

Artigo de Pesquisa

Geologia de Sapiranga/RS em escala 1:25.000: subsídios para a elaboração do Plano Diretor Ambiental municipal

Geology of Sapiranga/RS at 1:25,000 scale: subsidies for the preparation of the town's Environmental Master Plan

Rodrigo Chaves Ramos¹ 

¹Secretaria de Meio Ambiente e Preservação Ecológica, Prefeitura Municipal de Sapiranga/RS-Brasil.
E-mail: geologia.rcr@gmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta uma caracterização em semidetalhe da geologia de Sapiranga/RS, via compilação bibliográfica, mapeamento em campo e geoprocessamento, com o objetivo de auxiliar o município na elaboração de seu Plano Diretor Ambiental. Os resultados mostram que Sapiranga está situada sobre arenitos (Fm. Piramboia e Botucatu) e vulcanitos (Fm. Serra Geral) da Província Paraná e seus produtos de alteração, respectivamente, argissolos (onde são encontrados icnofósseis da Megafauna Pleistocênica) e nitossolos, além de sedimentos fluviais inconsolidados. A metade sul do território é plana a suave ondulada, predominando acumulações coluviais. Sua metade norte apresentando diversas classes de relevo, com predomínio de dissecções fluviais, onde ao menos 15,81 km² estão em área de risco geológico. A hidrografia é complexa, drenada por duas bacias hidrográficas principais (rios Caí e dos Sinos), com uma rede de drenagem de 309,54 km e densidade de 2,25 km/km². Inundações em período de retorno de 3 anos afetam 4,9% do território municipal. Os novos dados obtidos, integrados com os compilados, irão auxiliar o município de Sapiranga para o melhor aproveitamento do solo, ordenamento territorial, preservação ambiental, e prevenção de riscos naturais.

Palavras-chave: Planejamento territorial; Mapeamento; Meio Ambiente.

Abstract: This work presents a semi-detailed characterization of the geology of the town of Sapiranga (RS, Brazil), using bibliographic compilation, field mapping and geoprocessing, aiming to assist the municipality in preparing its Environmental Master Plan, given its lack of basic geoenvironmental data. The results show that Sapiranga is located on sandstones (Piramboia and Botucatu Fm.) and volcanites (Serra Geral Fm.) of the Paraná Province and their alteration products, respectively, clay soils (where ichnofossils of Pleistocene Megafauna are found) and nitosols, in addition to unconsolidated fluvial sediments. The southern half of the town is flat to gently sloping, with a predominance of colluvial accumulations. Its northern half shows all landform classes, predominantly of fluvial dissections, where at least 15.81 km² are in geological danger zones. The town's hydrography is complex, drained by two main river basins (Caí and Sinos rivers), with a drainage network of 309.54 km and a drainage density of 2.25 km/km². Three-year floods affect at

least 4.9% of the municipal territory. The new data, integrated with previously published data, will help the municipality to improve the decision-making processes regarding land use, territorial planning, environmental preservation, and prevention of natural risks.

Keywords: Spatial planning; Mapping; Environment.

1 Introdução

O Plano Diretor Ambiental representa, para um município, um instrumento de planejamento com o objetivo de oferecer diretrizes para o uso e ocupação do solo e aproveitamento dos recursos naturais de forma racional, levando em consideração os potenciais e as fragilidades do ambiente natural (Rosa, 2018). Nesse sentido, é fundamental o conhecimento sobre as limitações e potencialidades dos meios biótico e abiótico, pois os mesmos servirão de guia para o ordenamento territorial urbano e rural de maneira equilibrada e sustentável (Campos & Chassot, 2000). Dentro desse contexto, entende-se por meio abiótico o Meio Físico, que compreende os elementos não vivos do ambiente natural, ou seja, os elementos físicos, químicos e geológicos.

O município de Sapiranga, situado no extremo norte da Região Metropolitana de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul, é um município onde, recentemente, significativos avanços foram realizados na área ambiental. Em 2019 foi criada a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Preservação Ecológica por meio da promulgação da Lei Municipal nº 6.408/2019. Em 2021 a municipalidade promulgou a Lei Municipal nº 6706 que "altera, atualiza e consolida a legislação que dispõe sobre a Política Municipal do Meio Ambiente, sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo municipal para apuração destas infrações e dá outras providências". Recentemente, em novembro de 2023, a municipalidade publicou o Plano de Manejo da sua Unidade de Conservação municipal, denominada Área de Relevante Interesse Ecológico do Morro Ferrabraz, que engloba 43% do território sapiranguense.

Atualmente, o município deu início à elaboração de um Plano Diretor Ambiental específico. Entretanto, o território de Sapiranga não possui, até o momento, mapeamentos em escala adequada para detalhamentos quanto a seus aspectos bióticos e abióticos. Quanto aos aspectos abióticos, inexistem até o presente momento mapas temáticos referentes a questões tais como litologias, geomorfologia, pedologia, recursos hídricos e áreas de perigo geológico e hidrológico, requisitos fundamentais para o melhor aproveitamento do solo, ordenamento territorial, preservação ambiental, e prevenção de riscos à população urbana e rural.

A partir de compilação bibliográfica, coleta de dados em campo e geoprocessamento, o presente trabalho apresenta a caracterização básica e sucinta dos aspectos geológicos do território sapiranguense, em escala 1:25.000, englobando os aspectos geoambientais mencionados acima. A compilação de dados geoambientais e as novas informações produzidas têm o objetivo de fornecer subsídios para a elaboração do Plano Diretor Ambiental do município.

2 Área de Estudo

O município de Sapiranga está localizado no extremo norte da Região Metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, distante 60 km da capital Porto Alegre. Limita-se a norte pelo município de Morro Reuter, a leste pelos municípios de Araricá e Nova Hartz, a sul pelos municípios de Taquara e Novo Hamburgo, e a oeste

pelos municípios de Campo Bom e Dois Irmãos. A área de estudo corresponde à totalidade do território municipal (Fig. 1), que compreende 137,2 km².

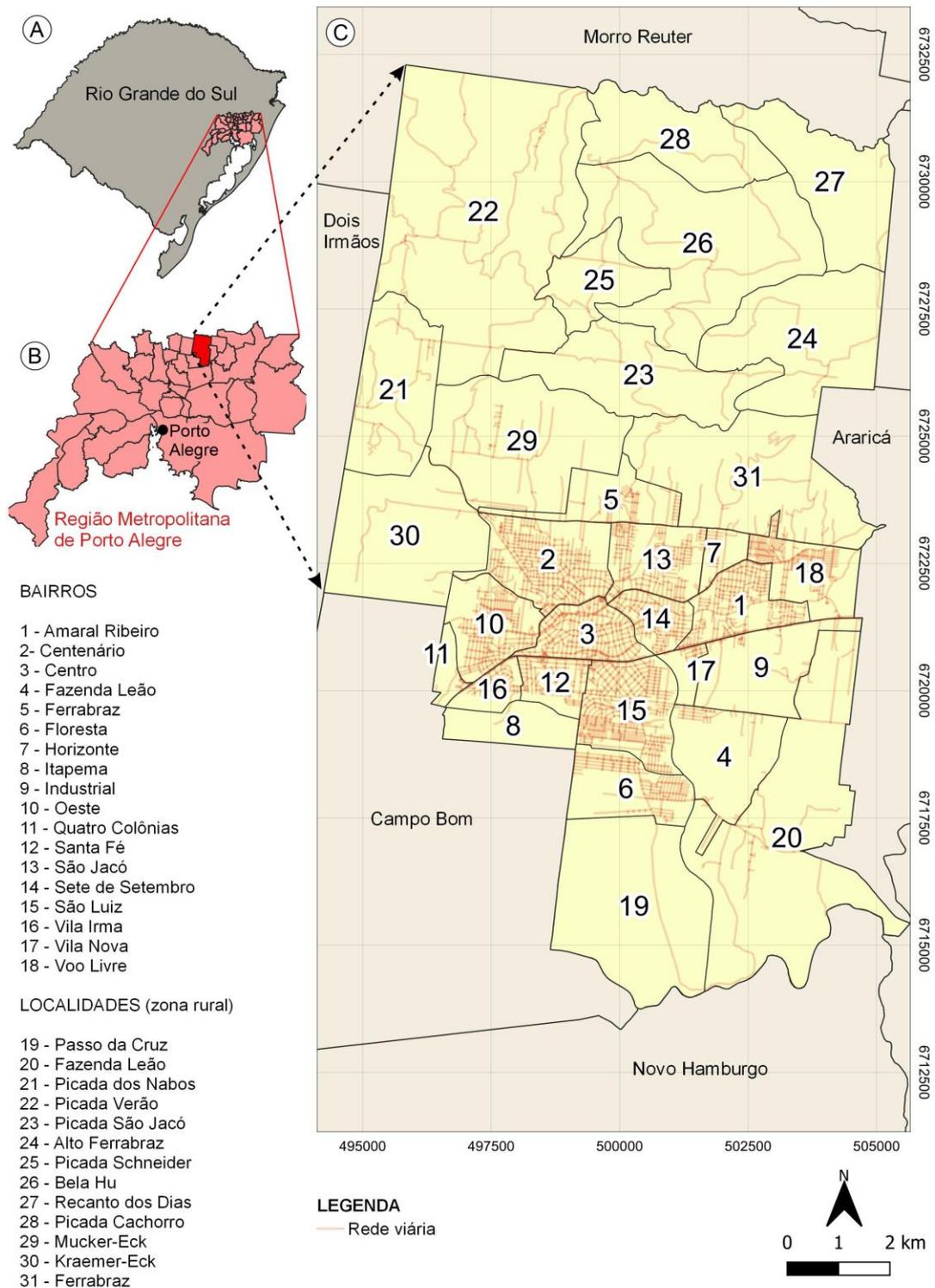


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000. A) Localização da Região Metropolitana de Porto Alegre dentro do estado do Rio Grande do Sul; B) Região Metropolitana de Porto Alegre, destacando o município de Sapiiranga em vermelho; C) Bairros e localidades rurais do Município de Sapiiranga.

Figure 1. Location map of the study area. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000. A) Location of the Metropolitan Region of Porto Alegre in the Rio Grande do Sul State, Brazil; B) Metropolitan Region of Porto Alegre, showing the town of Sapiiranga in red; C) Urban and rural districts of the town of Sapiiranga.

O território do município está situado no Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas, na interface entre a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias (IBGE, 2003a; 2003b). Nessa região predominam arenitos e vulcanitos da Província Paraná, vinculada à evolução do paleocontinente Gondwana durante o final do Paleozoico e Mesozoico. Essa evolução está relacionada ao preenchimento sedimentar da Bacia do Paraná e ao vulcanismo vinculado à fragmentação do mencionado paleocontinente, dando origem ao Oceano Atlântico Sul e à separação dos atuais continentes da África e América do Sul (Marques & Ernesto, 2004; Milani, 2004).

O município de Sapiranga pertence à Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba. Dentro dessa Região Hidrográfica, a área do município é drenada por duas bacias hidrográficas principais: Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, com 82,8 km², correspondendo a 60% da área total do município, e Bacia Hidrográfica do Rio Caí, com 54,4 km², correspondendo a 40% da área total do município.

3 Materiais e Métodos

Para os mapeamentos em escala 1:25.000 da área total do município de Sapiranga e elaboração dos produtos cartográficos, foram utilizadas como base, as cartas topográficas em escala 1:25.000 da Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais (IEDE, 2022), com isoípsas com equidistância de 10 m. Foram utilizadas as folhas Nova Hartz (MI-2971-1-NO, SH-22-X-C-IV-1-NO), Dois Irmãos (MI-2970-2-NE, SH-22-V-D-VI-2-NE), Novo Hamburgo (MI-2970-2-SE, SH-22-V-D-VI-2-SE), e Sapiranga (MI-2971-1-SO, SH-22-X-C-IV-1-SO). Em campo, foram visitados 100 pontos de controle onde foram coletados dados compatíveis com os temas apresentados neste trabalho. As coordenadas UTM (*datum* SIRGAS 2000) e a altitude dos pontos de controle foram coletadas com GPS portátil Garmin, modelo etrex 20x.

3.1 Litologias e lineamentos estruturais

Para a caracterização litológica da área de estudo foram utilizados, como base, os dados regionais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com o auxílio dos mapas em escala 1:750.000 do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2007), mapas em escala 1:250.000 das folhas Gravataí SH.22-X-C (IBGE, 2003c) e Caxias do Sul SH.22-V-D (IBGE, 2003d), e mapa em escala 1:100.000 da Folha Gravataí SH.22-X-C-V (CPRM, 2008). A nomenclatura utilizada para as unidades litológicas, bem como as suas idades, segue a proposta por CPRM (2007). A partir da bibliografia, foram coletados dados em campo, compatíveis com a escala adotada.

Para o levantamento de lineamentos estruturais da área de estudo, compatível com a escala adotada, foi utilizada como base a metodologia apresentada em Bricalli (2011), a partir da técnica de extração automática de lineamentos estruturais. Para isso, primeiramente foi construído um Modelo Digital de Terreno (MDT) no programa QGIS 3.16, a partir da interpolação de pontos cotados e de isoípsas obtidos no catálogo de metadados de IEDE (2022). A interpolação foi realizada com o método da malha irregular triangulada, com o auxílio do algoritmo Interpolação TIN. A partir do MDT, foram geradas quatro imagens de relevo sombreado, com azimutes de insolação de 045°, 135°, 225°, e 315°, e altitude de insolação de 045°, utilizando o algoritmo Sombreamento.

As quatro imagens foram posteriormente processadas no programa Geomatica da PCI Geomatics, utilizando o algoritmo LINE. Os arquivos vetoriais resultantes das quatro

imagens foram exportados ao programa QGIS 3.16. As sobreposições de lineamentos, e também aqueles interpretados como ruído, foram desconsiderados. Os lineamentos considerados como válidos totalizaram 166.

3.2 Geomorfologia

Para a caracterização geomorfológica básica da área de estudo foram utilizadas as cartas geomorfológicas das folhas Gravataí SH.22-X-C (IBGE, 2003a) e Caxias do Sul SH.22-V-D (IBGE, 2003b), ambas em escala 1:250.000. Além disso, foram utilizadas as isoípsas de IEDE (2022), bem como dados levantados em campo. A nomenclatura e descrição utilizadas seguem a proposta pelas cartas mencionadas acima e pelo Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009).

A partir do MDT produzido neste trabalho (ver Seção 3.1), foi possível extrair informações referentes a declividades, fundamentais para o estudo do relevo. As declividades foram obtidas no programa QGIS 3.16 com o auxílio do algoritmo Declive, aplicado sobre a imagem matricial do MDT. Após, os dados foram reclassificados por classes, resultando em intervalos de declividades.

3.3 Pedologia

Para a caracterização pedológica básica da área de estudo foram utilizadas, como base, as cartas pedológicas em escala 1:250.000 das folhas Gravataí SH.22-X-C (IBGE, 2003e) e Caxias do Sul SH.22-V-D (IBGE, 2003f), as bases de dados do Programa Nacional de Solos do Brasil (PRONASOLOS, 2022) e o Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA, 2022), além das recomendações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

3.4 Recursos hídricos

Para o levantamento dos recursos hídricos da área de estudo foram utilizados, como base, os dados sobre recursos hídricos (cursos hídricos e massas d'água) em escala 1:25.000 obtidos no catálogo de metadados da IEDE (2022). Para os aquíferos, utilizou-se como base o Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul em escala 1:750.000 (CPRM, 2005) e o Relatório n° 03 do Plano de Bacia do Rio dos Sinos (COMITESINOS, 2013). A descrição das características estruturais, compartimentações e unidades hidroestratigráficas, seguiram a proposta por Machado (2005).

3.5 Aspectos climáticos

Para a caracterização dos parâmetros climáticos da área de estudo, foram utilizados como base, dados compilados de três fontes distintas. Para os parâmetros de pressão atmosférica, dias com precipitação, umidade relativa do ar, nebulosidade média, velocidade média dos ventos, e direção predominante dos ventos, foram compilados os registros históricos obtidos na estação meteorológica mais próxima, localizada no município de Campo Bom, referentes ao período de 01/01/1985 a 31/11/2013. Devido à altitude média da referida estação meteorológica, os dados não foram utilizados para estimar o clima da porção da área de estudo que está situada acima dos 120 m de altitude (Patamares da Serra Geral – ver Seção 4.2), mas apenas para o clima da região da porção abaixo de 120 m de altitude (Depressão Rio Jacuí – ver Seção 4.2).

Para os parâmetros de evapotranspiração real, foram obtidos dados junto ao aplicativo SSEBop-BR v 1.01 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020). Para isso, foi realizado o *download* de 313 imagens satelitais matriciais do Instituto Nacional de Meteorologia, com cobertura de nuvens < 15%, compreendendo o intervalo de tempo de 01/01/2000 a 31/12/2021. Essas imagens matriciais contêm informações diárias de evapotranspiração real, expressas em mm/dia, em pixels de resolução de 30 m. Após o *download*, as 313 imagens foram separadas em 12 grupos, correspondendo aos 12 meses do ano (janeiro = 33 imagens; fevereiro = 24 imagens; março = 33 imagens; abril = 25 imagens; maio = 20 imagens; junho = 24 imagens; julho = 26 imagens; agosto = 28 imagens; setembro = 23 imagens; outubro = 27 imagens; novembro = 24 imagens; dezembro = 25 imagens). As imagens matriciais foram então tratadas no programa QGIS 3.16 onde, para cada grupo, foi realizada a média aritmética da estimativa de evapotranspiração real diária, utilizando os valores de mínima e de máxima. Após, cada média foi multiplicada pelo número de dias de cada mês. O resultado final foi a estimativa de Evapotranspiração Real Mensal.

Para os parâmetros mensais de temperatura e precipitação pluviométrica, foram obtidos dados junto ao banco de dados do Grupo de Modelagem para Estudos de Biodiversidade, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para isso, foram obtidas imagens matriciais interpoladas para todo o território brasileiro, a partir dos arquivos originais do *World Climate Data*, que englobam o período de 1950 a 2000. Posteriormente, as imagens matriciais foram tratadas no QGIS 3.16, onde foi realizada a reprojeção para o *datum* SIRGAS 2000 e, posteriormente, o recorte para a região de interesse.

3.6 Perigo geológico

Para o mapeamento de áreas de perigo geológico, foi utilizada metodologia simplificada a partir de Pimentel *et al.* (2018). Conforme Pimentel *et al.* (2018), define-se por perigo a condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável em um intervalo de tempo, enquanto o risco é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade, havendo uma relação diretamente proporcional entre vulnerabilidade e risco.

Primeiramente foi realizada a delimitação das áreas críticas e de dispersão, a partir da análise de isoípsas obtidas em IEDE (2022), com equidistância de 10 m. Entende-se por área crítica aquela com maior probabilidade à deflagração de movimentos de massa. Já a área de dispersão é aquela sujeita à deposição do material mobilizado durante movimentos de massa (Pimentel *et al.*, 2018).

Para os deslizamentos planares, o primeiro critério para a seleção de áreas críticas e de dispersão foi a delimitação de setores com inclinação superior a 25°, com altura igual ou superior a 5 m entre a base e o topo da vertente (aqui denominadas de "A"). A partir dos topos das vertentes selecionadas, foram delimitadas áreas com altura de 10 m em direção à montante (aqui denominadas de "B"). A partir das bases das vertentes selecionadas, em direção à jusante, foram delimitadas áreas que equivalem à altura total da vertente, limitado ao máximo de 30 m (aqui denominadas de "C"). As áreas totais desses polígonos (A + B + C) foram consideradas como áreas críticas. Para as áreas de dispersão, foram delimitadas áreas à jusante, equivalentes ao dobro da altura total da vertente, limitado ao máximo de 50 m. Adicionalmente, neste trabalho foram delimitadas áreas de atenção, equivalentes a 10 m em direção à montante a partir do topo das áreas críticas.

Para as quedas de blocos, o primeiro critério para a seleção de áreas críticas e de dispersão foi a delimitação de setores com inclinação mínima de 50°, com afloramentos rochosos com amplitude mínima de 5 m. Para as áreas de dispersão foi estabelecido um único *buffer* com 30 m, simplificando a metodologia de Pimentel *et al.* (2018) devido à escala do presente trabalho. Devido à escala do presente trabalho, o mapa resultante apresentado na Figura 12 não discrimina entre deslizamentos planares e quedas de blocos. Ambas as classes de perigo são apresentadas no mesmo polígono.

4 Resultados e discussões

As subseções abaixo apresentam os resultados obtidos em campo, integrados com os dados obtidos em compilação bibliográfica. Os mapas temáticos apresentados nas subseções foram reduzidos para se adequarem ao presente trabalho. Os mapas em escala original 1:25.000 estarão disponíveis a partir da promulgação da Lei Municipal que regulamentará o Plano Diretor Ambiental de Saporanga.

4.1 Litologias

Na área de estudo ocorrem unidades das supersequências Gondwana I e III, parcialmente recobertas por sedimentos inconsolidados dos Depósitos de Sistemas Holocênicos (Fig. 2). As rochas da supersequência Gondwana I compreendem arenitos da Formação Piramboia (Permiano Superior). As rochas da supersequência Gondwana III compreendem arenitos da Formação Botucatu (Jurássico Superior a Cretáceo Inferior) e vulcanitos da Formação Serra Geral (Cretáceo Inferior).

Em Saporanga, os arenitos da Formação Piramboia são finos a médios, podendo ser observados apenas em cortes de taludes (Fig. 3A), devido ao elevado grau de intemperismo. Os cortes onde foram observados arenitos desta formação ocorrem entre altitudes de 20 e 55 m, na Zona Rural Sul e na Zona Urbana. A partir das altitudes de 55 m, em cortes de taludes, começam a ser observados arenitos menos argilosos e mais resistentes ao intemperismo, interpretados como pertencentes à Formação Botucatu. Dessa forma, o critério para diferenciação em campo desses arenitos foi a abundância de frações silto-argilosas, bem como a menor resistência ao intemperismo observada para os arenitos da Formação Piramboia.

A partir de altitudes de 90 a 100 m, na base da encosta que limita a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias (ver Seção 4.2), na porção central do município, ocorrem afloramentos de rocha sã de arenitos da Formação Botucatu (Fig. 3B). Esses arenitos são finos a grossos, com grãos bem arredondados, de alta esfericidade, sendo possível observar pacotes com estratificação cruzada. Os afloramentos da encosta são descontínuos, encobertos em grande parte pela vegetação arbórea e pelo solo orgânico. Quando aflorantes, as exposições possuem espessuras métricas e extensões laterais decamétricas.

A Formação Serra Geral é representada em Saporanga por unidades vulcânicas de duas fácies distintas, denominadas Fácies Gramado e Fácies Caxias. As rochas da Fácies Gramado, aqui denominadas genericamente de basaltos (Fig. 3C), podem ser observadas a partir da base da encosta mencionada no parágrafo anterior, entre altitudes de 100 e 500 m. Localmente, na localidade de Picada Verão (Zona Rural Norte), porção centro-oeste e noroeste do município, em altitudes entre 150 e 200 m, observam-se intercalações com espessuras métricas a decamétricas entre arenitos da Formação Botucatu e basaltos da Fácies Gramado. Entre a altitude de 250 e 280 m, em especial na localidade de Picada São Jacob (Zona Rural Norte), é comum a presença de horizontes vesiculares marcando topos de derrames.

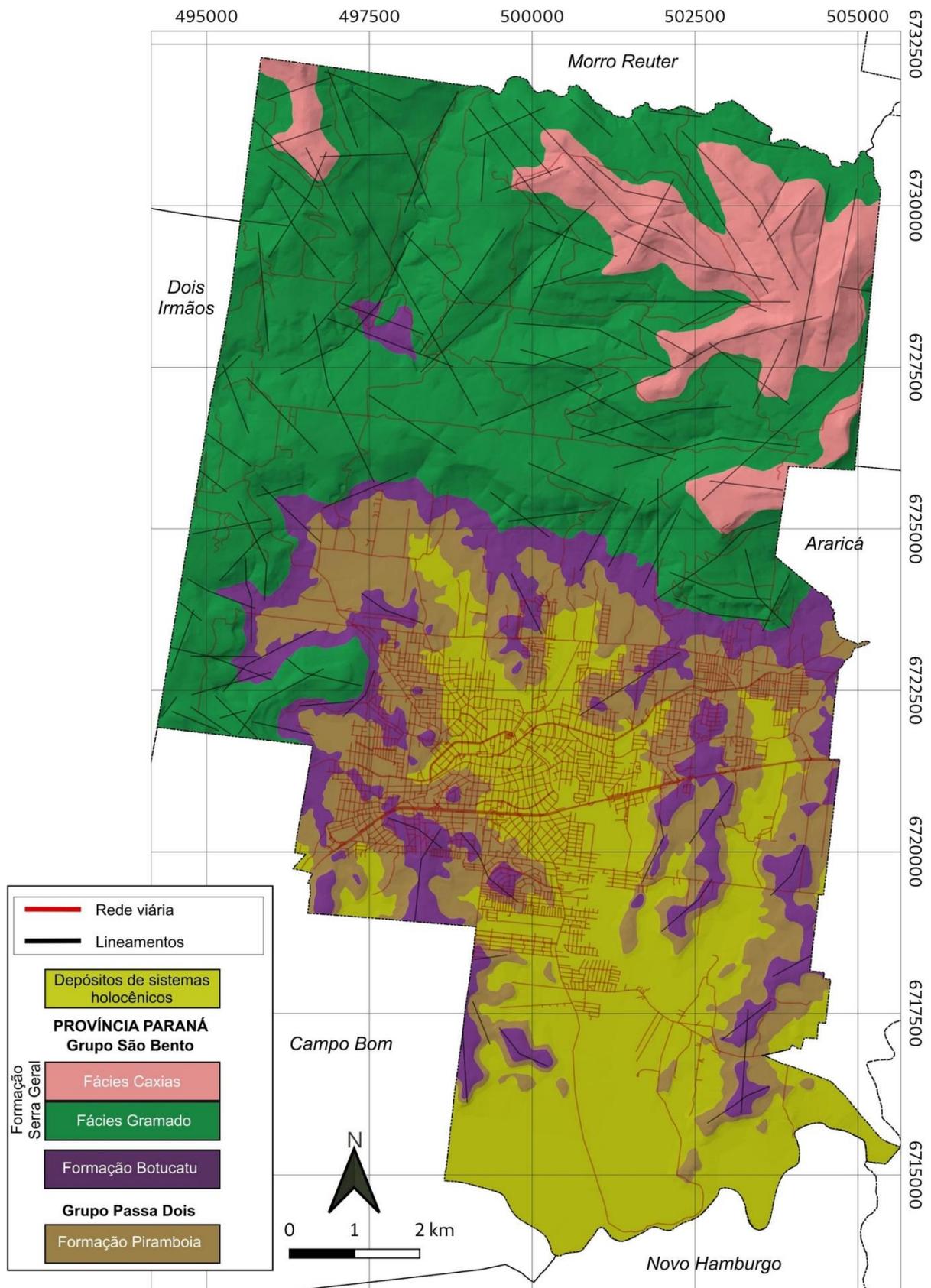


Figura 2. Mapa de litologias, lineamentos estruturais, e sedimentos inconsolidados do município de Sapiranga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000.
Figure 2. Map showing the lithologies, structural lineaments, and unconsolidated sediments which occur in the town of Sapiranga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000.



Figura 3. Fotografias das principais litologias de Saperanga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000. A) Arenitos da Formação Piramboia (marcados em amarelo) em um corte de talude (501936mE e 6719069mN, visada para SE); B) Encosta de arenito da Formação Botucatu (502310mE e 6723984mN, visada para NW); C) Pedreira desativada de basalto da Fácies Gramado da Formação Serra Geral (497066mE e 6725642mN, visada para W); D) Lajeado de dacitos da Fácies Caxias da Formação Serra Geral, no leito do Arroio Jacob (499021mE e 6731773mN, visada para NE); E) Sedimentos inconsolidados depositados no leito do Arroio Feitoria (498531mE e 6727714mN, visada para NE).

Figure 3. Photographs of the main lithologies in the town of Saperanga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000. A) Sandstones of the Piramboia Formation (marked in yellow) in a slope cut (501936mE and 6719069mN, looking SE); B) Escarpment of sandstone of the Botucatu Formation (502310mE and 6723984mN, looking NW); C) Deactivated quarry of basalt of the Gramado Facies, Serra Geral Formation (497066mE and 6725642mN, looking W); D) Outcrop of dacite of the Caxias Facies, Serra Geral Formation, in the bed of the Jacob stream (499021mE and 6731773mN, looking NE); E) Unconsolidated sediments deposited in the bed of the Feitoria stream (498531mE and 6727714mN, looking NE).

Em geral, a partir da altitude de 450 m, começam a ser observadas as rochas intermediárias a ácidas da Fácies Caxias, que aqui são genericamente chamadas de dacitos (Fig. 3D). Essas rochas apresentam granulação fina a média, localmente porfiríticas, e são menos melanocráticas em relação aos basaltos da Fácies Gramado, sendo este o principal critério para a sua diferenciação de campo neste trabalho. Na porção nordeste do município (Zona Rural Norte) são comuns os campos de matações e lajeados formados por esta litologia.

Ao longo das calhas e várzeas dos cursos d'água naturais que drenam o município, são encontrados os Depósitos de Sistemas Holocênicos, compostos por sedimentos inconsolidados. Na porção do município inserida na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (ver Seção 4.5.1) estão depositados, preferencialmente, os sedimentos arenosos a argilosos. Por outro lado, na porção inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Caí (ver Seção 4.5.2), predominam os depósitos de cascalho, oriundos da erosão das rochas vulcânicas das Fácies Gramado e Caxias da Formação Serra Geral (Fig. 3E).

Estruturalmente, a região de Saporanga está inserida em um contexto rúptil, relacionado à evolução intracratônica da Bacia do Paraná. Os lineamentos estruturais mapeados via geoprocessamento neste trabalho (ver Fig. 2) estão majoritariamente situados sobre os vulcanitos das fácies Gramado e Caxias, variando entre 500 m e 3.000 m de extensão, com direção preferencial N50-65°W e, secundariamente, N20-30°E. Essas 146 estruturas são compatíveis com as encontradas na literatura, interpretadas como estruturas vinculadas a zonas de fraqueza com direção preferencial NE e NW, e também a zonas de fraqueza E-W relacionadas à abertura do Oceano Atlântico Sul (Zalán *et al.*, 1991).

Foram, ainda, identificados 22 lineamentos sobre arenitos das formações Piramboia e Botucatu, nas porções central e sul do município. Esses lineamentos variam entre 500 e 2.000 m de extensão, com direção preferencial NE e, secundariamente, NW.

4.2 Geomorfologia

No que tange a geomorfologia, o município de Saporanga está situado no Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas, na interface entre as Regiões Geomorfológicas da Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias. Essas regiões geomorfológicas apresentam dinâmicas naturais distintas, devido às diferenças de intensidade dos processos erosivos e retrabalhamento do relevo.

A partir do MDT produzido neste trabalho (ver Seção 3.1), é possível observar que o relevo do município é complexo, com alta variação altimétrica, entre 8m na várzea do Rio dos Sinos, extremo sul do município, e 763 m na sua maior elevação, situada na porção nordeste do município (Fig. 4). A variação clinométrica do território sapiranguense também é alta, com declividades entre 0 % na várzea do Rio dos Sinos e superiores a 75 % na Zona Rural Norte (Fig. 5), compreendendo todas as classes de relevo da classificação de EMBRAPA (2018).

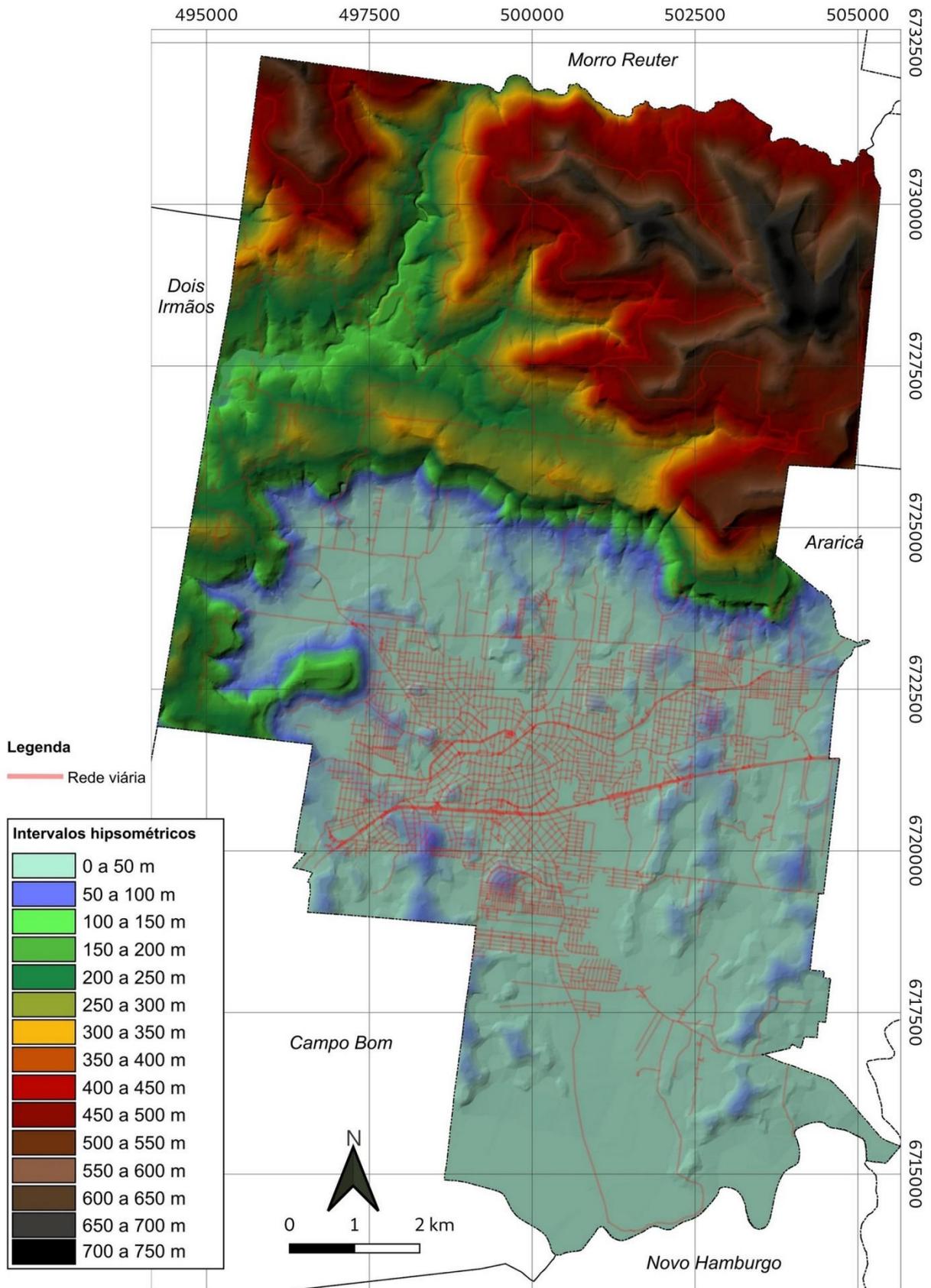


Figura 4. Mapa hipsométrico do município de Sapiranga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000.

Figure 4. Hypsometric map of the town of Sapiranga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000.

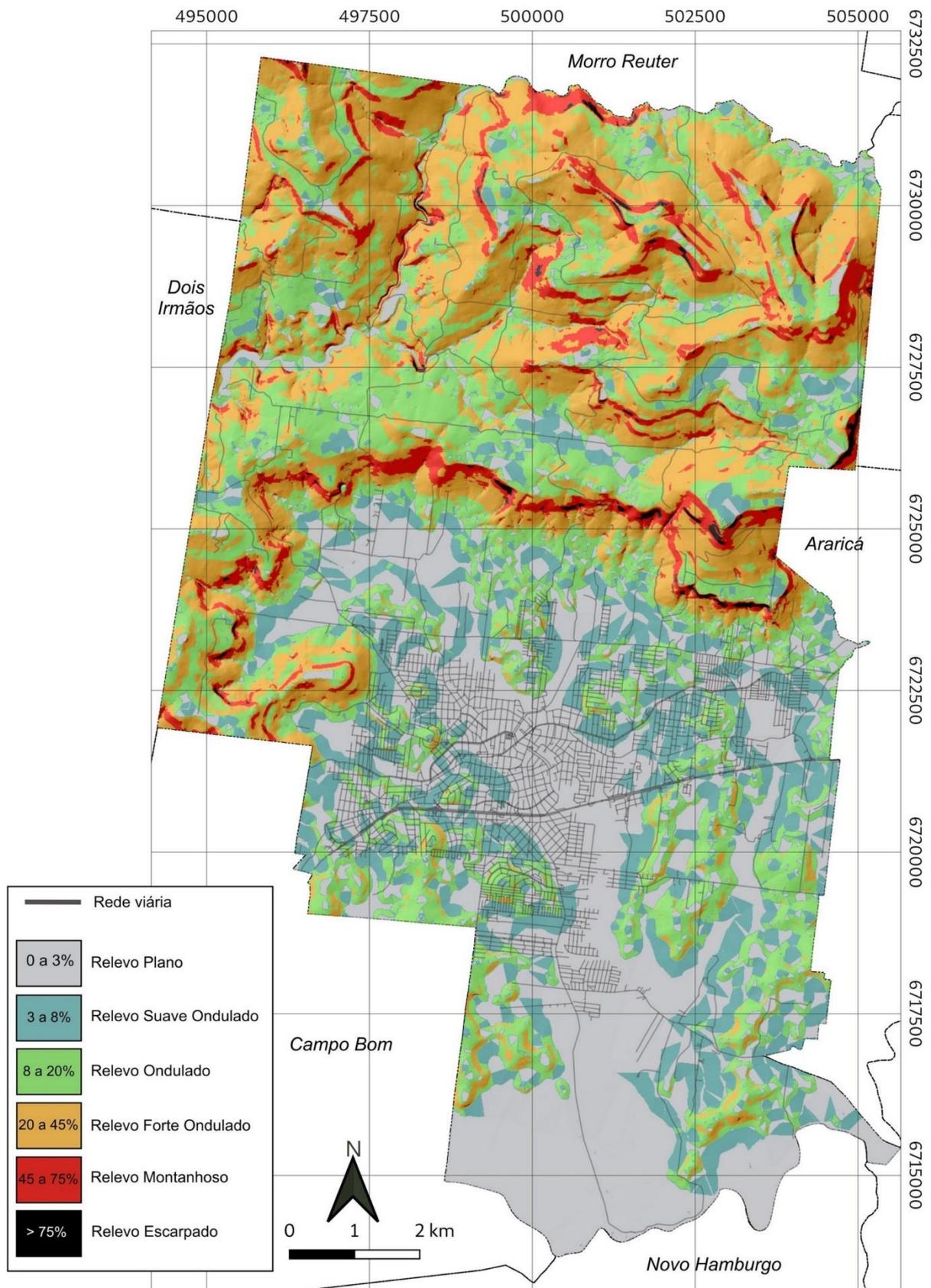


Figura 5. Mapa de declividades e relevos do município de Saperanga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000.

Figure 5. Slope and landform map of the town of Saperanga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000.

A porção do município situada na Depressão Central Gaúcha compreende as áreas com altitudes inferiores a 120 m, limitada entre o Rio dos Sinos (limite sul do município) e o início da encosta basáltica da Formação Serra Geral (porção central do município). Nesta Região Geomorfológica está situada a Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí. Predominam as classes de relevo plano (declividades entre 0 e 3%) e suave a ondulado (declividades entre 3 e 8%).

Dois principais modelados estão relacionados a esta Unidade Geomorfológica: Dissecações Fluviais Homogêneas e Acumulações Coluviais (Fig. 6). As Dissecações Fluviais Homogêneas estão relacionadas a uma densidade de drenagem média e a fracas incisões de aprofundamento. São caracterizadas por coxilhas de topo convexo, desenvolvidas sobre arenitos das formações Piramboia e Botucatu (ver Seção 4.1), com altitudes entre 65 e 120 m entre o limite sul do município e o início da encosta da Formação Serra Geral, na porção central do município (Fig. 7A). A predisposição à erosão deste modelado é forte. Já as Acumulações Coluviais são acumulações e terraços fluviais levemente inclinados, relacionados à rede de afluentes do Rio dos Sinos (Fig. 7B). A sua predisposição à erosão também é forte.

O restante da área, acima dos 120 m de altitude, situa-se na Região Geomorfológica do Planalto das Araucárias, na Unidade Geomorfológica Patamares da Serra Geral. Em Sapiranga, essa unidade corresponde ao empilhamento de derrames vulcânicos das fácies Gramado e Caxias, da Formação Serra Geral. Sua base se inicia na altitude média de 120 m, e seu topo corresponde aos morros de maior altitude, entre 560 e 775 m.

Na Unidade Geomorfológica Patamares da Serra Geral em Sapiranga as declividades são muito variáveis, resultado de um relevo assimétrico, com forte controle estrutural, onde predominam conjuntos de vales profundos e vertentes íngremes seguidas de um planalto que se inclina no sentido inverso. Em geral, o terço inferior das vertentes apresenta declividades entre 20 a 45 % (relevo forte ondulado), e o terço médio e superior apresenta declividades entre 45 e 75 % (relevo montanhoso). Localmente, o terço médio e superior apresentam declividades superiores a 75 % (relevo escarpado). Nesta Unidade Geomorfológica, os seguintes modelados podem ser diferenciados: Dissecações Fluviais Homogêneas I e II (Fig. 6).

As Dissecações Fluviais Homogêneas I estão relacionadas a uma densidade de drenagem média, além de fracas a médias incisões de aprofundamento, desenvolvidas sobre vulcanitos da fácies Gramado da Formação Serra Geral, entre as altitudes de 120 e 560 m (Fig. 7C). As formas de relevo, em geral, apresentam topos tabulares. A predisposição à erosão é forte. Já as Dissecações Fluviais Homogêneas II são relacionadas a uma densidade de drenagem fina e incisões de aprofundamento muito fracas a fracas, desenvolvidas sobre rochas vulcânicas da fácies Caxias da Formação Serra Geral, nos morros mais elevados entre 560 e 763 m de altitude (Fig. 7D). As formas de relevo, em geral, apresentam topos tabulares. A predisposição à erosão é média.

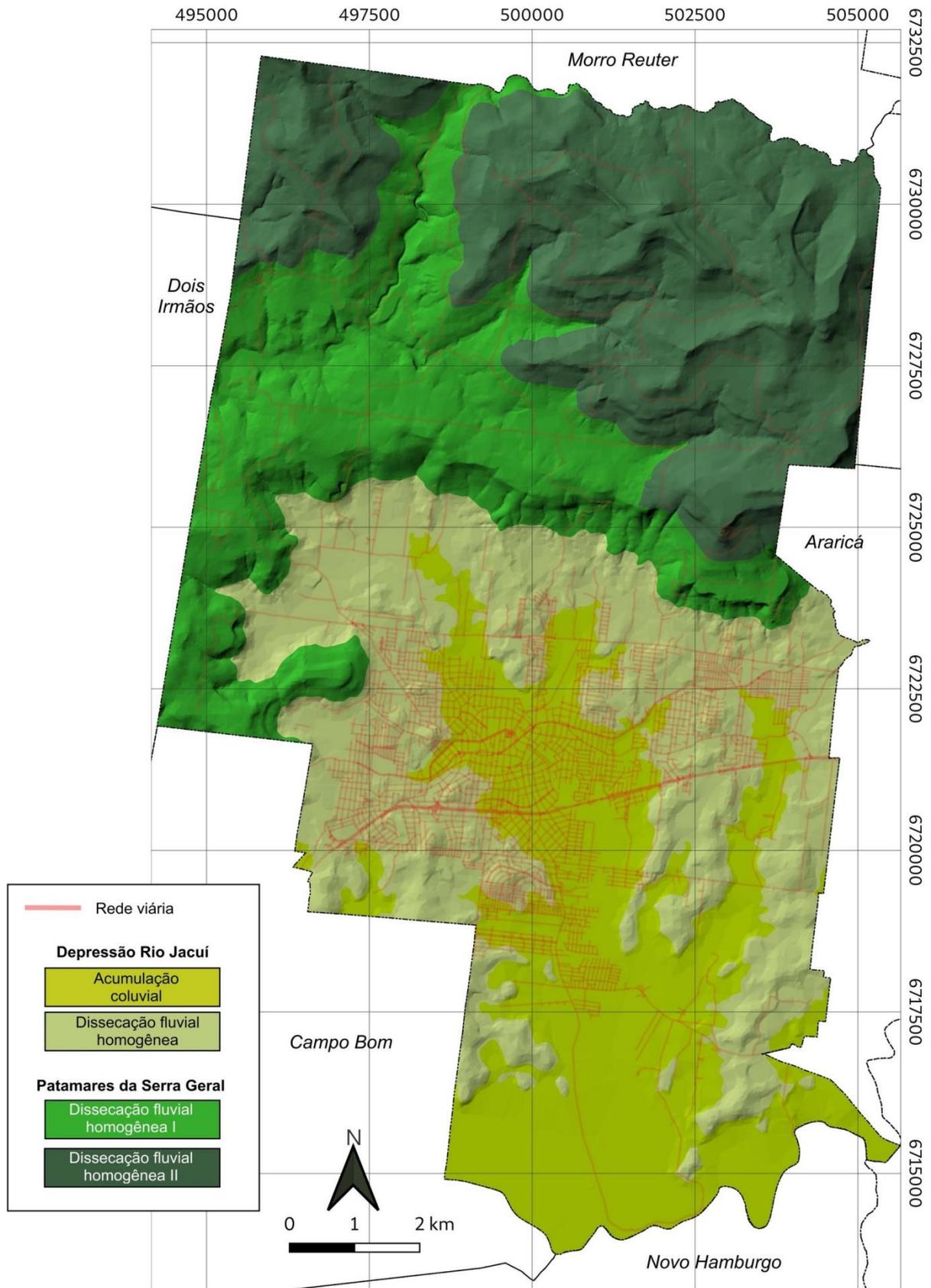


Figura 6. Mapa de modelados do município de Saperanga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000.

Figure 6. Landform pattern map of the town of Saperanga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000.



Figura 7. Fotografias das principais características do relevo do município de Sapiranga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000. A) Interface entre as Unidades Geomorfológicas Depressão Rio Jacuí (limite inferior da encosta basáltica) e Patamares da Serra Geral (a partir da encosta, em direção às altitudes superiores). A porção inferior da foto apresenta os modelados de dissecação fluvial homogênea, desenvolvidos sobre arenitos das formações Botucatu e Piramboia, onde está situada a Zona Urbana do município. Fotografado com *drone* a partir das coordenadas 501934mE e 6720753mN, com visada para NE; B) Acumulações coluviais (metade inferior da foto) desenvolvidas no sopé da encosta basáltica. Fotografado com *drone* a partir das coordenadas 501951mE e 6723540mN, com visada para NW; C) Forma típica dos morros constituídos por rochas vulcânicas da fácies Gramado (em primeiro plano na foto) e fácies Caxias (ao fundo, em segundo plano) da Formação Serra Geral, apresentando topos tabulares. Fotografado a partir das coordenadas 497040mE e 6725666mN, com visada para NE; D) Fotografia a partir da maior elevação da área de estudo (coordenadas 503855mE e 6728184mN), com visada para SW, onde é possível visualizar a expressiva quebra negativa de relevo em direção à Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí.

Figure 7. Photographs of the main landforms of the town of Sapiranga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000. A) Interface between the Depressão Rio Jacuí (lower limit of the basaltic escarpment) and Patamares da Serra Geral (from the escarpment towards the highest points) geomorphological units. The lower portion of the photograph shows the fluvial dissection patterns developed on sandstones of the Botucatu and Piramboia formations, in which the town's urban area lies. Photographed with a drone, from 501934mE and 6720753mN, looking NE; B) Colluvial accumulations (lower half of the photograph) developed at the foot of the basaltic escarpment. Photographed with a drone, from 501951mE and 6723540mN, looking NW; C) Typical landform of the hills developed from volcanites of the Gramado (foreground) and Caxias facies (background) of the Serra Geral Formation, showing tabular tops. Photographed from 497040mE and 6725666mN, looking NE; D) Photograph from the highest elevation of the study area (503855mE and 6728184mN), looking SW, where it is possible to observe the significant relief change towards the Depressão Rio Jacuí geomorphological unit.

Os modelados da Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí representam o resultado da retirada de material detrítico das áreas mais elevadas, os quais são depositados nas planícies e áreas planas delimitadas por aclives, onde os processos deposicionais superam os erosionais (e.g., Jatobá & Lins, 2008). As incisões e as

dissecações fluviais causadas pela rede hidrográfica do Arroio Sapiranga e seus afluentes rebaixaram com mais intensidade o relevo da porção central do município, que coincide com a área onde flui o leito principal do referido arroio. As porções onde a erosão foi menos intensa, sobre arenitos da Formação Botucatu, resultaram em coxilhas alongadas na direção N-S (bairros Santa Fé, Itapema, Industrial, Ferrabraz, na Zona Urbana, e localidades de Fazenda Leão – Zona Rural Sul – e Mucker Eck – Zona Rural Norte), compatíveis com o alinhamento principal das redes de drenagem (ver Seção 4.5).

Já a evolução do relevo dos Patamares da Serra Geral representa o ataque da erosão diferencial, resultado da erosão lateral por cursos d'água naturais saturados pela presença de seixos de calibre grande a médio, e recuo de vertentes pela ação das intempéries, em uma dinâmica que favorece os movimentos gravitacionais de massa (e.g., Jatobá & Lins, 2008). O rebaixamento da erosão na porção norte do município ocorreu com mais intensidade em setores que coincidem com os pontos mais altos dos leitos dos arroios Feitoria (705 m) e Jacob (260 m), na Zona Rural Norte. A partir da confluência de ambos os arroios, a incisão alcança as menores cotas (130 m), no limite com o município de Dois Irmãos.

4.3 Pedologia

No município de Sapiranga ocorrem quatro principais classes de solo autóctones: Argissolos Vermelho-Amarelos, Nitossolos Vermelhos, Cambissolos Húmicos e Flúvicos. Esses solos são diretamente relacionados às rochas existentes no substrato, mencionadas anteriormente na Seção 4.1. A distribuição espacial desses solos é apresentada na Figura 8.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (Fig. 3A e 9A) são relacionados aos arenitos das Formações Piramboia e Botucatu. Em campo, foi verificado que esses argissolos apresentam textura areno-argilosa, arenosa-média e média-argilosa, profundidade variável (profunda a pouco profunda) e drenagem também variável (bem drenados a mal drenados). Foi observada elevada susceptibilidade à erosão, na forma de ravinamentos e voçorocas. Nas áreas abaciadas, baixios e depressões, é comum a presença de variedade hidromórfica devido aos elevados teores de argila e má drenagem nas estações de maior pluviosidade.

Os Nitossolos Vermelhos são relacionados aos basaltos da Fácies Gramado. Esses nitossolos apresentam textura muito argilosa, profundidades médias de 2 m, e elevados teores de Fe_2O_3 que lhes conferem característica cor avermelhada (Fig. 9B). Apresentam boa fertilidade, evidenciada pela densa vegetação de grande porte situada sobre as regiões basálticas. A susceptibilidade à erosão é elevada, devido a estarem localizados em relevos ondulados a fortemente ondulados. Como inclusão, foram encontrados neossolos litólicos na região de encostas, com textura argilosa cascalhenta.

Os Cambissolos Húmicos são relacionados aos dacitos da Fácies Caxias. Apresentam textura argilosa e pouca espessura, em média de 50 cm (Fig. 9C). Como inclusão, ocorrem neossolos litólicos, com textura argilosa. É comum a presença de afloramentos rochosos do tipo campo de matações, onde é possível identificar a rocha-matriz.

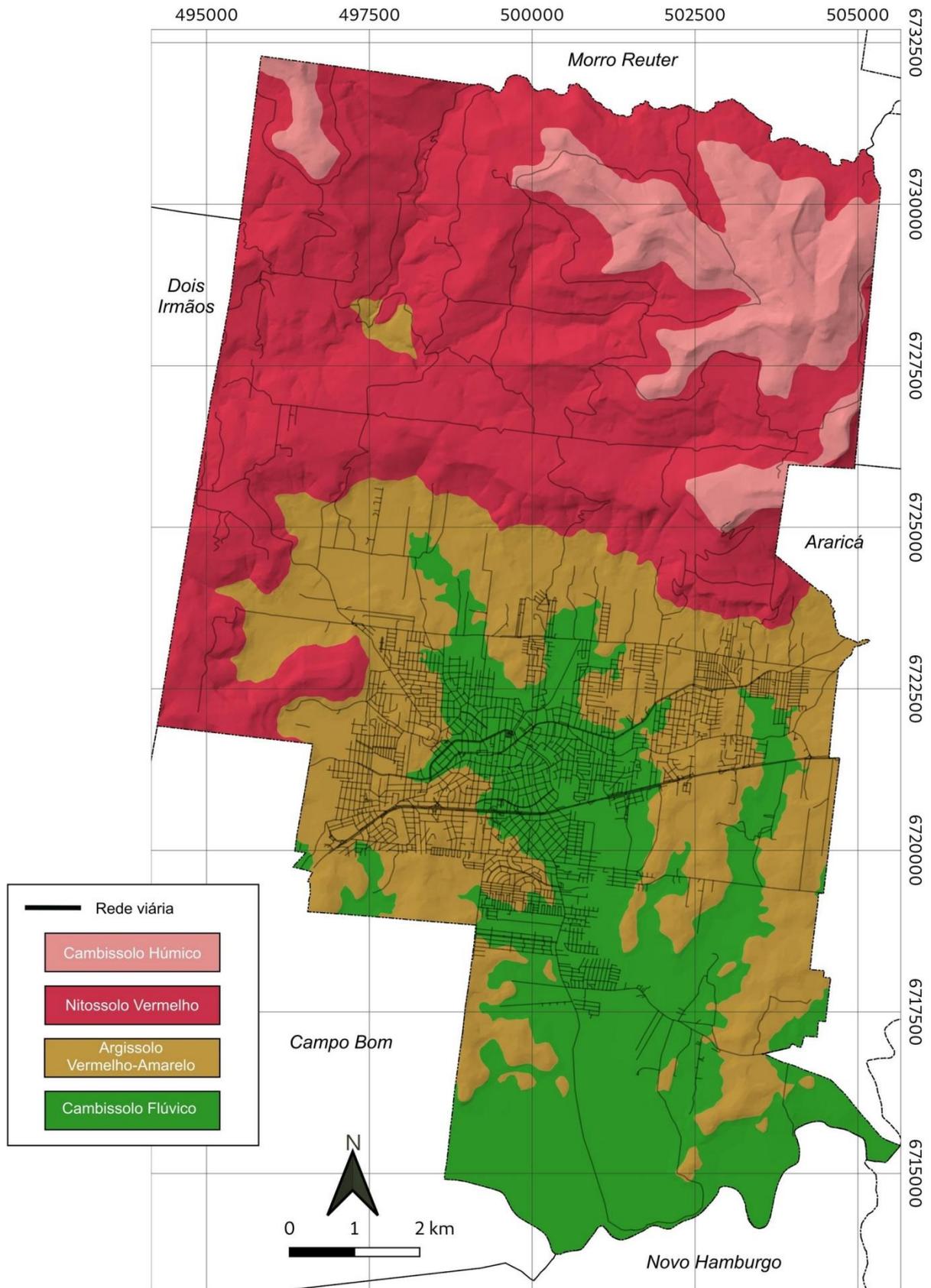


Figura 8. Mapa das principais classes de solo do município de Sapiranga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000.

Figure 8. Map showing the main soil classes of the town of Sapiranga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000.

Os Cambissolos Flúvicos são relacionados às áreas planas e abaciadas situadas ao longo das várzeas de cursos hídricos naturais da Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí (ver Seção 4.2). Apresentam textura predominantemente argilosa, espessura e drenagem muito variável (Fig. 9D). Há presença de sedimentos grossos a muito grossos nas proximidades da encosta basáltica dos Patamares da Serra Geral (ver Seção 4.2).

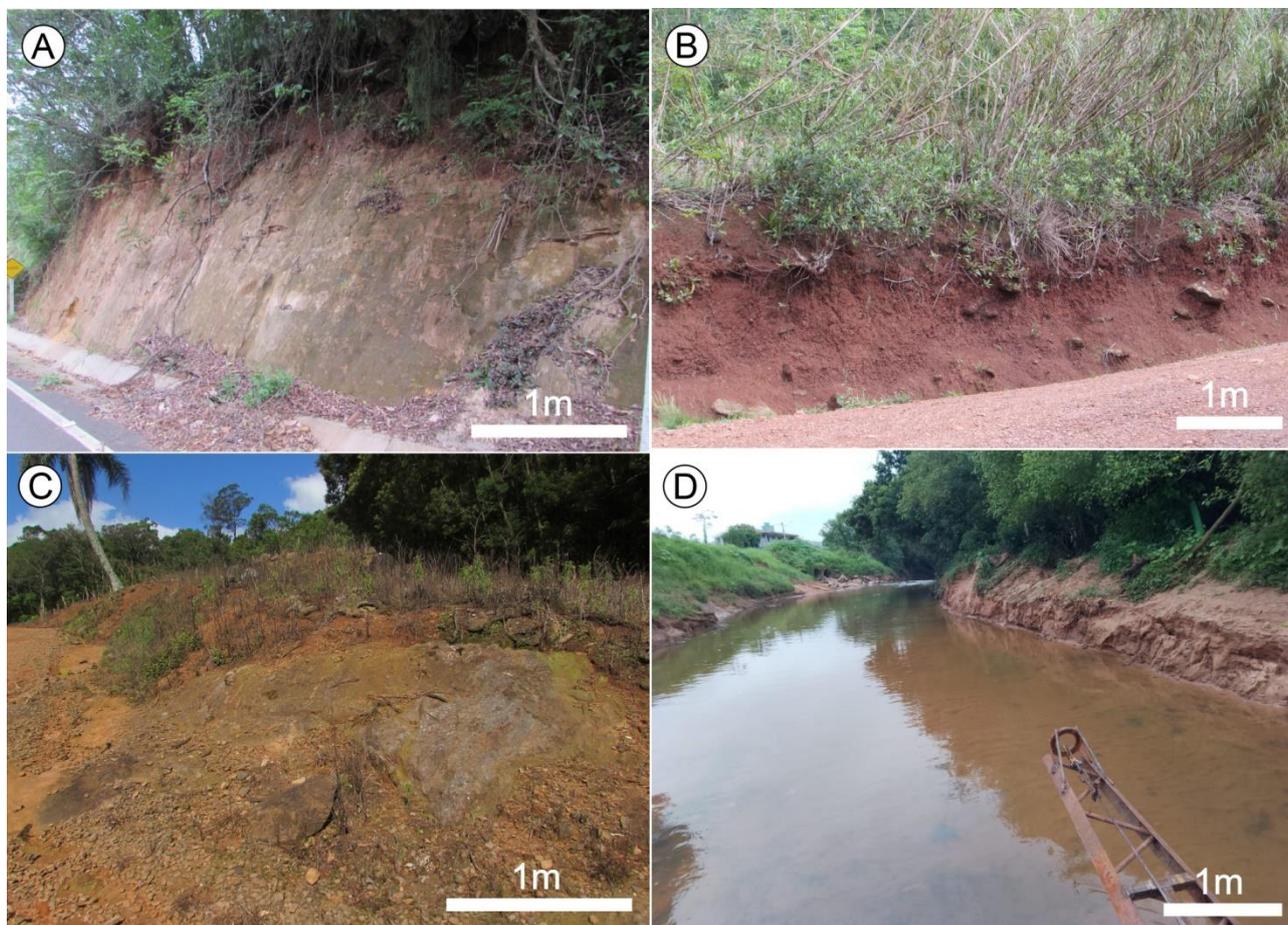


Figura 9. Fotografias dos principais tipos de solo que ocorrem em Sapiranga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000. A) Corte de estrada mostrando um perfil de argissolo desenvolvido a partir de arenito intertrápico da Formação Botucatu (497335mE e 6728173mN, visada para SW); B) Perfil de nitossolo vermelho em corte de estrada desenvolvido a partir de vulcanito da Fácies Gramado da Formação Serra Geral (504665mE e 6726834mN, visada para SE); C) Delgada camada de cambissolo húmico desenvolvida sobre dacito alterado da Fácies Caxias da Formação Serra Geral (499776mE e 6730404mN, visada para SE); D) Margens de um trecho do Arroio Sapiranga, constituídas por cambissolo flúvico (500475mE e 6720880mN, visada para S).

Figure 9. Photographs of the main classes of soil which occur in the town of Sapiranga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000. A) Road cut showing a clay soil profile, developed from a trapped sandstone of the Botucatu Formation (497335mE and 6728173mN, looking SW); B) Road cut showing a red nitosol profile, developed from volcanite of the Gramado Facies of the Serra Geral Formation (504665mE and 6726834mN, looking SE); C) Thin layer of cambisol developed from altered dacite of the Caxias Facies of the Serra Geral Formation (499776mE and 6730404mN, looking SE); D) Banks of a sector of the Sapiranga stream, constituted by fluvic cambisol (500475mE and 6720880mN, looking S).

4.4 Paleontologia

No que tange a Paleontologia, a Região Metropolitana de Porto Alegre apresenta condições litológicas e geomorfológicas propícias para a preservação de icnofósseis tais como paleotocas e crotovinas, estruturas relacionadas à Megafauna do Pleistoceno

(Frank *et al.*, 2023). Em Sapiranga e municípios adjacentes (*e.g.*, Estância Velha, Novo Hamburgo, Campo Bom, Ivoti, Nova Hartz, Taquara, São Leopoldo, Igrejinha e Santa Maria do Herval), dezenas de paleotocas e crotovinas tem sido estudadas desde 2008 (*e.g.*, Frank *et al.*, 2008a, 2008b, Frank & Buchmann, 2009) pelo Projeto Paleotocas, em uma iniciativa entre pesquisadores da Universidade Estadual Paulista, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Fundação Universidade de Rio Grande, Universidade Federal do Pampa, Universidade de São Paulo e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, além de apoiadores e interessados sem vínculo institucional.

Em Sapiranga, o Projeto Paleotocas identificou quatro sítios paleontológicos, totalizando 6 paleotocas e 116 crotovinas (Frank *et al.*, 2023). Durante a campanha de campo realizada para o presente trabalho, o sítio denominado Sapiranga 1 (coordenadas UTM 22J 499113 mE e 6717780 mN) foi visitado (Fig. 10). Os demais sítios não foram acessados devido a dificuldades ocasionadas pela vegetação e/ou por alagamento do sítio.



Figura 10. Paleotocas do sítio paleontológico denominado Sapiranga 1. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000, 499113mE e 6717780mN. Todas as fotografias com visada para N. A) Paleotoca menos afetada pela erosão causada pelo último evento climático extremo ocorrido em junho de 2023; B) Câmara interna da paleotoca mostrada na figura A; C) e D) mostram paleotocas parcialmente destruídas pelo último evento climático extremo ocorrido em junho de 2023.

Figura 10. Paleoburrows in the Sapiranga 1 paleontological site. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000, 499113mE and 6717780mN. All photographs looking N. A) Paleoburrow which was less affected by the erosion caused by the last extreme climate event occurred in June/2023; B) Inner chamber of the paleoburrow shown in figure A; C) and D) show paleoburrows partially destroyed by the last extreme climate event occurred in June/2023.

O sítio Sapiranga 1 corresponde a paleotocas e crotovinas escavadas em argissolos vermelho-amarelos resultantes da alteração de arenitos da Formação Piramboia (ver Seções 4.1 e 4.3). Esse sítio foi recentemente afetado por intensa erosão, causada pelas fortes chuvas ocorridas em junho de 2023 decorrentes do fenômeno El Niño (ver Seção 4.5). No entanto, ainda é possível observar com clareza 4 paleotocas. De acordo com as dimensões desses icnofósseis, com larguras entre 50 e 150 cm e comprimentos de dezenas de metros, os animais fossoriais que provavelmente escavaram essas estruturas durante o Pleistoceno são dos gêneros extintos *Propaopus* e/ou *Eutatus* (Buchmann *et al.*, 2009).

4.5 Recursos hídricos

Segundo o Decreto Estadual nº 53.885/2018 e seus anexos, o município de Sapiranga pertence à Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba. Dentro desta Região Hidrográfica, a área do município é drenada por duas bacias hidrográficas: Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (82,8 km², correspondendo a 60 % da área total do município), e Bacia Hidrográfica do Rio Caí (54,4 km², correspondendo a 40 % da área total do município). Somados, todos os cursos hídricos naturais do município apresentam uma extensão total de 309,54 km na escala 1:25.000, com uma densidade de drenagem de 2,25 km/km². A distribuição espacial dos recursos hídricos do município é apresentada na Figura 11.

4.5.1 Recursos hídricos superficiais: Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos

A porção de Sapiranga drenada pela Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos compreende a área entre o Rio dos Sinos propriamente dito (limite sul do município) e a encosta dos Patamares da Serra Geral até altitudes de 580 m (encosta sul) e de 763 m (encosta leste). Segundo o Comitê de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (COMITESINOS, 2013), o município está inserido no segmento da bacia denominado Baixo Sinos, caracterizado pelas baixas altitudes, declividades suaves a quase planas, e formação de meandros, de zonas de sedimentação e de planícies de inundação.

Em Sapiranga, o principal afluente do Rio dos Sinos é o Arroio Sapiranga, com nascentes na encosta dos Patamares da Serra Geral, e exutório no próprio Rio dos Sinos. Apesar de tecnicamente representar uma única sub-bacia, o Arroio Sapiranga é historicamente subdividido em sub-bacias menores que drenam a porção central e sul do município. A partir do MDT com resolução de 10 m produzido neste trabalho (ver Seção 3.1) e de critérios topográficos e hidrológicos (Villela & Mattos, 1975; Christofolletti, 1980), o presente estudo subdividiu o Arroio Sapiranga em 10 sub-bacias: Baixo Sapiranga, Médio Sapiranga, Alto Sapiranga, Floresta, Bambu, Vila Nova, Cruzeiro do Sul, Teotônio Vilela, São Luiz, e Mauá. O restante da área inserida na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos foi subdividida em outras sete sub-bacias: Várzea do Sinos, Porto Palmeira, Arroio Grande, Campo Bom, Goethel, Schmidt, e Bica, totalizando assim, 17 sub-bacias (Fig. 11). Para a nomenclatura dessas sub-bacias foi utilizada, como base, Sapiranga (2014) e IEDE (2022), com exceção das sub-bacias Floresta, Várzea do Sinos e Porto Palmeira, as quais não haviam ainda sido anteriormente delimitadas e/ou denominadas.

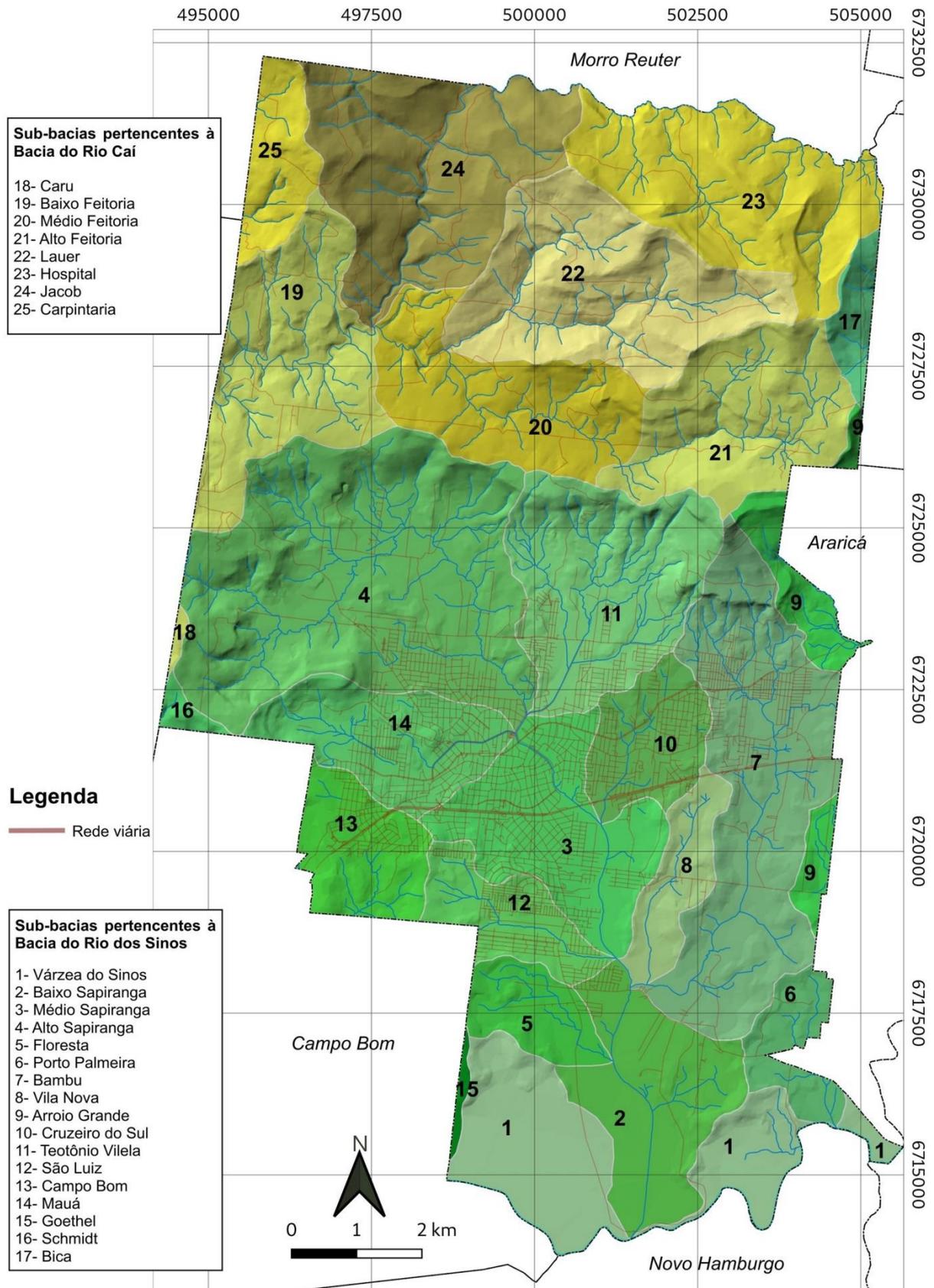


Figura 11. Mapa hidrográfico do município de Saperanga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000.

Figure 11. Hydrographic map of the town of Saperanga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000.

Das 17 sub-bacias delimitadas, apenas cinco estão totalmente inseridas em Sapiranga: Baixo Sapiranga, Médio Sapiranga, Vila Nova, Cruzeiro do Sul, e Teotônio Vilela. As sub-bacias Schmidt, Campo Bom e Goethel estão parcialmente inseridas em Sapiranga (montante), estando majoritariamente inseridas em Campo Bom. A Várzea do Sinos é compartilhada com os municípios de Campo Bom, Novo Hamburgo, Araricá e Taquara. As sub-bacias Porto Palmeira e Arroio Grande incidem parcialmente em Sapiranga (montante), estando majoritariamente em território de Araricá. As sub-bacias Floresta, São Luiz e Mauá estão majoritariamente inseridas em Sapiranga, com pequenas porções incidindo em Campo Bom (montante). A sub-bacia Alto Sapiranga está quase totalmente inserida em Sapiranga, com pequena porção incidindo em Dois Irmãos (montante). A sub-bacia Bica, que é uma ramificação da sub-bacia Arroio Grande, incide parcialmente em Sapiranga (montante), estando majoritariamente em território de Nova Hartz. Por fim, a sub-bacia Bambu está quase totalmente inserida em Sapiranga, com pequena porção incidindo em Araricá (montante).

Neste estudo não foi realizado o levantamento de nascentes. Porém, a partir do número de canais de 1ª ordem (conforme classificação de Strahler, 1964), é possível estimar preliminarmente que existam pelo menos 207 nascentes na área de estudo inserida na bacia do Rio dos Sinos, distribuídas conforme a Tabela 1. Considerando que os referidos canais não foram mapeados até a sua cabeceira neste trabalho, é provável que o número total de nascentes seja maior.

Tabela 1. Hierarquia fluvial (Strahler, 1964) das sub-bacias pertencentes à bacia do Rio dos Sinos situadas em Sapiranga. O canal de 5ª ordem do Baixo e Médio Sapiranga representa o mesmo canal fluvial.

Table 1. Hierarchical classification (Strahler, 1964) of the sub-basins of the Sinos River located in the town of Sapiranga. The 5th order stream of the Baixo and Médio Sapiranga represents the same fluvial channel.

Sub-bacia	1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem	4ª ordem	5ª ordem
Várzea do Sinos	3	1	--	--	--
Baixo Sapiranga	8	2	--	--	1*
Médio Sapiranga	4	--	--	--	1*
Alto Sapiranga	63	15	2	1	--
Floresta	6	1	--	--	--
Porto Palmeira	5	2	--	--	--
Bambu	33	10	1	--	--
Vila Nova	8	1	--	--	--
Arroio Grande	9	2	1	--	--
Cruzeiro do Sul	6	1	--	--	--
Teotônio Vilela	29	7	2	1	--
São Luiz	6	1	--	--	--
Campo Bom	10	1	--	--	--
Mauá	12	1	--	--	--
Goethel	--	--	--	--	--
Schmidt	1	--	--	--	--
Bica	4	--	--	--	--
<i>Total</i>	<i>207</i>	<i>45</i>	<i>6</i>	<i>2</i>	<i>1</i>

Todas as sub-bacias apresentam padrão de drenagem dendrítica (conforme classificação de Christofolletti, 1980), compatível com o substrato rochoso o qual é composto por rochas de resistência uniforme (as que possuem cabeceiras situadas na encosta basáltica) e rochas sedimentares com estrutura sedimentar horizontal (restante das sub-bacias).

A partir de cálculos executados no programa QGIS 3.16, foram definidos alguns parâmetros fisiográficos das 17 sub-bacias acima, apresentados na Tabela 2. A área total de cada sub-bacia corresponde à área drenada por todo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal (Vilela & Mattos, 1975; Christofolletti, 1980). O comprimento do canal principal corresponde, para cada sub-bacia, à distância entre o ponto de foz e o ponto do afluente geograficamente mais distante (Christofolletti, 1980). O coeficiente de

compacidade (adimensional) corresponde, para cada sub-bacia, à razão entre o perímetro e a raiz quadrada da área, multiplicado por 0,28 (Villela & Mattos, 1975), sendo a relação entre um círculo hipotético e o perímetro da bacia, onde valores mais próximos a 1 significam maior tendência a inundações. A área impermeável de cada sub-bacia foi calculada a partir de imagem satelital do Google Earth, datada de 11 de setembro de 2022, onde áreas edificadas e estradas foram calculadas como impermeáveis. Os valores de declividade, cota superior e cota inferior, foram obtidos no MDT produzido neste trabalho.

Tabela 2. Alguns parâmetros fisiográficos das sub-bacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, situadas em Sapiranga. Legenda: AT = área total; AS = área apenas em Sapiranga; Lp = comprimento do canal principal em Sapiranga; Lt = somatório do comprimento de todos os canais em Sapiranga; PT = perímetro total; Kc = coeficiente de compacidade (adimensional); i = declividade média da bacia em Sapiranga; cs = cota superior da bacia em Sapiranga; ci = cota inferior da bacia em Sapiranga; imp = área impermeável da bacia em Sapiranga.

Table 2. Some physiographic parameters of the sub-basins of the Sinos River located in the town of Sapiranga. Legend: AT = total area; AS = area (Sapiranga only); Lp = main channel length in Sapiranga; Lt = Sum of all channels in Sapiranga; PT = total perimeter; Kc = compactness factor (dimensionless); i = average basin slope in Sapiranga; cs = upper elevation in Sapiranga; ci = lower elevation in Sapiranga; imp = impermeable area of the basin in Sapiranga.

Sub-bacia	AT (km ²)	AS (km ²)	Lp (km)	Lt (km)	PT (km)	Kc	i (%)	cs (m)	ci (m)	imp (%)
Várzea do Sinos	--	8,23	--	2,82	--	--	--	--	--	2
Baixo Sapiranga	6,47	6,47	4,78	8,14	13,22	1,46	2,67	82	9	8
Médio Sapiranga	7,04	7,04	4,30	5,35	13,68	1,45	3,43	102	10	67
Alto Sapiranga	19,47	19,06	10,04	51,02	20,59	1,31	16,41	359	24	11
Floresta	2,60	2,42	3,04	6,31	6,71	1,17	5,96	103	11	5
Porto Palmeira	2,57	2,12	1,96	3,96	7,24	1,27	6,37	83	10	3
Bambu	12,68	12,56	8,78	26,43	21,32	1,68	8,81	578	10	17
Vila Nova	2,50	2,50	3,37	4,82	8,68	1,54	7,31	81	11	3
Arroio Grande	90,62	2,77	2,86	5,69	55,77	1,64	21,53	607	36	3
Cruzeiro do Sul	3,44	3,44	2,32	4,77	8,09	1,22	4,51	82	15	68
Teotônio Vilela	8,75	8,75	4,22	27,20	12,77	1,21	17,82	580	25	19
São Luiz	3,69	3,06	3,60	5,68	9,43	1,38	5,98	103	10	50
Campo Bom	11,87	3,65	2,88	5,91	15,70	1,28	7,37	104	21	33
Mauá	5,21	5,12	4,38	8,64	10,13	1,24	9,40	253	24	54
Goethel	2,39	0,24	--	--	7,71	1,40	9,68	83	9	0
Schmidt	22,87	0,42	0,49	0,49	22,86	1,34	27,23	301	102	5
Bica	17,67	1,23	0,48	1,95	22,70	1,51	34,76	760	444	2

4.5.2 Recursos hídricos superficiais: Bacia Hidrográfica do Rio Caí

A porção de Sapiranga drenada pela Bacia Hidrográfica do Rio Caí compreende as áreas dos Patamares da Serra Geral situadas a norte da encosta sul (ver Seção 4.2), e a oeste da encosta leste. A porção mais baixa, com altitude de aproximadamente 130 m, situa-se no leito do Arroio Feitoria junto ao limite com o município de Dois Irmãos. A porção mais alta, com altitude de 763 m, situa-se no morro de maior altitude, próximo à encosta leste. Segundo o Comitê de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica do Rio Caí (COMITECAÍ, 2007), o município está inserido no segmento da bacia denominado Trecho Médio, caracterizado pelo relevo acidentado com encostas de declividade elevada.

Em Sapiranga, o Arroio Feitoria é o principal afluente do Rio Caí, tanto em extensão como em número de afluentes. Apesar de tecnicamente representar uma única sub-bacia, o Arroio Feitoria é historicamente subdividido em sub-bacias menores, sendo elas as sub-bacias Caru, Carpintaria, Jacob, Hospital, Lauer, e Feitoria propriamente dito, conforme nomenclatura da Base Cartográfica Oficial do RS (IEDE, 2022). Devido a sua grande área, no presente estudo a sub-bacia do Arroio Feitoria propriamente dito foi subdividida em 3 sub-bacias, denominadas Alto, Médio e Baixo Feitoria (Fig. 11), assim totalizando 08 sub-bacias para a região drenada pela Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Devido à sua grande extensão, neste trabalho a sub-bacia Baixo Feitoria foi delimitada apenas até a confluência entre os arroios Feitoria e Carpintaria, já em território do município de Dois Irmãos.

Das oito sub-bacias delimitadas, apenas duas estão totalmente inseridas em Sapiranga (Lauer e Médio Feitoria). As sub-bacias Caru e Carpintaria estão parcialmente inseridas em Sapiranga (montante), tendo suas maiores áreas no município de Dois Irmãos. A sub-bacia Baixo Feitoria está majoritariamente situada em Sapiranga (montante), com pequena porção no município de Dois Irmãos. Com exceção de uma pequena porção situada em Araricá (montante), a sub-bacia Alto Feitoria está majoritariamente situada em Sapiranga. A sub-bacia Hospital é compartilhada entre os municípios de Sapiranga (jusante), Nova Hartz e Morro Reuter. Por fim, a sub-bacia Jacob é compartilhada entre os municípios de Sapiranga (jusante) e Morro Reuter.

Neste estudo não foi realizado o levantamento de nascentes. Porém, a partir do número de canais de 1ª ordem, é possível estimar preliminarmente que existam pelo menos 182 nascentes na área de estudo inserida na bacia do Rio Caí, distribuídas conforme a Tabela 3. Considerando que os referidos canais não foram mapeados até a sua cabeceira neste trabalho, é provável que o número total de nascentes seja maior.

Tabela 3. Hierarquia fluvial (Strahler, 1964) das sub-bacias pertencentes à bacia do Rio Caí, situadas em Sapiranga. Os canais de 4ª ordem do Médio e do Alto Feitoria representam o mesmo canal. Os canais de 5ª ordem do Baixo e Médio feitoria representam o mesmo canal.

Table 3. Hierarchical classification (Strahler, 1964) of the sub-basins of the Caí River located in the town of Sapiranga. The 5th order streams of the Baixo and Médio Feitoria represents the same fluvial channel.

Sub-bacia	1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem	4ª ordem	5ª ordem
Caru	--	--	--	--	--
Baixo Feitoria	29	6	1	--	1*
Médio Feitoria	23	5	--	1*	1*
Alto Feitoria	33	8	2	1*	--
Lauer	34	4	2	1	--
Hospital	34	4	1	--	--
Jacob	22	6	--	1	--
Carpintaria	7	1	--	--	--
Total	182	34	6	3	1

Todas as sub-bacias apresentam padrão de drenagem dendrítica (conforme classificação de Christofolletti, 1980), compatível com o substrato rochoso o qual é composto por rochas de resistência uniforme (vulcanitos da Formação Serra Geral). Alguns parâmetros fisiográficos para as 08 sub-bacias são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Alguns parâmetros fisiográficos das sub-bacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Cai, situadas em Sapiranga. AT = área total; AS = área em Sapiranga; Lp = comprimento do canal principal em Sapiranga; Lt = somatório do comprimento de todos os canais em Sapiranga; PT = perímetro total; Kc = coeficiente de compactidade (adimensional); i = declividade média da bacia em Sapiranga; cs = cota superior da bacia em Sapiranga; ci = cota inferior da bacia em Sapiranga; imp = área impermeável da bacia em Sapiranga.

Table 4. Some physiographic parameters of the sub-basins of the Cai River located in the town of Sapiranga. Legend: AT = total area; AS = area (Sapiranga only); Lp = main channel length in Sapiranga; Lt = Sum of all channels in Sapiranga; PT = total perimeter; Kc = compactness factor (dimensionless); i = average basin slope in Sapiranga; cs = upper elevation in Sapiranga; ci = lower elevation in Sapiranga; imp = impermeable area of the basin in Sapiranga.

Sub-bacia	AT (km ²)	AS (km ²)	Lp (km)	Lt (km)	PT (km)	Kc	i (%)	cs (m)	ci (m)	imp (%)
Caru	13,90	0,15	--	--	17,33	1,29	17,37	303	240	1
Baixo Feitoria	10,57	8,23	4,82	24,39	15,99	1,37	18,78	520	130	3
Médio Feitoria	7,15	7,15	5,97	19,07	13,73	1,43	18,34	583	150	3
Alto Feitoria	7,46	7,31	4,96	19,67	12,11	1,24	21,02	756	290	2
Lauer	10,19	10,19	6,06	22,91	14,65	1,28	27,90	761	200	2
Hospital	19,90	9,30	5,91	27,62	21,67	1,35	25,96	760	300	1
Jacob	28,23	10,67	4,99	21,65	30,09	1,58	28,97	675	150	2
Carpintaria	12,26	2,59	1,08	5,05	16,28	1,30	26,69	679	260	1

4.5.3 Recursos hídricos subterrâneos

Hidrogeologicamente, a região de Sapiranga pertence ao Sistema Aquífero Guarani, situando-se no Compartimento Leste do sistema aquífero (Machado, 2005). Na área de estudo ocorrem três unidades hidroestratigráficas, cujas principais características estão sumarizadas na Tabela 5.

Tabela 5. Principais características das unidades hidroestratigráficas situadas no município de Sapiranga. Dados compilados de Machado (2005), COMITESINOS (2013), e SIAGAS (2023).

Table 5. Main characteristics of the hydrostratigraphic units in the town of Sapiranga. Data compilation from Machado (2005), COMITESINOS (2013), and SIAGAS (2023).

Unidade	Características			
	Litologias	Espessura	Porosidade	Hidrogeologia e hidrogeoquímica
Serra Geral	Rochas vulcânicas das fácies Gramado e Caxias	110 a 250m (limite sul), e superior a 500m (limite norte).	Exclusivamente por fraturas, com média a baixa possibilidade de água subterrânea. Em Sapiranga, as fraturas apresentam direção preferencial N50-60°W e secundariamente N20-30°E. No manto regolítico há significativa circulação de água, sendo comum a presença de lençóis suspensos.	Capacidade específica de 3,5 x 10 ⁻³ a 37,7m ³ /h/m. Permeabilidade de 10 ⁻³ a 10 ⁻⁷ m/s. Totais de sais dissolvidos < 300mg/L. Vazão de exploração entre 1,2 e 9,97m ³ /h. Tipos bicarbonatados cálcicos e/ou magnesianos.
Botucatu	Arenitos da Formação Botucatu	Em média 50m na porção de aquífero livre.	Intergranular, com média a baixa possibilidade de água subterrânea.	Capacidade específica de 0,5 a 2,0m ³ /h/m. Vazões entre 7 e 3m ³ /h. Capacidade específica em torno de 2m ³ /h/m. Capacidades específicas médias de 0,54m ³ /h/m quando livre, e de até 2,5m ³ /h/m quando confinado. Vazões entre 1 e 56m ³ /h, com média de 8,6m ³ /h.
Piramboia	Arenitos da Formação Piramboia	Em média 100m na porção de aquífero livre	É comum a presença de frações argilosas, o que prejudica o armazenamento de grandes volumes de água.	Vazão média de 4,6m ³ /h, podendo atingir até 11m ³ /h. Capacidade específica raramente excedendo 0,5 m ³ /h/m. Sais dissolvidos < 400mg/L. Tipo geoquímico bicarbonatado cálcico ou misto (para baixa salinidade), e sulfatados ou cloretados sódicos (para salinidade alta).

Conforme Lisboa *et al.* (2004), a circulação interna de água na Unidade Serra Geral se dá a partir das estruturas internas do derrame, representadas pelas fraturas, pela zona vesicular-amigdalária, e pelo contato entre derrames. A interconexão dessas estruturas internas possibilita, assim, o fluxo de água subterrânea. Em Sapiranga, esta unidade hidroestratigráfica está associada ao relevo dissecado dos Patamares da Serra Geral (ver Seção 4.2). Devido a isso, são comuns as áreas de descarga junto a encostas, reduzindo, assim, o potencial aquífero desta unidade (Lisboa *et al.*, 2004).

Em Sapiranga, a Unidade Botucatu está parcialmente confinada pela Unidade Serra Geral. A partir do sul da escarpa basáltica o aquífero é livre, ocorrendo afloramentos do arenito homônimo, e também setores onde o arenito está recoberto por sedimentos inconsolidados (Depósitos de Sistemas Holocênicos), conforme pode ser observado na Figura 2. No topo da camada, junto à escarpa basáltica, é comum a ocorrência de intercalações de espessuras métricas entre os arenitos da Unidade Botucatu (Fig. 9A) e os vulcanitos da Unidade Serra Geral.

4.6 Características médias climáticas

Situado em uma região latitudinal subtropical, o clima atual do município de Sapiranga é influenciado pelas seguintes massas de ar (Britto *et al.*, 2006): Polar Atlântica, oriunda do sul da Argentina, e caracterizada pela alta pressão, baixa temperatura e baixa umidade; Tropical Continental, oriunda da região do Chaco, e caracterizada pela baixa pressão, alta temperatura e baixa umidade; e Tropical Atlântica, oriunda do oceano Atlântico Sul, caracterizada pela alta temperatura e alta umidade, dispersora de ventos quentes.

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007), o município insere-se na classe Cfa (úmido em todas as estações, com verão quente), onde: C = clima temperado chuvoso e moderadamente quente, com temperatura média entre -3 e 18°C no mês mais frio; f = úmido o ano todo; a = verão quente, com temperatura média acima de 22°C.

No inverno, o clima da região é influenciado pelo deslocamento da Massa Polar Atlântica, a qual se encontra com a Massa Tropical Atlântica trazendo quedas de temperatura, precipitação pluviométrica, além de ventos fortes, secos e frios dos quadrantes S, SW e W. Em invernos rigorosos há possibilidade de ocorrência de geada. Ocasionalmente, pode ocorrer chuva congelada e neve, como as últimas registradas no município até o momento, em 29 de junho de 2021.

No verão, a influência da Massa Polar Atlântica é reduzida, e sua ocasional entrada provoca chuvas intermitentes e fracas. Nessa estação, as massas tropicais Atlântica e Continental regem o clima, e a intensidade das chuvas é influenciada pela umidade local e pela Zona de Convergência Atlântica. No outono, são comuns os bloqueios atmosféricos, levando a aumento de temperatura. No outono também ocorrem as primeiras entradas da Massa Polar Atlântica na região (Britto *et al.*, 2006).

Ao longo do ano, a passagem de, em média, cinco a sete frentes frias são responsáveis por precipitações pluviométricas. Vórtices ciclônicos de altos níveis, cavados invertidos e complexos convectivos de mesoescala também atuam no clima da região (Britto *et al.*, 2006).

Todos esses padrões são fortemente perturbados quando a região está sob a influência do fenômeno atmosférico-oceânico El Niño Oscilação Sul, manifestado pelo El Niño e pela La Niña (Grimm *et al.*, 2000). Em geral, quando predomina o El Niño há um significativo aumento das precipitações pluviométricas, em especial na primavera e começo do verão (ano inicial do evento) e final de outono e começo do inverno (ano

seguinte). Quando predomina o La Niña ocorre o oposto, resultando na redução das precipitações pluviométricas, como a registrada recentemente nas severas estiagens entre os anos de 2020 e 2022.

Recentemente, entre junho e setembro de 2023, em pleno El Niño, as bacias hidrográficas dos rios Caí e Sinos, sobre as quais está situada a área de estudo (ver Seção 4.5), foram fortemente afetadas pela passagem de ciclones, que resultaram em altíssimo volume de chuva em curto intervalo de tempo. Em 16 de junho, Sapiranga registrou precipitação recorde de 210 mm/dia acumulados nas porções baixas do município (Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, onde a média mensal é de 146 mm conforme Tab. 6), e de 300 mm/dia acumulados nas porções elevadas (Bacia Hidrográfica do Rio Caí, onde a média mensal é de 154 mm conforme Tab. 7), o que representa os maiores acumulados diários já registrados até o momento no município.

Tabela 6. Médias mensais de parâmetros meteorológicos para a porção do município situada na Bacia do Rio dos Sinos. Dados brutos de: (*) INMET, referentes à estação analógica do município de Campo Bom (período de 01/01/1985 a 31/11/2013); (**) Aplicativo SSEBop-BR (período de 01/01/2000 a 31/12/2021); (***) Banco de dados climáticos do AMBDATA.

Table 6. Mean monthly meteorological parameters for the portion of the town of Sapiranga located in the Sinos River basin. Raw data from: (*) INMET, regarding the analog meteorological station of the town of Campo Bom (from 01/01/1985 to 11/31/2013); (**) SSEBop-BR application (from 01/01/2000 to 12/31/2021); (***) AMBDATA climate data bank.

Mês	T°C (máx.) ***	T°C (mín.) ***	Pressão atmos- férica (hPa) *	Precipi- tação total (mm) ***	Nº de dias com precipi- tação *	Evapo- transpi- ração real (mm) **	Umidade relativa do ar (%) *	Nebulosi- dade média (déc.) *	Veloci- dade média do vento (m/s) *	Direção predo- minante do vento *
Jan.	28,3	18,8	1009,49	139,2	12,73	155,6	75,14	5,44	1,39	0 a 23°
Fev.	27,5	18,4	1009,76	135,8	13,13	135,6	78,22	5,69	1,32	0 a 27°
Mar.	25,7	16,7	1011,67	140,8	11,95	117,4	79,64	5,27	1,26	0 a 18°
Abr.	22,7	13,6	1013,33	123,2	13,85	76,6	82,44	5,39	1,16	0°
Mai.	21,0	11,2	1015,36	118,0	12,59	54,0	84,07	5,53	1,05	0 a 27°
Jun.	18,7	9,8	1016,88	146,0	14,28	42,4	85,07	6,01	1,07	0°
Jul.	18,9	9,7	1017,64	148,0	15,00	42,0	83,18	5,59	1,21	0 a 23°
Ago.	20,1	10,8	1016,01	137,8	14,24	59,2	80,93	5,64	1,25	0°
Set.	21,5	12,2	1013,98	158,4	13,06	77,8	80,06	6,09	1,46	0 a 23°
Out.	23,7	14,1	1012,16	140,2	14,47	96,6	77,41	6,06	1,52	0 a 23°
Nov.	25,8	15,9	1010,37	113,4	10,70	119,6	73,21	5,24	1,62	0 a 23°
Dez.	26,0	16,3	1008,96	124,0	12,42	151,6	72,93	5,29	1,60	0 a 23°

A partir da compilação de dados climáticos apresentados neste trabalho (Tab. 6 e 7), é possível verificar que a distribuição da precipitação pluviométrica é relativamente equilibrada ao longo do ano no município, com precipitação anual média de 1.625 mm para a região inserida na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, e de 1.714 mm para a região inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Os meses de maio e novembro representam os períodos com menor média de precipitação, respectivamente 118,0 mm e 113,4 mm. Os meses de julho e setembro correspondem aos de maior precipitação média, respectivamente 148,0 mm e 158,4 mm. Todos os meses apresentam, em média, 10 dias com precipitação de pelo menos 1 mm/dia.

Os dados de Evapotranspiração Real Média da área de estudo mostram uma clara tendência a défices hídricos durante os meses mais quentes e menos chuvosos de novembro, dezembro e janeiro para a região inserida na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Para a região inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, o período de tendência a déficit hídrico é mais extenso, durando de novembro a fevereiro.

A partir desses dados climáticos, é possível concluir que o relevo do município tem influência direta na distribuição das chuvas e nas temperaturas máximas e mínimas mensais. Na porção situada na unidade geomorfológica Patamares da Serra Geral a

pluviosidade é maior, devido às chuvas orográficas. Essas chuvas estão diretamente relacionadas à umidade das porções baixas do município (porção situada na unidade geomorfológica Depressão Rio Jacuí), a qual é barrada pelas encostas íngremes e se eleva até sua precipitação nos Patamares da Serra Geral. Nos verões, é comum a ocorrência de chuvas convectivas que ocorrem no final das tardes, podendo ser de curta duração e também acompanhadas de tempestade.

Tabela 7. Médias mensais de parâmetros meteorológicos para a porção do município situada na Bacia do Rio Caí. Dados brutos de: (*) Aplicativo SSEBop-BR (período de 01/01/2000 a 31/12/2021); (**) Banco de dados climáticos do AMBDATA.

Table 7. Mean monthly meteorological parameters for the portion of the town of Sapiranga located in the Caí River basin. Raw data from: (*) SSEBop-BR application (from 01/01/2000 to 12/31/2021); (**) AMBDATA climate data bank.

Mês	T°C (máxima) **	T°C (mínima) **	Precipitação total (milímetros) **	Evapotranspiração real (milímetros) *
Janeiro	27,6	17,9	146,8	180,8
Fevereiro	26,7	17,5	144,0	157,6
Março	24,7	15,7	155,2	129,2
Abril	21,7	12,8	130,6	91,2
Mai	19,1	10,4	123,0	61,0
Junho	18,1	9,2	152,4	51,6
Julho	18,3	9,1	141,4	45,8
Agosto	19,6	10,2	146,4	65,0
Setembro	21,0	11,6	168,4	81,6
Outubro	23,2	13,4	149,8	113,0
Novembro	24,9	15,2	120,6	141,4
Dezembro	25,5	15,2	134,6	168,6

As altitudes mais elevadas dos Patamares da Serra Geral também refletem em temperaturas máximas e mínimas menores, quando comparadas às das porções baixas do município inseridas na Depressão Rio Jacuí. Os meses mais quentes ocorrem entre dezembro e março, correspondendo ao período do verão austral, com média das temperaturas mínimas e máximas entre 17,5 e 26,9°C positivos na porção situada na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, e entre 16,5 e 26,1°C positivos para a porção situada na Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Os meses mais frios, correspondendo ao inverno austral, ocorrem entre junho e agosto, com médias das temperaturas mínimas e máximas entre 10,1 e 19,2°C positivos na porção situada na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, e entre 9,5 e 18,6°C positivos na porção situada na Bacia Hidrográfica do Rio Caí.

No inverno, as sensações térmicas (relação entre temperatura do ar e velocidade do vento) atingem facilmente temperaturas negativas. Recentemente, no inverno de 2021, a sensação térmica em Sapiranga chegou a -10°C no mês de julho. Por outro lado, no verão, o índice de calor (relação entre temperatura e umidade do ar) faz com que as sensações de calor facilmente ultrapassem os 40 °C durante dias consecutivos.

Referente à qualidade do ar, o projeto executado por FEPAM (2015) estimou as emissões médias anuais de partículas atmosféricas de dimensões inaláveis de 2,5 µm (PI_{2,5}) e 10 µm (PI₁₀), além do denominado carbono negro (BC). O estudo identificou que 65 a 70% das partículas de poluição inaláveis em Sapiranga é proveniente de áreas externas ao município, provenientes de áreas urbanizadas situadas entre Porto Alegre e Sapiranga, além de contribuições de queimadas localizadas a norte de Sapiranga.

Na porção central da Zona Urbana de Sapiranga, FEPAM (2015) identificaram que a combustão de lenha (residencial, comercial e industrial) representava 22% das emissões de PI_{2,5}. Para restaurantes e pizzarias, foi estimada uma emissão de 42 toneladas/ano de PI_{2,5}, e 2,9 toneladas/ano de BC. As indústrias contribuíam com 83

toneladas/ano de $PI_{2,5}$ e 5,8 toneladas/ano de BC. Já o tráfego local de veículos contribuía com 12 toneladas/ano de $PI_{2,5}$ e 7,8 de BC.

FEPAM (2015) identificaram que as principais emissões de chaminés residenciais incluíam fogões à lenha, churrasqueiras e fornos, contribuindo em média com 109 toneladas/ano de $PI_{2,5}$ e 7,6 toneladas/ano de BC. Não foi quantificada a queima de resíduos sólidos (lixo doméstico ou restos de jardinagem/poda). Para a região da Zona Rural Sul de Sapiranga, o mesmo estudo identificou que as olarias eram as principais emissoras de partículas. Foi estimada uma emissão de 19,7 toneladas/ano de $PI_{2,5}$, e 1,4 toneladas/ano de BC. Na Zona Rural Norte do município, o estudo identificou que as carvoarias eram as principais emissoras de partículas, contribuindo com 202 toneladas/ano de $PI_{2,5}$, e 14,1 toneladas/ano de BC.

Como conclusões, o estudo de FEPAM (2015) identificou que os níveis de partículas inaláveis em Sapiranga era comparável ou ligeiramente superior aos níveis anteriormente reportados para a Região Metropolitana de Porto Alegre até o ano de 2014. Em análise ao relatório do Monitoramento da Qualidade do Ar do ano de 2021 para a Região Metropolitana de Porto Alegre (FEPAM, 2022), é possível verificar que a região apresentou 91,55 % dos dias com qualidade do ar boa, 8,40 % com qualidade regular, 0,06 % com qualidade inadequada, e nenhum registro de qualidade má ou pior.

4.7 Áreas de perigo geológico e hidrológico

O mapeamento de áreas de perigo geológico apresentado neste capítulo, elaborado na escala 1:25.000 com base em Pimentel *et al.* (2018), compreende processos gravitacionais de massa, sem diferenciação entre deslizamentos planares e queda de blocos. Ressalta-se que este mapeamento é preliminar, sendo imprescindível que seja realizado um mapeamento em escala de maior detalhe e englobando todas as classes de perigo geológico e hidrológico, principalmente em áreas com ocupação humana.

Conforme Pimentel *et al.* (2018), os deslizamentos planares são processos erosivos que ocorrem em áreas que apresentam solos pouco espessos, onde o desencadeamento do processo é favorecido por planos de fraqueza tanto no solo quanto no substrato rochoso. O volume, geometria e tipo de material mobilizado é muito variável, atingindo velocidades médias (m/h) a altas (m/s). Por outro lado, as quedas de bloco não apresentam planos de deslocamento, e os movimentos são do tipo queda livre ou em plano inclinado, apresentando velocidades muito altas (vários m/s). O material é rochoso, com pequenos a médios volumes. A geometria é variável, geralmente na forma de lascas, placas e blocos. São comuns os rolamentos de matacões e os tombamentos. O mapa gerado neste trabalho (Fig. 12) foi validado em campo, com vistorias em locais onde são visíveis as cicatrizes recentes oriundas de movimentos gravitacionais de massa.

O mapeamento realizado neste trabalho apresenta polígonos que somam, sem diferenciação, as áreas críticas e as áreas de dispersão. Entende-se por área crítica aquela com maior probabilidade à deflagração de movimentos de massa. Já a área de dispersão é aquela sujeita à deposição do material mobilizado durante movimentos de massa (Pimentel *et al.*, 2018). A partir do mapa é possível verificar que, pelo menos, 15,81 km² do território de Sapiranga (11,52% de sua área total) está em área de perigo geológico relacionado a movimentações gravitacionais de massa.

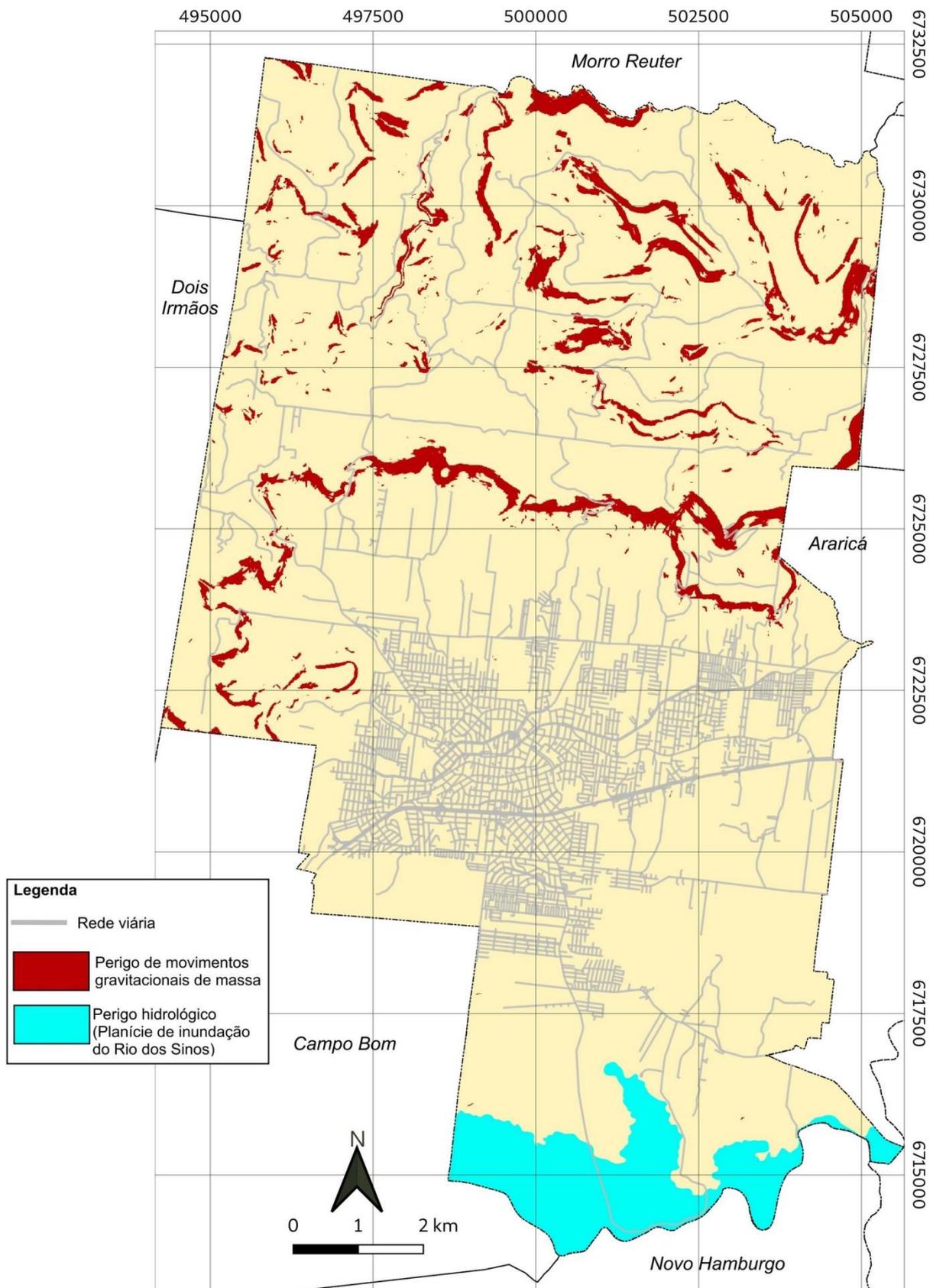


Figura 12. Mapa simplificado de perigo geológico e hidrológico do município de Sapiranga. Coordenadas UTM, fuso 22J, datum SIRGAS 2000.

Figure 12. Simplified geological and hydrological hazard map of the town of Sapiranga. UTM coordinates, zone 22J, datum SIRGAS 2000.

Referente a áreas de perigo hidrológico, o extremo sul do município compreende a planície de inundação do Rio dos Sinos, que corresponde a uma área de, pelo menos, 6,84 km² (4,9% da área total de Sapiranga), conforme pode ser medido através de imagem de satélite do Google Earth, datada de 9 de julho de 2020. O polígono referente a referida planície é mostrado na Figura 12.

Para estimar o Período de Retorno dos eventos que ocorrem nessa planície de inundação, foi utilizado o histórico da estação fluviométrica de código 87380000 operada pelo Serviço Geológico do Brasil no município vizinho de Campo Bom. Os dados foram obtidos junto à rede Hidroweb v32.7 (Agência Nacional de Águas), com registros desde dezembro de 1939 até fevereiro de 2023. Para este estudo foram utilizados os dados diários de resumo de descarga, cotas limnimétricas, e vazões.

Primeiramente, os dados de vazão diária foram tratados estatisticamente no programa SisCAH 1.0 (Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa/MG), para a obtenção dos eventos máximos, ou seja, as vazões máximas em Períodos de Retorno distintos. Na etapa de pré-processamento, os parâmetros escolhidos foram o início do ano hidrológico no mês de maio, o descarte mensal, e a porcentagem de falhas em 10%. Os resultados obtidos para cada Período de Retorno, considerando a distribuição com melhor ajuste e o intervalo de confiança superior a 95%, são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8. Vazões máximas diárias do Rio dos Sinos na estação fluviométrica 8738000 de Campo Bom, para diferentes Períodos de Retorno.

Table 8. Historical daily maximum flow for the section of the Sinos River located in the 8738000 river gauge station (town of Campo Bom) for different return periods.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
Período de Retorno (em anos)	Distribuição de melhor ajuste	Vazão máxima (em m ³ /s)	Erro padrão (em m ³ /s)	Intervalo de vazões máximas (em m ³ /s) considerando o erro padrão
2	Log-Pearson 3	308,87	10,03	Entre 318 e 299
3	Pearson 3	402,87	11,59	Entre 414 e 391
4	Pearson 3	422,98	11,24	Entre 434 e 412
5	Log-Pearson 3	436,43	11,11	Entre 447 e 425
10	Pearson 3	471,88	11,85	Entre 484 e 460
25	Pearson 3	511,81	15,40	Entre 527 e 496
50	Pearson 3	538,98	19,26	Entre 558 e 520
100	Pearson 3	564,03	23,60	Entre 588 e 540

Posteriormente, foi feita a correlação entre os dados diários de vazão com os dados diários limnimétricos baixados do sistema Hidroweb. A partir da correlação e comparação, foi possível estabelecer as cotas limnimétricas que correspondem aos intervalos mostrados na Coluna 5 da tabela acima. Os resultados estão sumarizados abaixo na Tabela 9.

A partir da imagem satelital do Google Earth datada de 09 de julho de 2020, que corresponde a um dos maiores eventos de inundação registrados nessa planície de inundação, foi verificado que a cota limnimétrica correspondente à referida data foi a altura de 6,90m. Sob a luz dessa conclusão, o histórico das cotas limnimétricas foi pesquisado em busca das datas em que o nível do Rio dos Sinos estava entre 6,88 e 6,92 m, chegando-se um Período de Retorno de 3 anos. Os resultados são mostrados na Tabela 10. A mencionada imagem satelital foi também utilizada para delimitar o polígono de inundação, o qual é apresentado na Figura 12. A área do polígono de inundação em escala 1:25.000 corresponde a 6,84 km², isto é, 4,9% da área total do município.

A partir do que foi mostrado acima, é possível concluir que a planície de inundação do Rio dos Sinos em Sapiranga sempre será inundada quando o nível do Rio dos Sinos estiver em uma altura entre 6,88m e 6,92m na estação 87380000, a menos que sejam

implantadas obras de contenção de inundação na região. Como mencionado acima, essa altura do nível de água corresponde ao Período de Retorno de 3 anos, que em termos de probabilidade, corresponde a 33,33% de chance anual de ocorrência do evento estudado. Ou seja, em todos os anos, há 33,33% de chance de inundação de pelo menos 6,84 km² na porção sul do município, colocando em risco os diversos aglomerados habitacionais situados dentro desta área susceptível.

Tabela 9. Correlação entre os intervalos de vazões máximas e os intervalos de cotas limnimétricas relacionadas às respectivas vazões máximas, para o trecho do Rio dos Sinos na estação fluviométrica 8738000 de Campo Bom, para diferentes Períodos de Retorno.

Table 9. Correlation between the daily maximum flow intervals and the limnimetric level intervals relative to the respective daily maximum flow intervals, for the section of the Sinos River located in the 873800 river gauge station (town of Campo Bom) for different return periods.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3
Período de Retorno (em anos)	Intervalo de vazões máximas (em m ³ /s) considerando o erro padrão	Intervalo de cotas limnimétricas relacionadas às vazões da Coluna 2
2	Entre 318 e 299 m ³ /s	Entre 6,45 e 6,32 m
3	Entre 414 e 391 m ³ /s	Entre 6,99 e 6,87 m
4	Entre 434 e 412 m ³ /s	Entre 7,09 e 6,98 m
5	Entre 447 e 425 m ³ /s	Entre 7,31 e 7,05 m
10	Entre 484 e 460 m ³ /s	Entre 7,34 e 7,32 m
25	Entre 527 e 496 m ³ /s	Entre 7,54 e 7,41 m
50	Entre 558 e 520 m ³ /s	Entre 7,70 e 7,50 m
100	Entre 588 e 540 m ³ /s	Entre 7,82 e 7,60 m

Para as demais planícies de inundação situadas na rede de afluentes dos Arroios Sapiranga e Feitoria (ver Seção 4.5) não foram realizados mapeamentos, devido à escala adotada para este trabalho. Portanto, é de fundamental importância que sejam mapeadas detalhadamente todas as áreas com histórico de alagamentos e inundações existentes nas zonas urbana e rural do município.

5 Considerações finais

Os novos dados produzidos neste trabalho, somados às informações compiladas na literatura, permitem o conhecimento geoambiental básico do município de Sapiranga, em escala de semidetalhe. No entanto, é fundamental que sejam realizados em breve, a partir de planialtimetria com isoípsas com equidistância de ao menos 1 m, levantamentos em escala de maior detalhe de todos os aspectos abordados neste trabalho.

Conforme apresentado neste trabalho, a metade norte do município é especialmente susceptível a movimentos gravitacionais de massa. Foi possível verificar que, pelo menos, 15,81 km² do território de Sapiranga (11,52% de sua área total) está em área de perigo geológico relacionado a esses eventos. É provável que uma área muito maior do município passe a estar em área de perigo de movimentação gravitacional de massa quando for realizado mapeamento em escala de maior detalhe.

Já a metade sul apresenta uma rede de drenagem que flui sobre terrenos arenosos, pouco resistentes à ação erosiva hídrica, favorecendo a erosão das margens e o assoreamento dos seus leitos. Além disso, a metade sul apresenta extensas áreas planas, as quais favorecem alagamentos e inundações. Logo, mapeamentos de maior detalhe, em especial sobre aspectos litológicos, pedológicos, geomorfológicos e hidrográfico-hidrológicos, permitirão definir com maior precisão as áreas susceptíveis a erosão e assoreamento, além de permitir o mapeamento do alcance real das planícies de inundação não apenas do Rio dos Sinos, mas de toda a rede hidrográfica municipal. A partir disso, o município poderá definir estratégias seguras para a prevenção e mitigação de perigos geológicos e hídricos.

Conforme COMITESINOS (2013), a perfuração indiscriminada de poços está colocando em risco toda a bacia do Rio dos Sinos, com probabilidade de degradação da qualidade da água e, no pior dos cenários, o esgotamento das reservas de água subterrânea. A superexploração de poços da região pode levar à inversão de gradientes hidráulicos, o que pode ocasionar a contaminação das águas subterrâneas pela infiltração da água poluída dos cursos hídricos subjacentes. Além disso, poços construídos fora das normas técnicas, comuns na área de estudo, servem como caminho para a rápida infiltração de poluentes.

Quanto à vulnerabilidade dos aquíferos situados em Sapiranga, o relatório da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) informou que a área livre do Aquífero Guarani em Sapiranga apresenta potencial elevado de contaminação. Tendo em vista que nessa última década houve aumento de loteamentos habitacionais, aumento de ocupações habitacionais clandestinas, aumento de indústrias e comércios, bem como aumento de frota de veículos automotores, é razoável afirmar que também houve o aumento do perigo de contaminação ao mencionado aquífero. Portanto, é fundamental que sejam realizados mapeamentos hidrogeológicos e estruturais detalhados, com o objetivo de diagnosticar o real cenário em que se encontra não apenas esse aquífero, mas todos os mananciais existentes no território de Sapiranga.

Quanto ao clima local, este trabalho demonstrou que existem algumas diferenças entre as áreas inseridas nas bacias dos rios dos Sinos e Caí, com maiores precipitações e menores temperaturas na porção situada na bacia do Caí. Entretanto, ambas apresentam uma preocupante tendência a déficit hídrico durante o final da primavera e início do verão. Essa tendência é ainda mais fortalecida quando a região está sob a influência do fenômeno La Niña, resultando em semanas consecutivas de estiagem.

Ressalta-se, ainda, a influência dos microclimas diretamente relacionados ao uso e ocupação do solo. A substituição da vegetação nativa por solo exposto, e também por materiais como concreto e asfalto, tem relação direta com o aumento das temperaturas locais (do ar e das superfícies) durante o período diurno ensolarado, o que contribui para a intensificação de fenômenos como as chuvas convectivas, muito comuns no município durante o verão. Tais chuvas aumentam o risco de episódios de alagamento, pois são chuvas concentradas em curto intervalo de tempo. Logo, é fundamental que esse tema seja inserido nos planos e estratégias do vindouro Plano Diretor Ambiental do município, visando o melhor aproveitamento do uso do solo e recuperação de áreas anteriormente florestadas, em especial as florestas ciliares.

Quanto à qualidade do ar, tendo em vista o aumento da população e o aumento da frota de veículos nos últimos anos, não apenas na Região Metropolitana, mas principalmente no município de Sapiranga, é provável que tenha havido aumentos anuais de concentrações de PI_{2,5}, PI₁₀ e BC, que devem ser confirmados em campo. Dessa maneira, é fundamental que esse tema também seja incluído nos planos e estratégias do vindouro Plano Diretor Ambiental, visando melhorias na qualidade de vida da população.

Por fim, o Plano Diretor Ambiental, em conjunto com o Decreto Federal nº 10.935/2022, poderá propor estratégias para a recuperação dos quatro sítios paleontológicos existentes em Sapiranga. Além do valor científico desses icnofósseis, as paleotocas são estruturas de relevante interesse cultural e educacional podendo, inclusive, servirem de fomento ao geoturismo local e regional.

Contribuições dos Autores: As seguintes menções devem ser usadas "Concepção, metodologia, software, validação, análise formal, pesquisa, preparação de dados, escrita do artigo, revisão, R.C.R. O autor leu e concordou com a versão publicada do manuscrito".

Conflito de Interesse: O autor declara não haver conflito de interesse.

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas. 2014. *Estudo de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de Afloramento, Relatório Final, Tomo I*. Brasília, Agência Nacional de Águas e Engenheiros S.A, 336p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. 2020. *Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil*. Brasília, Agência Nacional de Águas, 41p.
- BDIA. Banco de Dados de Informações Ambientais. 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em: 22 mar. 2024.
- Bricalli, L.L. 2011. *Padrões de lineamentos e fraturamento neotectônico no estado do Espírito Santo (sudeste do Brasil)*. Rio de Janeiro, 221p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Britto, F.P., Barletta, R. & Mendonça, M. 2006. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2: 35-51. <https://doi.org/10.5380/abclima.v2i0.25385>
- Buchmann, F.S.C., Lopes, R.P. & Caron, F. 2009. Icnofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no sudeste e sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 12(3): 247-256. <https://doi.org/10.4072/rbp.2009.3.07>
- Campos, H. & Chassot, A. 2000. *Ciências da terra e meio ambiente: diálogos para (inter)ações no planeta*. São Leopoldo, Editora Unisinos, 284p.
- Christofoletti, A. 1980. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgar Blücher, 187p.
- COMITECAI. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí. 2007. *1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Caí: consolidação do conhecimento sobre recursos hídricos e enquadramento dos recursos hídricos superficiais. Relatório da Etapa A*. Porto Alegre, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 126p.
- COMITESINOS. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. 2013. *Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos: Meta 3, Atividade 3.3 - Síntese da Situação Atual dos Recursos Hídricos*. São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 145p.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2005. *Mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750.000.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2007. *Mapa geológico do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750.000.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2008. *Mapa geológico da Folha Gravataí - SH.22-X-C-IV*. Porto Alegre, Serviço Geológico do Brasil, escala 1:100.000.
- EMBRAPA, 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, Embrapa Solos, 356p.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. 2015. *Emissions and impact on air quality of PM and BC in Sapiranga, Rio Grande do Sul. Field campaign and model assessment 2014*. Porto Alegre, Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente Henrique Roessler, Prefeitura Municipal de Sapiranga, Universidade Federal de Pelotas, Centro Mario Molina Chile, e Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 81p.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. 2021. *Qualidade Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul. Monitoramento da Qualidade do Ar, Rede Automática - Ar do Sul, Ano de 2021*. Porto Alegre, FEPAM, 27p.
- Frank, H.T. & Buchmann, F.S. 2009. A resting chamber in a large palaeovertebrate underground shelter. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 3, 2009, São Carlos. *Anais...* São Carlos, Redespeleo Brasil, CD-ROM.
- Frank, H.T., Buchmann, F.S.C., Ribeiro, A.M., Lopes, R.P., Caron, F. & Lima, L.G. 2008a. New palaeoburrows (ichnofossils) in the State of Rio Grande do Sul, Brazil (Southeastern edge of the Paraná Basin, South America). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA, 2008, Porto Alegre. *Livro de Resumos...* Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Paleontologia, v.1, p. 27.

- Frank, H.T., Buchmann, F.S.C., Ribeiro, A.M., Lopes, R.P., Caron, F. & Lima, L.G. 2008b. Infilling patterns of crotoevins (palaeoburrows) found at the southeastern border of the Paraná Basin (Rio Grande do Sul, Brazil). *In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA*, 2008, Porto Alegre. *Livro de Resumos...* Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Paleontologia, v.1, p. 26.
- Frank, H.T., Buchmann, F.S., Lima, L.G., Caron, F., Lopes, R.P. & Fornari, M. 2023. Giant paleoburrows in the Porto Alegre metropolitan area (state of Rio Grande do Sul, Brazil). *Pesquisas em Geociências*, 50(1): e127863. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.127863>
- Grimm, A.M., Barros, V.R. & Doyle, M.E. 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, 13(1): 35-58. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2)
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003a. *Geomorfologia da Folha Gravataí - SH.22-X-C*. Porto Alegre, Convênio Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento e IBGE, escala 1:250.000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003b. *Geomorfologia da Folha Caxias do Sul - SH.22-V-D*. Porto Alegre, Convênio Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento e IBGE, escala 1:250.000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003c. *Geologia da Folha Gravataí - SH.22-X-C*. Porto Alegre, Convênio Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento e IBGE, escala 1:250.000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003d. *Geologia da Folha Caxias do Sul - SH.22-V-D*. Porto Alegre, Convênio Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento e IBGE, escala 1:250.000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003e. *Pedologia da Folha Gravataí - SH.22-X-C*. Porto Alegre, Convênio Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento e IBGE, escala 1:250.000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003f. *Pedologia da Folha Caxias do Sul - SH.22-V-D*. Porto Alegre, Convênio Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento e IBGE, escala 1:250.000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. *Manual Técnico de Geomorfologia*. Rio de Janeiro, IBGE, 175p.
- IEDE. Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais. 2022. *Catálogo de metadados da Infraestrutura Estadual de dados Espaciais – IEDE/RS*. Disponível em: <<https://iede.rs.gov.br/geoportal/#searchPanel>> Acesso em: 22 mar. 2024.
- Jatobá, L. & Lins, R.C. 2008. *Introdução à Geomorfologia*. Recife, Bagaço, 244p.
- Lisboa, N.A., Dani, N., Remus, M.V.D. & Castro, J. 2004. Síntese da ocorrência geológica das águas subterrâneas do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 13, 2004, Cuiabá. *Resumos...* Cuiabá, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, p. 1-25.
- Machado, J.L.F. 2005. *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. São Leopoldo, 237p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Vale do Rio Dos Sinos.
- Marques, L.S. & Ernesto, M. 2004. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito-Neves, B.B. (Eds.). Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 245-263.
- Milani, E.J. 2004. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito-Neves, B.B. (Eds.). Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 265-279.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. 2007. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5): 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Pimentel, J., Santos, T.D., Peixoto, D.D., Silva, D.R., Lana, J.C., Menezes, I.P., Silva, L.F.M., Lopes, N.D., Pfaltzgraff, P.A.S., Araújo, R.S. & Ribeiro, R.S. 2018. *Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa. Volume 1. Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres naturais*. Rio de Janeiro, Serviço Geológico do Brasil, 200p.
- PRONASOLOS. Programa Nacional de Solos do Brasil. 2022. Plataforma PronaSolos. Disponível em: <<https://geoportal.sgb.gov.br/pronasolos/>> Acesso em: 22 mar. 2024.

Rosa, F.S. 2018. Plano Diretor Ambiental como estratégia de desenvolvimento rural e urbano. *Boletim Paulista de Geografia*, 100: 96-111.

Sapiranga. Prefeitura Municipal de Sapiranga. 2014. *Plano Municipal de Saneamento Básico*. Sapiranga, Convênio Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - PróSinos e Concremat Engenharia e Tecnologia S/A, 62p.

SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterâneas. 2023. Plataforma SIAGAS. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>> Acesso em: 22 mar. 2024.

Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *In*: Chow, V.T. (Ed.). *Handbook of applied hidrology*. Nova Iorque, McGraw-Hill, p. 439-476.

Villela, S.M. & Mattos, A. 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo, McGraw Hill, 250p

Zalán, P.V., Wolf, S., Conceição, J.C.L., Astolfi, A.M., Vieira, I.S., Appi, V.T., Zanotto, O.A. & Marques, A. 1991. Tectonics and Sedimentation of Paraná Basin. *In*: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 8, 1991, Hobart. *Proceedings...* Rotterdam, Balkema, p. 83-117.