



Mapeamentos para o Serviço Florestal Brasileiro: Auxílio à implementação do CAR nos estados

Detalhamento Metodológico

DOCUMENTO PRELIMINAR

Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável

Novembro/2024

Sumário

A FBDS: histórico de projetos de mapeamento	3
Projeto “Mapeamentos para o Serviço Florestal Brasileiro”	3
1. Mapeamento do uso e cobertura do solo	4
1.1. Aquisição e pré-processamento das imagens de satélite	4
1.2. Classificação das imagens e edição vetorial	5
1.3. Verificação de acurácia.....	5
1.4. Geração das camadas temporais.....	6
2. Mapeamento de fitofisionomias.....	6
3. Mapeamento de hidrografia.....	6
3.1. Aquisição e mosaicagem dos modelos digitais de terreno	7
3.2. Processamento das linhas de drenagem.....	7
3.3. Edição vetorial	7
3.4. Processamento da hidrografia poligonal.....	7
3.5. Espacialização das Áreas de Preservação Permanente de hidrografia	7
4. Mapeamento das áreas de uso restrito relacionadas ao relevo	8
4.1. Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Uso Restrito relacionadas à declividade	8
4.2. Áreas de Preservação Permanente relacionadas à altitude.....	8
4.3. Áreas de Preservação Permanente de topo de morro	8
4.4. Áreas de Preservação Permanente de bordas de tabuleiros e chapadas	9
5. Mapeamento de áreas de servidão administrativa	10
5.1. Energia elétrica.....	11
5.1.1. Áreas destinadas à geração de energia elétrica	11
5.1.2. Linhas de Transmissão	14
5.1.3. Faixas de largura adotadas na delimitação das faixas de servidão administrativa do sistema elétrico.....	14
5.2. Sistema viário	15
5.2.1. Rodovias.....	15
5.2.2. Ferrovias	18
5.2.3. Dutovias.....	19
5.2.4. Faixas de largura adotadas na delimitação das faixas de servidão administrativa do sistema viário	19
Considerações finais	20

A FBDS: histórico de projetos de mapeamento

Fundada em 1992, a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) é uma organização sem fins lucrativos que pensa e estrutura projetos e parcerias no tema do desenvolvimento sustentável, conciliando a fronteira do conhecimento com capacidade gerencial. Sua missão é difundir as melhores práticas de meio ambiente e sustentabilidade e influenciar os públicos de interesse por meio da geração de conhecimento, contribuição na formulação de políticas públicas e realização de projetos.

Entre os anos de 2015 e 2023, a FBDS realizou o mapeamento do uso do solo, da hidrografia e das áreas de preservação permanentes hídricas com base em imagens de satélite de alta resolução para a integridade dos biomas da Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia e Caatinga, através de uma série de projetos independentes. Dentre os quais, destacam-se os projetos Amazônia: Regularização Ambiental (2019-2021), executado com recursos do Fundo Amazônia/BNDES, o Projeto Rural Sustentável Caatinga (2020-2022), executado com recursos do DEFRA/BID; o Projeto GEF MATOPIBA - Parceria Para o Bom Desenvolvimento (2017-2019), executado em parceria com a Conservação Internacional e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF); e o Projeto de Apoio à Implantação do CAR (2015-2017), financiado por um conjunto de federações e associações do setor privado (FEBRABAN, IBÁ, SRB, AGROICONE, ABAG, FENASEG, UNICA e Instituto Aço Brasil).

Dentre as inúmeras aplicações dos dados produzidos ao longo destes 8 anos, o apoio a políticas públicas territoriais destaca-se como seu principal objetivo, especificamente o apoio à implantação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), executada pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) em parceria com os estados. Todos os dados espaciais e mapas produzidos para mais de 5.000 municípios brasileiros encontram-se disponíveis para livre acesso no repositório público de mapas da FBDS (<https://geo.fbds.org.br/>).

Projeto “Mapeamentos para o Serviço Florestal Brasileiro”

Em 2023 a FBDS deu início ao projeto " Mapeamentos para o Serviço Florestal Brasileiro: Auxílio à implementação do CAR nos estados", financiado pelo Fundo Socioambiental/BNDES, com o objetivo de produzir bases cartográficas perfeitamente compatíveis com o módulo de análise dinamizada do SICAR, preenchendo lacunas de dados de mapeamento identificadas para nove estados brasileiros (ES, PA, PE, RN, RO, RR, RS, SC e SE).

Entre os meses de maio/2023 e outubro/2024 o projeto realizou o mapeamento do uso e cobertura do solo, fitofisionomias, relevo, servidões administrativas e hidrografia de acordo com os critérios exigidos pela Nota Técnica “Orientações gerais sobre as Bases de Referência para a solução da Análise Dinamizada do Cadastro Ambiental Rural” (a seguir denominada “Nota Técnica”), que estabelece critérios para a inclusão de bases cartográficas no módulo de Análise Dinamizada do CAR.

A metodologia de mapeamento de cada um dos temas foi desenvolvida em consonância com a equipe técnica da Diretoria de Regularização Ambiental Rural do Serviço Florestal Brasileiro, por meio de uma série de reuniões de alinhamento técnico realizadas ao longo do projeto. Durante a fase inicial do projeto, também foram realizadas reuniões de apresentação do projeto e coleta de contribuições dos Estados interessados, de maneira a garantir o alinhamento técnico com as políticas e bases de dados

estaduais e a disseminação de informações relevantes às partes interessadas. Para além da apresentação geral do projeto para o coletivo de estados interessados, também foram realizadas reuniões de alinhamento específicas com as equipes dos estados do Espírito Santo, Pernambuco, Rio Grande do Sul e Roraima, atendendo a demandas apresentadas pelos referidos estados.

A seguir são apresentadas todas as etapas das metodologias de mapeamento executadas para a elaboração de cada um dos temas:

1. Mapeamento do uso e cobertura do solo

A Nota Técnica estabelece as seguintes classes de uso do solo como parâmetros de entrada no SICAR: i) remanescente de vegetação nativa atual; ii) remanescente de vegetação nativa em 2008; iii) área consolidada; iii) área antropizada após 2008; iv) manguezal; v) restinga e vi) vereda.

A fim de manter o detalhamento de classes já desenvolvido pela FBDS em seus projetos anteriores, que inclui a divisão das classes de vegetação entre formação florestal e não florestal, assim como a identificação das áreas naturais não vegetadas e de silvicultura, o mapeamento de uso e cobertura do solo foi realizado inicialmente para um número de classes mais detalhado, e em seguida condensado para as classes exigidas pelo SICAR, conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 - Classes de mapeamento de uso e cobertura do solo adotadas pelo projeto Mapeamentos para o Serviço Florestal Brasileiro: Auxílio à implementação do CAR nos estados.

Classes Mapeamento Detalhado FBDS	Classes SICAR
Formação florestal	Remanescente de vegetação nativa atual
Formação natural não florestal	Remanescente de vegetação nativa em 2008
Área natural não vegetada	
Restinga arbórea	Restinga
Restinga herbácea-arbustiva	
Manguezal	Manguezal
Vereda	Vereda
Silvicultura	Área consolidada
Áreas antropizadas	Área antropizada após 2008
Água	Água

O mapeamento de uso e cobertura do solo foi realizado para a integralidade dos estados de ES e RS, e para 15% do Estado de PE (municípios da Mata Atlântica), totalizando 33.684.516 hectares e 671 municípios. Suas etapas são descritas a seguir:

1.1. Aquisição e pré-processamento das imagens de satélite

O mapeamento do uso e cobertura do solo dos estados baseou-se no mosaico de imagens Planet do ano de 2023, com resolução de 5 metros/pixel, disponibilizado pela Iniciativa Internacional do Clima e Florestas da Noruega (NICFI). Em função da limitação da área de abrangência deste mosaico, que é interrompido na porção sul do estado do Rio Grande do Sul, exclusivamente nesta área foram adotadas imagens do satélite Sentinel-2 também do ano de 2023, com resolução espacial de 10 metros/pixel. As referidas imagens foram selecionadas e mosaicadas na plataforma Google Earth

Engine, de maneira a otimizar o contraste para a visualização de formações campestres e a eliminar 100% das áreas de nuvens.

1.2. Classificação das imagens e edição vetorial

Os mosaicos foram divididos em unidades de trabalho de 62.500 hectares cada, que por sua vez foram processadas por meio de classificação supervisionada, a partir da coleta de amostras de treinamento específicas para cada unidade, de maneira a garantir a precisão na identificação dos padrões de refletância específicos de cada região dos estados. Nesta etapa foram identificadas as classes do mapeamento detalhado listadas na primeira coluna da Tabela 1. Em atendimento ao Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (Lei Estadual nº 15434/2020), que estabelece os banhados do estado como áreas de preservação permanente, esta classe também foi mapeada especificamente para este estado.

Em seguida as matrizes resultantes da classificação supervisionada foram submetidas a um detalhado processo manual de edição vetorial na escala de 1:10.000, que consistiu no ajuste e correção de limites das feições extraídas automaticamente das imagens de satélite durante a etapa de classificação supervisionada. Através dela foi possível realizar adequações pontuais, corrigindo eventuais erros de classificação decorrentes da automatização. Esta etapa foi realizada na plataforma ArcGIS.

A fim de garantir a correta interpretação das feições durante as etapas de coleta de amostras e edição vetorial, foram utilizadas imagens e bases cartográficas de apoio, listadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Bases de apoio utilizadas no mapeamento de uso e cobertura do solo realizado no âmbito do projeto Mapeamentos para o Serviço Florestal Brasileiro: Auxílio à implementação do CAR nos estados.

Bases cartográficas de apoio	Fonte
World Imagery	ESRI Basemaps
Google Maps Satellite	Google
NDVI da série histórica Planet calculado para os últimos 3 anos	NICFI
NDVI da série histórica Sentinel calculado para os últimos 3 anos (período de agosto a novembro)	ESA
Classe "Campos Naturais"	Projeto Mapbiomas – Coleção 8
Classe "Arroz"	Projeto Mapbiomas – Coleção 8
Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul – situação em 2002, 2009 e 2015	Labgeo / UFRGS
Áreas Úmidas	ZEE do Rio Grande do Sul

1.3. Verificação de acurácia

Nesta etapa foram sorteados pontos de checagem aleatórios para cada unidade de trabalho mapeada, quantificados proporcionalmente à área ocupada por cada classe de mapeamento, conforme preconizam as boas práticas para estimativa de acurácia de mapeamentos. Os pontos foram checados com base em imagens de satélite de altíssima resolução e atingiram 95% de acerto para o trecho mapeado ser considerado concluído. Esta etapa foi realizada plataformas ArcGIS Online e Google Earth, conforme disponibilidade de imagens atualizadas para o ano de 2023.

1.4. Geração das camadas temporais

Nesta etapa, as classes do mapeamento detalhado listadas na Tabela 1 foram condensadas para as classes do SICAR e cruzadas com o mapeamento de remanescentes do ano de 2008 da Coleção 9 do Projeto MapBiomass, dando origem às classes “remanescente de vegetação nativa atual”, “remanescente de vegetação nativa em 2008”, “área consolidada” e “área antropizada após 2008”. Esta etapa foi realizada na plataforma ArcGIS.

2. Mapeamento de fitofisionomias

A Nota Técnica define como fitofisionomias especiais na Amazônia legal: i) floresta, ii) cerrado e iii) campo, constituintes da classe de uso do solo “remanescente de vegetação nativa atual”. O mapeamento das classes de fitofisionomias foi realizado para a área integral do estado de RR, totalizando 22.436.540 hectares e 15 municípios.

O mapeamento baseou-se na edição vetorial do mapeamento de uso do solo do estado, realizado pela FBDS no âmbito do projeto “Amazônia: Regularização Ambiental” de maneira a preservar a compatibilidade dos limites dos remanescentes em ambas as camadas. As feições correspondentes às classes de vegetação nativa foram editadas na escala de 1:15.000 com base em imagens Sentinel do ano de 2023, de maneira a refinar e atualizar os seus limites com as áreas antropizadas.

A interpretação das classes de formação natural não florestal foi realizada em consonância com o Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Roraima, que realizou uma série de inventários de campo para a identificação das diferentes classes de vegetação presentes no Estado.

3. Mapeamento de hidrografia

A Nota Técnica estabelece as seguintes categorias para o mapeamento de hidrografia:

- Rios com largura menor que 10 metros: rios perenes ou intermitentes com largura de até 10 m, que devem ser adquiridos como linha ou polígono, quando possível, no processo de vetorização.
- Rios com largura de 10 a 50 metros: rios perenes ou intermitentes com largura de 10 a 50 m, que devem ser adquiridos como polígonos no processo de vetorização.
- Rios com largura de 50 a 200 metros: rios perenes ou intermitentes com largura de 50 a 200 m, que devem ser adquiridos como polígonos no processo de vetorização.
- Rios com largura de 200 a 600 metros: rios perenes ou intermitentes com largura de 200 a 600 m, que devem ser adquiridos como polígonos no processo de vetorização.
- Rios com largura maior que 600 metros: rios perenes ou intermitentes com largura maior que 600 m, que devem ser adquiridos como polígonos no processo de vetorização.
- Lagos e lagoas naturais: massas d’água formadas pelo acúmulo natural de água em áreas rurais, com área maior que 1 ha.
- Reservatórios artificiais: massas d’água formadas pelo barramento ou represamento antrópico de cursos d’água naturais em áreas rurais

O mapeamento da hidrografia foi realizado para a integralidade dos estados de ES e PE, totalizando 14.422.696 hectares e 262 municípios. Suas etapas são descritas a seguir.

3.1. Aquisição e mosaicagem dos modelos digitais de terreno

O processamento da hidrografia do estado de PE foi realizado a partir de um modelo digital de terreno de alta resolução estadual, oriundo do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), com 1 metro/pixel de resolução espacial. Sua aquisição foi realizada a partir do site do programa (<http://www.pe3d.pe.gov.br/>) e sua mosaicagem foi realizada na plataforma ArcGIS. A fim de permitir a realização dos processamentos em escala compatível com os demais produtos do projeto, os mosaicos foram degradados para uma resolução de 4 metros/pixel.

O processamento da hidrografia do estado de ES foi realizado a partir de um modelo digital de terreno de alta resolução estadual, oriundo do Projeto Mapeamento ES 2012-2015, com 2 metros/pixel de resolução espacial. Sua aquisição foi realizada a partir do Portal Geobases (<https://geobases.es.gov.br/>) e sua mosaicagem foi realizada na plataforma ArcGIS. A fim de permitir a realização dos processamentos em escala compatível com os demais produtos do projeto, os mosaicos foram degradados para uma resolução de 4 metros/pixel.

As redes de drenagem extraídas a partir do processamento dos modelos digitais de terreno foram verificada e editadas com base nos mosaicos de imagens de satélite Planet do ano de 2023, com resolução de 5 metros/pixel, adquiridas conforme descrito no item 1.1.

3.2. Processamento das linhas de drenagem

Inicialmente, os estados foram subdivididos por bacias hidrográficas, que passaram a constituir as unidades de trabalho do mapeamento da hidrografia. Em seguida, para cada bacia hidrográfica, foram gerados os rasters de fluxo de drenagem e acúmulo de fluxo. Os limiares de acúmulo de fluxo para definição das linhas de drenagem foram definidos individualmente para cada bacia hidrográfica, levando em consideração suas características de relevo e a configuração da distribuição de seus cursos d'água observadas nas imagens Planet.

3.3. Edição vetorial

As linhas de drenagem extraídas a partir do modelo digital de elevação foram então editadas manualmente para a definição precisa do ponto inicial de cada curso d'água, com base no mosaico de imagens Planet. Para auxiliar a identificação dos cursos d'água inferiores à 5 metros de largura, adotou-se como base complementar os basemaps de altíssima resolução do ArcGIS Online.

3.4. Processamento da hidrografia poligonal

A hidrografia poligonal foi extraída a partir do mapeamento de uso e cobertura do solo, conforme metodologia descrita no item 1. Todos os cursos d'água com mais de 10 metros de largura foram digitalizados como polígonos, assim as massas d'água com mais de 1 hectare. Todas as massas d'água foram verificadas uma a uma no mosaico de imagens Planet a fim de determinar sua natureza (natural/artificial).

3.5. Espacialização das Áreas de Preservação Permanente de hidrografia

A espacialização das Áreas de Preservação Permanente de hidrografia foi feita com base em um modelo de processamento fornecido pelo Serviço Florestal Brasileiro, que converte as linhas de

drenagem para polígonos, categoriza os cursos d'água em função de suas faixas de largura, lê as informações de natureza das massas d'água e espacializa as faixas de APP conforme os critérios estabelecidos pela Lei de Proteção à Vegetação Nativa (Lei 12.651/2012).

4. Mapeamento das áreas de uso restrito relacionadas ao relevo

A Nota Técnica define como áreas de uso restrito relacionadas ao relevo: i) encostas, ii) topos de morros, iii) bordas de tabuleiros e chapadas e iv) áreas com altitudes superiores a 1.800 metros. O mapeamento destas classes foi realizado para a integralidade dos estados de PE, RN, RS, SE, PA, RO e RR, totalizando 201.462.863 hectares e 1.140 municípios.

O modelo digital de elevação adotado como base para o processamento das áreas de uso restrito relacionadas ao relevo foi o NASADEM, um conjunto de dados de elevação digital produzido pela NASA, que oferece uma representação detalhada da topografia da superfície terrestre com resolução de 30 metros. Ele resulta da combinação de diferentes fontes de dados, incluindo o modelo de elevação de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e dados adicionais para melhorar a precisão e a cobertura global. Sua aquisição e mosaicagem foi realizada na plataforma Google Earth Engine.

O modelo digital de terreno de alta resolução do estado do Pernambuco apresentou falhas que impediram a correta geração do raster de declividade, essencial para as análises das áreas de uso restrito relacionadas ao relevo. Assim, em conjunto com a equipe da Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco, foi decidido que a análise do relevo do estado também seria realizada com base no modelo digital de elevação NASADEM.

As etapas da produção de cada um dos temas do mapeamento áreas de uso restrito relacionadas ao relevo são descritas a seguir:

4.1. Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Uso Restrito relacionadas à declividade

Os rasters de declividade de todos os estados foram gerados a partir do referido modelos digital de elevação (MDE), na plataforma ArcGIS. Em seguida os rasters foram reclassificados para as classes de interesse (entre 25° a 45° para as áreas de uso restrito e acima de 45° para as áreas de preservação permanente) e convertidos para polígonos.

4.2. Áreas de Preservação Permanente relacionadas à altitude

O modelo digital de elevação (MDE) foi reclassificado para a classe de interesse (acima de 1800 metros) e convertido para polígonos na plataforma ArcGIS.

4.3. Áreas de Preservação Permanente de topo de morro

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (12.651/2012) estabelece no seu artigo 4°, inciso IX, áreas de preservação permanente (APP) “no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25° , as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

A fim de operacionalizar a espacialização desta definição, foi adotada a metodologia de MDE invertido, que delimita as bases dos morros a partir do fluxo de drenagem calculado com base no resultado da inversão do MDE. Trata-se de uma metodologia validada pelo Serviço Florestal Brasileiro e amplamente utilizada pelos estados brasileiros.

Assim, o processamento inicia-se com a inversão do MDE, seguida do cálculo do fluxo de drenagem. A partir do raster de fluxo de drenagem são geradas as áreas de drenagem do MDE invertido, que correspondem à delimitação dos morros individualizados. Os morros individualizados desta forma passam a constituir então as unidades de trabalho para cálculo dos critérios de aplicação da lei (altura mínima de 100 metros e declividade média maior que 25°) e, uma vez atingidos tais critérios, as APP são delimitadas como o terço superior do morro. Estas análises foram realizadas na plataforma ArcGIS.

4.4. Áreas de Preservação Permanente de bordas de tabuleiros e chapadas

De acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (12.651/2012) em seu artigo 4°, inciso VIII, são consideradas áreas de preservação permanente (APP) as “bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais”.

Para o mapeamento dessas APP, foram utilizados critérios estabelecidos na Resolução do CONAMA 303/2002 que refina a definição das áreas de chapadas e tabuleiros, e escarpas no seu artigo 2°, incisos XI e XII, que determinam:

“XI - tabuleiro ou chapada: paisagem de topografia plana, com declividade média inferior a dez por cento, aproximadamente seis graus e superfície superior a dez hectares, terminada de forma abrupta em escarpa, caracterizando-se a chapada por grandes superfícies a mais de seiscentos metros de altitude;

XII - escarpa: rampa de terrenos com inclinação igual ou superior a quarenta e cinco graus, que delimitam relevos de tabuleiros, chapadas e planalto, estando limitada no topo pela ruptura positiva de declividade (linha de escarpa) e no sopé por ruptura negativa de declividade, englobando os depósitos de colúvio que localizam-se próximo ao sopé da escarpa;”

As áreas de escarpa (declividade superior a 45°), previamente identificadas conforme metodologia descrita no item 3.1, foram sobrepostas às áreas de ocorrência de chapadas e tabuleiros conforme o mapeamento geomorfológico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:250.000 (IBGE, 2023) e às áreas com altitude superior a 600 metros oriundas do modelo digital de elevação NASADEM, formando as bases de apoio para a vetorização das linhas de quebra de relevo nas áreas que atendem aos critérios da resolução CONAMA.

Identificadas as áreas acima de 600 metros, com declividade acima de 45°, foram vetorizadas com base em imagens de alta resolução as linhas de quebra do relevo quando adjacentes a topos planos com declividade média de até 10% e área superior a 10 hectares. Devido a escala e resolução do SRTM foram vetorizadas de forma contínua as áreas separadas por até 3 pixels (0,3 ha), minimizando possíveis lacunas em função da escala do dado disponível para cálculo da declividade. Estabelecidas as quebras de relevo, as faixas de APPs de 100 metros foram espacializadas, conforme exemplificado na Figura 1.

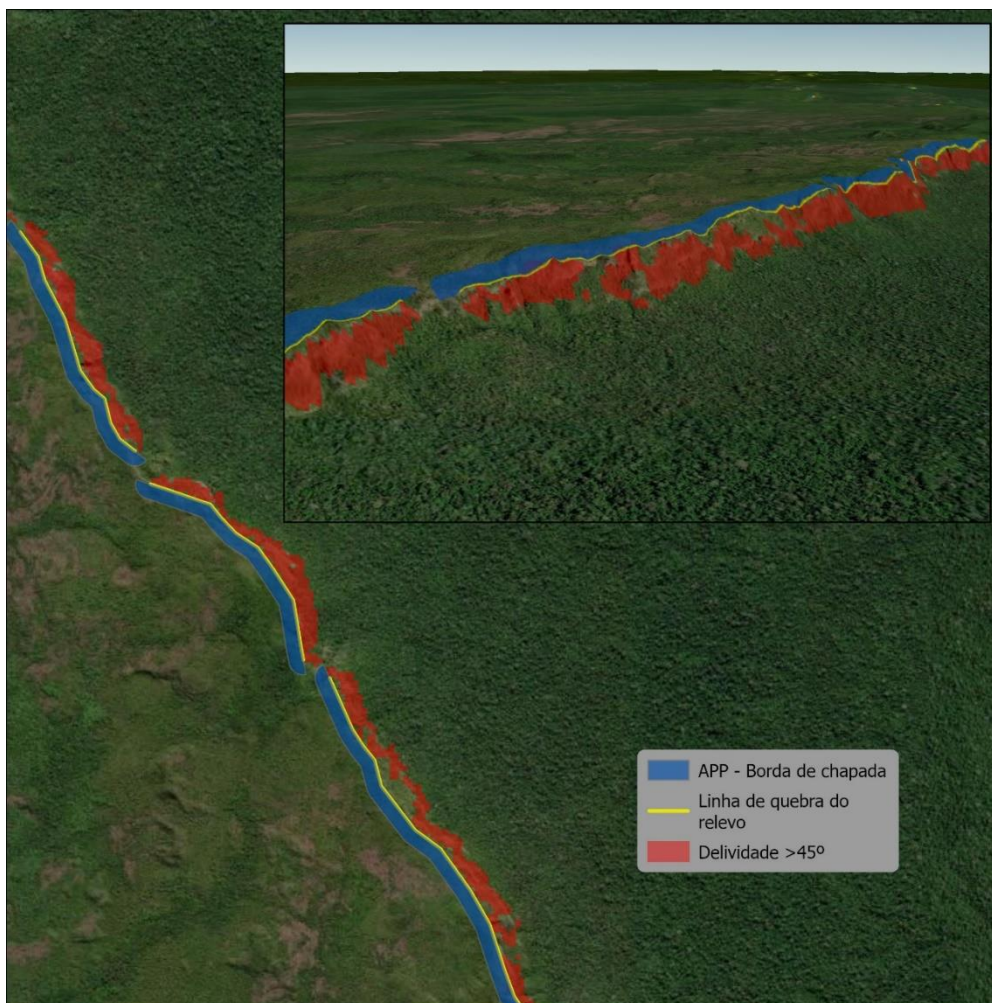


Figura 1 – Exemplo de delimitação de áreas de preservação permanente de bordas de tabuleiros e chapadas, conforme metodologia adotada pelo projeto Mapeamentos para o Serviço Florestal Brasileiro: Auxílio à implementação do CAR nos estados.

5. Mapeamento de áreas de servidão administrativa

A Nota Técnica estabelece duas categorias de áreas de servidão administrativa: i) “energia elétrica”, definida como áreas destinadas a geração de energia elétrica, subestações, faixas destinadas às linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica; e ii) “sistema viário”, definidas como rodovias estaduais e federais bem como as ferrovias que compõem o sistema viário do estado. O mapeamento destas classes foi realizado para a integralidade dos estados de ES, PE, RN, SC, SE, RS, RO e RR, totalizando 105.831.755 hectares e 1.364 municípios.

O mapeamento das áreas de servidão administrativa baseou-se no mosaico de imagens Planet do ano de 2023, com resolução de 5 metros/pixel, disponibilizado pela Iniciativa Internacional do Clima e Florestas da Noruega (NICFI). Em função da limitação da área de abrangência deste mosaico, que é interrompido na porção sul do estado do Rio Grande do Sul, exclusivamente nesta área foram adotadas imagens do satélite Sentinel-2 também do ano de 2023, com resolução espacial de 10 metros/pixel. As referidas imagens foram selecionadas e mosaicadas na plataforma Google Earth

Engine, de maneira a otimizar o contraste para a visualização de formações campestres e a eliminar 100% das áreas de nuvens.

No entanto, a interpretação exclusiva deste conjunto de imagens de satélite não fornece todas as informações de atributos necessárias para a correta identificação das classes previstas pela legislação, tais como a esfera administrativa responsável por uma rodovia, ou mesmo a diferenciação entre diferentes classes de vias. Neste contexto, faz-se necessária a utilização de bases cartográficas de apoio atualizadas, que complementam as informações disponíveis nas imagens de satélite.

Para a elaboração deste mapeamento, foram utilizados dados oficiais provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), do Ministério dos Transportes, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Essas bases apresentaram deslocamentos significativos em relação às imagens de referência devido à escala em que foram originalmente mapeadas. Essa variação não representa um erro, mas uma consequência das diferentes escalas utilizadas.

No mapeamento do sistema viário, para garantir a acurácia posicional e, garantindo a compatibilidade com as imagens de referência, foi incorporado o mapeamento do Open Street Maps (OSM). Os referidos dados oficiais foram cruzados com as informações do OSM, que foram devidamente adaptadas e ajustadas com base nas imagens de alta resolução e nos dados oficiais. Assim, o mapeamento resultante possui a escala e a qualidade necessárias para o SICAR, garantindo a conformidade com os dados oficiais dos órgãos responsáveis por cada tipo de servidão.

Abaixo, segue o detalhamento da metodologia adotada para cada categoria de servidão administrativa.

5.1. Energia elétrica

5.1.1. Áreas destinadas à geração de energia elétrica

O mapeamento áreas destinadas a geração de energia elétrica foi dividido em duas etapas: i) estruturas de geração de energia elétrica e ii) reservatórios e suas respectivas APPs. Esse mapeamento feito a partir da base de dados da ANEEL (Declaração de Utilidade Pública – DUP), do mapeamento do uso e cobertura do solo para os estados contemplados no âmbito deste projeto (ES, 15% do Estado de PE, RS) e do mosaico de imagens Planet do ano de 2023, com resolução de 5 metros/pixel, disponibilizado pela Iniciativa Internacional do Clima e Florestas da Noruega (NICFI), conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Bases cartográficas de apoio utilizadas para o mapeamento das áreas destinadas à geração de energia elétrica

Base	Ano	Fonte
Declaração de Utilidade Pública (DUP)	2024	ANEEL
Mapeamento do uso e cobertura do solo	2023	FBDS
Mosaico de imagens Planet	2023	NICFI

5.1.1.1. Estruturas de geração de energia elétrica

Toda a base referida base de Declaração de Utilidade Pública da ANEEL (DUP) foi conferida no que diz respeito a seus atributos e consistência espacial, utilizando as imagens de satélite e o mapeamento de uso e cobertura do solo da FBDS como base para conferência.

Na base DUP o campo “Objeto” discrimina a categoria de cada feição como: acesso, área de inundação, APP, barramento, bota-fora/empréstimo, calha do rio, canal de fuga, canteiro de obras, casa de força, estruturas de adução, linha de distribuição, linhas de interesse restrito, linhas de transmissão, reservatório, subestação e outros.

As feições classificadas como “Outros” foram, quando possível, recategorizadas com base nas colunas “nome do empreendimento” e “Código Único de Empreendimentos de Geração (CEG)”. A coluna “nome do empreendimento” corresponde ao nome da respectiva estrutura, já o CEG é o código de identificação do empreendimento de geração de energia elétrica, composto pelo seguinte conjunto de dados alfanumérico, exposto no formato abaixo e detalhado, conforme a Tabela 4.

GGG.FF.UF.999999-D.VV

Tabela 4 - Detalhamento do Código Único de Empreendimentos de Geração(CEG)

Sigla	Descrição
GGG	Tipo de geração
FF	Fonte de energia
UF	Unidade Federativa principal
999999	Núcleo
D	Dígito verificador
VV	Versão

Tipos de Geração (GGG):

- CGH - Central Geradora Hidrelétrica
- CGU - Central Geradora Undi-elétrica
- EOL - Central Geradora Eólica
- PCH - Pequena Central Hidrelétrica
- UFV - Central Geradora Solar Fotovoltaica
- UHE - Usina Hidrelétrica
- UTE - Usina Termelétrica
- UTN - Usina Termonuclear

Após este tratamento dos atributos, foram identificadas como estruturas de geração de energia as categorias: acesso, barramento, bota fora/empréstimo, canal de fuga, canteiro de obras, estruturas de adução e subestação.

5.1.1.2. Áreas de proteção permanente de reservatórios

A Lei Federal 12.651/2012 estabelece em seu artigo 5º, que “na implantação de reservatório d’água artificial destinado a geração de energia ou abastecimento público, é obrigatória a aquisição, desapropriação ou instituição de servidão administrativa pelo empreendedor das Áreas de Preservação Permanente criadas em seu entorno, conforme estabelecido no licenciamento ambiental, observando-se a faixa mínima de 30 (trinta) metros e máxima de 100 (cem) metros em área rural, e a

faixa mínima de 15 (quinze) metros e máxima de 30 (trinta) metros em área urbana.” A mesma estabelece ainda, em seu artigo 4º, § 1º, que “Não será exigida Área de Preservação Permanente no entorno de reservatórios artificiais de água que não decorram de barramento ou represamento de cursos d’água naturais”. Com base nessas duas premissas, a base DUP foi utilizada para a identificação dos reservatórios e suas respectivas APP estabelecidas em seus processos de licenciamento ambiental.

Todos os reservatórios foram individualmente verificados com base no conjunto de imagens de satélite adotado pelo projeto. Na ocorrência de inconsistências espaciais nos polígonos referentes aos reservatórios, as feições foram corrigidas com base no mapeamento de uso e cobertura do solo da FBDS ou, áreas em que o mapeamento da FBDS é anterior ao ano de 2023, vetorizado com base no mosaico de imagens Planet, conforme exemplificado na Figura 2.

Da mesma forma, na ocorrência de inconsistências espaciais nos polígonos referentes às APPs dos reservatórios, elas foram geradas assumindo a faixa de largura de 30 metros, de acordo com a faixa mínima prevista na Lei Federal 12.651/2012. Nas situações previstas em lei de isenção das faixas de APP em reservatórios, as mesmas não foram geradas.

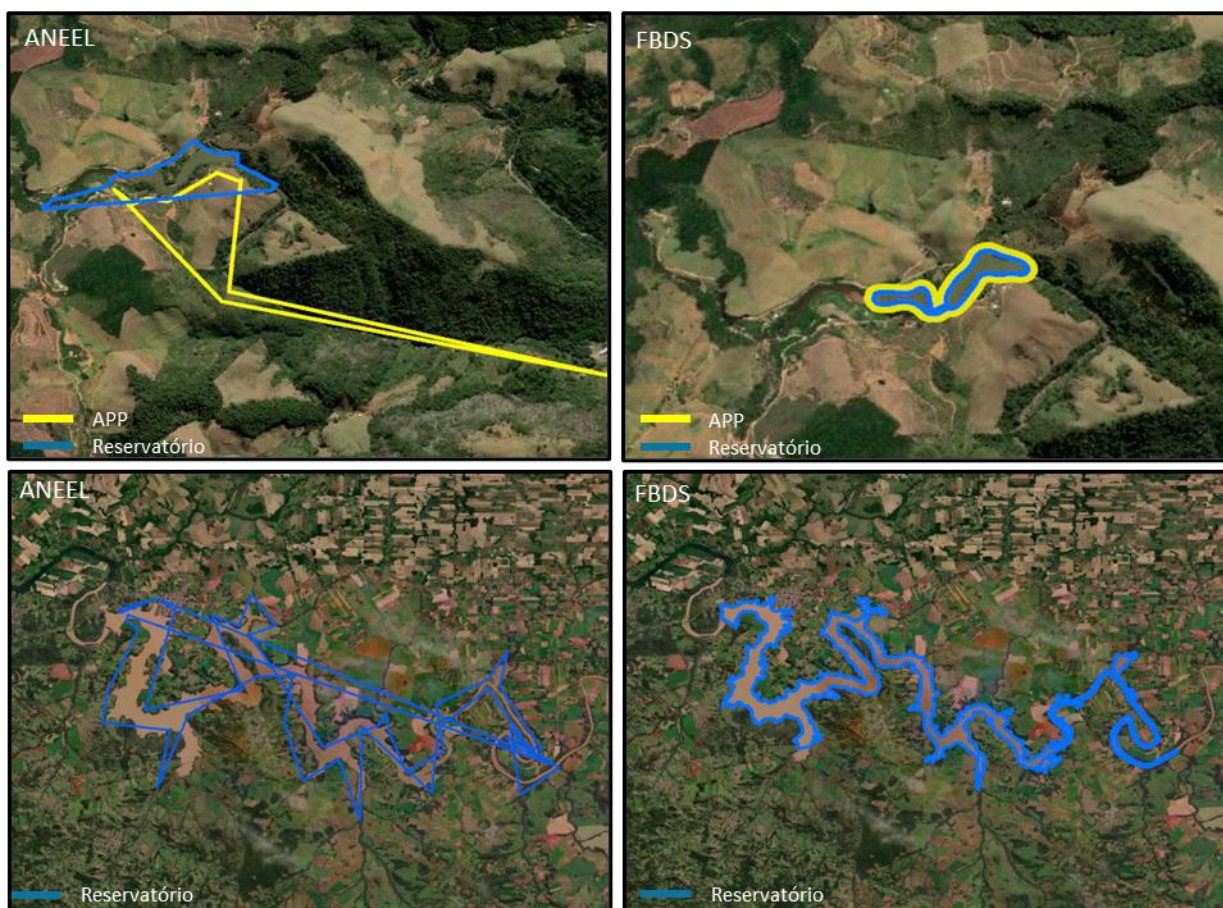


Figura 2 - Demonstração de inconsistências na base de dados da ANEEL; comparação com dados produzidos pela FBDS.

5.1.2. Linhas de Transmissão

As linhas de transmissão foram mapeadas através das bases apresentadas na Tabela 5. A base das linhas de transmissão da EPE apresentou a melhor qualidade e adequação às imagens.

A Base de Dados Geográfica da Distribuidora – BDGD é um repositório formado pelos dados espaciais de todas as distribuidoras de energia do país. É importante ressaltar que as distribuidoras operam linhas de alta tensão de 69kV e 138kV. Essas linhas de alta tensão são mapeadas no Shapefile SSDAT (Segmento do Sistema de Distribuição de Alta Tensão) e na tabela CTAT (Circuito de Alta Tensão) presentes nos bancos de dados das distribuidoras. Os estados mapeados totalizam 54 distribuidoras e todas as bases foram verificadas para selecionar as linhas de alta tensão acima de 69kV.

As bases do IBGE e Linhas de Transmissão da ANEEL foram utilizadas para a validação, e foram acrescentadas ao mapeamento quando ausentes na EPE.

Tabela 5 - Bases cartográficas de apoio utilizadas para o mapeamento das linhas de transmissão

Base	Ano	Fonte
LT_enc_trecho_energia_I	2024	IBGE - Base Contínua
LT_Linhas_de_Transmissão_Base_Existente	2023	EPE - Empresa de Pesquisa Energética
LT_Linhas_de_Transmissão_ONS	2023	ANEEL
Base de Dados Geográfica da Distribuidora - BDGD	2023	ANEEL

5.1.3. Faixas de largura adotadas na delimitação das faixas de servidão administrativa do sistema elétrico

Após o tratamento e validação de todas as bases de dados cartográficas, a espacialização das faixas de servidão administrativa foi produzido através dos atributos contidos em suas respectivas categorias. A largura aplicada para cada feição foi realizada conforme a Tabela 6, definida conforme critérios previamente estabelecidos pelo Serviço Florestal Brasileiro.

Tabela 6 - Faixas de largura adotadas para cada classe de servidão administrativa do sistema elétrico

Tema	Largura da Servidão Administrativa para cada lado (metros)	Largura da Servidão Administrativa total (metros)
Linha de Transmissão	69 kV	12
	138 kV	16
	230 kV	35
	500 kV	60

Finalmente, o mapeamento do IBGE de áreas densamente edificadas foi utilizado para eliminar áreas de servidão administrativas geradas em áreas urbanas. Polígonos com área menor do que 0,3ha foram excluídos.

5.2. Sistema viário

5.2.1. Rodovias

O mapeamento das rodovias foi produzido utilizando como base inicial o OSM, que demonstrou ser a base vetorial com escala mais adequada e mais completa disponível para o território nacional. Para a validação dos dados do OSM, e também das jurisdições das rodovias estaduais e federais, foram utilizadas as bases oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), conforme a Tabela 7.

Toda a base do OSM foi conferida com base nas imagens de referência e atualizada conforme necessidade, por meio de edição vetorial na escala de 1:10.000. Seus atributos foram comprados com as bases oficiais do IBGE e DNIT para a validação e eventuais correções, conforme descrito a seguir.

Tabela 7 - Bases cartográficas de apoio utilizadas para o mapeamento das rodovias

Base	Ano	Fonte
estradas_osm_Brasil_2024	2024	Open Street Map
Rodovia_rod_trecho_rodoviario_I	2023	IBGE - Base Contínua
Rodovia_DNIT_2024	2024	DNIT - SNV Bases Geométricas (2013-Atual)

Inicialmente, foram identificadas na documentação do mapeamento OSM as classes correspondentes às rodovias, descartando-se elementos excedentes, como calçadas e ciclovias. A Tabela 8 apresenta as classes incluídas e excluídas da análise, juntamente com suas respectivas descrições.

Tabela 8 - Classes do atributo "fclass" mantidas e excluídas do OSM

Classe	Manter	Descrição
bridleway	não	Trilha e caminhos a cavalo
busway	sim	Trechos exclusivos de ônibus
cycleway	não	Ciclovias
footway	não	Trilhas e caminhos de pedestres
living_street	sim	Ruas de uso misto com preferência a pedestres, bicicletas e uso social
motorway	sim	Autoestradas >80km\h
motorway_link	sim	Junções, retornos etc.
path	sim	Caminhos genéricos utilizados por pedestres e pequenos veículos, maioria em área rural
pedestrian	não	Caminhos para pedestres, (ex. calçadão, ponte somente para pedestre, praças etc.)
primary	sim	Rotas principais (estradas federais, estaduais e avenidas)
primary_link	sim	Junções, retornos etc.
residential	sim	Ruas residenciais, maioria em ambiente urbano, mas presente em ambiente rural também.
secondary	sim	Estradas que não fazem parte das rotas principais, mas ainda podem ser estaduais
secondary_link	sim	Junções, retornos etc.
service	sim	Acesso a edifícios, postos de combustível, estacionamento, acessos a residências e vielas. Tem caráter mais de acesso que de passagem. Presente em ambiente rural
steps	não	Escadas para pedestres
tertiary	sim	Liga pequenas povoações e fazem parte da rede local
tertiary_link	sim	Junções, retornos etc.
track	sim	Vias (caminhos) agrícolas ou florestais, normalmente em terra batida ou onde apenas se veem os trilhos deixados pelas rodas de tratores

track_grade1	sim	Classificação da solidez do piso. Grade 1 piso sólido. Normalmente pavimentado ou com uma superfície bastante compactada
track_grade2	sim	Classificação da solidez do piso. Grade 2 piso maioritariamente sólido. Normalmente não pavimentado misturado com uma quantidade variável de areia
track_grade3	sim	Classificação da solidez do piso. Grade 3 piso homogênea de materiais suaves e duros. Quase sempre uma trilha/caminho não pavimentado
track_grade4	sim	Classificação da solidez do piso. Grade 4 piso maioritariamente suave. Quase sempre não pavimentado com terra, areia e mato
track_grade5	sim	Classificação da solidez do piso. Grade 5 piso suave. Quase sempre não pavimentado e sem materiais duros, não compactado
trunk	sim	Não classificadas como motorway. Rodovias duplicadas (divided highways), vias expressas urbanas (urban expressways)
trunk_link	sim	Junções, retornos etc.
unclassified	sim	Estradas/rodovias de nível hierárquico mais baixo que as estradas terciárias. Quando urbanas, são vias locais sem uso residencial; quando rurais, são estradas vicinais, geralmente de piçarra ou não pavimentadas
unknown	não	Desconhecido/ não classificado



Figura 3 - Comparação entre as bases das rodovias.

A Figura 3 mostra em detalhe as três bases utilizadas (Tabela 7) e sua adequação à imagem Planet. O OSM foi a melhor alternativa, por mais completo e adequado à escala da imagem.

Após a revisão e validação das classes de interesse, o atributo ref do OSM foi utilizado para a classificação da jurisdição das estradas. Esse campo apresenta a nomenclatura das rodovias quando é estadual ou federal, ou seja, uma estrada com ref BR-101 é federal e RS-252 é estadual. Além disso, as siglas das rodovias estaduais podem vir acrescida de “C” para indicar que são coincidentes com uma rodovia federal. Um caso ilustrativo é a RSC-101, que corresponde a um trecho sobre jurisdição estadual coincidente com a BR-101. Em outros casos, alguns estados complementam a nomenclatura com “E” de estadual e “V” de vicinal, por exemplo ERS-123 e VRS-123, neste, devido à hierarquia da jurisdição, mesmo sendo vicinal na nomenclatura foram classificadas como estaduais. Ainda devido à hierarquia da jurisdição as rodovias estaduais não pavimentadas foram classificadas como estaduais.

A Figura 4 demonstra um exemplo de correção: o OSM não apresentava informação sobre nome da estrada, sendo classificada a priori como uma estrada municipal/vicinal. Porém, a base do IBGE indica se tratar de uma rodovia estadual (ES-450) e com isso a classificação do OSM foi alterada para estadual. É possível notar também a diferença de escala, em que a base contínua do IBGE, de 1:250.000, esta deslocada em relação a imagem enquanto o OSM, nesse trecho, não necessitou de correções vetoriais. Com as rodovias federais e estaduais validadas, as outras foram enquadradas como estradas municipais e vicinais.

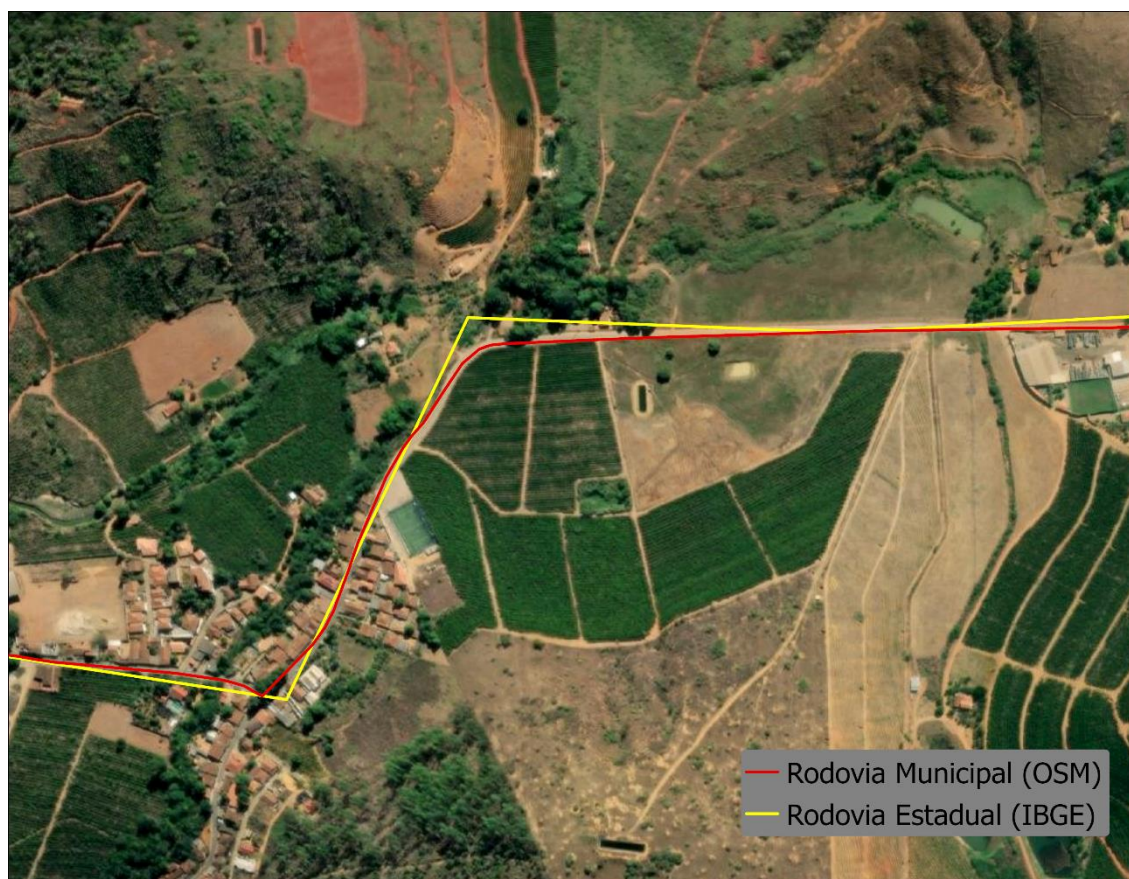


Figura 4 - Correção do OSM

5.2.2. Ferrovias

Assim como nas rodovias a base geográfica referente às ferrovias foi produzida a partir do mapeamento aberto do Open Street Maps (OSM). A validação das ferrovias foi feita base nos dados do IBGE e Ministério dos Transportes, detalhados na Tabela 9.

Tabela 9 - Bases cartográficas de apoio utilizadas para o mapeamento das ferrovias

Base	Ano	Fonte
Ferrovia_fer_trecho_feroviario_l	2023	IBGE - Base Contínua
ferrovias_osm_Brasil_2024	2024	OSM
BaseFerro	2024	Ministério dos Transportes

A Tabela 10 apresenta os atributos presente no Open Street Map. Os trechos de ferrovias existentes em túneis foram excluídos para não delimitarem áreas de servidão administrativas equivocadas, essa exclusão foi feita a partir da identificação desses trechos pelo do atributo tunnel, que foram verificados através de interpretação de imagens.

Tabela 10 - Atributos Open Street Map

Classe	Descrição
<i>fclass</i>	classes de ferrovias, metrô etc.
<i>name</i>	nome da ferrovia
<i>layer</i>	indica a posição vertical entre feições sobrepostas
<i>bridge</i>	Ponte
<i>tunnel</i>	Túnel

O atributo *fclass* detalhado na Tabela 11 contém as informações sobre o tipo de ferrovias sendo mantido para o mapeamento apenas as ferrovias do tipo rail, subway e ligthrail.

Tabela 11 - Detalhamento do atributo fclass

Classe	Manter	Descrição
rail	Sim	Trens de passageiros ou de carga de grande porte na bitola padrão do país ou estado.
subway	Sim	Metrô / trânsito rápido.
light_rail	Sim	Um sistema de bonde de alto padrão, normalmente em seu próprio direito de passagem com sinalização dedicada, mas pode compartilhar estradas com carros ("street running"), especialmente em áreas densas, urbanas / centro.
miniature_railway	Não	Trens menores, muitas vezes em uma escala precisa de trilhos de "tamanho regular" (como "escala 1/4").
tram	Não	Sistemas de trilhos de bonde com uma/duas carruagens, geralmente veículos de quatro rodas, muitas vezes rodando na rua.
narrow_gauge	Não	Trens de passageiros ou de carga de bitola estreita, muitas vezes rotas turísticas/cênicas. Em algumas regiões, os caminhos-de-ferro de bitola estreita são utilizados para o serviço de comboios de passageiros ou de mercadorias de grande dimensão
monorail	Não	Ferrovia com apenas um único trilho, muitas vezes no centro da cidade e acima do nível da rua.
funicular	Não	Ferrovias inclinadas movidas a cabo.

Ressalta-se que as ferrovias presentes na base de dados do IBGE e/ou no Ministério dos Transportes que não constavam no OSM foram vetorizadas e adicionadas ao mapeamento, de acordo com o rigor da escala de trabalho de 1:10.000.

5.2.3. Dutovias

As dutovias foram mapeadas tendo como referência as bases disponíveis do IBGE e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), detalhadas na Tabela 12, e foram verificadas e adequadas à escala do mapeamento com base nas imagens de referência. Trechos de dutovias inexistentes, classificadas como “previstas” ou “autorizadas”, porém não construídos foram excluídas do mapeamento.

Tabela 12 - Bases cartográficas de apoio utilizadas para o mapeamento das dutovias

Base	Ano	Fonte
Duto_dut_trecho_duto_l	2023	IBGE - Base Contínua
Dutos_Gasodutos_de_distribuição	2022	EPE - Empresa de Pesquisa Energética
Dutos_Gasodutos_de transporte	2022	EPE - Empresa de Pesquisa Energética
Dutos_Dutos_de escoamento	2022	EPE - Empresa de Pesquisa Energética
Dutos_Dutos_PIO	2022	EPE - Empresa de Pesquisa Energética

5.2.4. Faixas de largura adotadas na delimitação das faixas de servidão administrativa do sistema viário

Após o tratamento e validação de todas as bases de dados cartográficas, a espacialização das faixas de servidão administrativa foi produzido através dos atributos contidos em suas respectivas categorias. A largura aplicada para cada feição foi realizada conforme a Tabela 13, definida conforme critérios previamente estabelecidos pelo Serviço Florestal Brasileiro.

Tabela 13 - Faixas de largura adotadas para cada classe de servidão administrativa do sistema viário

Tema		Largura da Servidão Administrativa para cada lado (metros)	Largura da Servidão Administrativa total (metros)
Rodovia	Federal	20 (faixa de domínio) + 15 (área non aedificandi)	70
	Estadual	20 (faixa de domínio) + 15 (área non aedificandi)	70
	Vicinal/não pavimentada/municipal	10 (faixa de domínio) + 15 (área non aedificandi)	50
Ferrovia		40 (faixa de domínio) + 15 (área non aedificandi)	110
Dutovia		10	20

Finalmente, o mapeamento do IBGE de áreas densamente edificadas foi utilizado para eliminar áreas de servidão administrativas geradas em áreas urbanas. Polígonos com área menor do que 0,3ha foram excluídos.

Considerações finais

A fim de atender a capacidade de processamento estabelecida pela plataforma do SICAR, e obedecendo orientações técnicas fornecidas pelo Serviço Florestal Brasileiro, todas as feições poligonais com mais de 5.000 vértices foram segmentadas em partes menores, respeitando esse limite. Em atendimento à Nota Técnica, os dados vetoriais de até 2GB foram entregues em formato *shapefile*, e aqueles que excederam este tamanho, em formato *geodatabase*.