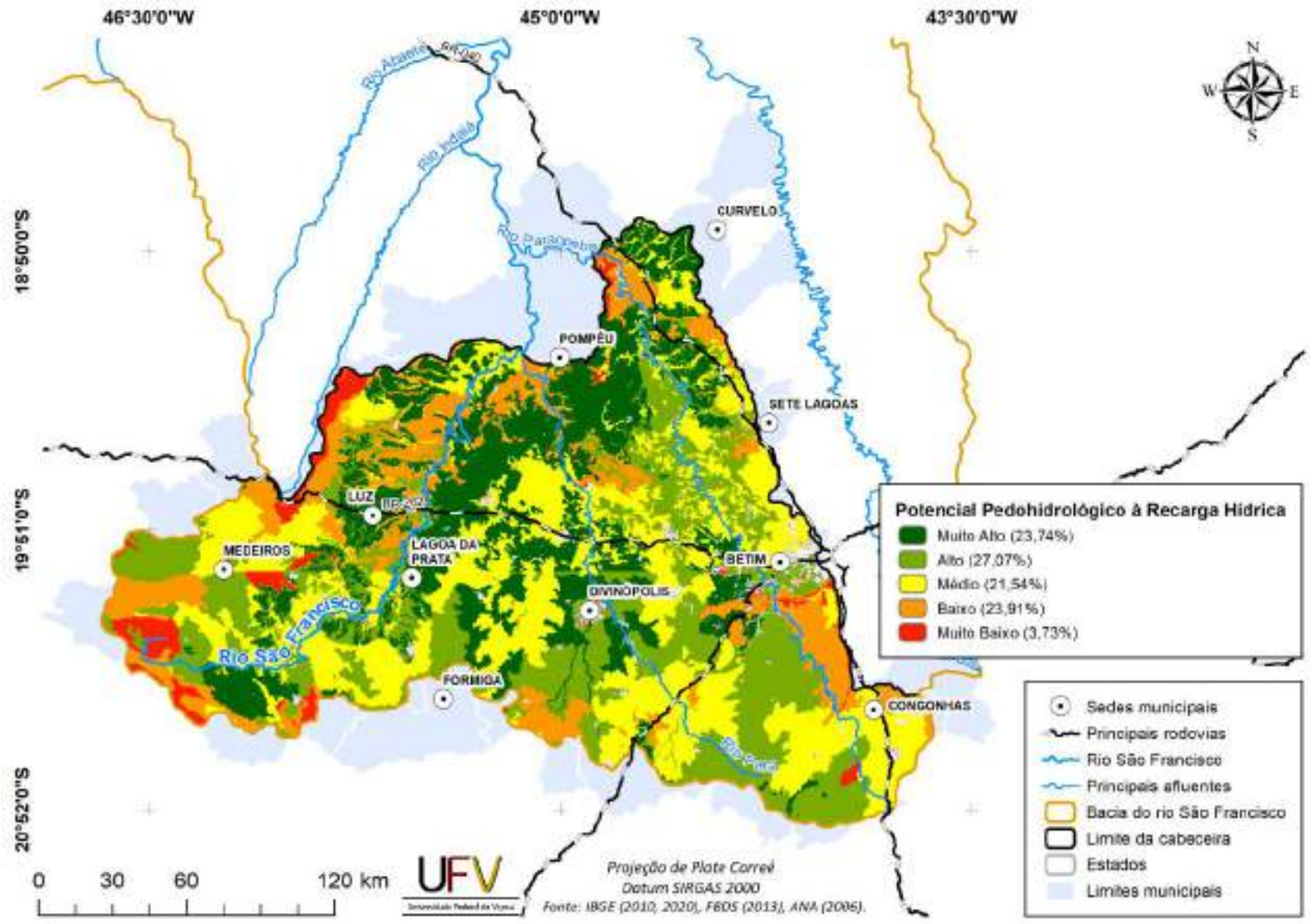

Figura 3.11. Mapa do potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

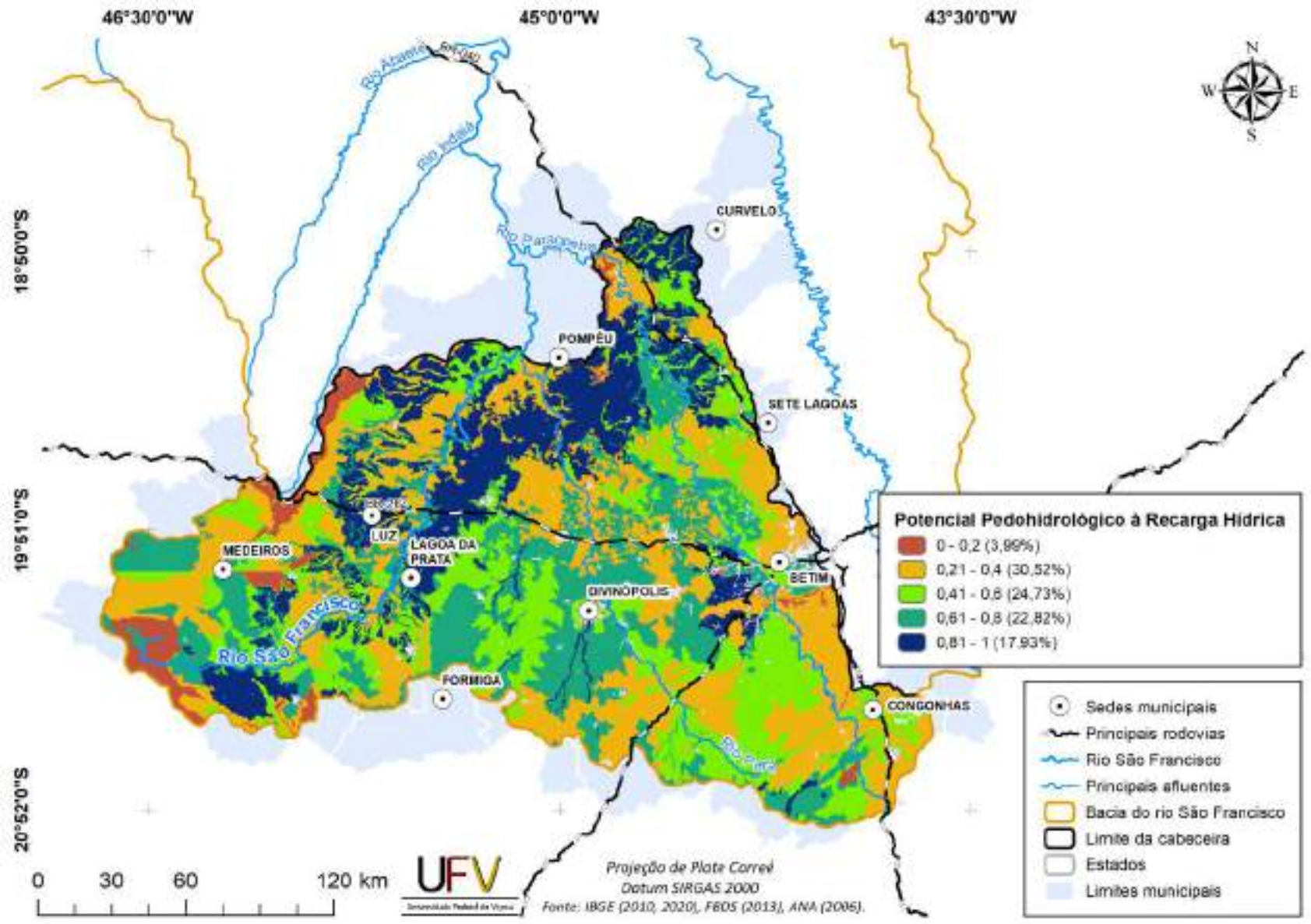

Figura 3.12. Mapa do potencial Pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, reescalonada entre 0 e 1.

Tabela 3.1. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção da Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Pesos relativos AHP	Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	Declividade	Balanço Hídrico Climatológico	Distância à Hidrografia
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	1,00	1,50	3,00	4,00
Declividade	0,66	1,00	3,00	3,00
Balanço Hídrico Climatológico	0,33	0,33	1,00	2,00
Distância à Hidrografia	0,25	0,33	0,50	1,00

Tabela 3.2. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção da Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Critério	Pesos finais (%)
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	43,0
Declividade	32,8
Balanço Hídrico Climatológico	14,7
Distância à Hidrografia	9,5

e nela é possível observar que as classes II, III, VII e VIII de capacidade de uso da terra são aquelas que predominam na bacia, correspondendo juntas a cerca de 90,59% de sua área total.

A maior parte da cabeceira da bacia do rio São Francisco, 50,69% da área total, se enquadrou nas classes VII e VIII, ou seja, são terras com limitações muito severas, inadequadas para lavouras e de uso restrito para pastagens e florestas cultivadas, restringindo-as à recreação e/ou proteção da flora e fauna silvestres ou ainda armazenamento de águas. Observa-se ainda que 20% das áreas foram classificadas como classe II, que são aquelas terras próprias para culturas com práticas simples de conservação, enquanto 19,9% foram classificadas como classe III, que são terras próprias para culturas com práticas intensivas ou complexas de conservação. O restante das áreas, cerca de 9,36% da bacia, foram classificadas como classes I, IV, V e VI.

Na **Figura 3.15** está o mapa de uso e cobertura da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Os valores obtidos para o índice Kappa e exatidão global foram de 0,55 e 0,62, respectivamente, o que indica uma concordância moderada entre as classes de uso e ocupação do solo observadas em campo e a predição do modelo MapBiomas. As classes que apresentaram maior confusão entre o uso observado em campo e a predição do modelo MapBiomas foram Pastagem e Agricultura, e Pastagem e Mosaico de Usos. Como estas são associadas a pesos praticamente iguais quanto a classe de intensidade de uso da terra, entende-se que esta mistura pouco irá influenciar no resultado final do IVA. Desta forma, conclui-se como adequada a utilização destes dados como input para determinação do IVA para a região estudada. Observa-se que as áreas naturais (afloramento rochoso, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, formação florestal, formação savânica, outras formações não florestais, rios e lagos) ocupam apenas 25,1% de toda a bacia, e as demais áreas, 74,9%, com maior destaque para pastagens e mosaicos de uso, com 44,8% e 19,4%, respectivamente.

Na **Figura 3.16** está o mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco. De acordo com a classificação proposta, cerca de 25% da área da cabeceira encontra-se atualmente com intensidade de uso nas classes I e II que são consideradas as classes de uso mais intensas, relacionadas à agricultura, mineração e áreas não vegetadas. Cerca de 46% da bacia encontra-se com intensidade de uso na classe III, relacionada a presença de pastagens, enquanto 28,8% encontram-se com intensidade de uso nas classes VI e VIII, que são consideradas classes de uso menos intenso quando comparadas às demais classes, e que estão associadas a formações naturais e a silvicultura.

Na **Figura 3.17** está o mapa de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco e na **Figura 3.18** está

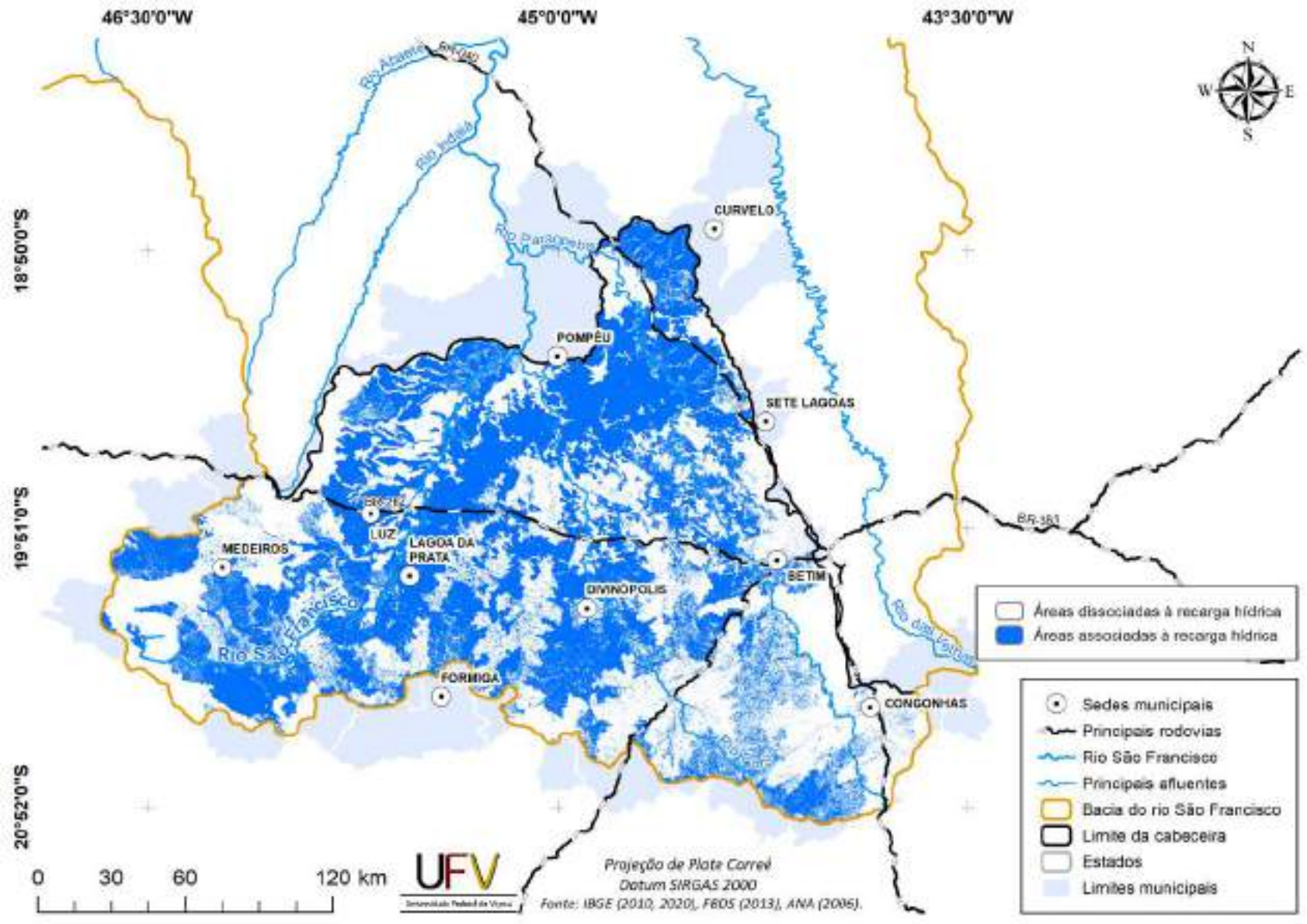

Figura 3.13. Mapa de áreas associadas (maior potencial) e dissociadas (menor potencial) à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

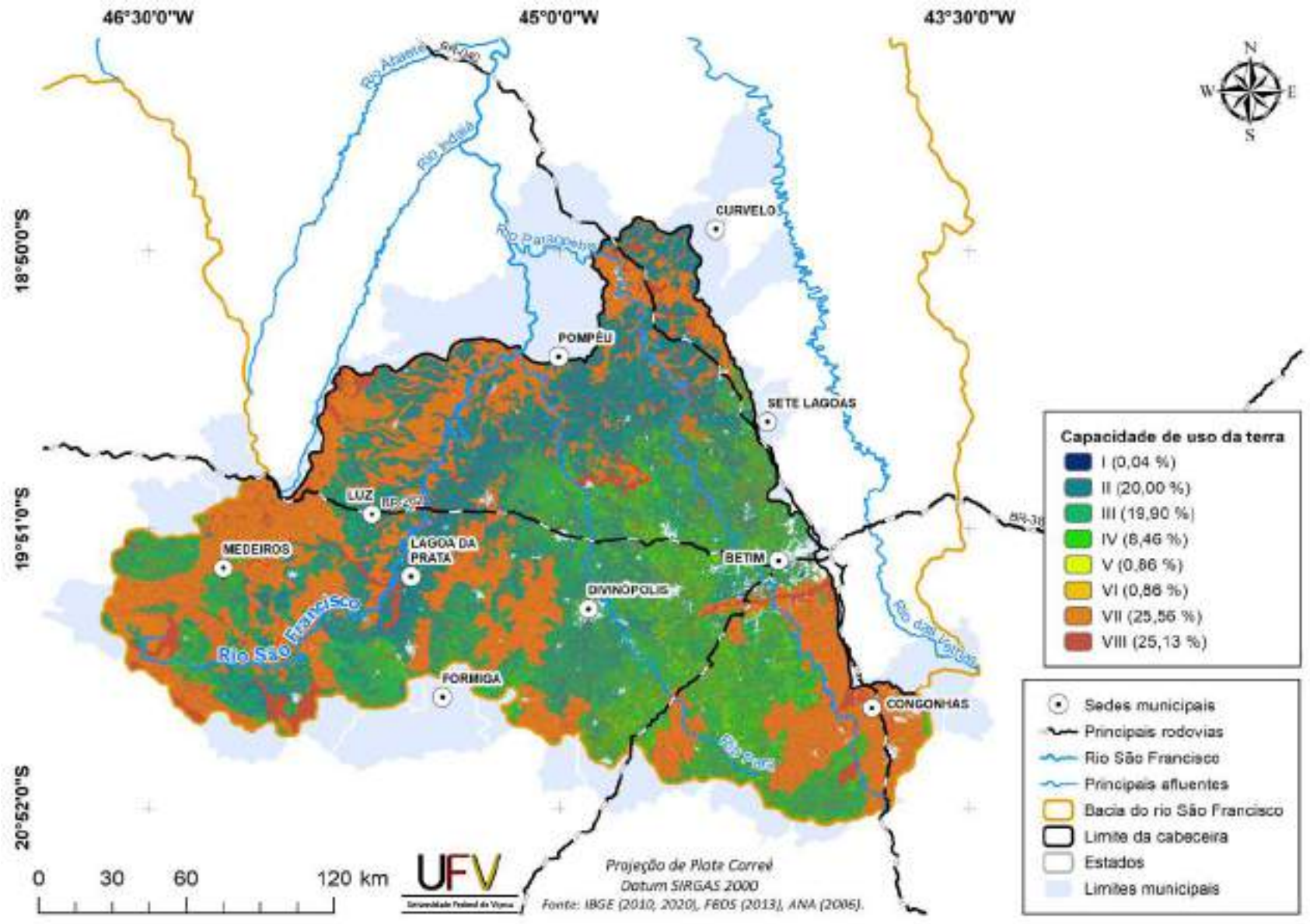

Figura 3.14. Mapa da capacidade de uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

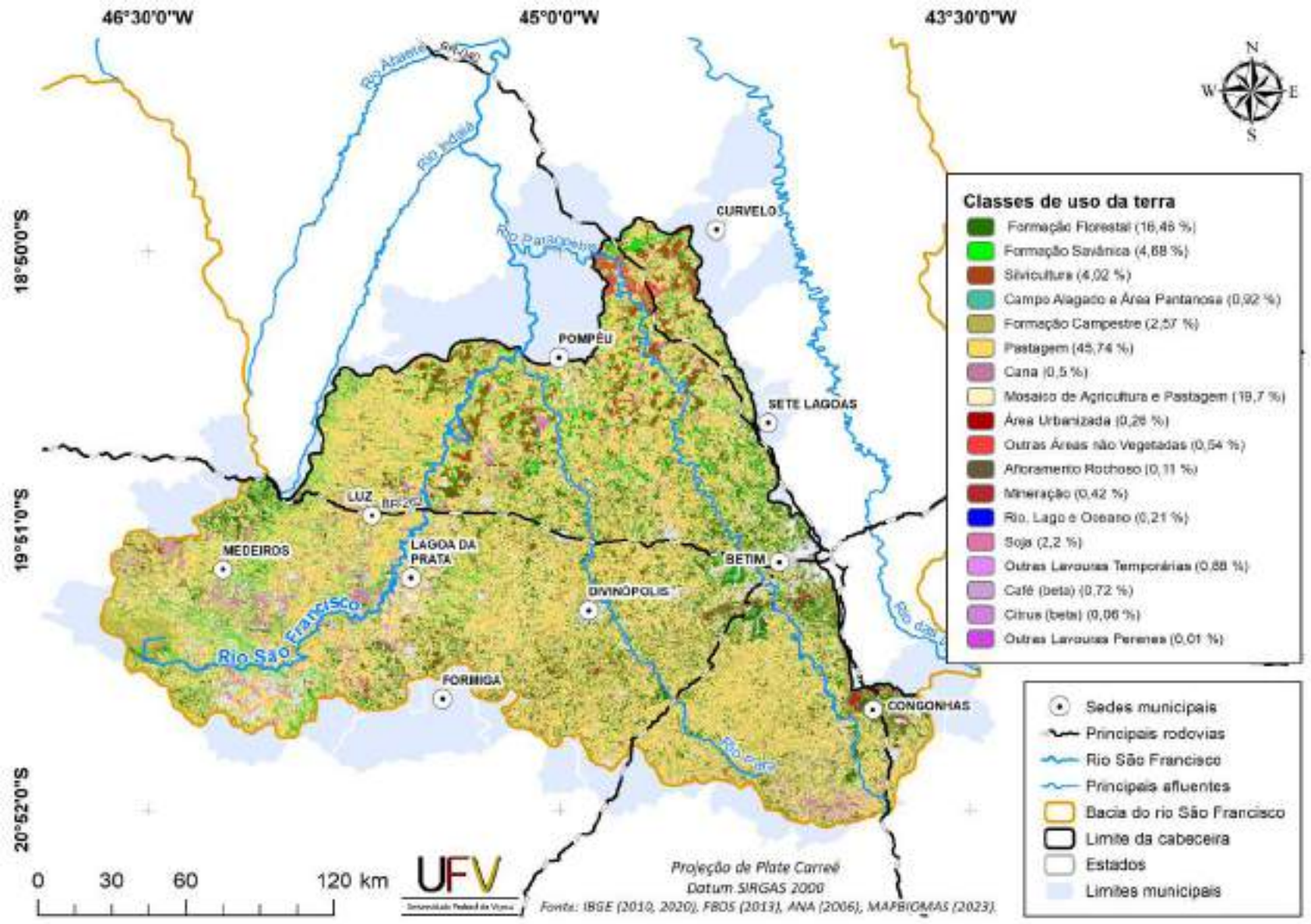

Figura 3.15. Mapa de classificação do uso e cobertura da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

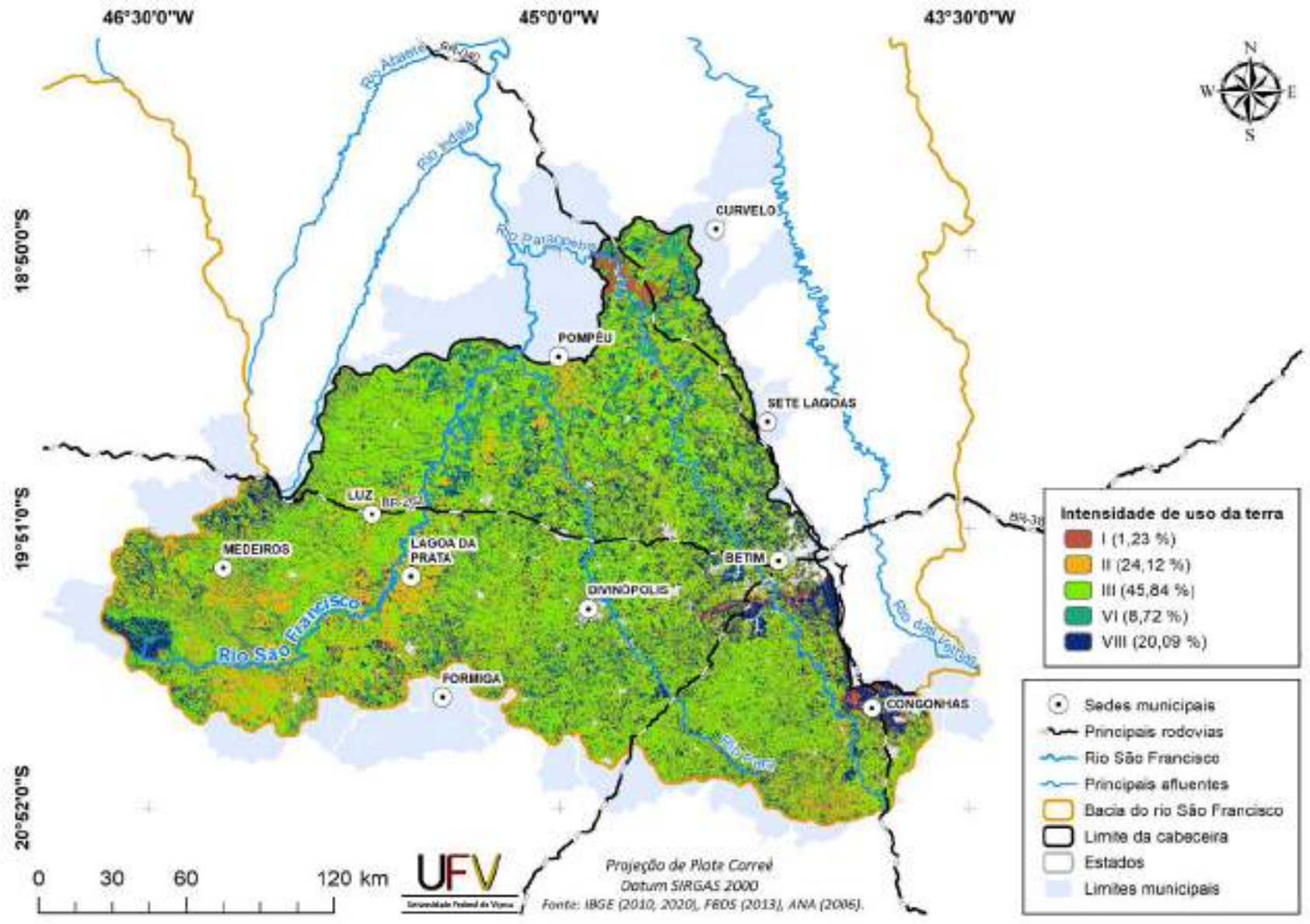

Figura 3.16. Mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

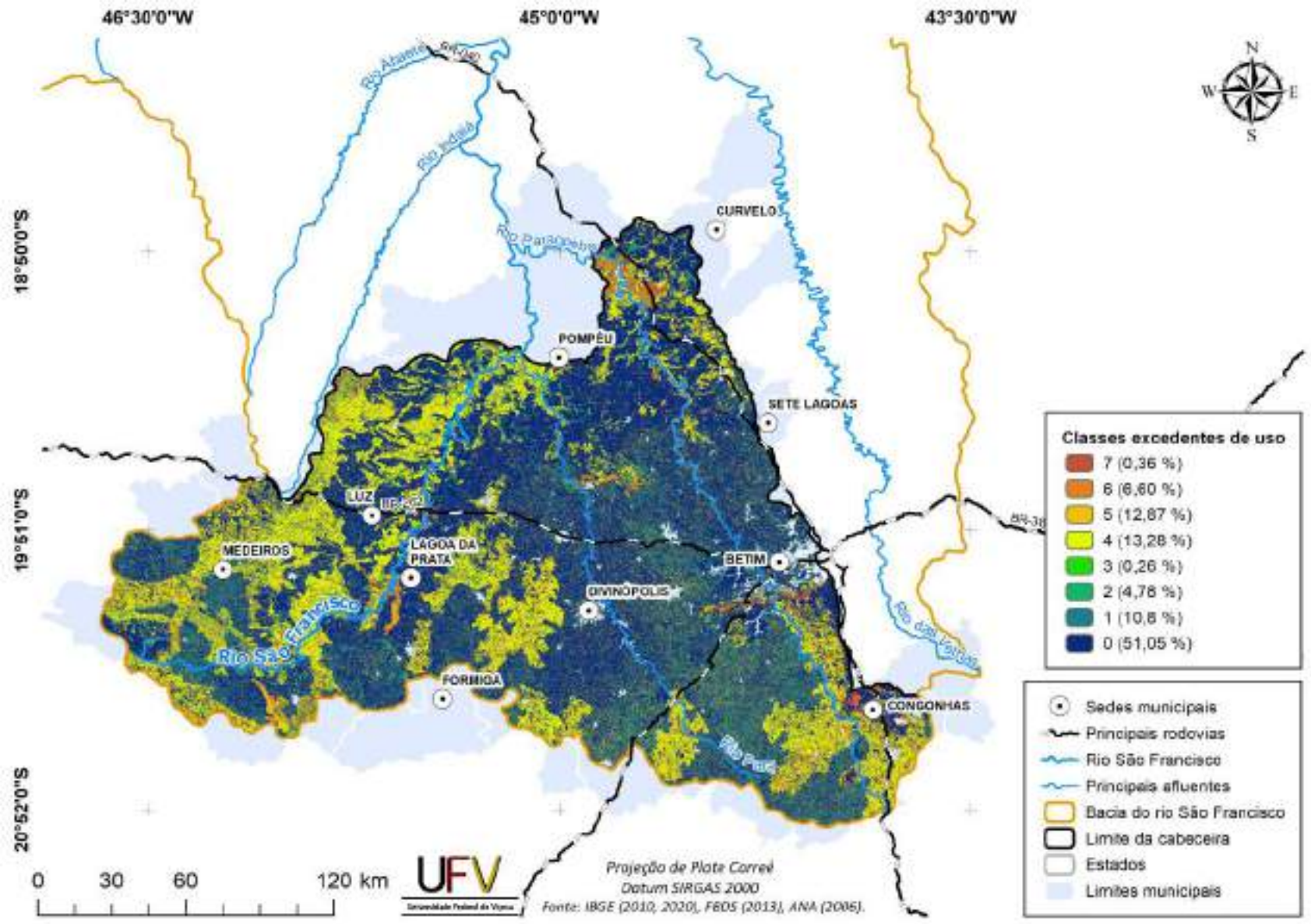

Figura 3.17. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

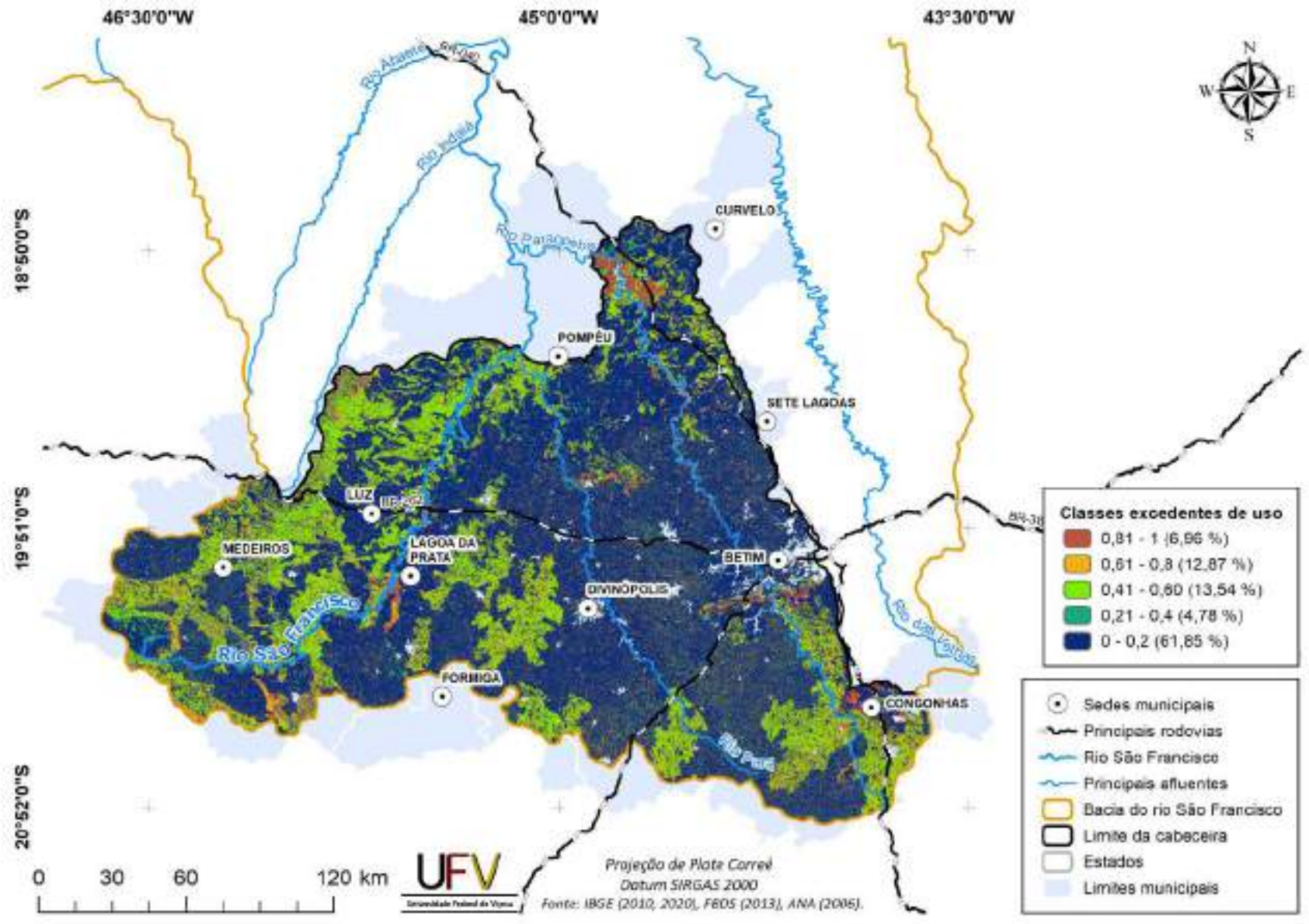

Figura 3.18. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, reescalonado de 0 a 1.

o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que em aproximadamente 51,05% da área da cabeceira a intensidade de uso da terra está menor ou igual à capacidade de uso, enquanto 49,95% da área está com a intensidade de uso acima da capacidade, sendo que 33,11% das áreas excedem em pelo menos quatro classes a capacidade de uso.

As áreas com maior número de classes excedentes se localizam, majoritariamente, na região oeste da bacia e estão associadas, principalmente, às áreas com solos altamente erodíveis, como Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos e com altas declividades, sendo utilizados para usos como pastagens e plantio agrícola. Observa-se também áreas com elevado número de classes excedentes em áreas protegidas por aspectos legais, como APPs Hídricas e Reserva Legal.

3.2.2. ÁREA QUEIMADA

Na **Figura 3.19** está o mapa de recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco e na **Figura 3.20** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que 95,98% da área da cabeceira não sofreu com queimadas nos últimos dez anos, e em apenas 4,02% da área da bacia apresentou alguma queimada durante esse período. Em 0,98% da área da cabeceira houve recorrência de queimadas, ou seja, locais em que foram detectadas queimadas em dois ou mais anos, dentro do período analisado. A detecção de queimadas em uma mesma área chegou a ocorrer em até sete dos dez anos analisados. Porém, de forma geral, na cabeceira da bacia do rio São Francisco foi baixa a vulnerabilidade ambiental sob o ponto de vista das áreas queimadas, no período avaliado.

Observa-se que a maior frequência de queimadas se encontra em áreas da região do extremo oeste da cabeceira da bacia, no Parque Nacional da Serra da Canastra, onde a vegetação formada pelo estrato graminoso das formações campestres tende a secar nos períodos de estiagem e favorecem a propagação de incêndios na região. Outras áreas de queimadas coincidem com o traçado das estradas (BRs e MGs) e as proximidades com grandes centros urbanos na bacia do Paraopeba, corroborando outros estudos que evidenciam alta incidências de ignições de fogo causadas por ações humanas em torno de redes de acessibilidade (CANO-CRESPO et al., 2021; RICOTTA et al., 2018; SYPHARD et al., 2017).

3.2.3. SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

Na **Figura 3.21** está o mapa de erosividade da chuva na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco. A erosividade da chuva na bacia variou entre 5.646 e 7.006 MJ mm^{-1} ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} e tem seu padrão associado, principalmente, à distribuição da precipitação na bacia (**Figura 3.1**), sendo que os maiores valores de erosividade da chuva, acima dos 6.500 MJ mm^{-1} ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, são encontrados ao sudeste da bacia, principalmente, nas partes mais elevadas e declivosas, relacionadas à borda oeste do Quadrilátero Ferrífero, mais especificamente ao longo das Serras Azul e da Moeda.

Na **Figura 3.22** está o mapa de erodibilidade do solo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Observa-se que as áreas com maior erodibilidade do solo estão localizadas principalmente nas regiões leste e central da cabeceira, estando relacionadas, principalmente, à presença de Cambissolos Háplicos sobre rochas pelíticas do neoproterozóico pertencentes ao Grupo Bambuí. Essas rochas sedimentares, com estratificação muitas vezes paralela à superfície, apresentam certa resistência ao intemperismo, e assim, acabam propiciando a ocorrência de solos pouco desenvolvidos como os Cambissolos Háplicos e, em menor proporção, os Neossolos Litólicos. São solos muitas vezes recobertos por um pavimento cascalhento em superfície, e que desenvolvem pronunciado selamento superficial. A soma destas duas características condiciona uma alta susceptibilidade aos processos erosivos, pois dificultam a infiltração de água e, consequentemente, o crescimento de vegetação de porte maior. Nestas áreas predomina o escoamento superfi-

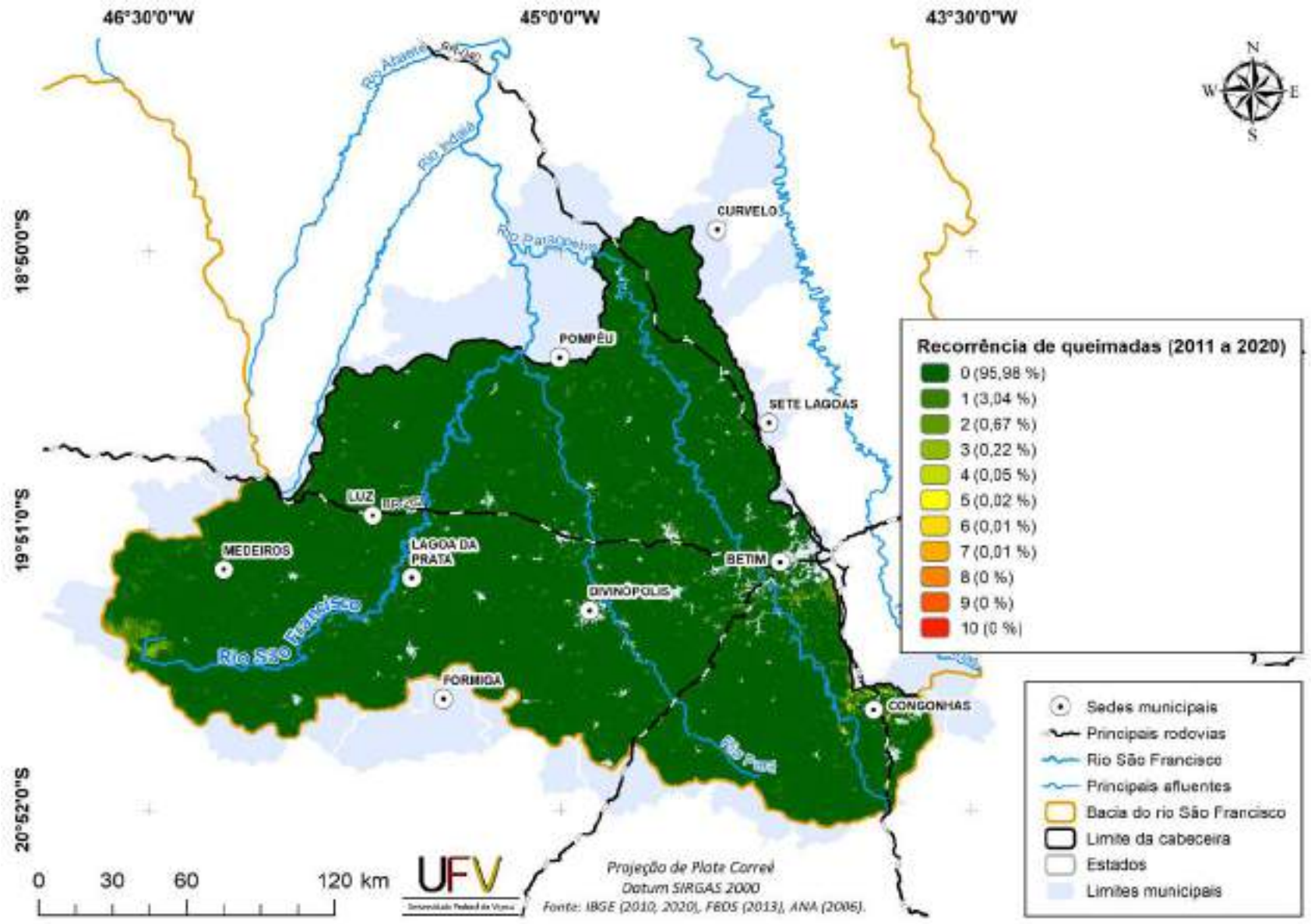

Figura 3.19. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

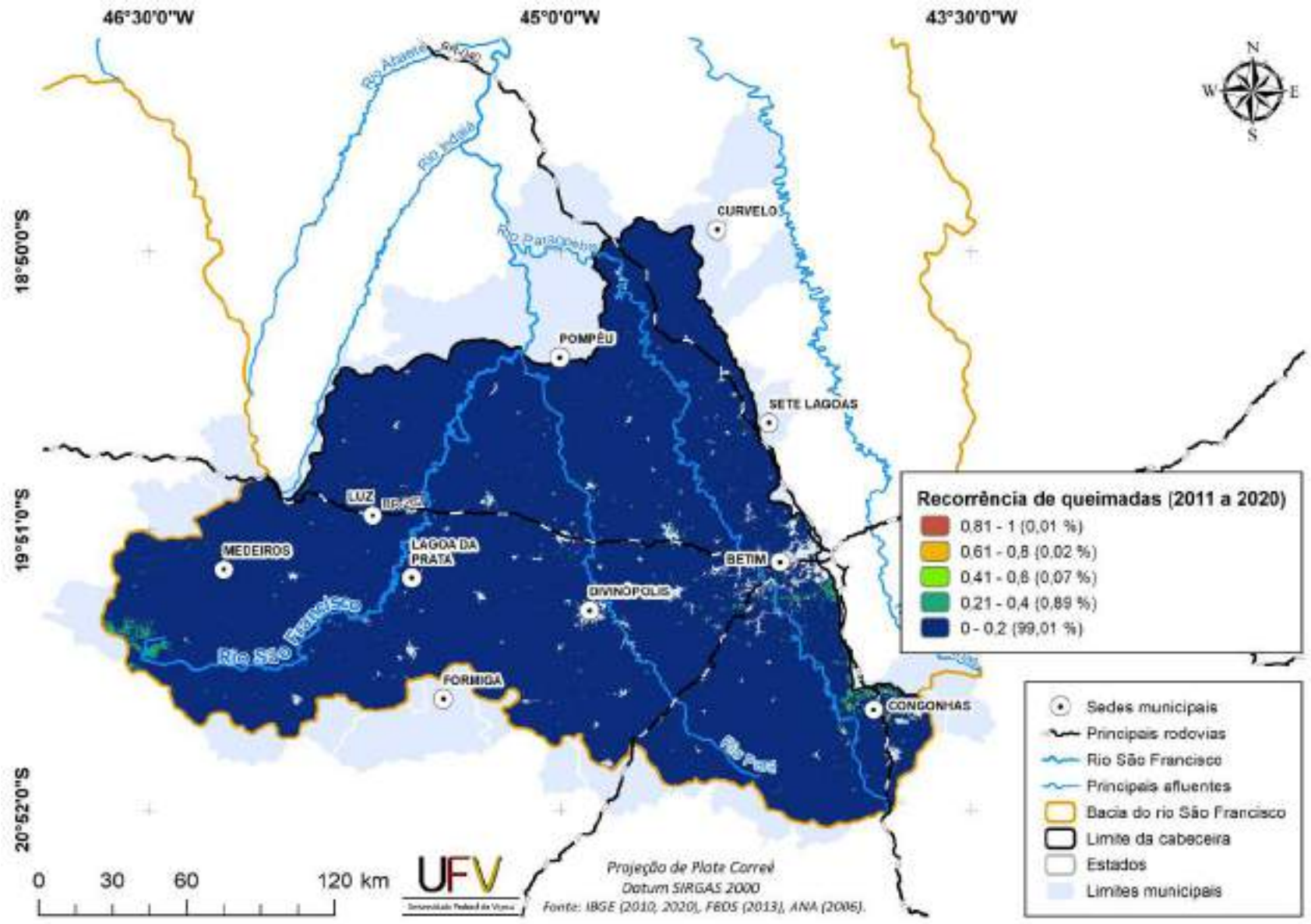

Figura 3.20. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, reescalonado de 0 a 1.

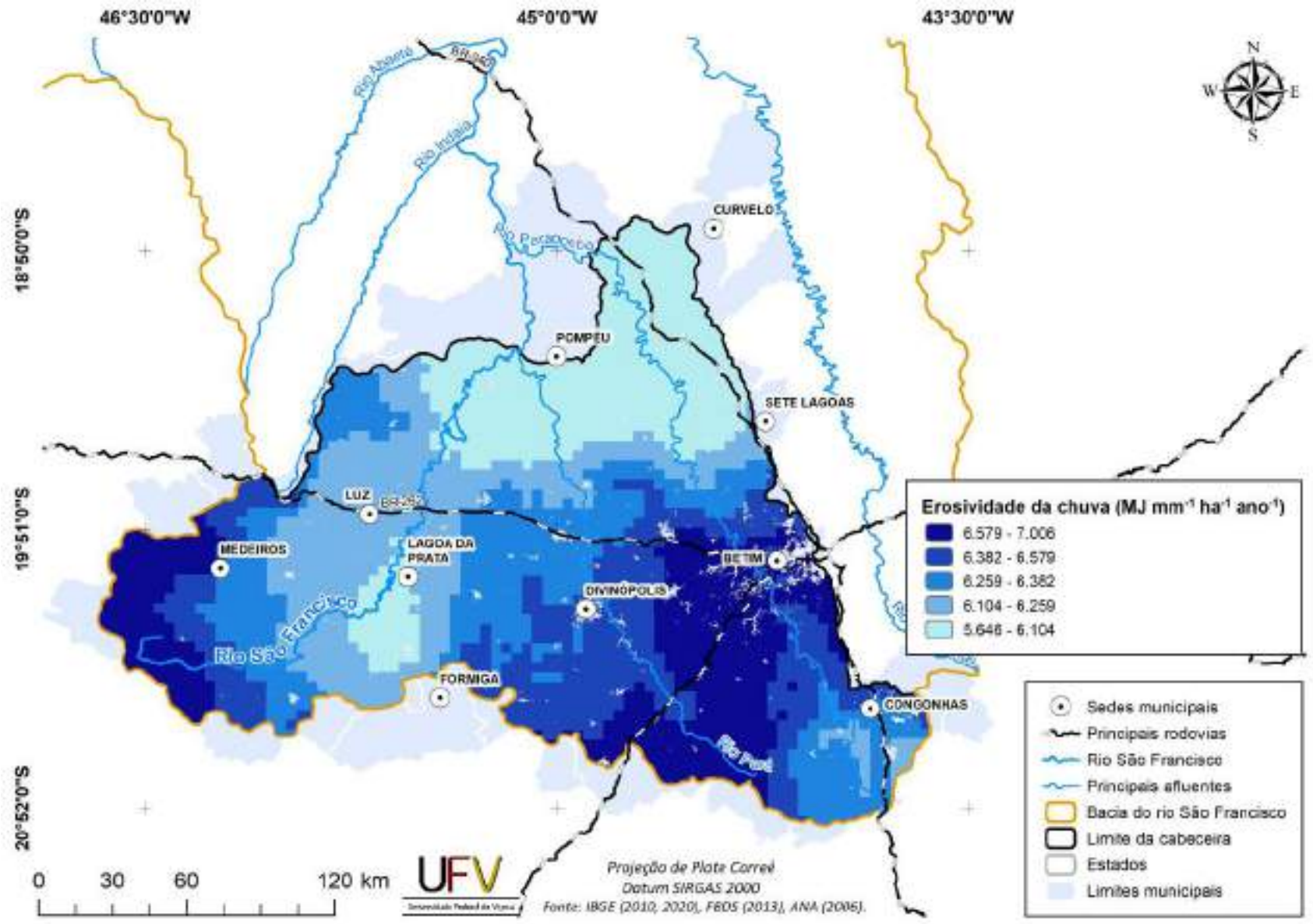

Figura 3.21. Mapa da erosividade da chuva na cabeceira bacia hidrográfica do rio São Francisco.

cial sobre a infiltração, que associado ao uso predominante com pastagens extensivas, desencadeia processos erosivos intensos em superfície.

Na borda oeste da cabeceira, também se encontra uma extensa área com alta susceptibilidade à erosão. Da mesma forma que na região central, trata-se de rochas pelíticas e metapelíticas (siltitos, folhelhos e ardósias), também pertencentes ao Grupo Bambuí. No entanto, nesta borda oeste estas rochas se encontram com a estratigrafia praticamente perpendicular à superfície. Este fato ocorre, pois, trata-se da zona de contato entre estes pacotes sedimentares, que se encontram assentados sobre as rochas cristalinas do cráton do São Francisco, com as rochas metamórficas da porção sul da Faixa Móvel Brasília-Tocantins. Este contato é expresso por um desnível, denominado localmente como Serra da Saudade, que separa dois planaltos dissecados. Nestas áreas os processos erosivos são muito intensos e soma-se às características intrínsecas ao solo as elevadas declividades das encostas.

Outra importante área com elevada susceptibilidade à erosão encontra-se no extremo sudeste da bacia e é representada pelo flanco oeste da província geológica do Quadrilátero Ferrífero. Trata-se de uma área intensamente dobrada, consequentemente com relevo muito movimentado, onde também predominam solos rasos e pouco desenvolvidos como Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos assentados sobre rochas metamórficas, como filitos, xistos, itabiritos, quartzitos dentre outras.

Conforme já apresentado anteriormente nas **Figura 3.5** e **3.6**, a declividade na bacia do rio Grande variou de 0 a 296,87%, com a maior parte da bacia (43,84 % da área total) classificada em relevo ondulado, sendo que as áreas mais declivosas se encontram na região sudeste da bacia e nas regiões de cabeceira.

A **Figura 3.23** apresenta o mapa de susceptibilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Observa-se que as áreas com maior susceptibilidade à erosão são aquelas situadas nas partes oeste e sudeste da bacia, onde se encontram os maiores índices pluviométricos e as unidades pedológicas com maior susceptibilidade à erosão, como os Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos. No sudeste da bacia destacam-se as áreas de maior declividade associadas às formações geológicas paleoproterozóicas, ligadas à província do Quadrilátero Ferrífero. Já no extremo sudoeste a presença de áreas de alta declividade estão ligadas às rochas do Grupo Araxá de idade neoproterozóica. Já ao longo da borda oeste e no centro da bacia, as áreas de maior declividade e, consequentemente, mais susceptíveis aos processos erosivos, são vinculadas à presença de rochas pelíticas e metapelíticas do Grupo Bambuí, também do neoproterozóico.

3.2.4. BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

Na **Figura 3.24** está o balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, disponibilizado pela ANA (2022), e na **Figura 3.25** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que cerca de 93,71% da área da bacia apresenta disponibilidade hídrica excelente ou confortável. No restante da cabeceira, 6,29% da área, a disponibilidade foi classificada como preocupante, crítica ou muito crítica. Para a cabeceira da bacia do rio São Francisco, as sub-bacias com disponibilidades hídricas muito críticas estão localizadas, principalmente, próximas aos centros urbanos, onde as demandas para abastecimento humano e usos industriais são maiores.

3.2.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP

Na **Tabela 3.3** está a matriz de comparação dos critérios obtida pela análise de especialistas da UFV e utilizada na obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, e na **Tabela 3.4** está a estimativa da importância relativa dos critérios (pesos finais).

O Coeficiente de Consistência (CR), utilizado para verificar a consistência dos pesos nos julgamentos dos especialistas, indica a probabilidade de que os valores

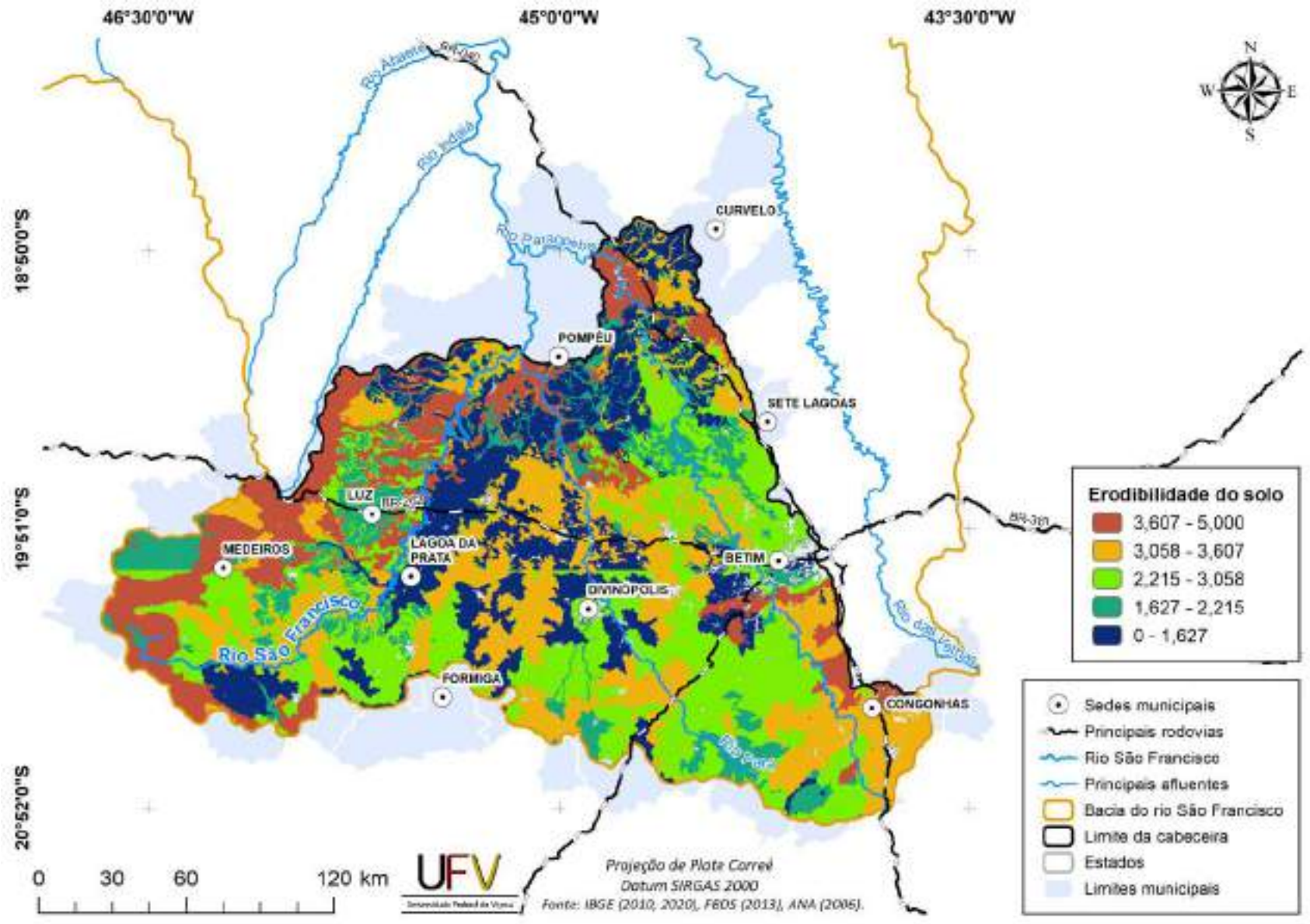

Figura 3.22. Mapa da erodibilidade do solo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

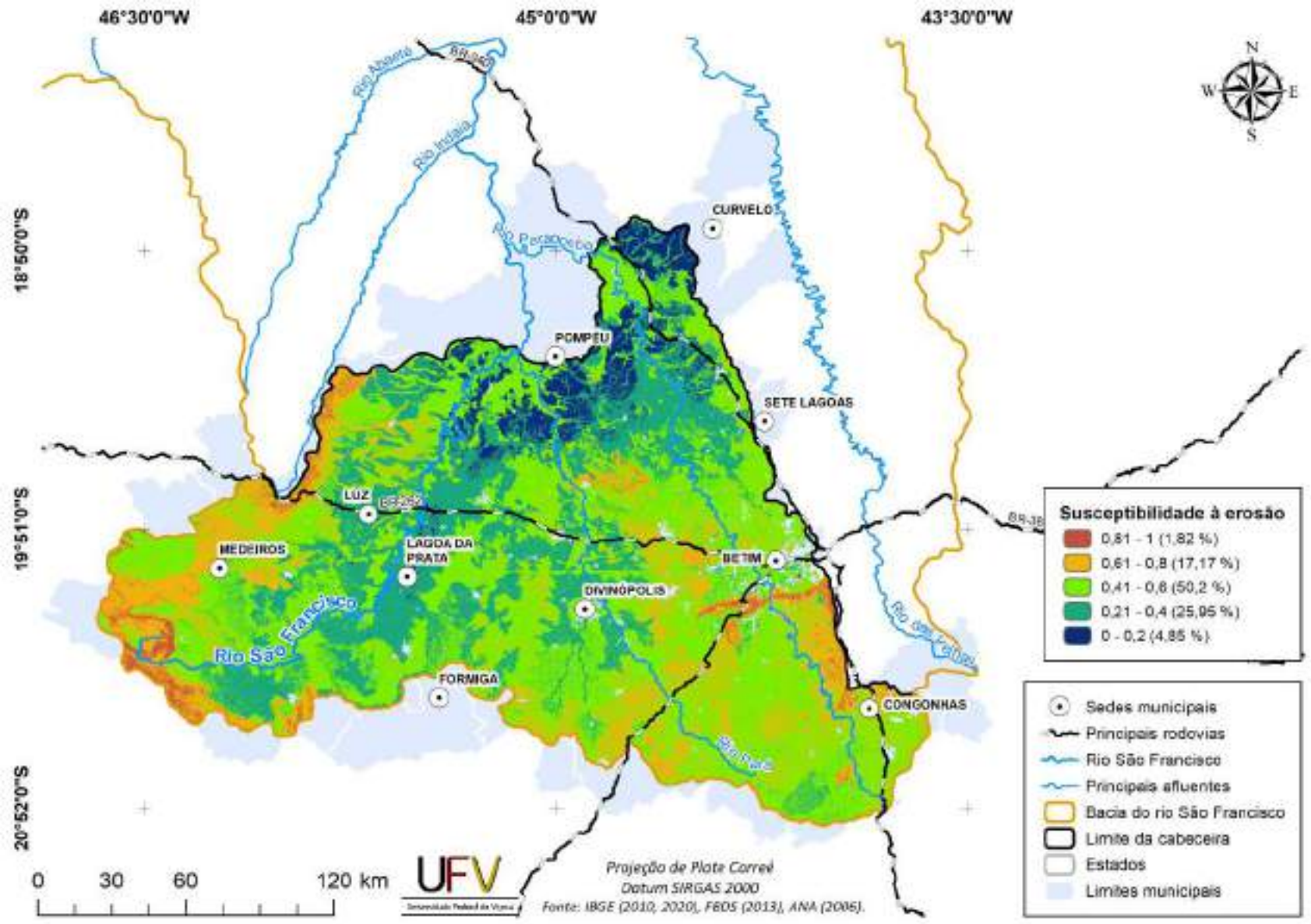

Figura 3.23. Mapa da susceptibilidade à erosão na cabeceira bacia hidrográfica do rio São Francisco.

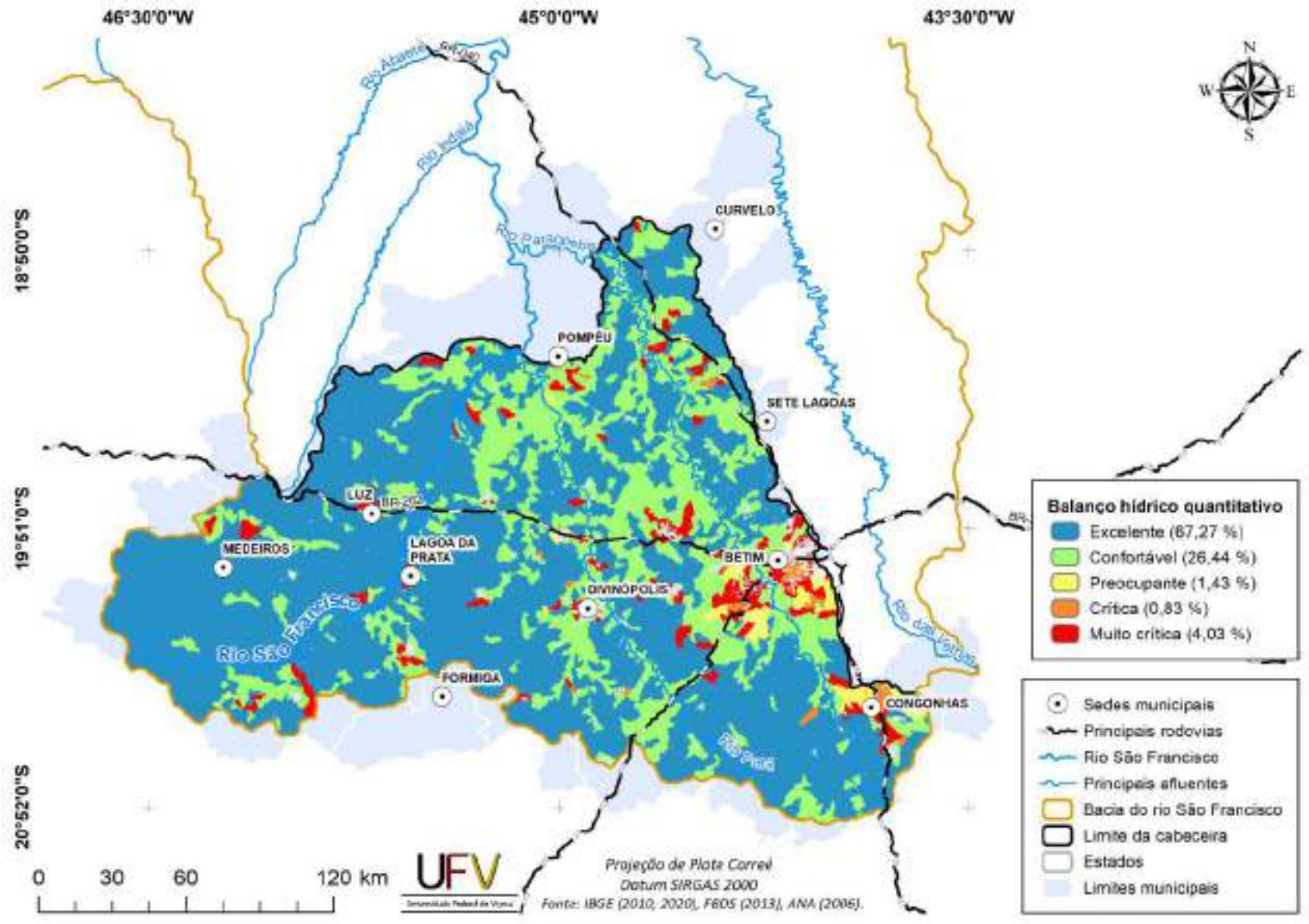

Figura 3.24. Mapa de balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

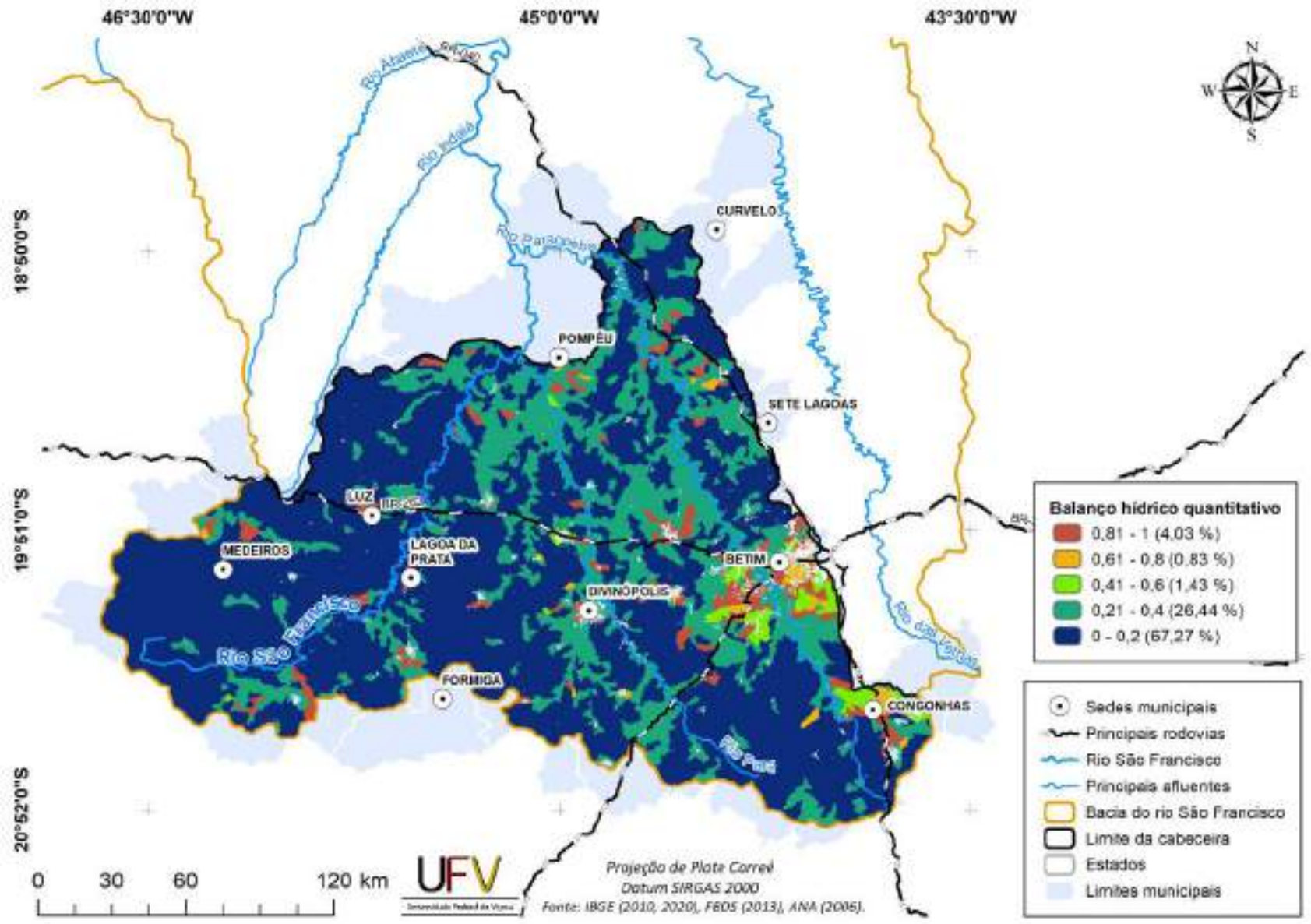

Figura 3.25. Mapa de balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, reescalonado de 0 a 1.

Tabela 3.3. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Pesos relativos AHP	Adequação do Uso da Terra	Susceptibilidade à Erosão	Área Queimada	Balanço Hídrico Quantitativo
Adequação do Uso da Terra	1,00	1,00	6,00	7,00
Susceptibilidade à Erosão	1,00	1,00	6,00	7,00
Área Queimada	0,17	0,17	1,00	0,50
Balanço Hídrico Quantitativo	0,14	0,14	2,00	1,00

Tabela 3.4. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Critério	Pesos finais (%)
Adequação do Uso da Terra	42,9
Susceptibilidade à Erosão	42,9
Área Queimada	6,1
Balanço Hídrico Quantitativo	8,0

da matriz tenham sido gerados aleatoriamente, sendo que a matriz que possui um CR maior que 0,10 deve ser reavaliada (SAATY, 1980). Na presente análise o valor encontrado de CR foi de 0,09, mostrando a consistência na definição dos pesos.

Na **Figura 3.26** está o mapa final do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) na cabeceira da bacia do rio São Francisco. O mapa foi subdividido em 5 classes de igual área de acordo com o valor do IVA, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Observa-se que as áreas com maiores valores de IVA estão relacionadas, principalmente, às áreas com solos rasos e facilmente erodíveis, como Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos, associados às áreas com altas declividades, sendo utilizados predominantemente com pastagens e, em menor proporção, com plantios agrícolas.

Além disso, verificam-se também altos valores de IVA nas áreas com maior número de classes excedentes, em áreas protegidas por aspectos legais, como APPs Hídricas e Reserva Legal, que possuem atualmente usos mais intensivos do que é definido por lei, como pastagem, solo exposto e plantio agrícola. Nota-se também, nas áreas com altos valores de IVA, a influência das bacias críticas e muito críticas em relação à disponibilidade hídrica, localizadas nas regiões centro norte e extremo leste da bacia, esta última estando relacionada aos grandes centros urbanos da região metropolitana de Belo Horizonte.

Como a variável área queimada recebeu um peso inferior às demais variáveis (6,1%), sua influência no mapa final do IVA é menos expressiva, sendo notada, principalmente, nas áreas com maior frequência de queimadas, principalmente, na região oeste da bacia, próximo à Serra da Canastra e na região leste da bacia, próximo ao Quadrilátero Ferrífero.

3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS

Dada a metodologia utilizada (ver **Caderno metodológico**) neste relatório para a operacionalização do IVS, são apresentados os seus resultados para a **Cabeceira da Bacia do Rio São Francisco**. O IVS foi obtido sob duas óticas: com dados do Censo Demográfico (IVSCD), contemplando noções sobre as áreas urbana e rural dos setores censitários dos municípios, e com dados do Censo Agropecuário (IVSCA), abrangendo conhecimentos sobre as condições e produção do meio rural da área de estudo. Por fim, foi considerado um IVS final (IVS), considerando o rural e o urbano em conjunto.

Importante mencionar que o IVS, independentemente se o urbano ou rural, foram convertidos em uma escala de 0 a 1, a fim de padronização, para criar um conjunto de índices em um intervalo de medição semelhante, sendo que o valor "1" é atribuído a setores censitários de vulnerabilidade muito alta e o valor "0" atribuído à vulnerabilidade muito baixa.

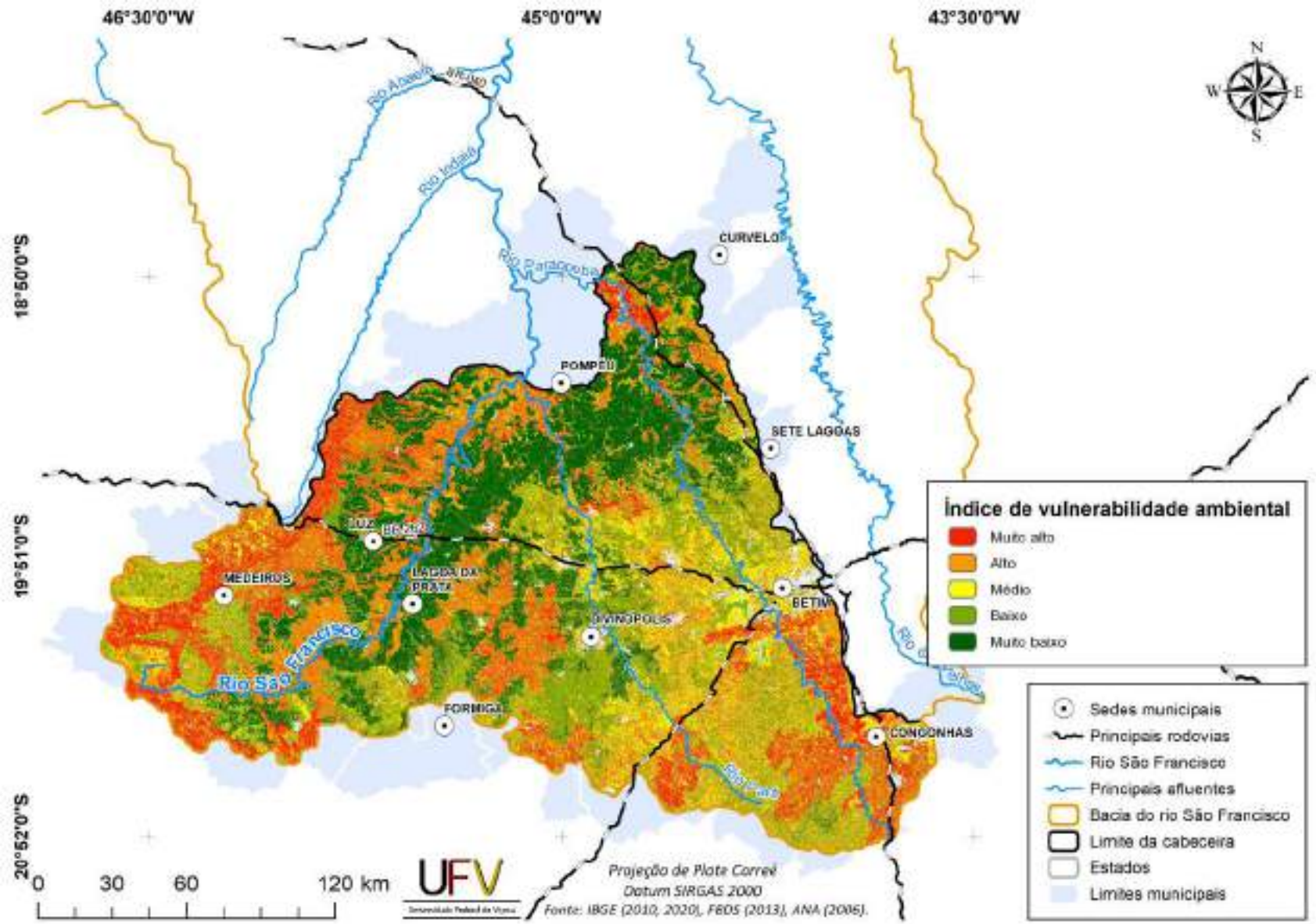

Figura 3.26. Mapa do índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

3.3.1. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO DEMOGRÁFICO)

Inicialmente, ao considerar o IVS do Censo Demográfico, é importante relatar que para esta cabeceira, esse índice foi formado por quatro componentes principais (gerados pela **matriz de correlação**[1] na técnica estatística de Análise de Componentes Principais), que representam, de forma geral, as explicações das variações totais das variáveis originais utilizadas. Para esse índice foram utilizados quatro componentes, na operacionalização, cada um deles recebeu um peso[2] de participação na composição do IVSCD, que foi de 0,25. A soma desses pesos é igual a 1 ou 100%. Para este índice, os quatro componentes explicam 78% da variação total das variáveis originais.

No contexto da análise de PCA realizada para o IVSCD, o componente 1 foi responsável por aproximadamente 46% da variação total dos dados, seguido dos outros três componentes 2, 3 e 4, que obtiveram 17%, 8% e 7%, respectivamente, para a variação total dos dados. Indicando-se que o primeiro componente apresentou maior proporção explicativa entre as dimensões consideradas para o IVSCD. Posto isto, os resultados desse índice estão dispostos na **Figura 3.27**.

Conforme já mencionado, o IVS Censo Demográfico foi dividido em cinco classes de igual intervalo pelo método *quantile*, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto índice de vulnerabilidade social. Como resultado preponderante, aproximadamente 58% dos setores censitários desta cabeceira estão na classe de vulnerabilidade social baixo e muito baixo,, enquanto 40,2% estão na classe de vulnerabilidade social média. As outras classes tiveram percentuais baixos de quantidade de setores censitários nas classes de alto e muito alto vulnerabilidade. Com a média de 0,37, os resultados do IVSCD estão próximos aos encontrados no diagnóstico socioeconômico. Mesmo com metodologias diferentes, os achados do IVSCD ratificam a situação moderada de desenvolvimento dos territórios da cabeceira desta bacia.

3.3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO AGROPECUÁRIO)

Além do IVS Censo Demográfico, foi operacionalizado o IVS Censo Agropecuário, com a média de 0,37, os resultados do IVSCA corroboram aos encontrados no diagnóstico socioeconômico, cujos pesos para os componentes principais obtidos foram os seguintes (também gerados pela matriz de correlação): Componente 1 (peso de 0,50) e Componente 2 (peso de 0,50).

Na **Figura 3.28** está apresentado o mapa do IVSCA da cabeceira da bacia do rio São Francisco.

Sobre os resultados encontrados, a maioria dos setores censitários analisados está concentrada nas classes de vulnerabilidade social baixo e muito baixo, 57,9%, e de vulnerabilidade social média, com 38,3%. Por outro lado, as classes de vulnerabilidade social alto e muito alto (3,8%) foram as que tiveram as menores participações dos setores. Tal cenário observado demonstra similaridade no nível de desenvolvimento destes locais para o meio rural em consonância ao IVSCD.

3.3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS)

Por fim, na **Figura 3.29**, está apresentado o IVS Final, que considera em conjunto as informações urbanas e rurais dos setores censitários. Para a ponderação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) na região da cabeceira do rio São Francisco, foram consideradas as características e distribuições dos resultados obtidos a partir dos dados dos IVS Censo Demográfico e do Censo Agropecuário. Após simulações e ponderações

1 A correlação é um cálculo estatístico que torna possível a comparação de dois grupos de dados com valores padronizados, entendendo-se como eles se relacionam entre si (FREUND, 2006).

2 Sobre esses pesos e os seus componentes principais, eles apresentam propriedades importantes, sendo: "cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados" (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p. 83-84).

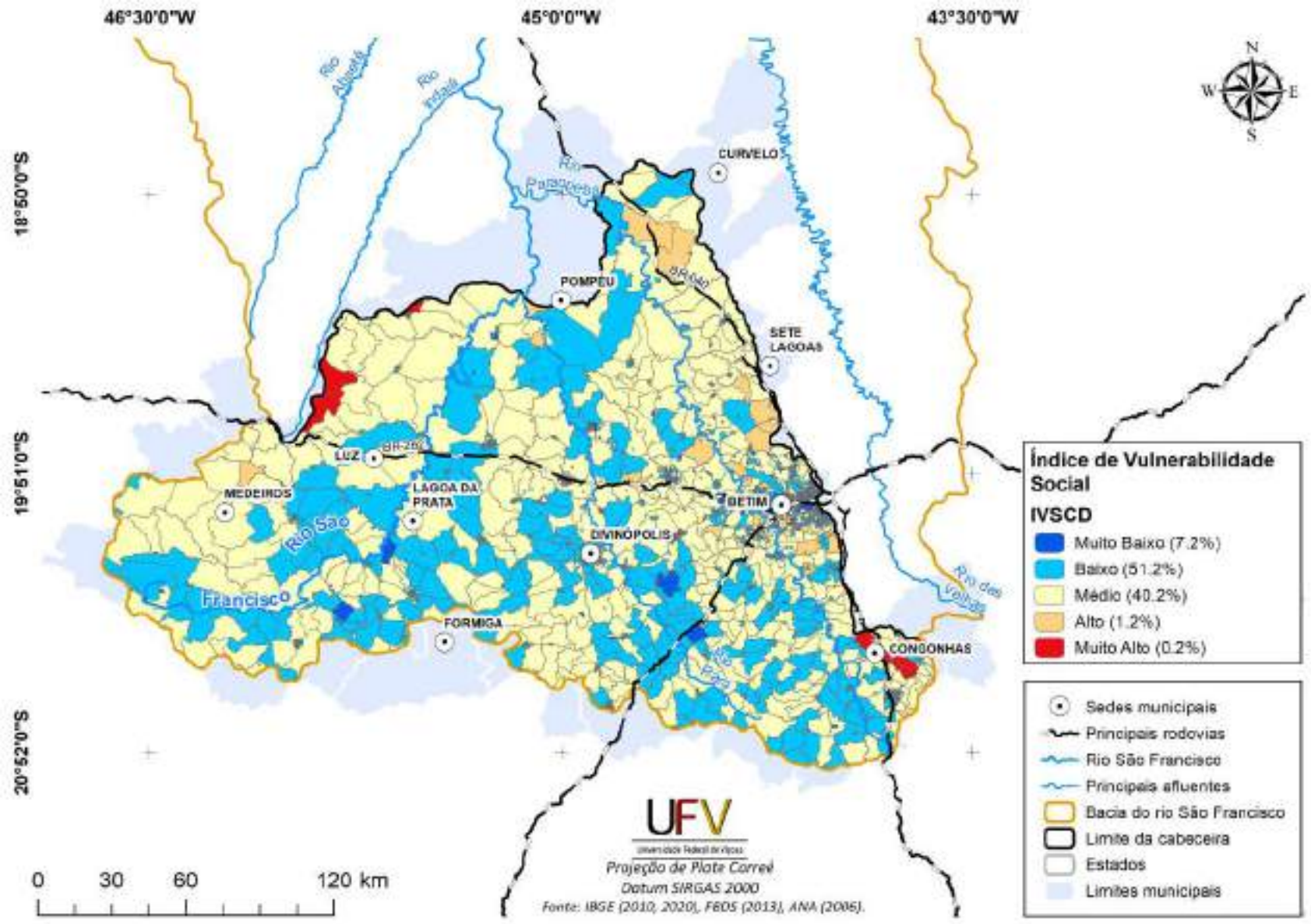

Figura 3.27. Mapa do IVS Censo Demográfico da cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.
Fonte: IBGE, Censo Demográfico, 2010.

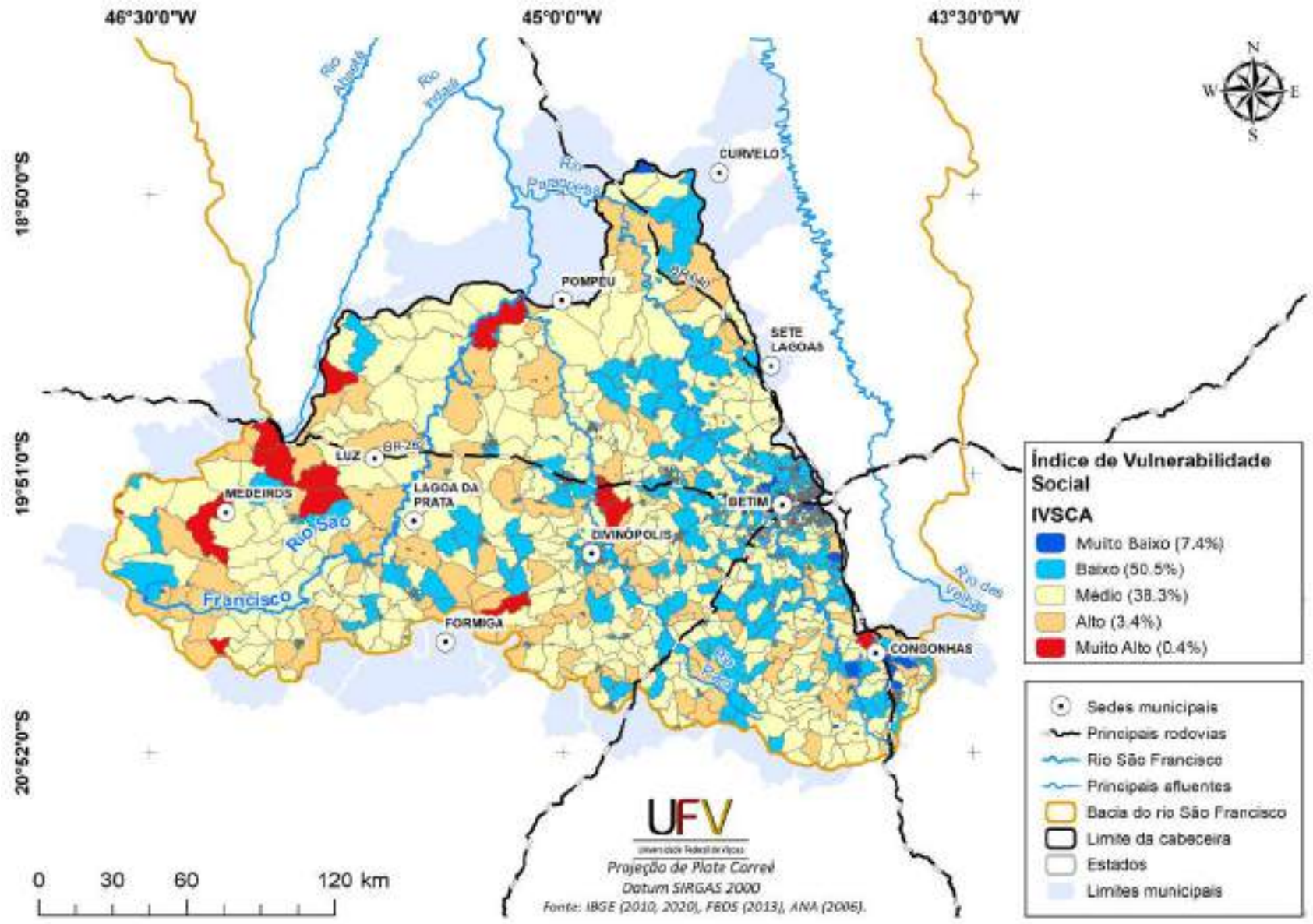

Figura 3.28. Mapa do IVS Censo Agropecuário da cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.
Fonte: IBGE, Censo Agropecuário, 2017.

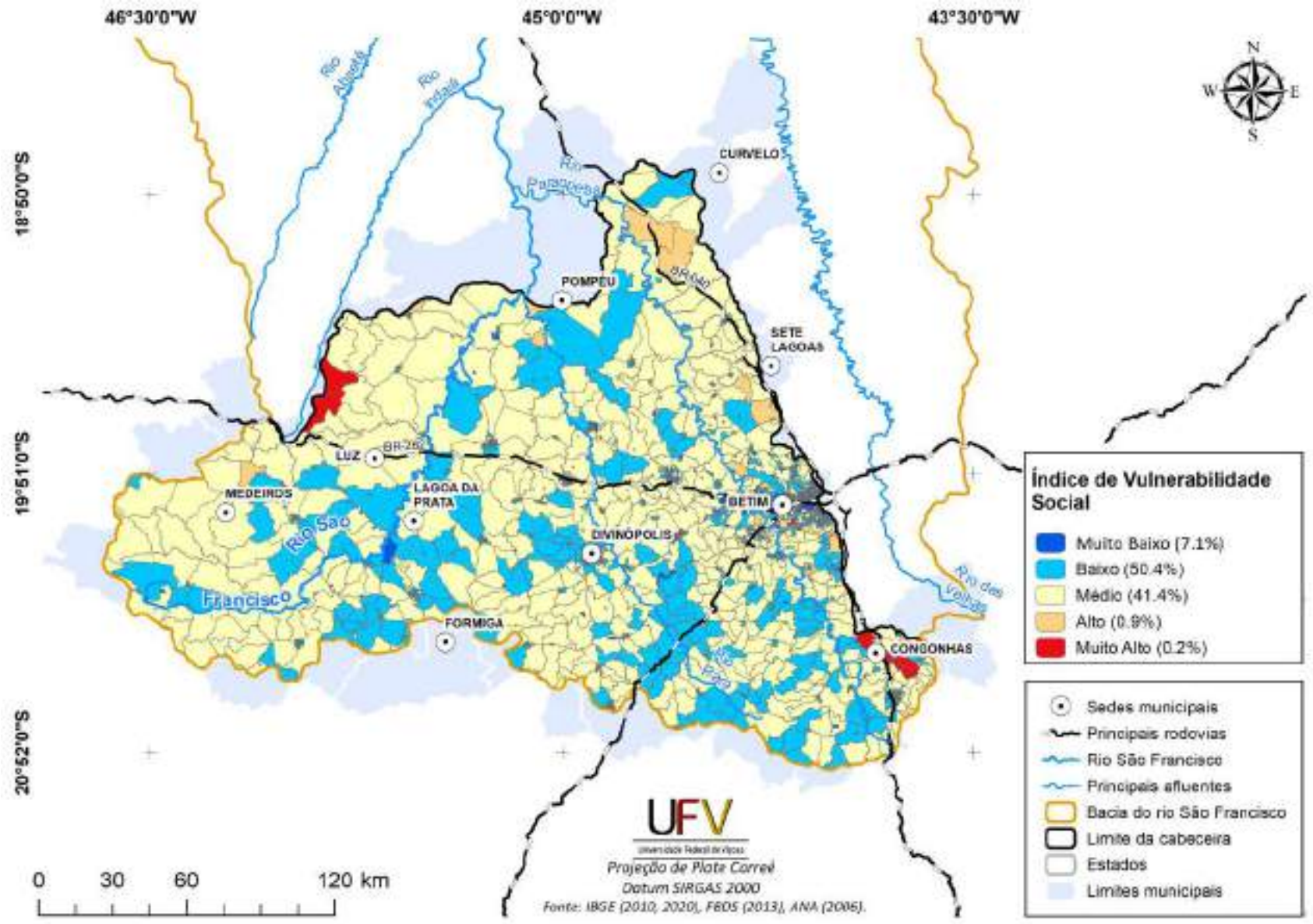

Figura 3.29. Mapa do IVS Final Vulnerabilidade Social da cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.
Fonte: IBGE, Censo Agropecuário, 2017, e Censo Demográfico, 2010.

feitas por especialistas das áreas das ciências sociais, econômicas e agrárias, foi atribuído um peso maior ao índice de vulnerabilidade com dados do Censo Demográfico. A utilização desses pesos está atrelada à finalidade da elaboração deste índice, que é a intervenção e a restauração de áreas rurais específicas (mas que também são relacionadas e dependentes das áreas urbanas que as circundam).

Conforme mencionado, o IVS Final é dividido em cinco classes de área igual pelo método *quantile*. A média do IVS foi de 0,37 e como já percebido nos IVS(s) em separado, as classes de vulnerabilidade social médio, baixo e muito baixo foram as com maiores participações nos resultados, correspondendo a aproximadamente 99%, dos setores censitários para esse índice. Esses dados demonstram que a vulnerabilidade social nesta região tende a condições moderadas, em decorrência das atividades locais desenvolvidas, bem como da abrangência dos municípios da região metropolitana, que contam com uma maior diversificação de atividades estimulantes. É importante destacar que esse resultado corrobora com o diagnóstico socioeconômico mais recente, validando os resultados obtidos.

Embora grande parte da bacia do rio São Francisco apresente áreas com baixa a moderada vulnerabilidade social, deve-se enfatizar que as áreas mais vulneráveis socialmente estão geralmente associadas a áreas rurais onde as atividades agrícolas possuem restrições em decorrência de aspectos ambientais, por exemplo, os fatores edáficos. Essas áreas representam uma pequena parcela, aproximadamente 1% da bacia do rio São Francisco, mas são fundamentais para entender os desafios enfrentados pelos agricultores e demais moradores dessas áreas.

Vale ressaltar que a cabeceira da bacia do rio São Francisco é uma importante área produtora de alimentos para o país, com destaque para a produção de frutas, como manga e goiaba, e de grãos, como feijão e milho. Além disso, a pecuária é uma atividade econômica significativa na região. Além disso, a região apresenta grande beleza natural, com cachoeiras, cânions e serras que favorecem o turismo. A região também é rica em patrimônio histórico e cultural, com destaque para a cidade de Ouro Preto, em Minas Gerais.

3.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA

Para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da bacia do rio São Francisco, foi calculada a média ponderada entre os resultados obtidos no cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) (**Figura 3.26**) e do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) (**Figura 3.29**). Após avaliações de distintos cenários, levando em consideração a literatura sobre o tema (SAATY; VARGAS, 2000; 2006), a experiência da equipe em trabalhos similares e o reconhecimento socioambiental da bacia por meio das campanhas de campo realizadas pela equipe da UFV, foi definido os pesos de 0,8 e 0,2, respectivamente, para o IVA e o IVS para obtenção do IVSA (**Figura 3.30**).

3.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

As Áreas Prioritárias para recuperação ambiental nas sub-bacias da cabeceira do rio São Francisco totalizaram 448.181 ha. Desse total, 198.018 ha (44%) são de Muito Alta prioridade e 250.163 ha (56%) de Alta prioridade (**Figura 3.31**). Em relação ao uso do solo em Áreas Prioritárias, 276.552 ha (62%) estão sob pastagens e 171.629 ha (38%) sob usos agrícolas com culturas temporárias (**Figura 3.32**).

Do ponto de vista da recarga hídrica, 284.653 ha (64%) das Áreas Prioritárias para recuperação estão em áreas com maior potencial de recarga, denominadas de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica e 163.528 ha (36%) sob áreas com menor potencial de recarga,

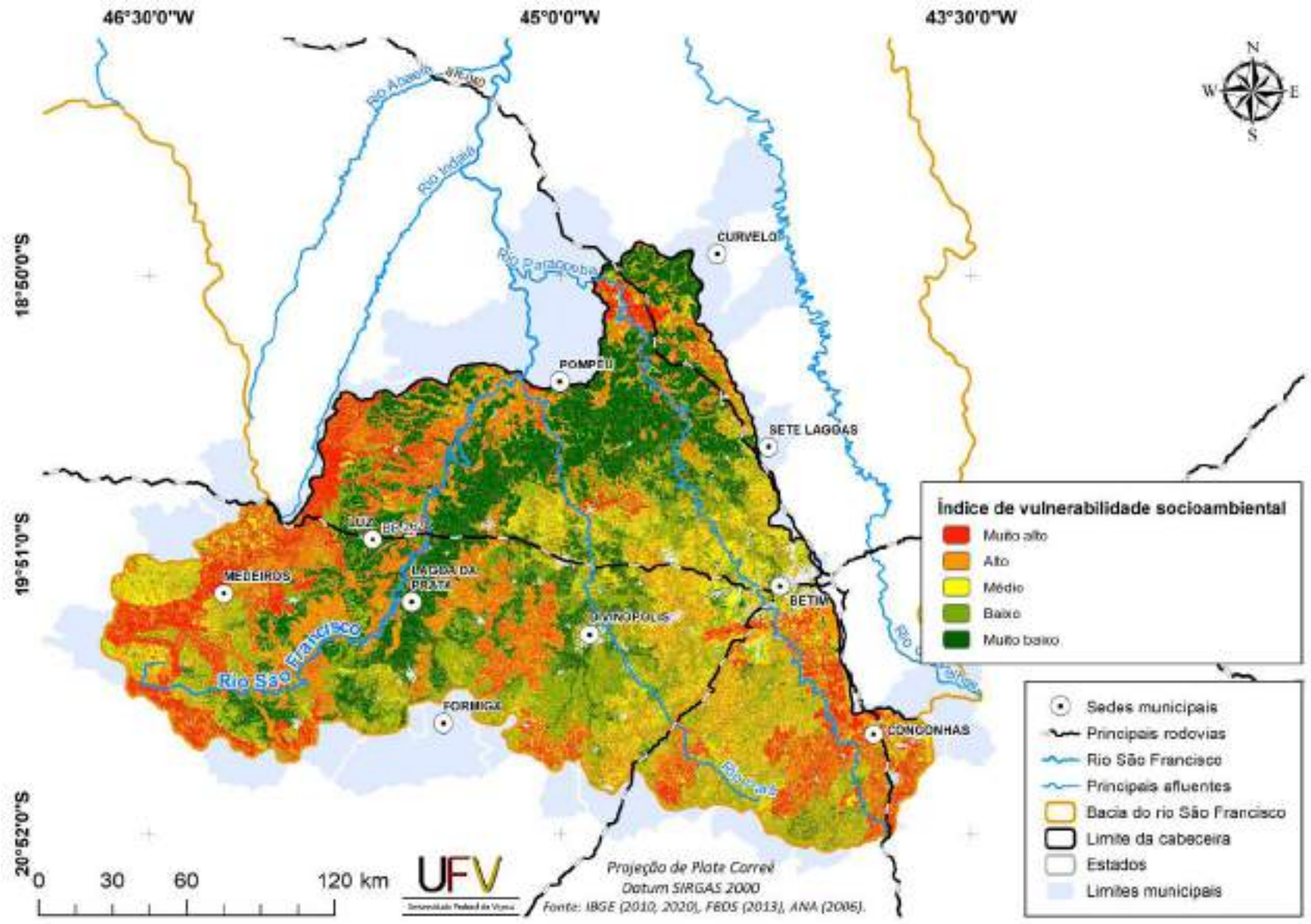

Figura 3.30. Mapa de classes do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

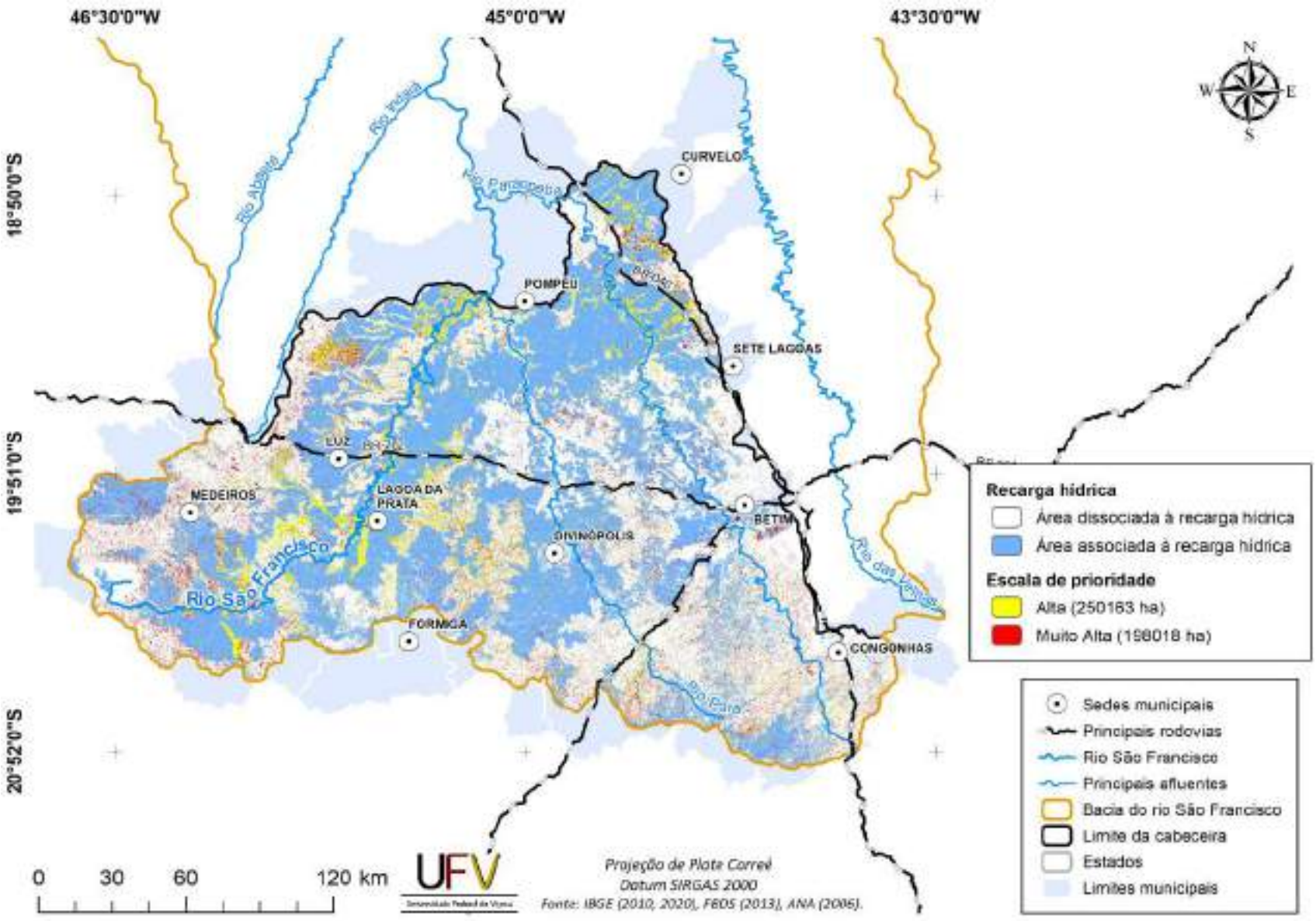

Figura 3.31. Mapa de escala das áreas prioritárias (Alta e Muito Alta) para recuperação ambiental das sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

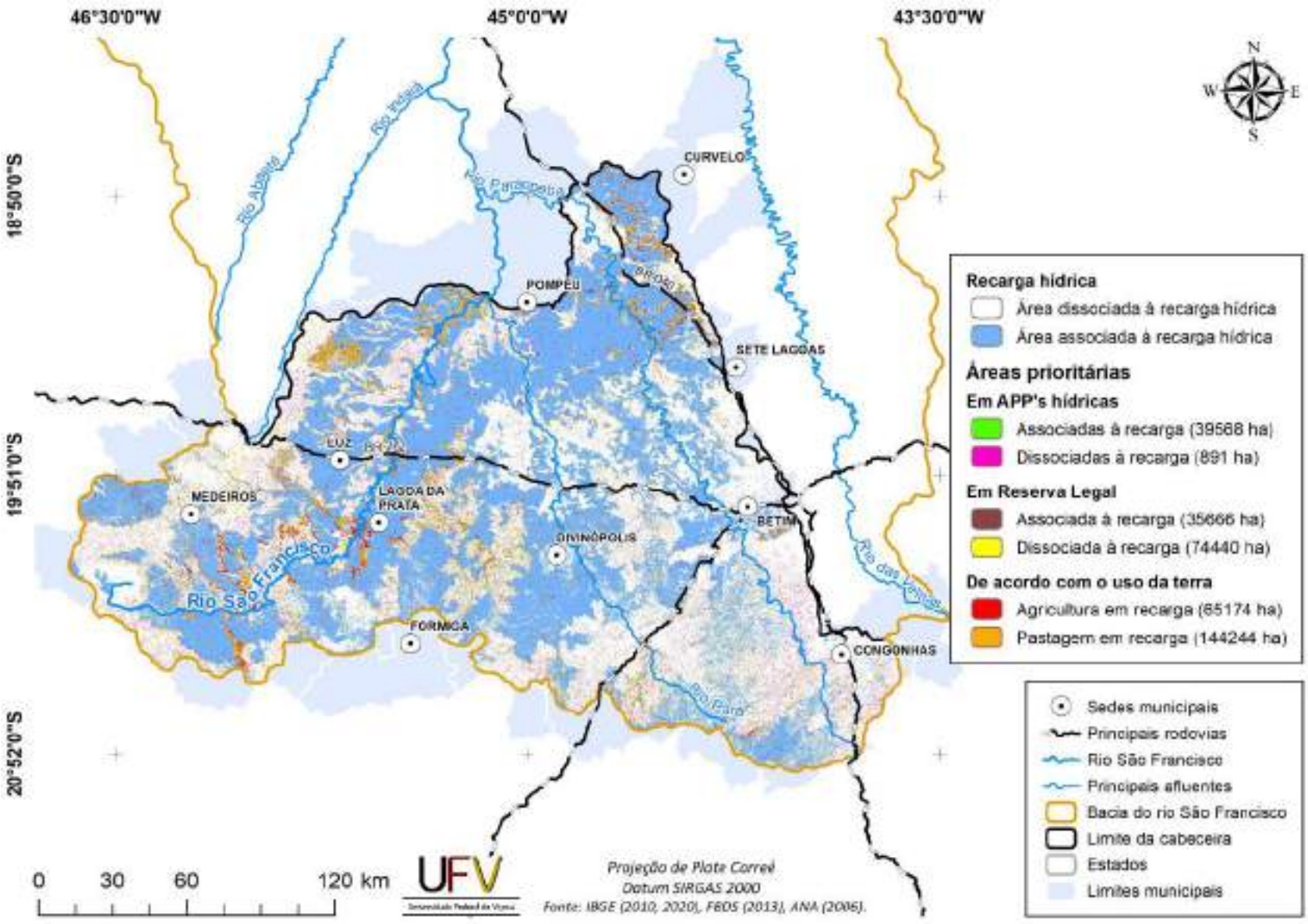

Figura 3.32. Mapa dos grupos de áreas prioritárias (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em Recarga e Agricultura em Recarga) para recuperação ambiental das sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

denominadas Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica.

Das Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, 39.568 ha estão em APPs Hídricas, 35.666 ha em Reserva Legal, 144.244 ha em Pastagem em Recarga e 65.174 ha em Agricultura em Recarga (**Figura 3.33**). Dentre as Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica, 89.089 ha estão em APPs Hídricas e 74.440 ha em Reserva Legal (**Figura 3.34**).

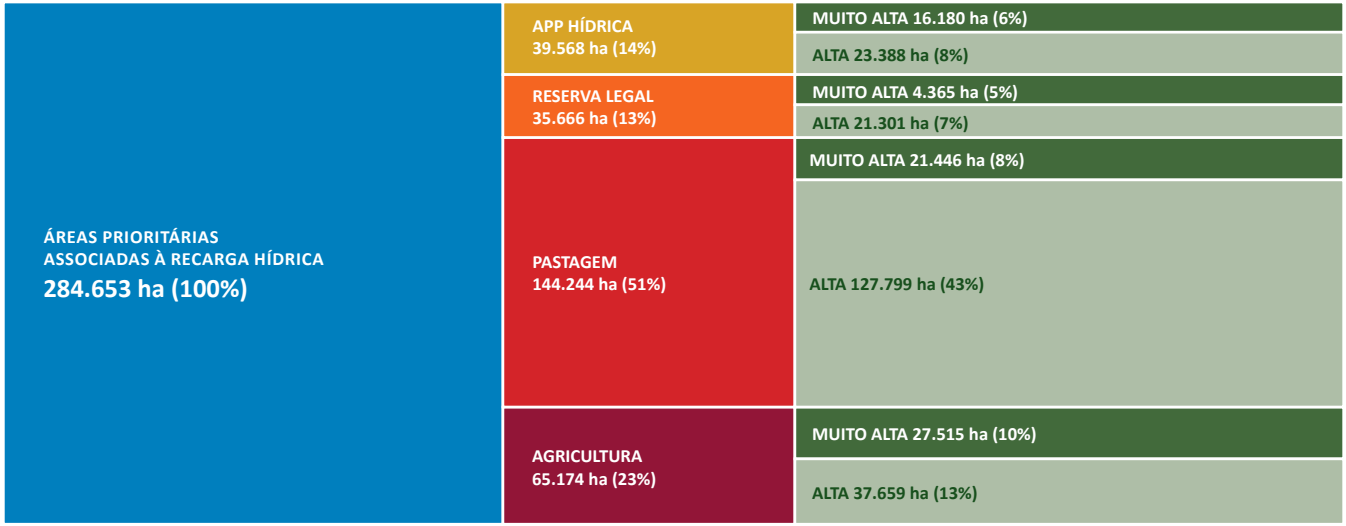

Figura 3.33. Total de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em recarga e Agricultura em recarga) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

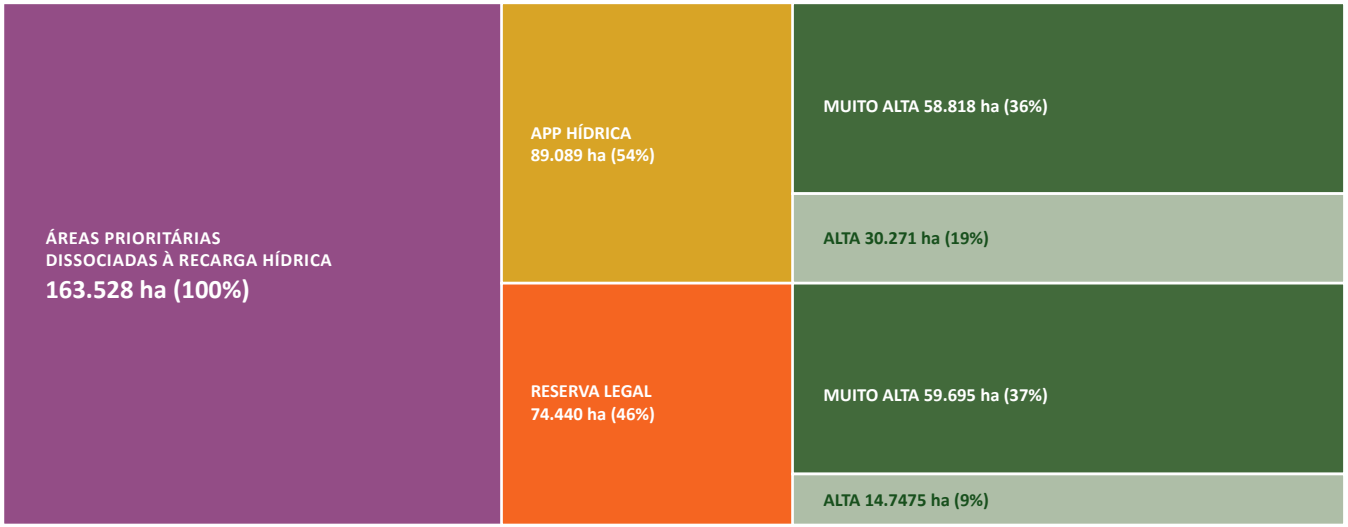

Figura 3.34. Total de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em recarga e Agricultura em recarga) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), na cabeceira da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

4. RESULTADO DA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA

4.1. ÁREA DE RECARGA HÍDRICA

4.1.1. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

A precipitação média anual na cabeceira da bacia do rio Parnaíba, no período entre 2001 e 2020, variou entre 849 e 1.660 mm ano^{-1} (**Figura 4.1**), uma amplitude de 811 mm ano^{-1} entre as regiões de maior e menor precipitação na cabeceira. As regiões com menor precipitação estão localizadas no estado do Piauí, na faixa de área que se estende de Gilbués - PI à Antônio Almeida - PI e, no estado do Maranhão, na região entre os municípios de Uruçuí - PI e São Raimundo das Mangabeiras - MA. Já as regiões de maior precipitação estão localizadas no sul e oeste da cabeceira, na região do município de Alto Parnaíba - MA e Riachão - MA.

A evapotranspiração média anual na cabeceira da bacia do rio Parnaíba variou entre 222 e 1.204 mm ano^{-1}. As maiores taxas de evapotranspiração estão associadas aos fragmentos Cerrados e Cerradões, localizados geralmente nas encostas e sopés das áreas de chapadas, e, também, em áreas com cobertura natural próximo à região que se estende de Uruçuí - PI à Guadalupe - PI. As áreas com menores valores de evapotranspiração estão associadas aos cultivos agrícolas nos chapadões da cabeceira (**Figura 4.2**).

A média anual do balanço hídrico, no período de 2001 a 2020, variou entre -74 e 1.130 mm ano^{-1} (**Figura 4.3**). As áreas com BHC médio anual mais favorável, acima de 569 mm ano^{-1}, representam 31,65% do total da área da cabeceira da bacia do rio Paranaíba, enquanto o intervalo mais representativo foi entre 304 e 568 mm ano^{-1}, que correspondem a 56% da área total. As áreas com até 304 mm ano^{-1} representam 12,35% do total da área da cabeceira do rio Parnaíba. Ao reescalonar a variável BHC en-

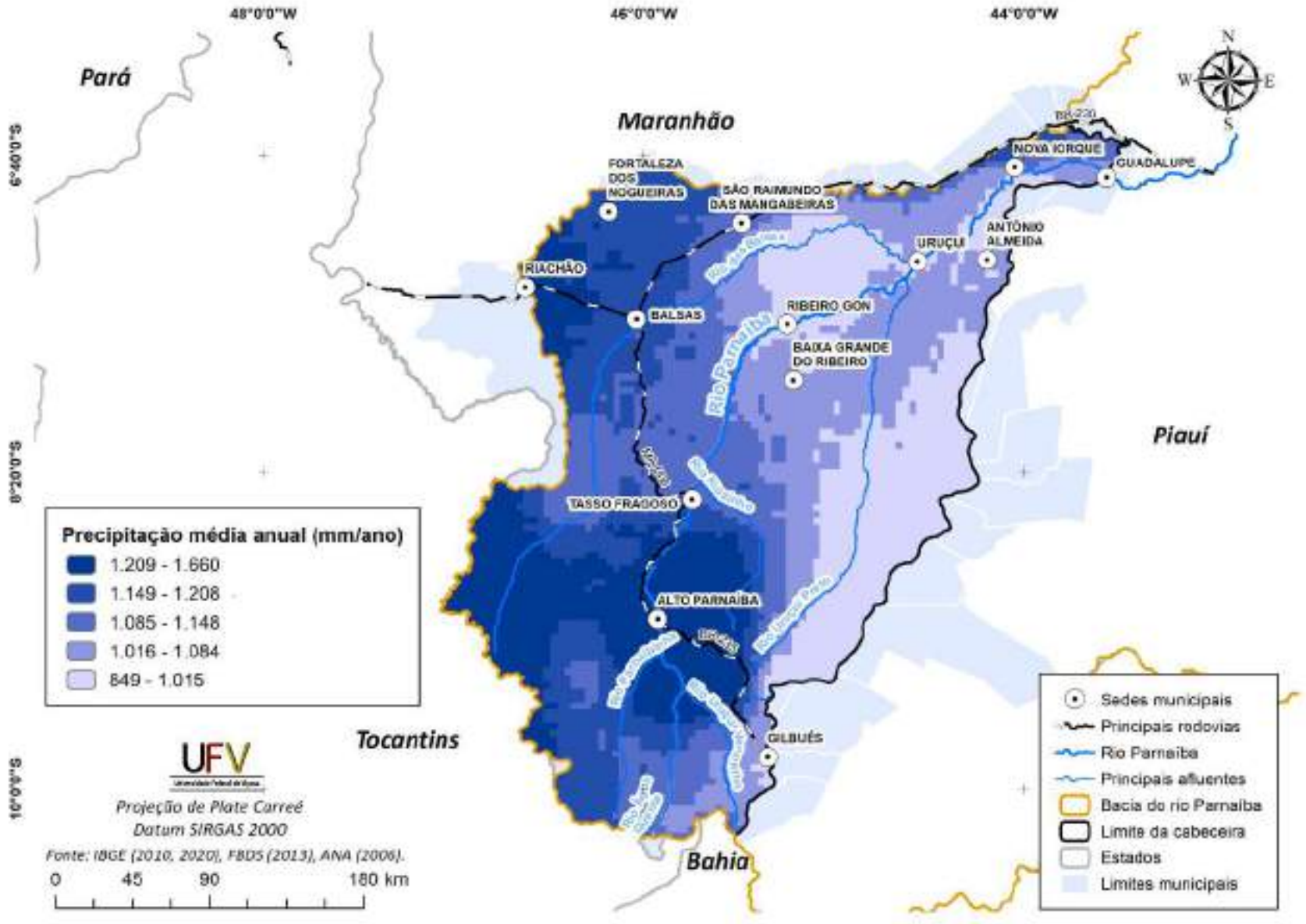

Figura 4.1. Mapa de precipitação média anual, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

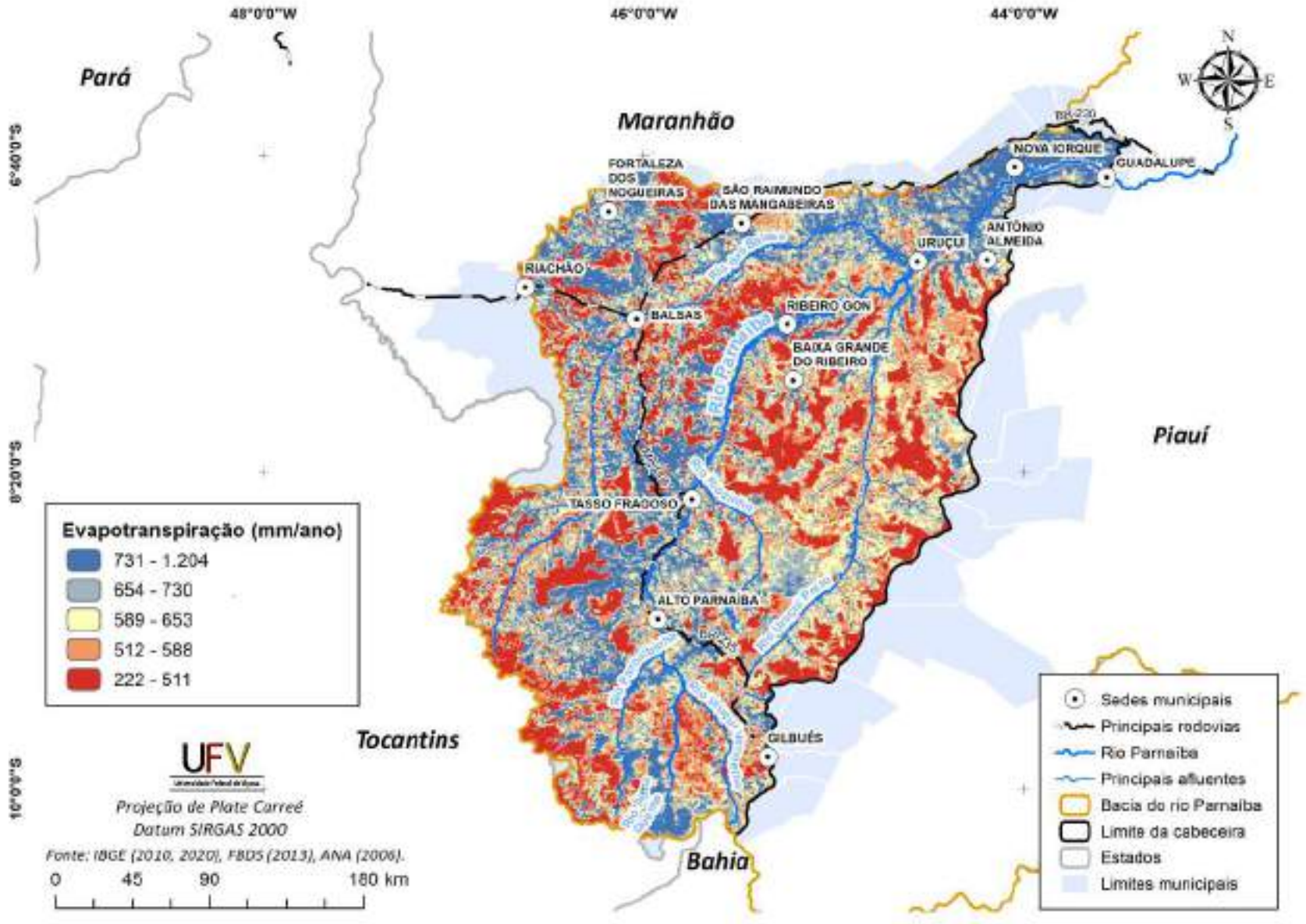

Figura 4.2. Mapa de evapotranspiração média anual, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

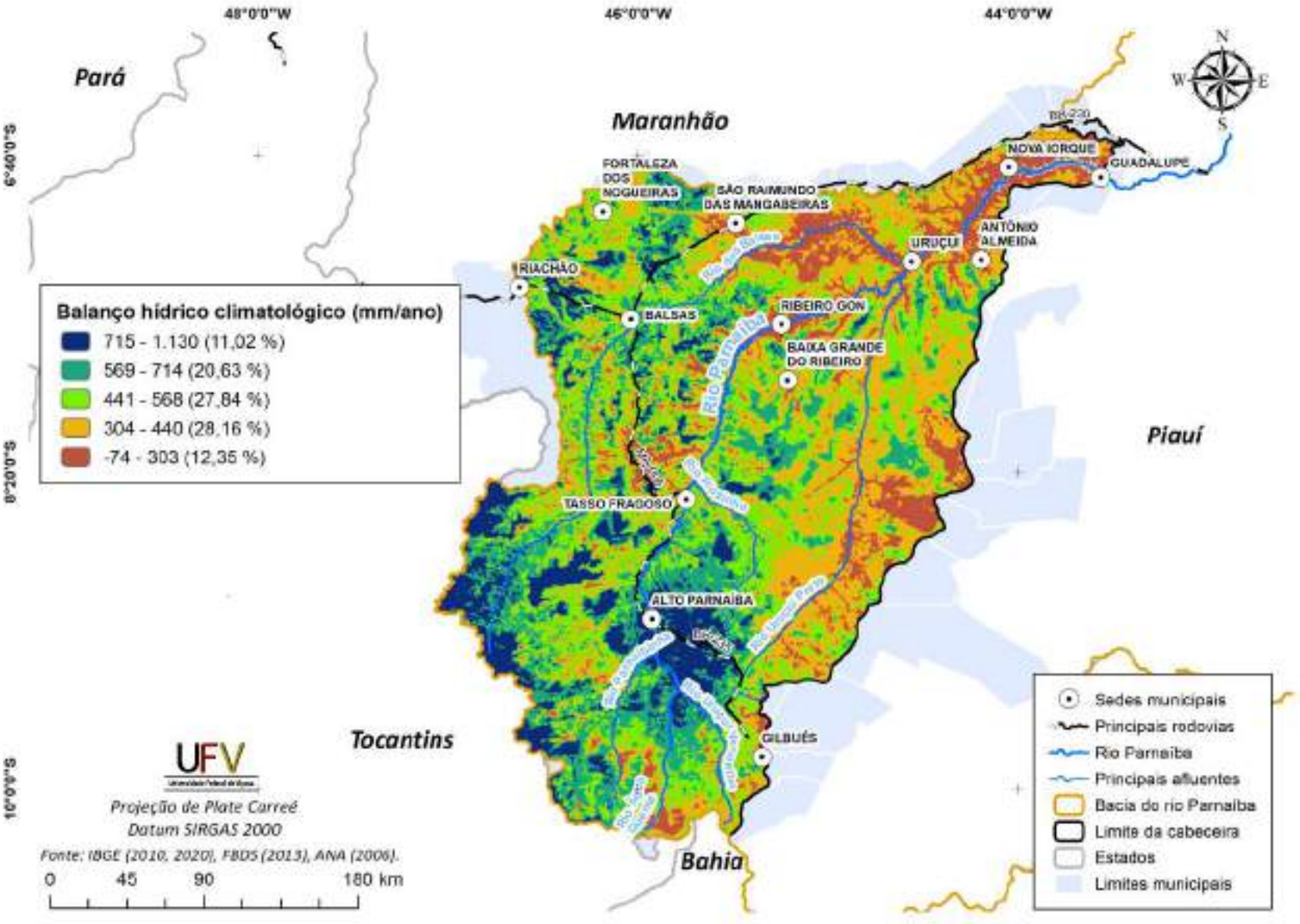

Figura 4.3. Mapa do balanço hídrico climatológico anual médio, no período de 2001 a 2020, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

tre 0 e 1, a maior porção da área ficou concentrada entre 0,21 e 0,60, totalizando 79,17%, ou seja, concentrando em áreas com valores menos favoráveis e intermediários à recarga hídrica, do ponto de vista da disponibilidade de água para armazenamento (**Figura 4.4**).

4.1.2. DECLIVIDADE

As principais classes de relevo encontradas na cabeceira da bacia do rio Parnaíba são: plano (40,7%), suave ondulado (35,98%) e ondulado (14,47%) (**Figura 4.5**). O relevo forte ondulado está presente em 6,83% da área da cabeceira e as demais classes de relevo, escarpado e montanhoso, em apenas 2,03% da área total. A parte plana da cabeceira da bacia corresponde aos chapadões, enquanto as áreas declivosas estão principalmente associadas à ruptura de relevo, na borda dos chapadões presentes em toda a cabeceira. A declividade na área da cabeceira variou entre 0 e 242,2%, com média igual a 7,4% e desvio padrão de 10,9%. Desta forma, aplicando a regra do limite máximo para o reescalonamento, que corresponde à soma do valor médio mais três desvios, a declividade máxima utilizada como referência para o reescalonamento dos dados foi de 40,1%. Ao reescalonar a variável Declividade entre 0 e 1, a maior porção da área ficou concentrada entre 0,61 e 1,0, totalizando 88,95%, ou seja, em áreas favoráveis à recarga hídrica, do ponto de vista da declividade (**Figura 4.6**).

4.1.3. DISTÂNCIA À HIDROGRAFIA

Os valores da distância à hidrografia na cabeceira da bacia do rio Parnaíba variaram de 0 a 11.844 m (**Figura 4.7**). A maior parte da área está concentrada em distâncias até 1.672 m (85,41%), enquanto apenas 1,64% da área encontra-se acima de 5.667 m de distância da hidrografia.

O valor médio da distância à hidrografia foi igual a 914,56 m, com desvio padrão de 1292,77 m, portanto o valor máximo definido para a operação de reescalonamento do mapa foi igual a 4.792,87 m. Após o reescalonamento, nota-se para a variável Distância à Hidrografia, que 87,28% da área da cabeceira possui valores até de 0,4, portanto com menor potencial para recarga hídrica e apenas 7,9% da área está acima de 0,81, localizadas nas áreas de chapadões da cabeceira da bacia do rio Paranaíba (**Figura 4.8**).

4.1.4. POTENCIAL PEDOHIDROLÓGICO À RECARGA HÍDRICA

As classes de solo associadas às áreas de maior Potencial Pedohidrológico muito alto na cabeceira da bacia do rio Parnaíba são associadas prioritariamente aos extensos divisores tabulares com ocorrência de Latossolos Amarelos, que predominam em toda a região central da bacia (**Figura 4.9**). Estas áreas de potencial pedohidrológico muito alto ocupam pouco mais de 57% desta porção avaliada da cabeceira do Rio Parnaíba (**Figura 4.11**). Este fato decorre das características físicas destes solos bem desenvolvidos, que apresentam profundidade efetiva muito boa, elevada porosidade total e um grau de desenvolvimento estrutural forte. Somado a isso têm-se as feições de relevo tabulares que com baixíssima declividade, favorecem enormemente a infiltração e percolação de água no solo. Outra classe de solo que contribui significativamente com o potencial pedohidrológico na bacia do Rio Parnaíba é a classe dos Neossolos Quartzarênicos. Estes solos estão associados com as áreas de alto potencial pedohidrológico à recarga hídrica, que nesta bacia representam aproximadamente 9% da área total avaliada neste trabalho. Esse alto potencial ocorre por se tratar de uma classe de solo caracterizada pela textura arenosa, que confere ao mesmo uma alta macroporosidade e, consequentemente, uma infiltração e percolação de água muito eficiente. Ambas as classes, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, de maior potencial pedohidrológico, estão associadas a rochas sedimentares que tem como principal variabilidade a composição granulométrica e o período de formação (paleozóica e cenozóico) (**Figura 4.10**).

As áreas de potencial pedohidrológico médio ocupam pouco mais de 14% da cabeceira da bacia do rio Parna-

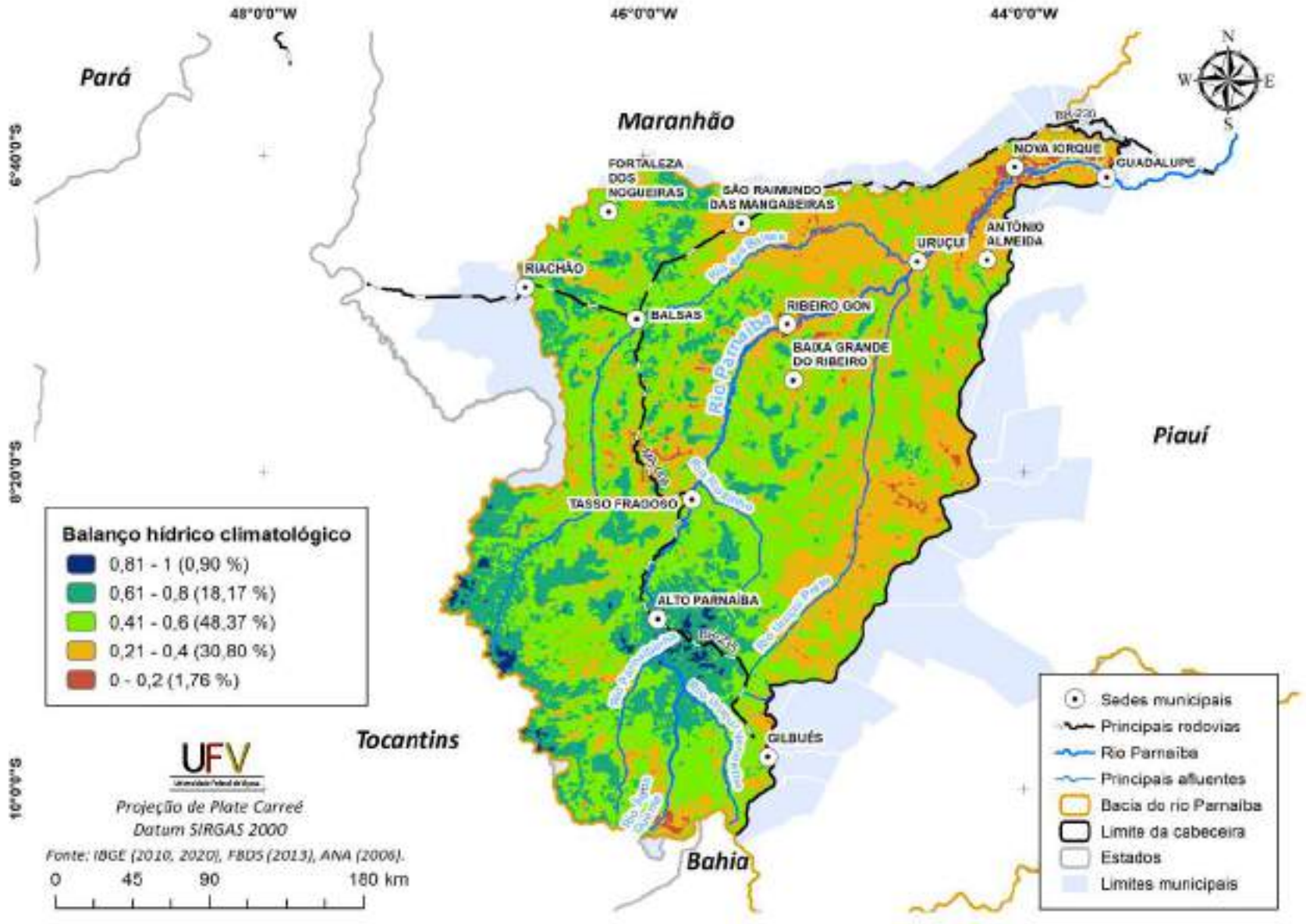

Figura 4.4. Mapa do balanço hídrico climatológico, reescalonado entre 0 e 1, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba

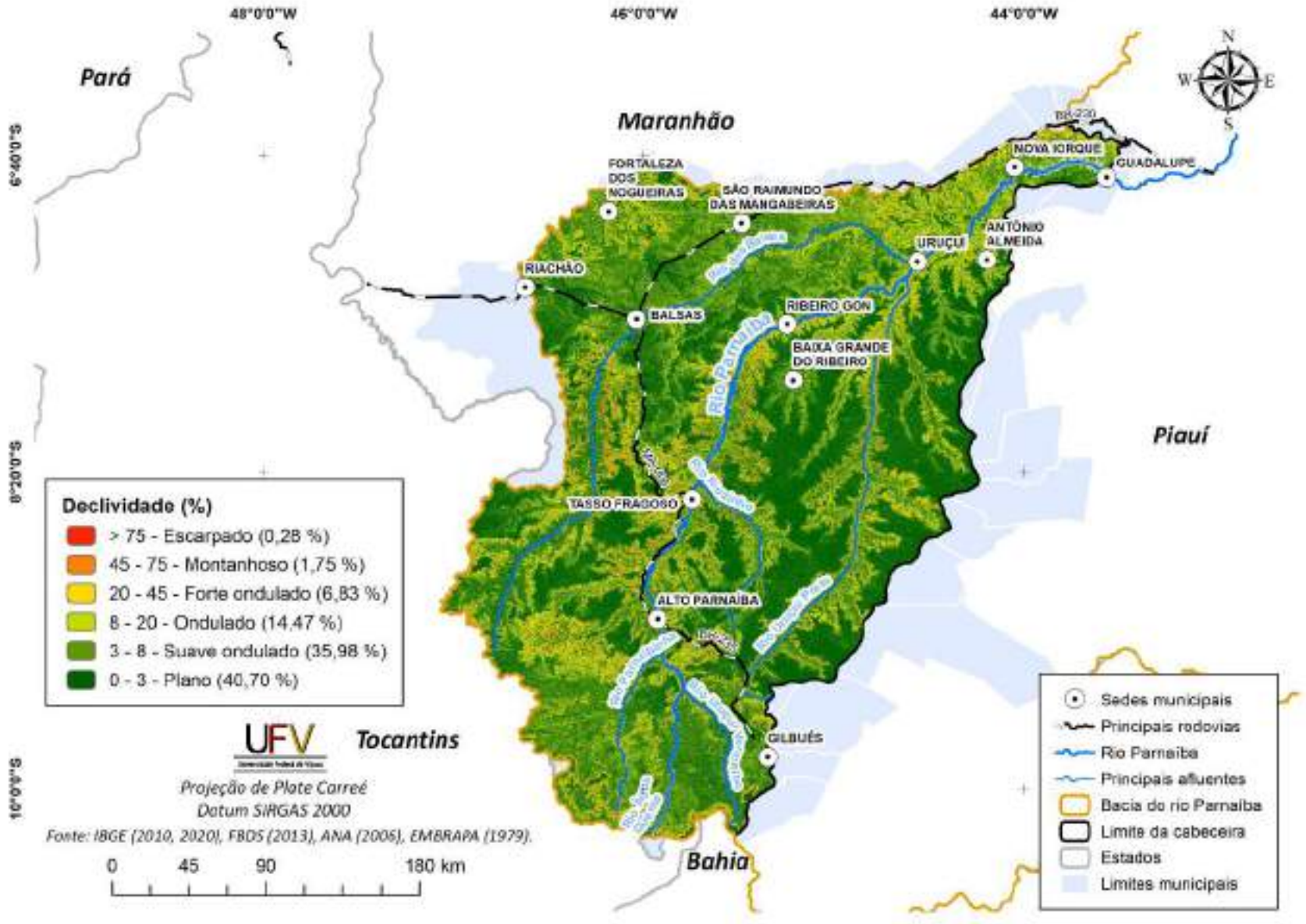

Figura 4.5. Mapa da declividade em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

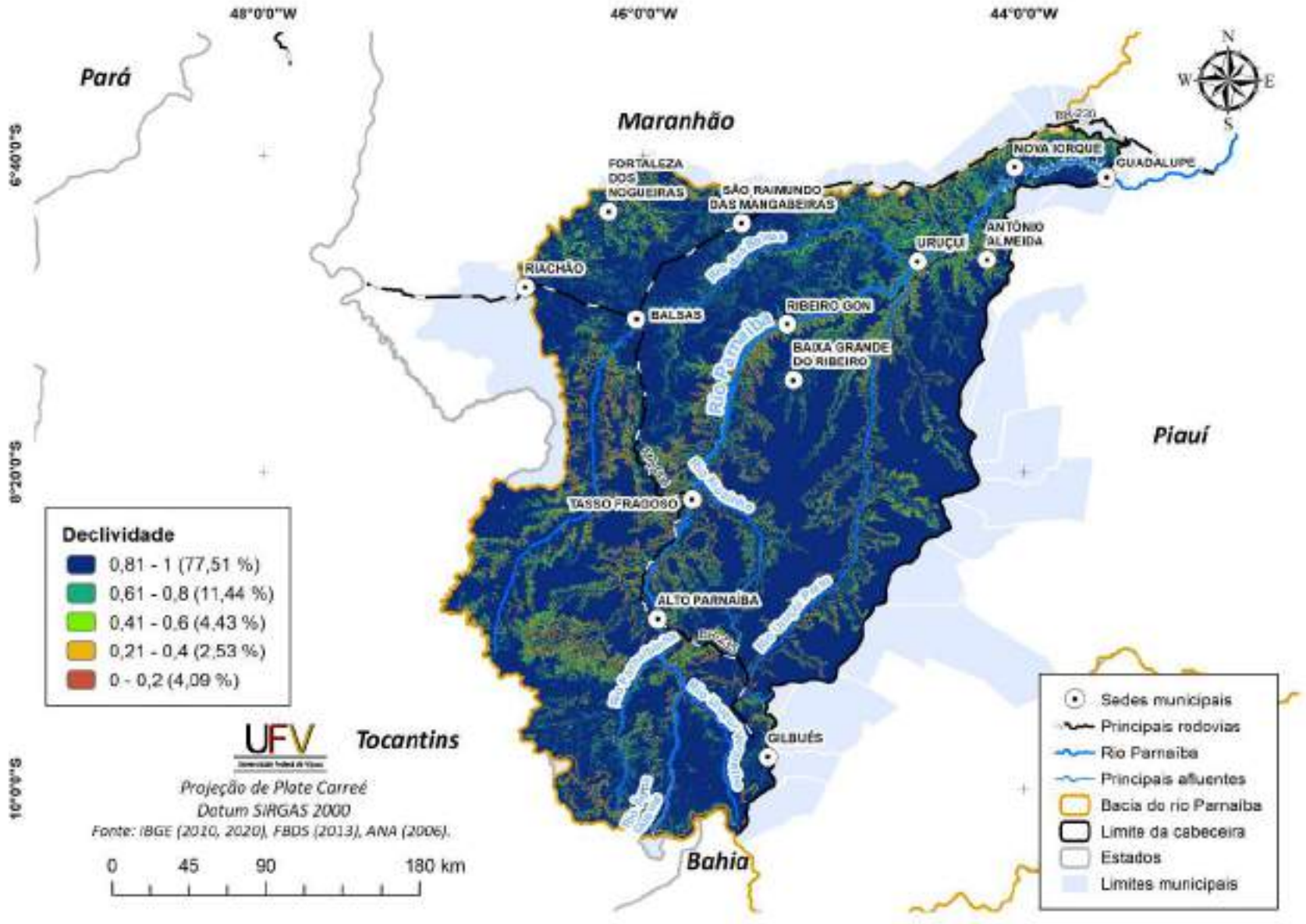

Figura 4.6. Mapa da declividade em classes de relevo, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, reescalonada entre 0 e 1.

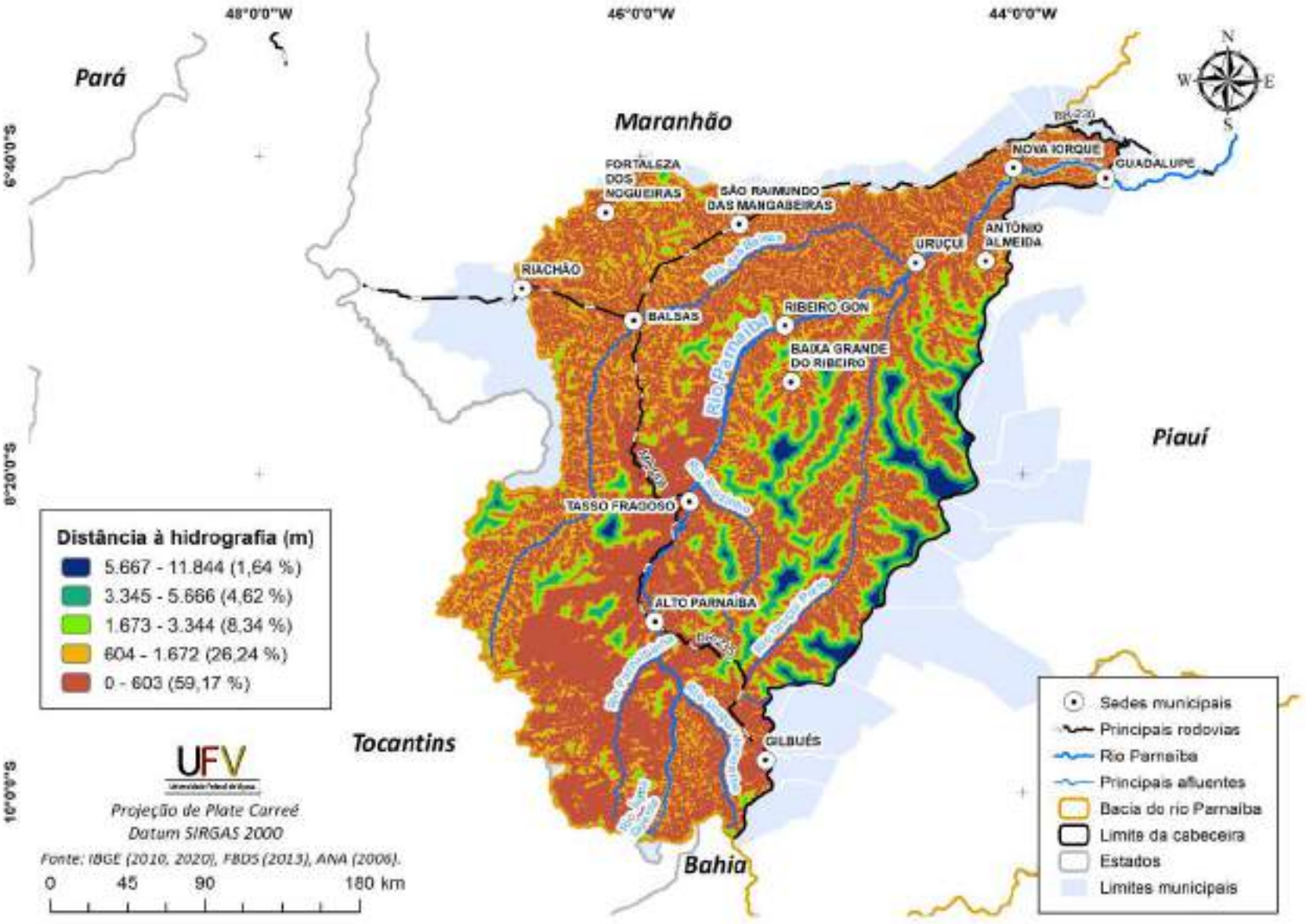

Figura 4.7. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

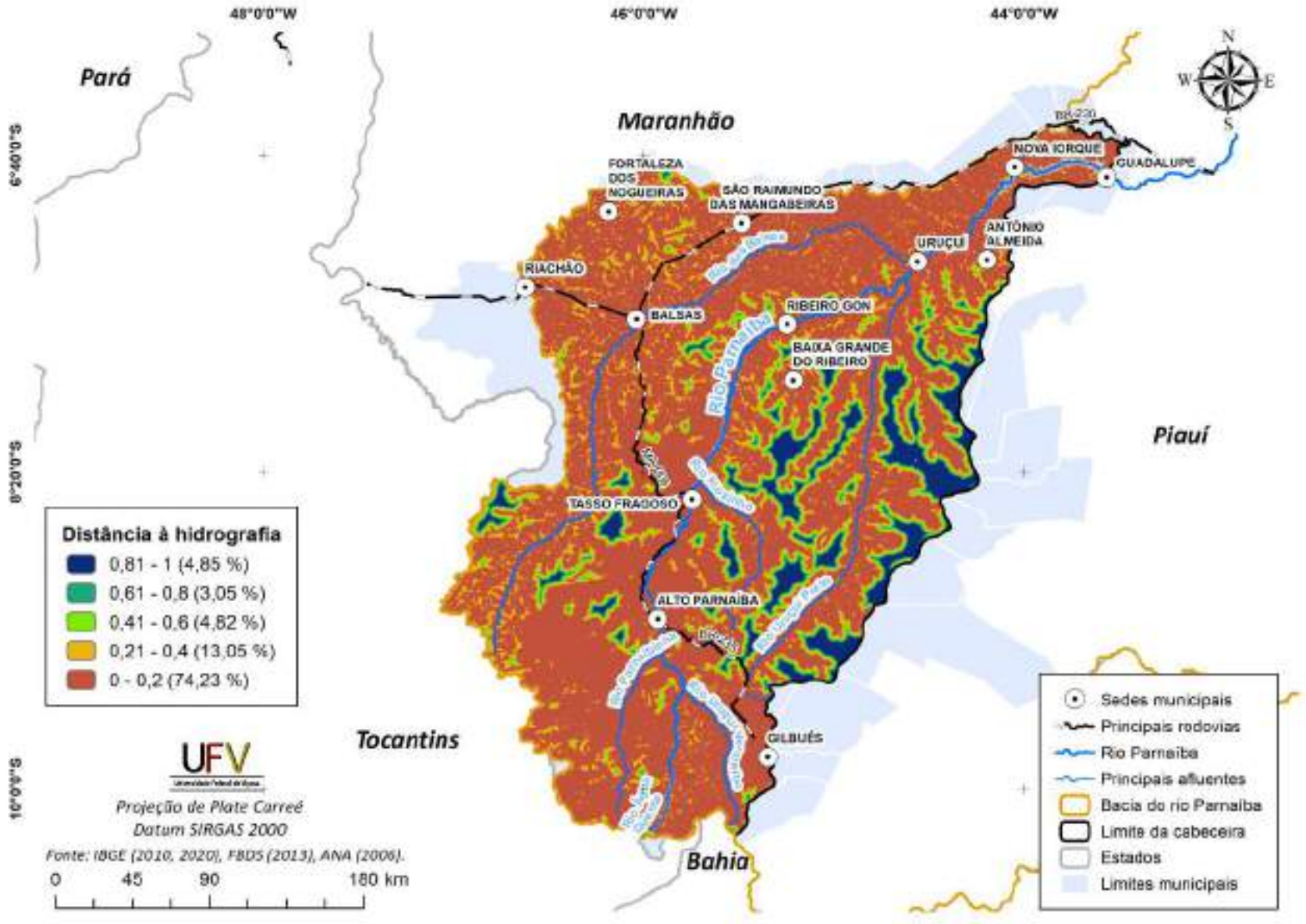

Figura 4.8. Mapa da distância à hidrografia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, reescalonada entre 0 e 1.

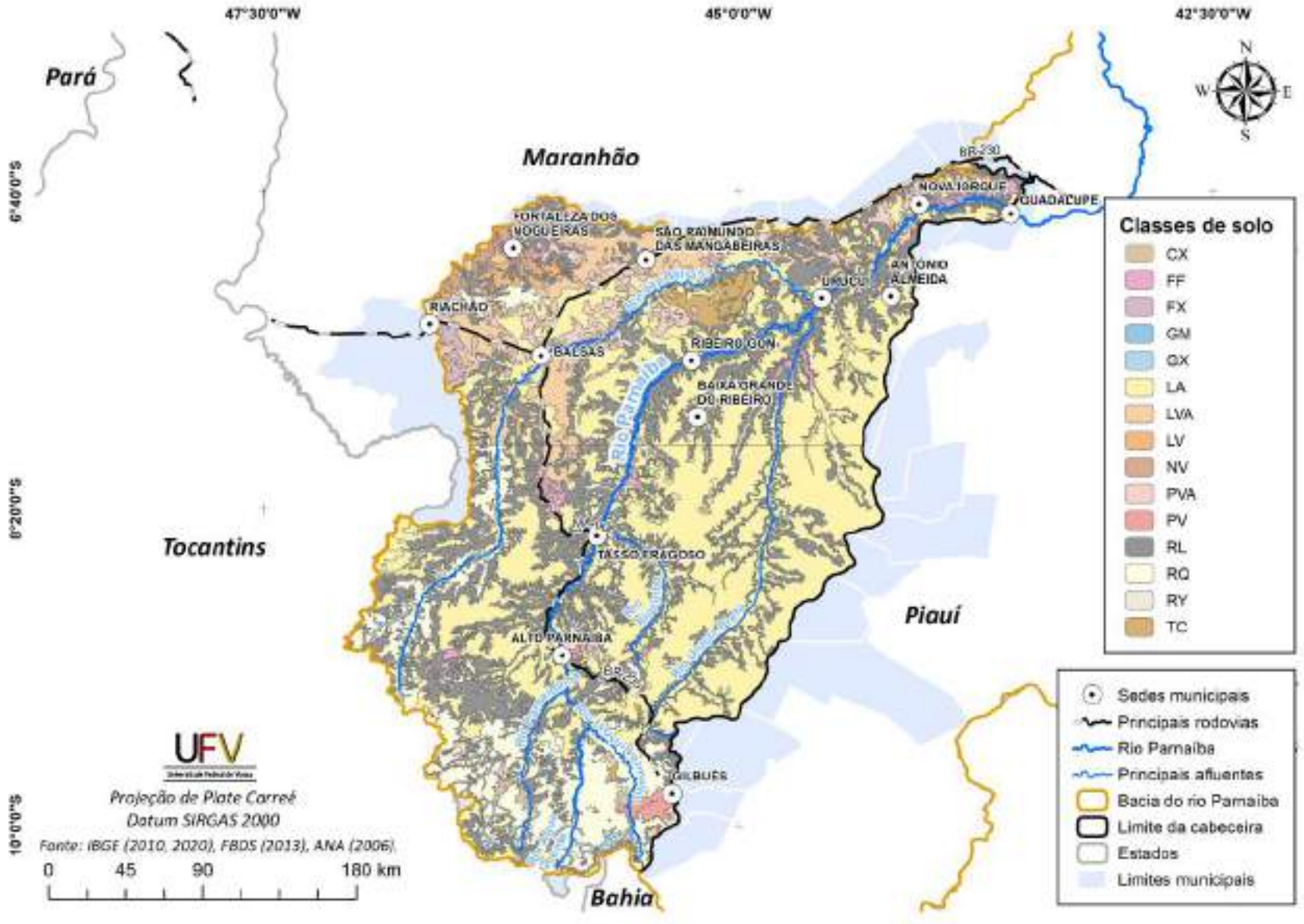

Figura 4.9. Mapa de classe de solos na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

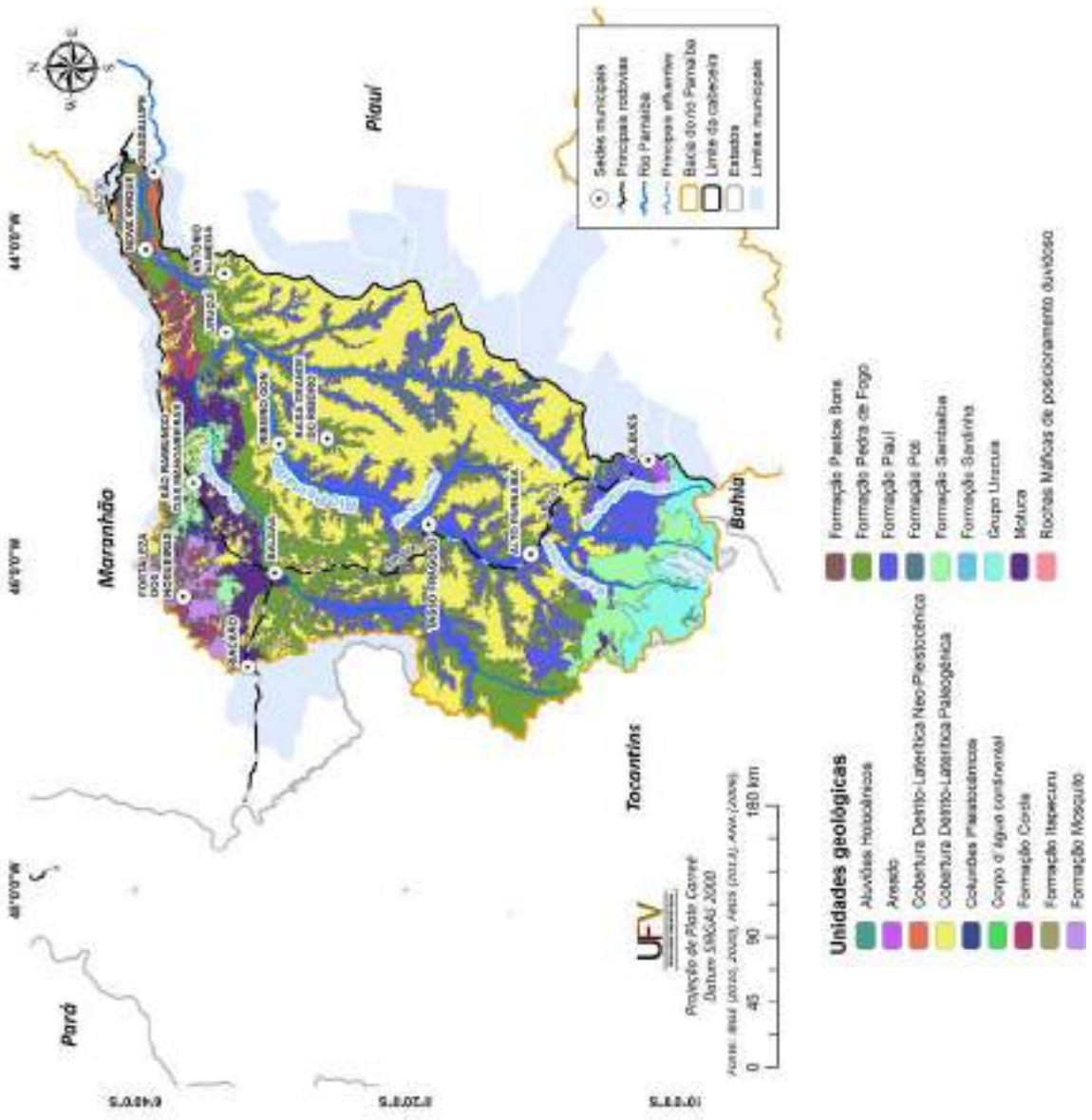

Figura 4.10. Mapa da geologia na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

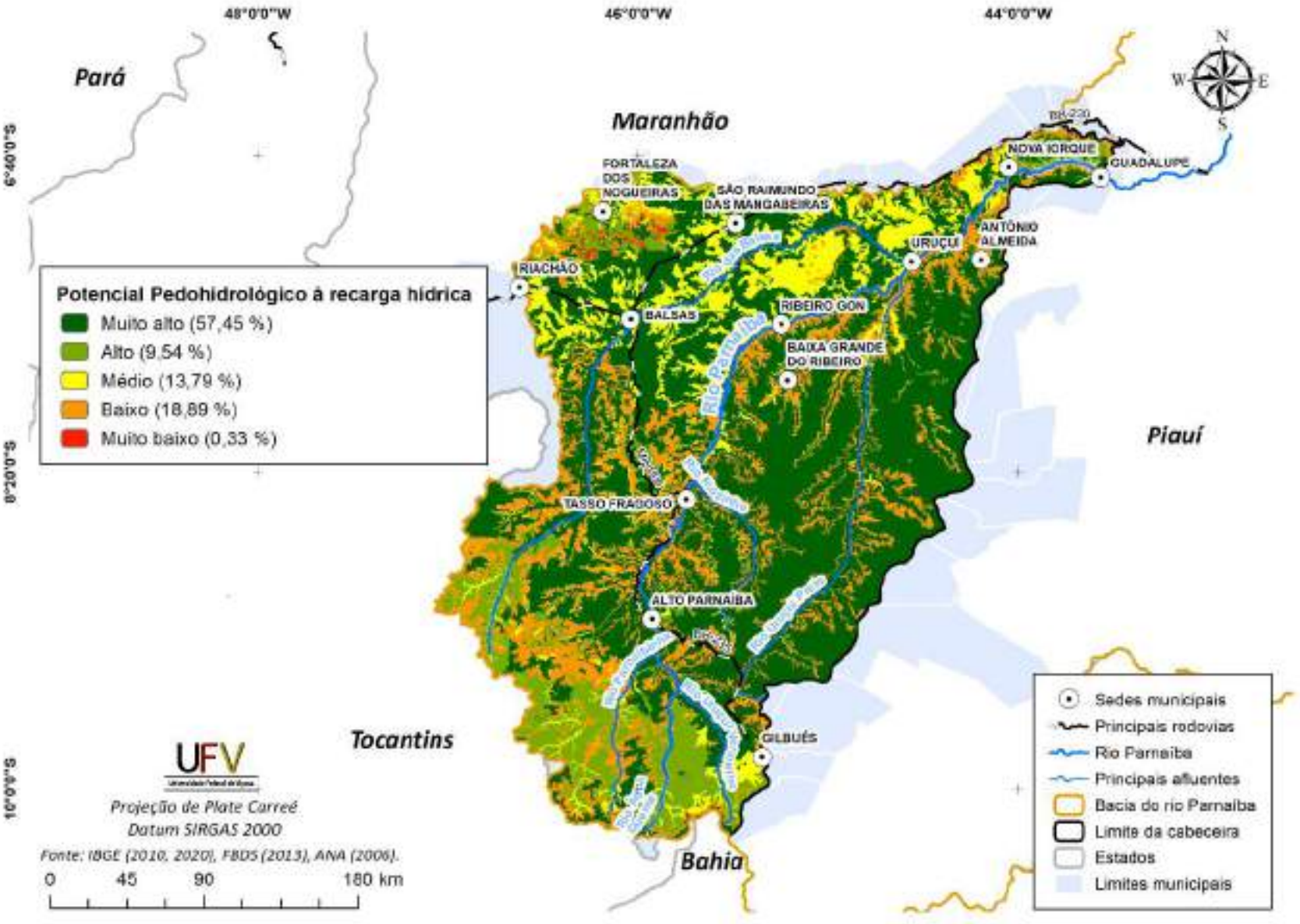

Figura 4.11. Mapa do potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

íba, e também estão associadas à classe dos Latossolos, porém em condições de relevo suave ondulado. As outras classes de solo que colaboram com esta área de potencial pedohidrológico médio, são os Argissolos, Luvissolos e Nitossolos, que se apresentam concentrados na porção norte da cabeceira da bacia do Rio Parnaíba. Estas classes de solo apresentam grau de desenvolvimento pedogenético intermediário e, portanto, apresentam características morfológicas e físicas como profundidade, estrutura e porosidade um pouco menos favoráveis à recarga hídrica do que as encontradas na classe dos Latossolos.

As áreas de potencial pedohidrológico baixo e muito baixo, somam pouco mais de 19% da área total da cabeceira do rio Parnaíba. Estas áreas estão relacionadas diretamente com os solos menos desenvolvidos presentes na bacia, que na área do presente trabalho são os Neossolos Litólicos, os Plintossolos Pétricos, que possuem maior expressividade, e os Cambissolos Háplicos que nesta bacia especificamente apresentam uma distribuição geográfica bem restrita. São áreas associadas às bordas dos divisores tabulares, representando as feições escarpadas do relevo onde predominam os processos erosivos por escoamento superficial em detrimento da infiltração e consequente pedogênese. Sendo assim, são pouco favoráveis aos processos de recarga hídrica. No mapa reescalonado de 0 a 1 (**Figura 4.12**), observa-se que há predominância de áreas em valores elevados, acima de 0,61, para o potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia do rio Parnaíba.

4.1.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA

Na **Tabela 4.1** encontra-se a matriz de comparação dos critérios, que foi utilizada para obter a estimativa da importância relativa de cada variável, resultando nos pesos finais apresentados na **Tabela 4.2**. Esses pesos foram então multiplicados aos mapas das variáveis para obter a classificação do potencial de recarga, que resultou no mapa da Área de Recarga nas sub-bacias da cabeceira do rio Parnaíba (**Figura 4.13**). Para fins de análise, o mapa da Área de Recarga foi subdividido em dois grupos: o primeiro grupo denominado de Área Associada à Recarga Hídrica, correspondendo à 50% da área analisada com os maiores valores de potencial de recarga; e o segundo grupo denominado de Área Dissociada à Recarga Hídrica, correspondente a outra metade com menor valor potencial de recarga hídrica. Essa subdivisão do potencial de recarga hídrica na área da bacia tem o intuito de identificar onde as ações de recuperação das áreas com maior vulnerabilidade socioambiental podem ter maior ou menor impacto sobre a recarga hídrica. Esses pontos serão abordados com mais detalhes no item Áreas Prioritárias.

Tabela 4.2. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção da Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Critério	Pesos finais (%)
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	47,4
Declividade	35,4
Balanço Hídrico Climatológico	5,6
Distância à Hidrografia	11,6

Tabela 4.1. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção da Área de Recarga na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

Pesos relativos AHP	Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	Declividade	Balanço Hídrico Climatológico	Distância à Hidrografia
Potencial Pedohidrológico à Recarga Hídrica	1,00	1,00	7,00	7,00
Declividade	1,00	1,00	7,00	2,00
Balanço Hídrico Climatológico	0,14	0,14	1,00	0,5
Distância à Hidrografia	0,14	0,50	2,00	1,00

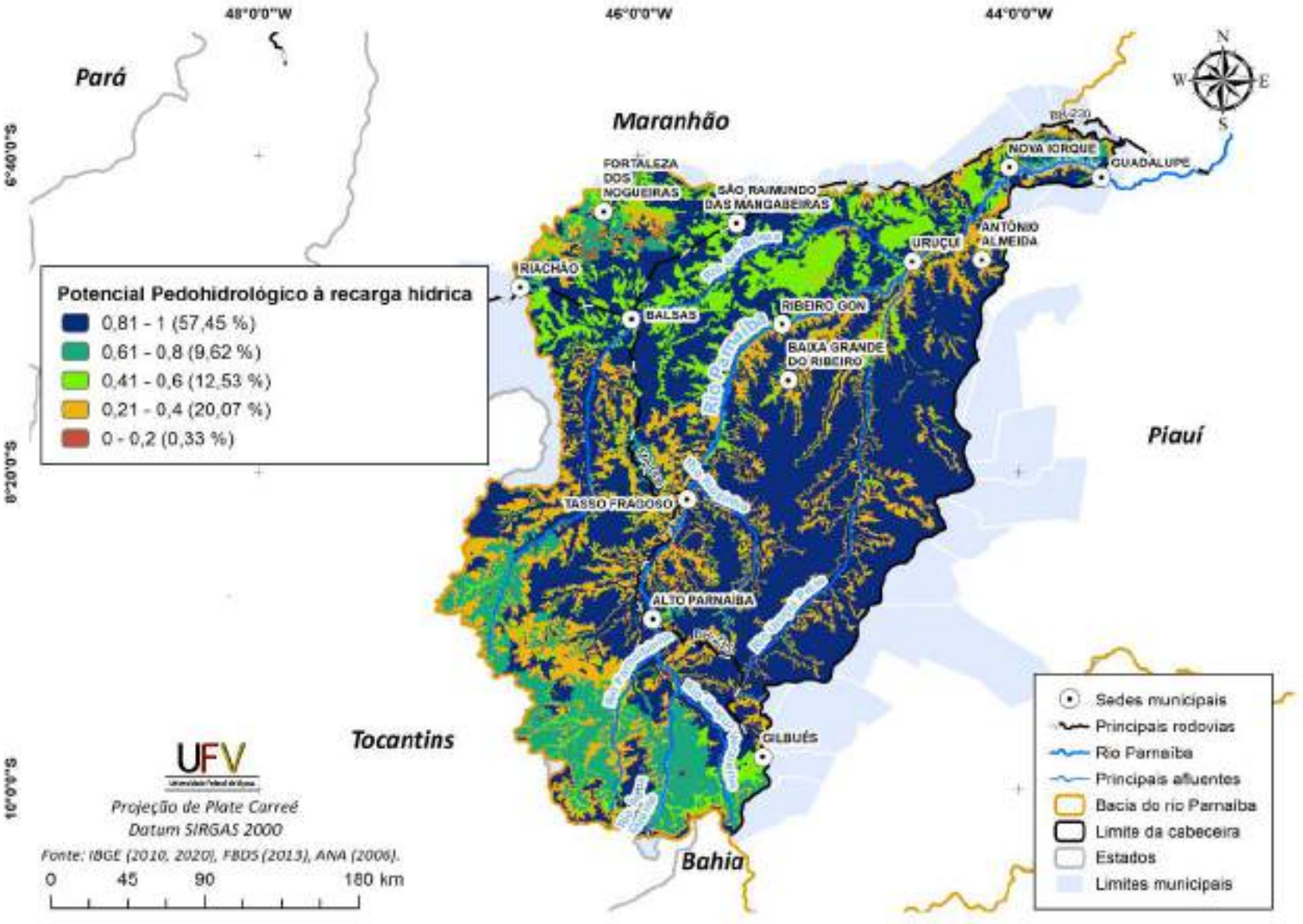

Figura 4.12. Mapa do potencial pedohidrológico à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, reescalonada entre 0 e 1.

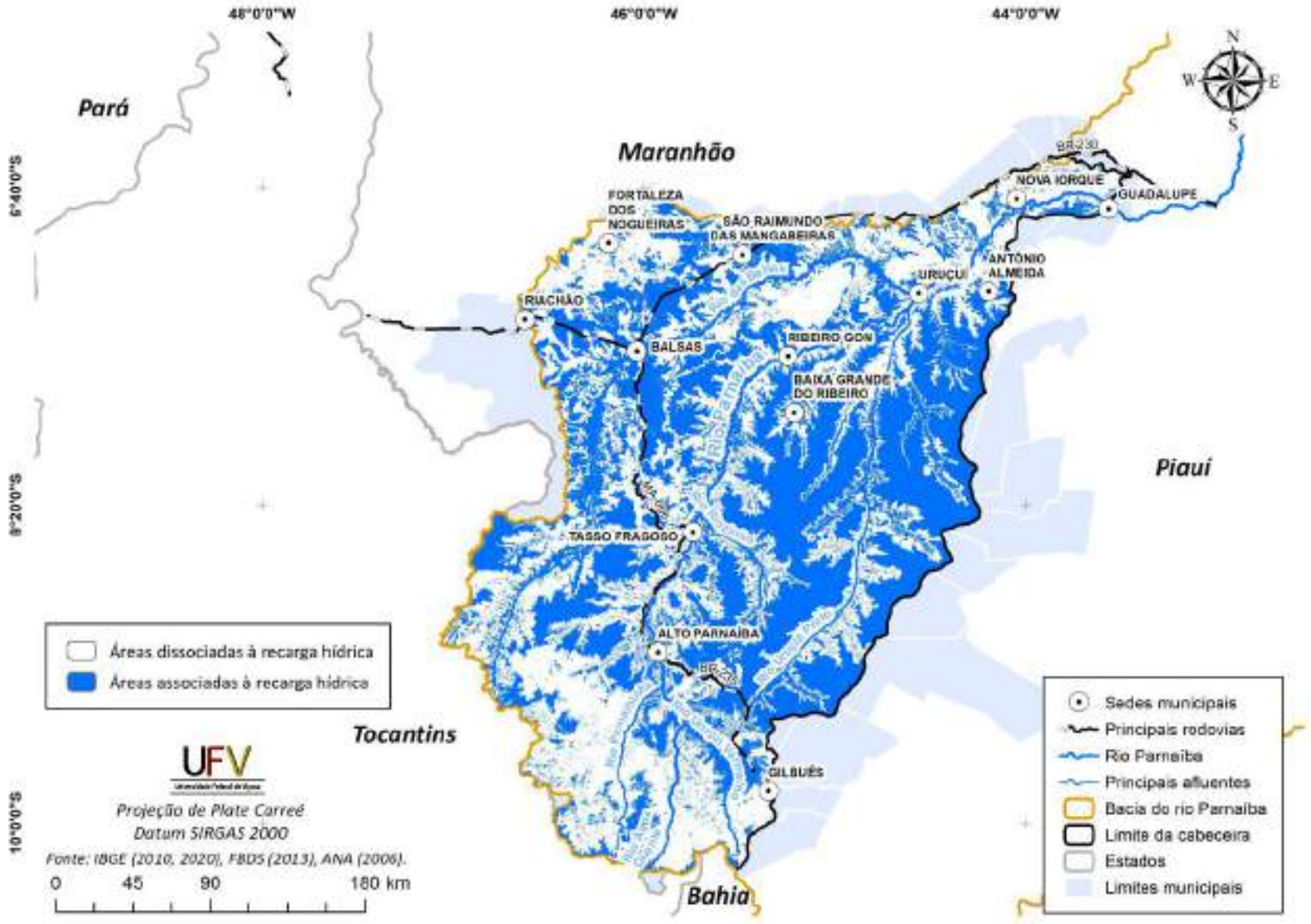

Figura 4.13. Mapa de áreas associadas (maior potencial) e dissociadas (menor potencial) à recarga hídrica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

4.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL - IVA

4.2.1. ADEQUAÇÃO DO USO DA TERRA

A capacidade de uso da terra foi definida como aquela correspondente ao fator limitante entre os critérios relacionados ao solo, ao relevo e aos aspectos legais, ou seja, para uma determinada área, o valor de capacidade de uso corresponde ao maior valor de classe de capacidade apresentado para os três critérios. Na **Figura 4.14** está o mapa de capacidade de uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba e nela é possível observar que as classes II, III, VII e VIII de capacidade de uso da terra são aquelas que predominam na bacia do rio Parnaíba, correspondendo juntas a cerca de 90,09% de sua área total.

Expressiva parte da cabeceira da bacia do rio Parnaíba, 45,2% da área total, se enquadrou nas classes VII e VIII, ou seja, são terras com limitações muito severas, inadequadas para lavouras e de uso restrito para pastagens e florestas cultivadas, restringindo-as à recreação e/ou proteção da flora e fauna silvestres ou ainda armazenamento de águas. Observa-se ainda que 38,61% das áreas foram classificadas como classe II, que são aquelas terras próprias para culturas com práticas simples de conservação; enquanto 6,27% foram classificadas como classe III, que são terras próprias para culturas com práticas intensivas ou complexas de conservação; e 8,82% foram classificadas como classe V, que são terras com pouco ou nenhum risco de erosão, mas com limitações impraticáveis de serem removidas, o que limita muito a sua utilização, sendo, por isso, mais apropriadas para pastagens, reflorestamento ou vida silvestre. O restante das áreas, cerca de 1,09 % da cabeceira, foram classificadas como classes I, IV e VI.

Na **Figura 4.15** está o mapa de uso e cobertura da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba. Os valores obtidos para o índice Kappa e exatidão global foram de 0,43 e 0,59, respectivamente, o que indica uma concordância moderada entre as classes de uso e ocupação do solo observadas em campo e a predição do modelo MapBiomas. As classes que apresentaram maior confusão entre o uso observado em campo e a predição do modelo MapBiomas foram Agricultura e Formação Savânica, Pastagem e Formação Savânica. Este fato se explica pela dinâmica de uso e ocupação do solo na região, onde grandes áreas de Cerrado foram recentemente convertidas em monocultura de grãos ou pastagens. Esta constatação indica a necessidade de uma análise mais criteriosa quando da aplicação dos resultados alcançados por este trabalho, principalmente para as áreas de expansão agropecuária, sem, no entanto, comprometer a sua aplicação para determinação do IVA e áreas prioritárias para conservação em toda a bacia. Observa-se que as áreas naturais (afloramento rochoso, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, formação florestal, formação savânica, rios e lagos) ocupam 80,0% de toda a bacia, e as demais áreas, 20,0%, com maior destaque para soja e mosaicos de uso, com 16,2% e 2,0%, respectivamente.

Na **Figura 4.16** está o mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba. De acordo com a classificação proposta, a maior parcela da bacia, cerca de 79,7%, encontra-se atualmente com intensidade de uso nas classes VI e VIII, que estão relacionadas principalmente à presença de formações naturais como formações florestais e savânicas, consideradas, portanto, de baixa intensidade. Além disso, cerca de 19,6% da área da cabeceira encontra-se atualmente com intensidade de uso nas classes I e II que são consideradas as classes de uso mais intensas, relacionadas à agricultura, mineração e áreas não vegetadas e menos de 1% da bacia encontra-se com intensidade de uso na classe III, relacionada a presença de pastagens.

Na **Figura 4.17** está o mapa de classes excedentes de capacidade do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Parnaíba e a **Figura 4.18** apresenta o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que aproximadamente 63,3% da área da cabeceira da bacia do rio Parnaíba possui intensidade de uso da terra menor ou igual à

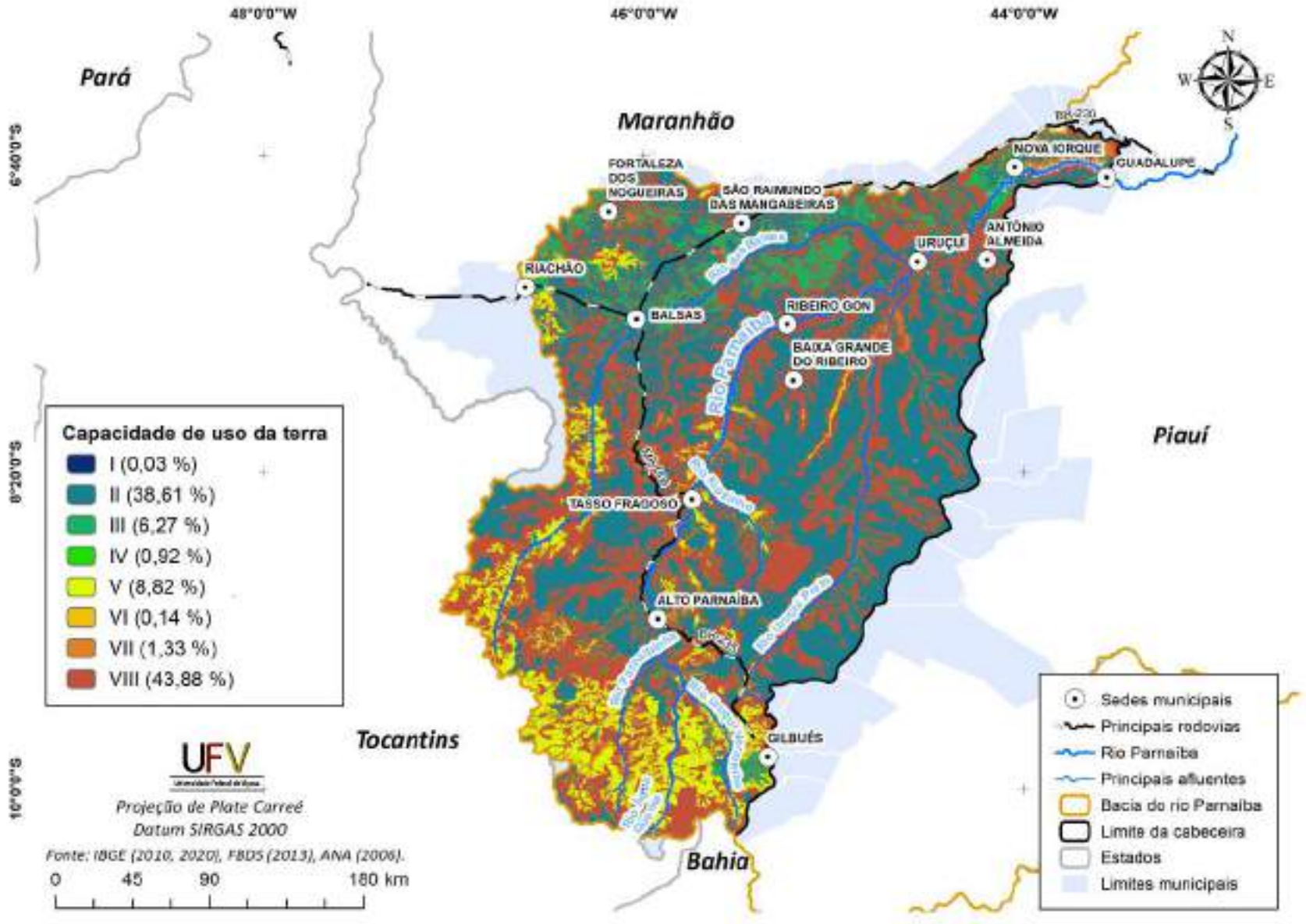

Figura 4.14. Mapa da capacidade de uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

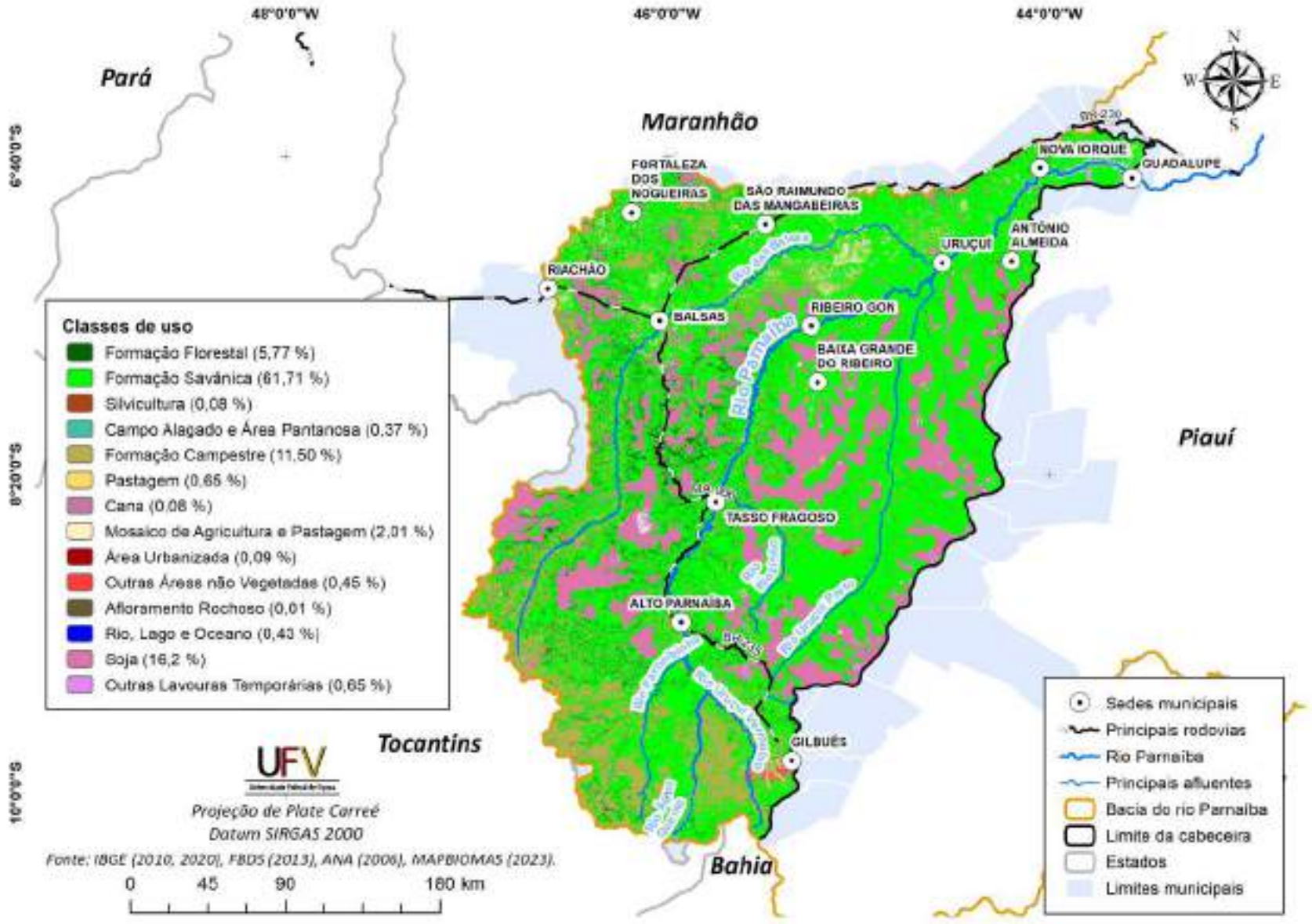

Figura 4.15. Mapa de classificação do uso e cobertura da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

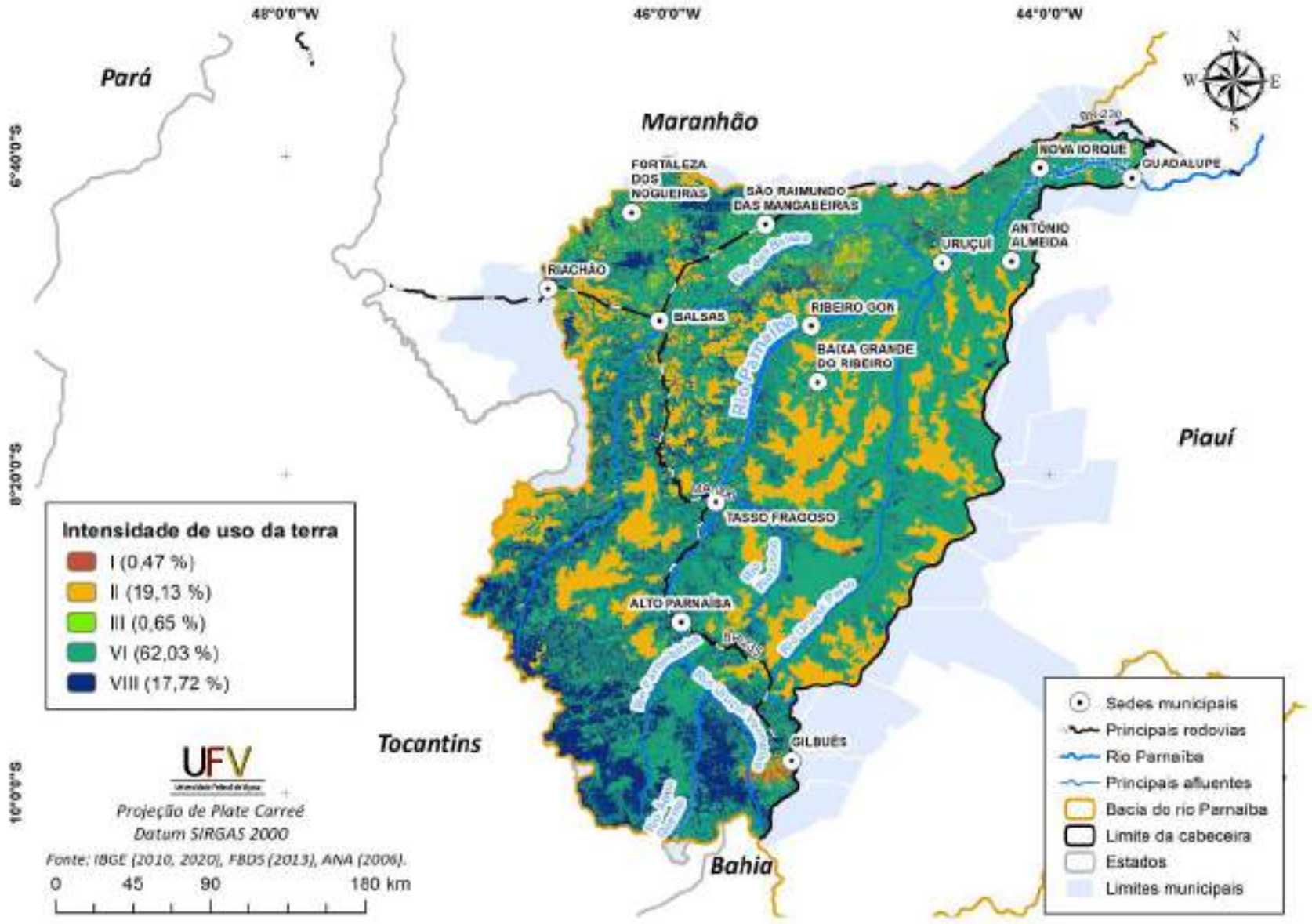

Figura 4.16. Mapa de intensidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

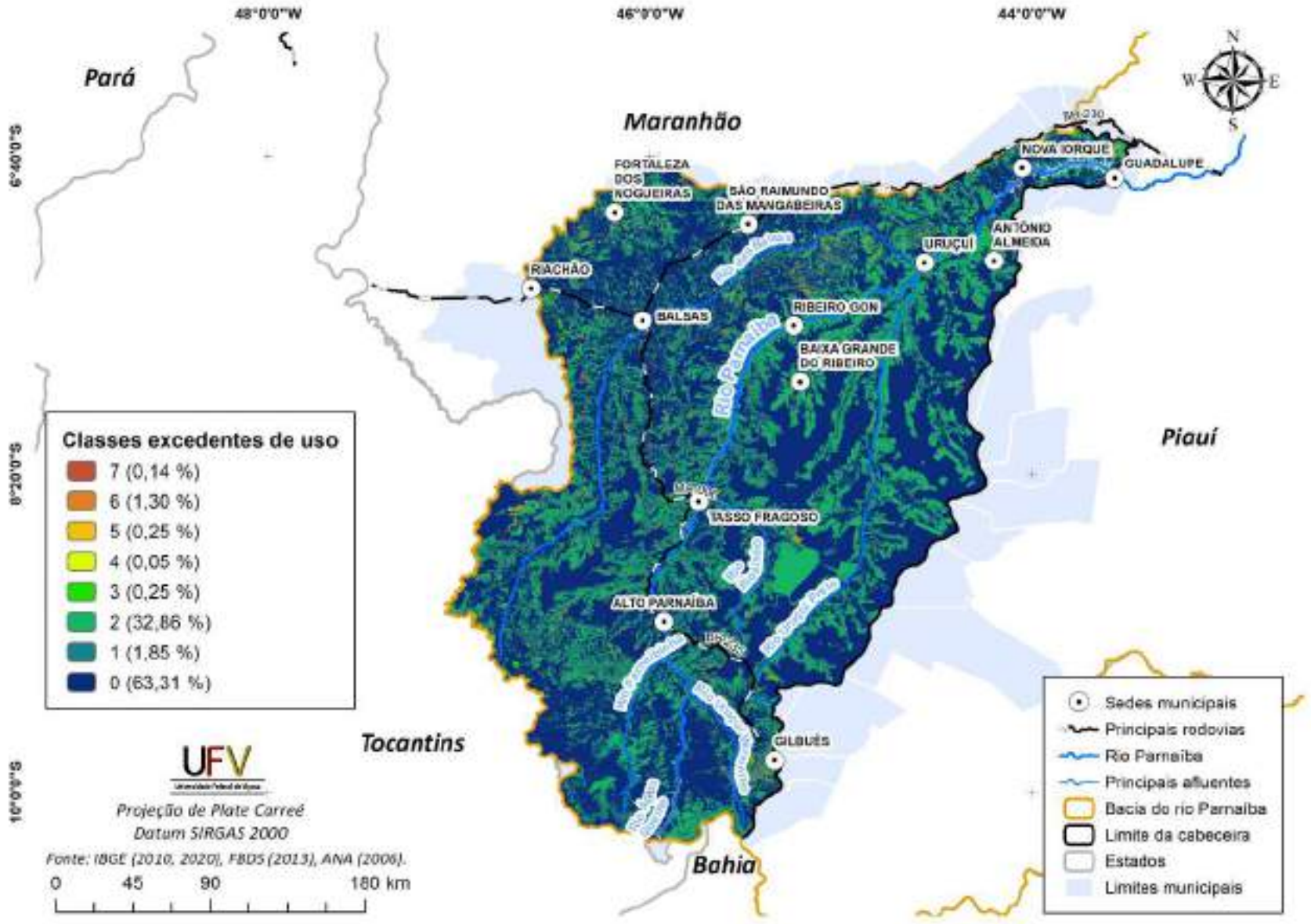

Figura 4.17. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

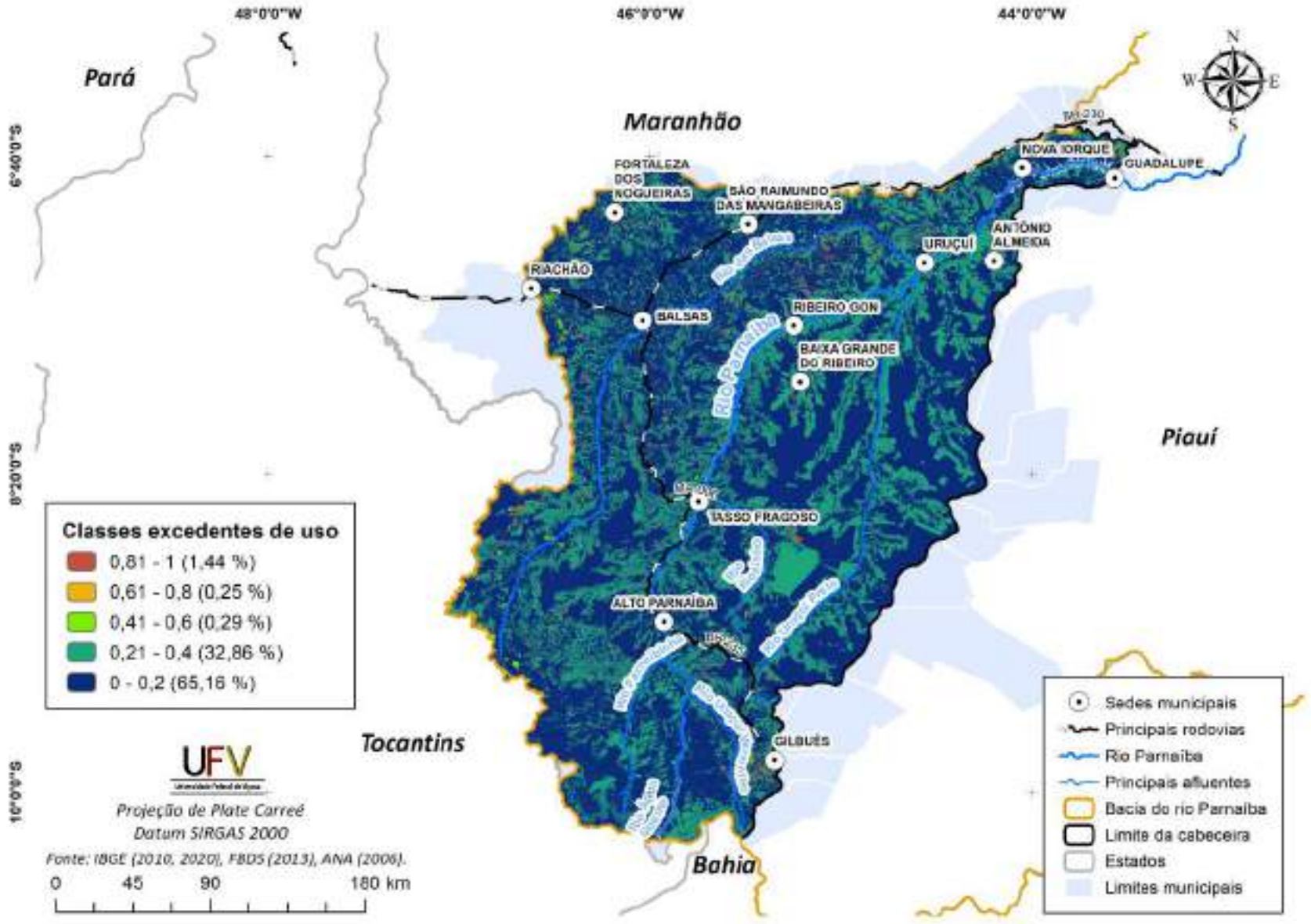

Figura 4.18. Mapa do número de classes excedentes de capacidade do uso da terra na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, reescalonado de 0 a 1.

capacidade de uso, enquanto em 36,7% da área a intensidade de uso foi acima da capacidade, sendo que a maior parte das áreas excedem de uma a duas classes de intensidade de uso (34,7% da área total).

As áreas com maior número de classes excedentes estão associadas, principalmente às áreas com solos altamente erodíveis, como Neossolos Litólicos, sendo utilizados para plantio agrícola. Observa-se também áreas com elevado número de classes excedentes em áreas protegidas por aspectos legais, como APPs Hídricas e Reserva Legal, com usos e coberturas do solo incompatíveis aos que se destinam.

4.2.2. ÁREA QUEIMADA

Na **Figura 4.19** está o mapa de recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, e na **Figura 4.20** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que em 47% da área da cabeceira não ocorreu queimadas nos últimos dez anos, enquanto em 28,56% da área foram registradas queimadas recorrentes no período analisado, ou seja, áreas em que ocorreram queimadas por dois ou mais anos no período analisado (últimos 10 anos). Em aproximadamente 5% da área, a recorrência de queimadas foi maior ou igual a quatro anos, o que pode ser potencialmente um fator de vulnerabilidade ambiental dessas áreas da cabeceira do rio Parnaíba, sob o ponto de vista das queimadas, no período avaliado.

Observa-se que a maior frequência de queimadas se encontra nas regiões central e leste da cabeceira da bacia, próximo às áreas de plantio agrícola. A queimada ainda é muito utilizada para a limpeza e preparo do solo antes do plantio, principalmente em áreas recém desmatadas, prática frequentemente adotada na cabeceira do rio Parnaíba devido à expansão agrícola dos últimos anos na região. Muitas vezes, no entanto, essa prática é feita de maneira indiscriminada e sem acompanhamento, podendo causar danos à qualidade do solo, consequência da eliminação da cobertura do solo, deixando o mesmo exposto e mais suscetível à ação direta da chuva, que propicia a degradação do solo e, consequentemente, a diminuição da biodiversidade da macro e micro fauna do solo, bem como da flora. A redução da qualidade do solo causa o empobrecimento gradativo do solo em nutrientes e matéria orgânica e, consequentemente, prejudica o controle de pragas e doenças, bem como o desenvolvimento das plantas nos cultivos agrícolas (EMBRAPA, 2015).

4.2.3. SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

Na **Figura 4.21** está o mapa de erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Parnaíba. A erosividade da chuva na cabeceira variou entre 6.492 e 10.346 MJ mm^{-1} ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} e tem seu padrão associado, principalmente, à distribuição da precipitação na bacia (**Figura 4.1**), sendo que os maiores valores de erosividade da chuva estão localizados nas partes sudoeste e noroeste da bacia.

Na **Figura 4.22** está o mapa de erodibilidade do solo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba. Observa-se que as áreas com maior erodibilidade do solo estão localizadas principalmente nas regiões sul da cabeceira, estando relacionadas, principalmente, à presença de Neossolos Quartzarênicos desenvolvidos sobre sedimentos arenosos. E também na região central da bacia, estando associadas à ocorrência de Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, desenvolvidos sobre encostas declivosas que marcam as bordas dos divisores tabulares e se relacionam com diversas rochas sedimentares, como argilitos, folhelhos e siltitos que ocorrem na bacia. A alta erodibilidade dos solos nestas áreas, está muito relacionada ao baixo grau de desenvolvimento dos solos em questão, que são rasos e pouco estruturados, dificultando assim a infiltração da água no solo e favorecendo o arraste de partículas juntamente com o escoamento superficial.

Conforme já apresentado anteriormente nas **Figuras 4.5** e **4.6**, a declividade na cabeceira da bacia do rio Parnaíba variou de 0 a 242,2%, com a maior parte da

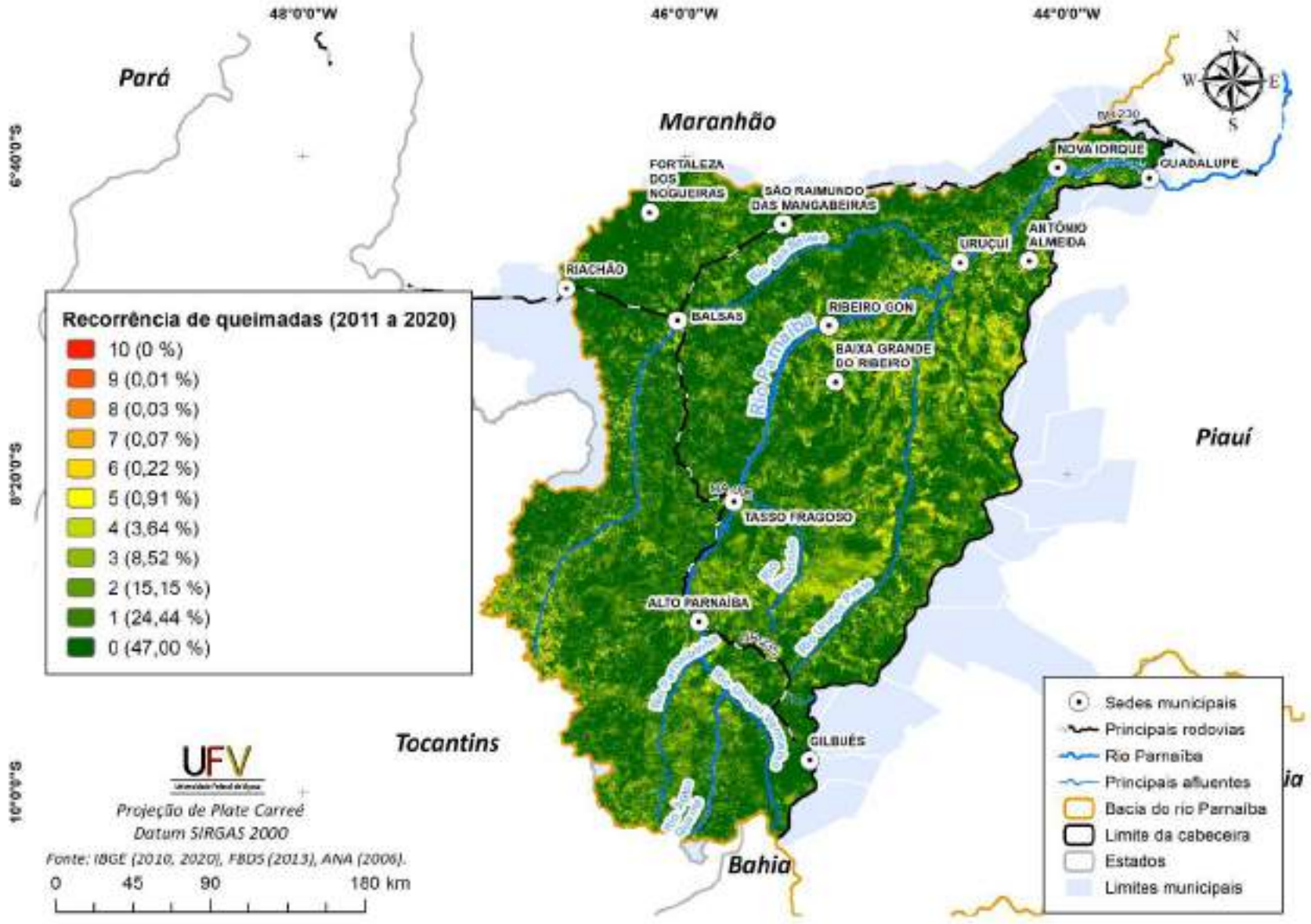

Figura 4.19. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

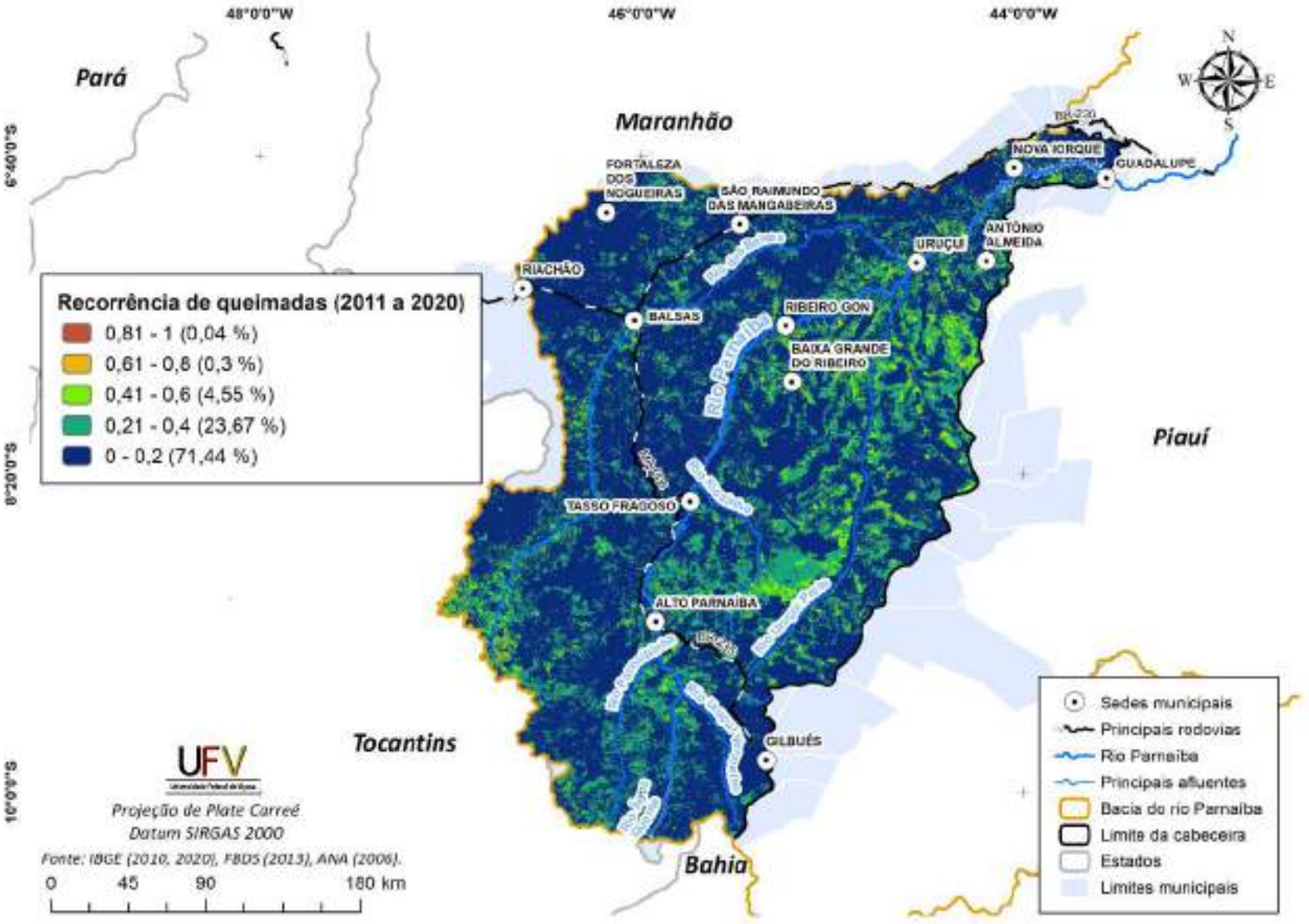

Figura 4.20. Mapa da recorrência de áreas queimadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, reescalonado de 0 a 1.

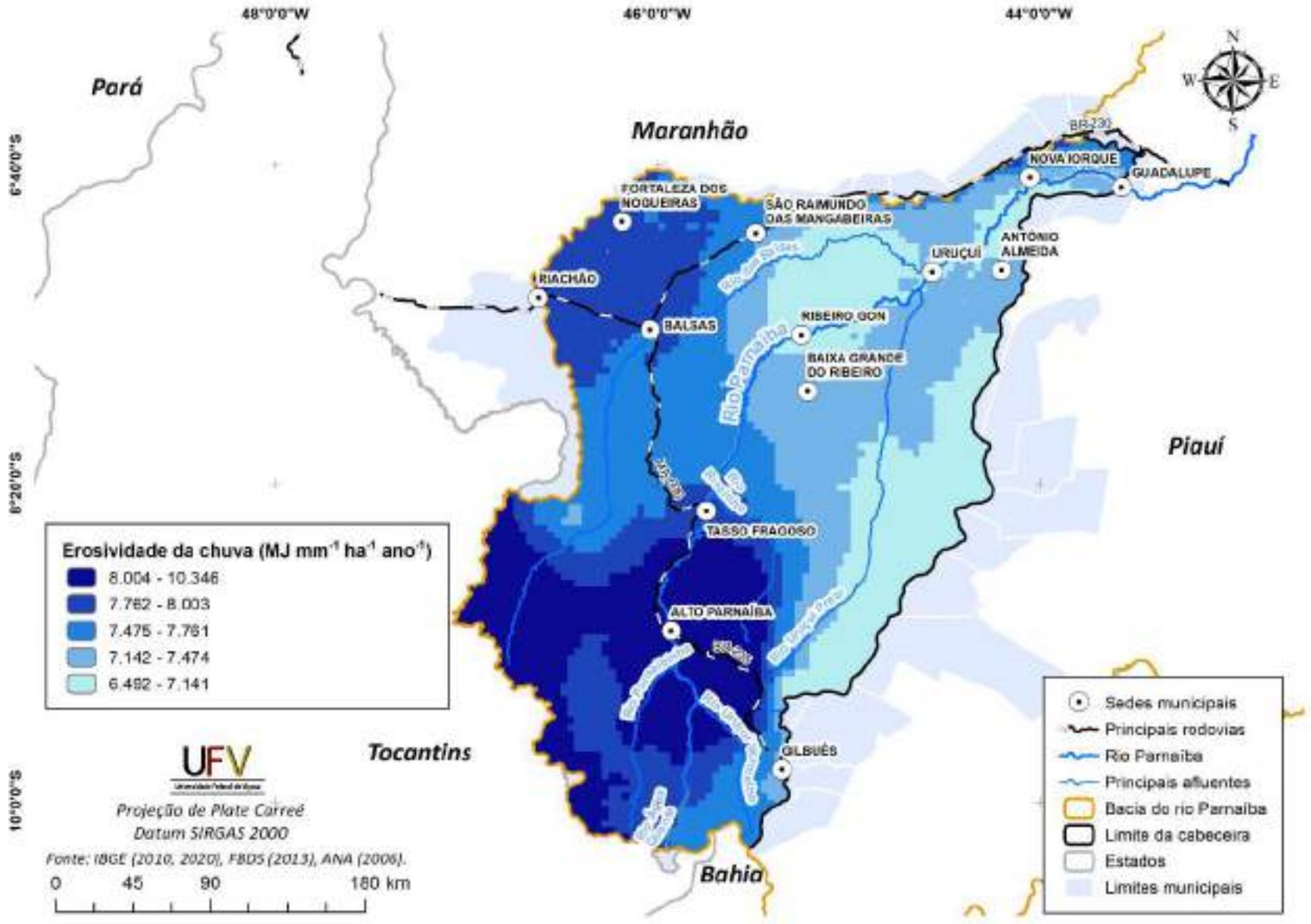

Figura 4.21. Mapa da erosividade da chuva na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

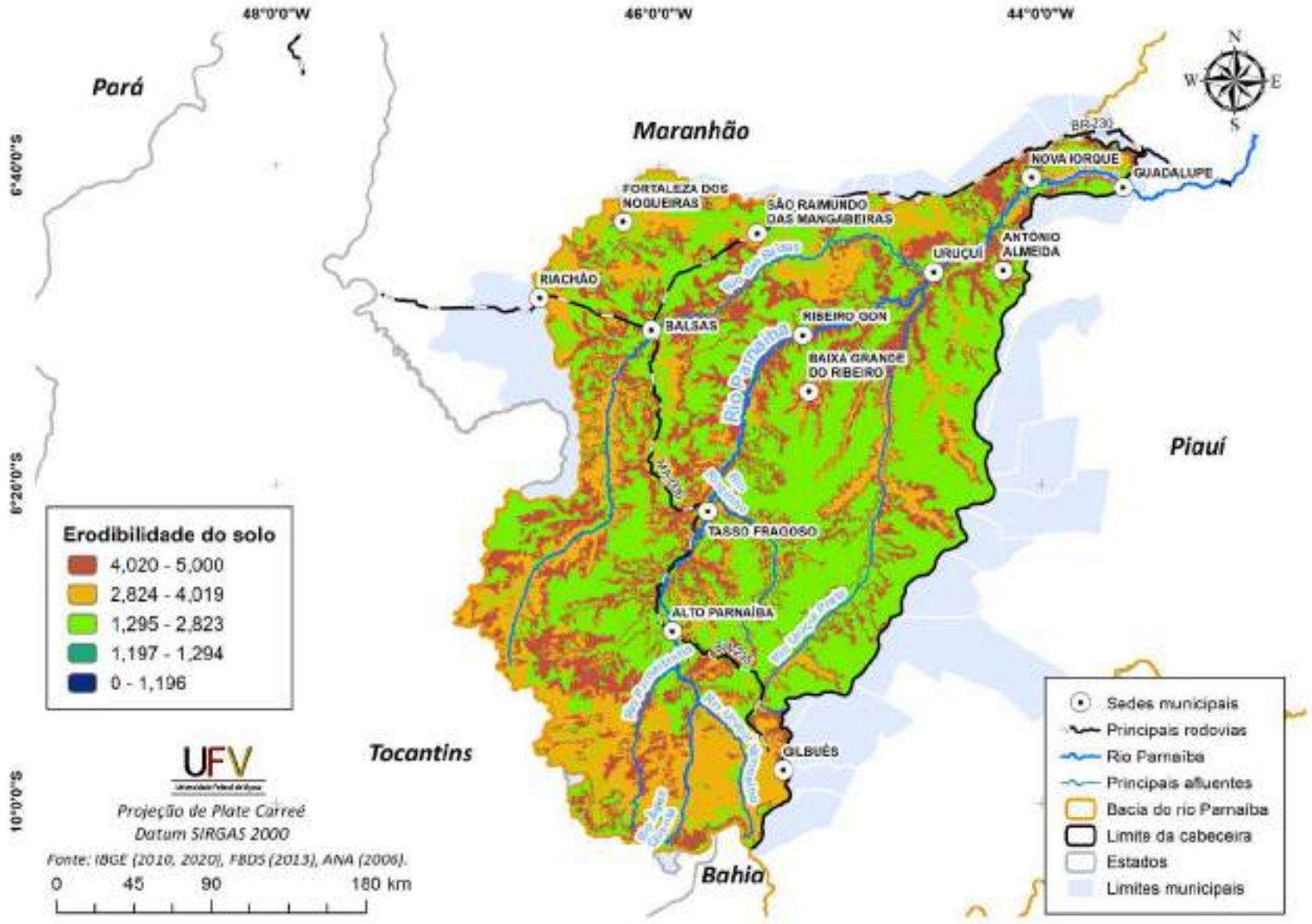

Figura 4.22. Mapa da erodibilidade do solo na cabeceira bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

cabeceira (40,7% da área total) classificada em relevo plano. As áreas mais declivosas se encontram na região centro-oeste da cabeceira, próximas à Serra do Penitente e a Chapada das Mangabeiras, nas regiões de nascente do rio Parnaíba.

Na **Figura 4.23** está o mapa de susceptibilidade à erosão na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba. Observa-se que as áreas com maior susceptibilidade à erosão são aquelas situadas nas regiões centro-oeste e sul da bacia, onde se encontram os maiores índices pluviométricos e as maiores declividades do terreno. Essas áreas mais declivosas e consequentemente mais susceptíveis aos processos erosivos, estão associadas com a borda dos divisores tabulares. Nesta posição da paisagem acentua-se o escoamento superficial em detrimento da infiltração e, dessa forma, o solo sofre perdas gradativas de material em superfície e os processos de desenvolvimento de solo não avançaram suficientemente.

Assim, predominam unidades pedológicas com grande susceptibilidade à erosão, como os Neossolos Litólicos e os Cambissolos Háplicos. As rochas que originam estes solos são rochas sedimentares paleozóicas ou de idade mais recente (terciário). A maior parte destas rochas apresentam estratigrafia das camadas sedimentares paralelas à superfície, e este aspecto dificulta ainda mais a infiltração da água, que não forma facilmente um fluxo preferencial no sentido da infiltração. Desta forma, tanto as características das rochas como dos solos desenvolvidos sobre as mesmas, favorecem os processos erosivos.

Outro aspecto importante destes solos é a pobreza química, decorrente da natureza das rochas de origem, que somada a baixa infiltração e armazenamento de água no solo, desfavorecem o estabelecimento de uma vegetação mais proeminente, culminando em uma cobertura vegetal pouco adensada. Aspecto este que em última análise, favorece também os processos erosivos por manter o solo desprotegido.

4.2.4. BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

Na **Figura 4.24** está o balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, disponibilizado pela ANA (2022), e na **Figura 4.25** está o mesmo mapa escalonado de 0 a 1. Observa-se que em cerca de 99% da área da cabeceira a disponibilidade hídrica é excelente ou confortável, e em menos de 1% da área a disponibilidade é preocupante, crítica ou muito crítica, o que demonstra que a bacia não possui, até o momento, conflitos expressivos quanto ao uso da água. Além disso, as sub-bacias com disponibilidade crítica ou muito crítico são aquelas próximas aos centros urbanos, onde as demandas para abastecimento humano e usos industriais são maiores.

4.2.5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP

Na **Tabela 4.3** está a matriz de comparação dos critérios obtida pela análise de especialistas da UFV e utilizada na obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental, na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, e na **Tabela 4.4** está a estimativa da importância relativa dos critérios (pesos finais).

O Coeficiente de Consistência (CR), utilizado para verificar a consistência dos pesos nos julgamentos dos

Tabela 4.3. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

Pesos relativos AHP	Adequação do Uso da Terra	Susceptibilidade à Erosão	Área Queimada	Balanço Hídrico Quantitativo
Adequação do Uso da Terra	1,00	1,00	3,00	3,00
Susceptibilidade à Erosão	1,00	1,00	3,00	3,00
Área Queimada	0,33	0,33	1,00	3,00
Balanço Hídrico Quantitativo	0,33	0,33	0,33	1,00

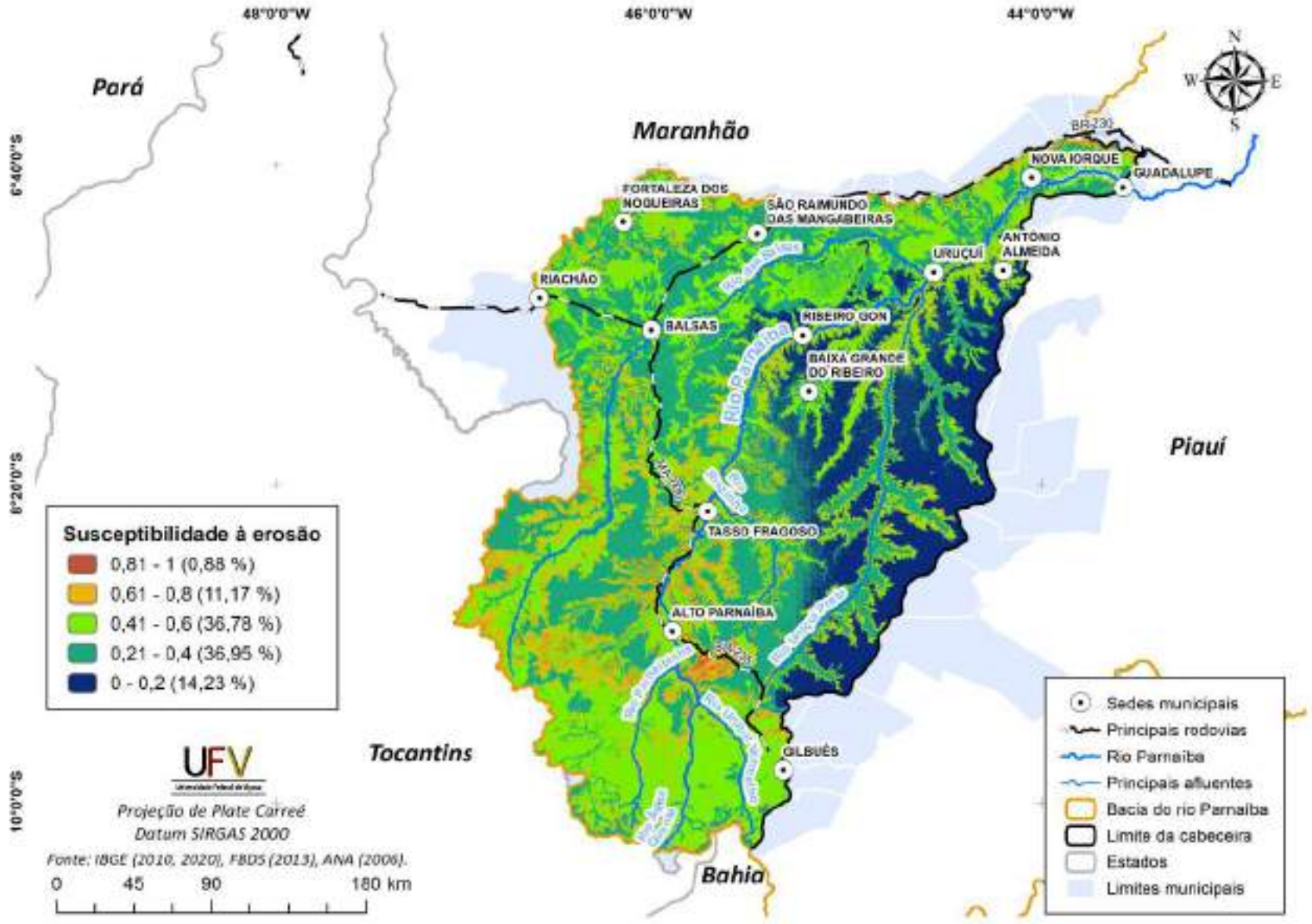

Figura 4.23. Mapa da susceptibilidade à erosão na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

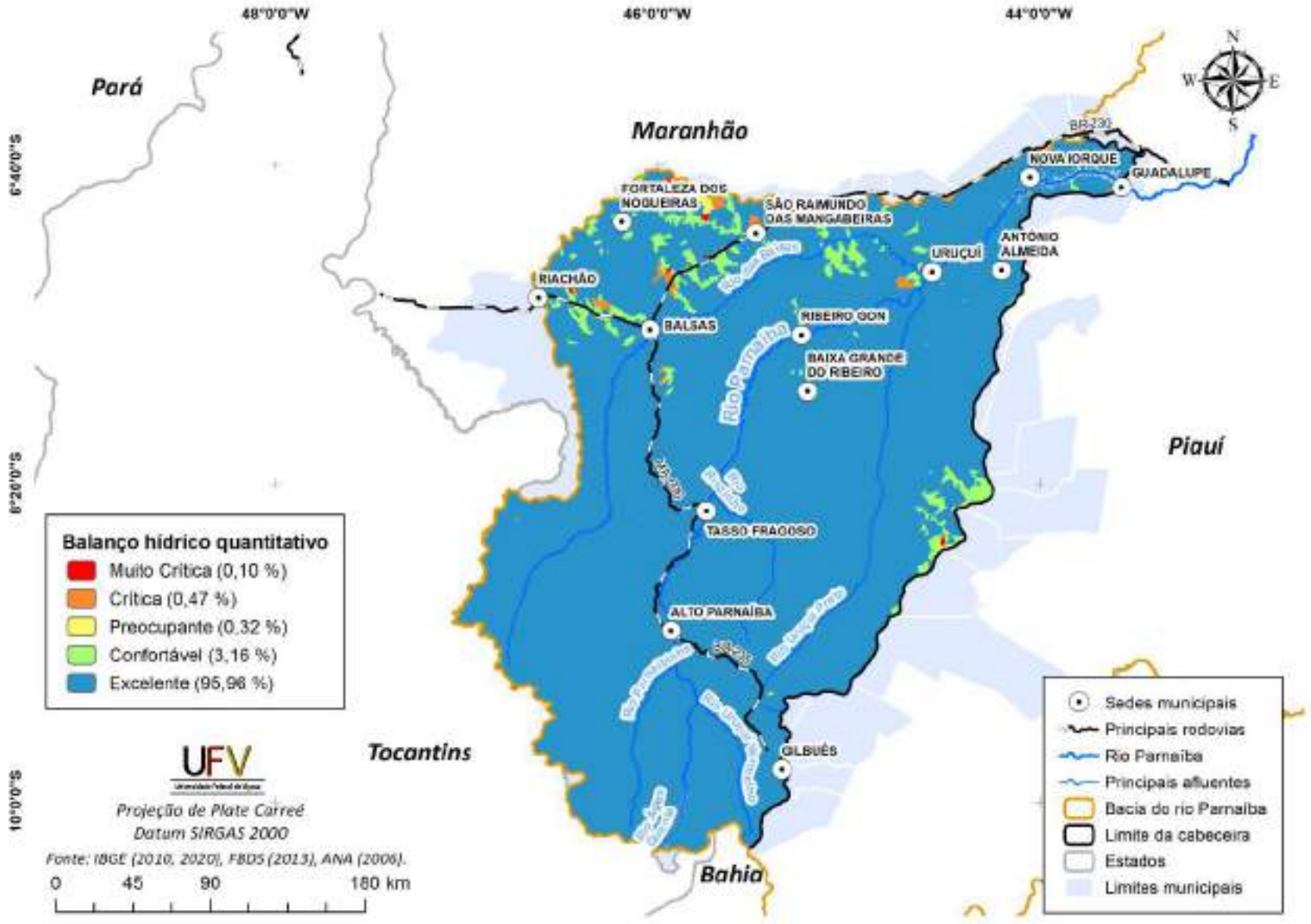

Figura 4.24. Mapa de balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

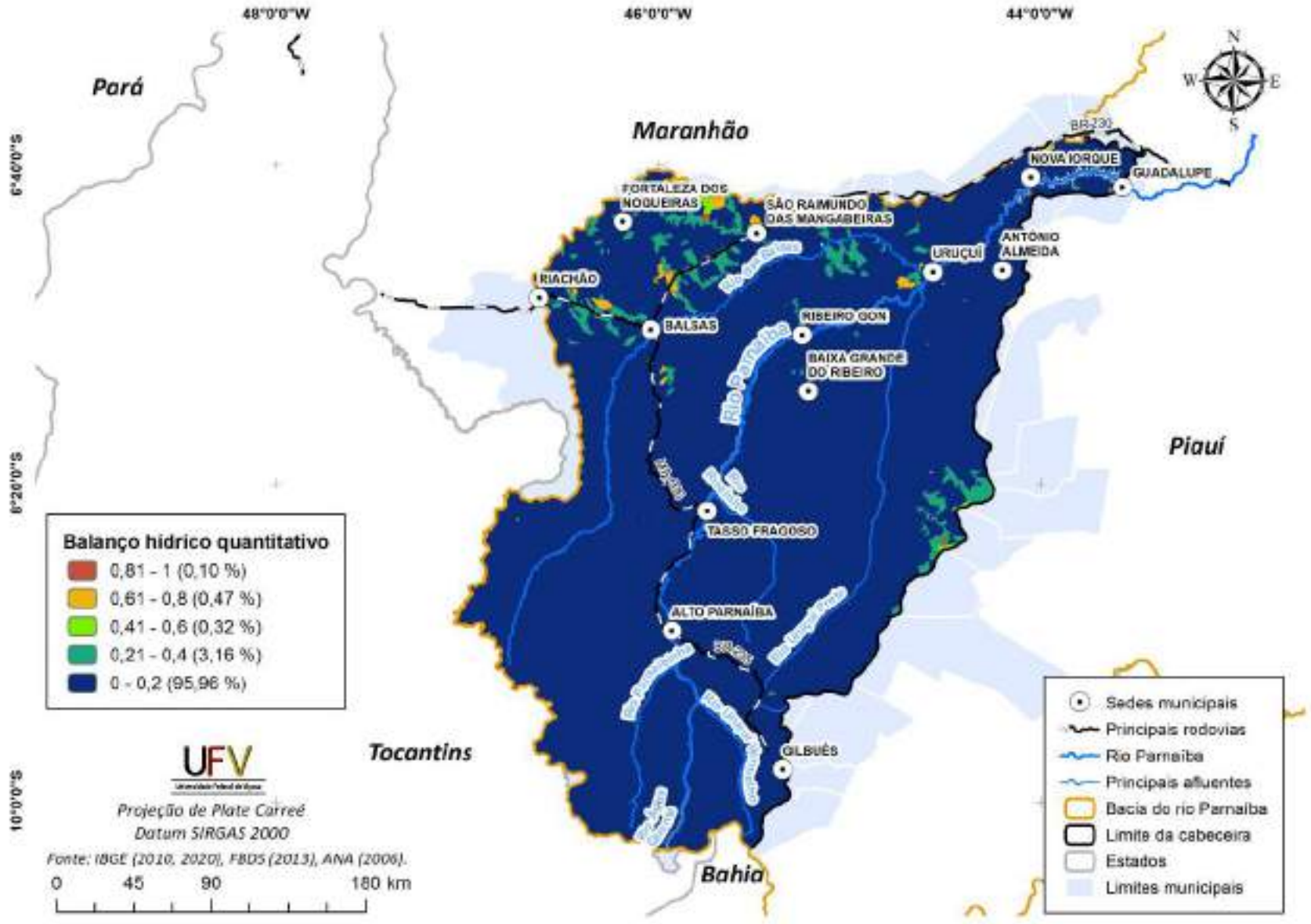

Figura 4.25. Mapa de balanço hídrico quantitativo na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, reescalonado de 0 a 1.

Tabela 4.4. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

Critério	Pesos finais (%)
Adequação do Uso da Terra	37,5
Susceptibilidade à Erosão	37,5
Área Queimada	18,8
Balanço Hídrico Quantitativo	10,4

especialistas, indica a probabilidade de que os valores da matriz tenham sido gerados aleatoriamente, sendo que a matriz que possui um CR maior que 0,10 deve ser reavaliada (SAATY, 1980). Na presente análise o valor encontrado de CR foi de 0,06, mostrando a consistência na definição dos pesos.

Na **Figura 4.26** o mapa final do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) na cabeceira da bacia do rio Parnaíba. O mapa está subdividido em 5 classes de igual área de acordo com o valor do IVA, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Observa-se que as áreas com maiores valores de IVA estão relacionadas, principalmente, às áreas com solos menos desenvolvidos como Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos, que por serem mais rasos e menos estruturados, possuem maior erodibilidade. Além disso, estes solos ocupam porções mais declivosas da paisagem que circunda os divisores tabulares onde se encontram os solos mais desenvolvidos e menos propensos a processos erosivos. Então embora estes solos, Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos, não estejam sob um uso agrícola mais intenso, se apresentam como as unidades da paisagem mais vulneráveis ambientalmente. Na cabeceira da bacia do Parnaíba estas áreas estão situadas principalmente, na região central da bacia, aliada aos maiores índices pluviométricos e às maiores declividades do terreno.

Considerando que o mapa do Balanço Hídrico Quantitativo para a bacia do rio Parnaíba (**Figura 4.25**) não evidenciou, até o momento, conflitos expressivos quanto ao uso da água. Por isso essa variável recebeu um peso inferior às demais (10,4%), e sua influência no mapa final do IVA é menos expressiva, tendo influência principalmente das bacias muito críticas e críticas em relação à disponibilidade hídrica, localizadas na região norte da bacia e próximas aos centros urbanos.

Diferentemente das outras cabeceiras, a variável área queimada recebeu um peso maior (18,8%) para obtenção do IVA na cabeceira da bacia do rio Parnaíba devido a maior frequência de eventos de queimadas observada na área. Desta forma, sua influência no mapa final do IVA é mais expressiva, principalmente nas áreas com maior frequência de queimadas localizadas nas regiões central e leste da bacia, relacionadas às áreas de expansão agrícola.

4.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL - IVS

Dada a metodologia utilizada (ver **Caderno metodológico**) neste relatório para a operacionalização do IVS, são apresentados os seus resultados para a **Cabeceira da Bacia do Rio Parnaíba**. O IVS foi obtido sob duas óticas: com dados do Censo Demográfico (IVSCD), contemplando noções sobre as áreas urbana e rural dos setores censitários dos municípios, e com dados do Censo Agropecuário (IVSCA), abrangendo conhecimentos sobre as condições e produção do meio rural da área de estudo. Por fim, foi considerado um IVS final (IVS), considerando o rural e o urbano em conjunto.

Importante mencionar que o IVS, independentemente se o urbano ou rural, foram convertidos em uma escala de 0 a 1, a fim de padronização, para criar um conjunto de índices em um intervalo de medição semelhante, sendo que o valor "1" é atribuído a setores censitários de vulnerabilidade muito alta e o valor "0" atribuído à vulnerabilidade muito baixa.

4.3.1. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO DEMOGRÁFICO)

Inicialmente, ao considerar o IVS do Censo Demográfico, é importante relatar que para esta cabecei-

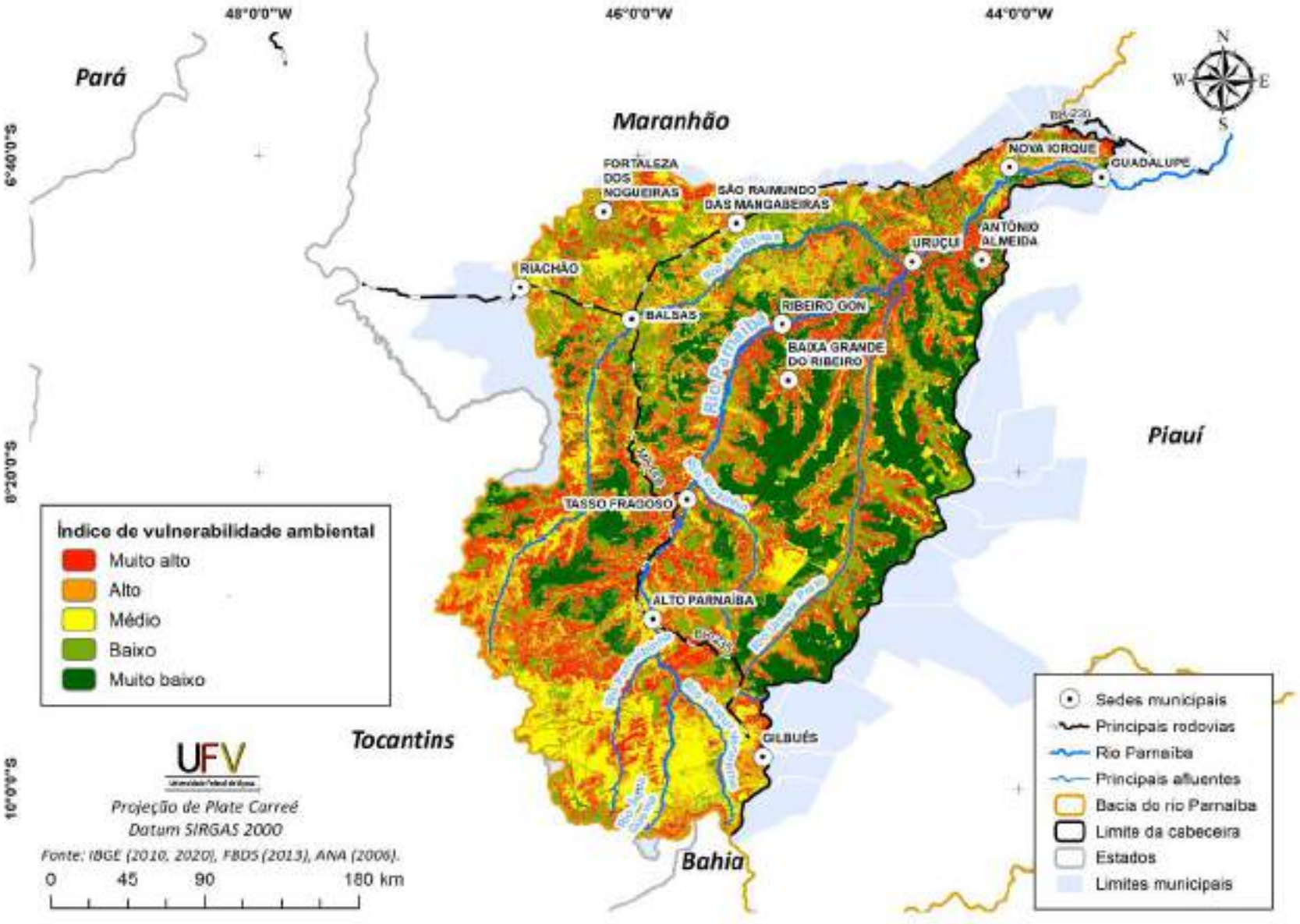

Figura 4.26. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

ra, esse índice foi formado por três componentes principais (gerados pela **matriz de correlação**[1] na técnica estatística de Análise de Componentes Principais), que representam, de forma geral, as explicações das variações totais das variáveis originais utilizadas (para este índice, os três componentes explicam 78,5% das variações totais, das variáveis originais). Para esses componentes, na operacionalização, cada um deles possui um peso[2] de participação na composição do IVSCD, a saber: Componente 1 (peso de 0,45); Componente 2 (peso de 0,27), e Componente 3 (peso de 0,28). A soma desses pesos é igual a 1 ou 100%.

No contexto da análise de PCA realizada para o IVSCD, o componente 1 foi responsável por aproximadamente 49,1% da variação total dos dados, indicando que ele apresentou a maior proporção explicativa entre as dimensões pensadas, seguido dos outros dois componentes 2 e 3, que obtiveram 17,3% e 12,1%, respectivamente, para a variação total dos dados. Indicando-se que o primeiro componente apresentou maior proporção explicativa entre as dimensões consideradas para o IVSCD. Posto isto, os resultados desse índice estão dispostos na **Figura 4.27**.

Conforme já mencionado, o IVS Censo Demográfico foi dividido em cinco classes de igual área pelo método quantile, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto índice de vulnerabilidade social. Como resultado preponderante, aproximadamente 56,6% dos setores censitários desta cabeceira estão na classe de vulnerabilidade social baixo e muito baixo, enquanto 31,0% e 12,3% estão nas classes de vulnerabilidade social média, alto e muito alto. Com a média de 0,35, os resultados do IVSCD estão próximos aos encontrados no diagnóstico socioeconômico. Mesmo com metodologias diferentes, os achados do IVSCD ratificam a situação moderada de desenvolvimento dos territórios desta cabeceira. Neste caso, principalmente para a área urbana.

4.3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (CENSO AGROPECUÁRIO)

Além do IVS Censo Demográfico, foi operacionalizado o IVS Censo Agropecuário, cujos pesos para os componentes principais obtidos foram os seguintes (também gerados pela **matriz de correlação**): Componente 1 (peso de 0,34); Componente 2 (peso de 0,33), e Componente 3 (peso de 0,33). Por meio desses pesos demonstrou-se que os três componentes apresentaram pesos semelhantes, indicando-se proporcionalidade explicativa em todas as dimensões consideradas para o IVSCA, indicando-se que as variáveis desses componentes são proporcionalmente importantes para a composição do IVSCA dos setores censitários nessa bacia. Na **Figura 4.28** está apresentado o mapa do IVSCA da cabeceira da bacia do rio Parnaíba.

No contexto da análise de PCA realizada para o IVSCA, os quatro componentes explicam 70,1% das variações totais das variáveis originais. O componente 1 foi responsável por aproximadamente 34,6% da variação total dos dados, indicando que ele apresentou a maior proporção explicativa entre as dimensões pensadas, seguido dos outros três componentes 2 e 3, que obtiveram 20,4% e 15,1%, respectivamente, para a variação total dos dados. Indicando-se que o primeiro componente apresentou maior proporção explicativa entre as dimensões consideradas para o IVSCA.

Sobre os resultados encontrados, a média do IVSCA foi de 0,37, a maioria dos setores censitários analisados está concentrada nos estratos de vulnerabilidade social baixa, 53,4%, e de vulnerabilidade social média, com 29,5%. Por outro lado, os estratos de vulnerabilidade social alta (17,1%), tiveram as menores participações dos setores. Tal cenário observado demonstra similaridade no nível de desenvolvimento destes locais para o meio rural em consonância ao IVSD e ao IFDM.

1 A correlação é um cálculo estatístico que torna possível a comparação de dois grupos de dados com valores padronizados, entendendo-se como eles se relacionam entre si (FREUND, 2006).

2 Sobre esses pesos e os seus componentes principais, eles apresentam propriedades importantes, sendo: "cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados" (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p. 83-84).

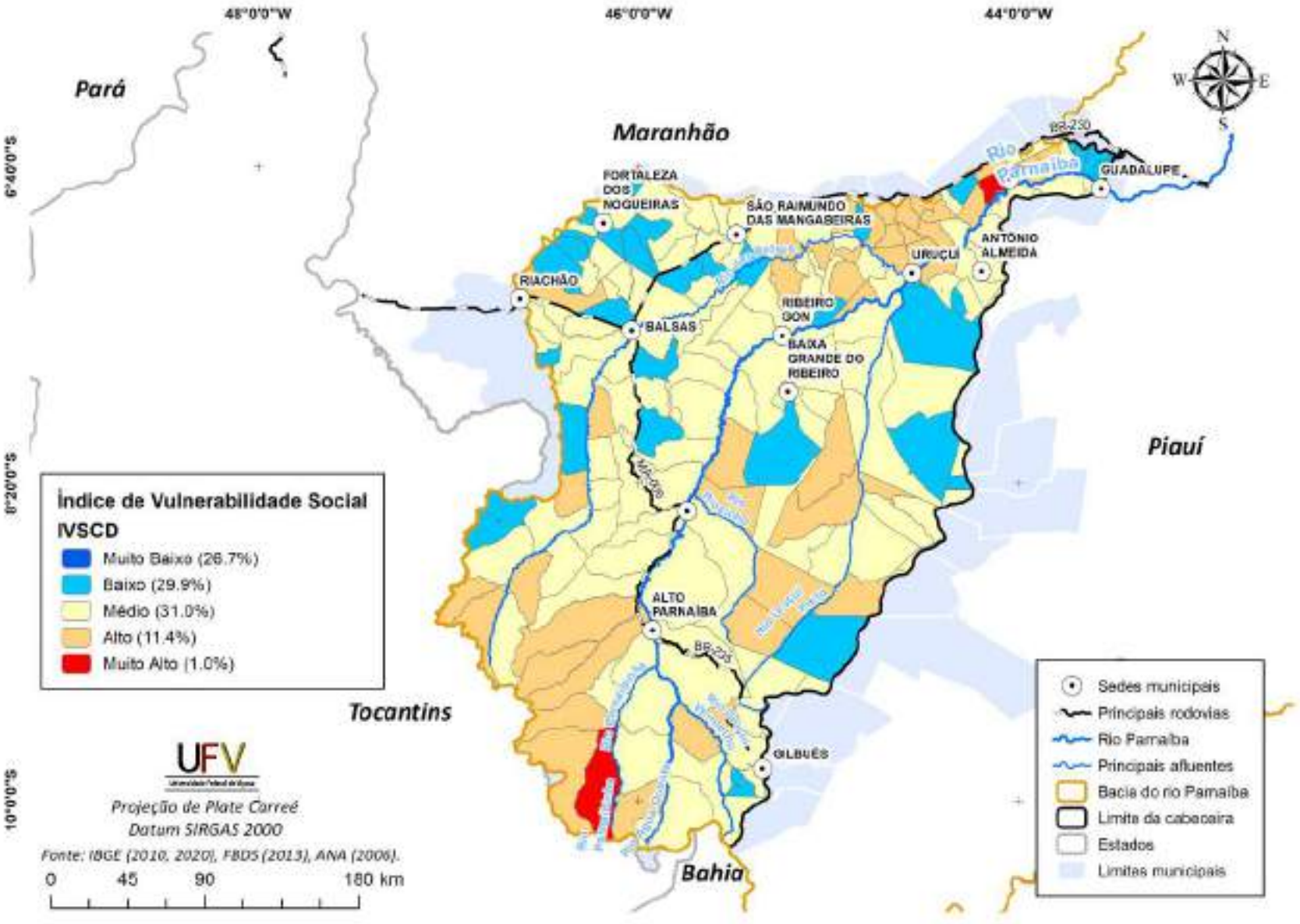

Figura 4.27. Mapa do IVS Censo Demográfico da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.
Fonte: IBGE, Censo Demográfico, 2010

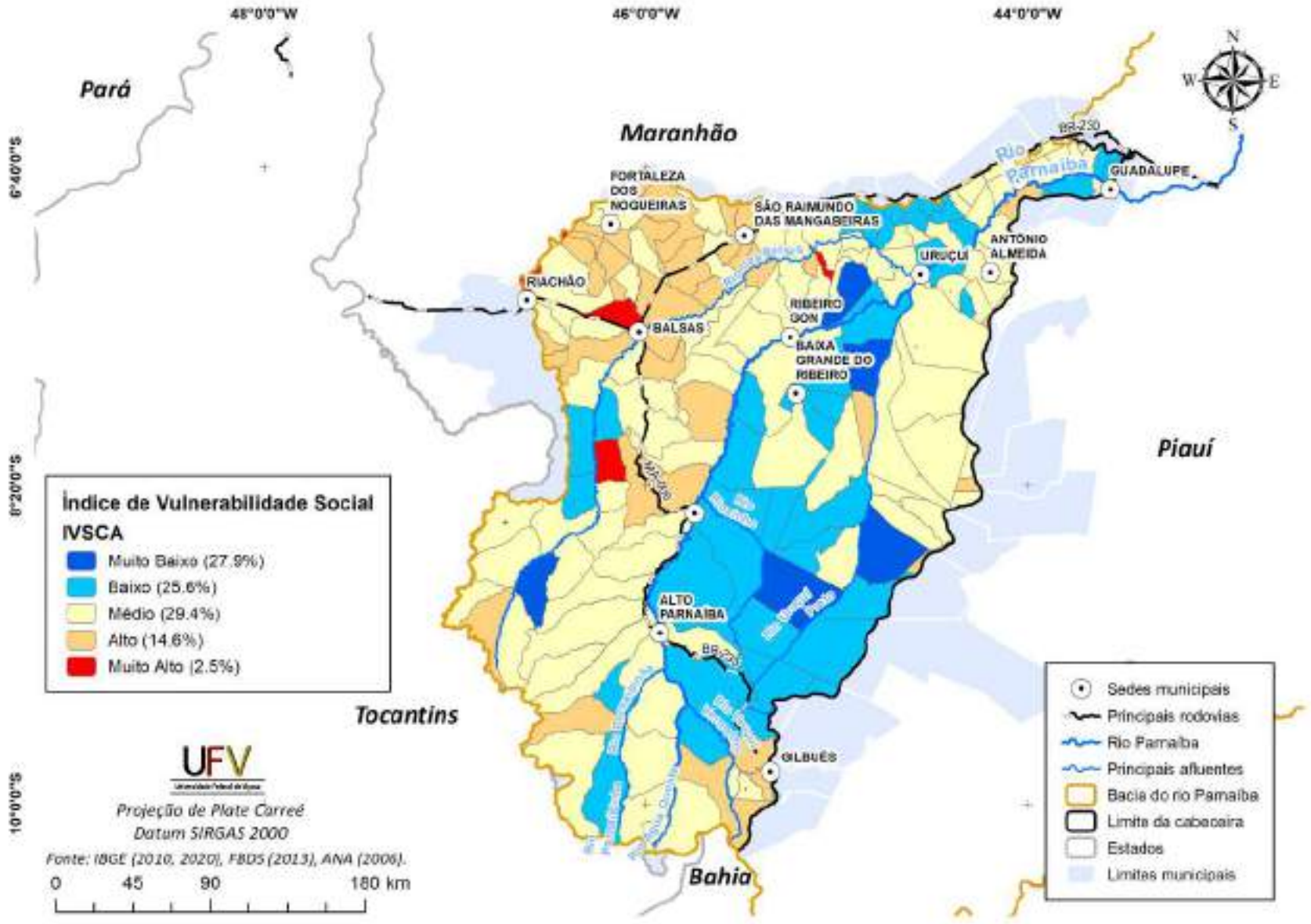

Figura 4.28. Mapa do IVS Censo Agropecuário da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.
Fonte: IBGE, Censo Agropecuário, 2017.

4.3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS)

Por fim, na **Figura 4.29**, está apresentado o IVS Final, que considera em conjunto as informações urbanas e rurais dos setores censitários. Para a ponderação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) na região da cabeceira do rio Parnaíba, foram consideradas as características e distribuições dos resultados obtidos a partir dos dados dos IVS Censo Demográfico e do Censo Agropecuário. Após simulações e ponderações feitas por especialistas das áreas das ciências sociais, econômicas e agrárias, foi estabelecido um peso de 15% para o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) com base nos dados do Censo Demográfico, enquanto o IVS com dados do Censo Agropecuário foi atribuído um peso de 85%. A utilização desses pesos está atrelada à finalidade da elaboração deste índice, que é a intervenção e a restauração de áreas rurais específicas (mas que também são relacionadas e dependentes das áreas urbanas que as circundam).

Conforme mencionado, o IVS Final é dividido em cinco classes de intervalos iguais pelo método quantile. A média do IVS foi de 0,37 e como já percebido nos IVS(s) em separado, as classes de vulnerabilidade social baixo e muito baixo corresponderam a aproximadamente 51,8% da participação nos resultados, dos setores censitários para esse índice, por outro lado, cerca de 48,2% corresponderam às classes de médio, alto e muito alto. Isso demonstra e reforça que a vulnerabilidade social, nesta cabeceira, as áreas urbanas e rurais possuem condições semelhantes de desenvolvimento, similar ao observado no diagnóstico socioeconômico com dados mais atuais, o que notadamente valida os resultados obtidos.

Isso é decorrente da atividade principal desse local, que é o agronegócio, com destaque para a produção de algodão, soja e milho. Esse segmento da economia gera resultados ao meio rural bem como para as cidades, gerando impactos diretos e indiretos às pessoas. Outrossim, áreas com indicadores favoráveis de vulnerabilidade estão próximas aos municípios de Bom Jesus no Piauí e Alto Parnaíba no Maranhão, por exemplo. Por outro lado, municípios como Benedito Leite no Maranhão e Currais no Piauí, apresentam maiores indicadores de vulnerabilidade da área da cabeceira.

As condições de vulnerabilidade moderadas podem ser explicadas em decorrência da presença de um grande número de populações ribeirinhas tradicionais, que vivem em comunidades às margens do rio e dependem dele para a pesca e outras atividades econômicas. Por ser uma área em expansão de desenvolvimento agrícola, a gestão da bacia é um desafio constante, que envolve ações de preservação, recuperação e manejo dos recursos naturais e culturais.

4.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL - IVSA

Para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da bacia do rio Parnaíba, foi calculada a média ponderada entre os resultados obtidos no cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) (**Figura 4.26**) e do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) (**Figura 4.29**). Após avaliações de distintos cenários, levando em consideração a literatura sobre o tema (SAATY; VARGAS, 2000; 2006), a experiência da equipe em trabalhos similares e o reconhecimento socioambiental da bacia por meio das campanhas de campo realizadas pela equipe da UFV, foi definido o peso de 0,85 e 0,15 para o IVA e o IVS, respectivamente, para a obtenção do IVSA (**Figura 4.30**).

4.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS NA CABECEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA

As Áreas Prioritárias para recuperação ambiental nas sub-bacias da cabeceira do rio Parnaíba totalizaram 68.964 ha. Desse total, 46.973 ha (68%) são de Muito Alta prioridade e 21.991 ha (32%) de Alta prioridade (**Figura 4.31**). Em relação ao uso do solo em Áreas Prioritárias, 4.858 ha (7%) estão sob pastagens e 64.106 ha (93%) sob usos agrícolas com culturas temporárias (**Figura 4.32**).

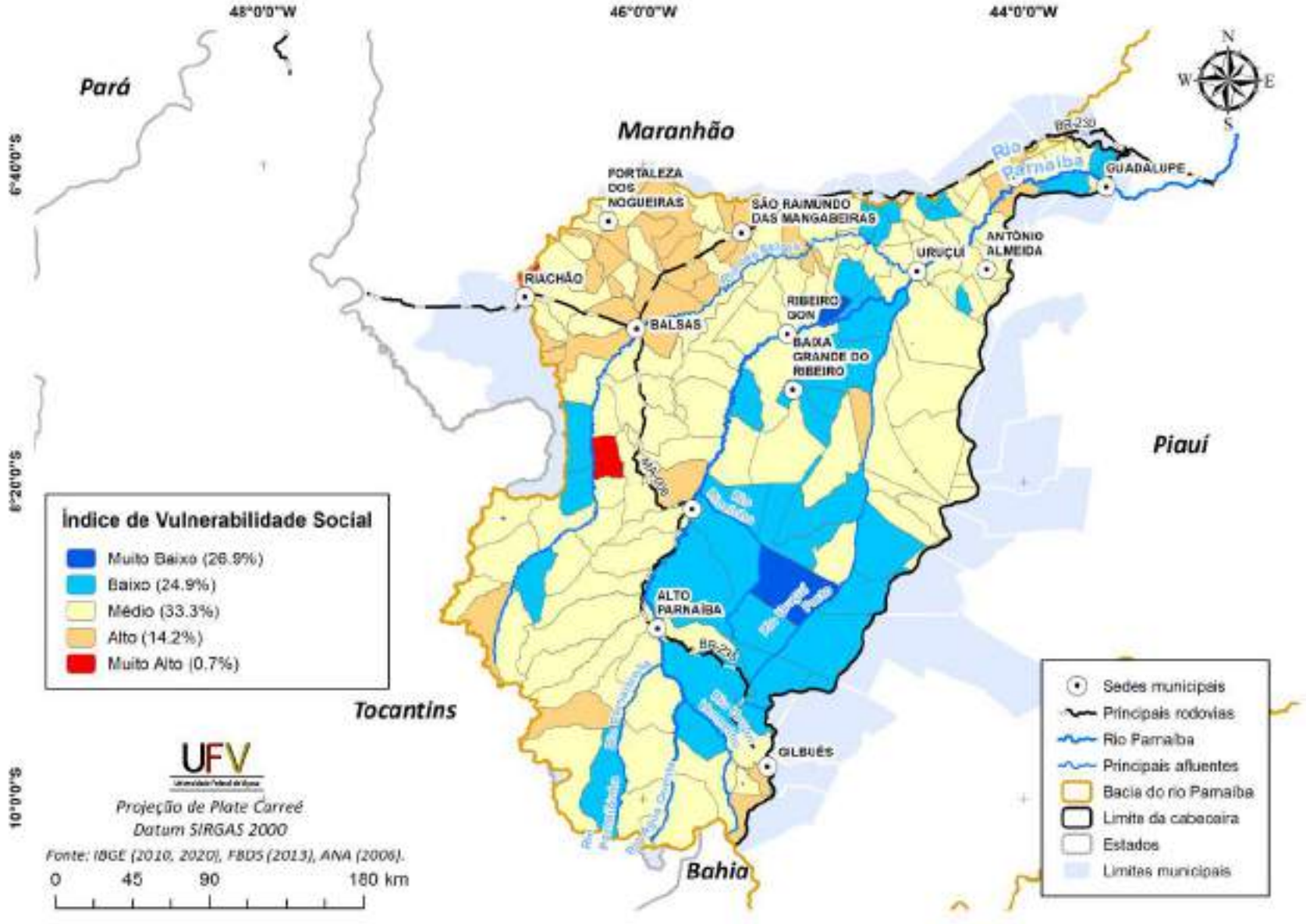

Figura 4.29. Mapa do IVS Final Vulnerabilidade Social da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.
Fonte: IBGE, Censo Agropecuário, 2017, e Censo Demográfico, 2010.

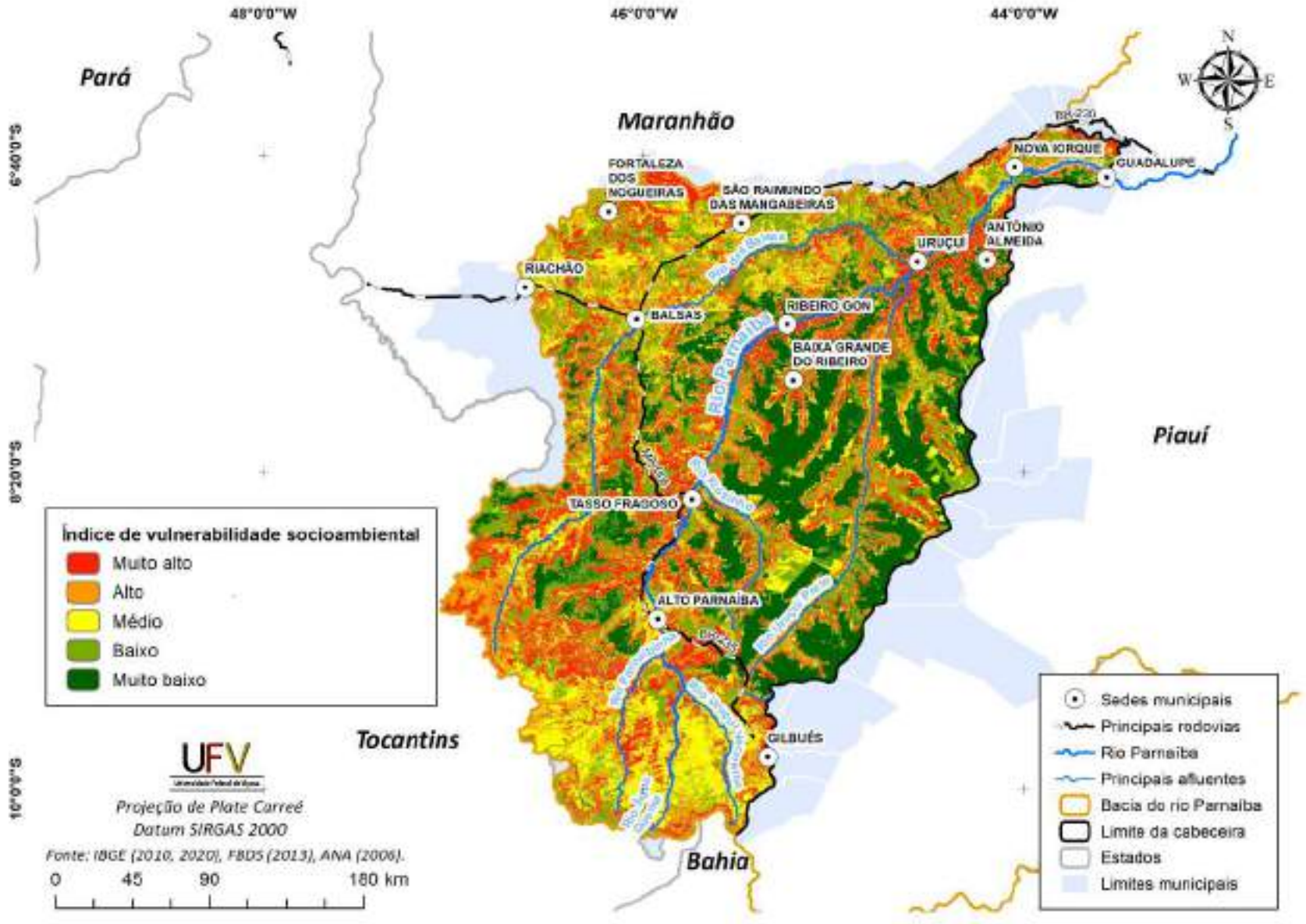

Figura 4.30. Mapa de classes do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

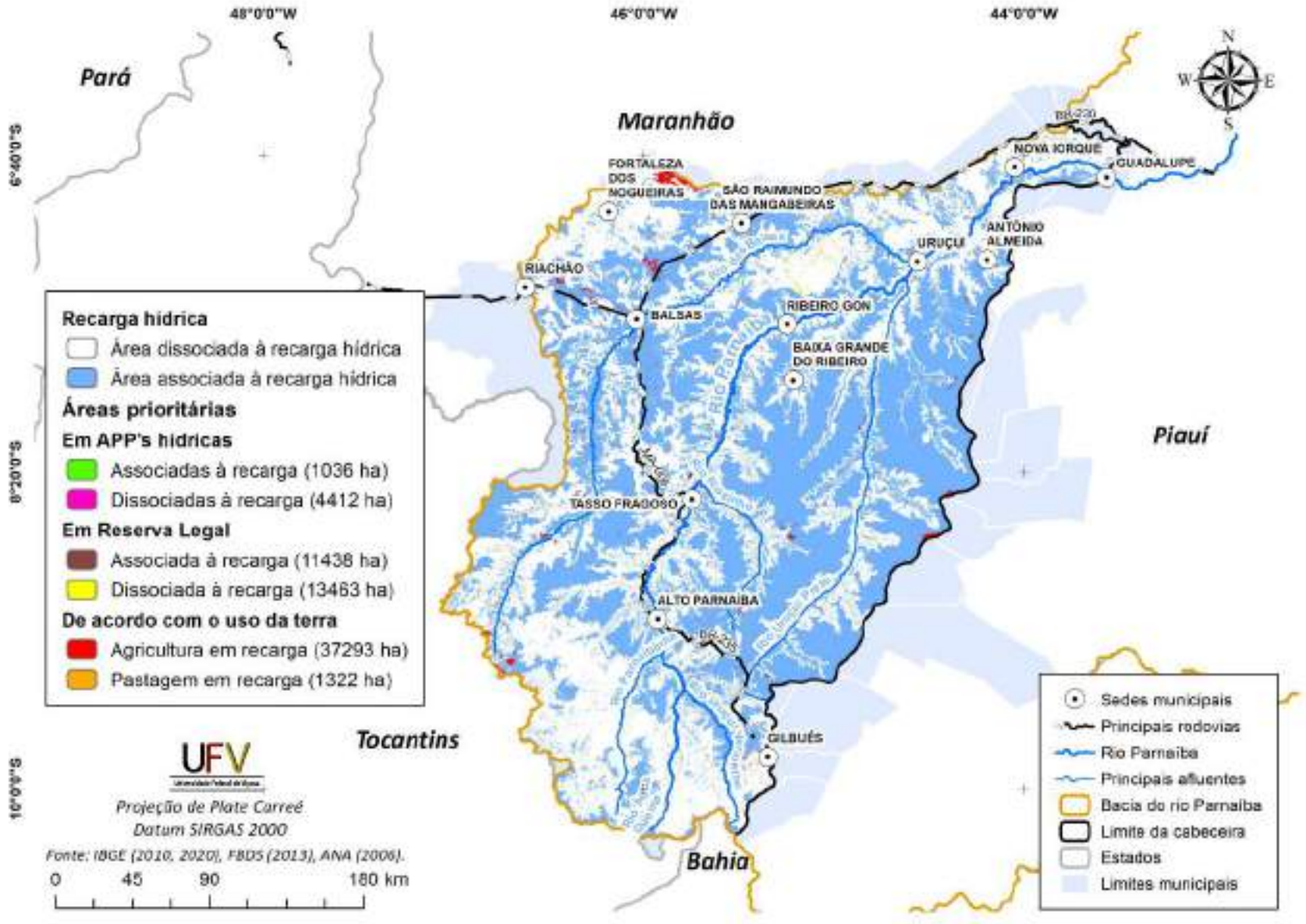

Figura 4.31. Mapa de escala das áreas prioritárias (Alta e Muito Alta) para recuperação ambiental das sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

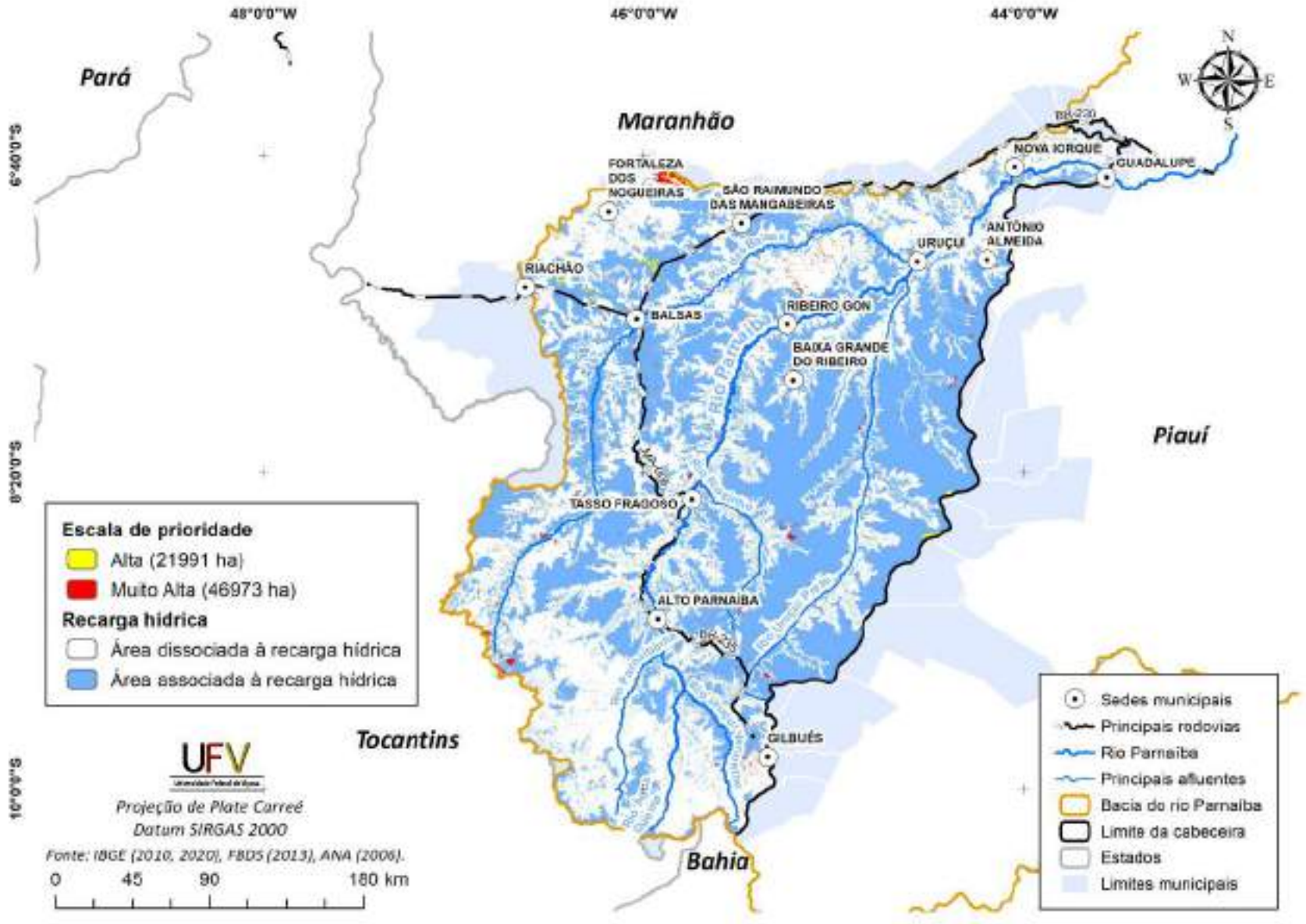

Figura 4.32. Mapa dos grupos de áreas prioritárias (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em Recarga e Agricultura em Recarga) para recuperação ambiental das sub-bacias da cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, sobre a área com maior (Associada à recarga) e menor potencial de recarga hídrica (Dissociada à recarga).

Do ponto de vista da recarga hídrica, 51.089 ha (74%) das Áreas Prioritárias para recuperação estão sobre áreas com maior potencial de recarga, denominadas de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica e 17.875 ha (26%) sob áreas com menor potencial de recarga, denominadas Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica.

Das Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, 1.036 ha estão em APPs Hídricas, 11.438 ha em Reserva Legal, 1.322 ha em Pastagem em Recarga e 37.293 ha em Agricultura em Recarga (**Figura 4.33**). Dentre as Áreas Prioritárias Dissociadas à Recarga Hídrica, 4.412 ha estão em APPs Hídricas e 13.463 ha em Reserva Legal (**Figura 4.34**).

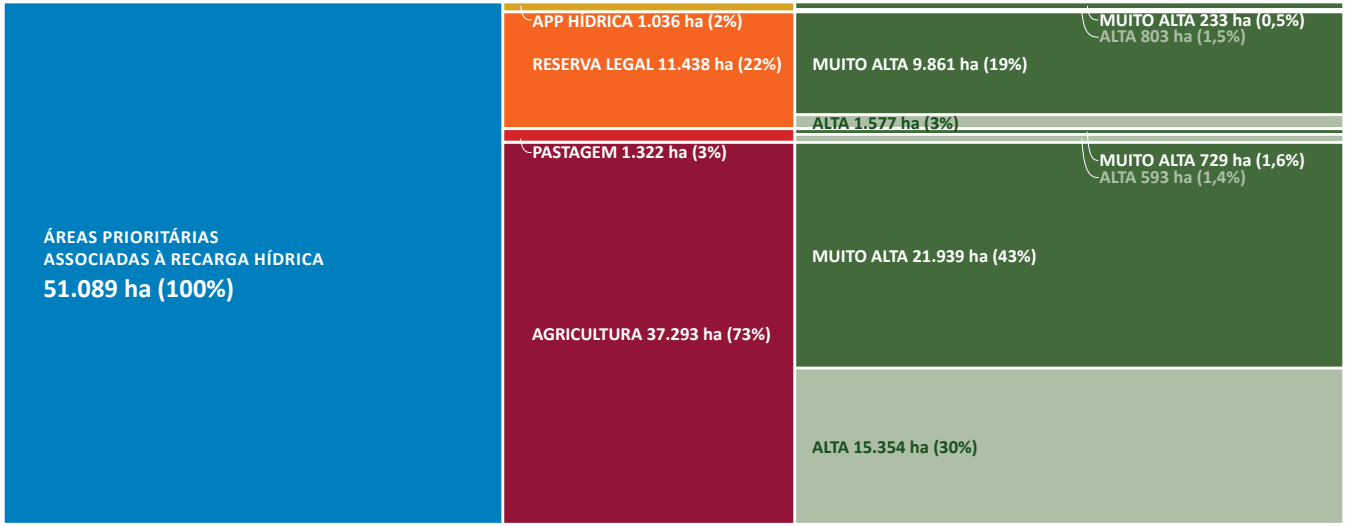

Figura 4.33. Total de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em recarga e Agricultura em recarga) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

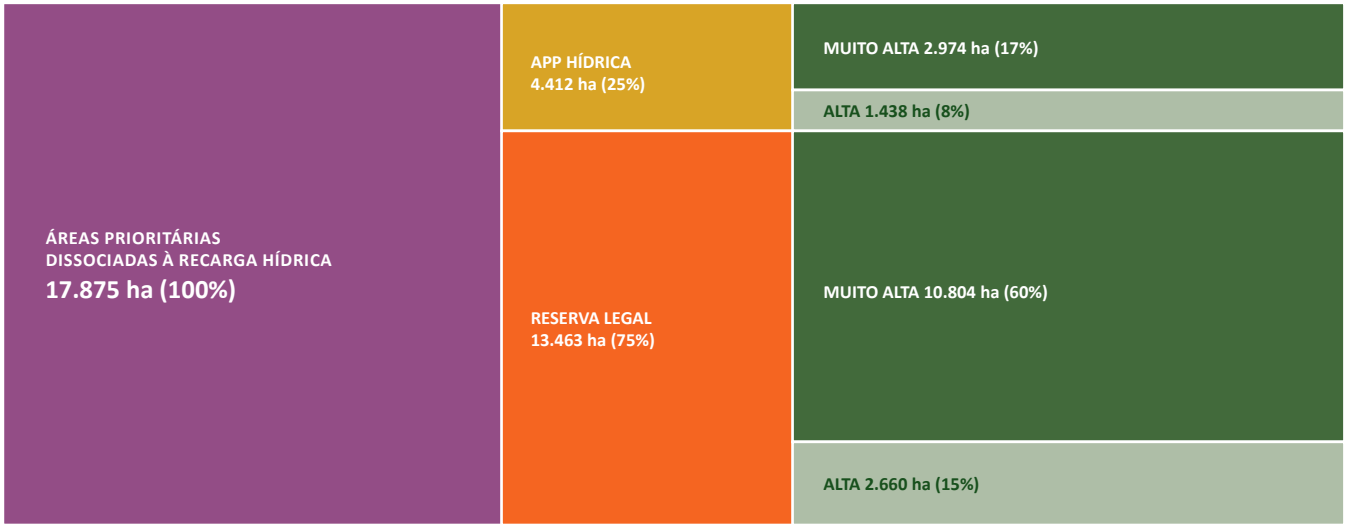

Figura 4.34. Total de Áreas Prioritárias Associadas à Recarga Hídrica, em ha, por grupo (APP Hídrica, Reserva Legal, Pastagem em recarga e Agricultura em recarga) e escala de prioridade (Alta e Muito Alta), na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Balanço Hídrico Quantitativo**. Brasília: ANA, 2022.

CANO-CRESPO, A.; TRAXL, D.; THONICKE, K. Spatio-temporal patterns of extreme fires in Amazonian forests. **The European Physical Journal Special Topics**, v. 230, n. 9, p. 1745-1756, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Alternativas ao uso do fogo na agricultura e as etapas para planejamento de uma queimada controlada**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2471085/alternativas-ao-uso-do-fogo-na-agricultura-e-as-etapas-para-planejamento-de-uma-queimada-controlada>

RICOTTA, C.; BAJOCCO, S.; GUGLIETTA, D.; CONEDERA, M. Assessing the influence of roads on fire ignition: does land cover matter? **Fire**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 24, 2018.

SAATY, T. The analytic hierarchy process (AHP) for decision making. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS, 1980, Kobe, Japan. **Proceedings**... Kobe, Japan: RIMS, 1980. p. 69.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. The analytic hierarchy process: wash criteria should not be ignored. I**nternational Journal of Management and Decision Making**, v. 7, n. 2/3, p. 180-188, 2006.

SYPHARD, A. D.; KEELEY, J. E.; ABATZOGLOU, J. T. Trends and drivers of fire activity vary across California aridland ecosystems. **Journal of Arid Environments**, v. 144, p. 110-122, 2017.

UFV
Universidade Federal de Viçosa

MINISTÉRIO DA
INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO