

ELABORAÇÃO DE ESTUDO DE RISCO GEOTÉCNICO E DE RESTRICÇÃO À OCUPAÇÃO DO SETOR HABITACIONAL ARNIQUEIRA, DF

Item 5.1

**PROCESSO TERRACAP
00111-00009140/2018-79**

ABRIL DE 2020



GEO LÓGICA
consultoria ambiental

www.geologicadf.com.br

Governo do Distrito Federal

Companhia Imobiliária de Brasília - TERRACAP

Presidente

Izídio Santos Junior

Diretoria Técnica - DITEC

Hamilton Lourenço Filho

Gerência de Meio Ambiente - GEMAM

Albatênio Resende Granja Júnior

Executor do Contrato

Lucas Dias Lima

Equipe Técnica



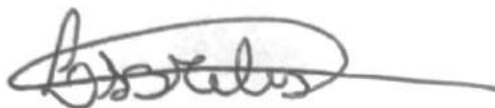
Cristiano Goulart Simas Gomes
CREA-DF 10854/D
Graduado em Geologia



José Eloi Guimarães Campos
CREA-DF 7896/D
Doutor em Geologia

ANDRÉ WALCZUK GOMES

André Walczuk Gomes
CREA-DF 26057/D
Mestre em Hidrogeologia e Meio Ambiente



Lucas Santos Batista Teles
CREA-DF 26194/D
Especialista em Geoprocessamento Ambiental
Mestre em Geologia

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	6
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
3. INTRODUÇÃO	6
4. METODOLOGIA.....	10
4.1. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO LIDAR.....	10
4.2. MAPEAMENTO GEOLÓGICO	10
4.3. MAPEAMENTO PEDOLÓGICO	11
4.4. DECLIVIDADE	12
4.5. PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA DE REFERÊNCIA	12
4.6. USO E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE.....	12
4.7. ÁLGEBRA DE MAPAS	13
5. DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO	15
5.1. GEOLOGIA	15
5.2. GEOMORFOLOGIA.....	22
5.2.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL.....	22
5.2.2. GEOMORFOLOGIA LOCAL	24
5.3. PEDOLOGIA.....	26
5.3.1. PEDOLOGIA LOCAL	28
5.3.1.1. LATOSSOLOS (L).....	30
5.3.1.2. CAMBISSOLOS (C)	32
5.3.1.3. NEOSSOLOS (R).....	34
5.3.1.4. GLEISSOLOS (R)	37
5.3.1.5. PLINTOSSOLOS (F).....	39
5.4. HIDROGEOLOGIA.....	40
5.4.1. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL	46
5.4.2. HIDROGEOLOGIA LOCAL	48
5.4.3. PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA DE REFERÊNCIA	49

5.5. USO E OCUPAÇÃO.....	52
6. RESTRIÇÕES AMBIENTAIS À OCUPAÇÃO URBANA	54
7. RESTRIÇÕES GEOTÉCNICAS À OCUPAÇÃO URBANA	57
7.1. MAPA DE ACÚMULO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	58
7.2. PROCESSOS EROSIVOS E INSTABILIZATÓRIOS POTENCIAIS.....	62
7.3. FEIÇÕES QUE RESULTAM EM PATOGENIAS GEOTÉCNICAS.....	64
7.4. MAPA DE RISCO GEOTÉCNICO	70
8. RESTRIÇÕES GEOTÉCNICO-AMBIENTAIS À OCUPAÇÃO URBANA.....	77
8.1. ÁREAS DE PARCELAMENTO CONDICIONADO	80
9. MAPAS DE DESTITUIÇÃO DE LOTES E REMOÇÃO DE EDIFICAÇÕES	91
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	101
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório técnico trata de um estudo de risco geotécnico e de restrições à ocupação na região do Setor Habitacional Arniqueira (SHA), Brasília-DF (Figura 1), em escala 1:10.000.

O trabalho tem por referência o Projeto Básico do Edital de Licitação Presencial nº 17/2018-CPLIC/TERRACAP, item 5.1, e atende à condicionante nº 2 da Licença de Instalação - Corretiva SEI-GDF n.º 7/2018 - IBRAM/PRESI/SULAM/GEREC, processo de licenciamento ambiental SEI nº 00391-00020770/2017-32.

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para o desenvolvimento de todas as atividades foram implementados os seguintes instrumentos:

1. *De Planejamento*: Plano de Trabalho (PT), aprovado em dezembro de 2019;
2. *De Aquisição de Dados*: Consolidação de Base de Dados Existentes e Campanhas de Campo (janeiro a março de 2020);
3. *De Parecer Técnico Final*: Elaboração de Relatório Final (fevereiro a abril de 2020).

No corpo do presente relatório são apresentados mapas com diagramação simplificada e escala de visualização reduzida (1:20.000; folha A3), além de fotos de campo pertinentes a determinado assunto. A caderneta de campo digital é apresentada em relatório específico (4 - Relatório Fotográfico de Campo). Mapas em escala de elaboração (1:10.000; folha A0) e arquivos vetoriais associados constam na pasta intitulada SIG_SHA, cujo organograma é apresentado em Sumário Executivo (Sumário Executivo).

3. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre representa o substrato sobre o qual se desenvolvem as principais atividades humanas. Do ponto de vista técnico, seu uso e ocupação são função de suas características geotécnicas e geomorfológicas, as quais podem facilitar, dificultar ou mesmo inviabilizar a ocupação humana.

Do ponto de vista legal, restrições ambientais ao parcelamento do solo são fundamentadas em valores como o da supremacia do interesse público e no direito fundamental a um meio ambiente ecologicamente equilibrado. O objetivo principal de qualquer restrição é o ordenamento do desenvolvimento de áreas urbanas.

A avaliação do risco à ocupação urbana no presente estudo é concebida a partir da identificação e integração de três planos de informação:

- I. Meio físico: materiais geológicos e pedológicos, além da geomorfologia e suas disposições no espaço;

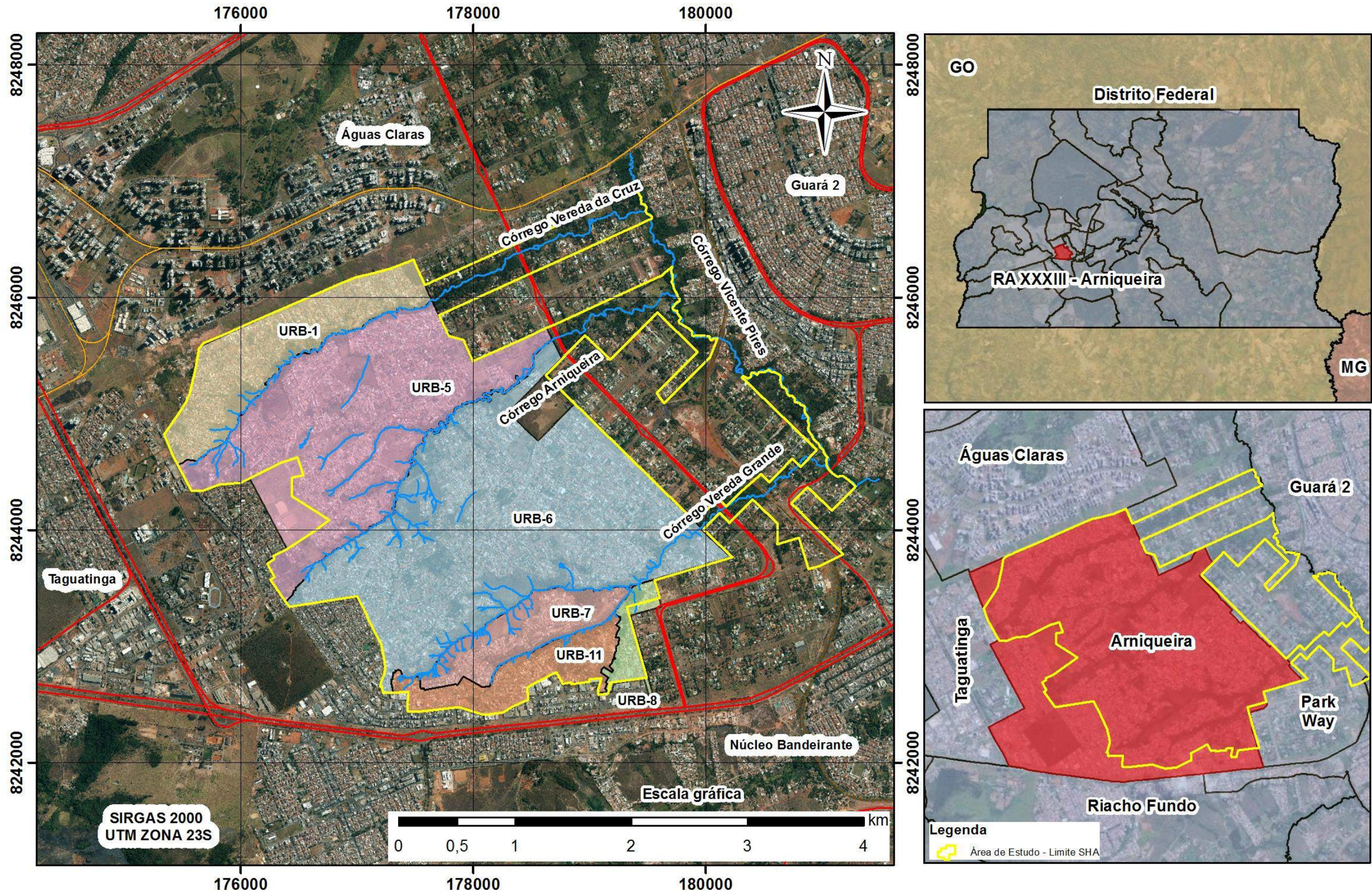


Figura 1 - Delimitação geográfica do Setor Habitacional Arniqueira e suas respectivas URBs. Área total: 1.189,60ha.

- II. Aspectos geotécnicos: comportamento dos materiais quando submetidos a esforços externos e seu posicionamento nas diferentes áreas do território;
- III. Restrições ambientais: identificação de limitações previstas em lei e em outros instrumentos

Este trabalho tem por objetivo a avaliação simultânea destes três grandes grupos de informação. A metodologia inclui observações de campo, análises táteis-visuais dos materiais de cobertura, o uso de ferramentas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e a organização de base georreferenciada.

Para se atingirem os objetivos propostos foram realizadas atividades de campo divididas em três campanhas distintas que resultaram no total de 104 pontos descritos.

A primeira campanha ocorreu entre os dias 13/01/2020 e 16/01/2020, onde foram visitados e descritos 65 pontos (estrelas vermelhas - Figura 2). Essa primeira etapa teve por principais objetivos a descrição pedológica de perfis de solos; a observação e descrição geológica de afloramentos; o reconhecimento dos padrões geomorfológicos e a identificação das possíveis áreas associadas a Áreas de Preservação Permanente (APPs) e zonas de maior risco geotécnico, além da coleta de amostras de solo para ensaios laboratoriais.

As informações coletadas em campo foram utilizadas como subsídio para a elaboração dos mapas temáticos de geologia, geomorfologia, pedologia e de restrições geotécnicas à ocupação do Setor Habitacional Arniqueira.

A segunda campanha de campo ocorreu nos dias 28/01/2020 e 29/01/2020 e contou com a visita a 18 pontos (estrelas verdes - Figura 2). Essa etapa focou na realização de ensaios de infiltração *in situ* pelos métodos dos anéis concêntricos e *open end hole* e, adicionalmente, na descrição de furos a trado para o refinamento dos contatos pedológicos.

A terceira campanha foi realizada no dia 09 de março e focou na observação direta de nascentes (já identificadas em outro estudo) e nas áreas com desenvolvimento de processos erosivos lineares de maior magnitude. Os resultados (21 pontos) desta etapa de estudos não serão apresentados de forma detalhada neste relatório, mas os pontos de descrição são apresentados no **Relatório Fotográfico de Campo** (item 4).

Com relação ao diagnóstico do meio físico, será dada ênfase ao substrato, sintetizado na descrição da geologia da área e demais aspectos intervenientes; aos materiais superficiais que integram o conhecimento sobre os solos; ao relevo, caracterizado nos aspectos geomorfológicos da área em estudo e, finalmente, aos aspectos hidrogeológicos, associados à descrição das águas subterrâneas e sua relação com aspectos hidrogeotécnicos da área do Setor Habitacional Arniqueira.

O diagnóstico do meio físico será realizado com base na literatura, sempre com referências à contextualização ao caso em estudo.

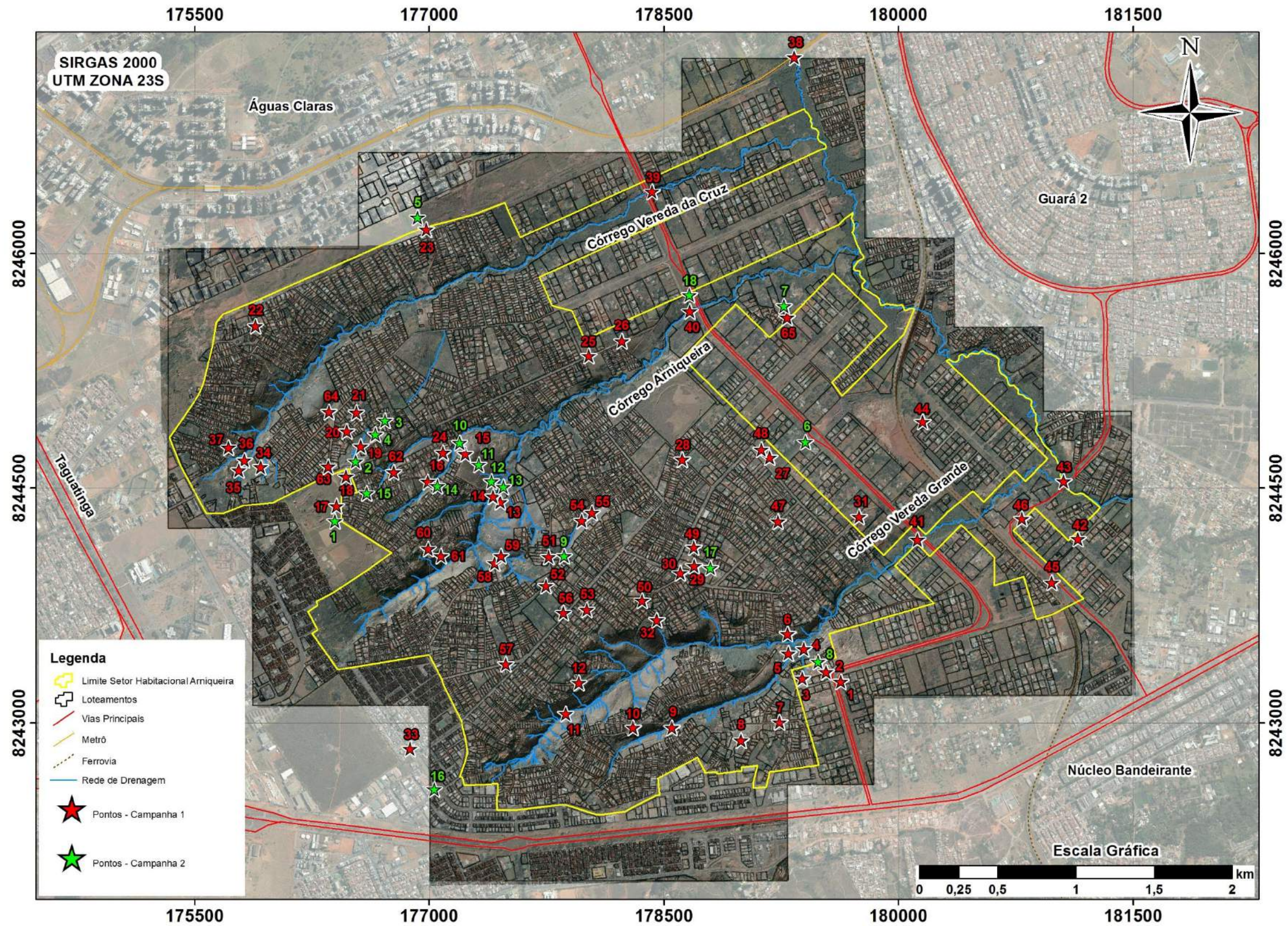


Figura 2 - Mapa de pontos levantados para avaliação e diagnóstico do meio físico.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para identificação de riscos e para definir as diretrizes para a regularização do Setor Habitacional Arniqueira contou com a aplicação de etapas e processamentos consagrados tanto no âmbito da Geologia quanto do Sensoriamento Remoto.

Como o produto final do presente trabalho consiste em um “Mapa de Restrições Geotécnico-Ambientais à Ocupação Urbana”, em escala 1:10.000, todos os planos de informações intermediários - o que inclui os mapas temáticos de geologia, pedologia, declividade, profundidade do nível d’água e uso e ocupação do solo, além do acúmulo de escoamento superficial - foram confeccionados na escala de trabalho proposta. Em etapas preliminares houve consulta a trabalhos acadêmicos anteriores e o processamento de dados altimétricos para geração de modelo digital da superfície, um plano de informação essencial a qualquer análise do meio físico. Os dados mais recentes e de melhor resolução de geologia e pedologia estão disponíveis em Campos (2012) em escala 1:100.000. Outras fontes de informação vetoriais advêm de estudo de impacto ambiental que abrange a área em estudo (Topocart, 2014-2018).

4.1. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO LIDAR

O levantamento topográfico LiDAR (*Light Detection and Ranging*), realizado em 2012 e disponibilizado pela TERRACAP (Companhia Imobiliária de Brasília), é um importante plano de informação para a elaboração de toda a base cartográfica deste estudo. O Modelo Digital de Superfície (MDS), com resolução espacial de 50 cm, é base para a geração de Relevo Sombreado com a ferramenta *Hillshade* do *software ArcMap 10.6.1* e para a interpretação das variações de declividade do terreno (*Slope*).

O Relevo Sombreado, mesmo sendo um dado vinculado à posição da fonte iluminadora - segundo a direção 315° e com angulação de 45° em relação à superfície para o presente estudo - descreve com detalhe as principais características morfométricas da área. Este produto torna-se um poderoso vetor para a definição dos grandes traçados dos vários mapas temáticos necessários à avaliação de risco geotécnico ao delinear, por exemplo, linhas de drenagem (extraídas manualmente em escala 1:4.000) e rupturas no relevo.

4.2. MAPEAMENTO GEOLÓGICO

A elaboração do mapa geológico foi subdividida em três etapas principais: pré-campo, campo e pós-campo. A etapa de pré-campo baseou-se principalmente na investigação da bibliografia clássica referente ao Grupo Paranoá na porção externa da Faixa de Dobramentos Brasília e da geologia do Distrito Federal, seguida da análise de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução, no espectro do visível, adquiridas pelo sensor Copernicus e disponibilizadas pela plataforma *Google Earth Pro*. Tais imagens foram de extrema importância

para a definição das áreas alvos de mapeamento, assim como identificação dos pontos de acessos e vias de circulação pela área de estudo.

A etapa de campo contou com a realização de caminhamentos previamente planejados de forma a se visitar afloramentos chaves e determinar a distribuição dos principais litotipos existentes. As rochas encontradas foram descritas e classificadas com base em suas características principais de mineralogia, textura (arcabouço, matriz e cimento) e estrutura.

Na etapa de pós-campo, todos os dados coletados foram organizados em tabelas Excel e compilados na forma de arquivos vetoriais. Os grandes contatos foram determinados a partir da combinação entre os afloramentos observados e das quebras de relevo marcadas pelo Relevo Sombreado. Adicionalmente, as principais estruturas primárias (acumulação sedimentar) e tectônicas (foliações e flancos de dobras) foram medidas e espacializadas em mapa e avaliadas em estereograma a fim de se mostrar a compartimentação estrutural das rochas aflorantes no Setor Habitacional Arniqueira.

4.3. MAPEAMENTO PEDOLÓGICO

De forma análoga ao mapeamento geológico, a confecção de mapa pedológico também passou por refinamento com base na descrição de perfis de solos ao longo de cortes de estradas e drenagens, além de amostras coletadas via sondagens a trado (ST) para se definir com maior precisão os locais de contato entre os tipos pedológicos.

As classes de solos presentes na área de estudo foram descritas e classificadas de acordo com Embrapa (2018) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Os aspectos essenciais à nomenclatura de solos são a presença de horizonte diagnóstico em conjunto com análises tátil-visuais de cor, textura e estrutura. Características como consistência, pegajosidade e plasticidade caracterizam o comportamento deformacional dos materiais e subsidiam a interpretação de ensaios geotécnicos laboratoriais.

Os contatos pedológicos foram traçados a partir da combinação entre os dados de campo e das Unidades Geomorfológicas obtidas pelo método de Neto (2015) (com adaptações) a partir do Modelo Digital de Superfície e de classes de declividade. É importante ressaltar que os pontos de descrição em campo foram a base para a classificação dos solos. No entanto, tendo em vista que grande parte da área encontra-se recoberta por infraestrutura urbana, o que impede a visualização do substrato rochoso ou pedológico, o traçado das Unidades de Compartimentação Geomorfológica é complementar para a delimitação da área de ocorrência das classes de solos mapeadas, uma vez que a ocorrência de classes de solos é intimamente relacionada à variações do relevo.

Adicionalmente ao mapeamento de superfície, foram analisados perfis de 24 furos do tipo SPT e 119 furos de ST disponibilizados por Topocart (2014-2018) e reinterpretados para fins de

classificação pedológica. No caso dos furos de ST, 108 estão inseridos na poligonal ou nos limites periféricos da área de estudo. A interpretação para o fim em questão nem sempre é conclusiva, sendo, portanto, dados de caráter acessório e de menor relevância frente ao coletado em campo. Com relação especificamente aos furos realizados pela equipe, totalizam-se 26 ST, o que inclui aqueles realizados para ensaios de infiltração, totalizando 36,4m perfurados.

4.4. DECLIVIDADE

O mapa de declividade é resultado exclusivo de técnica de processamento de imagem, onde o dado de entrada utilizado foi o Modelo Digital de Superfície a laser com resolução de 50 cm. Esse dado foi processado pela ferramenta *Slope* do *software ArcMap 10.6.1* e o resultado obtido segmentado conforme as classes de relevo, em porcentagem ou graus decimais. Segundo Embrapa (1979), a fase de relevo Plano corresponde a declividades entre 0 a 3%, Suave Ondulado de 3 a 8%, Ondulado entre 8 a 20%, Forte Ondulado entre 20 a 45%, Montanhoso de 45 a 75% e, por fim, Escarpado com valores maiores que 75%. Para fins legais, compartimentos com declividades superiores a 45° (100%) podem compor APPs.

4.5. PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA DE REFERÊNCIA

Na engenharia civil, a existência de água subterrânea rasa é fator de risco para fundações. O conhecimento da profundidade média do nível freático bem como da magnitude da ascensão capilar, fenômeno inversamente proporcional à granulometria dos materiais, é fundamental para o projeto de obras e restrição de áreas a usos específicos, tal como cemitérios.

A construção de um mapa de profundidade do nível d'água (NA) requer ampla densidade de pontos de amostragem. Apesar da malha de furos de sondagem existente na área de estudo ser ótima para o produto em questão, a profundidade média de ST é de apenas 1,5m e os furos de SPT concentram-se em regiões marginais a drenagens. Desta forma, para a avaliação de risco geotécnico elaborou-se neste estudo um mapa de referência de profundidade do NA. O traçado de linhas de mesma profundidade baseou-se nos dados de sondagem disponíveis, nos tipos pedológicos interceptados, na presunção de uma zona transicional no contato de solos e no controle da declividade no raseamento ou aprofundamento do nível d'água, respectivamente, em depressões e compartimentos geomorfológicos monótonos e de pedologia espessa (interior de planos elevados e intermediários).

4.6. USO E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE

O último produto intermediário elaborado foi o mapa de Uso e Ocupação do SHA. As classes de cobertura foram definidas com base no proposto por *MapBiomias 4.1 para o bioma cerrado e são representadas por: Mata Galeria, Formação Campestre, Área Verde, Solo Exposto

e Infraestrutura Urbana de Alta e Baixa Densidade. Em vista da alta resolução dos outros dados utilizados e da necessidade de um produto atual, as áreas de ocorrência de tais classes foram vetorizadas na imagem da data de 22/09/2019 do sensor Copernicus disponibilizadas pela plataforma *Google Earth Pro*. A delimitação das classes foi realizada em escala 1:4.000.

**Projeto MapBiomias - é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org>. As classes de uso e cobertura da superfície podem ser consultadas em <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>*

4.7. ÁLGEBRA DE MAPAS

A elaboração de mapa de acúmulo de escoamento superficial e mapa de risco geotécnico fundamenta-se na técnica conhecida como Álgebra de Mapas e, a exemplo do mapa de declividade, é resultado de manipulação em ambiente SIG. Segundo Barbosa *et al.* (1998), o método consiste na integração de dados básicos de várias fontes e formatos - imagens de satélite, mapas temáticos, modelos numéricos de terreno, entre outros - para a geração de produtos intermediários, dos quais citam-se cartas de vulnerabilidade (Figura 3).

Como explícito no próprio nome, a técnica resume-se a operações matemáticas com dados espaciais do tipo geocampo. Desta forma, a depender do caráter da variável, exigem-se operações de pré-processamento que transformem avaliações em campos e informações temáticas em numéricas. Dentre as principais ferramentas existentes, Cordeiro *et al.* (2004) destacam as seguintes:

1. Operações Matemáticas: resultam em grades numéricas e imagens; aplicadas a dados de natureza numérica. Exemplo: soma de bandas de uma imagem de satélite;
2. Operações de Transformação: associam valores numéricos a classes temáticas (*Feature to Raster*);
3. Fatiamento em Classes: consiste em obter um campo temático a partir de um campo numérico. Exemplo: confecção de mapa de faixas de declividade;
4. Reclassificação: obtenção de campo temático a partir de outro campo temático;
5. Espacialização: gera um campo numérico ou temático a partir de um atributo de um objeto. Exemplo: interpoladores (*krigagem*, vizinho mais próximo, etc.).

Com relação à operação de transformação, a atribuição de valores numéricos pode ser arbitrária, extraída de funções matemáticas ou baseada no conhecimento técnico. Segundo

Cordeiro *et al.* (2004), o procedimento deve levar em consideração o parâmetro que se deseja modelar. Por exemplo, índices geológicos são variáveis qualitativas. Sob a perspectiva do tema “Risco Geotécnico”, a conversão destes em um índice integrado por meio de equações de regressão linear simples certamente não é a forma mais adequada. Isto porque o comportamento das rochas quando submetidas a tensões é não linear. Considerando-se este fato, pode-se utilizar a análise multicritério denominada *Analytic Hierarchy Process* (AHP) proposto por Saaty (1972). Este é um dos principais modelos matemáticos correntemente disponíveis na teoria de suporte à decisão (Vargas, 2010) e o mais popular entre as técnicas de tomada de decisão multicritério (Pohekar e Ramachandran, 2004).

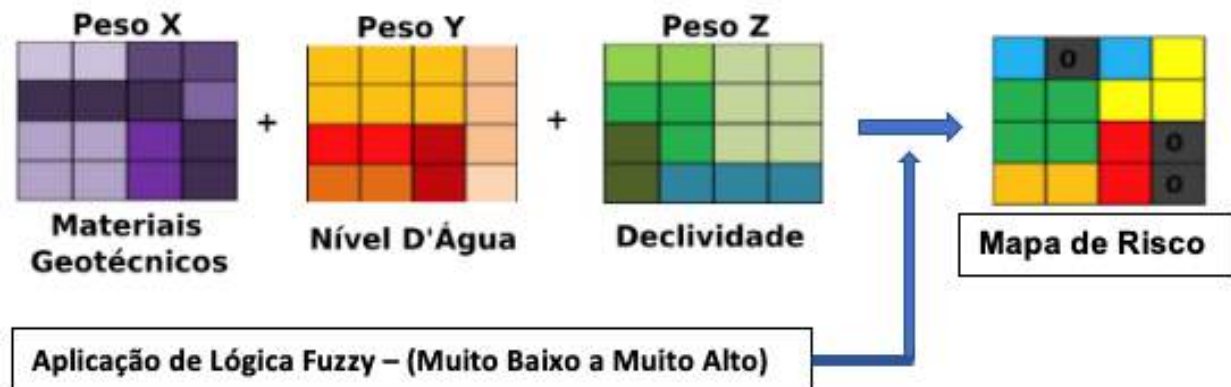


Figura 3 - Fluxograma simplificado de dados e processamentos necessários à confecção de cartogramas, por exemplo, o mapa de Risco Geotécnico.

A determinação dos pesos é feita a partir de uma matriz de correlação (disponível on-line em <https://bpmmsg.com/ahp/ahp.php>) onde determina-se a importância cruzada, em uma escala de 1 a 9 (ou de 1 a 5, caso haja poucos atributos), de duas classes de uma determinada variável. Como exemplo, valores de declividade superiores a 20% (fatias correspondentes a relevos ondulados a montanhosos) tendem a potencializar riscos de deslizamento e queda de blocos. Valores inferiores pouco influenciam e, entre si, apresentam relevância similar. A Figura 4 apresenta um exemplo de matriz de preenchimento da variável declividade analisada em termos de favorabilidade ao acúmulo de escoamento superficial. As porcentagens determinadas pelo método AHP são normalizadas através de uma simples equação linear. Esses dados representam os pesos finais de cada índice e são atribuídos aos *pixels* do arquivo temático com a ferramenta de geoprocessamento *Reclassify*.

Sem dúvida, a etapa mais importante neste tipo de trabalho é a atribuição de pesos, os quais devem ser o mais condizentes com as características de cada classe perante o tema de interesse. Para ter melhor noção da relação entre as variáveis existentes e para suporte na

determinação dos pesos através da metodologia AHP foram realizadas, além dos julgamentos da equipe envolvida, consultas à bibliografia.

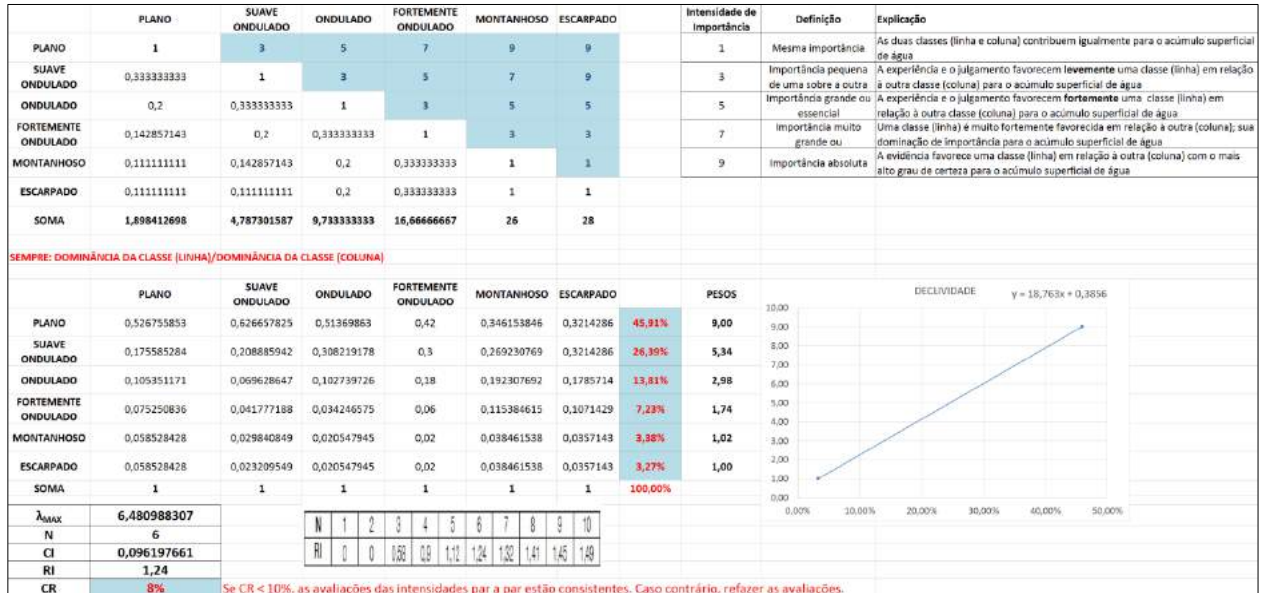


Figura 4 - Exemplo de tabela de ponderação (AHP). A metodologia se aplica para a determinação dos pesos dos demais mapas temáticos e atributos associados na etapa de análise de acúmulo de escoamento superficial e de risco geotécnico.

5. DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO

5.1. GEOLOGIA

A área de estudo está inserida no contexto geológico da zona externa da Faixa de Dobramentos Brasília, mais especificamente sobre os metassedimentos de idade mesoproterozoica do Grupo Paranoá.

No Distrito Federal ocorrem rochas atribuídas a quatro conjuntos estratigráficos da Faixa Brasília: grupos Paranoá e Canastra de idade mesoproterozoica (~1.100 Milhões de anos) e grupos Bambuí e Araxá de idade Neoproterozoica (~650 Milhões de anos). Todas as rochas são metamórficas de baixo grau, tendo sido depositadas em antigos mares de águas rasas. Na área em estudo ocorrem exclusivamente rochas correlacionáveis ao Grupo Paranoá, as quais são caracterizadas pela presença de areia e argila em diferentes proporções nas distintas unidades que o compõem.

Segundo Campos *et al.* (2013), o Grupo Paranoá corresponde a uma sequência psamo-pelito-carbonatada subdividida em 11 unidades, da base pro topo, pelas formações: Ribeirão São Miguel, Córrego do Cordovil, Serra da Boa Vista, Serra Almécegas, Serra do Paranã, Ribeirão Piçarrão, Ribeirão do Torto, Serra da Meia Noite, Ribeirão Contagem, Córrego do Sansão e Córrego do Barreiro.

Dentro dos limites do Setor Habitacional Arniqueira somente afloram litotipos relativos à sucessão intermediária deste grupo, caracterizados pelas formações Ribeirão Piçarrão, Ribeirão

do Torto e Serra da Meia Noite, como representado pelo mapa geológico da Figura 5 e destacado na coluna estratigráfica da Figura 6.

A Formação Ribeirão Piçarrão é caracterizada pela ocorrência de metarritmitos argilosos homogêneos de coloração escura a avermelhada, conforme se evolui o estado intempérico. É comum, entretanto, a presença de outras litofáceis no topo desta unidade, representadas por metassiltitos intercalados com camadas centimétricas a decimétricas de quartzitos finos, camadas métricas a decamétricas de quartzitos médios a grossos (Figura 7), lentes carbonáticas interdigitadas a metarritmitos e metarritmitos com bancos de quartzitos arcoseanos.

Na área em estudo, esta unidade ocorre exclusivamente na porção sudoeste e de forma restrita. Os melhores afloramentos de quartzitos são observados na ponte do Ribeirão Vicente Pires, no acesso de ligação entre as cidades do Núcleo Bandeirante e do Guará (Ponto 43 Campanha 1).

É importante salientar que a cartografia desta unidade é inédita no âmbito do presente trabalho. Nenhum dos mapas anteriormente propostos para o Distrito Federal havia considerado a presença da Formação Ribeirão Piçarrão neste setor. Apenas o Mapa de Freitas-Silva & Campos (1998) havia mapeado esta unidade, mas a cerca de 3 km a sudoeste desta área.

Do ponto de vista prático, para as análises geotécnicas esta unidade terá importância limitada, pois não deverá ser uma região com adensamento de ocupação urbana.

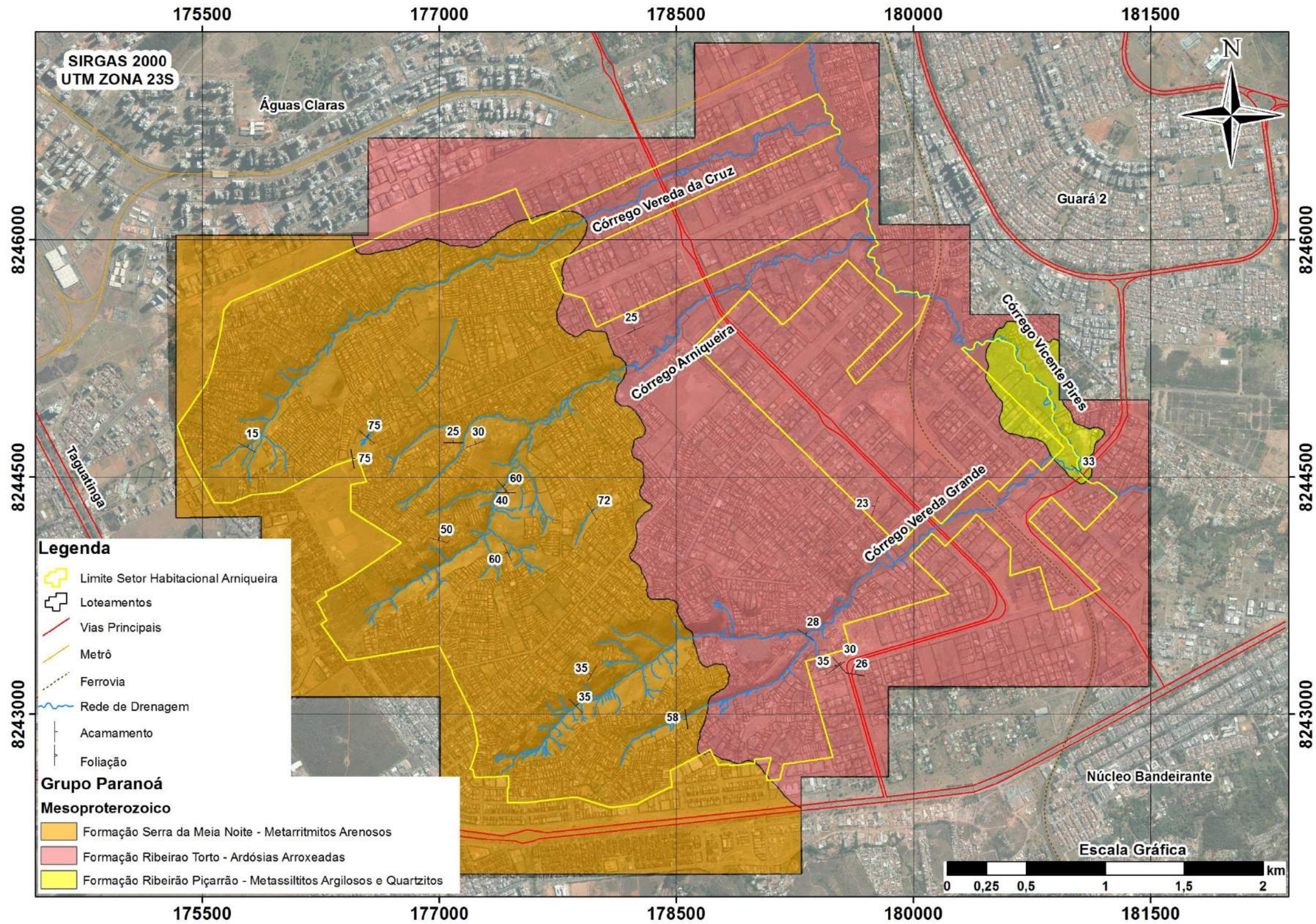


Figura 5 - Mapa Geológico da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira e adjacências.

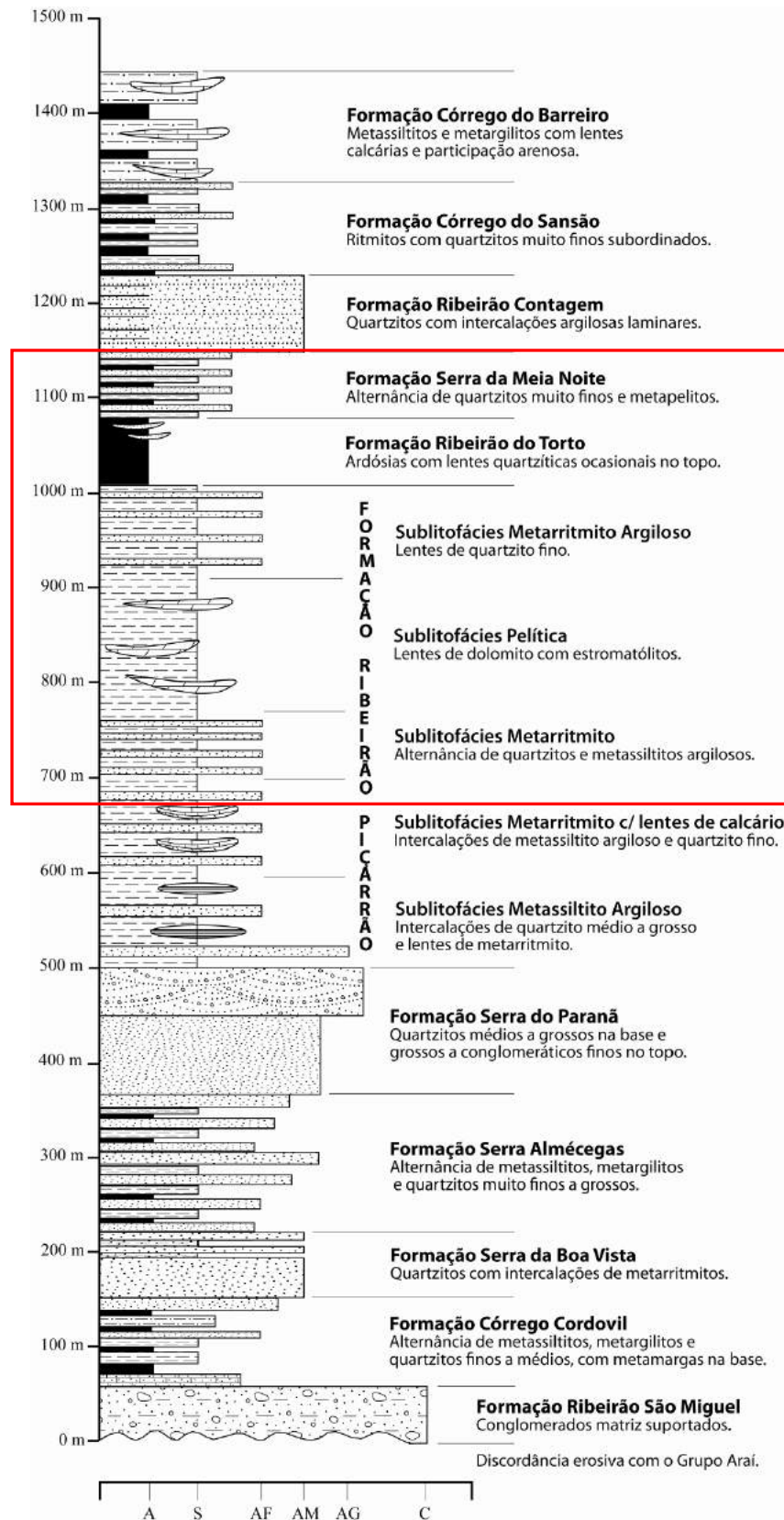


Figura 6 - Proposta de coluna estratigráfica do Grupo Paranoá na área tipo de Alto Paraíso de Goiás - GO. Em vermelho, destaque para as unidades presentes na área em estudo. Extraído de Campos *et al.*, (2013).



Figura 7 - Ponto de Campo 43 Campanha 1 **(A)** Bloco de quartzito com estratificação cruzada do topo da Formação Ribeirão Piçarrão. **(B)** Forma comum de afloramento dos quartzitos da Formação Ribeirão Piçarrão ao longo de leito de drenagem. **(C)** Amostra de mão de quartzito. Granulometria areia fina a média. Capa avermelhada formada por oxidação intempérica.

Por sua vez, a Formação Ribeirão do Torto é representada por ardósias, que apresentam coloração arroxeadada (Figura 8) quando alteradas e cinza esverdeado quando frescas. Em meio ao pacote de ardósias podem ocorrer raras lentes métricas a decamétricas de quartzitos e, em direção ao topo, intercalações silto-argilosas de coloração avermelhada que marcam a passagem gradual para a Formação Serra da Meia Noite.

Estas rochas apresentam duas clivagens ardosianas que são materializadas por planos de fraqueza muito penetrativos, nos quais argilominerais são recristalizados. Tais planos podem funcionar como locais de deslizamentos intramaciço quando submetidos a carga axial, especialmente em função do baixo ângulo de mergulho medido em campo (entre 15 e 30°).

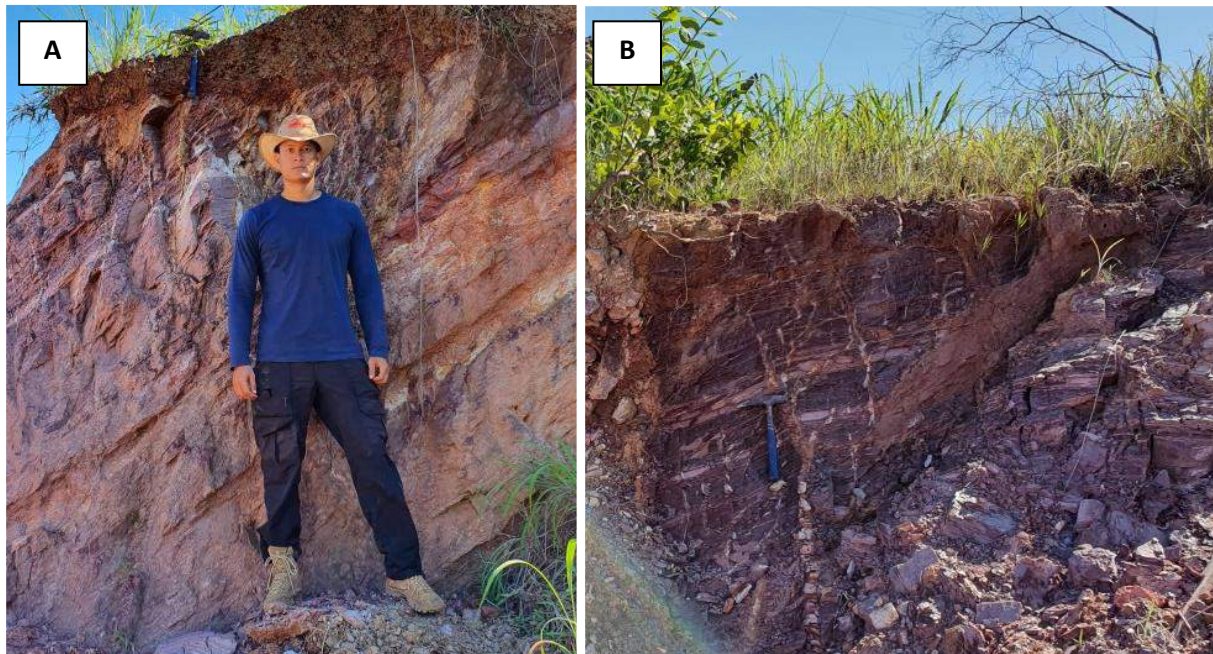


Figura 8 - Ponto de Campo 01 Campanha 1 **(A)** Aspecto geral dos afloramentos das ardósias da Formação Ribeirão do Torto. **(B)** Fotografia de maior detalhe mostrando o acamamento sedimentar (internamente laminado) bem marcado em ardósias roxas. Nota-se também a presença de delgados planos de falha preenchidos por veios de quartzo leitoso.

O topo da estratigrafia na área em estudo é representado pela Formação Serra da Meia Noite, na qual predominam metarritmitos arenosos caracterizados pela alternância entre camadas centimétricas a métricas de quartzitos finos e delgadas camadas de metassiltitos argilosos, metalamitos siltosos e metalamitos micáceos (Figura 9). Na estratigrafia regional, próximo à base e ao topo da formação destacam-se duas camadas de quartzitos finos a médios esbranquiçados, que apresentam espessuras variando entre 8 a 20 metros. Esta camada superior sustenta forma de relevo elevadas e planas, tal como o extremo oeste da área em estudo. Em termos de estruturas sedimentares, é comum a ocorrência de estratificações plano-paralelas, marcas onduladas, estratificações lenticulares e diques de areia.

Nas camadas mais espessas de quartzitos podem sobrar matacões de até 1 metro que se destacam nos solos residuais. Contudo, tais blocos ocorrem em áreas relativamente planas, o que minimiza o risco de desenvolvimento de deslizamentos ou queda de blocos.

Em termos estruturais, a maior parte dos afloramentos observados da Formação Serra da Meia Noite são homogêneos e monótonos. A atitude principal dos planos de acamamento é de $330^{\circ}/40^{\circ}$, em *Dip Direction*. A Figura 10 sintetiza a orientação de todas as medições de acamamento sedimentar coletadas em campo, sem distinção de formação.

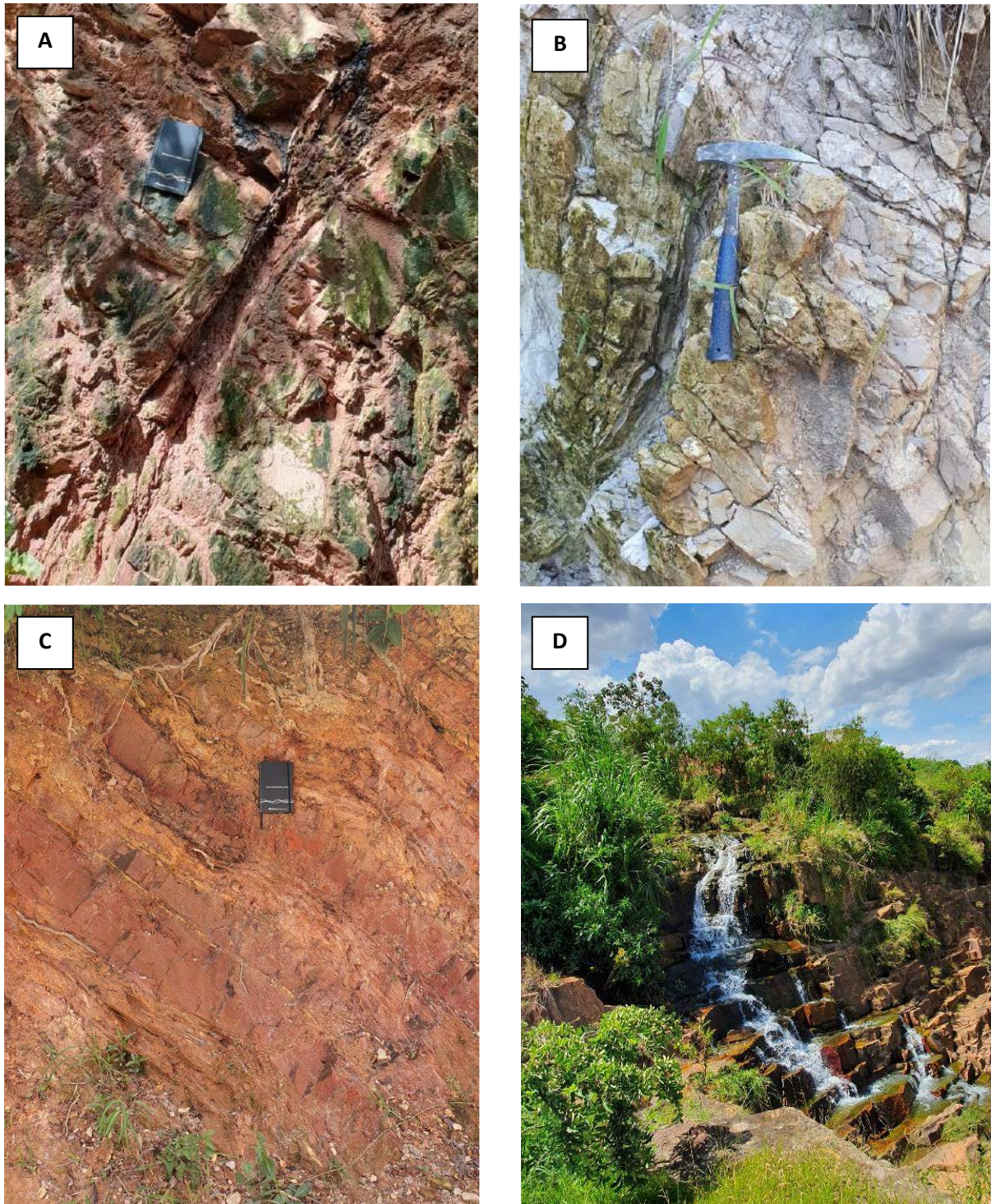


Figura 9 - (A) Ponto 61 Campanha 1. Afloramento de metarritmito arenoso da Formação Serra da Meia Noite. **(B)** Ponto 20 Campanha 1. Detalhe para as intercalações entre delgadas camadas de metapelitos e camadas centimétricas de quartzitos. **(C)** Ponto 61 Campanha 1. Aspecto geral dos metarritmitos quando encontrados em avançados estados de alteração intempérica. **(D)** Ponto 34 Campanha 1. Camadas métricas de quartzito fino esbranquiçado posicionadas na parte de topo da Formação Serra da Meia Noite.

Nas ardósias da Formação Ribeirão do Torto, além das atitudes do acamamento sedimentar (média de $310^{\circ}/30^{\circ}$), medem-se duas foliações ortogonais que podem ser interpretadas como clivagens ardosianas decorrentes de dobramentos abertos. A primeira foliação ocorre em baixo ângulo de mergulho (35°) e direção de mergulho de 235° , em contraste com a segunda que possui direção paralela aproximada (240°), porém alto ângulo de mergulho (58° , em média).

Na outra vertente, os metarritmitos da Formação Serra da Meia Noite são observados em padrões de dobramentos apertados, formando dobras do tipo “caixa” e “chevron”, o que evidencia uma deformação em condições crustais mais rasas e de limite dúctil-rúptil.

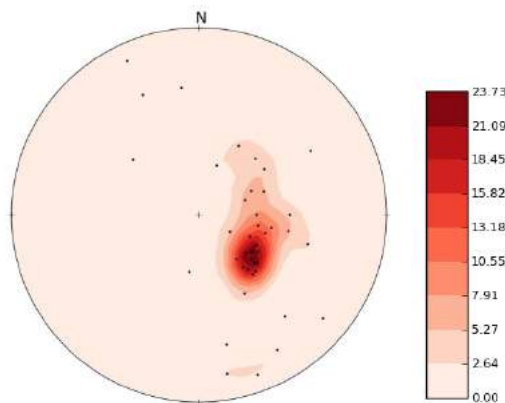


Figura 10 - Estereograma de polos do acamamento sedimentar. Atitude média: $310^{\circ}/27^{\circ}$. N = 39.

Como a mineralogia das rochas dos metassedimentos é similar à mineralogia do manto de intemperismo derivado, não há horizonte saprolítico muito espesso. A ausência ou presença restrita de blocos e matacões nos horizontes pedogenéticos minimiza o desenvolvimento de processos instabilizatórios como deslizamentos, solifluxão e queda de blocos, mesmo em condições de declividades extremas (maiores que 100%).

5.2. GEOMORFOLOGIA

5.2.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

De acordo com Ab'Saber (1977), o Distrito Federal situa-se no domínio morfoclimático dos chapadões tropicais, que se caracterizam por uma fitofisionomia dominante de cerrados penetrados por matas de galeria e por uma geomorfologia de superfície aplainada de vastas extensões, com restrita disponibilidade de recursos hídricos superficiais (por conter cabeceiras de drenagens) e solos predominantemente ácidos. A situação atual do relevo, nessas áreas, é resultante de um conjunto de processos que atuam de forma prolongada no tempo e que são determinados pelo regime climático tropical semiúmido (com forte sazonalidade), geologia e fatores pedogenéticos.

Nessa mesma linha de pensamento, Novaes Pinto & Carneiro (1984) afirmam que as condições geomorfológicas da região apresentam características típicas em virtude de influências geológicas, climáticas e antrópicas.

No que se refere ao Distrito Federal, a compartimentação geomorfológica conta com um acervo no qual se destacam, cronologicamente: Mamede (1984), Soares (1984), Maio (1986), Novaes Pinto (1994), Martins (1998) e Campos (2012) (Tabela 1).

De maneira geral, o Distrito Federal apresenta um contexto geomorfológico característico do Planalto Central. Exibe uma compartimentação com feições que evoluem em uma região na qual ocorreram processos de aplainamentos e que atualmente expressam-se em suas formas residuais com maior ou menor grau de dissecação.

RADAMBRASIL (1984)	CODEPLAN (1984)	NOVAES PINTO (1994)	MARTINS & BAPTISTA (1998)	CAMPOS (2012)
Chapadas do Distrito Federal	Pediaplano Contagem-Rodeador e Pediaplano Brasília	Região de Chapada	Chapadas Elevadas	Planos Elevados
	Depressão Interplanáltica e Planaltos Intermediários	Região de Dissecação Intermediária	Planos Intermediários	Planos Intermediários
	Planícies Aluviais e Alveolares	Região de Dissecação de Vales	Planícies	Região de Vales Dissecados
			Rebordos	Rebordos
			Escarpas	Rampas Íngremes

Tabela 1 - Unidades Geomorfológicas segundo suas respectivas classificações.

Resumidamente, estudos afirmam que a evolução deu-se inicialmente por um aplainamento cretáceo em condições de clima árido, originando um extenso pediplano. Uma reativação tectônica produziu soerguimento, inclinando o plano EW e falhando-o. Com a atuação climática quente e úmida, instalou-se uma vegetação mais densa, semelhante ao cerrado. A continuidade da epirogênese e o clima tropical semiúmido contribuíram para um momento de equilíbrio. Com a sequência dos processos, foram sendo delineadas feições caracterizadas pela dispersão das águas e pelos caminhos de vale, sendo, respectivamente, os divisores de águas e os taludes.

Após essa etapa, a redução dos movimentos verticais lentos promoveu uma alteração nos processos erosivos e de deposição. Essa modificação, conjuntamente com variações no regime climático, propiciou outro equilíbrio morfodinâmico.

Com o exposto, ressaltam-se como fatores atuantes na definição geomorfológica regional o regime climático, a situação fitogeográfica e os condicionantes litológicos e estruturais.

Atualmente, as feições do relevo respondem a fenômenos desencadeados em decorrência das atividades antrópicas que interferem no equilíbrio dinâmico. O estabelecimento de núcleos urbanos, áreas com cultivos ou pecuária podem, portanto, afetar a morfodinâmica de maneira a causar significativas perturbações no balanceamento das forças propulsoras do modelado.

Em conformidade com os estudos mais tradicionais acerca da compartimentação, a região do Distrito Federal configura-se com as unidades relacionadas na Tabela 1 segundo suas respectivas classificações.

Levando-se em consideração os mais relevantes estudos geomorfológicos já produzidos e tendo-se a necessidade de detalha-los em virtude da escala de trabalho, elaborou-se uma proposta de compartimentação da geomorfologia local.

5.2.2. GEOMORFOLOGIA LOCAL

Considerando os estudos de classificação geomorfológica mais recentes, a área estudada encontra-se em um sítio geomorfológico de transição entre unidades de expressividade regional. Mais especificamente, o Setor Habitacional Arniqueira está situado em três dos compartimentos descritos na escala 1:100.000, incluindo: Plano Elevado (no extremo W/SW), Rebordo (na porção central) e Plano Intermediário (na porção E/NE) (Figura 11).

A área de chapada coincide com os limites oeste da Chapada de Brasília e do Pediplano Brasília. Há apenas uma nova delimitação em função do aumento da resolução espacial na qual o estudo foi efetuado. As cotas altimétricas neste compartimento variam entre 1050 e 1200 metros, com índices de declividade gerais menores que 8%. Contudo, é possível encontrar restritas áreas de nascentes nas quais as declividades são superiores àquela, não chegando a ultrapassar a faixa de 12%.

Essa unidade possui um importante controle litoestratigráfico relacionado à Formação Serra da Meia Noite do Grupo Paranoá. Sua morfologia caracteriza-se por uma superfície plana, nas porções mais centrais, a suave ondulada, com leve inclinação em direção ao Rebordo. Esse compartimento funciona como área de dispersão e de fornecimento hídrico a vários mananciais locais.

Em geral, seus solos predominantes são os latossolos, os quais favorecem processos erosivos laminares de velocidade reduzida, uma vez que esses possuem um horizonte espesso que não favorecem o escoamento rápido, mas a infiltração. Em direção ao rebordo há o mapeamento de manchas de Neossolo Quartzarênico.

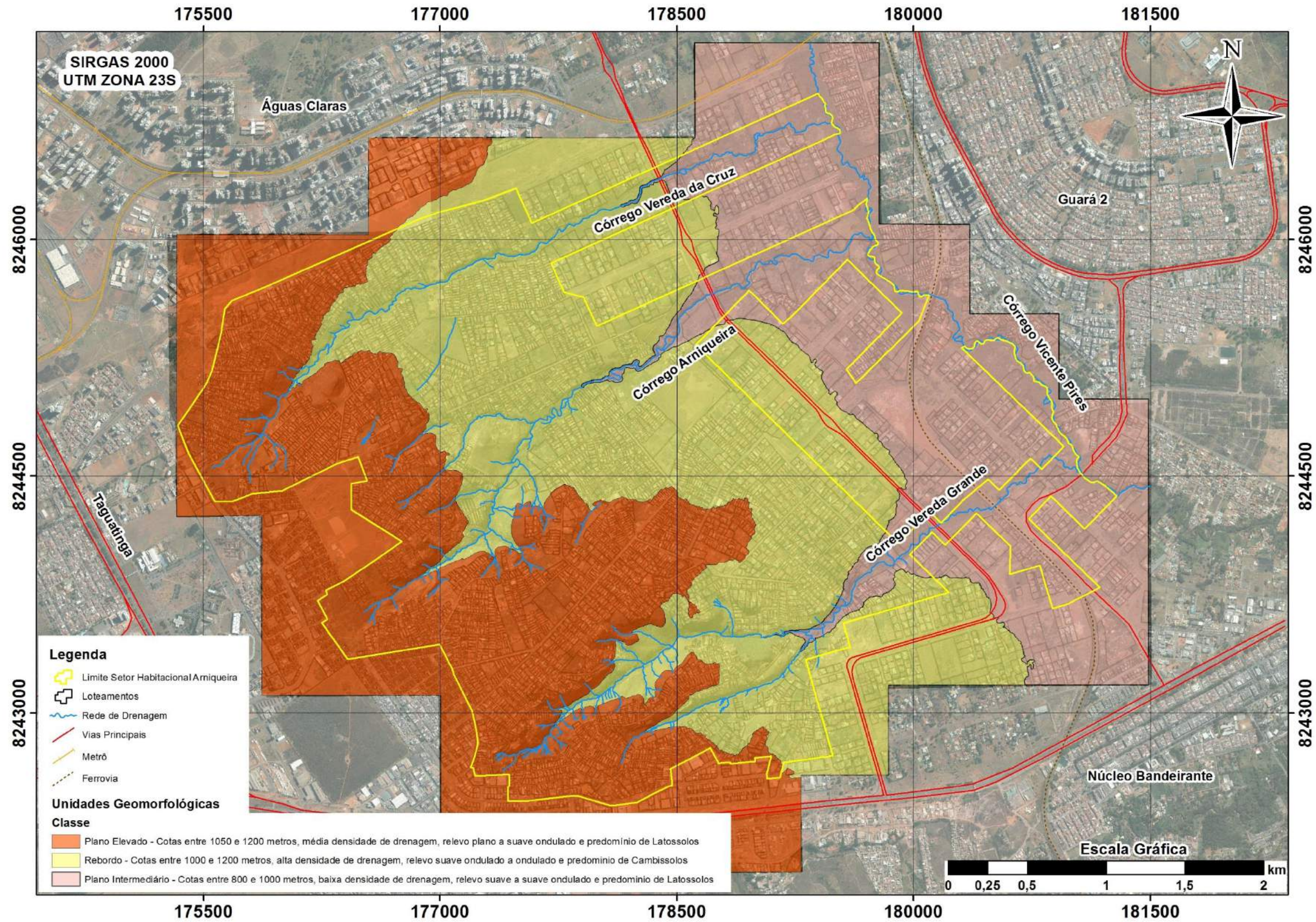


Figura 11 - Mapa Geomorfológico da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira.

As áreas identificadas como Rebordo ocorrem em função do controle por contato entre diferentes litologias e compõe a transição do relevo entre o Plano Elevado e o Plano Intermediário. Essa unidade apresenta um setor de dissecação moderada, na faixa de transição para a Depressão do Paranoá de Novaes Pinto (1994ab), e outra com dissecação mais acentuada no contato com a unidade de Plano Elevado. Sua amplitude altimétrica como um todo se encontra entre 1000 e 1200 metros, e as coberturas são representadas por cambissolos e latossolos (com predominância dos primeiros). A ruptura de declive exibe-se como ponto de interseção entre essa unidade e a do Plano Elevado.

O Rebordo desenvolve-se no contexto geológico de transição entre as formações Ribeirão do Torto e Serra da Meia Noite do Grupo Paranoá. Seu sítio com o mais alto grau de dissecação ocorre em rochas da Formação Serra da Meia Noite, no qual se apresentam as maiores declividades, com dissecação progressiva para oeste.

Essa unidade exibe, localmente, espessa camada de concreções petroplínticas que acabam por reforçar a resistência das vertentes aos processos de dissecação, funcionando como fator protetor da superfície da chapada quanto à erosão remontante. As áreas dissecadas, que ocorrem em cotas variando entre 800 e 1000 metros, também exibem cambissolos nas encostas mais íngremes.

Analisando detalhadamente, é possível visualizar que, assim como a unidade de rebordo, a área dissecada mostra-se subdividida em dois setores, segundo o estágio do processo de dissecação. O primeiro setor, com dissecação acentuada, desenvolveu-se sobre rochas da Formação Ribeirão do Torto do Grupo Paranoá, no qual existem poucas feições remanescentes e declividades moderadas, predominando vales mais alargados. O segundo setor caracteriza-se por ser uma área com dissecação moderada pela maior resistência litológica dos metarritmitos da Formação Serra da Meia Noite. Nesta última, foi identificado um maior quantitativo de feições residuais como cristas, superfícies tabuliformes e colinas. Também os vales fluviais configuram-se mais estreitos e profundos neste contexto geológico de metarritmitos arenosos.

5.3. PEDOLOGIA

Os solos representam um elemento ambiental relevante por ser o substrato controlador da maior parte dos ecossistemas terrestres. Além de indicar condições relativas à construção civil (fonte de material de empréstimo e substrato de fundações), também são fundamentais no controle de questões sobre a qualidade ambiental da região e para o uso agropecuário.

Dessa maneira, o conhecimento pedológico é básico em qualquer processo de gestão ambiental, incluindo a urbano-ambiental. Outro fator que amplia a importância dos solos nos processos de gestão é seu papel discriminador da paisagem com forte correlação com relevo, geologia, vegetação e capacidade de suporte do meio natural.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018), os solos são formados por materiais minerais e orgânicos que ocorrem sobre o manto superficial continental. Estes possuem como limite superior a atmosfera e inferior o substrato rochoso ou o material de origem inconsolidado.

Ao se analisar um perfil de solo, desde sua porção mais superficial, são considerados estratos dispostos aproximadamente de forma paralela, conhecidos como horizontes. Estes estratos diferenciam-se entre si e do material que os originou em função de processos modificadores das condições pré-existentes, os chamados processos pedogenéticos. Em um perfil de solo há fatores que se prestam ao diagnóstico pedológico, os quais auxiliam na identificação do tipo pedológico.

A referida classificação brasileira de solos distingue-os em seis níveis categóricos hierárquicos: ordem, subordem, grandes grupos, subgrupo, família e série.

Essa identificação por grau de generalização fundamenta-se em propriedades do solo que foram organizadas segundo sua complexidade ou escala de detalhamento do levantamento. De maneira geral, os níveis menos minuciosos são distinguidos por características que podem ser identificadas em campo, como presença ou ausência de determinados atributos físicos, processos pedogenéticos e horizontes diagnósticos. Já os que exigem maiores detalhes baseiam-se em particularidades diferenciais resultantes diretamente dos processos de formação do solo, e, via de regra, necessitam de análises químicas, físicas e mineralógicas para sua identificação.

Para diagnosticar quais tipos de solo são encontrados na área que recobre a poligonal do Setor Habitacional Arniqueira utilizou-se como base o mapeamento de solos executado pela Embrapa (1978) em escala 1:100.000 e rerepresentado em Campos (2012), com ampliação a partir de dados primários até se alcançar a escala 1:10.000.

Em razão da necessidade de aumento de escala das informações pedológicas locais, executou-se uma identificação preliminar dos solos que resultou do cruzamento de informações em ambiente SIG relativas a interpretações de fotografias aéreas e imagens de satélites e observações em campo.

O grau de densidade das observações de campo seguiu as considerações de Vink (1963). Para a escala de trabalho escolhida, esta sugere de 1 a 5 observações para cada 100 hectares em imagens orbitais, o que resulta em um intervalo de 14 a 41 pontos entre perfis e pontos de controle em face das dimensões da área de implementação do Setor Habitacional Arniqueira.

Assim, o reconhecimento em campo constituiu-se por pontos de perfis escavados e outros pontos de reconhecimento explorados com o auxílio de trado manual.

Com os dados gerados nos trabalhos de campo efetuou-se uma checagem que levou à correlação entre estes, as classes reconhecidas no material cartográfico produzido pela Embrapa

e as condições apresentadas nas fotografias aéreas; o que tornou possível um levantamento semidetalhado (de acordo com Vieira, 1983) das informações pedológicas relevantes ao propósito deste trabalho e conseqüentemente à elaboração de um mapa final de solos condizente com essas características de avaliação. Portanto, as informações de solo constantes neste documento retratam as peculiaridades significativas para o 3º nível categórico, Grandes Grupos, relativo ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018).

Analisando o mapeamento de solos executado pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solo (Embrapa, 1978), na escala 1:100.000, o Distrito Federal pode ter sua superfície territorial distinguida em dois núcleos em função dos tipos de coberturas. O primeiro é caracterizado pelo conjunto de tipos pedológicos mais abundantes, no qual a representatividade espacial se expressa em torno de 85% e é constituído pelas seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo (Cb). Já o segundo grupo, o qual abrange aproximadamente 15%, se refere aos demais tipos de solos identificados dentro dos limites do DF como classes de: Nitossolos, Chernossolos, Gleissolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Litólicos, além de Plintossolos.

No caso dos Latossolos, o referido levantamento diagnosticou que 55% da área Distrito Federal constituem-se desta classe e que estes se detalham em Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, ocupando área de aproximadamente 39% e 16%, respectivamente. Já os Cambissolos equivalem a uma cobertura territorial de cerca de 30% da área total do DF.

5.3.1. PEDOLOGIA LOCAL

Na área do Setor Habitacional Arniqueira foi observada a ocorrência das seguintes ordens de solos (Figura 12):

- * Latossolos (L)
- * Cambissolos (C)
- * Neossolos (R)
- * Gleissolos (G)
- * Plintossolos (F)

Como essas ordens correspondem ao primeiro nível categórico, estabelecido pela classificação de solos, estes serão descritos e detalhados até o 3º nível categórico (Grandes Grupos) segundo as condições encontradas *in situ* e com base em análises laboratoriais de textura (Anexo A).

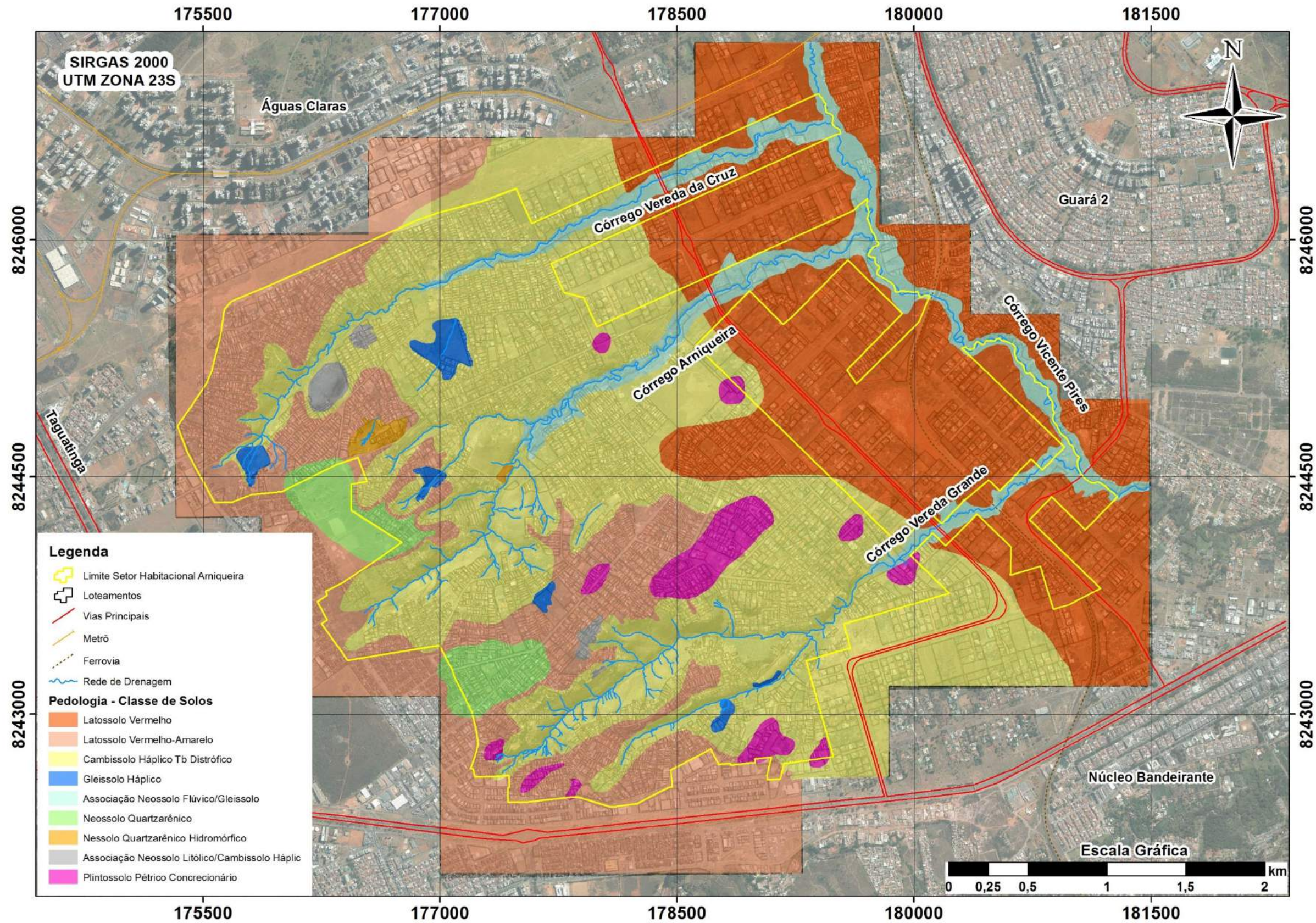


Figura 12 - Mapa de solos da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira.

5.3.1.1. LATOSSOLOS (L)

Estes são solos submetidos a consideráveis processos de lixiviação de bases ao longo do seu perfil, resultando em um pacote pedológico no qual o material encontra-se altamente intemperizado, com alteração intensa dos silicatos e concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. No perfil de um latossolo, a transição entre os horizontes é gradual ou difusa e a textura exhibe-se de maneira uniforme, não havendo acúmulo de argila. Nessa classe, os solos apresentam elevada acidez. Os ácidos orgânicos ocorrem como fração mais expressiva da porção húmica, visto que esta é rapidamente decomposta e lixiviada, o que impossibilita uma acumulação representativa. Quando a vegetação associada apresenta maior densidade foliar o latossolo exhibe-se menos distrófico ou com maior saturação de bases.

O horizonte B diagnóstico, latossólico (Bw), constitui-se com uma espessura mínima de 50cm que apresenta, em geral, textura franco arenosa a argilosa, cerosidade ausente, baixa capacidade de troca de bases, grande estabilidade dos agregados, microestrutura ou blocos subangulares fracos a moderados e poucos minerais resistentes ao intemperismo.

No setor investigado são encontrados latossolos classificados nas seguintes subordens:

⇒ Latossolo Vermelho (LV): 10,2%

⇒ Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA): 20,2%

Como não foram observados perfis abertos nestes solos profundos, sua caracterização foi feita com auxílio de trado manual, mostrando sua cor a diferentes profundidades (Figura 13), sua textura e estruturação.



Figura 13 - Materiais obtidos de perfis de latossolos com auxílio de trado manual. Notar a estruturação granular dos materiais **(A)** Ponto 65 Campanha 1. Latossolo Vermelho e **(B)** Ponto 23 Campanha 1. Latossolo Vermelho-Amarelo.

Latossolo Vermelho (LV) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) → De maneira geral, esses solos apresentam ampla ocorrência associada à vegetação original de cerrado e/ou cerradão e topos dos Planos Elevados; relevos com superfícies aplainadas a suave onduladas, geralmente de topografia favorável à urbanização. O material de origem desses solos é variável, incluindo ardósias e metarritmitos. Na área estudada esses se encontram em porções mais abundantes e contínuas sobre rochas do Grupo Paranoá, mais especificamente sobre as formações Ribeirão do Torto (LV e LVA) e Serra da Meia Noite (LVA).

A remoção da maior parte da sílica que constitui o material originário torna o solo mais friável, menos plástico e significativamente permeável. Essa permeabilidade favorece uma maior resistência natural aos processos erosivos. Normalmente, os Latossolos exibem-se com perfis profundos, muito porosos e bastante permeáveis.

Quanto à condição natural, já são conhecidas as limitações agrícolas que exigem correção de acidez, fertilização e controle da erosão, sendo esta última uma questão a requerer maior atenção na conservação em outros usos além do agropecuário. Essa baixa fertilidade e elevada acidez derivam da fraca capacidade de troca e da ação de bactérias que decompõem a matéria orgânica, transformando-a em ácidos inertes. Também, apesar desse tipo de solo ser bastante permeável e encontrar-se situado em áreas morfodinamicamente mais estáveis, é necessário um manejo adequado à prevenção do risco erosivo.

Latossolo Vermelho (LV)

Na localidade pesquisada são representativos os Latossolos Vermelhos distróficos (LVd), de textura argilosa a muito argilosa ou textura média-arenosa, fase cerrado, relevo plano a suave ondulado. Esta classe de solo constitui-se por uma sequência morfológica de horizontes com A moderado, AB, B latossólico e C. Caracterizam-se por estar situado em relevo tipo plano a suave ondulado de região de Plano Intermediário, em geral, com declividade menor que 8%, com associação vegetal nativa de campo cerrado e cerrado.

O horizonte A apresenta espessura de 20 cm e constituição predominante de material removido de áreas adjacentes apresentando coloração avermelhada escura, textura argilosa, estrutura pequena moderadamente granular, consistência úmida friável e molhada pegajosa com plasticidade, microporos pequenos e abundantes, além de exibir raízes finas comuns que se tornam menos incidentes em direção à, clara e ondulada, transição. O horizonte AB tem espessura de 20-50 cm e é formado por material com textura argilosa, cor bruno avermelhado, estrutura pequena e moderadamente granular; consistência friável, pegajosa e plástica; com ocorrência de pequenos microporos e menos abundante de pequenos a médios macroporos, além de poucas e finas raízes. A transição para o horizonte subsuperficial é gradual e ondulada.

O horizonte subsuperficial B foi diagnosticado exibindo um importante estágio de

intemperização com textura argilosa e estrutura granular fraca, que se expõe em um pacote pedológico com espessura que pode superar 200 cm, podendo ser subdividido nos sub-horizontes Bw1 e Bw2. Apresenta estrutura pequena e granular, porém fraca, com consistência friável, muito pegajosa e plástica; passando a mostrar poucas raízes médias e transição plana e difusa em direção ao Bw2.

Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

As áreas de ocorrência de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) situam-se nas bordas do Plano Elevado com o compartimento de Rebordo. Integram estas regiões: vegetação natural de cerrado *sensu strictu*, campo limpo e campo sujo; superfícies planas e vertentes com declividades entre 8 e 20%.

Na maior parte dos casos, situa-se adjacente à classe dos cambissolos. Na área estudada, essa classe comumente decorre da pedogênese em metarritmitos arenosos do Grupo Paranoá. Em alguns perfis do LVA podem ocorrer mosqueados e horizonte plíntico em profundidade. Como são solos com características semelhantes às dos Latossolos Vermelhos (LV) são diferenciados por apresentarem suprimento de óxidos de ferros menor do que estes, acarretando colorações mais amareladas, drenagem moderada e boas condições de aeração.

O Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) correspondente é caracterizado por horizontes A, AB e B. Essa classe localiza-se em uma morfologia de chapada, com relevo local plano a suave ondulado, associada a uma fitofisionomia secundária de campo sujo com drenagem e permeabilidade boas, não sendo observado o desenvolvimento de processos erosivos.

O horizonte A pode ser descrito por expor-se em espessura menor que 15 cm, com tonalidade bruno amarelado, textura média, estrutura granular pequena e fraca; consistência friável, ligeiramente pegajosa e plástica, com abundância de pequenos microporos e macroporos, raízes pequenas. A transição entre os horizontes A e AB mostra-se de forma clara e plana.

Os horizontes Bw evidenciam-se em tom amarelo brunado, textura média a arenosa, estrutura granular média e fraca, consistência friável, pegajosa e ligeiramente plástica, abundância de pequenos microporos, comuns macroporos pequenos e médios e raízes pequenas.

5.3.1.2. CAMBISSOLOS (C)

Presentes em ao menos 53% da área de estudo, essa é uma classe formada por solos pouco desenvolvidos, cuja pedogênese já alterou o material de origem, mas de forma incipiente, de modo a persistirem fragmentos de rochas e minerais primários, além de pedregosidade e localmente rochosidade. Esses solos ocorrem principalmente nas vertentes e encostas com

maior declividade, sendo abundantes na unidade de Rebordo, em relevos que variam entre os compartimentos Plano Elevado e Plano Intermediário com altitudes entre 1.050 e 1.150 metros.

Também é comum a existência de grandes quantidades de cascalho e uma vegetação natural caracteristicamente associada de Campo Limpo e Campo Sujo. O alto teor de silte do horizonte A e a restrita profundidade do perfil fazem com que esta classe de solos tenha sua permeabilidade dificultada. A junção dessas características com as taxas elevadas de declividade nos locais onde esses solos ocorrem resultam em empecilho à ocupação urbana e os tornam mais susceptíveis à erosão. A migração de argila ao longo do perfil é inibida e o horizonte A passa a permanecer com os seus mais elevados teores. Já o horizonte B incipiente (Bi), apresenta-se com muitos fragmentos do material de origem, constituindo-se, em geral, de metarritmito e quartzito e caracterizando-se comumente em distróficos e muito ácidos.

Nesses solos, o potencial erosivo revela-se acentuado, pois a permeabilidade limitada agregada à ocorrência de chuvas torrenciais produz as enxurradas que favorecem a formação de sulcos quando o excedente de águas pluviais não é bem gerenciado.

Durante a averiguação pedológica em campo, foi executada a descrição morfológica de alguns perfis identificados na classe dos Cambissolos. Estes perfis foram observados em condições geográficas com relevo ondulado de região de Rebordo associado à vegetação natural de campo limpo.

Um perfil típico de Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd) observado na região caracteriza-se por horizontes A, Bi e C ao longo de 100 cm (Figura 14). O horizonte A estratifica-se em A1 e A2, visto que a sua porção mais superficial apresenta fração de materiais orgânicos com maior representatividade que a de subsuperfície. Já o horizonte B, identificado como incipiente (Bi), enquadra o tipo pedológico e não exibe expressiva diferenciação nos seus 50 cm.

O horizonte A1 (0-20 cm) possui expressiva pedregosidade, coloração bruno acinzentada, textura média, estrutura em blocos pequenos e moderados, consistência dura; é ligeiramente pegajoso e plástico, muito pedregoso, fracamente cimentado e com transição gradual ondulada. A porção de 20-40 cm revela um horizonte A2 com poucas raízes finas, pedregosidade, tonalidade bruno amarelada, textura média, estrutura em blocos moderados e pequenos, consistência dura, ligeiramente pegajoso e plástico, cimentação fraca, transição entre este e o horizonte B de forma clara e com topografia plana.

Ao longo de 40cm (40-80 cm) do horizonte B é possível identificá-lo como um horizonte subsuperficial diagnóstico de Cambissolos com caráter incipiente, presença de pedregosidade, cor bruno avermelhada, textura média, estrutura em blocos fracos e pequenos, ligeiramente duro, pegajoso, plástico, transição clara e ondulada. Sotoposto ao horizonte B como transição entre este horizonte e o C situa-se o pacote saprolítico com ardósia parcialmente alterada.



Figura 14 - Ponto 26 Campanha 1. Horizonte Bi de Cambissolo Háplico Tb distrófico representativo dos solos rasos observados na área do Setor Habitacional Arniqueira.

5.3.1.3. NEOSSOLOS (R)

Segundo Embrapa (2018), Neossolos são discriminados por possuir um perfil pouco desenvolvido pedogeneticamente. Assim, o horizonte B é ausente, predominando as características do material de origem.

Os Neossolos são classificados em Quartzarênicos, Flúvicos, Litólicos e Regolíticos. Na localidade averiguada estão presentes os seguintes:

- ⇒ Neossolo Quartzarênico (RQ): 3,1%;
- ⇒ Neossolo Litólico (RL), em associação com Cambissolos Háplicos: 0,9%;
- ⇒ Neossolo Flúvico (RY), em associação com Gleissolos: 7,6%.

Neossolo Quartzarênico (RQ) → conhecidos como Areias Quartzosas, segundo a antiga classificação. No Distrito Federal os Neossolos Quartzarênicos apresentam ocorrência intimamente relacionada ao ambiente de Rebordo de Chapada no Domínio do Cerrado, onde exibem-se particularmente sobre os quartzitos do Grupo Paranoá e junto a encostas íngremes, onde ocorrem afloramentos deste tipo de rocha.

Diferentemente dos Neossolos Litólicos (RL), Flúvicos (RY) e Regolíticos (RR), os Neossolos Quartzarênicos são rotineiramente mais profundos, chegando a exibir perfis com profundidades superiores a dois metros. Por sua origem quartzítica, o mineral quartzo predomina na fração areia desses solos. A concentração dos seus poucos nutrientes restringe-se à porção orgânica. Além da expressiva profundidade, normalmente esses solos apresentam-se com grãos simples, estrutura fraca; elevada condutividade hidráulica e suscetibilidade à erosão. Em síntese, são solos minerais, pouco desenvolvidos, profundos, excessivamente drenados e porosos.

A região pesquisada caracteriza-se por uma distribuição em pequenas manchas desses solos. Contudo, sua área geral de ocorrência mostra-se bastante considerável. De acordo com a nova classificação pedológica brasileira esses aparecem na área representados pelo Neossolo Quartzarênico (RQ) e Quartzarênico hidromórfico (RQh), com 2,6% e 0,5% de representatividade areal, respectivamente (Figura 15).

Enquanto o primeiro é descrito via trado (Figura 15A) a disposição do segundo ocorre em perfis abertos (Figura 15B). Um perfil típico de RQh perfil caracteriza-se por uma seqüência de horizontes A, AC e C que tem sua pedogênese desenvolvida em mais de 100 cm. O horizonte A (0-30 cm) apresenta coloração cinza escuro, textura arenosa, estrutura em grãos simples e consistência solta. São comuns microporos pequenos, poucas raízes finas e transição clara e ondulada. O horizonte denominado de AC (30-50 cm), exibe uma transição representativa entre o A e o C, com tonalidade cinza clara, textura arenosa, estrutura em grãos simples, consistência solta, com pequenos microporos comuns e poucos macroporos pequenos, além de uma transição abrupta e ondulada. Já o horizonte C (100 cm+) ocorre com cor cinza clara a esbranquiçada, textura arenosa, sem estruturação em grãos simples, com consistência solta e friável, microporos pequenos e comuns, macroporos médios e poucos, com transição clara e ondulada.

Neossolo Litólico (RL) → Esta classe envolve solos pouco espessos, comumente com contato lítico, que ocorrem principalmente em regiões de relevo com elevada declividade, associada a vegetação de campos limpos. Esses solos são pouco desenvolvidos e originados diretamente

dos metarritmitos e comumente apresentam forte pedregosidade e, menos comumente, rochiosidade.

Em geral exibem um horizonte A assentado diretamente sobre o horizonte C, com diminuição do material orgânico em profundidade. Suas propriedades gerais são textura entre areia e silte, estrutura fraca, fertilidade restrita e horizonte C composto por rocha alterada. Na área estudada, o Neossolo Litólico (RL) ocorre em pequenas áreas, sempre em estreita associação com Cambissolos. Em função da dificuldade de cartografia, esta classe apenas foi demarcada em restritas manchas no mapa de solos. Entretanto, podem ser observados em áreas de ocorrência de Cambissolos.

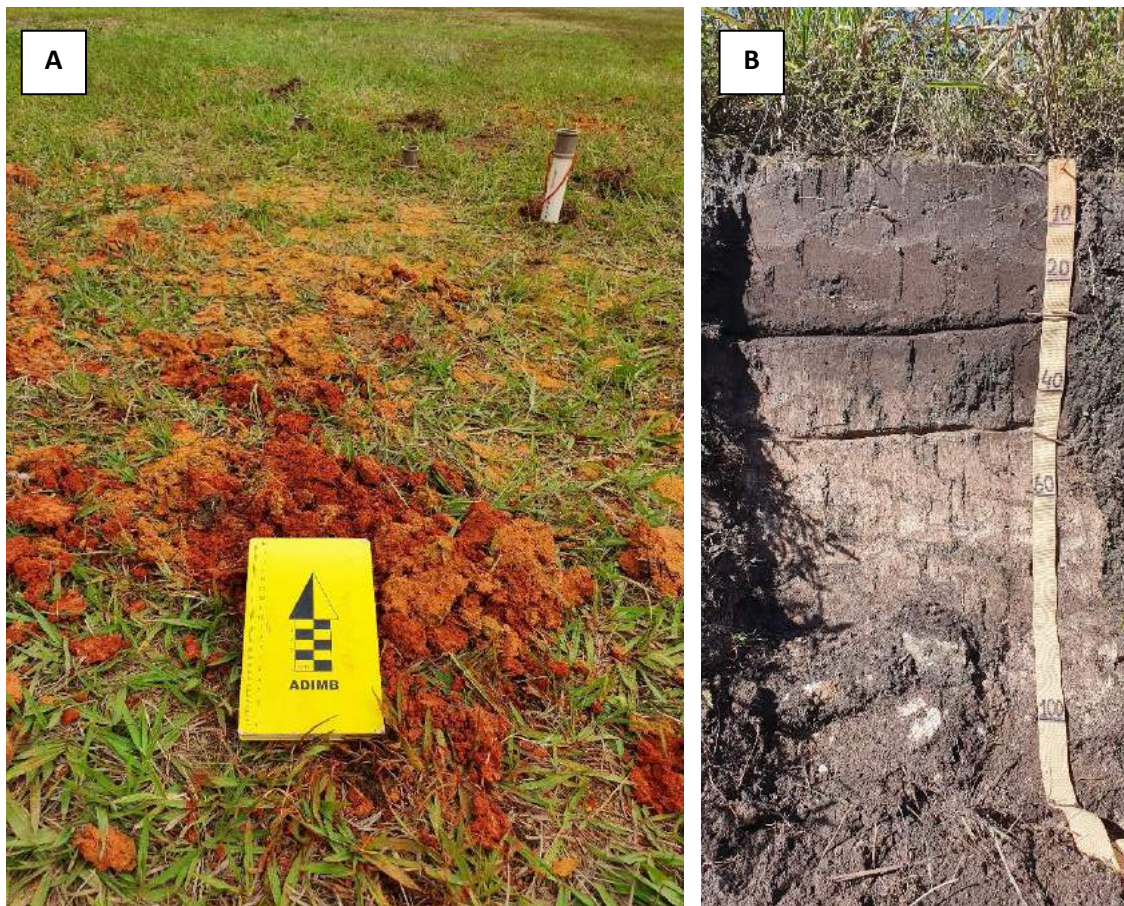


Figura 15 - (A) Ponto 01 Campanha 2. Neossolo Quartzarênico investigado via sondagem a trado. Linha de pedra composta por petroplintita (óxidos de cor vermelha) a partir de 40cm. **(B)** Pontos 19 e 20 Campanha 1. Perfil de Neossolo Quartzarênico hidromórfico observado em pequenas áreas de exutório de aquíferos freáticos.

Neossolo Flúvico (RQ) → Tipo de solo desenvolvido a partir da pedogênese de materiais transportados e depositados ao longo da planície de inundação de cursos d'água em diferentes momento. Apresentam espessura e granulometria diversas, além de moderada permeabilidade superficial em função de atividade biótica. Em profundidade, contudo, são solos pouco

permeáveis. Na área de estudo, esta classe ocorre em perfis com até 3m de espessura e cor bruno amarronzada, geralmente associados aos vales em suas porções alargadas dos córregos Vicente Pires, Vereda da Cruz, Arniqueira e Vereda Grande (Unidade Geomorfológica Plano Intermediário). Não raro, estão associados lateralmente a Gleissolos ou mesmo sobrepostos a estes (Figura 16).



Figura 16 - Ponto 18 Campanha 2. Neossolo Flúvico às margens do Córrego Vereda da Cruz. Pacote de cor bruno amarronzada com espessura variável entre 1,5 e 2,5m sobreposto a horizonte cinza esbranquiçado, interpretado como diagnóstico de paleo Gleissolo.

5.3.1.4. GLEISSOLOS (R)

De forma geral, no Distrito Federal, apresentam-se como solos pouco desenvolvidos, variando de imperfeitamente a muito mal drenados. Podem ser encontrados em frações do terreno mais rebaixadas, constituindo pequenas depressões, adjacentes aos cursos d'água e nos rebordos de chapadas junto às nascentes.

Essa classe de solo apresenta elevados teores de material orgânico e desenvolve-se sobre sedimentos nos quais ocorrem encharcamentos prolongados, normalmente por elevação do nível freático de maneira que este se encontra próximo à superfície do terreno na maior parte do ano. Um bom indicador da possibilidade de ocorrência dessa ordem de solos consiste na presença de formigueiros com coloração acinzentada, pois, como são submetidos à saturação hídrica prolongada, na presença de matéria orgânica ocorre considerável redução dos óxidos de ferro, o que provoca o surgimento da tonalidade cinzenta e mosqueamento no horizonte.

Na área abrangida pelo Setor Habitacional Arniqueira, essa classe pedológica é representada por Gleissolo Háplico (GX) e recobre ao menos 1,5% da superfície (Figura 17).



Figura 17 - Ponto 36 Campanha 1. Perfil de Gleissolo Háplico observado na área do Setor Habitacional Arniqueira.

Este perfil pode ser qualificado da seguinte forma: horizonte A1, de 0-20 cm, um horizonte A2, de 20-35 cm, e um horizonte B (Bg) entre 35-150+ cm. O horizonte A1 é representado por cor bruno acinzentada escuro, textura argilo-siltosa, fraca estrutura granular a subangular pequenas, consistência friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico, poucas raízes finas e com transição gradual e irregular. O horizonte A2 exibe tons acinzentados escuros, textura argilo-siltosa; estrutura granular a subangular, pequena a média; friável, pegajoso, ligeiramente plástico e com transição gradual e irregular. Seu horizonte Bg apresenta cor cinza, textura argilosa, pouca estrutura granular pequena, consistência firme. Pegajoso e plástico.

5.3.1.5. PLINTOSSOLOS (F)

Estes solos ocorrem em localidades onde a oscilação pretérita do lençol freático associada à dificuldade de movimentação vertical da água propiciam a formação da plintita e o aparecimento de mosqueados. Constitui-se em um tipo de solo bastante evoluído, pouco profundo e pouco permeável. Contudo, podem ser espessos (>2 m; Ponto 29 Campanha 1) e apresentarem elevados valores de condutividade hidráulica superficial decorrentes de pedregosidade.

A plintita é um material com elevadas concentrações de óxidos de ferro, provavelmente por mobilização ou transporte desses compostos, que foi submetido a ciclos de umedecimento e secagem.

Esta classe pedológica apresenta um horizonte plíntico com as seguintes possibilidades de ocorrência: nos primeiros 40cm do perfil ou dentro dos 200 cm caso esteja sotoposto ao horizonte A ou E, podendo exibir um horizonte no qual houve a litificação da plintita denominado petroplíntico. De maneira geral, os plintossolos podem aparecer associados a relevo plano a suave ondulado, campos limpos e áreas com drenagem deficiente.

Em termos de representatividade, esta classe recobre 3,6% da superfície do SHA. De acordo com o ponto de controle 25 da Campanha 1 (Figura 18A), o Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc) estratifica-se em horizontes A, B e C, sendo o horizonte A desenvolvido entre 0 e 18cm e o horizonte B (Bf) entre 18 e 75cm, com substrato representado por metassiltito da Formação Serra da Meia Noite. O horizonte superficial apresenta cor brunada, textura média, estrutura fraca em blocos subangulares pequenos a médios, consistência friável, não sendo pegajoso ou plástico, com raízes finas comuns, transição clara e ondulada, além de evidente pedregosidade. Já o horizonte B exibe-se em tonalidade bruno claro acinzentada, com forte pedregosidade, textura média, estrutura granular fraca, consistência firme, não pegajoso e não plástico.



Figura 18 - (A) Ponto 25 Campanha 1. Perfil de Plintossolo Pétrico concrecionário observado na poligonal do Setor Habitacional Arniqueira. **(B)** Ponto 29 Campanha 1. Perfil de Plintossolo Pétrico concrecionário com horizonte Bf superior a 2 m.

5.4. HIDROGEOLOGIA

Estudos hidrogeológicos são de relevante suporte a análises sobre as condições hídricas subterrâneas. Em decorrência da grande demanda hídrica sobre esse tipo de reservatório, ressaltam-se as preocupações referentes à sustentabilidade das atividades de exploração, à manutenção da recarga e à aspectos relativos à contaminação desses mananciais.

Atualmente, os questionamentos sobre os problemas hídricos subterrâneos no Brasil vêm sendo realizados por várias esferas da sociedade, incluindo a governamental. Contudo, a gestão das águas subterrâneas ainda revela-se incipiente, pois as condições mínimas de conhecimento, dados e de fiscalização não são consistentes para a promoção de um adequado gerenciamento. Assim, o monitoramento quantitativo por uma rede de poços de monitoramento consolidada, integrada ao acompanhamento da qualidade dessas águas, constitui-se num fator imprescindível que, associado a uma eficaz fiscalização, viabiliza a promoção do uso visando a manutenção das reservas.

O processo de percolação da água no solo é bastante complexo tanto na dimensão espacial como na dimensão temporal para os diversos tipos de aquíferos. As técnicas

relacionadas à avaliação quantitativa desse fenômeno buscam controlar o espaço e o tempo de forma a viabilizar sua medição.

Nesses termos, ensaios de infiltração correspondem a uma situação pontual que é extrapolada para as áreas adjacentes com características pedológicas, geológicas e de uso do solo semelhantes. Em geral, os métodos de avaliação em campo de parâmetros hidrogeológicos por intermédio dos ensaios de infiltração, como é o caso da condutividade hidráulica vertical (K_v), são desenvolvidos a partir da medição da quantidade hídrica efetivamente percolada em um determinado intervalo de tempo.

O parâmetro hidrodinâmico da condutividade hidráulica configura-se como de expressiva relevância por ser um dos principais fatores de caracterização dos aquíferos porosos e fraturados. Em especial, os ensaios de infiltração *in situ* baseiam-se nos princípios da Lei de Darcy para o movimento da água no solo, uma vez que este fluxo é do tipo laminar.

Ao realizar um ensaio para obtenção dos valores de condutividade hidráulica deve-se estar atento para alguns fatores que podem interferir no comportamento da movimentação da água no meio e, conseqüentemente em suas medições, tais como: qualidade da água; viscosidade da água; textura, estrutura e consistência do solo; ação de microrganismos no solo e presença de ar nos poros.

Os métodos têm sua aplicação variando em conformidade com a natureza do meio testado, tipo de prospecção e objetivo. Desta forma, há ensaios que investigam as propriedades da zona vadosa de um aquífero poroso e aqueles que voltam-se para a caracterização da zona saturada. Conforme Souza (2001) e Fiori (2010), são exemplos de ensaios de campo: ensaio de furo de trado em presença de lençol freático; ensaio de furo de trado em ausência de lençol freático (*Open End Hole*); ensaio de anéis concêntricos e ensaio em piezômetros.

Neste estudo, os testes foram realizados considerando pontos estratégicos no que se refere à distribuição das classes de solos, condições geológicas e geomorfológicas, além da situação natural dos locais analisados. Os valores de K_v foram adquiridos utilizando-se dois dos métodos citados anteriormente para identificação dos valores de K_v : anéis concêntricos, com análise de K_v na superfície e *Open End Hole*, com análise de K_v em profundidade.

Os estudos da condutividade hidráulica distinguem medições quanto à direção do fluxo, vertical e horizontal, e quanto à carga, que pode ser constante ou variável. Os dois ensaios desenvolvidos durante o presente estudo buscam valores de condutividade hidráulica vertical utilizando carga variável.

O ensaio dos anéis concêntricos utiliza um bloco de dois anéis soldados concentricamente com 25 cm de altura, 45 cm de diâmetro no anel externo e 35 cm de diâmetro no anel interno, como pode ser visto na Figura 19.

O procedimento de campo envolve, primeiramente, a cravação manual ou com alguma

ferramenta dos anéis na porção superficial do solo. Essa cravação é necessária para evitar que haja vazamento pela lateral do cilindro interno. Esse método busca impedir a tendência de fluxo na direção horizontal ao propiciar a criação de uma barreira de solo saturado decorrente da necessidade de estabilização do nível de água do anel externo antes que se abasteça o anel interno. Essa técnica utiliza a coluna inicial e final de água e o tempo de infiltração (conforme Equação 1). Após a aplicação dessa fórmula, são obtidos os valores de K apresentados na Tabela 2.

$$K = \mu \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln\left(\frac{h_0}{h}\right) \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

I - Profundidade de cravação (mm);

h_0 - Coluna d'água inicial (mm);

h - Coluna d'água final (mm);

Δt - Tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h (min);

μ - Fator de transformação de unidades (de mm/min para m/s = 1/10000).

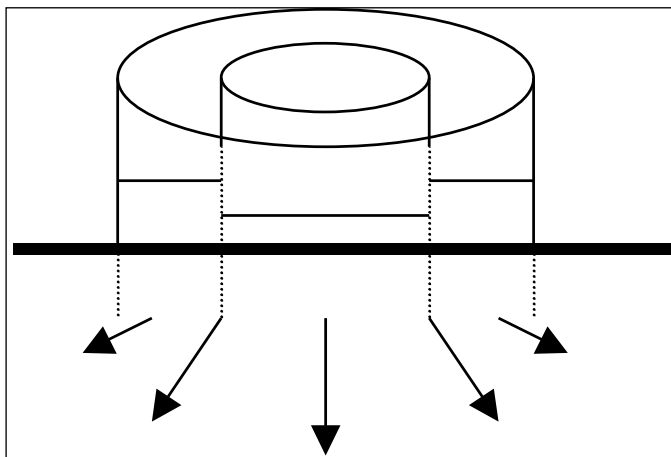


Figura 19 – Ensaio de infiltração *in situ* com o método dos anéis concêntricos.

Pt	COORDENADAS UTM ZONA 23	OBSERVAÇÕES	K (m/s)
1	176396,29 8244289,29	Parque Areal; Superfície gramada. Petroplintita entre 40 e 90 cm. Plintita + grânulos de quartzo leitoso a partir de 136 cm. Coloração predominantemente vermelho-amarela; Entre 136 e 180 cm: vermelha. Em 170 cm: Fragmentos de Metassiltito Arenoso Roxo com até 2 cm de diâmetro.	7,29E-07
2	176556,63 8244731,68	Ensaio em Neossolo Quartzarênico hidromórfico. Superfície natural; Em 90cm: Horizonte C característico da região: textura areno-argilosa e coloração branca; Comum grânulos de quartzo leitoso. Visível lâmina d'água na base de ambos os furos durante a execução do ensaio <i>Open End Hole</i> .	1,66E-06
3	176973,29 8246147,08	Ensaio em Latossolo Vermelho-Amarelo; Formação Ribeirão do Torto. Comum pequena a média granular em superfície. Aterro = 15 cm; Em 100 cm: coloração ligeiramente mais avermelhada; fragmentos centimétricos de hematita e quartzo leitoso/hialino. Entre 110 e 127 cm: horizonte de pedra: hematita tabular com até 2 cm + grânulos de quartzo; predominância do primeiro.	9,70E-05
4	179289,82 8245593,11	Ensaio em Latossolo Vermelho; Formação Ribeirão do Torto. Material homogêneo do início ao fim.	7,41E-05
5	179490,18 8243336,04	Ensaio em Cambissolo; Formação Ribeirão do Torto. Horizonte A cascalhento e estruturado: comum grumosa pequena. Furo de trado para ensaio de infiltração inviável: muita pedregosidade de veio de quartzo; Perfil delgado: A+Bi < 20 cm.	1,76E-07
6	177277,15 8244693,42	Ensaio em Cambissolo; Formação Serra da Meia Noite. A+Bi cascalhento = fragmentos com 1,5 a 2 cm de metassiltito arenoso roxo (0-50 cm). Em 50 cm: Metassiltito Arenoso cominuído: Horizonte C.	3,18E-06
7	177032,76 8242574,25	Ensaio em Latossolo Vermelho-Amarelo; Fm. Serra da Meia Noite. Superfície gramada; 20 cm iniciais: aterro + entulho.	1,54E-06
8	178687,36 8243990,14	Ensaio em Plintossolo Pétrico concrecionário. Superfície com pouco cascalho, levemente compactada por obra de muro. <i>Open End Hole</i> inviável.	9,99E-05
9	178674,89 8245647,46	Ensaio às margens do Córrego Arniqueira. Material rico em matéria orgânica e bastante homogêneo, de coloração amarronzada a sobreposto a horizonte Bg (espessura estimada em corte de drenagem entre 2,0 e 3,0 m). Furo de trado: em 1,30 m = material argilo-arenoso de cor cinza escuro: horizonte Bg; Material pegajoso e plástico. Atividade de raízes grossas (2 cm de diâmetro) em 1,60 m.	2,42E-06

Tabela 2 - Valores da Condutividade Hidráulica por método dos anéis concêntricos (m/s).

O método denominado *Open End Hole* consiste na perfuração, com trado, de quatro furos, dispostos em uma área quadrada com um metro de aresta, ou alinhados, que variaram em profundidade de 50, 100, 150 e 200 cm. É necessário ressaltar que por vezes não foi possível

executar todos os furos em determinados pontos e que alguns furos tiveram uma pequena variação quanto à profundidade em função de dificuldades operacionais, como interceptação de linhas de pedra ou de horizontes impenetráveis.

De acordo com a Figura 20, depois da execução dos furos são cravados com marreta de borracha tubos de PVC de 50 mm de diâmetro, objetivando revestir as paredes do poço. Neste estudo, para a perfuração a trado foi utilizado o diâmetro de 100 mm, o que resulta em um espaço anelar de 50 mm, folga suficiente ao controle da cravação. Desta forma, garante-se que a água de enchimento dos tubos de revestimento não vaze e se infiltre através das paredes do furo. Também, evita-se o uso de força para cravação, manobra que implica quebra da estrutura do solo e polimento das paredes do furo.

O passo subsequente consiste em preencher com água a um limite de altura inicial da coluna d'água, h_0 , em um tempo também inicial, t_0 . Após certo tempo, t , a partir do início do processo de infiltração, fez-se uma medição da coluna de água final, h , para cada um dos tubos cravados no local do ensaio. Assim, a estimativa de K_v é feita pela aplicação desses dados na Equação 2, os quais são apresentados na Tabela 3.

$$K_v = 2,303 \times \left(\frac{R}{4\Delta t} \right) \times \left[\log \left(\frac{h_0}{h} \right) \right] \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

R = raio do tubo (m),

h_0 = coluna d'água inicial (m),

h = coluna d'água final (m),

Δt = tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h (seg).

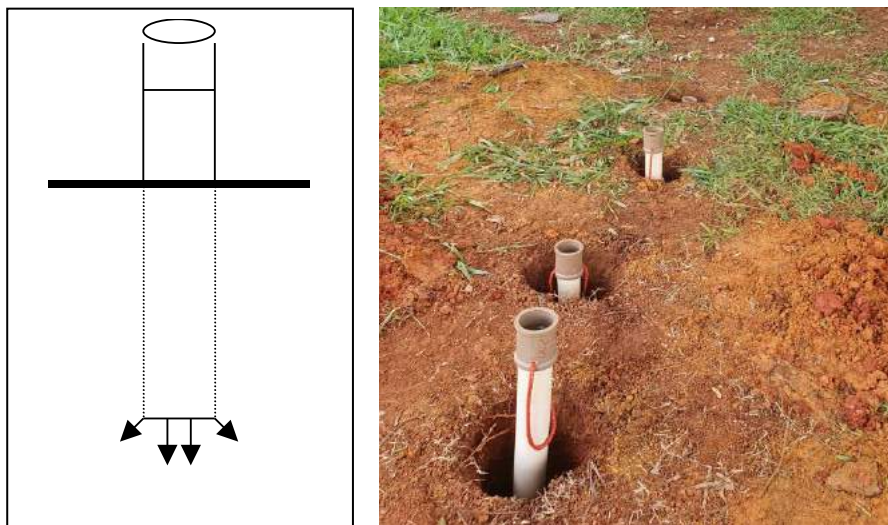


Figura 20 - Ensaio de infiltração *in situ* com método *Open End Hole*.

Ponto 1								
Prof. (cm)	H (cm)	Ti (seg)	Mi (cm)	Tf (seg)	Mf (cm)	Hi	Hf	Kv (m/s)
50	54,00	0,00	6,00	3000,00	11,40	48,00	42,60	2,49E-07
100	107,00	18,37	6,60	3026,00	8,60	100,40	98,40	4,18E-08
150	162,00	41,96	6,40	3053,00	6,70	155,60	155,30	4,01E-09
180	203,00	60,26	6,90	3081,00	7,90	196,10	195,10	1,06E-08
Ponto 2								
Prof. (cm)	H (cm)	Ti (seg)	Mi (cm)	Tf (seg)	Mf (cm)	Hi	Hf	Kv (m/s)
50	52,00	0,00	1,40	2896,00	7,20	50,60	44,80	2,63E-07
90	113,00	15,00	6,10	2912,00	7,60	106,90	105,40	3,05E-08
Ponto 3								
Prof. (cm)	H (cm)	Ti (seg)	Mi (cm)	Tf (seg)	Mf (cm)	Hi	Hf	Kv (m/s)
50	53,00	0,00	6,20	3000,00	8,40	46,80	44,60	1,00E-07
100	107,00	15,00	6,10	3017,00	8,60	100,90	98,40	5,22E-08
150	149,00	30,40	8,00	3029,00	8,10	141,00	140,90	1,48E-09
200	201,00	45,00	6,10	3044,00	6,40	194,90	194,60	3,21E-09
Ponto 4								
Prof. (cm)	H (cm)	Ti (seg)	Mi (cm)	Tf (seg)	Mf (cm)	Hi	Hf	Kv (m/s)
50	51,50	0,00	6,80	1920,00	27,10	44,70	24,40	1,97E-06
100	106,00	25,00	6,90	1952,00	29,90	99,10	76,10	8,57E-07
150	154,00	43,00	7,20	2040,00	28,50	146,80	125,50	4,91E-07
200	200,00	57,00	6,40	2050,00	7,10	193,60	192,90	1,14E-08
Ponto 7								
Prof. (cm)	H (cm)	Ti (seg)	Mi (cm)	Tf (seg)	Mf (cm)	Hi	Hf	Kv (m/s)
50	58,00	0,00	5,90	3000,00	9,30	52,10	48,70	1,41E-07
Ponto 8								
Prof. (cm)	H (cm)	Ti (seg)	Mi (cm)	Tf (seg)	Mf (cm)	Hi	Hf	Kv (m/s)
50	54,00	0,00	5,70	3000,00	29,80	48,30	24,20	1,44E-06
100	110,00	9,62	5,40	3047,00	15,30	104,60	94,70	2,05E-07
150	155,00	24,07	5,80	3082,00	23,70	149,20	131,30	2,61E-07
200	195,00	35,28	6,10	3102,00	6,90	188,90	188,10	8,65E-09
Ponto 9								
Prof. (cm)	H (cm)	Ti (seg)	Mi (cm)	Tf (seg)	Mf (cm)	Hi	Hf	Kv (m/s)
50	57,50	0,00	6,10	3000,00	9,20	51,40	48,30	1,30E-07
100	110,00	14,78	6,30	3017,00	7,90	103,70	102,10	3,24E-08
150	151,30	33,00	6,50	3060,00	26,70	144,80	124,60	3,10E-07
200	196,00	52,30	6,40	3085,00	8,90	189,60	187,10	2,74E-08

Tabela 3 - Valores da Condutividade Hidráulica por método *Open End Hole* (m/s). A numeração relaciona-se com a apresentada para os ensaios com Anéis Concêntricos e, portanto, as coordenadas UTM são as mesmas.

5.4.1. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

No Distrito Federal, as águas subterrâneas foram estudadas por Romano & Rosas (1970), Costa (1975), Barros (1987 e 1994), Mendonça (1993), Campos & Freitas Silva (1998 e 1999), Cadamuro (2002), Cadamuro & Campos (2003), Cadamuro *et al.* (2002) e Campos (2012).

A hidrogeologia do Distrito Federal é vinculada aos materiais em que a água subterrânea fica reservada, sendo classificada pelos domínios intergranular (solos e saprolitos) e fraturado (rochas frescas ou pouco alteradas).

Sistema Poroso

O domínio intergranular encontra-se sobreposto em relação ao domínio fraturado e funciona como um filtro e facilitador da recarga dos reservatórios mais profundos. O sistema poroso é representado por aquíferos livres e rasos formados em condições de manto de intemperismo. Portanto, há uma variação segundo o contexto pedológico e geológico no qual se desenvolvem. Para o Distrito Federal, esse domínio foi classificado nos sistemas **P₁**, **P₂**, **P₃** e **P₄**, cujas capacidades de armazenamento diferenciam-se em função, principalmente, da condutividade hidráulica, espessura, extensão e porosidade (Tabela 4).

	P1	P2	P3	P4
Q (m³/h)	< 0,8	< 0,5	< 0,5	< 0,3
Solo Predominante	Latossolos e Neossolos Quartzarênicos	Argissolos e Nitossolos (com estrutura granular).	Plintossolos, Gleissolos e Organossolos.	Cambissolos e Neossolos Litólicos.
Rocha Parental	Quartzitos (formações Ribeirão Piçarrão, Serra da Meia Noite e Ribeirão Contagem)	Rochas carbonáticas e margosas.	Rochas Pelíticas.	Principalmente rochas pelíticas, incluindo outros tipos litológicos.
Geomorfologia	Chapadas Elevadas. Declividades geralmente inferiores a 5%; localmente entre 5 e 10%.	Planos Intermediários (Novaes Pinto, 1986; Freitas-Silva & Campos, 1998); Relevo Suave-Ondulado: 3 a 8%.	Planos Intermediários ou Rebordos e Escarpas.	Formas de Relevo Coxetas e Côncavas; Declividades superiores a 10%.
K (m/s)	> 10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁶	De difícil determinação (<i>in situ</i>)
Espessura total (m)	> 20	> 20	< 10	Comumente < 1; Até 2,5
Espessura saturada (m)	10	> 10	Alguns metros a ausente	Poucos metros a ausente
Colapsividade	Alta	Moderada		

Tabela 4 - Características genéticas e hidrodinâmicas dos sistemas aquíferos intergranulares do Distrito Federal (Adaptado de Freitas-Silva & Campos, 1998 e Campos, 2012).

A grande importância associada a este meio é relacionada a sua capacidade de depuração das águas contaminadas provenientes dos sumidouros e valas de infiltração, partes integrantes dos sistemas de esgotamento sanitários individuais, como os observados no Setor Habitacional Arniqueira.

Sistema Fraturado

O domínio fraturado apresenta diferenciação quanto à constituição litológica de cada sistema e quanto ao índice de fraturas com conectividade. Essas variáveis definem as vazões médias características de cada sistema e de seus subsistemas.

Esse tipo de aquífero funciona como reserva hídrica, pois as águas que infiltram nos aquíferos intergranulares percolam pelos espaços vazios encontrados na rocha por ocorrência de fraturas, falhas e diáclases, dentre outras feições oriundas de eventos tectônicos que propiciam o aumento da porosidade secundária.

A quantidade de água que preenche os espaços nas rochas depende das condições geológicas, além de outros fatores que exercem controle sobre a recarga, tais como: as coberturas de solos, o relevo, o tipo de cobertura vegetal, condições de uso do solo e percentual de áreas urbanizadas. Essa última condição apresenta grande preocupação no que se refere, sobretudo, à impermeabilização do solo.

Essas questões merecem destaque, pois a conjuntura poderá determinar maior ou menor representatividade de reservas destinadas ao abastecimento. A classificação desse domínio aquífero é apresentada na Tabela 5.

Sistema	Subsistema	Vazão Média (L/h)	Litologia Predominante
Paranoá	S/A	12.700	Metassiltitos (Unidade S), Ardósias (Unidade A)
	A	4.390	Ardósia (Unidade A)
	R₃/Q₃	12.200	Metarritmitos arenosos (Unidade R₃), Quartzitos (Unidade Q₃)
	R₄	6.150	Metarritmitos argilosos (Unidade R₄)
	PPC	9.100	Metapelitos, Ardósias e Metacarbonáticas (Unidade PPC)
Canastra	F	7.500	Filitos e lentes de quartzitos
	F/Q/M	33.000	Filitos com associação de Quartzitos e Mármore
Bambuí		5.210	Metapelitos
Araxá		3.150	Xistos

Tabela 5 - Classificação dos sistemas e subsistemas aquíferos do domínio fraturado da região do Distrito Federal.

5.4.2. HIDROGEOLOGIA LOCAL

Na área estudada ocorrem os seguintes sistemas/subsistemas hidrogeológicos: Domínio Intergranular, incluindo os Sistemas (**P₁** e **P₄**) e o Domínio Fraturado, com presença dos Subsistemas (**S/A**, **A** e **R₃/Q₃**) do Sistema Paranoá.

Correspondendo às águas subterrâneas rasas, o Aquífero Intergranular permite a construção de poços rasos para a captação das águas de subsuperfície, já que, por infiltração, a água da chuva se armazena nos espaços presentes nos solos espessos. Como estes aquíferos são livres, sua recarga é viabilizada pela lenta percolação das águas de precipitação das chuvas.

O Sistema **P₁** é do tipo intergranular e é caracterizado segundo particularidades pedológicas dos solos onde ocorre. Na área em questão, esse sistema aquífero desenvolve-se em Latossolos de textura média/arenosa e argilosa, em associação a manchas de Neossolos Quartzarênicos. Esse sistema exprime-se como área de recarga regional dos aquíferos fraturados, especialmente no compartimento de Plano Elevado. Como é o sistema com maior condutividade hidráulica da região, o Sistema **P₁** tem expressiva importância para a recarga e depuração.

No Sistema **P₄**, representado por cambissolos, neossolos litólicos e plintossolos, a relevância local é minimizada visto que a condutividade hidráulica corresponde a valores da ordem 10^{-7} m/s ou menor. Nos locais onde a morfologia do relevo encontra-se movimentada, exibindo feições onduladas até fortemente onduladas e com elevadas taxas de escoamento superficial, a importância hidrogeológica local passa a ser baixa.

O aquífero fraturado na região é representado pelos subsistemas **A**, **S/A** e **R₃/Q₃** do Sistema Paranoá. Grande parte desses sistemas encontra-se recobertos pelos sistemas porosos mais importantes do Distrito Federal. Esse fator contribui para uma expectativa de que algumas vazões sejam superiores às médias observadas, caso os poços alcancem maiores profundidades. Na região, o número de poços tubulares profundos é restrito, visto que o abastecimento se dá por mananciais superficiais.

As avaliações dos valores de condutividade hidráulica, que constam nas Tabelas 2 e 3, indicam que, de forma geral, existe uma tendência à diminuição com o aumento da profundidade. Isso ocorre especialmente caso sejam comparadas com as condutividades de superfície, obtidas pelo método dos anéis concêntricos, e as obtidas em níveis mais profundos com o método *Open End Hole*. Essas variações podem ocorrer de maneira inversa entre algumas camadas específicas. As especificidades decorrem das características de cada horizonte pedológico, do que cita-se, principalmente, linhas de cascalho em profundidade e variações estruturais. Assim, existem casos em que uma camada imediatamente sotoposta a outra exibe valores de Kv mais elevados. Esse fato foi identificado localmente em alguns latossolos no Sistema **P₁** e na mancha mapeada como plintossolo contextualizada no Sistema **P₄**.

É muito importante considerar que nos ensaios, em solos com caráter incipiente e com horizonte plântico, não foi possível se determinar a condutividade em profundidade, visto que características como pedregosidade e rochiosidade inviabilizam a perfuração a trado manual e a cravação do tubo de PVC de forma adequada.

5.4.3. PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA DE REFERÊNCIA

O conhecimento do funcionamento hídrico dos solos e sua relação com a paisagem (relevo e clima) permite definir previamente profundidades de referência para a superfície freática. Por exemplo, solos bem drenados tendem a conter níveis de água profundos e solos com deficiência de drenagem tendem a ter nível de saturação raso a pouco profundo.

Da mesma forma, a análise da paisagem permite afirmar que o nível d'água se torna progressivamente mais raso quando se aproxima de seu exutório natural. Desta forma, um terreno com presença exclusiva de Latossolo deverá ter nível mais profundo próximo as divisores e níveis d'água mais rasos quando se aproxima-se de um talvegue ou drenagem instalada em seu domínio.

O mapa de profundidade do nível d'água aqui apresentado (Figura 21) foi obtido a partir de metodologia específica, sendo que a premissa é definida pelo conhecimento prévio da variação dos níveis d'água subterrânea em determinados tipos de solos associados a certos compartimentos de relevo. Assim, os procedimentos para sua confecção em ambiente de SIG são:

- Gleissolos, Organossolos e alguns Neossolos Flúvicos apresentam níveis d'água sempre rasos até aflorantes. Desta forma, foi considerado que áreas em que estes solos ocorrem, associados a um *buffer* de 100 metros a partir de sua margem externa, o nível d'água apresenta profundidades menores que 3 metros a partir da superfície do terreno;
- Cambissolos e Plintossolos sempre mostram níveis da zona saturada muito profundos e em muitos casos com ausência de zona saturada. Assim, foi considerado para estes solos níveis mais profundos que 10 metros;
- Para os Latossolos, os níveis podem variar entre 3 e 10 metros ou mais em função dos aspectos geomorfológicos e de sua topossequência. Assim, para os casos em que ocorrem no interior de planos elevados ou intermediários (a partir de um *buffer* de 200 metros com o compartimento de Rebordo) a profundidade é definida como maior que 10 metros. Para os casos em que fazem limites com Gleissolos e na região de transição com Cambissolos, a profundidade do nível d'água é atribuída entre 3 e 10 metros. Este último cenário é fortemente associado às principais quebras de relevo observadas no modelo de superfície LiDAR. Tais faixas ocorrem tanto quando da transição de um compartimento elevado (Plano Elevado) para um Rebordo quanto de um Rebordo para um compartimento plano mas de menor hipsometria (Plano Intermediário), isto é,

possui forte controle geomorfológico.

Caso fosse confeccionado um mapa de profundidade de nível d'água (distância entre a superfície do terreno e a zona saturada) ou um mapa potenciométrico (carga hidráulica total a partir do *datum* topográfico), o produto deveria ser um cartograma com isolinhas, isto é, com linhas representativas da mesma carga hidráulica, com mesma distância (por exemplo, com variação a cada 10 metros).

O mapa resultante pela metodologia proposta na forma de um SIG se apresenta com faixas representativas de áreas em que o nível d'água é uma referência em cada área de ocorrência: menor que 3 metros, entre 3 e 10 metros e maior que 10 metros.

A opção de se adotar as variações de profundidades nas faixas menor que 3 metros, entre 3 e 10 metros e maior que 10 metros foi estabelecida pelo objetivo deste mapa a ser aplicado em estudo geotécnico, visto que as fundações de obras civis podem ter diferentes alternativas de implementação em função da profundidade da zona saturada.

Para uma avaliação de qualidade do produto final seria necessário distribuir dados de profundidade do NA sobre a área e verificar se os dados corroboram o mapa produzido. Entretanto, como foram definidas apenas três classes de profundidades (pela própria limitação de dados), se considera que o cartograma final apresenta qualidade compatível com a necessária para a avaliação de risco geotécnico. Por outro lado, este plano de informação apenas terá peso de 10% na análise geotécnica global.

Esta abordagem objetivou propor um produto cartográfico para ser utilizado nas operações de álgebra de mapas com importância para análises geotécnicas.

A profundidade do nível d'água é importante para avaliar a estabilidade geotécnica geral dos terrenos; para prever a elevação capilar de umidade em edificações; para avaliar o risco de formação de voçorocas e para a determinação da melhor alternativa para as obras de fundações. Fundações situadas abaixo da zona saturada deverão ter cuidados específicos de impermeabilização, o que não é necessário para fundações situadas na zona vadosa do aquífero.

No produto final as áreas com níveis mais rasos que 3 metros deverão ter maior peso para a confecção do mapa de risco geotécnico.

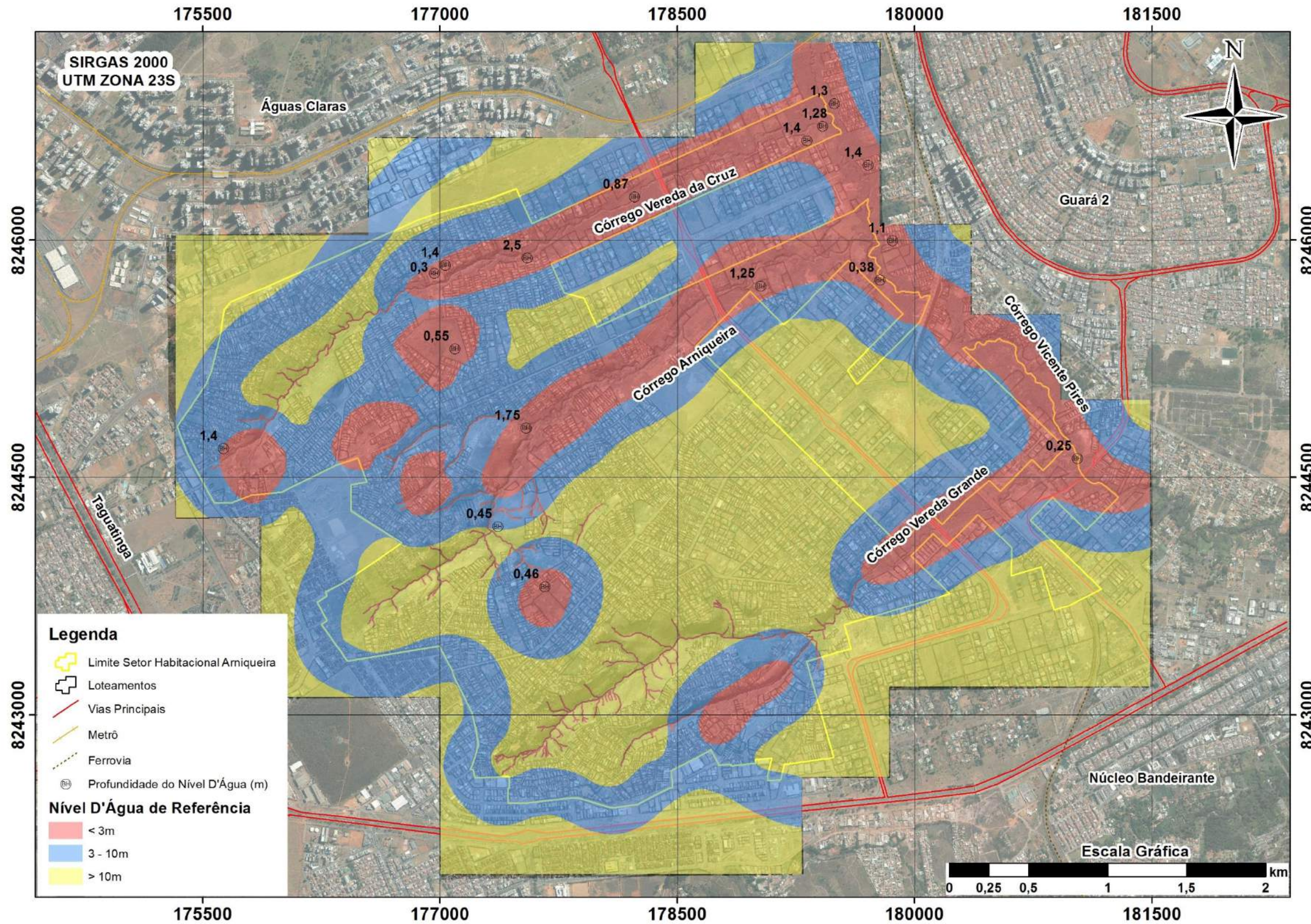


Figura 21 - Mapa de nível d'água subterrânea de referência da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira.

5.5. USO E OCUPAÇÃO

O Mapa de uso e ocupação das terras da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira (Figura 22) foi confeccionado visando sua aplicação nas análises de restrição de ocupação em virtude de restrições geotécnicas e para verificação de ocupações inapropriadas de áreas com incompatibilidades ambientais.

Estes mapas de uso de ocupação ou uso de cobertura vegetal são confeccionados para diferentes objetivos. Gonçalves (2010) propõe um mapa em que as áreas urbanas foram classificadas em três grupos: baixa densidade (menor que 30% de ocupação), densidade moderada (entre 30 e 70% de ocupação) e elevada densidade (maior que 70% de ocupação). Neste caso, o trabalho se referia a capacidade de retenção de água do solo ou potencial de recarga dos aquíferos, e a questão da taxa de impermeabilização era um fator crítico.

No presente estudo seis classes de usos foram propostas: infraestrutura urbana de alta densidade, infraestrutura urbana de baixa densidade, área verde, formação campestre, mata galeria e solo exposto. Estas classes seguem os critérios adotados para os mapas de uso e cobertura vegetal do Projeto MapBiomás e foram consideradas suficientes para os objetivos do presente trabalho. Ressalta-se apenas que há distinção entre zonas urbanas com diferentes densidades, uma vez que este parâmetro é fundamental para o comportamento de infiltração d'água no solo e para a geração, desta forma, de risco de alagamento.

As áreas definidas como de **infraestrutura urbana de alta densidade** (59,0%) correspondem às ocupações propriamente do Setor Arniqueira, composta majoritariamente por condomínios com habitações unifamiliares (em pequenos lotes) na forma de residências com diferentes padrões de edificações. Nestas áreas são observadas desde residências com elevado padrão de engenharia e arquitetura até obras de baixo padrão técnico, inclusive contendo porções menores de edificações precárias com risco de desabamento. Nesta poligonal o terreno apresenta mais de 80% de impermeabilização. A poligonal de **infraestrutura urbana de baixa densidade** (8,7%) corresponde áreas ocupadas no formato do Setor de Mansões Park Way (SMPW) com condomínios parcelados em grandes lotes e menor densidade de ocupação média. A área impermeabilizada alcança cerca de 50%.

As faixas limitadas por **mata galeria** (15,8%) correspondem à vegetação arbórea e arbustiva que segue a calha principal dos cursos de água perenes e intermitentes que ocorrem na área de estudo.

As **áreas verdes** (3,6%) e **formações campestres** (12,9%) são áreas com preservação de vegetação natural ou vegetação exótica que compõem faixas do terreno sem ocupação urbana com ampla superfície não impermeabilizada e pouco compactada. Finalmente, a classe **Solo exposto** (<1,0%) representa pequenas porções do terreno sem cobertura vegetal e comumente com solos compactados e com acúmulo de solos oriundos de áreas externas.

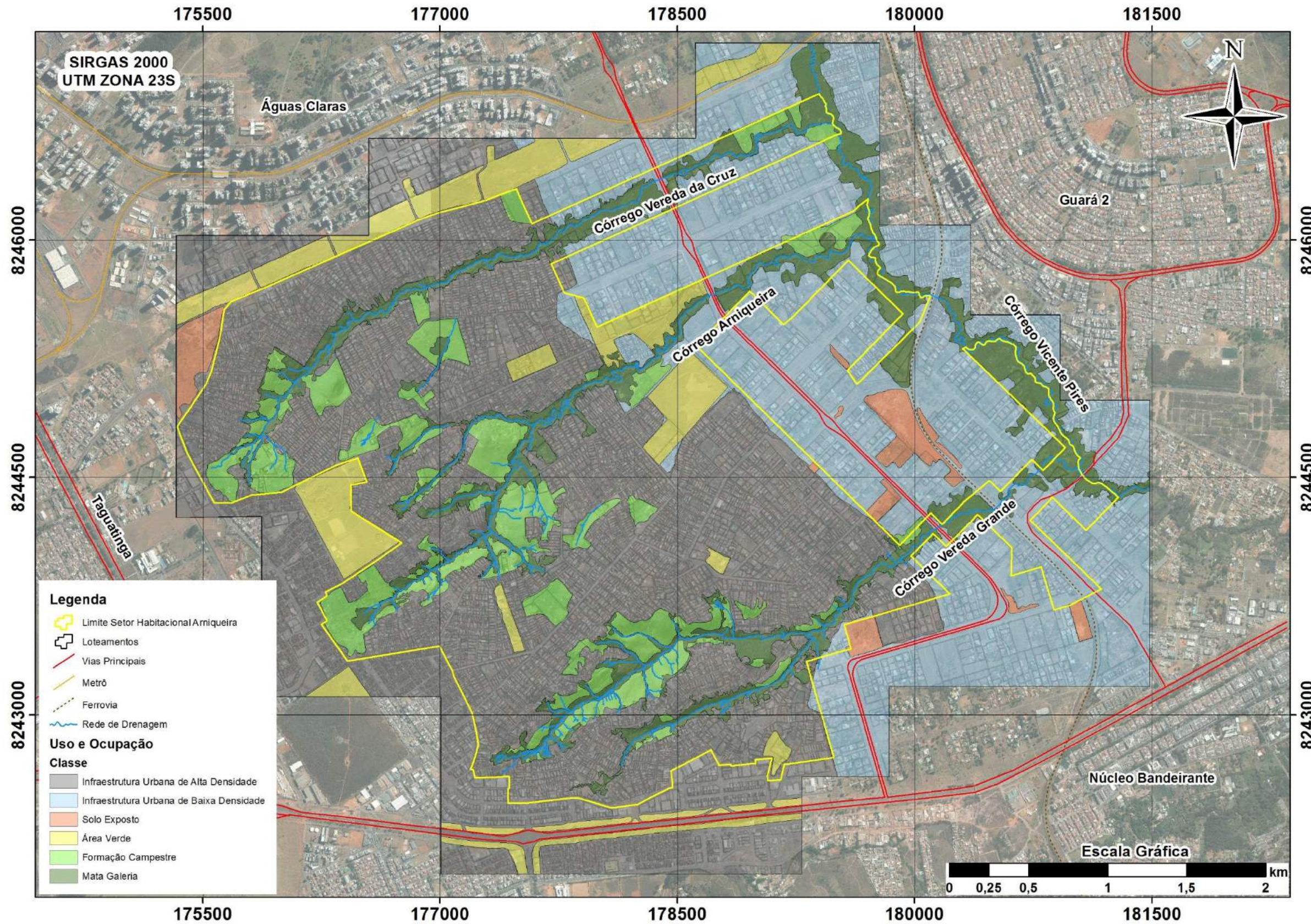


Figura 22 - Mapa de Uso e Ocupação da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira.

6. RESTRIÇÕES AMBIENTAIS À OCUPAÇÃO URBANA

As restrições ambientais à ocupação da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira podem ser sintetizadas às porções do território enquadradas como Áreas de Preservação Permanentes (APPs), isto é, que têm limitações à ocupação determinadas por força de lei. A legislação que introduz e faz aplicar o conceito de APP tem como base que a proteção do meio ambiente como um instituto ou serviço coletivo deve ter seu interesse prioritário frente a ocupação ou uso do território por indivíduos ou pequenos grupos.

Segundo a **Lei 12.651** de 2012 (Brasil, 2012), considera-se como Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

b), c), d) e e) - critérios de demarcação de APPs para cursos d'água com largura superior a 10 metros, inexistentes na área em estudo conforme avaliações em modelo digital da superfície e em campo;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais. Não aplicáveis para a área em estudo;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento. Situação não verificada em campo;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive. Não se aplica à área em estudo;

VI e VII - não aplicáveis ao bioma local;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais. Unidade Geomorfológica inexistente na área em estudo.

IX e X - não aplicáveis para a área em estudo;

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado. Situação não verificada em campo.

Desta forma, as Áreas de Preservação Permanentes que apresentam potencial de existência no Setor Habitacional Arniqueira, incluem: I) APPs de drenagens e cursos d'água; II) APPs de nascentes; III) APPs de bordas de chapadas e IV) APPs de áreas úmidas.

As APPs de drenagens tem sua faixa definida em função da magnitude do curso d'água

a qual está associada. No caso da área em estudo estas APPs correspondem a 30 metros das margens dos cursos d'água. Uma vez que são de pequeno porte e não apresentam áreas de inundação ou várzeas, não há dificuldade de sua determinação, sendo delimitada por ferramentas de *buffer* nos sistemas de informação geográfica.

As APPs de nascentes são requeridas para os pontos de exudação das águas subterrâneas que apresentam perenidade, isto é, fluxo em todos os meses do ano em análises multitemporais. Quando os pontos de exudação de águas subterrâneas não são perenes, são denominados “olhos d'água” e não requerem a respectiva APP. Em decisão do Supremo Tribunal Federal (**ADI 4.903**, de 27 de setembro de 2019), entretanto, há o entendimento de que mesmo afloramentos intermitentes requerem perímetro de proteção.

Na área estudada existem inúmeras nascentes cuja classificação genética é do tipo mista, com controle por contato (entre solo e saprolito) e por fratura (ao longo da exposição de lineamentos recobertos por solos). Neste caso, a APP é de 50 metros a partir do ponto de exudação da água mais a jusante, pois a localização deste ponto pode variar ao longo do ano em função da variação sazonal no nível freático.

A determinação dos pontos exatos de ocorrência das nascentes é complexa, uma vez que a exposição da água subterrânea muda com o tempo, em função da flutuação da cota do nível freático do aquífero. Desta forma, a APP deverá ser locada no ponto em que a nascente existe no final do período seco do ano (meses de agosto e setembro).

As APPs de borda de chapada ocorrem nos locais em que a vertente sofre uma ruptura com declividade igual ou superior a 100%, isto é, em situações em que um terreno aplainado com restrita declividade alcança uma superfície com 45° ou mais de inclinação. APP definida por esta condição deve ter 50 metros de extensão a partir da borda do terreno aplainado. O mapa da Figura 23 traz a variação lateral do gradiente de inclinação das vertentes e exhibe o contorno das APPs de drenagem juntamente com as APPs de afloramentos d'água.

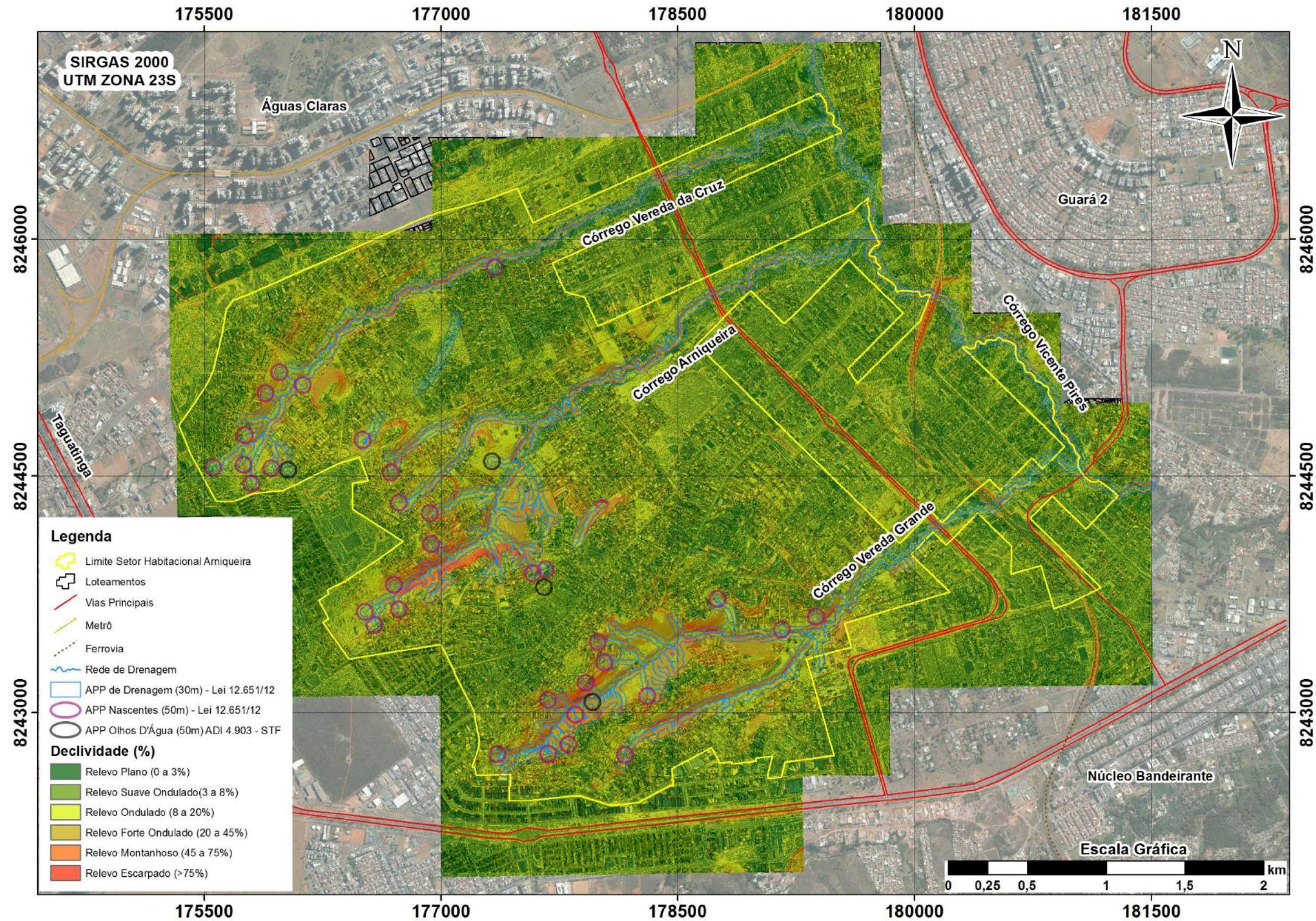


Figura 23 - Mapa de declividade da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira. Classes de relevo segundo Embrapa (1979). Destaque para APPs de Drenagem (Lei 12.651/12) e Afloramentos D'água (Lei 12.651/12 e ADI 4903).

A análise do mapa de declividade mostra que na área em estudo as situações de relevo aplainado em contato direto com porções com declividade maior que 100% são restritas, e, portanto, as APPs de borda de chapada são desconsideradas.

As APPs de áreas úmidas são associadas a ocorrência de solos com elevado grau de hidromorfismo (em geral Gleissolos e Organossolos), nos casos em que tais coberturas pedogenéticas funcionam como mantenedoras de cursos d'água superficiais. Isto é, a APP é apenas requerida quando as áreas de exutórios em solos encharcados mantêm nascentes ou cursos d'água permanentes. Esta APP, quando necessária, é de 50 metros a partir dos limites da área úmida. Apesar de ocorrerem Gleissolos e Neossolos Flúvicos na área do SHA, esta condição não foi considerada no presente estudo, uma vez que estes não originam cursos d'água. Nestes casos, tais solos não tem uma APP associada, mas seus limites devem ser considerados como áreas vedadas à ocupação. É importante salientar que no Setor Habitacional Arniqueira a maior parte das áreas com ocorrência destes solos margeiam linhas d'água com origem a montante e já fazem parte da APP dos próprios cursos a que estão associadas.

Para a determinação das restrições devidas a questões ambientais, será confeccionado um mapa com todas as formas de APPs integradas. Todas as edificações eventualmente existentes situadas em faixas de APPs deverão ser removidas. Entretanto, como se trata de uma área com ampla ocupação urbana, em alguns casos pode haver a flexibilização da ocupação de parte da APP. Por exemplo, em casos em que uma edificação ficar parcialmente na faixa de APP, e que comprovadamente não causar efeitos deletérios ao meio ambiente natural, as edificações existentes podem permanecer. Esta possibilidade é inclusive prevista em legislação, pela **Resolução Conama 369 de 2006** (Brasil, 2006), que prevê a ocupação da APP ou a supressão da vegetação natural em faixas de APPs em casos excepcionais que incluem: utilidade pública, ocupação com interesse social e restrito impacto ambiental.

7. RESTRIÇÕES GEOTÉCNICAS À OCUPAÇÃO URBANA

A definição de restrições geotécnicas à ocupação urbana envolve a identificação e avaliação tanto de processos instabilizatórios em escala de território (ou na escala da bacia a ser ocupada) quanto de questões ligadas às próprias fundações de edificações. Incluem-se no rol de avaliação fatores que afetam a integridade de obras e causam patologias geotécnicas como o desenvolvimento de trincas e rachaduras, colapsos de estruturas e umidificação permanente de porções basais das estruturas (paredes e revestimentos de pisos).

7.1. MAPA DE ACÚMULO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Segundo Neto *et al* (2017), enchentes e inundações são fenômenos diretamente relacionados ao aumento do nível d'água no leito de drenagens em resposta a eventos torrenciais de precipitação. Por outro lado, o termo “Alagamento” qualifica o acúmulo de água na superfície de um terreno qualquer em função de características físicas do meio, ineficiência de obras de drenagem e geração de escoamento superficial durante eventos de precipitação de intensidade moderada a alta em uma bacia hidrográfica como um todo.

Desta forma, a confecção do mapa de alagamento ou acúmulo de escoamento superficial (Figura 24) apoia-se em quatro planos de informação: I) declividade do terreno; II) acúmulo de fluxo; III) uso e ocupação da superfície e IV) tipos de solos e suas capacidades de infiltração (Neto *et al.* 2017).

A ponderação de faixas de declividade e a justificativa associada são:

- <3%, **peso 9,00** - superfícies planas favorecem condições de empoçamento, especialmente em casos de pouca capacidade de drenança. Ainda, compartimentos de hipsometria intermediária podem representar um nível de base local, isto é, o local de convergência de linhas de fluxo.
- 3-8%, **peso 5,34** - em relevos padrão suave ondulado, apesar de menos críticos ao acúmulo superficial, a dissipação do escoamento superficial se dá de forma laminar, ou seja, não há a formação de linhas de escoamento, mas um fluxo em forma de lâmina d'água.
- 8-20%, **peso 2,98** - a partir de 8% de inclinação há fluxo linear. Desta forma, compartimentos ondulados apresentam reduzida favorabilidade ao acúmulo de fluxo frente as formas de relevo anteriormente avaliadas.
- 20-45%, **peso 1,74**; 45-75%, **peso 1,02**; >75%, **peso 1,00** - de forma análoga ao apresentado anteriormente, o incremento da declividade implica formação de fluxo linear, o que, do ponto de vista de propensão ao acúmulo de escoamento superficial, é pouco favorável.

A identificação de fluxo acumulado em ambiente SIG decorre de processamento de modelo digital de superfície. A ferramenta *Hydrology* permite preencher imperfeições em um modelo de superfície (técnica não recomendável em terrenos cársticos) e definir a direção preferencial de fluxo em uma superfície a partir da análise de gradiente entre *pixels* vizinhos.

Conhecida a direção de fluxo, pode-se calcular o incremento no fluxo a partir do somatório das áreas de captação que contribuem para um determinado ponto e apontar locais com elevado acúmulo de fluxo, representados na área em estudo por linhas de drenagem e arruamentos. A categorização de classes de acúmulo e o peso atribuído a cada uma são:

- *Muito Alto* (250.000 – 49.747.380,17), **peso 9,00**.
- *Alto* (25.000 – 250.000), **peso 5,17**.
- *Médio* (2.500 – 25.000), **peso 2,50**.
- *Baixo* (25-2.500), **peso 1,07**.
- *Mínimo* (0 – 25), **peso 1,00**.

O uso e ocupação da superfície em associação às variáveis apresentadas é fundamental para a identificação de locais com potencial elevado a alagamento. Por exemplo, uma área plana apresenta alta favorabilidade ao empoçamento. Entretanto, áreas naturais frente a urbanizadas são mais facilmente drenadas via infiltração vertical d'água no solo. Ainda, dentre o leque de coberturas pedológicas há diferentes eficiências no processo de transferência de água para regiões profundas que se justificam pela textura, espessura do *pedum* e existência de barreiras hidráulicas em profundidade (contrastes de condutividade hidráulica). Assim, os pesos atribuídos e a explicação sucinta para os tipos de uso do terreno e os solos envolvidos são:

- *Infraestrutura Urbana de Alta Densidade*, **peso 9,00** – representam superfícies altamente impermeabilizadas, com elevado percentual de pavimentação e edificações em gerais. Há poucas áreas verdes em meio a cidade para amortecimento do fluxo superficial, ausentes mesmo entre ruas e calçadas. Padrão de urbanização característico do SHA.
- *Solo Exposto*, **peso 5,17** – superfície denudada e em geral compactada pelo tráfego de carros e pessoas. Capacidade de infiltração prejudicadas.
- *Infraestrutura Urbana de Baixa Densidade*, **peso 2,50** – padrão de urbanização com maior grau de planejamento, em que há alternância entre superfícies impermeáveis e naturais/verdes. Representado na área de estudo pelo SMPW.
- *Área Verde*, **peso 1,07** – locais de vegetação não endêmica, mas que potencializam a infiltração d'água mediante atividade biológica em níveis rasos do *pedum*.
- *Formação Campestre*, **peso 1,05** – regiões de campos naturais passíveis de encharcamento pontuais a depender de variação de declividade. Formações campestres possuem elevadas capacidades de infiltração, especialmente quando desenvolvida sobre solos espessos.
- *Mata Galeria*, **peso 1,00** – vegetação natural caracterizada por atividade de raízes profundas, o que implica macroporosidade em um largo intervalo do *pedum*.

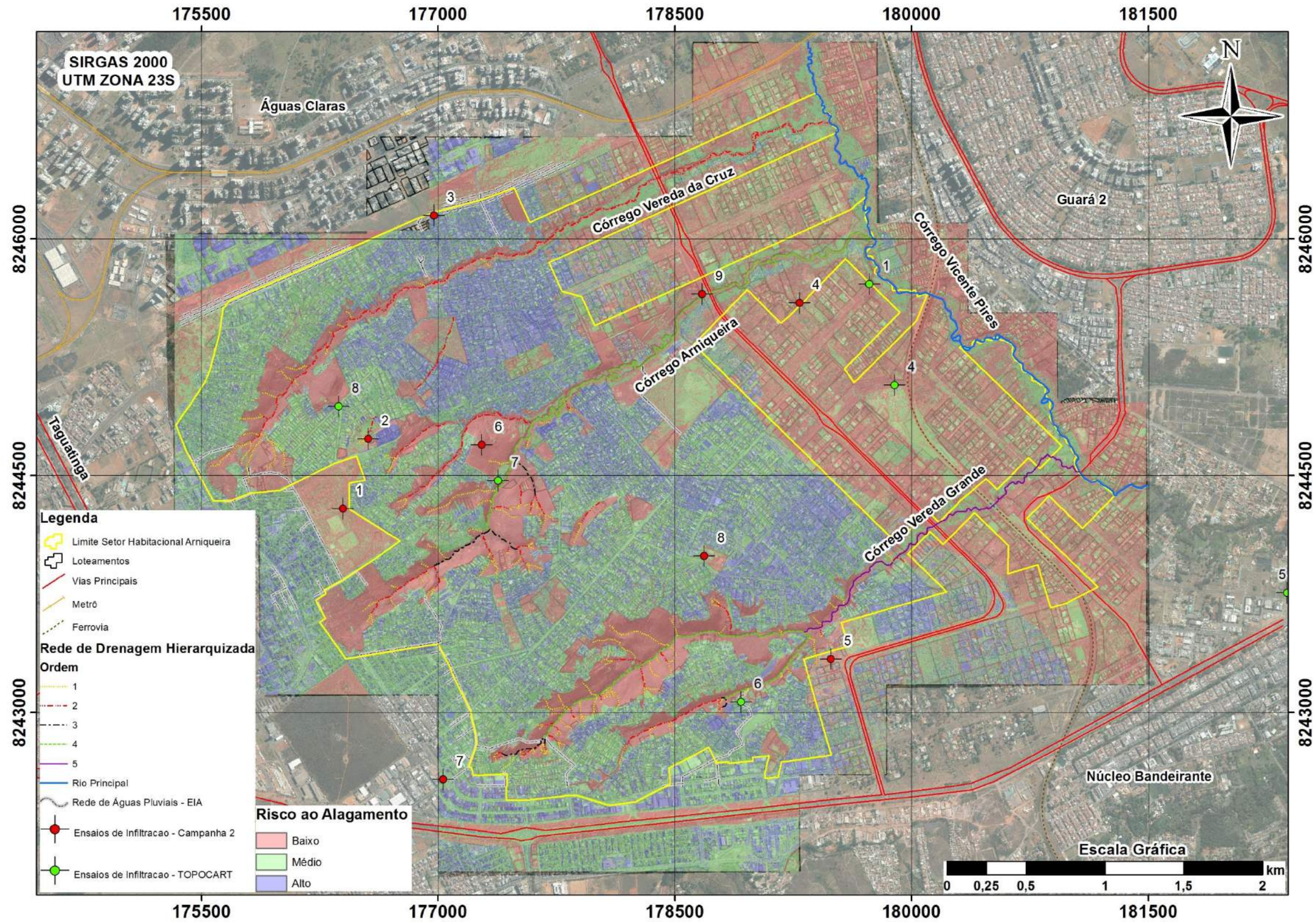


Figura 24 - Mapa de acúmulo de escoamento superficial no Setor Habitacional Arniqueira.

- *Neossolo Quartzarênico hidromórfico*, **peso 9,00** - solos desenvolvidos em condições de deficiência a ausência de drenança. Locais extremamente favoráveis ao acúmulo superficial de água.
- *Gleissolo Háplico*, **peso 8,52** - solos hidromórficos tais como aqueles enquadrados na descrição anterior.
- *Associação Gleissolo Háplico/Neossolo Flúvico*, **peso 6,61** - situação de acúmulo de escoamento superficial amenizada pela presença de perfis espessos de Neossolo Flúvico, mas ainda assim com menor capacidade de absorção de volumes excedentes em função de condições prévias de umedecimento.
- *Cambissolo Háplico Tb distrófico*, **peso 4,06** - solos propensos a geração de escoamento subsuperficial em um primeiro momento e, progressivamente, superficial. Razoável capacidade de infiltração quando cascalhentos, mas rapidamente superada em função da pequena espessura do “reservatório”. Elevados contrastes de condutividade hidráulica vertical (rapidamente atinge-se o horizonte C).
- *Associação Neossolo Litólico/Cambissolo Háplico Tb distrófico*, **peso 4,09** - análogo ao caso anterior.
- *Neossolo Quartzarênico*, **peso 1,71** - solos espessos e com elevadas condutividades hidráulicas em função da textura e estrutura do tipo grão simples.
- *Latossolo Vermelho-Amarelo*, **peso 1,02** - classe de solos de perfis espessos e homogêneos, com razoável condutividade hidráulica decorrente da estruturação das partículas finas em grumos e grânulos. Com alguma deficiência de drenança perante latossolos vermelhos.
- *Latossolo Vermelho + Plintossolo Pétrico concrecionário*, **peso 1,00** - perfis espessos e com boa condutividade hidráulica em função da formação de agregados de finos no primeiro e de elevada pedregosidade no segundo.

A importância individual de cada classe perante o fenômeno avaliado deve também ser ponderada. Sugerem-se neste trabalho os seguintes pesos: I) declividade do terreno: **0,30**; II) acúmulo de fluxo: **0,25**; III) uso e ocupação da superfície: **0,25** e IV) tipos de solos e suas capacidades de infiltração: **0,20**. Desta forma, a equação que resulta no ilustrado na Figura 24 anteriormente exposta é:

$$\text{Risco ao Alagamento} = (\text{Float}(0.3) * \text{"Rasters Reclassificados\Slope_Reclass"} / 100) + (\text{Float}(0.25) * \text{"Rasters Reclassificados\Flow_Reclass"} / 100) + (\text{Float}(0.25) * \text{"Rasters Reclassificados\Uso_Reclass"} / 100) + (\text{Float}(0.2) * \text{"Rasters Reclassificados\Solo_Reclass"} / 100) \text{ (Equação 3)}$$

É importante salientar que a operação de inserção dos pesos aos pixels de cada matriz na etapa de reclassificação (*Reclassify*) admite apenas valores inteiros. Desta forma, o peso 8,52, por exemplo, é inserido como 852. Na álgebra final, portanto, deve-se dividir cada matriz por 100.

De forma objetiva, os maiores riscos de alagamento, desconsiderando a atuação de sistemas de drenagem de águas pluviais, concentram-se nas porções mais rebaixadas das áreas das URBs (em geral na porção Nordeste destas áreas). Nesta situação, a concentração de todo o fluxo superficial gerado na porção mais elevada de cada URB é potencialmente lançado na área mais rebaixada, onde a favorabilidade à concentração é moderada. Este efeito é particularmente observado na parte mais baixa das URBs 1 5, 6 e 8.

Salienta-se para a possibilidade moderada de alagamento nos vales abertos dos cursos dos córregos Vicente Pires, Vereda da Cruz, Arniqueira e Vereda Grande, especialmente ao longo destes dois últimos, de hierarquia, respectivamente, 5 e 4 no encontro com o córrego Vicente Pires.

7.2. PROCESSOS EROSIVOS E INSTABILIZATÓRIOS POTENCIAIS

I) Erosões Lineares

Processos erosivos lineares decorrem da concentração de fluxo de escoamento superficial. Em geral, o desenvolvimento e/ou ampliação de sulcos erosivos ocorrem em momentos de eventos de precipitação anômalos (superiores a 50 mm/h).

Este tipo de erosão forma-se, preferencialmente, em porções imediatamente anteriores ao início dos talwegues. Na área em estudo os exemplos mais emblemáticos ocorrem na transição do compartimento geomorfológico do Plano Intermediário para o Rebordo, local com alta favorabilidade ao acúmulo de escoamento superficial (rever Figura 24). Nestas condições, o grande volume de escoamento superficial, ampliado pela impermeabilização das áreas urbanas a montante, causa o desenvolvimento de ampla perda de solos e até saprolito, resultando na formação de ravinas que, em casos extremos, poderão se tornar voçorocas.

Para minimização deste risco é fundamental que os lançamentos de águas pluviais não ocorra de forma direta no talvegue, mas passe por algum sistema de dissipação antes de seu lançamento final. Os sistemas de dissipação podem ser com uso de baciões, sistemas de gabiões ou alargamento da galeria na faixa de várzeas.

II) Deslizamentos de Encostas e Escorregamentos

Os processos descritos genericamente como deslizamentos de encostas são fenômenos instabilizatórios controlados pela declividade do terreno em associação com a disponibilidade hídrica nos regolitos. Neste grupo podem ser discriminados os deslizamentos (*sensu strictu*) e a

solifluxão, os quais são diferenciados em função da velocidade de desenvolvimento lenta e muito rápida a instantânea, respectivamente.

Estes processos são controlados pela declividade da encosta e pela presença de matações nos perfis de solos. Quanto maiores os declives e quanto mais abundantes os blocos e matações nos perfis de solos, maior o risco de desenvolvimento.

Na área em estudo do Setor Habitacional Arniqueira o risco de ocorrência de deslizamentos é restrito, uma vez que não existem blocos de rochas nos saprolitos e o manto de intemperismo é relativamente delgado nas áreas de maiores declividades. Entretanto, a concentração do escoamento superficial e infiltração de parte destas águas nos horizontes superficiais pedregosos podem ampliar o risco natural. Em apenas um local foi observado um processo incipiente de deslizamento de encosta íngreme (Figura 25).

A limitação destes tipos de processos instabilizatórios é de difícil implementação e, quando tecnicamente possíveis, de custos extremos. Assim, a melhor opção de convivência com este tipo de componente é a não ocupação das áreas em que tais mecanismos podem ser desenvolvidos. Isto coincide com restrições à ocupação das áreas com declividade maior que **75%** (ou a desocupação de áreas com estas características eventualmente já ocupadas).



Figura 25 - Exemplo de processo de deslizamento de encosta íngreme devido à infiltração de águas na porção elevada da vertente. Ponto de Erosão 29 Defesa Civil. Fotografia tomada a partir do Ponto 61 da Campanha 1.

III) Queda de Blocos

O processo de queda de blocos representa um tipo de processo instabilizatório que se dá sob restrita presença de água. Os movimentos gravitacionais de queda são muito rápidos e controlados por situações de rampas muito íngremes, preferencialmente com declives superiores a 100%.

Estes cenários não são comuns na região do Distrito Federal uma vez que não ocorrem quebras de relevo naturais com mais do que 100% de declividade e a geologia metassedimentar não dá forma a grandes blocos de rocha em regiões de encostas. Portanto, não há risco de desenvolvimento deste tipo de problema geotécnico na área do Setor Habitacional Arniqueira.

IV) Rastejo

O rastejo ou *creeping* corresponde a movimentos verticais lentos, que se desenvolvem devido ao adensamento do solo ou em locais aterrados, sem, contudo, ser submetido a compactação adequada.

Este tipo de processo pode ser localmente observado na área estudada, sendo mais comumente desenvolvido em áreas aterradas em que não houve o devido tratamento da obra de aplainamento.

O resultado do processo de rastejo é o fendilhamento da superfície do solo. Há a formação de gretas verticais, que podem ser profundas. Este processo pode afetar obras de pequeno porte que têm fundações apoiadas diretamente em baldrames sobre a superfície do terreno.

7.3. FEIÇÕES QUE RESULTAM EM PATOGENIAS GEOTÉCNICAS

I) Colapsividade

A colapsividade representa a ruptura da estrutura dos solos após aumento de umidade ou saturação, quando submetidos à carga axial. Os solos colapsivos podem causar o desenvolvimento de patologias geotécnicas em edificações, pois se trata de um processo rápido.

De forma geral, a colapsividade é um fator inerente aos solos que apresentam estruturação nos horizontes do *pedum* (A e B). Segundo a Agência Brasileira de Normas Técnicas, solos argilosos podem ser classificados quanto à colapsividade (ou dispersividade ou erodibilidade) em seis categorias (NBR 14.114):

- a) não dispersivos a incipientemente dispersivos (ND1 e ND2);
- b) leve a moderadamente dispersivos (ND3 e ND4);
- c) dispersivos a altamente dispersivos (D2 e D1).

Na área de estudo esta feição é associada aos Latossolos, tanto os Vermelhos quanto os Vermelho-Amarelos, e tanto para os que têm textura média quanto aqueles que apresentam

textura argilosa ou muito argilosa (Tabela 6; Anexo B). Os latossolos apresentam estrutura granular média comum nos horizontes A e AB e estrutura grumosa nos horizontes Bw.

Mesmo com estruturação comum os solos avaliados não se apresentam como colapsíveis. De acordo com os dados dos ensaios do tipo *Pin Hole* apenas uma amostra de Gleissolo apresentou-se com índice de dispersividade na classe D2. As demais amostras foram enquadradas nos índices ND1, ND3 e ND4, o que indica tratar-se de solos não dispersivos a moderadamente dispersivos.

Assim, pode-se afirmar que este tipo de problema apresenta risco de ocorrência moderado a baixo nas áreas em que os Latossolos estão presentes.

Para se minimizar este tipo de questão é necessário que os projetos e a execução das obras se atentem para este tema e que reforços em pilares e baldrame sejam implantados.

Amostra	Tipo de Solo	Dispersividade
SHA-01	Cambissolo Háplico Tb distrófico	ND1
SHA-02	Cambissolo Háplico Tb distrófico	ND3
SHA-03	Neossolo Quartzarênico	ND3
SHA-04	Neossolo Quartzarênico hidromórfico	ND3
SHA-05	Latossolo Vermelho-Amarelo	ND1
SHA-06	Latossolo Vermelho-Amarelo	ND4
SHA-07	Gleissolo	ND3
SHA-08	Gleissolo	D2
SHA-09	Latossolo Vermelho	ND3
SHA-10	Latossolo Vermelho	ND3
SHA-11	Plintossolo Pétrico concrecionário	ND3
SHA-12	Plintossolo Pétrico concrecionário	ND1
SHA-13	Neossolo Quartzarênico	ND4

Tabela 6 - Categorias de dispersividade dos solos amostrados na poligonal do SHA, segundo ABNT NBR 14114.

II) Plasticidade

A plasticidade é uma propriedade que identifica a possibilidade de movimentação do material quando umedecido e submetido a carga axial (Figura 26). Desta forma, é uma feição física controlada pelo conteúdo de argila total e de argilominerais no perfil de solo, incluindo o Horizonte saprolítico. Esta feição é ampliada à medida que a presença de argilominerais com estrutura cristalina 2:1 aumenta. No caso dos solos estudados a plasticidade deverá ser resultante exclusivamente o conteúdo total de argilas, uma vez que os solos são pobres em argilominerais.

O teste para verificação da plasticidade pode ser feito no campo a partir de avaliação tátil-

visual. O procedimento envolve a moldagem de cilindros de solos entre as palmas das mãos (após a quebra total da estrutura do solo) que são submetidos à extensão sob tensão homogênea. Em laboratório, objetiva-se calcular o índice de plasticidade (IP).

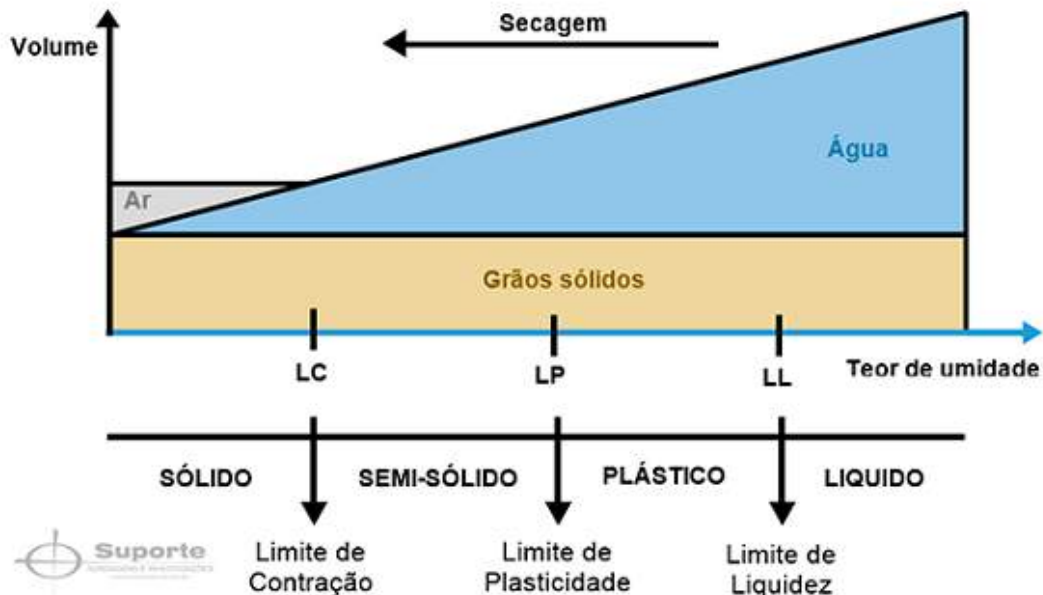


Figura 26 - Ilustração esquemática do comportamento dos materiais quando submetidos a incrementos de umidade. Extraído de Suporte Sondagens e Investigações.

Considerando os solos presentes na área em estudo, apenas nas regiões de ocorrência de Gleissolos há risco elevado de plasticidade severa, o que poderá causar graves patologias em estruturas de edificações.

O ensaio geotécnico do Índice de Plasticidade (IP) auxilia na definição da plasticidade de um solo (Anexo C); este consiste na diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade ($IP = LL - LP$). Este índice é muito útil para a classificação dos solos finos, onde a argila é mais compressível quanto maior for o IP. Segundo a classificação de Jenkins, as argilas presentes nos diferentes perfis de solos são fracamente plásticas quando o IP é menor que 7; são medianamente plásticas quando $7 < IP < 15$ e são altamente plásticas nos casos em que o $IP > 15$.

Os resultados dos ensaios realizados em amostras de solos coletadas na poligonal da área estudada (Tabela 7) mostra valores reduzidos nos Gleissolos, justamente naqueles em que se esperariam os maiores valores. Esta anomalia é atribuída ao fato dos Gleissolos amostrados serem ricos em grãos de areia transportados e acumulados nas várzeas dos córregos onde estes solos ocorrem. De todo modo, são os solos que mais rapidamente comportam-se de forma plástica quando umedecidos.

Amostra	Tipo de Solo	LP	LL	Índice de Plasticidade (%)
SHA-01	Cambissolo Háplico Tb distrófico	61	73	12
SHA-02	Cambissolo Háplico Tb distrófico	38	49	11
SHA-03	Neossolo Quartzarênico	42	52	10
SHA-04	Neossolo Quartzarênico hidromórfico	85	100	15
SHA-05	Latossolo Vermelho-Amarelo	32	38	6
SHA-06	Latossolo Vermelho-Amarelo	25	34	9
SHA-07	Gleissolo	20	24	4
SHA-08	Gleissolo	19	24	5
SHA-09	Latossolo Vermelho	29	48	19
SHA-10	Latossolo Vermelho	24	41	17
SHA-11	Plintossolo Pétrico concrecionário	41	47	6
SHA-12	Plintossolo Pétrico concrecionário	29	52	23
SHA-13	Neossolo Quartzarênico	40	48	8

Tabela 7 - Limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP) obtidos em laboratório para diferentes amostras de solos.

III) Expansibilidade

A expansão observada em certos tipos de solos é devida à presença de argilominerais que apresentam a propriedade de aumento de volume quando submetidos a umidificação ou saturação. Neste caso, a presença de argilominerais com estrutura cristalina 2:1 resulta no aumento de volume da massa de solo que causa patologias nas edificações. A expansão pode ocorrer em intensidades variáveis desde 1 a 3% até mais de 10%, sendo que mesmo a taxas de expansibilidade menores pode haver problemas às edificações. A Tabela 8 sintetiza os resultados de expansão obtidos nas treze amostras de solo coletadas na área em estudo.

Em princípio, os solos presentes na poligonal do Setor Habitacional Arniqueira não devem apresentar expansão, uma vez que não apresentam argilominerais com estrutura 2:1 ou interestratificados passíveis de hidratação. Entretanto, os saprolitos associados às ardósias podem apresentar expansibilidade restrita, pois contém clorita, um argilomineral com estrutura de mica e que eventualmente pode apresentar pequeno grau de expansibilidade.

Contudo, o que se verifica pelas análises de expansibilidade é que os solos testados na área de estudo não são expansíveis (Tabela 8). Os valores dos ensaios indicam variações entre 0,01 a 0,35% de expansão, com testes prolongados de até 96 horas. Isto é, os solos existentes na área do SHA são derivados de rochas metassedimentares que desde o material de partida (rocha sã) já apresentam argilominerais evoluídos e, portanto, seus perfis pedogenéticos não apresentam expansão significativa.

Amostra	Tipo de Solo	Expansibilidade (%)
SHA-01	Cambissolo Háplico Tb distrófico	0,013
SHA-02	Cambissolo Háplico Tb distrófico	0,130
SHA-03	Neossolo Quartzarênico	0,095
SHA-04	Neossolo Quartzarênico hidromórfico	0,087
SHA-05	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,262
SHA-06	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,009
SHA-07	Gleissolo	0,087
SHA-08	Gleissolo	0,306
SHA-09	Latossolo Vermelho	0,176
SHA-10	Latossolo Vermelho	0,148
SHA-11	Plintossolo Pétrico concrecionário	0,026
SHA-12	Plintossolo Pétrico concrecionário	0,350
SHA-13	Neossolo Quartzarênico	0,306

Tabela 8 - Valores de expansão, em porcentagem, calculados em laboratório para treze amostras de solo.

IV) Deslizamentos Interplanar em Saprolitos e Rochas Alteradas

Este processo é proposto a partir de observações empíricas em edificações que têm fundações embasadas em ardósias, principalmente na Depressão do Paranoá. É relativamente comum se observar patologias geotécnicas como trincas e rachaduras em obras cujas fundações são calcadas em ardósias, mesmo naquelas com bom padrão técnico de projeto e execução.

Este processo é previsível, uma vez que os planos de clivagens ardosianas são muito penetrativos e ocorrem em diferentes atitudes em função do padrão de dobramento no local onde ocorrem. Como potencializador na área de estudo, os ângulos de mergulho medidos na Formação Ribeirão do Torto são sempre inferiores a 30°. A carga localizada (na base de um pilar) pode causar o movimento diferencial em taxas da ordem de alguns milímetros ou mesmo micrometros. Neste caso, esta movimentação lateral deverá resultar em propagação para as porções superiores da edificação, principalmente sentido nas paredes.

Para se minimizar este efeito natural do maciço é importante que este seja conhecido e que reforços no momento de implantação das obras sejam implantados, incluindo sapatas e blocos na conexão entre pilares e baldrames, de forma a se evitar a carga localizada e distribuir o peso da edificação em uma área mais ampla.

V) Presença de Blocos e Matacões

Esta feição é muito rara nos solos do Distrito Federal e ocorre apenas de forma marginal em locais com declividade extrema. Esta feição é comum em solos derivados de rochas gnáissicas e graníticas em climas úmidos. Na região do Setor Habitacional Arniqueira as rochas e os solos derivados têm mineralogia muito similar, sendo composta por minerais evoluídos do ponto de vista do intemperismo, que o faz com que os horizontes saprolíticos sejam rasos a pouco profundos.

A presença de matacões e blocos rochosos no regolito faz com que toda a massa se mova quando saturadas e quando submetidas a carga de fundações e edificações.

Desta forma, o desenvolvimento deste tipo de problema é considerado de baixíssimo risco na área em estudo.

V) Umidificação de Porções Basais de Estruturas

A questão da umidificação prolongada ou permanente de estruturas basais das obras civis, com destaque para bases de paredes e revestimentos de piso é um problema muito comum em diferentes regiões do Distrito Federal com destaque para os locais em que existem ocupações urbanas sobre solos rasos derivados de ardósias (como é o caso de parte do Setor Habitacional Arniqueira).

Nestes casos dois efeitos naturais contribuem para este efeito: baixa condutividade hidráulica de Cambissolos derivados de rochas pelíticas e a subida capilar da água subterrânea em materiais argilosos (que pode alcançar de 2 a 5 metros de elevação).

Os efeitos deletérios às edificações não alcançam níveis críticos de formação de patologias geotécnicas, mas causam transtornos aos residentes destas residências, como a produção comum de áreas mofadas e descaracterização dos revestimentos de paredes e pisos (rejuntes, massas e tintas utilizadas nos acabamentos).

Para se minimizar este tipo de problema é fundamental que sistemas de drenos sejam instalados nas adjacências das residências e que sejam posicionados sistemas impermeabilizantes em pilares, baldrame e porção inferior de pisos. As tecnologias e materiais atualmente disponíveis permitem que tais problemas sejam amplamente minimizados ou até mesmo neutralizados: instalação de drenos e uso de mantas.

A instalação de drenos com emprego de tecidos geotêxteis (bidin) e seixos nas bordas externas das edificações fazem com que parte da água que não se infiltra nos períodos chuvosos seja canalizada para o sistema de águas pluviais, diminuindo a água disponível para danificar as estruturas das edificações.

O uso de lonas plásticas, mantas impermeabilizantes e outros produtos pode minimizar ou até eliminar o efeito da elevação capilar da água subterrânea. Neste caso, não é possível

eliminar a capilaridade, mas seus efeitos, pois esta umidade não ficará em contato com as estruturas das porções basais das obras.

7.4. MAPA DE RISCO GEOTÉCNICO

A confecção do Mapa de Risco Geotécnico seguiu as seguintes diretrizes (considerando a ponderação de 1 a 5, sendo que quanto maior o peso maior a relevância do atributo com relação ao risco geotécnico ou ao desenvolvimento de processos instabilizatórios):

- Reclassificação do mapa de solos e atribuição de pesos conforme as respostas das diferentes classes pedológicas às cargas de edificações;
- Reclassificação do mapa de solos e atribuição de pesos em função das feições geotécnicas em de cada tipo petrográfico;
- Proposição de um mapa de declividade com classes que apresentem contrastes com relação às propriedades geotécnicas;
- Reclassificação do mapa de nível d'água de referência;

A nova classificação do mapa de solos com aplicações geotécnicas considera os seguintes grupos e respectivos pesos, com as justificativas e argumentações para embasar a proposição das classes e os pesos atribuídos:

- *Gleissolo Háptico + Associação Gleissolo Háptico/ Neossolo Flúvico*, **peso 5,00**: uma vez que são solos com elevada plasticidade, ricos em matéria orgânica e em muitos casos ocorrem em áreas sujeitas a inundações e enchentes. Estes solos são, por si só, inadequados para suportar fundações de edificações;
- *Neossolo Quartzarênico + Neossolo Quartzarênico hidromórfico*, **peso 2,89**: porque são solos com baixa consistência seca e úmida, baixa coesão (pela restrita presença de argilas) e, portanto, com elevado risco de desenvolvimento de processos erosivos quando submetidos a escoamento superficial concentrado.
- *Cambissolo Háptico Tb distrófico*, **peso 1,89**: embora sejam solos relativamente estáveis, esta ponderação é decorrente da condição de risco a expansão e eventual deslizamento interplanar que seus saprolitos podem apresentar;
- *Latossolo Vermelho-Amarelo textura média a arenosa + Latossolo Vermelho textura argilosa a muito argilosa*, **peso 1,46**: pois são solos bastante estáveis, contudo podem apresentar algum grau de colapsividade e risco moderado à erosão quando submetidos a escoamento superficial concentrado;
- *Plintossolo Pétrico concrecionário + Associação Neossolo Litólico/Cambissolo Háptico Tb distrófico*, **peso 1,00**: esta associação apresenta excelente estabilidade geotécnica para fundações rasas e profundas, embora possam apresentar empecilhos para a instalação de equipamentos urbanos como galerias de águas pluviais e redes de esgoto.

A avaliação aqui realizada leva em consideração apenas as feições intrínsecas dos solos em análise. O relevo em que ocorre e as feições extrínsecas serão avaliados nos demais planos de informação que compõe o mapa de risco geotécnico;

O mapa de declividade deverá ter os seguintes intervalos de classes: < 8%, entre 8 - 20% e entre 20 - 100% e > 100% e os pesos atribuídos são:

- > 100%, **peso 5,00** - com declives acima de 45° o aumento do risco de diferentes tipos de processo instabilizatórios.
- 20 a 100%, **peso 4,00** - nesta faixa de declividade há significativo aumento do risco de desenvolvimento de processo de movimentação de massa do regolito;
- 8 a 20%, **peso 2,00** - nesta condição o escoamento já tende a ser do tipo linear ou concentrado ampliando o risco de desenvolvimento de processos erosivos;
- < 8%, **peso 1,00** - nesta condição de declive do terreno os materiais de superfícies apresentam elevada estabilidade quando aos processos erosivos e instabilizatórios;

Para o uso do mapa geológico com relação às propriedades geotécnicas dos materiais serão utilizados dados das formações, uma vez que não foram individualizados tipos petrográficos específicos em cada unidade (por falta de exposições rochosas em número suficiente para tal objetivo). Assim, serão associados pesos para unidades com predominância de quartzitos e metassiltitos e unidades com predominância de ardósias. Os pesos atribuídos, bem como suas justificativas, são apresentados a seguir:

- *Formação Ribeirão do Torto*, **peso 2,0** - esta unidade geológica é quase exclusivamente composta por ardósias, sendo que como já relatado, esta litofácies pode apresentar deslizamento interplanar nas anisotropias das clivagens ardosianas. Outro aspecto que estas rochas apresentam é a maior plasticidade do material, principalmente quando submetidas a alteração intempérica.
- *Formação Ribeirão Piçarrão + Formação Serra da Meia Noite*, **peso 1,0** - nestas unidades dominam amplamente as fácies representadas por quartzito com fácies de metassiltitos subordinadas. Os quartzitos são rochas que resultam em extrema resistência à carga, resultando em um excelente substrato para fundações de obras civis. Os siltitos que ocorrem associados também apresentam condições geotécnicas adequadas para fundações. Desta forma, a esta associação de rochas e às unidades a elas associadas foi atribuído peso baixo com relação à sua resposta geotécnica e

O mapa de nível d'água de referência deverá ser aplicado a partir da seguinte ponderação:

- *Locais com nível mais raso que 3 metros, peso 4,0* – nestes casos a manutenção de níveis de água rasos pode afetar as fundações de obras de pequeno e médio porte.
- *Locais com nível entre 3 e 10 metros, peso 2,0* – quando o nível da água se torna progressivamente mais profundo o risco de desenvolvimento de problemas hidrogeotécnicos é minimizado.
- *Locais com nível mais profundo que 10 metros, peso 1,0* – quando o nível da água se torna progressivamente mais profundo o risco de desenvolvimento de problemas hidrogeotécnicos é minimizado.

A Equação para construção do mapa de risco geotécnico é:

$$\text{Risco Geotécnico} = \text{Float}(0.3) * \text{"Rasters Reclassificados\Pedo_Reclass"} + \text{Float}(0.4) * \text{"Rasters Reclassificados\Slope_Reclass"} + \text{Float}(0.2) * \text{"Rasters Reclassificados\Geo_Reclass"} + \text{Float}(0.1) * \text{"Rasters Reclassificados\NA_Reclass"} \text{ (Equação 4)}$$

Os pesos atribuídos a cada classe são: Declividade 40%, Pedologia 30%, Geologia 20% e Nível de Água de Referência 10%.

A declividade é o principal controle externo ao desenvolvimento de processos instabilizatórios e ao aumento do risco geotécnico. Este fator do relevo é fundamental para toda análise de risco, pois o aumento da declividade amplia a energia potencial a que os terrenos e edificações estão submetidos. Sua combinação com outros fatores externos e intrínsecos eleva de forma significativa os riscos. No caso específico da área em estudo, a presença de faixas nas cabeceiras das drenagens com ruptura abrupta da declividade amplia ainda mais sua importância na análise geotécnica.

As classes de solos foram ponderadas com o segundo maior peso, pois são o principal substrato das obras civis e os principais materiais que são potencialmente transportados no caso de desenvolvimento de movimentos de massa. No caso em estudo, o peso de 30% se deve ao fato destes solos terem restrito desenvolvimento de horizonte C, que representa o principal material envolvido nos movimentos de massa.

Para a geologia foi considerado um peso de apenas 20% em função da própria natureza litológica observada na região: metassedimentos de grau metamórfico, ricos em quartzo e argilas detríticas estáveis. Caso ocorressem rochas como gabros, gnaisses, granitos ou granulitos e considerando o clima úmido da região, o peso atribuído à este plano de informação deveria ser majorado. A geologia local não é favorável à formação de matacões nos perfis pedogenéticos. Este fator é fundamental como gatilho ou como acelerador de processos de movimentos de massa como solifluxão, deslizamentos e queda de grãos.

O nível de água (NA) de referência foi ponderado em apenas 10%, pois foi considerado um fator adicional e acessório na análise de risco geotécnico. Como o produto cartográfico de risco geotécnico deverá ser aplicado majoritariamente para áreas já ocupadas por uso urbano e para a decisão quanto à pertinência da ocupação de outras áreas por uso urbano, este plano de informação foi considerado na análise. Como já previamente informado, a profundidade do NA é importante para determinação do tipo de fundação a ser aplicada às edificações e para a determinação da dinâmica da água na zona vadosa dos aquíferos, a aplicação deste plano de informação é plenamente justificado.

O processamento em ambiente SIG resultou em um mapa de risco geotécnico (Figura 27) com as seguintes classes e suas respectivas porcentagens de ocupação da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira: Muito Baixo (47%), Baixo (24%), Moderado (25%), Alto (2%) e Muito Alto (2%). A simbolização adotada considera o agrupamento de valores de *pixel* em classes de mesma amplitude (*Equal Intervals*).

As classes de risco Baixo e Muito Baixo ocupam a maior parte do SHA (71% da poligonal), sendo um fato esperado em função da grande estabilidade natural dos terrenos, principalmente condicionada à geologia e pedologia da área. Estas porções do terreno não condicionam e nem restringem a ocupação urbana, sendo, consideradas plenamente liberadas para ocupação de novos lotes ou regularização da ocupação existente, do ponto de vista geotécnico.

As classes de risco geotécnico alto e muito alto ocupam apenas 4% da poligonal do SHA, sendo fortemente condicionadas a áreas com solos com elevado grau de hidromorfismo, que geram inúmeros riscos em função de sua plasticidade, enriquecimento em matéria orgânica e suscetibilidade a inundações. Nestes casos, estas áreas devem ser consideradas como de total restrição à ocupação humana, em função de suas características geotécnicas.

As áreas resultantes como de risco geotécnico moderado (equivalentes a $\frac{1}{4}$ da poligonal do SHA) devem ser consideradas de forma específica, podendo ser ou não ocupadas em função de feições locais ou da avaliação da sinergia do risco geotécnico com outros parâmetros (p.e.: feições ambientais e legais). Como estas áreas são intrinsecamente associadas à locais com declividade maior que 30%, são consideradas como áreas de parcelamento condicionado (APCs) e sua ocupação ou a regularização das ocupações existentes devem ser precedidas de uma análise local.

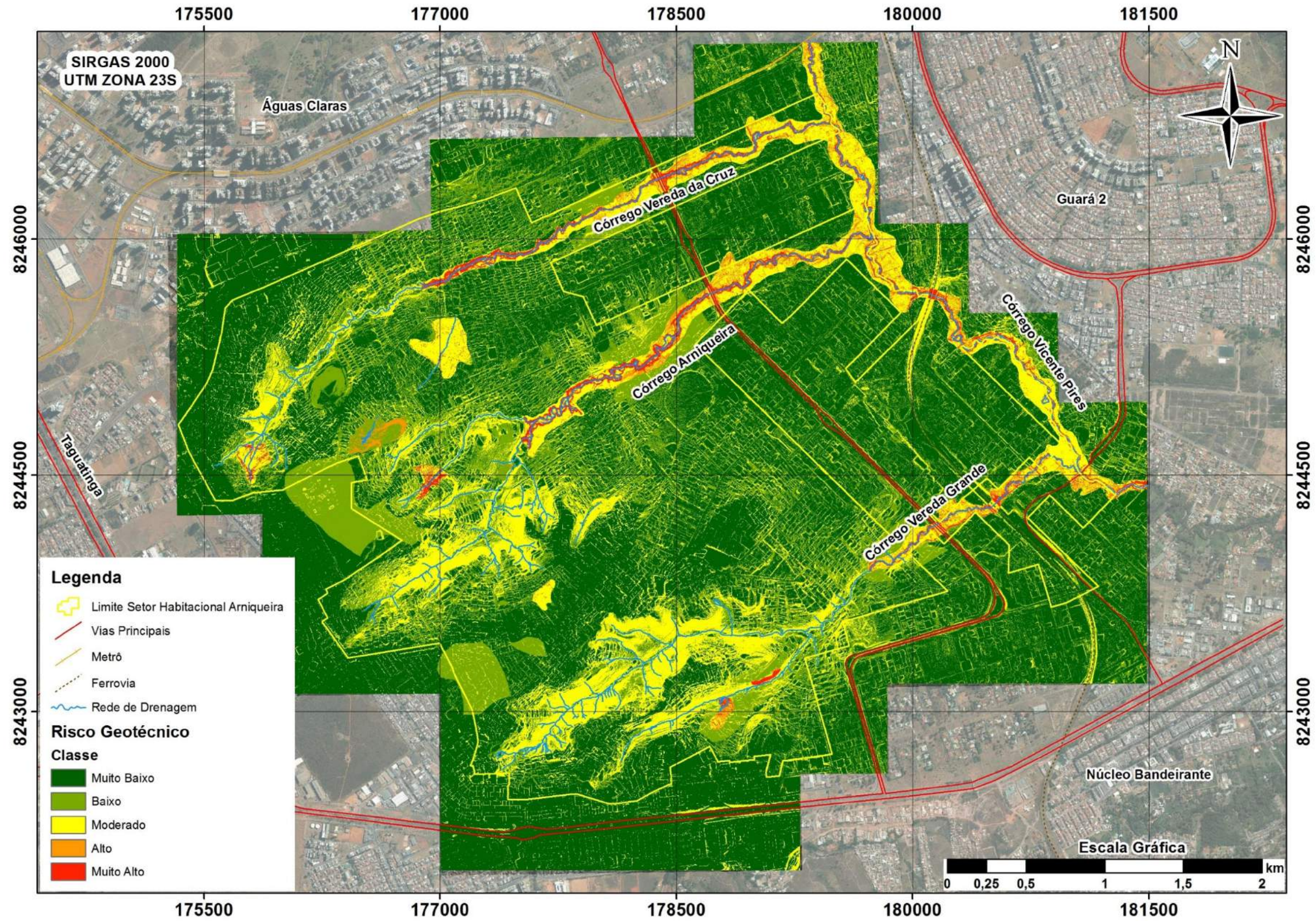


Figura 27 - Mapa de risco geotécnico da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira. Além do arquivo matricial, consta na pasta do produto arquivo *shapefile*.

É pertinente ressaltar que a variável risco geotécnico está intimamente relacionada à declividade do terreno. Contudo, conforme apresentado no início deste relatório, o mosaico LiDAR descreve a variação espacial da superfície, isto é, considera a cobertura antrópica existente. Isto inclui, por exemplo, casas, muros e aterros de vias. Tal fator implica na delimitação de uma série de falsos positivos, especialmente para alvos inseridos na classe de Risco Moderado. Para fins de automação da análise para tomada de decisão, é fundamental que o produto gerado seja, portanto, filtrado (Figura 28).

A técnica adotada para contornar esta situação e restringir áreas de risco geotécnico foi a de demarcação de áreas de interesse. O *software* utilizado foi o *Envi 5.5*, por meio da ferramenta de construção de ROI's (*Regions of Interest*). Em síntese, esta é uma técnica de filtragem que pode se basear na densidade de pixels. Áreas naturais constituem faixas com certa continuidade na paisagem, isto é, não são esperadas quebras abruptas de forma seguida e em poucos intervalos de metros. Por sua vez, classificações errôneas da superfície como "terreno" possuem distribuição errática. Desta forma, a filtragem das classes de risco obedeceu aos seguintes passos:

- 1) Geração de arquivo .tiff: Risco_Geotec (*ArcMap 10.6.1*);
- 2) Segmentação do arquivo com auxílio da ferramenta *Raster Color Slice (ENVI 5.5)* nas classes Muito Baixo (1 - 1,66); Baixo (1,66 - 2,32); Moderado (2,32 - 2,98); Alto (2,98 - 3,64) e Muito Alto (3,64 - 4,4);
- 3) Demarcação de ROI's via método "PIXEL" orientada às classes 2 Moderado, Alto e Muito Alto, uma vez que a primeira condiciona o parcelamento do solo e as duas últimas restringem a ocupação. Parâmetros:
 - Pincel de seleção: 5x5;
 - Número de interações: 2;
 - Opção "oito vizinhos": selecionada;
 - Desvio padrão: 2.
- 4) Conversão .ROI para .shp (*shapefile*);
- 5) Simplificação do arquivo *shapefile*: agrupamento via tabela de atributos, visto que cada pixel passa a ser representado por um polígono;
- 6) Agrupamento das classes de risco baixo e muito baixo, pois estes intervalos combinados compõem base de avaliação em APPs de drenagem entre o intervalo de 15 a 30 m (demarcação de Áreas de Parcelamento Condicionado; subitem 8.1; Lei da Reurb).

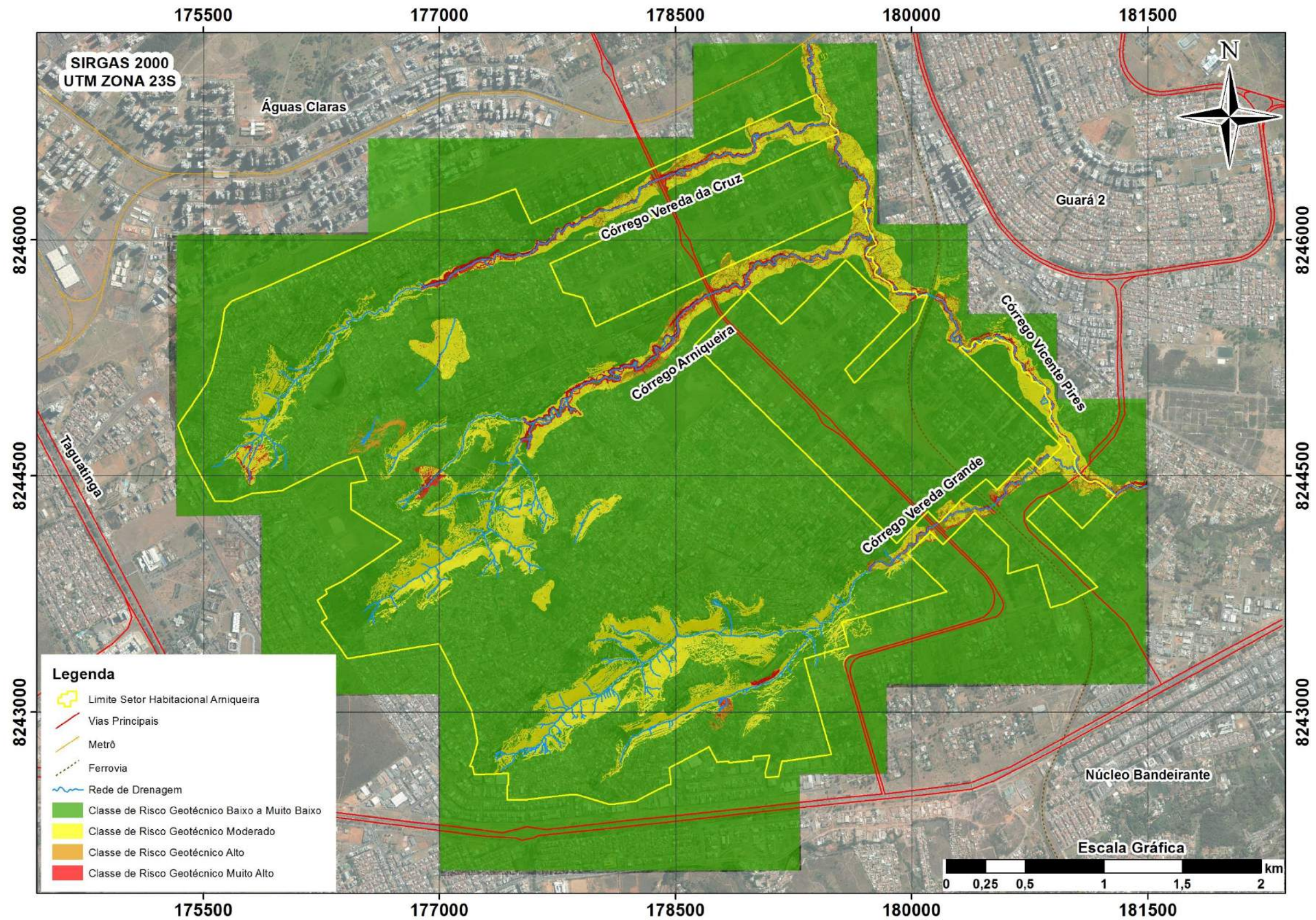


Figura 28 - Mapa de risco geotécnico filtrado. A remoção de áreas de risco atribuídas a ruas e muros facilita a automação do processo de identificação de lotes em locais de parcelamento condicionado e restrição geotécnica.

8. RESTRIÇÕES GEOTÉCNICO-AMBIENTAIS À OCUPAÇÃO URBANA

O mapa de restrições geotécnico-ambientais à ocupação urbana (Figura 29) foi confeccionado pela integração direta dos mapas de Restrição Ambiental à Ocupação - APPs - com o mapa de Risco Geotécnico. Este produto cartográfico pode ser considerado um excelente instrumento para a gestão da ocupação de áreas que ainda estejam desocupadas e para a remoção de edificações situadas em áreas não adequadas sob ambos os pontos de vista.

Em específico à demarcação de Áreas de Preservação Permanente, propõe-se neste mapa o traçado conjunto de APPs de cursos d'água (30m) e afloramentos d'água (50m), os quais englobam tanto nascentes (Lei 12.651/12 - Novo Código Florestal) quanto, olhos d'água (ADI 4.903). Ainda, dividem-se as margens dos três cursos d'água principais (Vereda da Cruz, Arniqueira e Vereda Grande) e outros de menor expressão em direita e esquerda (tendo por referência a direção nascente-foz).

Esta visualização tem por objetivo subsidiar a avaliação estatística do panorama de lotes cujos limites se encontrem em APP. Com base na área de intersecção em relação à área total da margem de APP que este ocupe, é possível apontar aquelas de impacto insignificante. Neste trabalho, propõem-se que percentuais de ocupação da APP inferiores a 0,01% sejam considerados passíveis de flexibilização. Tal proposta encontra respaldo na resolução CONAMA 369 (2006).

Desta forma, considerando a função ecológica da APP de curso d'água e para que esta seja mantida de forma integral, é fundamental que não ocorra ocupação de elevada densidade de suas duas margens. A separação das APPs em duas parcelas visa diminuir o impacto de sua ocupação, mesmo que em baixíssimas taxas. Assim, sua função ecológica fica mantida em ambas as margens. Caso fosse considerada a área total da APP (englobando as duas margens), poderia acontecer um fato de que toda a ocupação fosse concentrada em uma das margens limitando a função ecológica de fluxo gênico atribuída a esta modalidade de APP. Uma discussão mais detalhada deste tema será abordada no item 9 deste relatório.

A avaliação do mapa mostra que as áreas associadas à rede de drenagem superficial são aquelas com as máximas restrições à ocupação urbana, pois somam restrições ambientais, por ocorrerem em APPs, e restrições geotécnicas, por concentrarem a ocorrência de solos muito plásticos.

A outra faixa que demonstra elevada restrição à ocupação urbana é associada aos vales fluviais, principalmente nas cabeceiras da rede de drenagem. Neste caso, a elevada declividade é o principal fator que resulta em incremento dos riscos geotécnicos e, portanto, resulta em áreas que não devem ser ocupadas por residências. Nestas áreas, a instalação dos equipamentos urbanos como lançamentos de águas pluviais e estações elevatórias de esgotos deve levar em consideração este risco elevado. O lançamento inadequado de águas pluviais oferece risco de

desenvolvimento de processos erosivos.

De forma geral, a poligonal do Setor Habitacional Arniqueira apresenta restrição à ocupação urbana baixa a moderada, sendo este aspecto fortemente controlado pelos tipos de solos mais abundantes (Latosolos e Cambissolos) e pela declividade que resulta em padrão de relevo plano a suave ondulado para a maior parte da área. O tipo de solo é o fator predominante para a definição das porções classificadas como de baixo risco de restrição geotécnico-ambiental à ocupação urbana. Estas áreas são coincidentes com locais em que ocorrem majoritariamente Latossolos. A presença de Cambissolos, por sua vez, pode elevar o risco para o nível de moderada restrição.

A presença de nascentes de vazão espontânea é outro fator que resulta na ampliação de algumas áreas para níveis de maior restrição, por representar um componente ambiental protegido por legislação específica e ter um papel fundamental para a manutenção dos recursos hídricos superficiais.

As áreas classificadas como de risco moderado são fortemente condicionadas à elevada declividade das cabeceiras dos principais cursos de drenagens naturais que seccionam o SHA. No interior da malha urbana existem porções do terreno classificadas como de risco moderado, o que é justificado pelas obras de aterros, construções de arrimos, retaludamento para instalação de vias de acesso, dentre outras. Neste caso, o risco geotécnico moderado é gerado de forma “artificial” e deve ser filtrado para a plena utilização do mapa de risco geotécnico.

Apenas localmente áreas impermeabilizadas por vias de acesso que causam grande ampliação do escoamento superficial, resultando em aumento do escoamento pluvial e dos riscos de alagamento e erosão, podem gerar risco moderado efetivo. Um exemplo prático deste caso foi observado junto à ponte do Córrego Vereda da Cruz na DF-079, em que um amplo processo de erosão removeu parte do aterro da cabeceira leste, colocando em risco a estrutura da obra.

As classes de alto e muito alto risco são muito restritas, sendo fundamentalmente vinculadas às áreas em que ocorrem solos muito plásticos (Gleissolos) ou sob o risco de sofrer inundações eventuais. Apenas na região NE do SHA há uma localidade com risco Alto em função, principalmente, da declividade elevada.

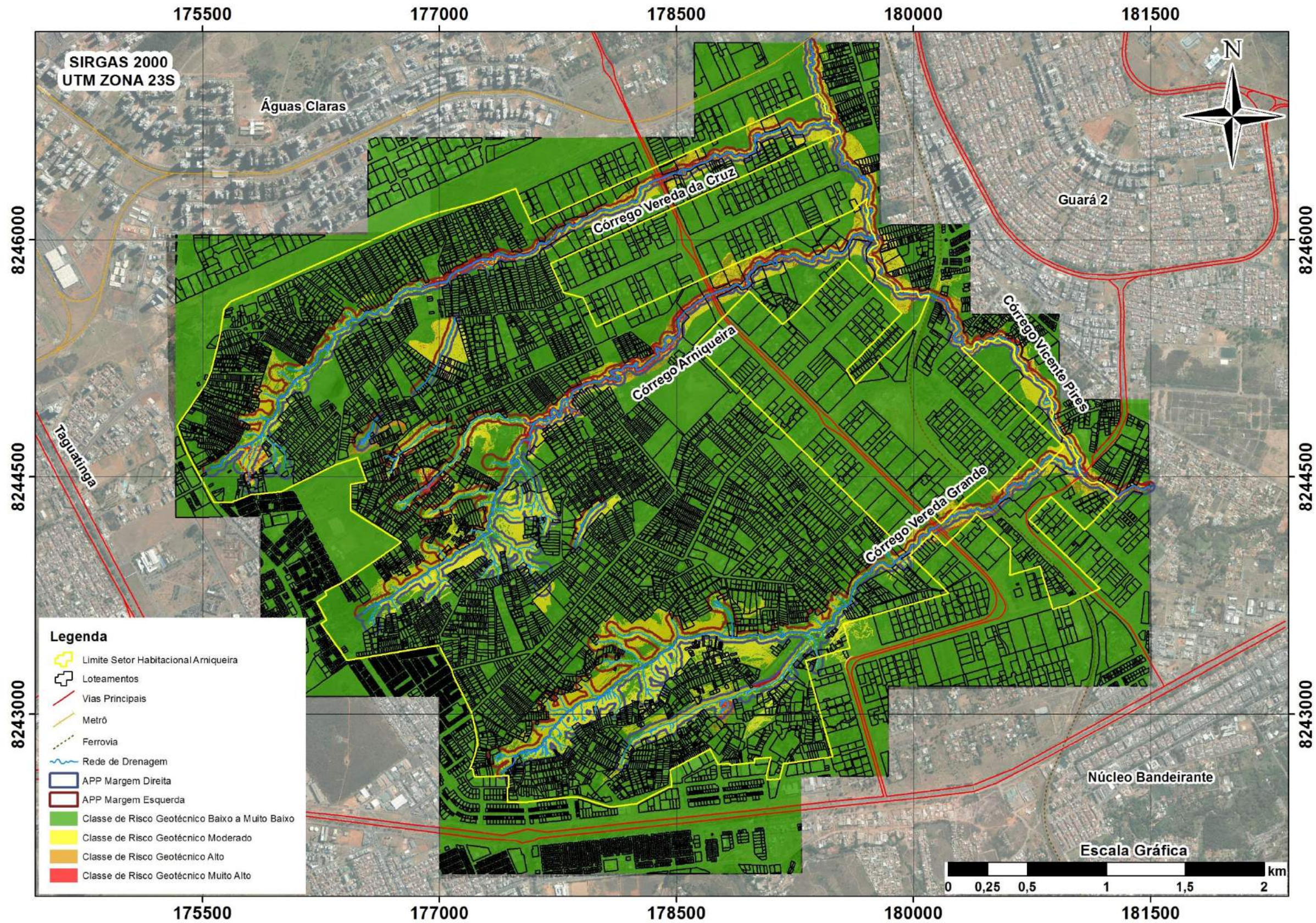


Figura 29 - Mapa de risco e restrições geotécnico-ambientais a ocupação urbana de referência da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira. APPs conjuntas de cursos (30m) e afloramentos d'água (50m).

8.1. ÁREAS DE PARCELAMENTO CONDICIONADO

Áreas de Parcelamento Condicionado (APCs) referem-se a porções do território que tem a sua ocupação condicionada a determinadas exigências, geralmente de cunho técnico. Dentre os critérios gerais, citam-se declividade do terreno, avaliação de risco geotécnico e aspectos gerais das condições de urbanização. Ressalta-se que tais áreas constituem-se desde que não integrem outro tipo de restrição. Por exemplo, a definição de Áreas de Preservação Permanente é hierarquicamente superior à classificação de um local como APC.

Assim, atinente a restrições impostas ao uso e ocupação do solo, é pertinente citar a **Lei 6.766** de dezembro de 1979 (Brasil, 1979), que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências:

“Art. 3 Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal (Redação dada pela Lei nº 9.785, de 1999).

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

[...]

*III - em terrenos com **declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento)**, salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes;”*

Dos 7.877 lotes inseridos na área em estudo (poligonal total do Setor Habitacional Arniqueira), 623 se encontram em regiões com declividades superiores a 30%. Cerca de 50% das ocorrências apresentam área de interferência inferior a 50m², com o menor valor calculado de 0,00263m². A Figura 30 ilustra o histograma da área de intersecção categorizada em classes com 50m² de amplitude e as figuras 31 e 32 mostram exemplos de ocupação urbana em locais com declividade superior a 30%.

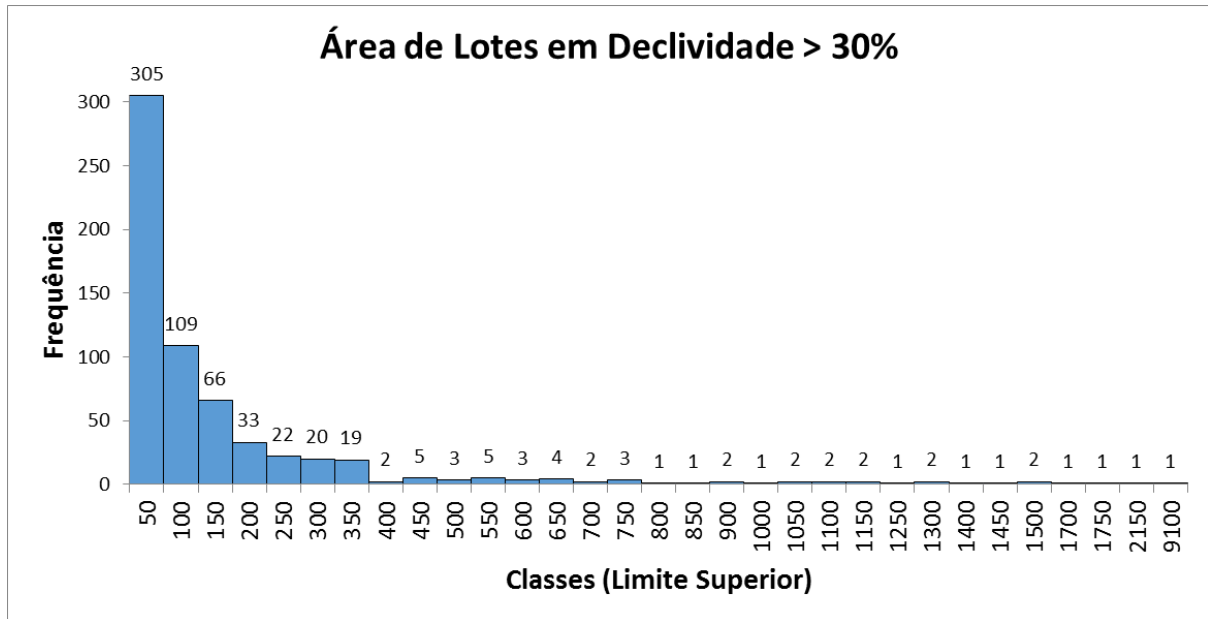


Figura 30 - Frequência de ocorrência de lotes em função da área de intersecção com locais de parcelamento condicionado à declividade. Amplitude de cada classe: 50m².



Figura 31 - Pontos 60/61 Campanha 1. Exemplo de ocupação urbana em área com declividade maior que 30%. A elevada declividade do terreno requereu a instalação de um profundo corte de talude para acesso à área.



Figura 32 - Ponto 14 Campanha 2. Exemplo de ocupação urbana em área com declividade maior que 30%. Este tipo de ocupação requer a instalação de elevados muros de arrimo para viabilização de edificações.

Das 623 propriedades, 264 lotes ou fragmentos destes estão em Áreas de Preservação Permanente de cursos e afloramentos d'água. De fato, **510** locais podem ser considerados como de parcelamento condicionado à declividade (Figura 33).

Observa-se que o resultado da soma $510 + 264$ não resulta em 623, uma vez que há registros duplicados, pois há lotes em área com declividade superior a 30% inteiramente abrangidos por APPs e lotes em que há apenas parte da restrição ambiental em questão.

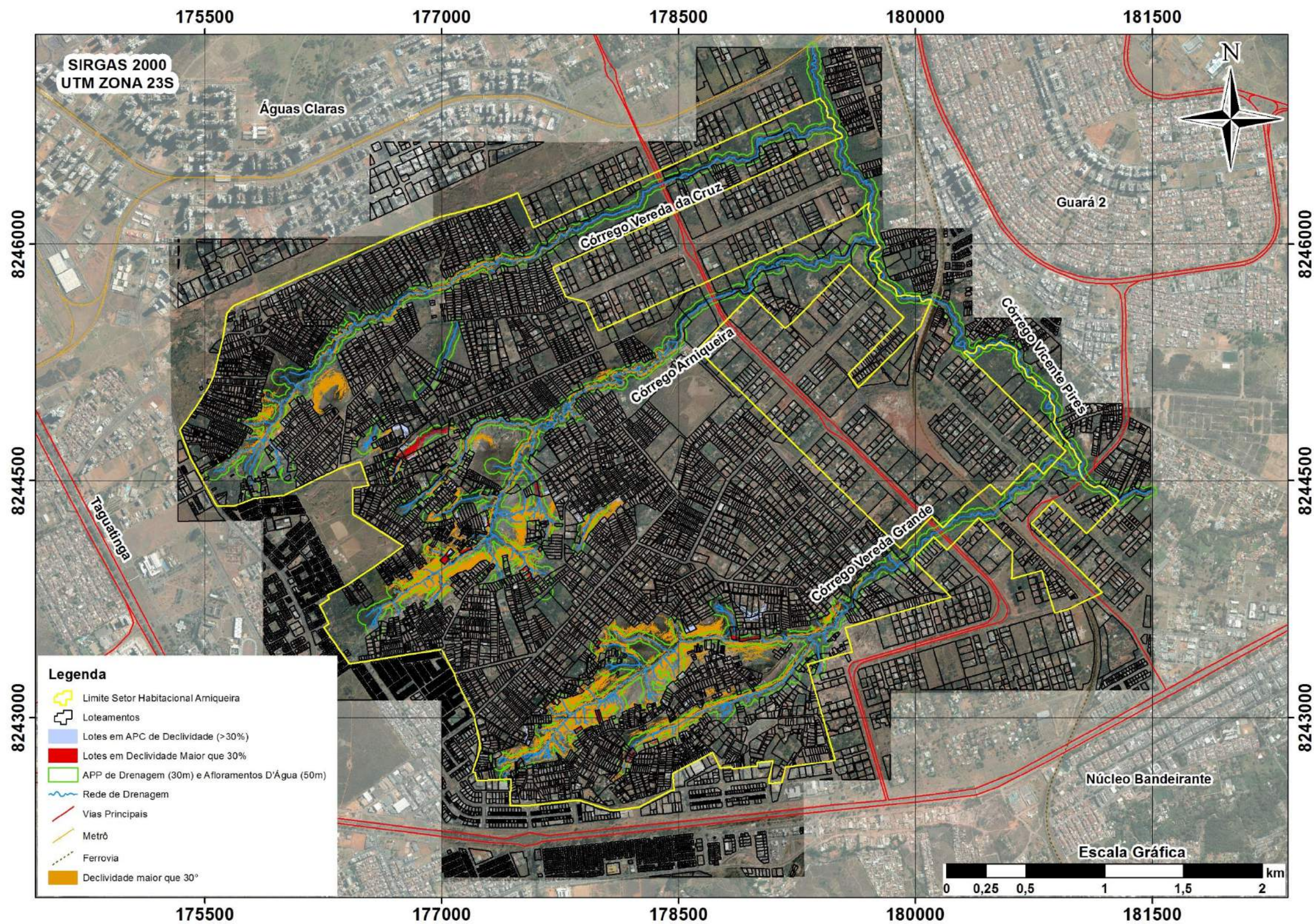


Figura 33 - Áreas de Parcelamento Condicionado (APCs) à declividade. Base legal: Lei 6.766/79. Esta análise exclui regiões de declividade superior a 30% já contempladas por APPs de cursos (30m) e afloramentos d'água (50m).

Frisa-se aqui que, da mesma forma que as classes de Risco Geotécnico carecem de filtragem por derivarem do produto de declividade, o produto bruto propriamente dito também a necessita. Esclarece-se que a construção de um modelo de terreno a partir de imagens do tipo LiDAR começa pela classificação de uma nuvem de pontos. Este pré-processamento é realizado pela empresa que adquire os dados originais e foge do controle da equipe técnica. Trata-se de um procedimento que exige alta capacidade computacional e, inevitavelmente, traz consigo erros de classificação, resultando, portanto, em modelos de superfície. A filtragem da declividade previamente à álgebra de mapas para confecção de mapa de Risco Geotécnico é inviável, pois o processo gera lacunas (pixels sem valor) que degradam o produto final.

Posto isto, a técnica adotada para contornar esta situação e identificar com segurança áreas urbanas situadas em locais com declividades naturais maiores do que 30% foi a de, novamente, demarcação de áreas de interesse. O *software* utilizado foi o *Envi 5.5*, por meio da ferramenta de construção de ROI's (*Regions of Interest*), uma técnica de filtragem que pode se basear na densidade de pixels. O pressuposto é de que áreas naturais com declividades superiores ao intervalo de interesse constituem faixas contínuas na paisagem. Por sua vez, classificações errôneas da superfície como "terreno" possuem distribuição errática. Desta forma, o diagnóstico de APCs à declividade obedeceu aos seguintes passos:

- 1) Geração de arquivo .tiff do tipo Slope Percent_Rise (*ArcMap* 10.6.1);
- 2) Segmentação do arquivo com auxílio da ferramenta *Raster Color Slice* (*ENVI 5.5*) nas classes 0 a 30%, 30 a 100% (45°) e maior que 100%;
- 3) Demarcação de ROI's via método "PIXEL" orientada à classe 2 (30-100%), uma vez que áreas naturais com valores superiores a 45° não se aplicam a área em estudo (Figura 34).
Parâmetros:
 - Pincel de seleção: 5x5;
 - Número de interações: 2;
 - Opção "oito vizinhos": selecionada;
 - Desvio padrão: 2.
- 4) Conversão .ROI para .shp (*shapefile*);
- 5) Simplificação do arquivo *shapefile*: agrupamento via tabela de atributos, visto que cada pixel passa a ser representado por um polígono;
- 6) Intersecção do arquivo gerado com o cadastro de lotes disponibilizados pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal (SEDUH/Geoportal/IDE; Arquivo: Lotes_2016).

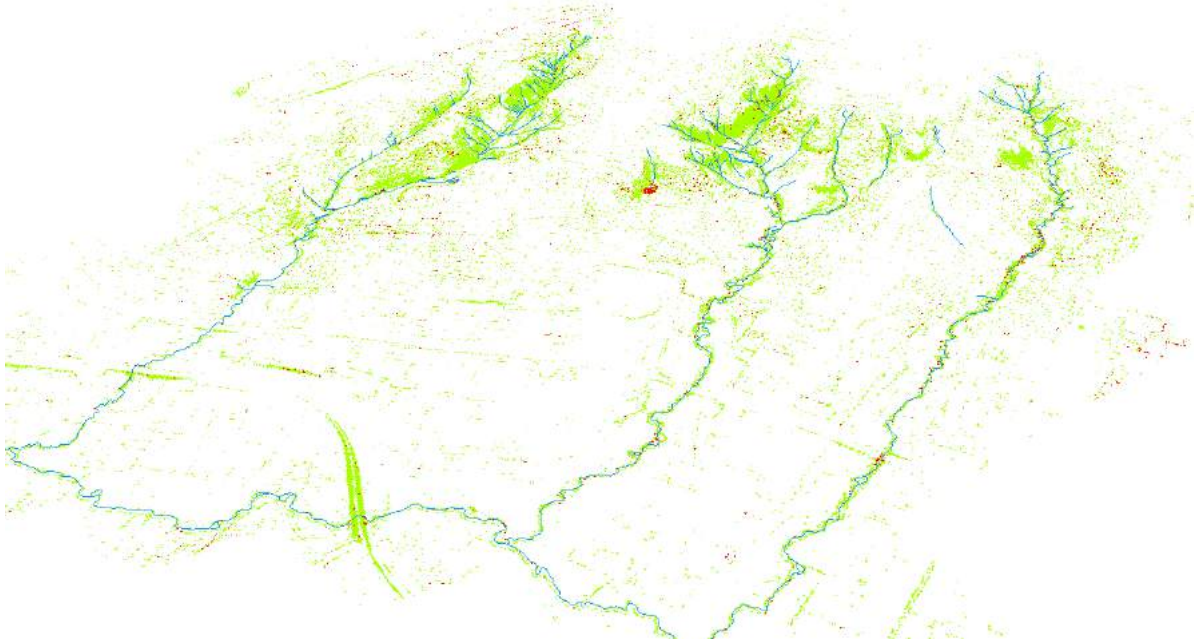


Figura 34 - Discretização de faixas da superfície com mesma declividade. Em verde, valores entre 30 e 100%. Em vermelho, maiores que 100% (45°). Visada sudoeste.

Além da declividade como condicionante técnico-legal, aspectos técnicos também orientam o parcelamento do solo. Dentre estes, citam-se a avaliação de risco geotécnico e a identificação em campo de soluções de urbanismo precárias, especialmente a canalização com manilhamento não dimensionado de cursos d'água.

Conforme apresentado, a avaliação de risco geotécnico pondera a ocorrência espacial das variáveis: declividade, pedologia, geologia e nível d'água de referência. Locais de Muito Baixo e Baixo risco não oferecem restrições à ocupação. Por outro lado, áreas de Alto e Muito Alto risco representam a ocorrência simultânea de uma ou mais das variáveis mapeadas. Desta forma, estes locais não podem ser ocupados. Em posição intermediária, define-se a classe de risco Moderado. Esta deve ser considerada como Área de Parcelamento Condicionado, desde que, obviamente, não haja alguma outra restrição severa de ordem legal ou ambiental.

Apesar do relativo risco geotécnico (moderado), é possível a mitigação de patologias a edificações e geração de situações que representem risco a vida mediante práticas de urbanização pública adequadas, como pavimentação e drenagem de águas pluviais a montante, além da exigibilidade de projetos de edificação com dimensionamento de fundações e técnicas apropriadas de construção civil específicas a cada cenário da superfície, isto é, projetos de engenharia elaborados caso a caso.

A intersecção em ambiente SIG da classe de risco geotécnico Moderado com o arquivo vetorial de lotes do SHA (7.877 propriedades) acusam 1.112 ocorrências. As figuras 35 A e B ilustram o histograma da área de intersecção categorizada em classes com 50m² de amplitude, o que facilita a percepção da magnitude da problemática. A intersecção deste arquivo com os limites de APPs de cursos (30m) e afloramentos d'água (50m) resultam em 425 lotes, de forma integral ou parcial.

Em síntese, o número de propriedades em que se identificam risco geotécnico é:

- Moderado: **991 = APCs** (Figura 36);
- Alto: 127 = Áreas de Restrição à Ocupação;
- Muito Alto: 87 = Áreas de Restrição à Ocupação;

Ao contrário do risco moderado, que apenas condiciona o parcelamento do solo, em regiões onde se identificam situações de risco geotécnico Alto a Muito Alto deve-se proceder à destituição de lotes ou à remoção seguida de destituição para os casos em que já existam edificações. Esta abordagem será explorada no subitem 9 deste relatório.

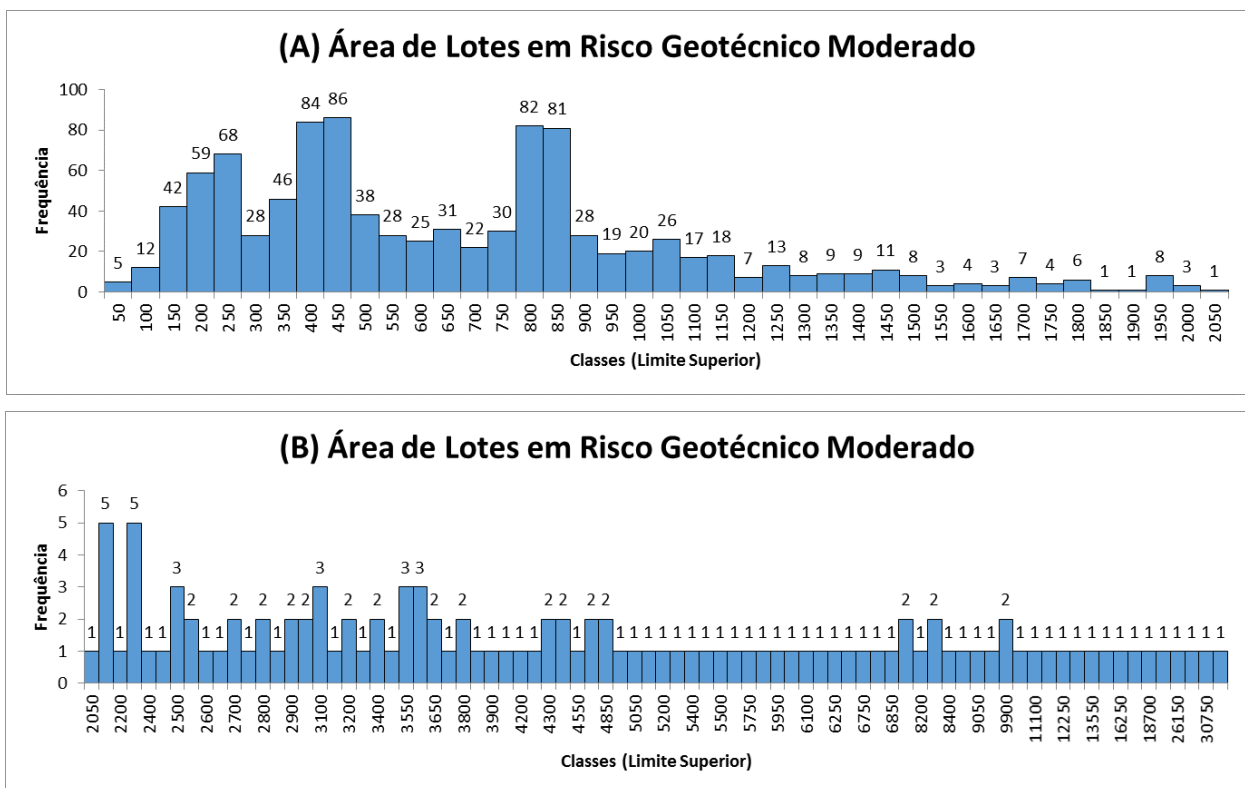


Figura 35 - Frequência de ocorrência de lotes em função da área de intersecção com locais de parcelamento condicionado ao risco geotécnico moderado. Amplitude de cada classe: 50 m². Propriedades com intersecções de **(A)** até 2.050 m² e **(B)** entre 2.050 m² e 30.750 m².

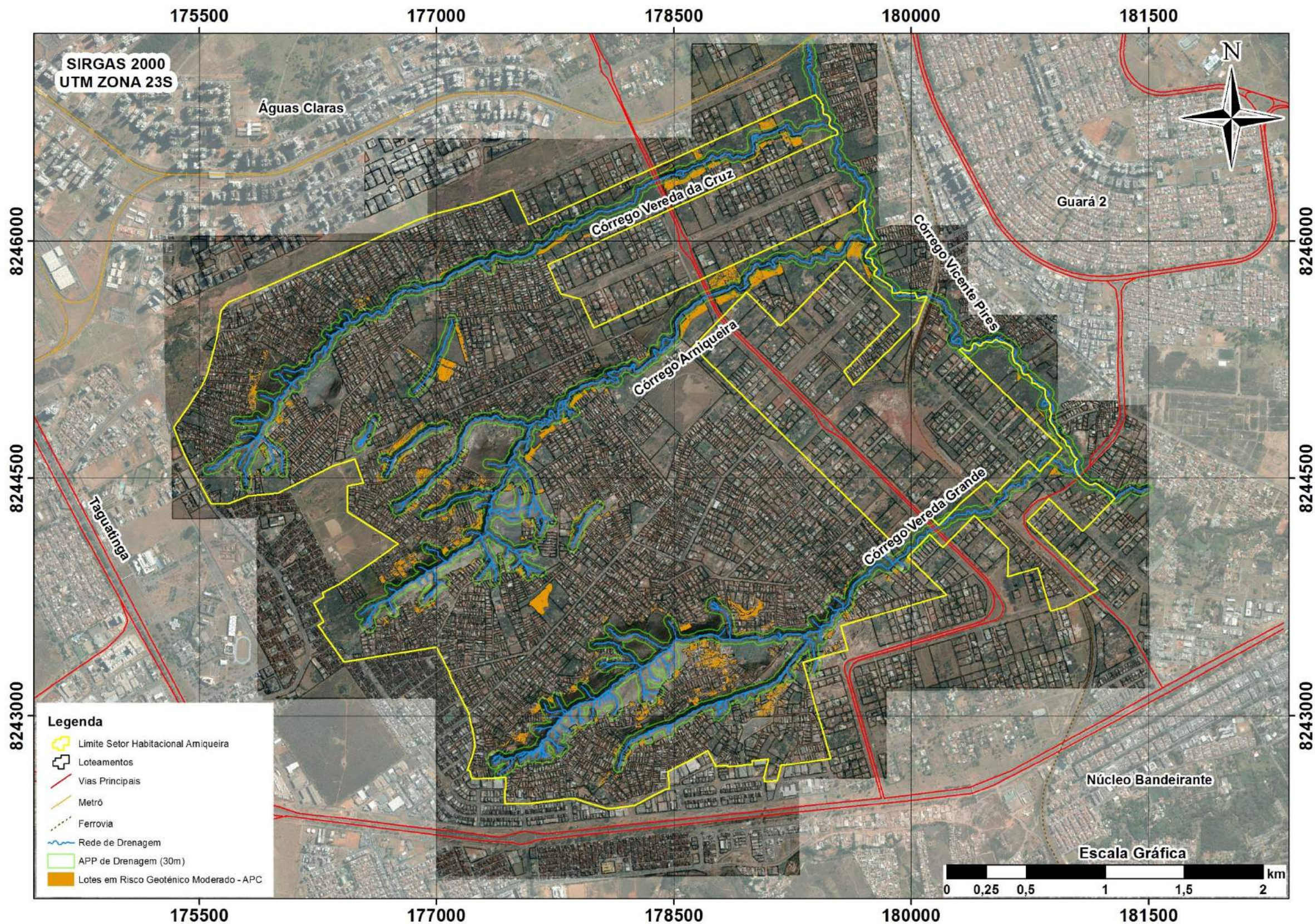


Figura 36 - Propriedades cujos limites englobam porções dos terrenos em que se identifica risco geotécnico Moderado. Total de 991 casos.

Locais em que se identificam obras para desvio do traçado de cursos d'água ou para simples aterramento/aplainamento da superfície, de modo a viabilizar a ocupação, também devem ter o seu parcelamento condicionado. Neste caso, o não dimensionamento do sistema de drenagem de águas fluviais representam riscos de 1) alagamentos com erosão superficial nas zonas de entradas e saídas das águas pluviais e 2) desenvolvimento de processos erosivos internos (subterrâneos), com eventual subsidência do terreno. Estes riscos são ainda ampliados com o aumento da impermeabilização das áreas de montante e ampliação das vazões de pico de escoamento em eventos de precipitação de intensidades anômalas. Outro fator que deve ser considerado é que as obras de canalização de drenagens e cursos d'água não foram necessariamente realizadas a partir de projetos técnicos e sua execução, em muitos casos, é feita de forma precária e sem os devidos cuidados.

O perímetro de influência destas obras é considerado, em média, de 15m lineares para cada lado. Desta forma, as áreas de parcelamento condicionado a locais de cursos antropizados são demarcadas a partir de um *buffer* de 15m. O traçado dos cursos manilhados baseou-se em pontos de campo e na avaliação de séries históricas de imagens de satélite disponibilizadas na plataforma *Google Earth Pro*. No total, **113** propriedades se encontram nas adjacências de cursos vetorizados em mapa como "antropizados". Estas faixas se situam nos locais em que as APPs são descontinuadas.

Por fim, para fins de visualização completa de todas as restrições à ocupação do SHA, discorre-se acerca do número total de propriedades em Áreas de Preservação Permanente. A intersecção do arquivo somado de APPs de cursos (30m) e afloramentos d'água (50m) acusa 765 lotes com restrições ambientais à ocupação. Este processamento baseia-se na operação de intersecção do arquivo de lotes do SHA (Lotes_2016; Fonte: Geoportal) com um polígono único de APP, isto é, sem distinção de margens direita e esquerda e sem a discriminação de áreas de intersecção com APPs de cursos d'água, de afloramentos subterrâneos ou ambos. Trata-se, portanto, de uma avaliação global destes fatores. Discussões aprofundadas do panorama da situação de lotes com restrição ambiental são abordadas no tópico seguinte (subitem 9).

A Figura 37 apresenta a disposição das três categorias de APCs apresentadas e de APPs identificadas no Setor Habitacional Arniqueira. Por sua vez, a Figura 38 aponta todos os lotes que se enquadram em alguma classe de condicionamento ao parcelamento ou de restrição ambiental. A Tabela 9 sintetiza as informações numéricas do texto e apresenta o nome dos arquivos *shapefiles* disponibilizados nas pastas SIG_SHA\Produto_5.1\Mapa_APC_Declividade; \Mapa_APC_Risco_Geotec e \Mapa_APC_Manilhamento

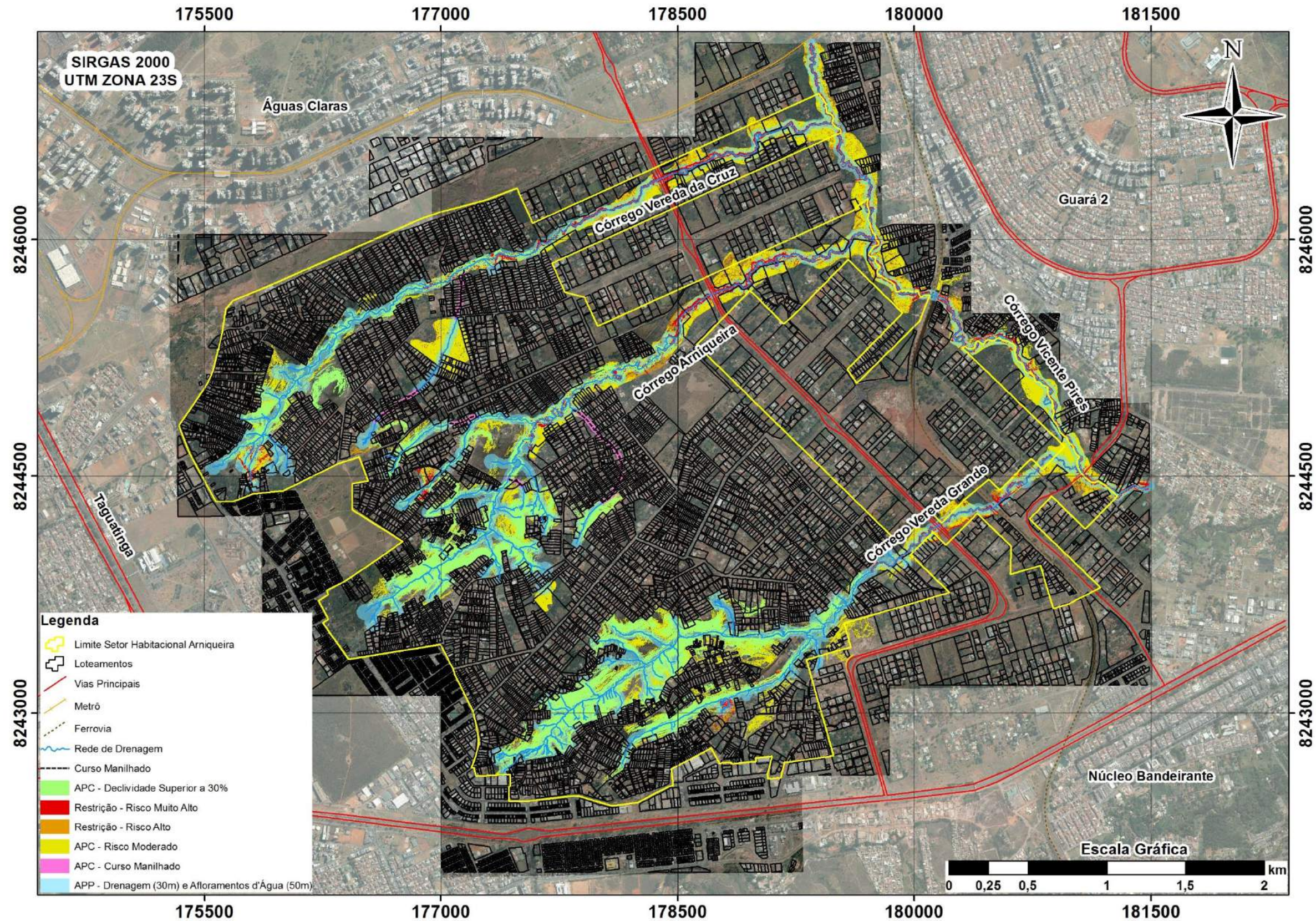


Figura 37 - Áreas de parcelamento condicionado (APCs) do SHA. Este mapa exhibe também áreas de Restrição à Ocupação Urbana - Risco Geotécnico Alto a Muito Alto, além de APC de canalização de cursos d'água.

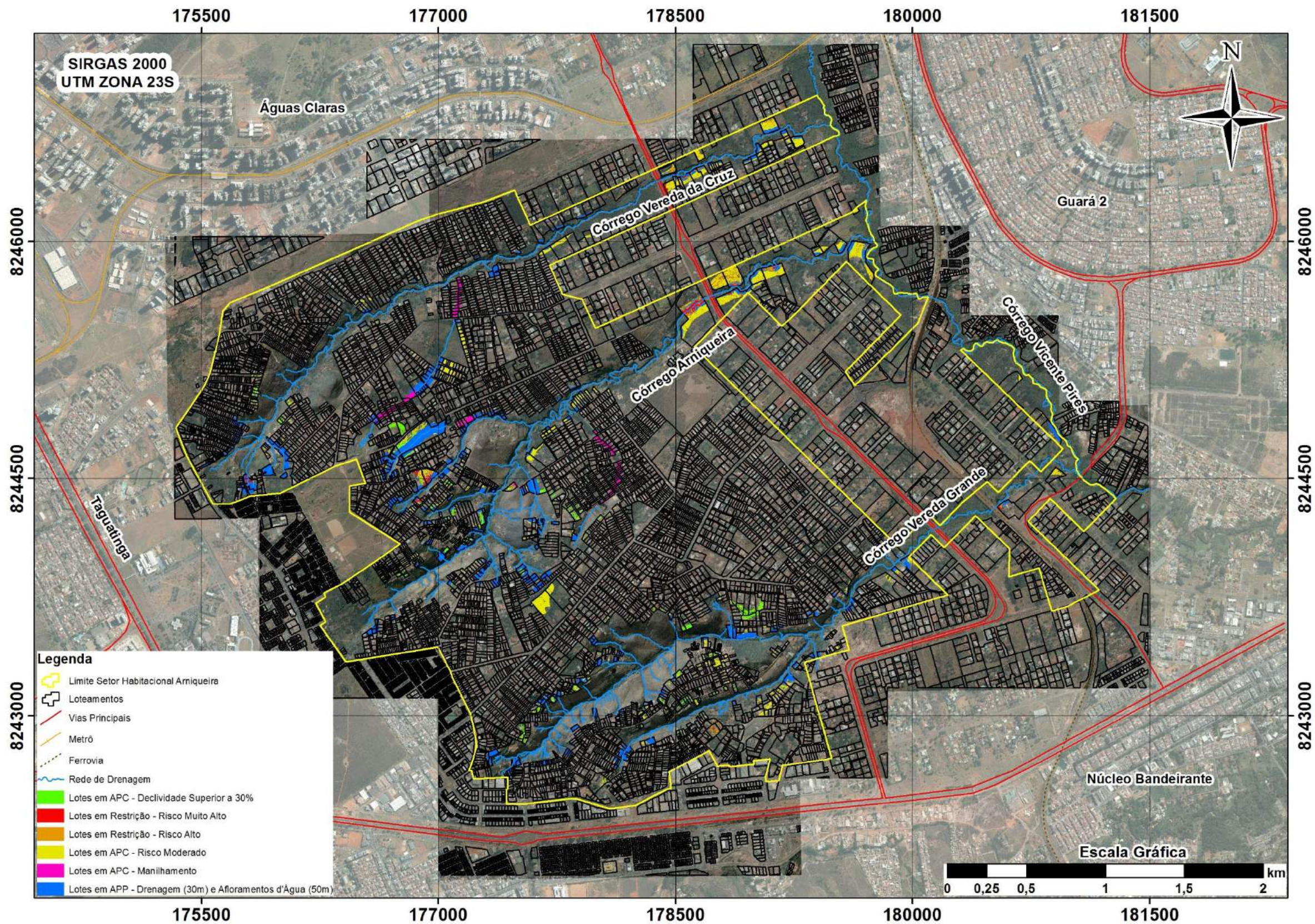


Figura 38 - Lotes em áreas de parcelamento condicionado (APCs) e Áreas de Preservação Permanente (APPs) do SHA. Exibem-se também as propriedades demarcadas em locais de risco geotécnico Alto e Muito Alto.

		Arquivo <i>shapfile</i>	Nº de lotes
APCs	Declividade	Lotes_APC_Declividade30	510
	Risco Geotécnico Moderado	Lotes_APC_Risco_Moderado	991
	Cursos d'água canalizados	Lotes_APC_Manilhamento	113
TOTAL			1.614

		Arquivo <i>shapfile</i>	Nº de lotes
APPs		APP_Drenagem_Afloramentos	765

		Arquivo <i>shapfile</i>	Nº de lotes
Risco Geotécnico	Alto	Lotes_Restricao_Risco_Alto	127
	Muito Alto	Lotes_Restricao_Risco_Muito_Alto	87
TOTAL			214

Tabela 9 - Quantificação de lotes com parcelamento condicionado às variáveis: declividade, risco geotécnico Moderado e cursos d'água antropizados (canalizados). A tabela apresenta também o número total de propriedades em Áreas de Preservação Ambiental e em situações de risco geotécnico Alto e Muito Alto.

Uma possível quarta classe de APC refere-se aos locais de APP de drenagem passíveis de flexibilização, isto é, cujo perímetro de proteção pode ser alterado para 15 m (**Reurb-E**).

Segundo a **Lei 13.465 de 2017** (Brasil, 2017; Lei da Reurb), regulamentada pelo Decreto nº 9.310, de 15 de março de 2018 (Brasil, 2018; alterado pelo Decreto nº 9.597, de 4 de dezembro de 2018):

“Art. 11. Para fins desta Lei, consideram-se:

[..]

*§ 2º Constatada a existência de núcleo urbano informal situado, total ou parcialmente, em **área de preservação permanente** ou em área de unidade de conservação de uso sustentável ou de proteção de mananciais definidas pela União, Estados ou Municípios, a Reurb observará, também, o disposto nos arts. 64 e 65 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, hipótese na qual se torna obrigatória a elaboração de estudos técnicos, no âmbito da Reurb, que justifiquem as melhorias ambientais em relação à situação de ocupação informal anterior, inclusive por meio de compensações ambientais, quando for o caso.”*

“Art. 13. A Reurb compreende duas modalidades:

I - Reurb de Interesse Social (Reurb-S) - regularização fundiária aplicável aos núcleos urbanos informais ocupados predominantemente por população de baixa renda, assim declarados em ato do Poder Executivo municipal; e

*II - Reurb de Interesse Específico (**Reurb-E**) - regularização fundiária aplicável aos núcleos urbanos informais ocupados por população não qualificada na hipótese de que trata o inciso I deste artigo.”*

Os artigos 64 e 65 da Lei 12.651/12 (Brasil, 2012) dispõe que:

“Art. 64. Na Reurb-S dos núcleos urbanos informais que ocupam Áreas de Preservação Permanente, a regularização fundiária será admitida por meio da aprovação do projeto de regularização fundiária, na forma da lei específica de regularização fundiária urbana. (Redação dada pela Lei nº 13.465, de 2017).

§ 1º O projeto de regularização fundiária de interesse social deverá incluir estudo técnico que demonstre a melhoria das condições ambientais em relação à situação anterior com a adoção das medidas nele preconizadas.

§ 2º O estudo técnico mencionado no § 1º deverá conter, no mínimo, os seguintes elementos:

- I - caracterização da situação ambiental da área a ser regularizada;*
- II - especificação dos sistemas de saneamento básico;*
- III - proposição de intervenções para a prevenção e o controle de riscos geotécnicos e de inundações;*
- IV - recuperação de áreas degradadas e daquelas não passíveis de regularização;*
- V - comprovação da melhoria das condições de sustentabilidade urbano-ambiental, considerados o uso adequado dos recursos hídricos, a não ocupação das áreas de risco e a proteção das unidades de conservação, quando for o caso;*
- VI - comprovação da melhoria da habitabilidade dos moradores propiciada pela regularização proposta; e*
- VII - garantia de acesso público às praias e aos corpos d'água*

*Art. 65. Na **Reurb-E** dos núcleos urbanos informais que ocupam Áreas de Preservação Permanente não identificadas como áreas de risco, a regularização fundiária será admitida por meio da aprovação do projeto de regularização fundiária, na forma da lei específica de regularização fundiária urbana (Redação dada pela Lei nº 13.465, de 2017).*

§ 1º O processo de regularização fundiária de interesse específico deverá incluir estudo técnico que demonstre a melhoria das condições ambientais em relação à situação anterior e ser instruído com os seguintes elementos: (Redação dada pela Lei nº 13.465, de 2017).

I - a caracterização físico-ambiental, social, cultural e econômica da área;

II - a identificação dos recursos ambientais, dos passivos e fragilidades ambientais e das restrições e potencialidades da área;

III - a especificação e a avaliação dos sistemas de infraestrutura urbana e de saneamento básico implantados, outros serviços e equipamentos públicos;

IV - a identificação das unidades de conservação e das áreas de proteção de mananciais na área de influência direta da ocupação, sejam elas águas superficiais ou subterrâneas;

V - a especificação da ocupação consolidada existente na área;

*VI - a identificação das áreas consideradas de risco de inundações e de movimentos de massa rochosa, tais como deslizamento, queda e rolamento de blocos, corrida de lama e outras definidas como de **risco geotécnico**;*

VII - a indicação das faixas ou áreas em que devem ser resguardadas as características típicas da Área de Preservação Permanente com a devida proposta de recuperação de áreas degradadas e daquelas não passíveis de regularização;

VIII - a avaliação dos riscos ambientais;

IX - a comprovação da melhoria das condições de sustentabilidade urbano-ambiental e de habitabilidade dos moradores a partir da regularização; e

X - a demonstração de garantia de acesso livre e gratuito pela população às praias e aos corpos d'água, quando couber.

§ 2º Para fins da regularização ambiental prevista no caput, ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, **será mantida faixa não edificável com largura mínima de 15 (quinze) metros de cada lado.**

§ 3º Em áreas urbanas tombadas como patrimônio histórico e cultural, a faixa não edificável de que trata o § 2º poderá ser redefinida de maneira a atender aos parâmetros do ato do tombamento.”

Dos trechos extraídos da Lei da Reurb sumariza-se que a conversão de APPs de drenagem entre 15 e 30m em APCs ocorrerá, quando da existência de construções, se atendidas análises do meio físico-ambiental e social. Desta forma, no tocante a avaliação de **Risco Geotécnico** (objeto deste relatório) constituem-se APCs as faixas de APP nas quais, no intervalo entre 15 e 30m, ocorrem áreas de risco geotécnico **muito baixo a baixo** simultaneamente a

loteamentos atualmente ocupados. O mapa da Figura 39 sintetiza estes locais e considera também a não existência de processos erosivos.

A definição da existência ou não de construção ocorreu caso a caso com base em imagem de satélite de 22/09/2019 disponibilizada no software *Google Earth Pro*. O mapa da Figura 39 ainda mostra a relação das APPs com a Zona de Preservação da Vida Silvestre - ZPSV e Zona de Urbanização - ZU da APA do Planalto Central, pois, de acordo com o exposto na **Licença de Instalação – Corretiva SEI-GDF n.º 7/2018 - IBRAM/PRESI/SULAM/GEREC:**

“III – DAS CONDICIONANTES, EXIGÊNCIAS E RESTRIÇÕES: (IBRAM)

[...]

3. No Setor Habitacional Arniqueira, **para as áreas não localizadas na APA do Planalto Central**, o IBRAM admitirá apresentação de estudos técnicos específicos para avaliar os casos em que haja ocupação em Área de Preservação Permanente, conforme previsto no Art. 11, §2º da lei 13.465/17, sem prejuízo do prosseguimento da regularização das áreas sem restrições dessa natureza.”

Esta condicionante restringe a aplicabilidade da lei da Reurb na área de estudo em, praticamente, 100% dos casos de APP de drenagem. No entanto, sempre se pode considerar a flexibilização da manutenção de ocupações existentes quando se tratar de ocupação de interesse social ou de ocupações que causem mínimo impacto ambiental ou conforme a avaliação dos técnicos ambientais responsáveis pelo licenciamento do SHA.

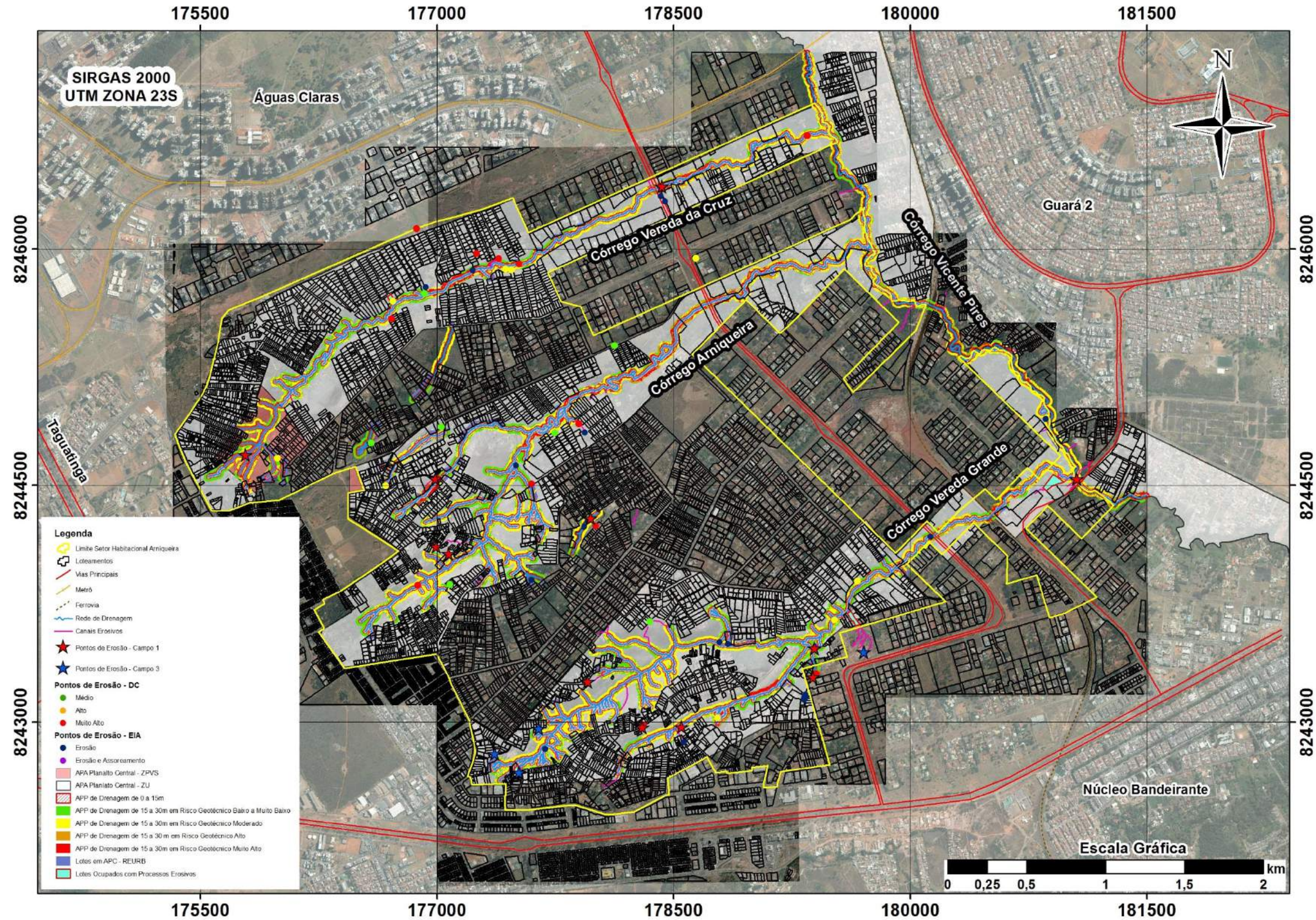


Figura 39 – Risco geotécnico em Áreas de Preservação Permanente de drenagens. As faixas em que há risco geotécnico muito baixo a baixo entre 15 e 30 m são classificadas como APCs. Destaque para a delimitação da zona de preservação da vida silvestre - ZPVS e zona de urbanização - ZU da APA do Planalto Central.

Em síntese, o panorama de lotes em faixas de APPs no Setor Habitacional Arniqueira é:

- Em faixa de 0 - 15 metros da margem da drenagem (restrição ambiental total):
 - Ocupados: 242 lotes;
 - Desocupados: 55 lotes.
- Em faixa de 15 -30 metros a partir da margem do curso d'água:
 - Ocupados: 522, dos quais 510 estão em áreas de risco geotécnico baixo a muito baixo;
 - Desocupados: 125, dos quais 110 se situam em áreas de risco geotécnico baixo a muito baixo.

Das ocorrências assinaladas, o número 510 é o objeto de interesse deste tópico. Descontadas quatro propriedades em que há o mapeamento de processos erosivos (um ponto apontado pela Defesa Civil e três situações de canais erosivos traçados em imagens de satélite e modelo do relevo), **506** situações enquadram-se como possíveis APCs.

É importante comentar que, em função da escala do produto, a ocorrência de faixas de risco geotécnico baixo a muito baixo em diversas propriedades é parcial e, não raro, o resultado observado em escalas pequenas resulta em um aspecto complexo e pouco legível. Por exemplo, a Figura 40 ilustra duas das 506 ocorrências (polígonos destacados em azul) em que há risco geotécnico variável (baixo/muito baixo, moderado e alto) na faixa de APP da cabeceira do Córrego Arniqueira entre 15 e 30m (destacada com a faixa de cores).

Assim, para a análise de caso a caso em nível de cada lote é necessário que a avaliação seja realizada de posse do SIG em escala 1:10.000, de forma que se possa examinar a proporção de cada lote com relação à área de APP de 15 a 30 metros e em qual classe de risco geotécnico.

Para se avaliar a flexibilização de maiores percentuais de áreas de lotes nestas situações, é necessário que sejam realizados laudos geotécnicos em escala de avaliação 1:1, ou seja, na escala de cada lote. Caso sejam realizados laudos geotécnicos com o objetivo de se flexibilizar a ocupação ou de se regularizar ocupações já efetivadas, será necessária a emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica - ART junto ao CREA/DF.



Figura 40 - Exemplos de propriedades situadas em áreas com risco geotécnico variável, situadas em faixas de APPs variáveis de 15 a 30 metros (a partir do curso d'água). O exemplo ilustrado na porção nordeste da área mostra um caso em o lote de maiores proporções apresenta intersecção com áreas de risco baixo a muito baixo, moderado, alto e muito alto.

9. MAPAS DE DESTITUIÇÃO DE LOTES E REMOÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Os mapas de destituição de lotes e remoção de edificações correspondem às propriedades com alguma intersecção em Áreas de Preservação Permanente (Figura 41) ou em regiões de risco geotécnico Alto ou Muito Alto (Figura 42).

Este registro inclui tanto lotes vagos quanto com porções já ocupadas por obras civis (casas, prédios ou outras construções).

A destituição de lotes vagos deverá abranger toda a fração do parcelamento que tenha intersecção com APPs de drenagem (30m) ou de afloramentos d'água (50m). Por sua vez, a remoção de edificações existentes deverá ser considerada para os casos em que as residências ou outras obras ocupem parte significativa de APPs definida por qualquer controle legal.

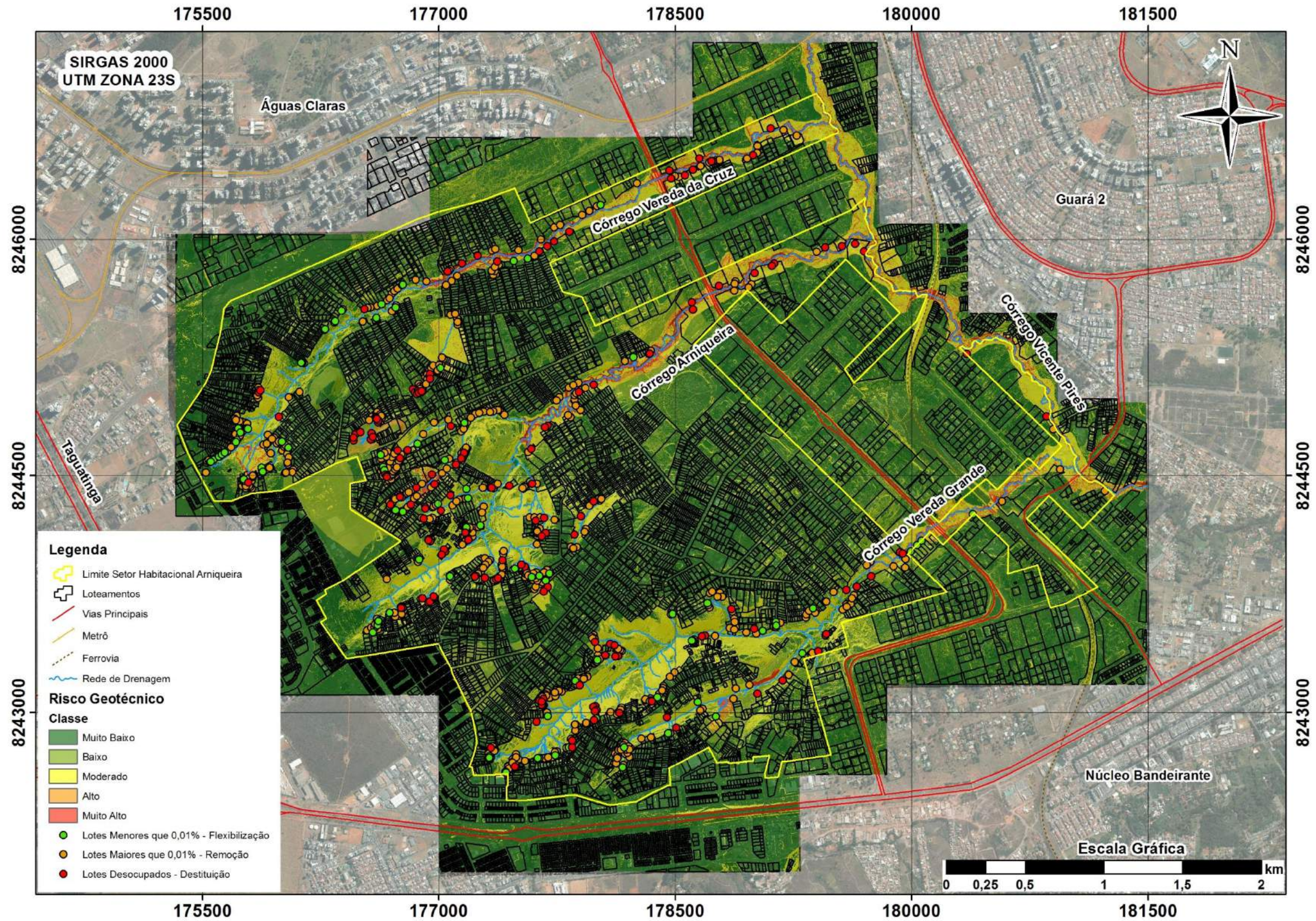


Figura 41 - Mapa de destituição de lotes e remoção de edificações da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira sob o ponto de vista ambiental. Para fins de visualização, são exibidas apenas as coordenadas do centro de cada propriedade.

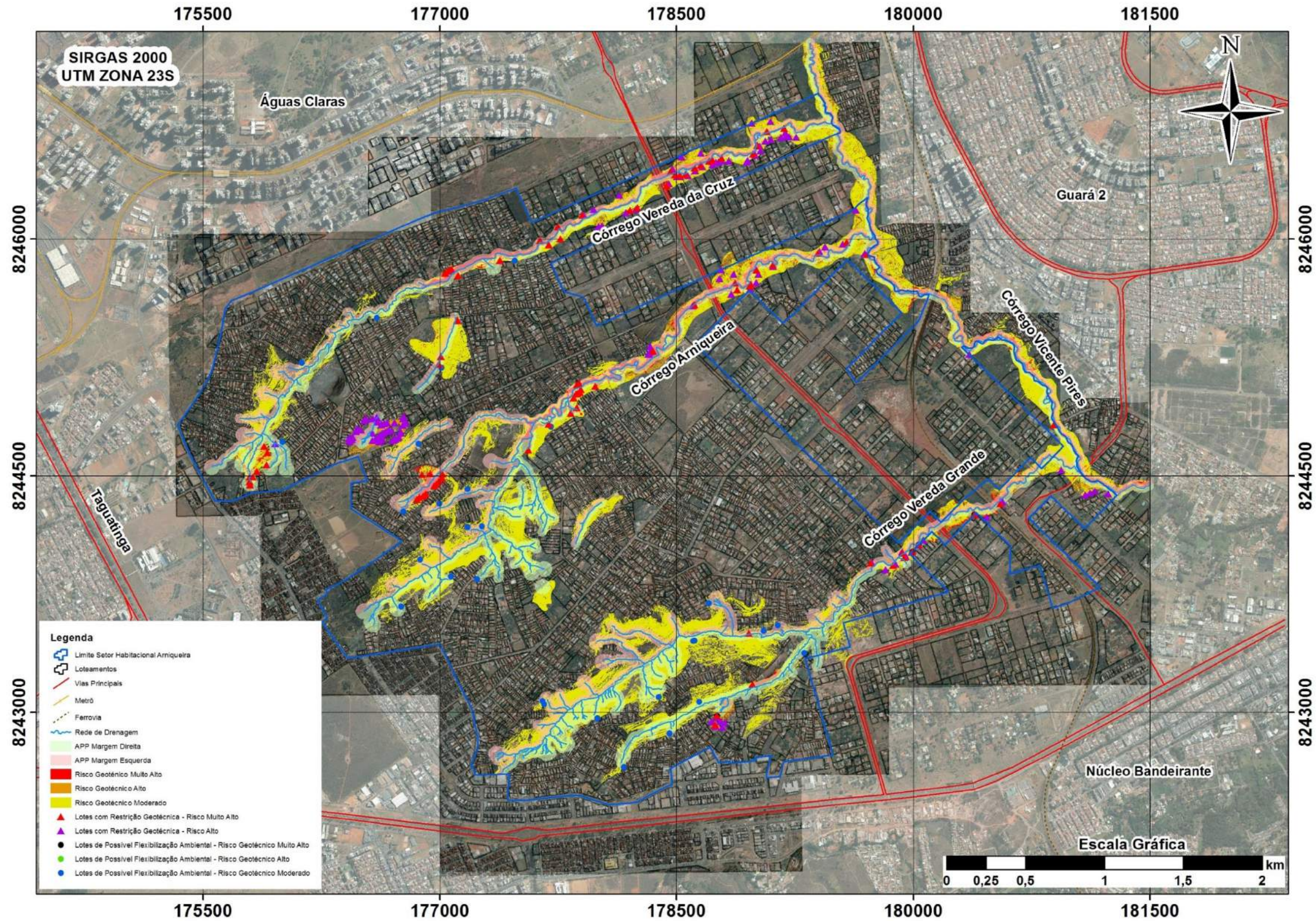


Figura 42 - Mapa de destituição de lotes e remoção de edificações da poligonal do Setor Habitacional Arniqueira sob o ponto de vista geotécnico. Para fins de visualização, são exibidas apenas as coordenadas do centro de cada propriedade.

Em muitas situações a porção das edificações que ocupam a APP é muito restrita e existem elementos legais que possibilitam a manutenção da ocupação. Por exemplo, a Resolução Conama 369 de 2006. Quando a construção existente ocupar grande faixa da APP, sua remoção deverá ser considerada, pois dificilmente será possível minimizar as exigências ambientais para tal condição.

Em suma, o mapa de destituição de lotes e remoção de edificações sob o ponto de vista ambiental (rever Figura 41) demonstra um total de *920 lotes em APP. A base vetorial utilizada é aquela disponibilizada pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal (SEDUH/Geoportal/IDE; Arquivo: Lotes_2016).

** O número total de restrições igual a 920 supera a análise global de 765, pois discrimina APPs de margens direitas e esquerdas de drenagens. Uma vez em que há situações em que uma propriedade se enquadra em ambas, o registro é duplicado.*

Deste total, existem 153 lotes vagos (avaliação realizada sobre imagem de alta resolução espacial datada de 22/09/2019), enquanto que 103 possuem obras em APP, mas ocupam, individualmente, menos de 0,01% desta área de preservação. Os 664 lotes restantes não são, no entendimento da equipe técnica responsável por este estudo, passíveis de flexibilização. Para fins de visualização, a Figura 41 ilustrada acima exibe a coordenada do centroide de lotes passíveis de flexibilização ambiental (<0,01%), de remoção (>0,01%) e destituição (lotes vagos).

Sob o ponto de vista geotécnico, o número de situações de destituição/remoção (rever Figura 42) é de:

- Risco Geotécnico Alto: 127;
- Risco Geotécnico Muito Alto: 87

Acrescenta-se aqui o adendo de que, dos 103 lotes passíveis de flexibilização ambiental enumerados anteriormente:

- 31 estão em área de risco geotécnico Moderado;
- 5 estão em área de risco geotécnico Alto (locais com restrição técnica à ocupação) e
- 4 estão em área de risco geotécnico Muito Alto (locais com restrição técnica à ocupação).

Desta forma, 63 lotes são de fato passíveis de flexibilização por atenderem, simultaneamente, ambos os critérios. A ampliação deste número é possível mediante laudos geotécnicos em escala de avaliação 1:1, isto é, na escala de cada lote. Caso sejam realizados laudos geotécnicos com o objetivo de se flexibilizar a ocupação ou de se regularizar ocupações já efetivadas, será necessária a emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica – ART junto ao CREA/DF.

Para os casos de remoção de edificações em áreas de restrição geotécnico-ambiental, todo o material de demolição deverá ser retirado e encaminhado para a Unidade de Recebimento de Entulho - URE do Distrito Federal, localizada na área do antigo lixão de Brasília.

Áreas que forem enquadradas nestes casos deverão ser cercadas e sua ocupação futura deverá ser vedada por diferentes instrumentos (visitação periódica, monitoramento por drones, placas de advertência ou outro instrumento).

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A integração de dados bibliográficos, dados de campo e análise de imagens de satélite permitiu alcançar uma série de conclusões e apresentar considerações finais sobre as questões geotécnicas e ocupação urbana na poligonal do Setor Habitacional Arniqueira, com destaque para:

- O substrato geológico é composto por diferentes tipos de rocha, o que inclui ardósias, quartzitos e metassiltitos associados a diferentes unidades geológicas do Grupo Paranoá (formações Ribeirão Piçarrão, Ribeirão do Torto e Serra da Meia Noite);
- Os solos estão agrupados em nove classes, entretanto os Latossolos, Cambissolos e associação de Neossolos Flúvicos com Gleissolos são os que representam a maior importância na área. Como se trata de uma área com grande densidade urbana a cartografia dos solos foi dificultada, sendo o uso do trado manual uma ferramenta comumente utilizada. Outro fator que dificulta o estudo dos solos é a constante presença de aterros e de remoção de horizontes superficiais dos perfis naturais;
- No contexto geomorfológico destacam-se três compartimentos: Plano Elevado (com padrão suave ondulado, baixa densidade de drenagem e cotas superiores a 1150 metros), Plano Intermediário (com padrão de relevo suave ondulado, moderada densidade de drenagem e cotas inferiores a 1050 metros) e Rebordo, que marca a transição entre os compartimentos anteriores com predominância de Cambissolos e moderada a elevada densidade de drenagem;
- A confecção de mapas temáticos (ex.: geologia, geomorfologia, solos, e risco de alagamento) e mapas de modelos numéricos (ex.: declividade e níveis d'água de referência) permitiu operações de álgebra de mapas que resultaram em diferentes produtos cartográficos sintéticos que deverão ser considerados na gestão territorial da área em estudo;
- O mapa de nível d'água de referência foi proposto através de uma metodologia inédita que associa tipos de solos ao contexto geomorfológico para espacialização dos níveis freáticos em três classes: < 3 m, entre 3 e 10 m e > 10 m. A inexistência de dados potenciométricos em número mínimo e distribuição adequada não permite a confecção de um mapa de nível d'água subterrânea por interpolação matemática. Lembra-se que este plano de informação contribui apenas em 10% na avaliação de risco, enquanto que declividade, pedologia e geologia possuem

pesos de, respectivamente, 40%, 30% e 20%.

- A história de ocupação do Setor Habitacional Arniqueira, na forma de condomínios horizontais e loteamentos sem controles legais, resultou em um núcleo urbano com traçado irregular e, muitas vezes, complexo, com ruas sem saída, avenidas de grande tráfego de veículos estreitas e sem a possibilidade de alargamento, falta de vias alternativas, dentre outros;

- Como em qualquer área urbana de ocupação rápida e em processo de adensamento, inúmeros problemas ambientais podem ser observados, incluindo: desenvolvimento de processos erosivos lineares (principalmente ravinhas), contaminação de cursos d'água (por águas pluviais e lançamentos de efluentes não tratados), contaminação dos aquíferos (por uso de sistemas de saneamento *in situ* - fossas e sumidouros), contaminação atmosférica (por lançamento de particulados sólidos a partir de vias não pavimentadas) e acumulação de resíduos sólidos em encostas ou em lotes não ocupados (principalmente escombros de obras e outros resíduos de construções);

- A confecção do mapa de risco geotécnico teve como principais planos de informação a declividade com 40% e as coberturas de solos com 30% de ponderação na composição do SIG. A geologia, por se tratar de um substrato litológico por natureza estável, contribuiu com 20% de peso e ao mapa de profundidade do nível d'água de referência foi atribuído apenas 10% de importância na confecção do mapa de risco geotécnico;

- Os resultados do estudo mostram que a ampla maioria da poligonal do Setor Habitacional poderá ter sua ocupação mantida (risco geotécnico baixo a muito baixo: 71%) e que apenas um restrito percentual deverá ter a ocupação futura vedada ou as ocupações existentes removidas (risco geotécnico alto a muito alto: 4%). Um terceiro segmento classificado como de risco geotécnico moderado (25%) deve ter sua ocupação condicionada à avaliação local, com a verificação de aspectos legais e ambientais, caso a caso;

- De posse dos mapas de risco geotécnico, APPs de cursos d'água, APPs de nascentes e olhos d'água e de diretrizes legais (Reurb, Resolução CONAMA 369, ADI 4903) foi possível confeccionar diferentes produtos cartográficos, com destaque para as diferentes modalidades de APCs e com a localização de lotes que deverão ser destituídos ou com construções a serem removidas;

- 26% (308ha em relação a 1.189,60ha) da área do SHA foi classificada como Área de Parcelamento Condicionado – APC (declividade superior a 30%, risco geotécnico moderado, canais manilhados e faixas de APP flexibilizadas pela Lei da Reurb), o que significa que a regularização das ocupações existentes ou a proposição de novas ocupações nestas áreas requerem análises específicas quanto a aspectos de risco geotécnico, questões ambientais e legais;

- A ampliação destas áreas de parcelamento condicionado, especialmente quando na faixa de

APP de drenagem entre 15 e 30m, exige laudos geotécnicos em escala de planta de construção, isto é 1:1, com a devida emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica – ART junto ao CREA/DF.

- A classificação manual de lotes ocupados ou vagos baseou-se na imagem de satélite mais atual disponível: 22/09/2019. A data deste relatório é 27/04/2020.

- O mapa de restrições geotécnico-ambientais à ocupação urbana corresponde à soma dos mapas de restrição relativos a questões ambientais e geotécnicas e as áreas que corresponderem ao máximo risco não deverão ser ocupadas e, no caso, de já estarem ocupadas por edificações, estas deverão ser removidas;

- No caso de edificações existentes com ocupação parcial em áreas de preservação permanente, uma avaliação local deverá ser realizada por técnicos com conhecimento ambiental.

- Além dos mapas apresentados em escala reduzida no presente texto, são disponibilizados os arquivos em formato vetorial de todos os produtos cartográficos. Para otimizar a avaliação dos mapas e para maior precisão na proposição dos planos urbanísticos, determinação de lotes a serem regularizados ou eventualmente destituídos, os tomadores de decisão devem avaliar cada caso diretamente sobre os arquivos digitais e suas tabelas de atributos. Estes produtos originalmente derivados de bases cartográficas em escala 1:10.000 permitem análise inclusive de pequenas áreas de observação.

Em síntese, o projeto de regularização fundiária do Setor Habitacional Arniqueira deverá respeitar:

- 1) Restrições Ambientais: demarcação de Áreas de Preservação Permanente de cursos (30m) e afloramentos d'água (50m);
- 2) Restrições Geotécnicas: porções do terreno com risco geotécnico alto a muito alto e
- 3) Parcelamento condicionado: análises específicas no tocante a aspectos legais, de risco geotécnico e ambientais, isto é, APCs de:
 - Declividade;
 - Risco geotécnico Moderado, além de condições de urbanização que fornecem risco à vida (canais manilhados) e
 - APPs: faixas entre 15 e 30m atualmente ocupadas onde não identificam-se risco geotécnico elevado (baixo a muito baixo).

O mapa apresentado na Figura 43 apresenta de forma objetiva os lotes ou porções destes em que há restrição total à ocupação (1 e 2; vermelho); condicionamento ao parcelamento (3; amarelo) e nenhum tipo de impedimento (verde). Destaca-se que o local apresentado na figura de detalhe (Figura 44) como APC de declividade é hierarquicamente inferior à demarcação de risco geotécnico Alto, o que constitui, portanto, restrição à ocupação.

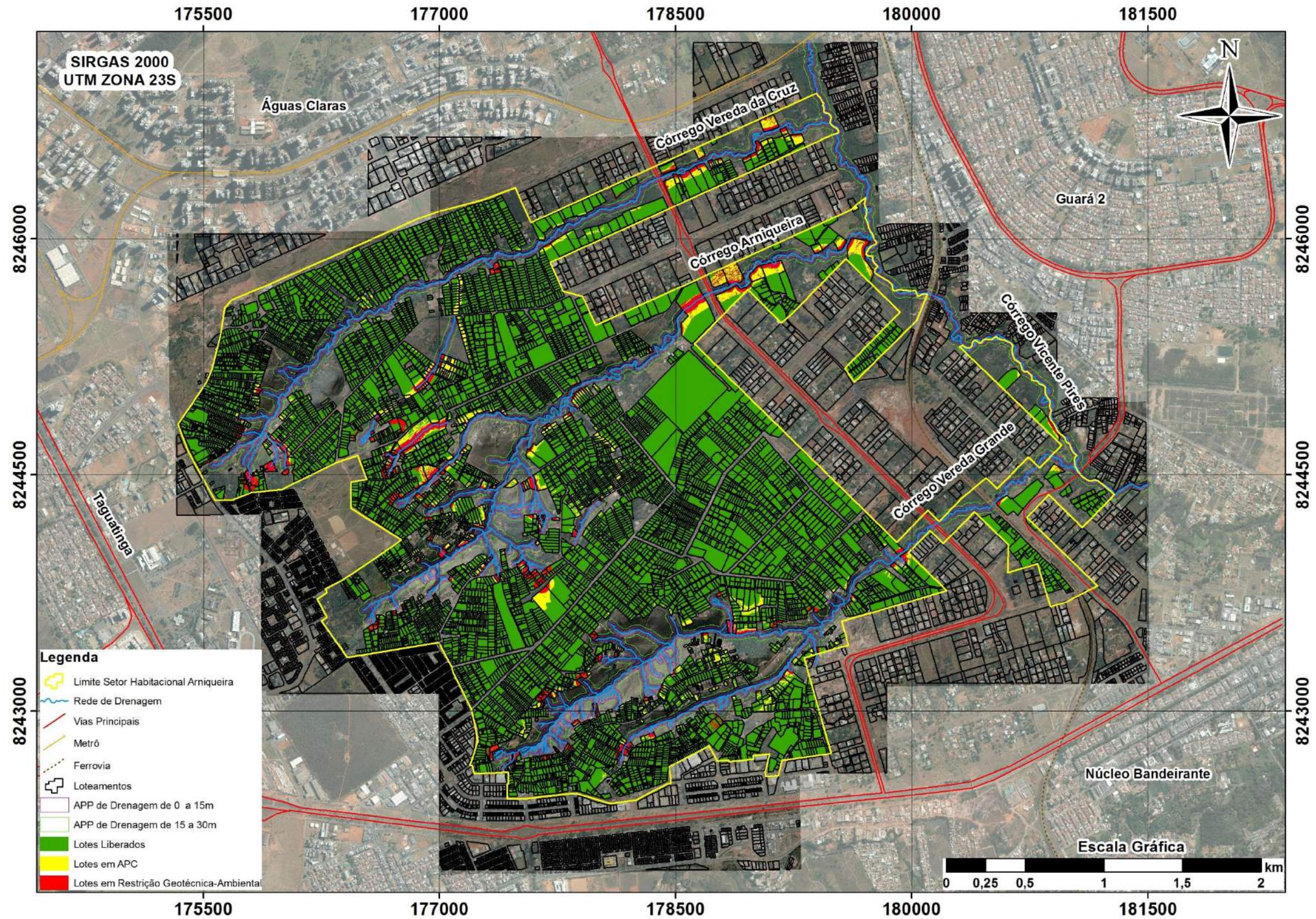


Figura 43 – Síntese das áreas com o sem restrição à ocupação do Setor habitacional Arniqueira. Apontam-se ainda aquelas cujo parcelamento é condicionado a diferentes exigências (APCs). O aumento percentual destas últimas, especificamente quanto a áreas de APP de drenagem entre 15 e 30m (Lei da Reurb) é possível mediante laudos geotécnicos locais, isto é, em escala 1:1.

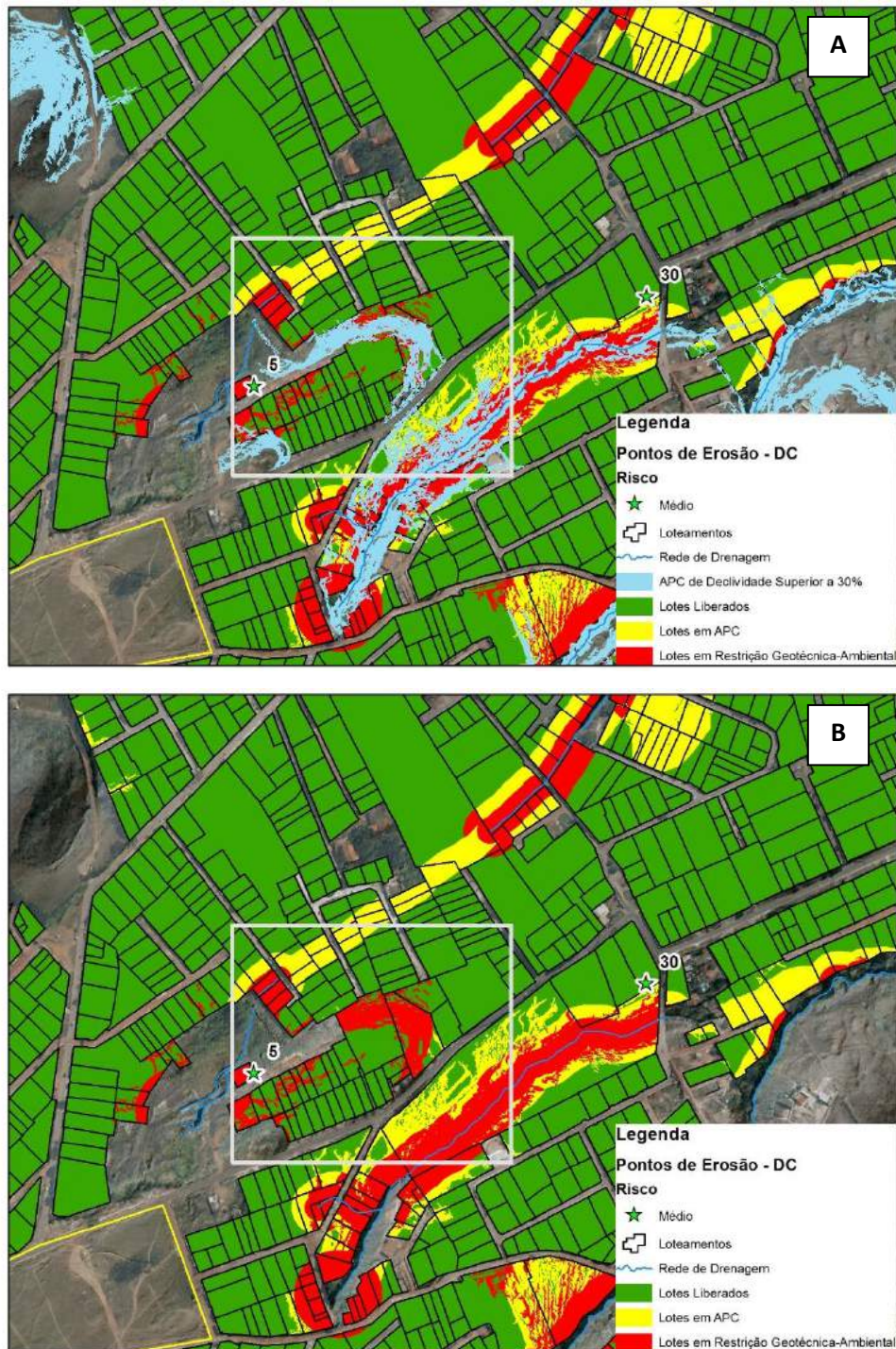


Figura 44 – (A) Detalhe de porções do terreno com declividade superior a 30%, o que configura APCs (Lei 6.766/79). Entretanto, **(B)** a avaliação de risco geotécnico impõe restrição à ocupação urbana no referido local. A avaliação local, em escala 1:1, pode reverter esta restrição, mas o condicionamento à declividade permanece.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. 1998. NBR 14.114. Solo - Solos argilosos dispersivos - Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (*pinhole test*).
- AB'SABER, A. N. 1977. Paleoclimas 3. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia. São Paulo.
- ADI 4903. Decisões Monocráticas. Disponível em: <<http://stf.jus.br/portal/jurisprudencia/listarJurisprudencia.asp?s1=%28ADI%24%2ESCLA%2E+E+4903%2ENUME%2E%29+NAO+S%2EPRES%2E&base=baseMonocraticas&url=http://ti.nyurl.com/cnqx9kd>>. Acesso em 03 de abril de 2020.
- BARBOSA, C.C.; CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S.; CREPANI, E.; NOVO, E.M.L.M.; CORDEIRO, J.P.C. 1998. Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação a zoneamento ecológico-econômico. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, IX*.
- BARROS, J.C.B. 1987. Geologia e hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico do Distrito Federal. (GDF/CAESB). Brasília/DF. P. 79-330.
- BARROS, J.C.B. 1994. Caracterização geológica e hidrogeologia do Distrito Federal. In: Cerrado, Caracterização, Ocupação e Perspectivas. PINTO, M. N. (org). Brasília. Editora UnB/SEMATEC. 2ª ed., p. 265-283.
- BRASIL. 1979. Lei nº 6.766, de 19 de Dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm>. Acesso em 03 de abril de 2020.
- BRASIL. 2006. Resolução Conama nº 369, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente - APP. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/lwgiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em 15 de março de 2020.
- BRASIL. 2012. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 28 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 15 de março de 2020.
- BRASIL. 2017. Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União; altera as Leis nos 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, 13.001, de 20 de junho de 2014, 11.952, de 25 de junho de 2009, 13.340, de 28 de setembro de 2016, 8.666, de 21 de junho de 1993, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 12.512, de 14 de outubro de 2011, 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), 13.105, de 16 de março de 2015 (Código de Processo Civil), 11.977, de 7 de julho de 2009, 9.514, de 20 de novembro de 1997, 11.124, de 16 de junho de 2005, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 10.257, de 10 de julho de 2001, 12.651, de 25 de maio de 2012, 13.240, de 30 de dezembro de 2015, 9.636, de 15 de maio de 1998, 8.036, de 11 de maio de 1990, 13.139, de 26 de junho de 2015, 11.483, de 31 de maio de 2007, e a 12.712, de 30 de agosto de 2012, a Medida Provisória nº 2.220, de 4 de setembro de 2001, e os Decretos-Leis

- nº 2.398, de 21 de dezembro de 1987, 1.876, de 15 de julho de 1981, 9.760, de 5 de setembro de 1946, e 3.365, de 21 de junho de 1941; revoga dispositivos da Lei Complementar nº 76, de 6 de julho de 1993, e da Lei nº 13.347, de 10 de outubro de 2016; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13465.htm>. Acesso em: 18 de abril de 2020.
- BRASIL. 2018. Decreto nº 9.310, de 15 de março de 2018. Institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana e estabelece os procedimentos para a avaliação e a alienação dos imóveis da União. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9310.htm>. Acesso em 18 de abril de 2020.
- CADAMURO, A.L.M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados para Condomínios Residenciais do Distrito Federal. Brasília: UnB/IG. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 158p.
- CADAMURO, A.L.M.; Campos, J.E.G.; Tröger, U. 2002. Artificial recharge in fractured rocks? An example from the Federal District of Brazil for the sustainability of the system. Proceedings do 4 Inter. Symp. on Artificial Recharge. Adelaide: v. 1:56-60.
- CADAMURO, A.L.M. & Campos, J.E.G. 2003. Recarga Artificial de Aquíferos Fraturados No Distrito Federal: Uma Ferramenta para a Gestão dos Recursos Hídricos. (submetido a Rev. Bras. Geociências).
- CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F.; CÂMARA, G. 2004. Álgebra de campos e objetos In: Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (Eds.). Análise Espacial de Dados Geográficos. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).
- CAMPOS, J.E.G. & FREITAS-SILVA, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB 1998. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Vol. 4, 234p.
- CAMPOS, J.E.G. & FREITAS-SILVA, F.H. 1999. Arcabouço hidrogeológico do Distrito Federal. In: XII Simp. Geol. Centro-Oeste. Boletim de Resumos. Brasília. 113p.
- CAMPOS, J.E.G.; BOGOSSIAN, J.; & CARVALHO, R.M. 2012. Sedimentology of the Psammopelitic-carbonate Unit, Paranoá Group, and Sete Lagoas Formation, Bambuí Group: examples of mixed carbonate-siliciclastic sedimentation in the Proterozoic of the Brasília Fold Belt. Revista Brasileira de Geociências, 42(3):513-522.
- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A.; FREITAS-SILVA, F.H.; MARINS-FERREIRA, M.A.C. 2013. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. Brazilian J. Geol. 43:461-475.
- CAMPOS, J.E.G. 2012. Relatório do Meio Físico. In: Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal. Subproduto 3.1. 172p.
- CHORLEY, R.J. 1975. Modelos Físicos e de Informação em Geografia. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo.
- CODEPLAN. 1984. Atlas do Distrito Federal. 1ª edição, GDF, Brasília.
- CODEPLAN 1991. Cartas planialtimétricas. Formato vetorial, na escala 1:10.000, do Sistema Cartográfico do Distrito Federal - SICAD, com informações sobre sistema viário, hidrografia, hipsometria, áreas urbanas. Brasília/DF.
- CODEPLAN 1997. Mapa do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. escala 1:100.000. Brasília/DF.

- COSTA, W.D. 1975. Estudo hidrogeológico preliminar das cidades Gama Taguatinga, Ceilândia e Sobradinho no Distrito Federal. Brasília (CONTEGE/CAESB). 150p.
- CRULS, L. 1894. Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil. Brasília. CODEPLAN. 5ª ed. (1995). 343p.
- EMBRAPA, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª. ed., rev. e ampl. Brasília, DF. 374p.
- EMBRAPA. 1978. Mapa de solos do Distrito Federal (1:100.000). Brasília. EMBRAPA-EPI. - Serviço de Produção de Informação (Brasília).
- EMBRAPA, 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro - RJ. 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Súmula. EMBRAPA-SNLCS. Série Miscelânea, 1. 83p.
- FARIA, A. 1995. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília. 199p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).
- FIORI, J.P.O. 2010. Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 107p.
- FREITAS-SILVA, F.H. & CAMPOS, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB 1998. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Vol. 1, Parte I. 86p.
- MAIO, C.R. 1986. Alterações ambientais no Distrito Federal, baseadas na geomorfologia dinâmica. *Rev. Bras. Geogr.*, 48(3):259-284.
- MAMEDE, L. *et al.* 1983. Geomorfologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD.23 Goiânia. Rio de Janeiro, 349-412 (Levantamento de Recursos Naturais, 31).
- MARTINS, E.S. & BAPTISTA, G.M.M. 1998. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In IEMA/SEMATEC/UnB 1998. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Vol. 1, Parte II. 53p.
- MENDES, W. 1978. Relação entre os graus de limitações do uso do solo por susceptibilidade à erosão e às unidades de mapeamento de solo. In: Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro ano 44 nº 3, jul; set. 1978.
- MENDONÇA, A.F. 1993. Caracterização da erosão subterrânea nos aquíferos porosos do Distrito Federal. Anexo 3a: Reservas de água de superfície do Parque Nacional de Brasília. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 154p. (Dissertação de Mestrado - inédita).
- NETO, G.B.S., 2015. Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 103p.
- NETO, G.B.S.; BAYMA, A.P.; NETO, S.B.; ROIG, H.L.; MENEZES, P.H.B.J. 2017. Análise de susceptibilidade a alagamento na bacia hidrográfica do Riacho Fundo–Distrito Federal por meio de Sistemas de Informação Geográfica–SIG. *Territorium*, (24), pp.77-87.
- NOVAES PINTO, M. & CARNEIRO, P.J.R. 1984. Análise preliminar das feições geomorfológicas do Distrito Federal. In: CONGR. BRAS. DE GEÓGRAFOS. 4. Anais ... São Paulo. Livro II. V. 2. p. 190-213.

- NOVAES PINTO, M. 1994. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2ª ed.. p. 285-320.
- POHEKAR, S.D. & RAMACHANDRAN, M. 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 8(4), pp.365-381.
- ROMANO, O. & ROSAS, J.G.C. 1970. Água subterrânea para fins de abastecimento de água e irrigação no Distrito Federal. In: CONGR. BRAS. GEOC., 24. 1970. Anais..., Brasília, SBG. p.313-333.
- SAATY, T. 1972. An Eigenvalue Allocation Model for Prioritization and Planning. Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania. Working Paper.
- SOARES, L.R.B. 1984. Atlas do Distrito Federal. Brasília. Secretaria do Governo/Secretaria da educação e Cultura/CODEPLAN. v. 1. 78p.
- SOUZA, M.T. 2001. Fundamentos para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. Brasília. Dissertação de Mestrado, inédita. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 124p.
- SOUZA, M.T. & CAMPOS, J.E.G. 2001. O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal. REM - Revista Escola de Minas. Ouro Preto: v.54(3):191-198.
- TOPOCART, 2014-2018. Estudo de Impacto Ambiental. Setor Habitacional Arniqueira. Diagnóstico Ambiental. Partes A a C.
- URBONAS, B. & STAHERE, P. 1993. Stormwater Best Management Practices and Detention. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.
- VARGAS, R.V., 2010. Utilizando a programação Multicritério (*Analytic Hierarchy Process -AHP*) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. PMI Global Congress 2010, North America. Washington-DC - EUA.
- VIEIRA, L.S. 1983. Manual de Morfologia e Classificação de Solos. Ed. Agronômica Ceres Ltda. - São. Paulo 2ª ed.
- VINK, A.P.A. 1963. Planning of soil survey in land development. Wageningen, International Institute for Land Reclamation. 15p.