

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

NATALIA CRISTINA DA SILVA CHAGAS

Estudo dos fluxos hídricos superficiais a partir de levantamento morfológico-morfométrico do
relevo: o caso do Aterro de Taubaté

Study of surface water flows from the morphological-morphometric survey of the relief: the
case of the Taubaté landfill.

São Paulo

2021

NATALIA CRISTINA DA SILVA CHAGAS

Estudo dos fluxos hídricos superficiais a partir de levantamento morfológico-morfométrico do relevo: o caso do Aterro de Taubaté

Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado
ao Departamento de Geografia da Faculdade de
Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física
Orientador: Prof. O Dr. Fernando Nadal Junqueira
Villela

São Paulo

2021

RESUMO

Uma das etapas da elaboração de estudos ambientais, como EIA/RIMA e AIAs, consiste na caracterização do meio físico a partir da elaboração de mapas temáticos que apresentem as informações de estudos de base. O modelo de Feições Mínimas, constituído enquanto ferramenta cartográfica que pode ser aplicada universalmente, uma vez que reduz as formas do relevo à equivalentes geométricos, é capaz de revelar aspectos qualitativos e quantitativos da paisagem subsidiando a tomada de decisão quanto a localização de instalação de empreendimentos com potencial de contaminação de rios, solos e aquíferos, como os aterros sanitários. A partir da manipulação de dados extraídos de Modelo Digital de Elevação (MDE) foi elaborada cartografia morfológico-morfométrica do relevo da Bacia do Rio Una, afluente do Rio Paraíba do Sul, onde o aterro sanitário de Taubaté está localizado. Os mapas gerados revelaram as feições mínimas da bacia, as curvaturas do relevo em perfil e planta, e os domínio hidrodinâmicos da bacia e do aterro. Os resultados, de forma geral, foram satisfatórios, e revelaram-se dados confiáveis que, quando atrelado a outros dados, como a permeabilidade do solo, vegetação e clima, podem subsidiar a tomada de decisão na escolha de áreas para implantação de empreendimentos como os aterros sanitários.

SUMMARY

One of the stages in the elaboration of environmental studies, such as EIA/RIMA and AIAs, consists in characterizing the physical environment from the elaboration of thematic maps that present information from baseline studies. The Minimal Features model, constituted as a cartographic tool that can be applied universally, as it reduces relief forms to geometric equivalents, is capable of revealing qualitative and quantitative aspects of the landscape, supporting decision-making regarding the location of installation of projects with the potential to contaminate rivers, soils and aquifers, such as landfills. From the manipulation of data extracted from the Digital Elevation Model (DEM) a morphological-morphometric cartography of the relief of the Una River Basin, a tributary of the Paraíba do Sul River, where the Taubaté landfill is located, was created. The generated maps revealed the minimal features of the basin, the curvatures of the relief in profile and plan, and the hydrodynamic domain of the basin and the landfill. The results, in general, were satisfactory, and proved to be reliable data that, when coupled with other data, such as the permeability of the soil, vegetation and climate, can support decision-making in the choice of areas for the implementation of projects such as the landfills.

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
SUMMARY	4
1. INTRODUÇÃO	8
2. JUSTIFICATIVA	10
2.1. A COMPARTIMENTAÇÃO DE VERTENTES.....	10
2.2 A ANÁLISE DO RELEVO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	11
3. OBJETIVOS	16
3.1. GERAL	16
3.2. ESPECÍFICOS	16
4. ÁREA DE ESTUDO.....	17
4.1. ATERRO SANITÁRIO DE TAUBATÉ	17
4.1.1 Geologia	19
4.1.2 Hidrografia.....	20
4.1.3 Topografia	21
4.2 MUNICÍPIO DE TAUBATÉ.....	23
4.3 BACIA SEDIMENTAR DE TAUBATÉ	25
4.4 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA	25
4.5 SOLOS E CLIMA DA BACIA DO RIO UNA.....	27
5. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	28
5.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO -METODOLÓGICA.....	28
6. PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS OPERACIONAIS.....	29
6.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA	29
6.2 CONFECÇÃO DA CARTOGRAFIA MORFOLÓGICO - MORFOMÉTRICA	29
7. RESULTADOS	32
7.1 CURVATURAS EM PLANTA	34
7.2 CURVATURAS EM PERFIL.....	36
7.3 DOMÍNIOS HIDRODINÂMICOS	38
7.4 ÁREA DE ESTUDO	40

8. CONCLUSÕES.....	42
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

TABELAS

Tabela 01 – Soma das feições em perfil e planta.	30
Tabela 02 – Valores para determinação dos Domínios Hidrodinâmicos.	31

FIGURAS

Figura 01 – Cabeceira de drenagem e compartimentos de uma encosta. Moura et al (1991) apud Hack e Goodlett (1960).	11
Figura 02 – Modelos de Horton (A) e Strahler (B) usados na determinação de ordenamento e hierarquia da bacia hidrográfica	12
Figura 03 - Localização da área do Aterro sanitário de Taubaté. Fonte: Google Earth, 2021.	17
Figura 04 – Croqui de localização do Aterro Sanitário de Taubaté	18
Figura 07 – Hipsometria e topografia da área da Bacia do Rio Una e do Aterro de Taubaté ..	22
Figura 08 – Geologia do município de Taubaté (Fonte: CPRM, 2006)	24
Figura 09 – Bacia Hidrográfica do Rio Uma.....	26
Figura 10 – Curvaturas verticais e horizontais. Dikau (1990).....	30
Mapa -01 – Feições Mínimas -(1:130.000)	33
Mapa 02 – Curvatura em planta - (1:130.000)	35
Mapa 03 – Curvatura em perfil - (1:130.000)	37
Mapa 04 – Domínios Hidrodinâmicos - (1:130.000)	39
Mapa 05 – Aterro Sanitário de Taubaté (1:15.000).....	41

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Orí, à Osun, Sango e Osossi.

A minha mãe Marcia Feijó da Silva que me criou como pode e fez tudo ao seu alcance.

Aos meus avós Elisa Feijó da Silva e Amaro de França da Silva, por todo trabalho e amor.

Ao professor Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela e ao Professor Dr. Antônio Carlos Colângelo, por suas grandes contribuições à geografia física.

Aos colegas de graduação que me incentivaram e ajudaram.

Sou grata à SAS pelo CRUSP que foi minha casa de 2015 até 2021.

1. INTRODUÇÃO

Fluxos hídricos desencadeados pela pluviometria, acrescentados dos líquidos como chorume, provenientes dos resíduos depositados em aterros sanitários, constituem perigo de contaminação de rios e aquíferos. Sabendo-se que o relevo é um importante condicionador de fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais (Colangelo, 1996) constitui-se como muito importante os estudos prévios que levem em consideração a geomorfologia do terreno onde são implantados aterros sanitários.

O modelo de Feições Mínimas constituió enquanto ferramenta cartográfica que pode ser aplicada universalmente, uma vez que reduz as formas do relevo à equivalentes geométricos, é capaz de revelar aspectos qualitativos e quantitativos da paisagem subsidiando a tomada de decisão quanto a localização de instalação de empreendimentos com potencial de contaminação de rios, solos e aquíferos

O Aterro Sanitário Municipal de Taubaté, localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Una, foi inaugurado no final da década de 70 e interditado em 2009, após constatação de ocorrência de poluição do solo e água subterrânea por disposição inadequada de resíduos em ambiente natural sem impermeabilização. Em 1988, a partir de estudo de modelagem numérica ficou constatada a perda de qualidade das águas subterrâneas nas adjacências do aterro a partir de pluma de poluentes. Segundo estudo, a pluma no prazo de cinco anos se deslocaria por até 200 m de distância. (GUILGUER, 1988).

Em 1981 a Lei 6.938 introduziu o conceito de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) como um instrumento de política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), caracterizada por um conjunto de procedimentos que englobam a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA). Em 1986, através da resolução 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), criado pela referida Lei, que foram estabelecidas as responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais de execução deste estudo.

Em 1988, a Constituição Brasileira, em seu artigo 225 aponta para a obrigatoriedade de elaboração estudo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) para instalação de obras, ou atividade industrial, potencialmente causadora de degradação ao meio ambiente.

Neste contexto, fica evidenciada a necessidade e importância de estudos ambientais prévios capazes de identificar problemas nas etapas iniciais dos projetos de implantação de empreendimentos como Aterros Sanitários.

Segundo Sánchez (2013) uma das etapas da elaboração de estudos ambientais, como EIA/RIMA e AIAs, consiste na caracterização do meio físico a partir da elaboração de mapas temáticos que apresentem as informações de estudos de base. Dentre os possíveis mapas temáticos abordados em estudo de diagnóstico ambiental prévio encontram-se as cartas geomorfológicas que tratam das formas de relevo.

O presente trabalho, utilizando o método de Feições Mínimas, proposto por Colângelo (1996), através de produção cartográfica morfológico-morfométrica do relevo, se propôs identificar o comportamento dos fluxos superficiais e subsuperficiais do compartimento da Bacia Hidrográfica Rio Una em que o aterro sanitário de Taubaté foi instalado.

As informações morfométricas e morfológicas da bacia foram extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE), resultante do projeto TOPODATA (INPE) e manipuladas através do Software gratuito QGIS. As formas de vertente foram classificadas como côncava, convexa e retilínea e, a partir da associação dessas feições, em perfil e planta, foram mapeadas 9 (nove) Feições Mínimas e classificadas 03 (três) Domínios Hidrodinâmicos (COLANGELO, 1996).

Além do mapeamento morfológico-morfométrico pelo modelo de Feições Mínimas, foi possível verificar a aplicabilidade do método das Feições Mínimas na produção cartográfica que integra os estudos prévios de caracterização ambiental, como EIA/RIMA e AIAs, requeridos nos processos de licenciamento de empreendimentos com potencial poluidor dos solos, águas subterrâneas e superficiais, como é o caso dos aterros sanitários.

2. JUSTIFICATIVA

2.1. A compartimentação de vertentes.

Sob certas condições climáticas, os processos morfogenéticos predominantes dão origem às características do relevo que serão diferentes das encontradas em outros climas. (RUHE, 1975), isso por que são os fatores climáticos que regem a atuação do processo de intemperismo. Em clima tropical como é o do Brasil, o processo intempérico é caracterizado predominantemente de um processo químico, e também físico, desencadeado pela precipitação e pela temperatura.

As vertentes, ou superfícies inclinadas, são formas tridimensionais que resultam da ação intempérica, atuante no presente e no passado, e que representa uma relação entre um interflúvio e o vale (CHRISTOFOLLETTI, 1980)

Para Ruhe (1975) o intemperismo químico modela o relevo e forma as vertentes (*slope*) que, de acordo com o autor, são compostas por uma sequência de componentes como a crista, componente superior, atrelada à convexidade, uma face livre, área retilínea, e o pedimento, onde se localizam os materiais depositados oriundos da crista, caracterizada por uma superfície côncava.

Para Troeh (1965) termos como colina, vale, encosta côncava ou convexa, são termos gerais usados para descrever e classificar determinada área qualitativamente, já os dados de comprimento, largura, profundidade, grau de declividade de uma encosta, e outras medidas possibilitam a classificação quantitativa de determinada área. No entanto, segundo o autor, a representação tridimensional de determinada paisagem só é possível através do estabelecimento de equações matemáticas que levem em consideração outras variáveis.

De acordo com Hack e Goodlett (1996) e Cline (1961) essas formas, ou curvaturas, quando analisadas em perfil e planta, nos permitem identificar o tipo de escoamento superficial e sub-superficial que nelas se estabelecem. Hack e Goodlett (1960), definiram como *Nose* a área do interflúvio de contornos convexos, *Side slope*, a zona aproximadamente retilínea que se localiza entre o segmento convexo e o fundo de vale, *hollow* como a parte central da cabeceira drenagem, ou área com contornos côncavos, *Foot slope* são as áreas localizadas nas adjacências do canal de formas côncavas. (Figura 01). Cada um desses compartimentos condicionam o fluxo hidrológico de uma maneira específica.

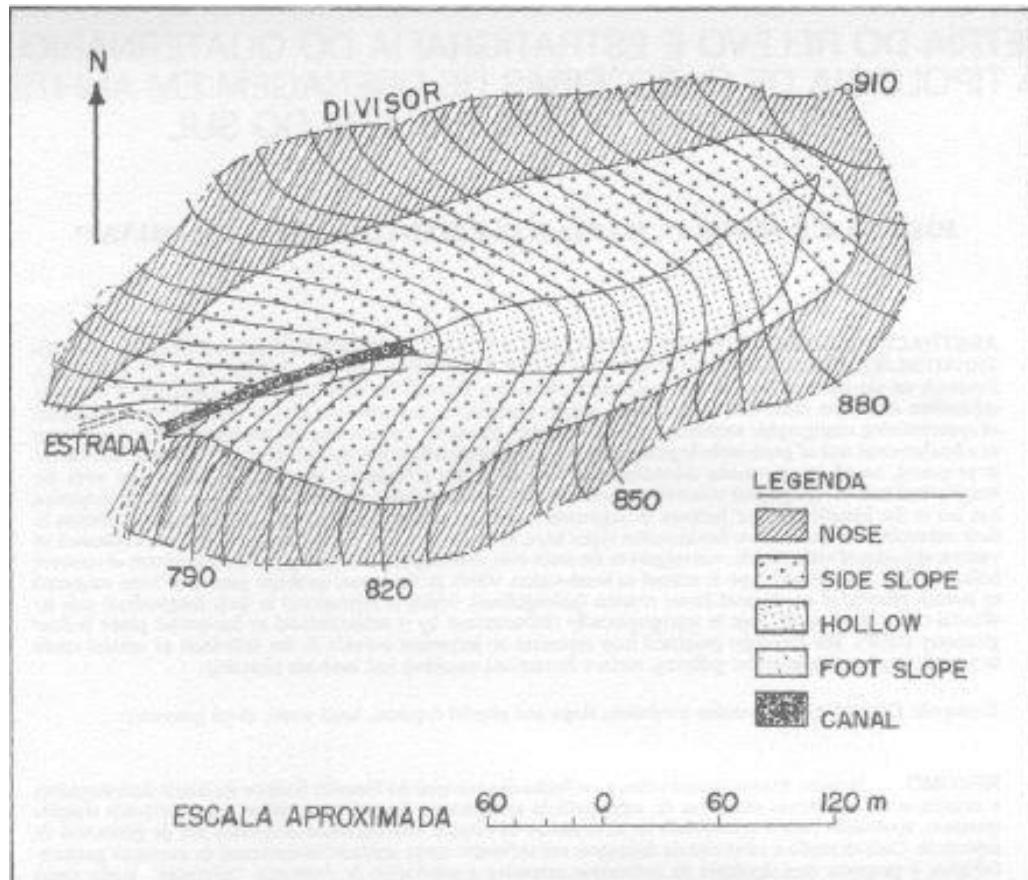


Figura 01 – Cabeceira de drenagem e compartimentos de uma encosta. Moura et al (1991) apud Hack e Goodlett (1960).

Para Florenzano (2008) as curvaturas verticais, em perfil, são expressas em medida de ângulo por meio de uma distância horizontal medida da em graus por metro. As curvaturas horizontais, em planta, são medidas realizadas através das linhas de fluxo, assim, linhas paralelas representam superfícies retilíneas, e aquelas atreladas às convexidade e concavidade terão valores negativos e positivos expressos em ângulo e em raio de curvatura.

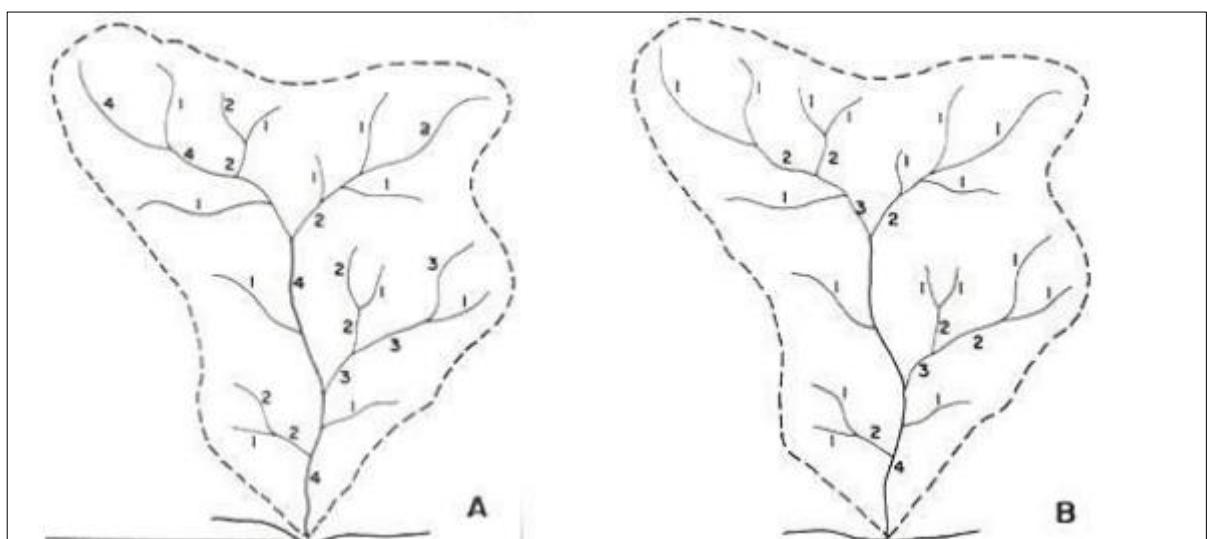
2.2 A análise do relevo de Bacias Hidrográficas

Para Christofolletti (1980) uma análise morfométrica de bacias hidrográficas inicia-se pela ordenação de canais fluviais (hierarquia fluvial), pois torna mais objetivo os estudos morfométricos. Neste método, de ordem dos canais, aplicável às bacias hidrográficas de Strahler (1952), os canais menores são os de 1º (primeira) ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência, os de 2º (segunda) ordem surgem da confluência de dois canais de 1º (primeira) ordem e os de 3º (terceira) ordem surgem da confluência de dois canais de 2º (segunda) ordem,

os canais de 4º (quarta) ordem surgem da confluência de dois canais de 3º (terceira) ordem e assim sucessivamente.

Na geomorfologia a análise de bacias hidrográficas teve início no estabelecimento de leis que explicassem a formação de rios e de suas bacias a partir dos estudos de Horton (1945), posteriormente alterados por Strahler (1952). Na Figura 02 é possível perceber a diferenças das propostas dos dois autores, Horton (A) e Strahler (B)

Em “Análise Quantitativa da Geomorfologia de Bacias Hidrográficas” (Strahler, 1957) o autor afirma que processos geomorfológicos devem ser tratados como forças gravitacionais entre os materiais fluidos e o substrato rochoso, pois são as forças gravitacionais que explicam os processos fluviais. Para o autor é necessária uma abordagem dinâmica para compreensão dos



princípios da dinâmica dos fluidos e de transporte de sedimentos através dos vários tipos de fluxos existentes.

Figura 02 – Modelos de Horton (A) e Strahler (B) usados na determinação de ordenamento e hierarquia da bacia hidrográfica

Segundo Strahler (1952):

“Para a caracterização de uma bacia hidrográfica deve-se considerar, além da classificação de sua ordem de ramificação do canal fluvial (Strahler, 1957), os parâmetros morfométricos em conjunto com outros atributos que caracterizem a área, principalmente aquelas que dizem respeito às atividades antrópicas envolvidas no processo de apropriação da área. ”

Para Colangelo (1996) os padrões de drenagem do escoamento superficial são descritos em função do caráter de dispersão ou concentração e, tendo em vista que são controlados pela

geometria do relevo, devem ser analisados a partir das formas projetadas nos planos ortogonais em perfil e planta (COLANGELO, 1996).

Para o autor as formas de relevo, côncavas e convexas, são fatores que condicionam os padrões de concentração e dispersão dos fluxos, já formas retilíneas não estão associadas à concentração e nem dispersão, mas à neutralidade dos fluxos (COLANGELO, 1996).

Para Christofoletti (1980) a descrição das vertentes fornece informações básicas necessárias à caracterização de determinada área, e ela pode ser realizada em perfil ou no plano. Para o autor, são caracterizados por formas convexas os valores positivos na direção da jusante pois significam aumento no ângulo da declividade (direção horizontal de mesmo nível altimétrico ou paralela à superfície para o caso de curvatura em planta, e na direção vertical ou perpendicular à superfície no caso de curvaturas em perfil) da mesma forma que valores negativos configuram em formas côncavas e valores próximos de zero significam formas retilíneas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

É o levantamento morfométrico que possibilita interpretação da morfologia do relevo e de como os fluxos superficiais e subsuperficiais são condicionados e, é por esta razão, que são considerados importante instrumento nos estudos de caracterização física de projetos de implantação de aterros sanitários, pois os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais constituem importante fenômeno de transferência e difusão de contaminantes.

Estudos que tratam do transporte de massa levam em consideração três aspectos principais: o meio, a substância carreada e as condições ambientais onde ocorrem essas transferências.

No caso do Aterro Municipal de Taubaté, que teve na década de 70 o início de suas atividades, várias foram infrações ambientais que revelaram a necessidade de estudos que apontassem para o impacto ambiental negativo daquele empreendimento. Em 2009 uma vistoria do órgão licenciador no aterro, constatou o extravasamento de chorume em várias partes do aterro, canaletas de águas pluviais entupidas e aumento da altura do maciço de resíduos.

Guilguer (1988) realizou estudo de modelagem numérica na área do aterro para simular o comportamento hidrogeológico e avaliar o impacto do aterro nas águas subterrâneas pela disposição de resíduos. Para configuração do modelo numérico utilizado, o meio foi considerado como poroso, valores de K entre 10^{-7} e 10^{-3} , e os processos que controlavam a migração de compostos químicos dissolvidos foram definidos como advecção e dispersão.

O estudo utilizou o cloreto (Cl^-) como elemento a ser analisado nas amostras de água subterrânea analisadas, por ser um bom indicador da poluição em aterros sanitários, por seu

caráter conservativo, o que significa que não sofre decaimento durante a percolação pelo aquífero, e praticamente não -reativo, por não ser adsorvido pelo meio poroso.

Esse tipo de poluição dos corpos aquosos superficiais é ativado pelas águas pluviais que, ao percolarem pelos resíduos dispostos diretamente em solo não impermeabilizado, dissolvem seus compostos químicos orgânicos e inorgânicos e eventualmente atingem o aquífero (GUILGUER, 1988). Mesmo sendo considerados como forma segura de disposição de resíduos, os aterros geram líquidos que podem percolar os solos, contaminando rios e aquíferos.

A permeabilidade é uma das propriedades dos solos que varia conforme sua composição mineralógica, solos mais porosos permitem maior percolação de água em seus vazios e solos menos porosos, como aqueles com alta quantidade de argila, dificultam a percolação de água e consequentemente apresentam capacidade de reter alguns contaminantes naturalmente.

A velocidade com que a percolação de líquidos ocorre em cada solo é dado pelo coeficiente de permeabilidade (K) presente na Lei de Darcy, que diz que uma vazão depende do coeficiente de permeabilidade (K), da área (A), e do gradiente hidráulico (i), formado pela carga hidráulica (h) dividido pela profundidade ou comprimento (l) do solo. Através da Lei de Darcy é possível determinar a velocidade de percolação de determinados contaminantes, pois a velocidade está atrelada ao coeficiente de permeabilidade (k) e o gradiente hidráulico (i).

Nesse sentido muitos estudos são realizados com vistas ao entendimento dos mecanismos da condutividade hidráulica em diferentes solos para compreender e prever a migração de líquidos lixiviados de aterros sanitários.

Colangelo (1996) identifica duas componentes de dispersão associadas à geometria do relevo, uma primeira, imposta pelo aumento progressivo da superfície de escoamento à jusante, chamada de dispersão radial, e uma segunda, relacionada à aceleração dos fluxos através da força tangencial à superfície do terreno, a chamada de dispersão longitudinal

No modelo de feições mínimas os padrões de escoamento superficial são descritos como concentradores, dispersores e de transição, todos controlados pela geometria do terreno e por isso devem ser analisados a partir de formas geométricas projetadas em perfil e planta (COLANGELO, 1996).

A caracterização do meio físico, exigida nos EIA/RIMA, são expressas em cartas e mapas temáticos capazes de sintetizar as várias informações (SANCHEZ, 2013). Os mapas e cartas são capazes de fornecer informações que fundamentarão as decisões e análises dos órgãos.

Em relação ao mapeamento geomorfológico os órgãos ambientais preconizam estudos que contemplem os aspectos morfológicos-morfodinâmicos. Caracterizações desse tipo, de curto prazo para realização, só são possíveis graças ao avanço na manipulação de dados topográficos, proporcionado pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Ao discorrer sobre a produção cartográfica, que devem fazer parte dos estudos ambientais, Sánchez (2013) aborda as formas de representação das informações físicas e as escalas que devem ser escolhidas para representação. Para o autor, mapas são as principais formas de expressão das informações do meio físico, que devem ser integrados para fornecer atributos da área de estudo, suas vulnerabilidades e aptidões, cujo desenvolvimento de atividades potencialmente poluidoras poderiam afetar.

Assim, partindo da premissa de que o levantamento morfológico-morfométrico consiste no cumprimento de uma das etapas para realização de EIA/RIMA, o trabalho, através do modelo de feições mínimas, produziu uma cartografia morfológica-morfométrica do relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Una. que permitiu verificar quais os Domínio Hidrológico sobre os quais o aterro sanitário de Taubaté está assentado.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Compreender a partir de cartografia morfológico-morfométrica do relevo da Bacia do Rio Una (Taubaté – SP) os fluxos hidrodinâmicos superficiais da área em que foi instalado o Aterro Municipal de Taubaté, utilizando para tal o Modelo de Feições Mínimas. Também pretende-se verificar a importância de pesquisas morfológicos-morfométricos de relevo em estudos e relatórios ambientais (EIA/RIMA) destes empreendimentos sanitários.

3.2. Específicos

- Verificar a aplicação da cartografia morfológico-morfométrica com vistas à investigação dos fluxos hidrodinâmicos na área do Aterro Sanitário de Taubaté.
- Identificar o domínio hidrodinâmico em que o Aterro está localizado e os vetores potenciais dos fluxos superficiais condicionados segundo os compartimentos morfológico-morfométricos;
- Verificar se o Modelo de Feições Mínimas se configura como metodologia aplicável nos estudos prévios de caracterização morfológico-morfométricas para implantação de empreendimentos com alto impacto ambiental.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Aterro Sanitário de Taubaté

O Aterro municipal de Taubaté está localizado no bairro do Distrito Industrial do Una II, a cerca de 9 km de distância do centro do município. Este bairro está localizado à margem direita da Rodovia Presidente Dutra, no sentido do Rio de Janeiro, nas proximidades do limite entre o município de Taubaté e o município de Pindamonhangaba, como é possível verificar nas Figuras 03 e 04.

De acordo com Parisot et al (1985) a área total do aterro sanitário representa cerca de 6 hectares, localizados sobre a cota de 600m acima do nível do mar, em região topográfica suave e na cabeceira de um vale que desagua no rio Una, afluente do Rio Paraíba do Sul.



Figura 03 - Localização da área do Aterro sanitário de Taubaté. Fonte: Google Earth, 2021.

No contexto da Bacia Hidrográfica, o aterro sanitário, área de estudo do presente trabalho, está posicionado na porção noroeste, bem próximo à sua foz, o Rio Paraíba do Sul, e próximo as divisas municipais com os municípios de Pindamonhangaba e Tremembé, como é possível verificar na Figura 04, a seguir.

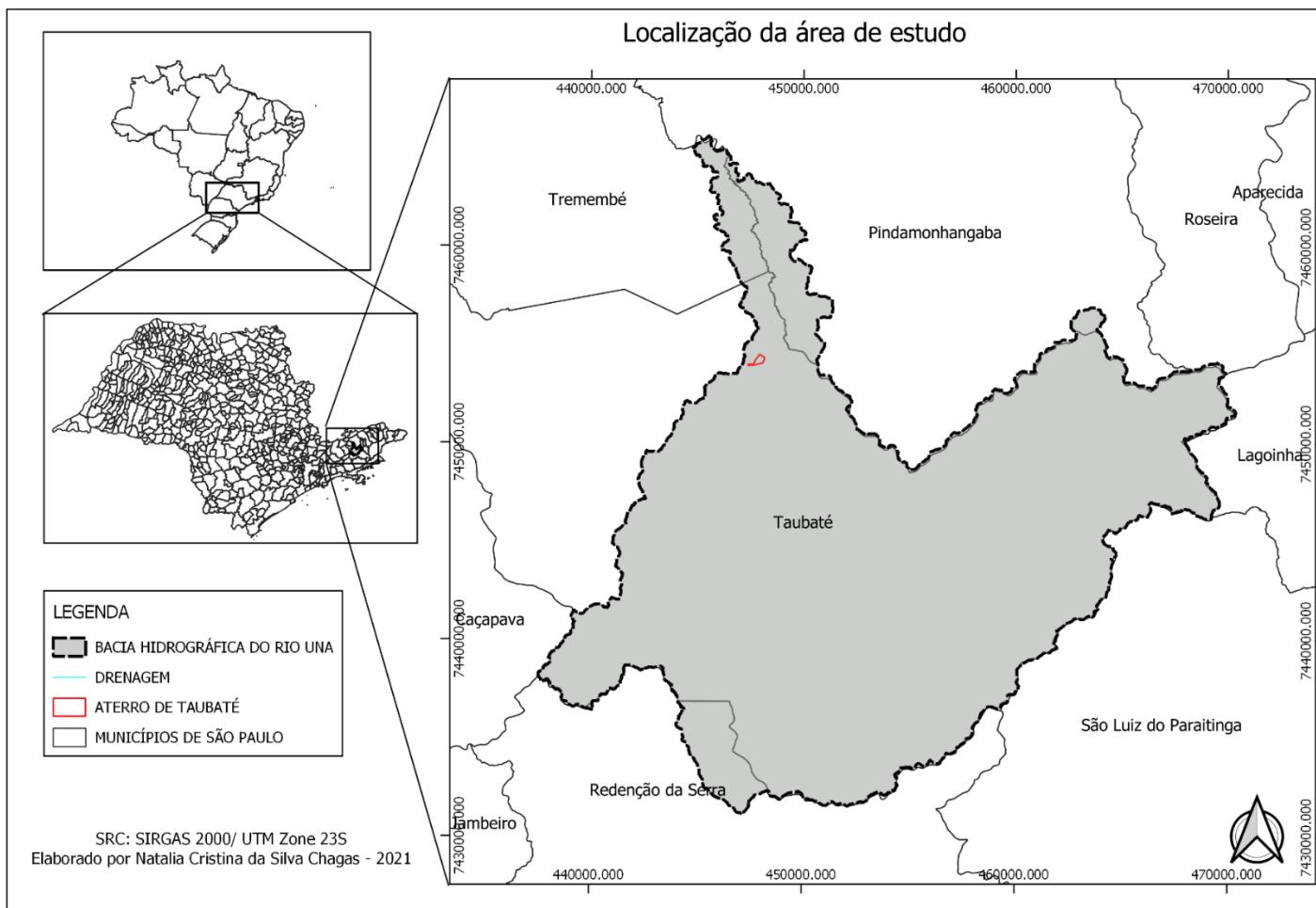


Figura 04 – Croqui de localização do Aterro Sanitário de Taubaté

4.1.1 Geologia

Situado sob as rochas da bacia sedimentar de Taubaté a geologia do aterro é caracterizada pelos sedimentos desta bacia terciária, que assentam-se localmente sobre algumas rochas do embasamento cristalino.

A partir do Mapa Geológico do Estado de São Paulo (WILDNER et al, 2006) realizou-se a Figura 05 que possibilitou verificar a geologia da área do aterro e seu entorno imediato.

Maior parte do aterro sanitário repousa sobre sedimentos dos Depósitos Aluvionares (Q2a), constituídos nas margens, fundos de canal e nas planícies de inundação dos rios. A composição destes depósitos é composta por areias, cascalhos, siltes, argilas e, localmente, turfas, que resultam do processo de erosão, transporte e deposição desses sedimentos de origem diversa.

Outra porção do aterro está assentada sobre as rochas da Formação Resende (Er), que juntamente com a Formação Tremembé e Formação São Paulo, formam o Grupo Taubaté. Este grupo é composto por sedimentos que preencheram as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda.

A Formação Resende ocupa as porções basais e laterais do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil e corresponde a um sistema de leques aluviais, associado à planície fluvial de rios entrelaçados.

No entorno imediato do aterro é possível verificar rochas do Complexo Embu (NPexm) constituído por mica xistos e quartzo xisto alternados ritmicamente, rochas da Formação Tremembé (Et), restritas à Bacia de Taubaté, caracterizadas pela sucessão de calcários dolomíticos, ritmitos e argilas verdes maciças. Por fim, também foi possível verificar no mapeamento que o contexto geológico do aterro engloba os granitoides foliados peraluminosos do Terreno Embu (NP3ey1Sml), que compreendem quase três dezenas de corpos graníticos de conformação alongada, distribuídos pelo centro-sul e leste do Estado de São Paulo, até a divisa com o Rio de Janeiro.

No estudo de Parisot (1985) a geologia do aterro foi caracterizada a partir da observação dos afloramentos que ocorriam na área de estudo que as rochas apresentavam alternância de níveis sub-horizontais arenosos e argilosos de espessura decimétrica.

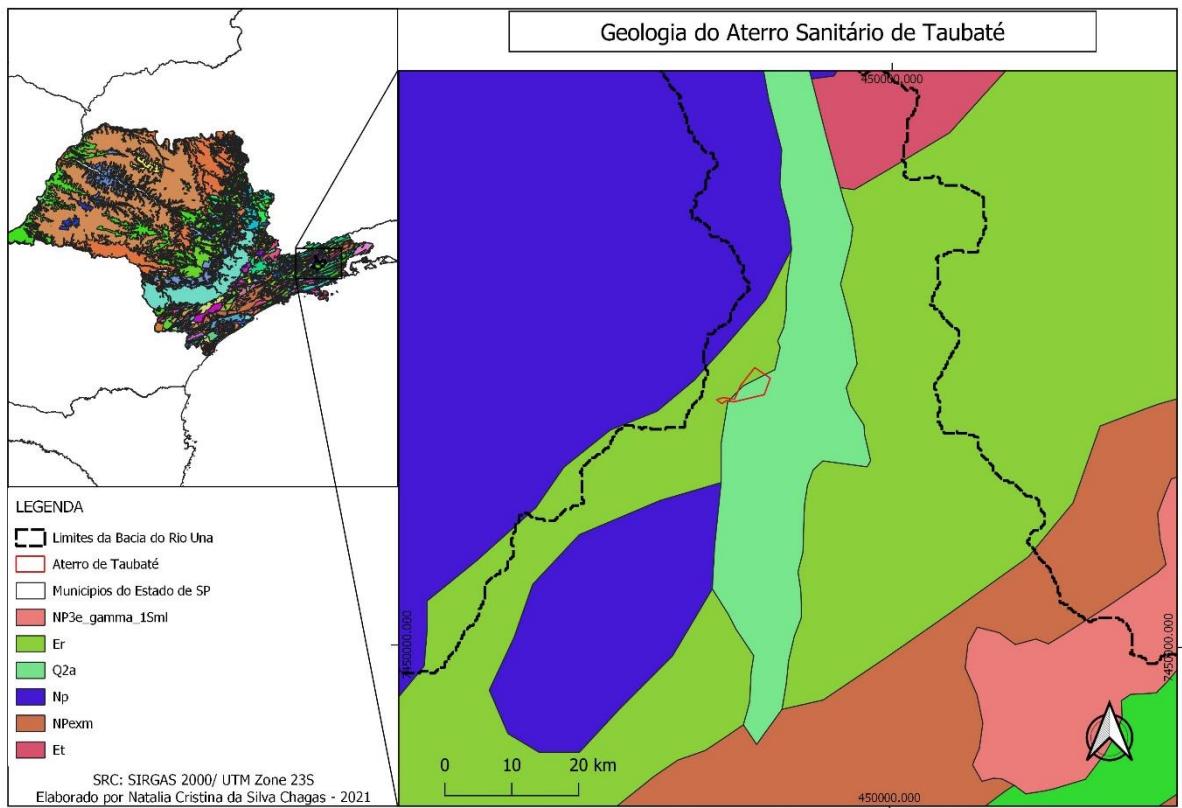


Figura 05 – Geologia do Aterro de Taubaté (Fonte: Geologia do Estado de São Paulo, CPRM, 2006)

4.1.2 Hidrografia

De acordo com levantamento da hidrografia da área do aterro (Figura 06), foi possível identificar dois córregos sem identificação que cruzam o aterro.

O rio do Una se forma a partir da união do Ribeirão das Almas com o Rio da Rocinha e seus afluentes, o Rio Itaim, Ribeirão das Pedras, Ribeirão das Sete Voltas, Ribeirão do Registro e outros tributários.

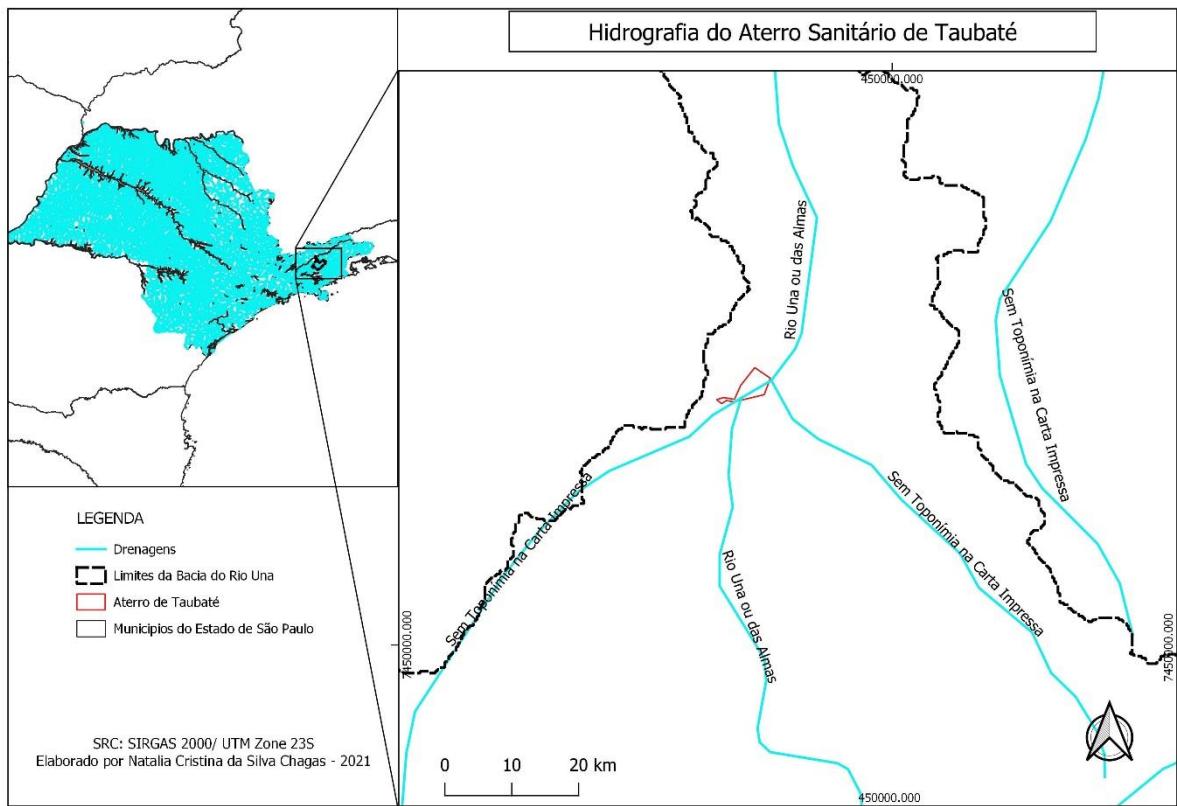


Figura 06 – Hidrografia do Aterro sanitário de Taubaté

4.1.3 Topografia

A região de influência da área do Aterro municipal de Taubaté, segundo a proposta de divisão geomorfológica do Estado de São Paulo (Almeida, 1964) IPT (1981), faz parte da Província do Planalto Atlântico, abrangendo a zona do Médio Vale do Paraíba, que está encaixada entre duas grandes morfoestruturas, a serra da Mantiqueira e a Serra do Mar, apresentando três áreas distintas: Planície de inundação, Terraços Quaternários, Colinas Sedimentares do Terciário.

O mapa hipsométrico do relevo foi elaborado através da manipulação dos dados do mosaico dos MDEs obtidos do projeto TOPODATA (INPE, 2008), o que resultou na Figura 07 a seguir.

É possível verificar que o aterro se encontra sobre a cota topográfica de 610 - 620 metros acima do nível do mar.

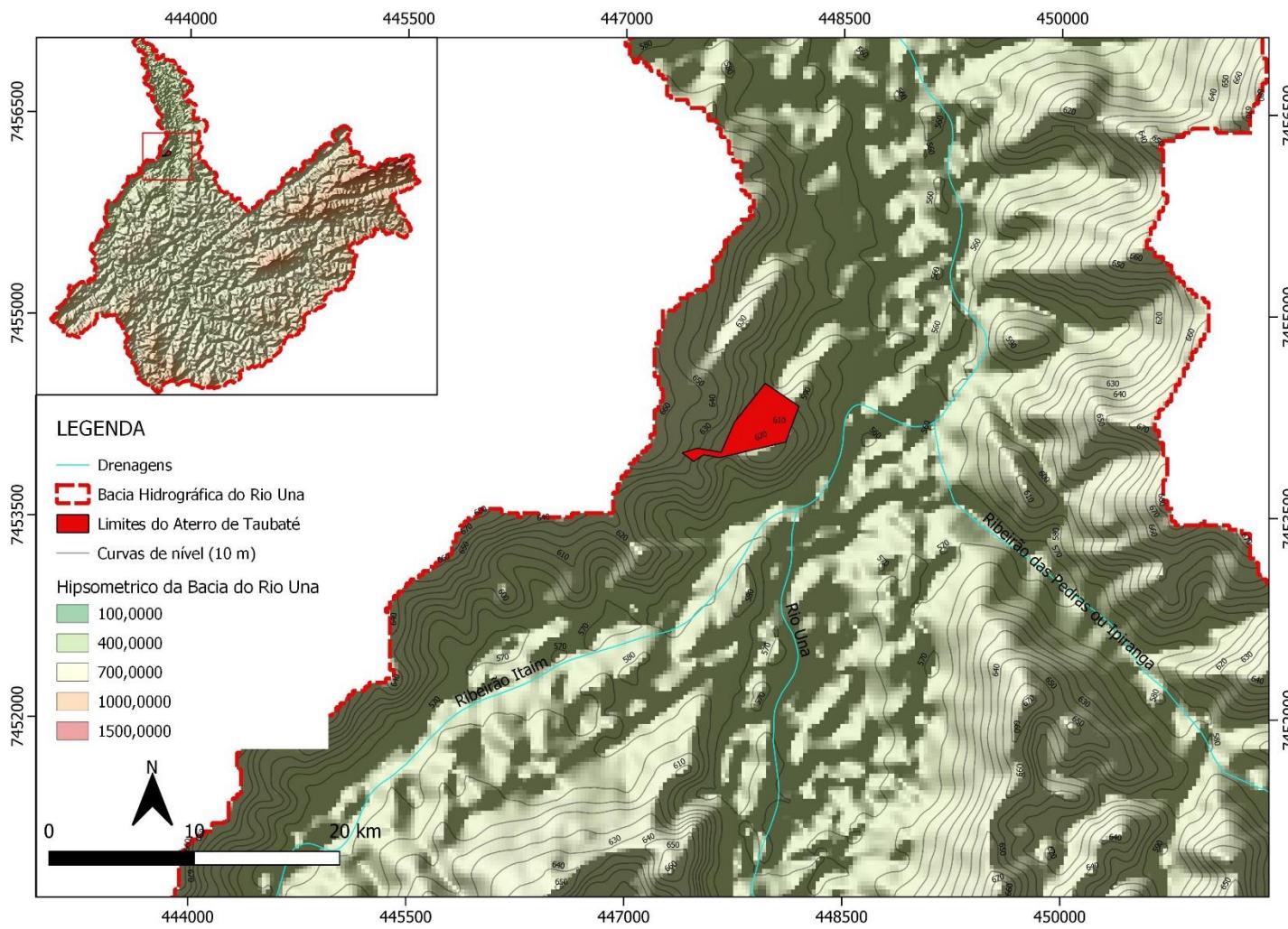


Figura 07 – Hipsometria e topografia da área da Bacia do Rio Una e do Aterro de Taubaté

4.2 Município de Taubaté

O Município de Taubaté está localizado no Vale do Paraíba, 120 km a sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e na Bacia Sedimentar de Taubaté. Segundo Ross e Moroz (1997) o município de Taubaté está localizado na Zona Depressão do Médio Vale Paraíba, na subzona de colinas sedimentares e apresenta relevo composto por colinas com topos convexos de altimetria de 600 a 700m. Localizado a 120 km a sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) o município está assentado sobre os sedimentos da Bacia Sedimentar de Taubaté que, segundo Guilguer (1988) é composto por camadas lenticulares de 200m de folhelhos, argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados.

A partir da elaboração do mapa geológico para o município de Taubaté (Figura 08) a partir da manipulação dos arquivos vetoriais (shp) do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de São Paulo (WILDNER *et al*, 2006) verificou-se que a geologia do município é composta pelas rochas dos Depósitos aluvionares (Q2a), Xistos do Complexo Embu (NPexm), rochas da Formação Pindamonhangaba (Np), rochas da unidade paragnáissica do Complexo Embu (NPepg), granito da Formação Redenção da Serra (NP3sy1Srs); na porção leste do município a ocorrência de granito da Formação Quebra Cangalha (NP3ey1Sqc), granito da Formação Tubarão (NP3sy1Stu), granito da Formação Malacacheta (NP3sy1Sml), granito da Formação Serra do Jambeiro (NP3sy1Ssj), rochas da Formação Tremembé (Et) e Rochas da Formação Resende (Er), rochas da unidade de gnaisses bandados do Complexo Embu (NPegb).

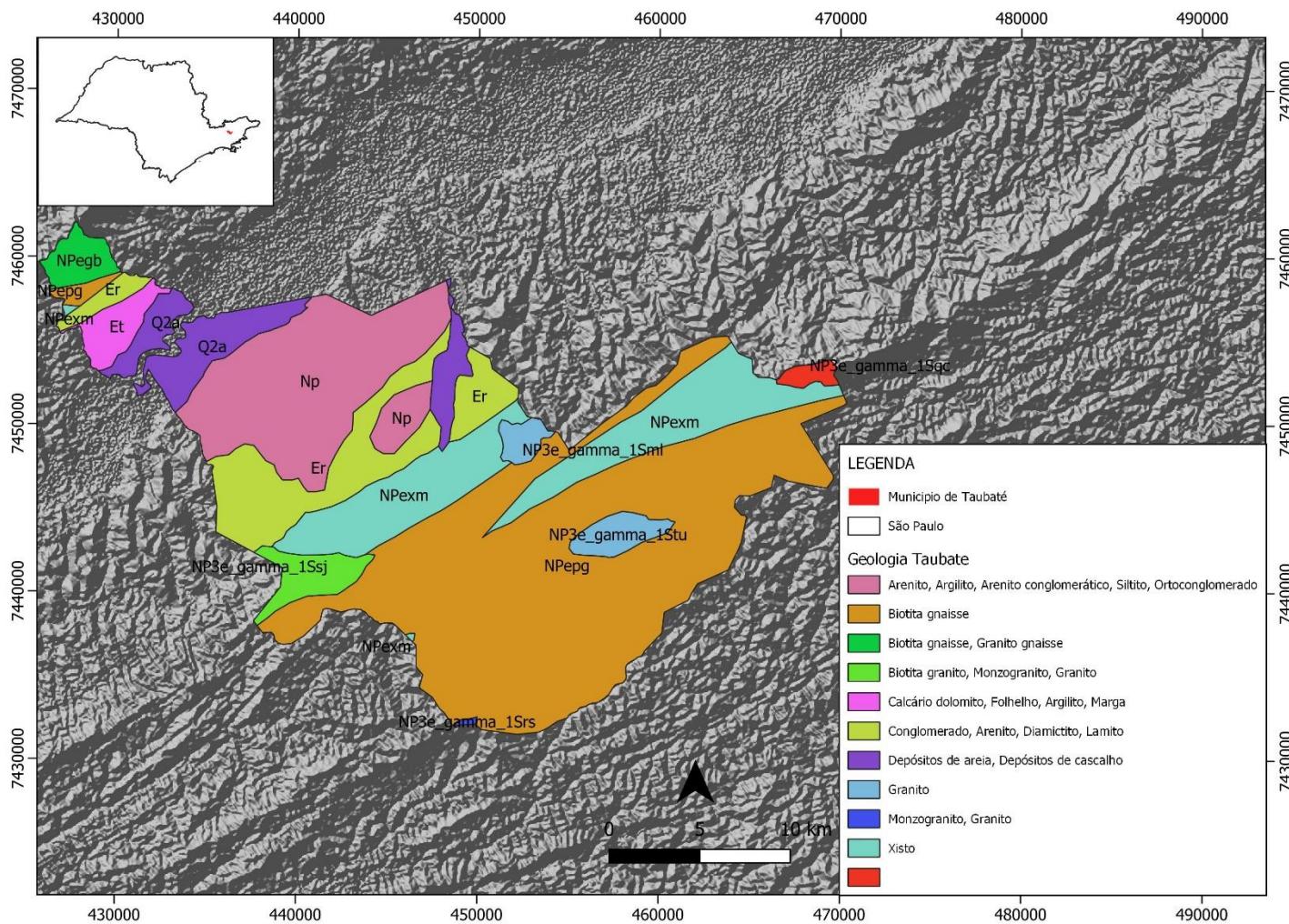


Figura 08 – Geologia do município de Taubaté (Fonte: CPRM, 2006)

4.3 Bacia Sedimentar de Taubaté

Segundo Verdade (1961) o escudo brasileiro oriental sofreu um arqueamento por diastrofismo epirogênico no cenozóico, que provocou a distensão na direção NNW-SSE a NW-SE e rupturas orientadas a ENE-WSW a NE-SW, onde ocorreram afundamentos formando fossas que, dadas as dimensões e alinhamento, são chamados de rift-valleys. Esses rift-valleys favoreceram três zonas de sedimentação, uma delas é a Bacia de Taubaté.

Segundo Titarelli (1975) a Bacia sedimentar de Taubaté é formada por uma fossa tectônica que forma um gráben, no estilo “rift valley” de grandes proporções que abriga o leito do Rio Paraíba do Sul, além de meandros abandonados, planícies de inundação e terraços. Nela distingue-se um compartimento central, onde os sedimentos quaternários formam a principal planície de inundação e baixos terraços.

4.4 Bacia Hidrográfica do Rio Una

A Bacia Hidrográfica do Rio Una está dividida entre os municípios de Tremembé, Pindamonhangaba e Taubaté. O rio Una é formado pela confluência dos rios da Alma e da Rocinha, sendo esses rios de primeira ordem a bacia hidrográfica do rio Una é classificada como de segunda ordem (STRAHLER, 1952).

A bacia do rio Una possui terrenos que a caracterizam desde superfícies aplainadas, com interflúvios sem orientação, até morros de serras restritas, com topos arredondados. As vertentes em geral possuem perfis convexos e/ou retilíneos, cujas declividades variam de 20 a 60%. As unidades litoestratigráficas presentes, compiladas de IPT (1981a), são: sedimentos aluvionares (unidade Quaternária), dominando a área de várzea e o contorno das drenagens na cabeceira, o Grupo Taubaté – Formações Caçapava (TQc) e Tremembé (Tt), presentes mais especificamente na porção do curso médio da bacia, e as suítes graníticas sintectônicas pré-cambrianas (unidades PSyc e PSeM).

Os terrenos cristalinos formam o principal aquífero presente na sub-bacia, denominado Sistema Aquífero Cristalino (SAC) (CETESB et al., 1997; CPTI, 2000). Seu substrato hidrogeológico é formado por rochas cristalinas do embasamento. Nas adjacências das principais drenagens têm-se os sedimentos recentes.

A bacia hidrográfica do Rio Una, que tem no Rio Paraíba do Sul sua foz, tem aproximadamente 476 km² de área total (BATISTA et al, 2005), englobando áreas dos municípios de Tremembé, Pindamonhangaba e Taubaté.

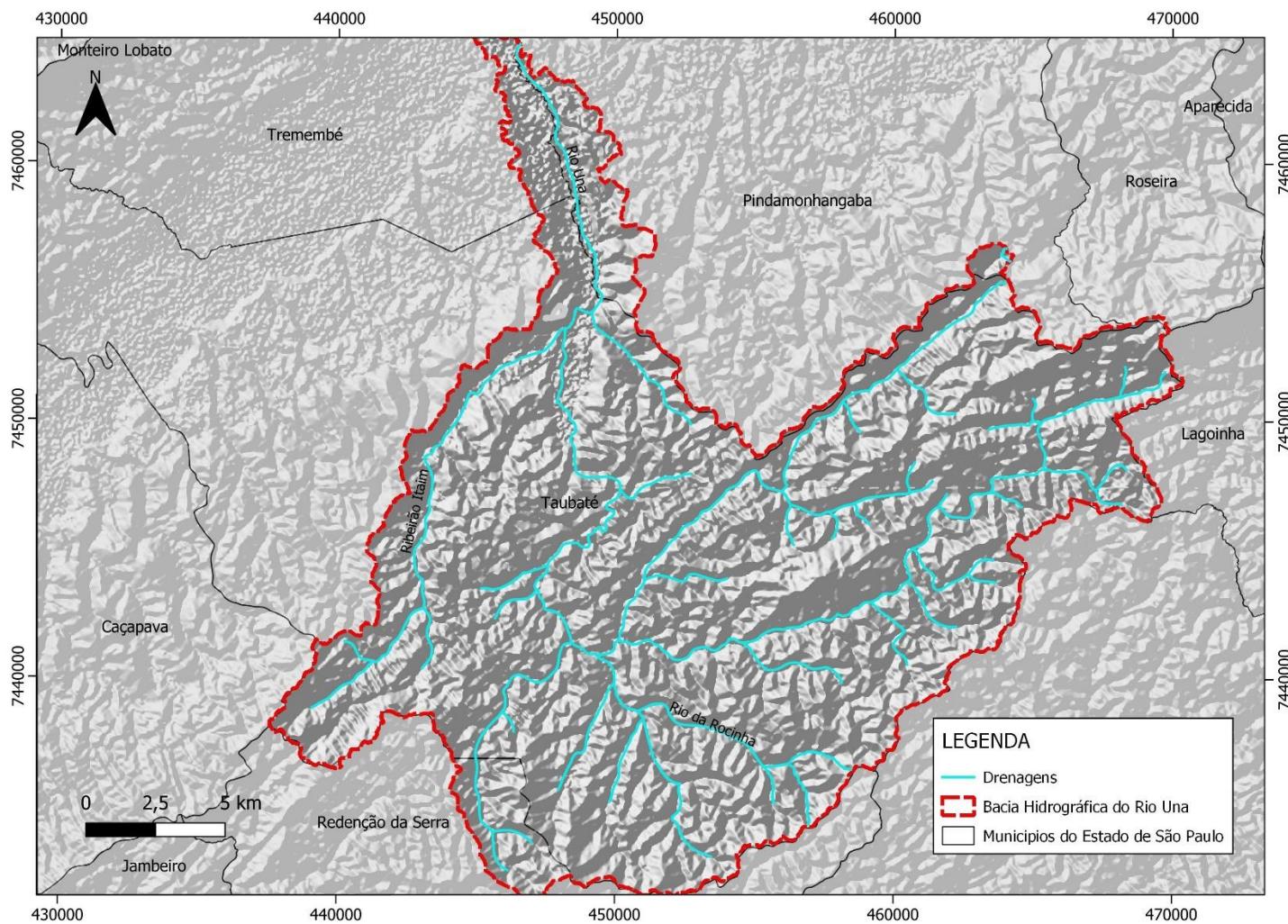


Figura 09 – Bacia Hidrográfica do Rio Uma

4.5 Solos e clima da Bacia do Rio Una

Os latossolos e argissolos vermelhos-amarelos fazem-se presentes na bacia, de acordo com IAC (1999). Aparecem também os gleissolos melânicos, sobretudo na área de várzea do rio Una com o rio Paraíba do Sul. O clima da sub-bacia é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 21,4 ° C (Setzer, 1996; Sentelhas et al., 1999).

5. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

5.1 Fundamentação teórico -metodológica

A compartimentação das vertentes é tema tratado pelos autores Hack e Goodlet (1960) Troeh (1965) e Ruhe ((1975). Em Colangelo (1996) o autor propõe uma compartimentação das vertentes que leve em consideração a geometria do relevo, pois é ela que controla os tipos e as dinâmicas dos fluxos superficiais e subsuperficiais (COLANGEL0, 1996).

Para Florenzano (2008) a curvatura vertical das vertentes permite identificar a homogeneidade do relevo e as diferenças altimétricas, ao passo que as curvaturas horizontais permitem inferir sobre o comportamento hidrológico das linhas de fluxos.

Em um estudo comparativo de vertentes desenvolvidas 05 regiões climáticas distintas Ruhe (1975) conclui que as vertentes são semelhantes em todas elas e que o contorno do relevo é um arranjo sequencial entre a crista de um morro, forma convexa, uma face livre, identificada como escarpa ou declive íngreme, forma retilínea, localizada abaixo da crista, e uma inclinação de detritos localizada abaixo da face livre, forma côncava.

As nove formas elementares propostas por Colangelo (1996) nos permitem caracterizar o comportamento hídrico das áreas de estudo em domínios que podem ser classificados como Dispensor, Concentrador e de Transição.

O autor defende que uma análise morfométrica passa pela análise morfológica do relevo, e que essa análise é pouco satisfatória quando ocorre através de uma simples sobreposição da carta de orientação de vertentes e de declividade, pois nesta metodologia as rupturas de declive ou mudanças na forma do relevo não são devidamente notadas.

No modelo de feições mínimas toda forma de relevo pode ser reduzida à uma forma geométrica simples (COLANGELO, 1996) extraída através da interpretação dos traçados de curvas de nível, que podem fornecer informações bidimensionais do relevo, das quais é possível extrair uma imagem tridimensional.

Segundo Colangelo (1996) os desvios, ou mudanças na direção, de um grupo de curvas de nível podem fornecer informações do contorno do modelado horizontal e verticalmente, ou em perfil e em planta.

Em Florenzano (2008) a autora indica a técnica de manipulação de dados morfométricos na execução de mapas morfológicos. Esses dados que são extraídos de Modelos digitais de Elevação e processados em SIG.

6. PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS OPERACIONAIS

6.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Una

A delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Una foi realizada através do tratamento dos dados de curvatura do relevo, vertical e horizontal, extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE) das cartas 22S465 e 23S465, disponíveis no Banco de Dados Geomorfométricos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), resultado do Projeto TOPODATA (INPE, 2012), e refinados e manipulados pelo software gratuito QGIS, da empresa ESRI.

Foram utilizadas as funções específicas *r.watershed* e *r.water.outlet*, indicadas para criação de bacias hidrográficas. Como refinamento foi utilizado o tamanho mínimo do exterior o valor de 2000 km. Os dados gerados foram os arquivos *raster* que foram convertidos em arquivos em dados vetoriais.

6.2 Confecção da cartografia morfológico - morfométrica

Para execução do mapa de Curvatura em perfil (vertical), seguindo Valeriano (2008), foi estabelecido a faixa -0,010°/m a 0,010°/m como valores de curvatura típicos de vertentes retilíneas. Os valores inferiores ao intervalo foram atribuídos à concavidade e os valores superiores foram atribuídos à convexidade da vertente

Para execução do Mapa de Curvatura em planta (horizontal) admitiu-se o intervalo de -0,38 a 0,051 (VALERIANO, 2008) para determinação do comportamento de fluxo transição (formas retilíneas), os valores inferiores foram associados ao comportamento de fluxo convergente (formas côncavas) e valores superiores ao comportamento de fluxo divergente (formas convexas).

Posteriormente, e seguindo o modelo de Feições Mínimas (COLANGELO, 1996), foram mapeadas 09 feições mínimas para toda bacia hidrográfica do rio Una, através da ferramenta de reclassificação, permitiu a associação das curvaturas em perfil e planta e resultou no Mapa 01. A associação das curvaturas em perfil e planta seguiram o esquema de Dikau (1990), a seguir.

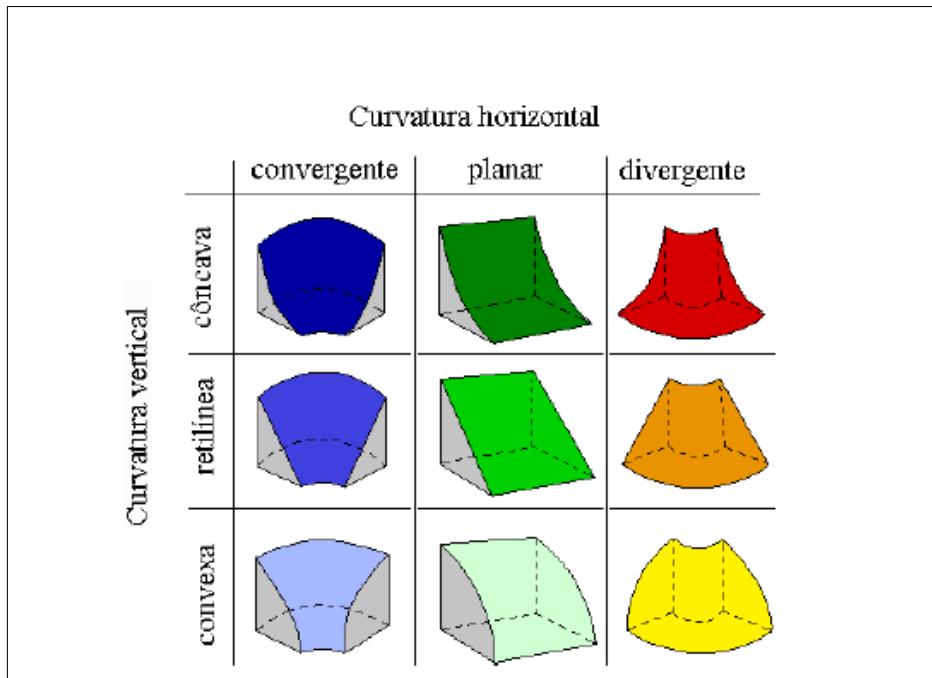


Figura 10 – Curvaturas verticais e horizontais. Dikau (1990).

Em relação às curvaturas verticais, às feições côncavas foi atribuído o valor 01, às feições retilíneas o valor 02 e às feições convexas o valor 03.

Quanto às curvaturas em planta, às feições côncavas foi atribuído o valor 10, às feições retilíneas o valor 20 e às feições côncavas o valor 30.

Através do comando “Calculadora Raster”, as feições em perfil e planta foram somadas e geraram as 09 (nove) feições possíveis, de acordo com a Tabela 01, resultando no Mapa 01.

Tabela 01 – Soma das feições em perfil e planta.

		CURVATURA HORIZONTAL (EM PLANTA)		
		CÔNCAVO - 10	RETILÍNEO - 20	CONVEXO - 30
CURVATURA VERTICAL (EM PERFIL)	CÔNCAVO - 01	11	21	31
	RETILÍNEO - 02	12	22	32
	CONVEXO - 03	13	23	33

Posteriormente à execução do Mapa 01, Feições Mínimas, foram processados os dados da soma da Tabela 01 para determinação dos domínios hidrodinâmicos, de acordo com a Tabela -02, retirada de Colângelo (1996). Os domínios hidrodinâmicos foram obtidos através da classificação dos valores de 11 a 21 (Domínio Concentrador), valor 22 (Domínio de Transição) e valores de 23 a 33 (Domínio Dispersor). O Mapa 04 é o resultado da manipulação dos dados.

Tabela 02 – Valores para determinação dos Domínios Hidrodinâmicos.

FM	PERFIL	PLANTA	VALOR	FLUXO RESULTANTE	DOMÍNIO
1	CC	CV	11	HIPOCONECENTRADOR	CONCENTRAÇÃO
2	CC	RET	12	MESOC. LONGITUDINAL	
3	CC	CC	13	HIPERCONCENTRADOR	
4	RET	CV	21	MESOC. RADIAL	
5	RET	RET	22	TRANSIÇÃO (NEUTRO)	TRANSIÇÃO
6	RET	CV	23	MESOD. RADIAL	DISPERSÃO
7	CV	CV	31	HIPERDISPERSOR	
8	CV	RET	32	MESOD. LONGITUDINAL	
9	CV	CC	33	HIPODISPERDOR	

Fonte: Tabela extraída e adaptada de Colângelo (1996).

Para análise mais local da área do aterro, e seu entorno, foi realizado o Mapa 05, que se trata de uma aproximação, para uma escala de 1:25.000, que foi possível devido a resolução do pixel do MDE (~30m).

7. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da manipulação dos dados de curvatura em planta e em perfil, do relevo da bacia do Rio Una, os Mapas 01 a 05.

O Mapa 01, feições mínimas, é resultado da intersecção dos Mapas 02 e 03. O Mapa 04 de Domínios Hidrodinâmicos é resultado da reclassificação dos intervalos de valores atribuídos às Feições Mínimas estipulados por Colângelo (1996). Por fim o Mapa 05 consiste em uma aproximação (zoom) da área da bacia em que foi instalado o Aterro Municipal de Taubaté, a área de estudo, em escala aproximada de 1:25.000, escala de detalhe.

Mapa de Feições Mínimas

Com base no Mapa 01 percebe-se que de forma generalizada há o predomínio de feições do tipo RET-RET e RET-CV.

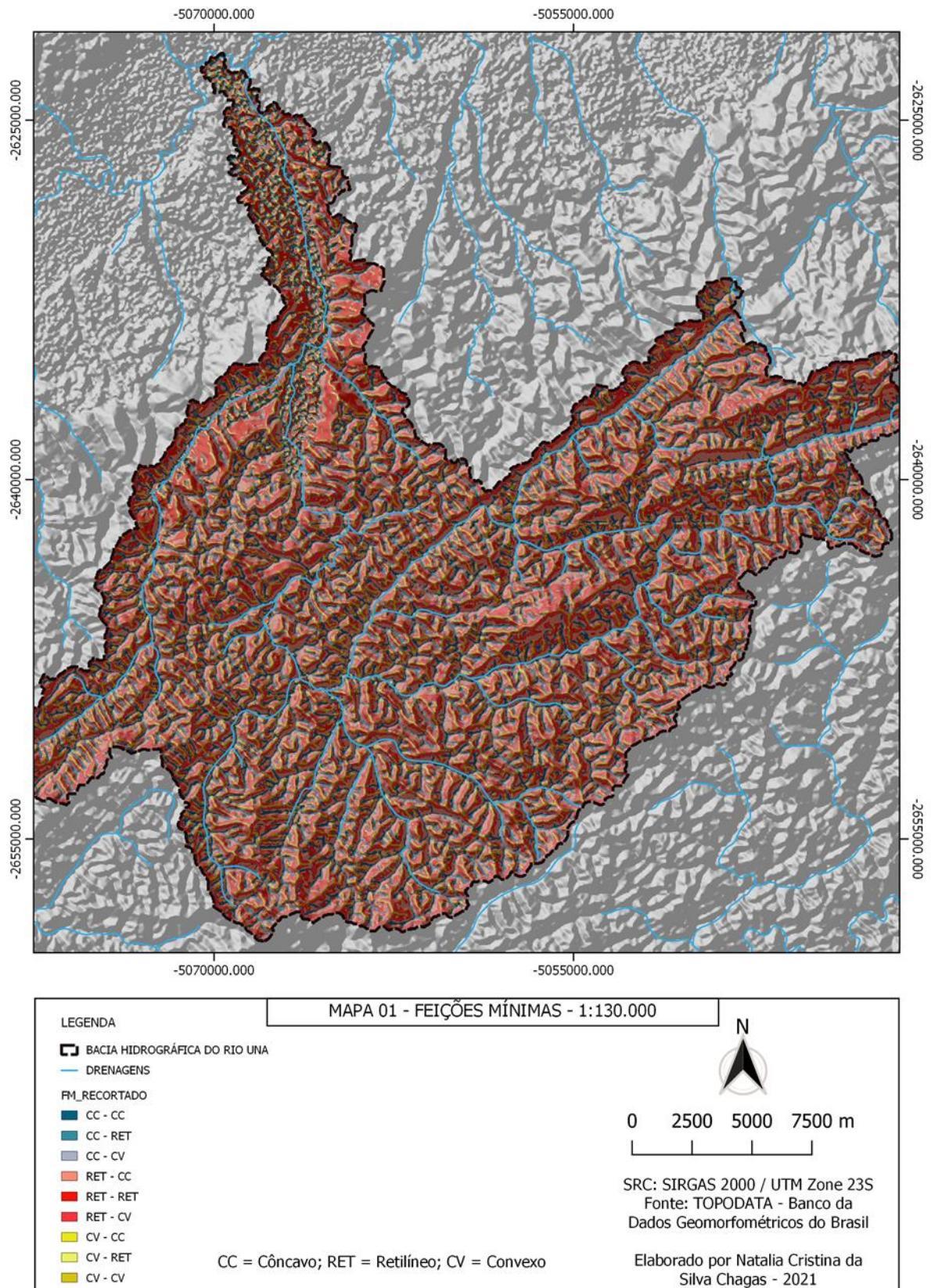
Na porção norte da bacia, porção próxima ao exutório, é possível verificar um alinhamento de feições do tipo côncava e convexas, um relevo de formas mais baixas, baixa densidade de drenagem, que se contrapõe a formas mais retilíneas que as bordeiam.

Na direção NE-SW é possível visualizar um relevo mais dissecado com vales entalhados e maior densidade de drenagem. Destaca-se uma grande feição do tipo retilínea

Na porção central da bacia o relevo se apresenta de forma mais homogênea e presença de maior número de topos convexos, como de colinas. Há alta densidade de drenagem e relevo. Na porção centro noroeste é possível verificar uma porção que contra feições retilíneas.

Na porção sul da Bacia há homogeneidade na distribuição das feições côncavas, convexas e retilíneas, o relevo se apresenta mais escarpado e há alta densidade de drenagem. No limite sul da bacia há concentração das feições retilíneas.

Mapa -01 – Feições Mínimas -(1:130.000)



7.1 Curvaturas em planta

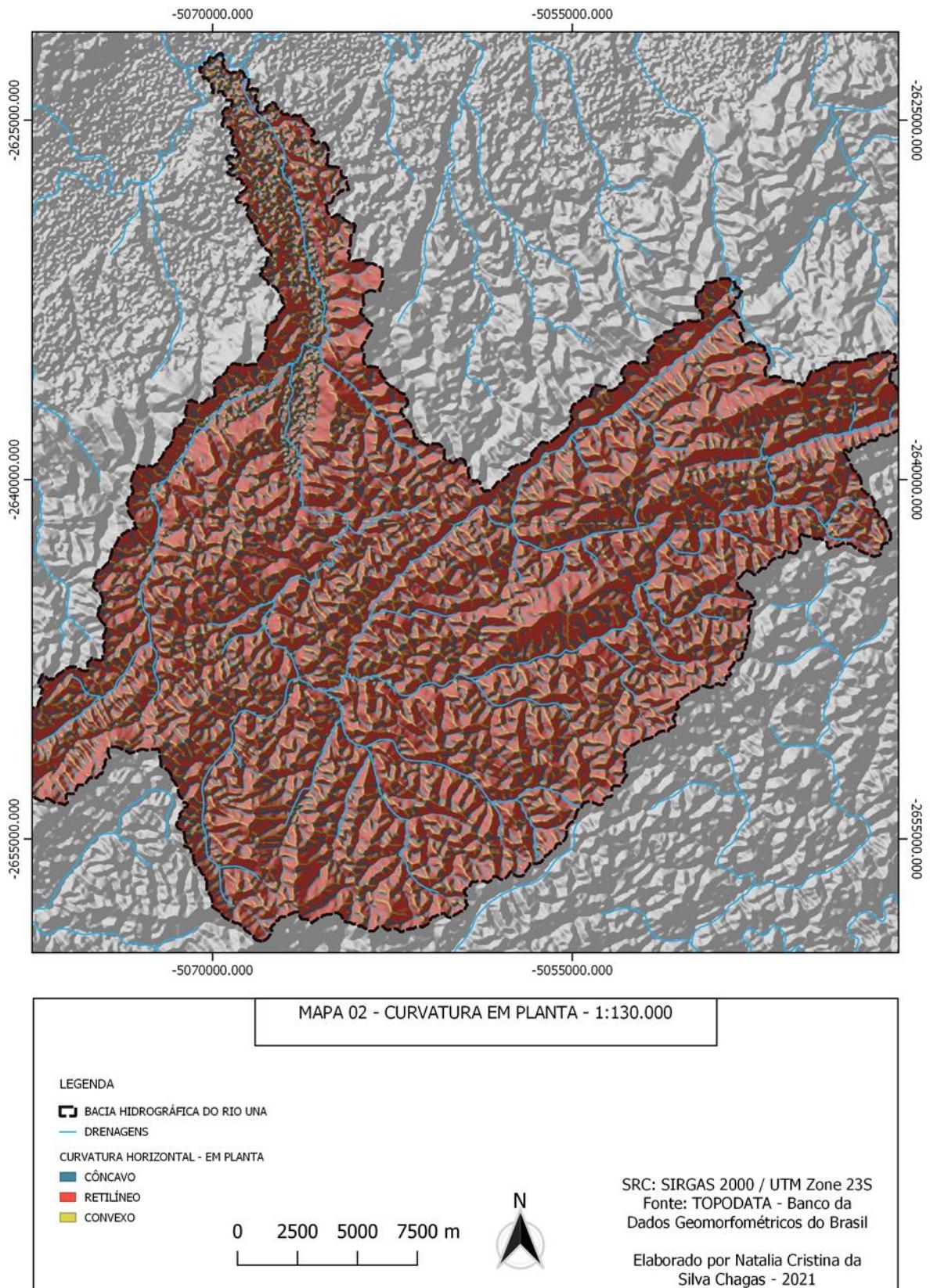
De maneira generalizada o Mapa 02 é representado por feições retilíneas, pois há predominância da cor vermelha, atribuída aos setores retilíneos. Em comparação ao Mapa 01, é possível verificar que há menor quantidade de detalhes e menor aparência nas divisões de compartimentos.

As porções da Bacia que apresentam relevo mais dissecado tiveram a coloração vermelha ainda mais destacada, como é possível verificar ao longo de toda bacia.

É possível perceber que as feições convexas dos topo de morro, ainda que de forma mais sutil, foram possíveis de mapear.

Na porção norte é possível verificar uma concentração dos setores convexos e côncavos localizados próximos a foz.

Mapa 02 – Curvatura em planta - (1:130.000)



7.2 Curvaturas em Perfil

De maneira generalizada o Mapa 03 é representado por feições convexas e côncavas, pois destacam-se as cores amarelas e azul atribuídas a esses setores.

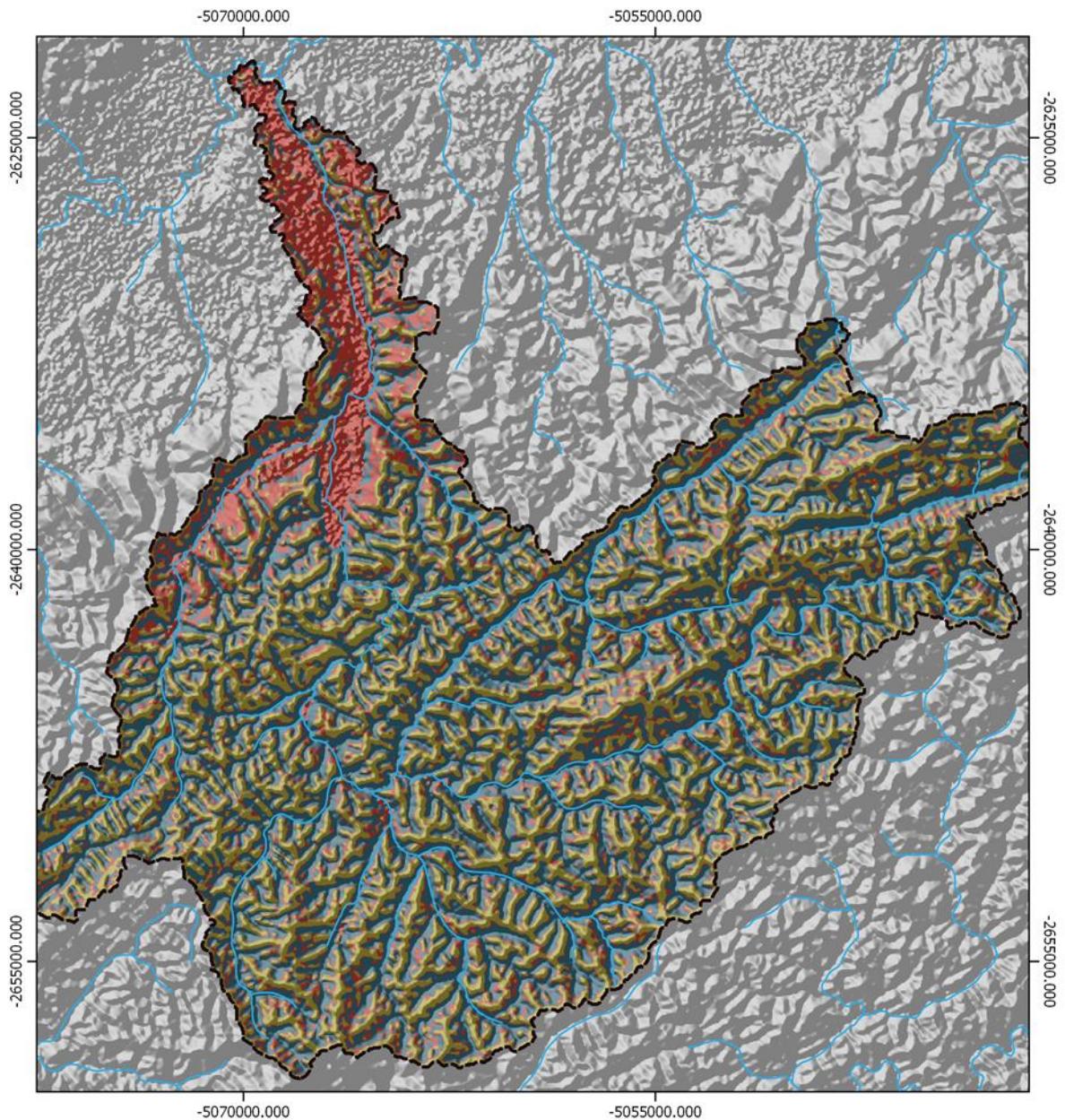
Na porção norte é possível verificar uma concentração dos setores retilíneo, atrelado à diferença altimétrico, por isso destaca-se a coloração vermelha.

A nordeste é possível verificar setores convexos mais extensos e a oeste e sul o relevo se demonstra mais fragmentado.

A norte também é possível identificar um setor convexo próximo a foz.

É possível perceber que as feições retilíneas ainda que de forma mais sutil, foram possíveis de mapear e encontram-se distribuídas ao longo da bacia, mas mais concentrada na porção norte.

Mapa 03 – Curvatura em perfil - (1:130.000)



MAPA 03 - CURVATURA EM PERfil - 1:130.000

LEGENDA

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA
— DRENAGENS

CURVATURA VERTICAL - EM PERfil

CÔNCAVO
 RETILÍNEO
 CONVEXO

0 2500 5000 7500 m



SRC: SIRGAS 2000 / UTM Zone 23S
Fonte: TOPODATA - Banco da
Dados Geomorfométricos do Brasil

Elaborado por Natalia Cristina da
Silva Chagas - 2021

7.3 Domínios Hidrodinâmicos

O Mapa 04 apresenta em maior concentração os domínios dispersores e concentradores e em menor proporção os domínios de transição.

Na porção norte é possível verificar uma concentração dos domínios de transição.

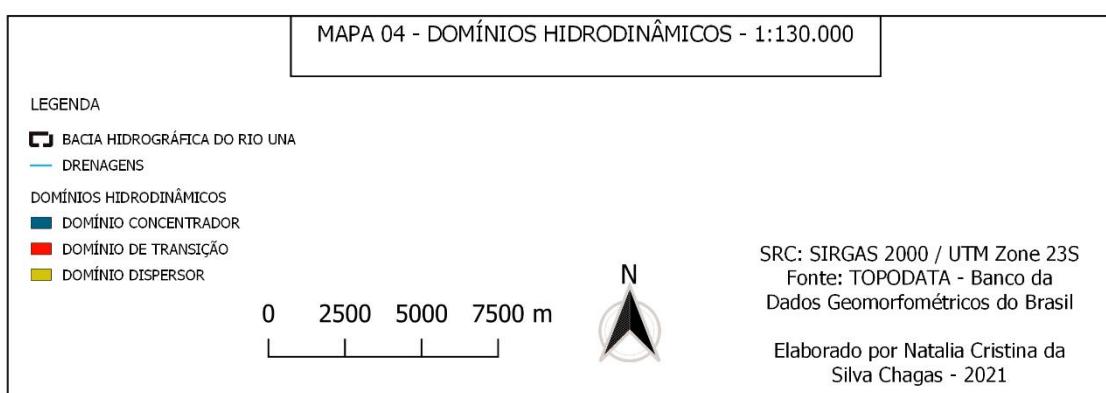
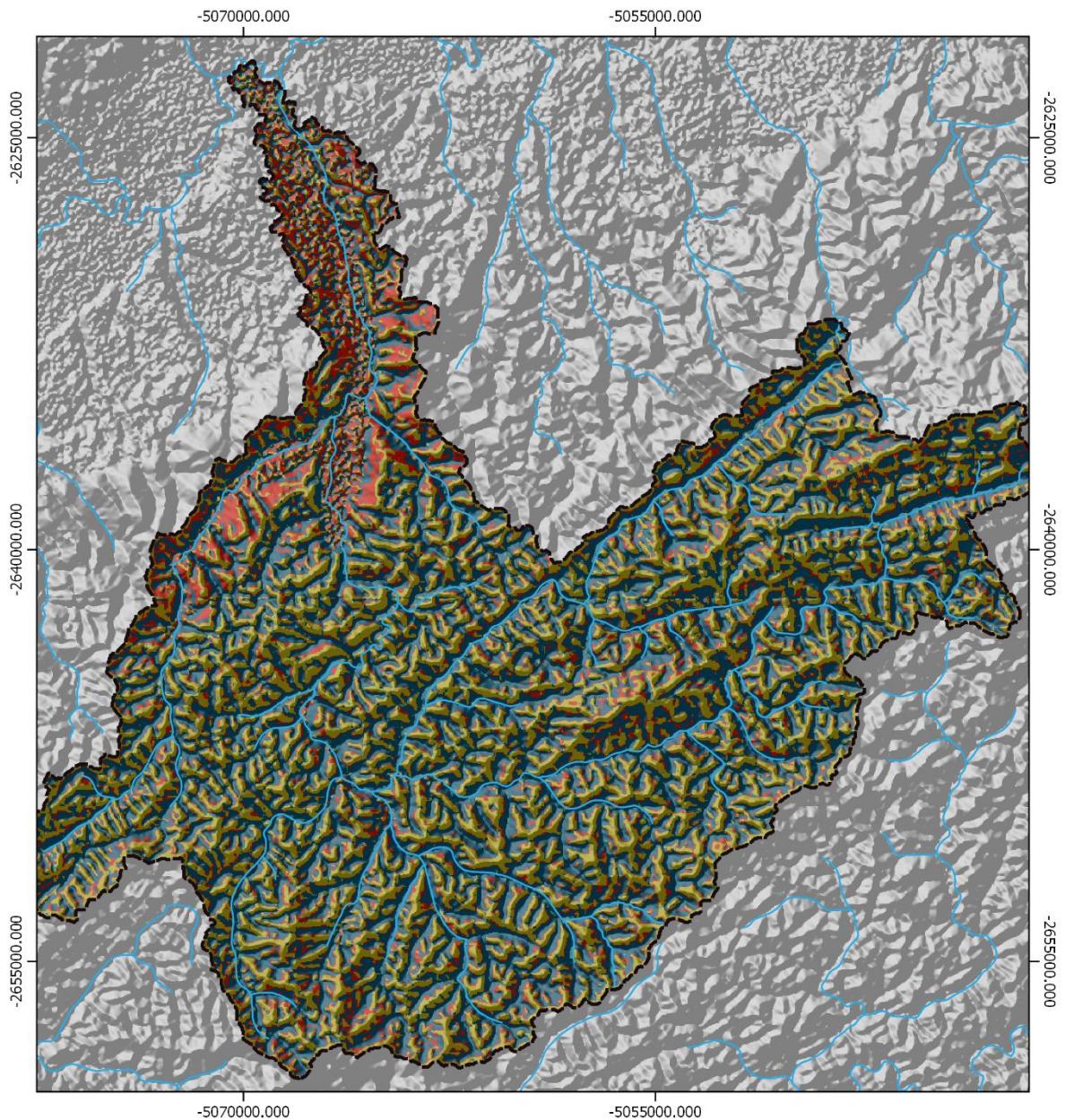
A nordeste é possível verificar setores extensos do domínio dispersor e a oeste e sul o relevo esse domínio de apresenta de forma mais fragmentado.

A leste é possível identificar um setor de concentração importante, próxima à cabeceira de drenagem do Rio Una.

É possível perceber a sul pequena concentração dos domínios de transição.

A oeste a distribuição dos domínios divide-se mais entre os domínios concentradores e dispersores.

Mapa 04 – Domínios Hidrodinâmicos - (1:130.000)



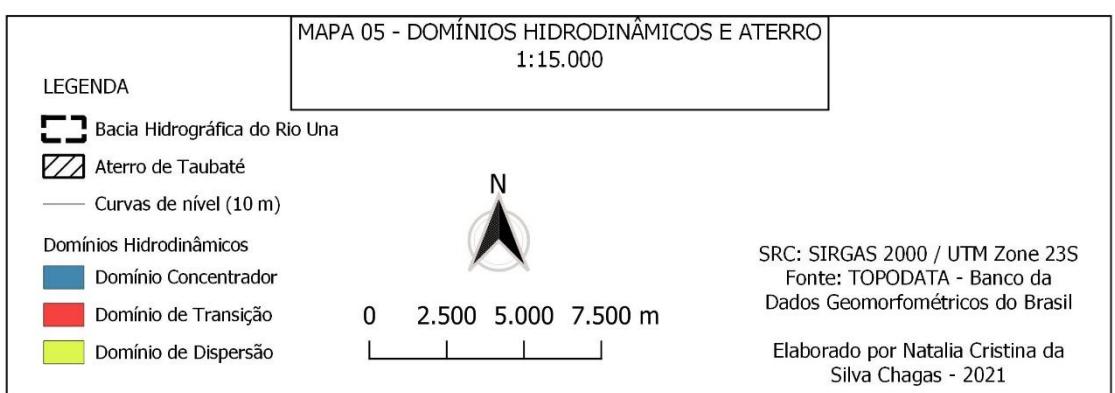
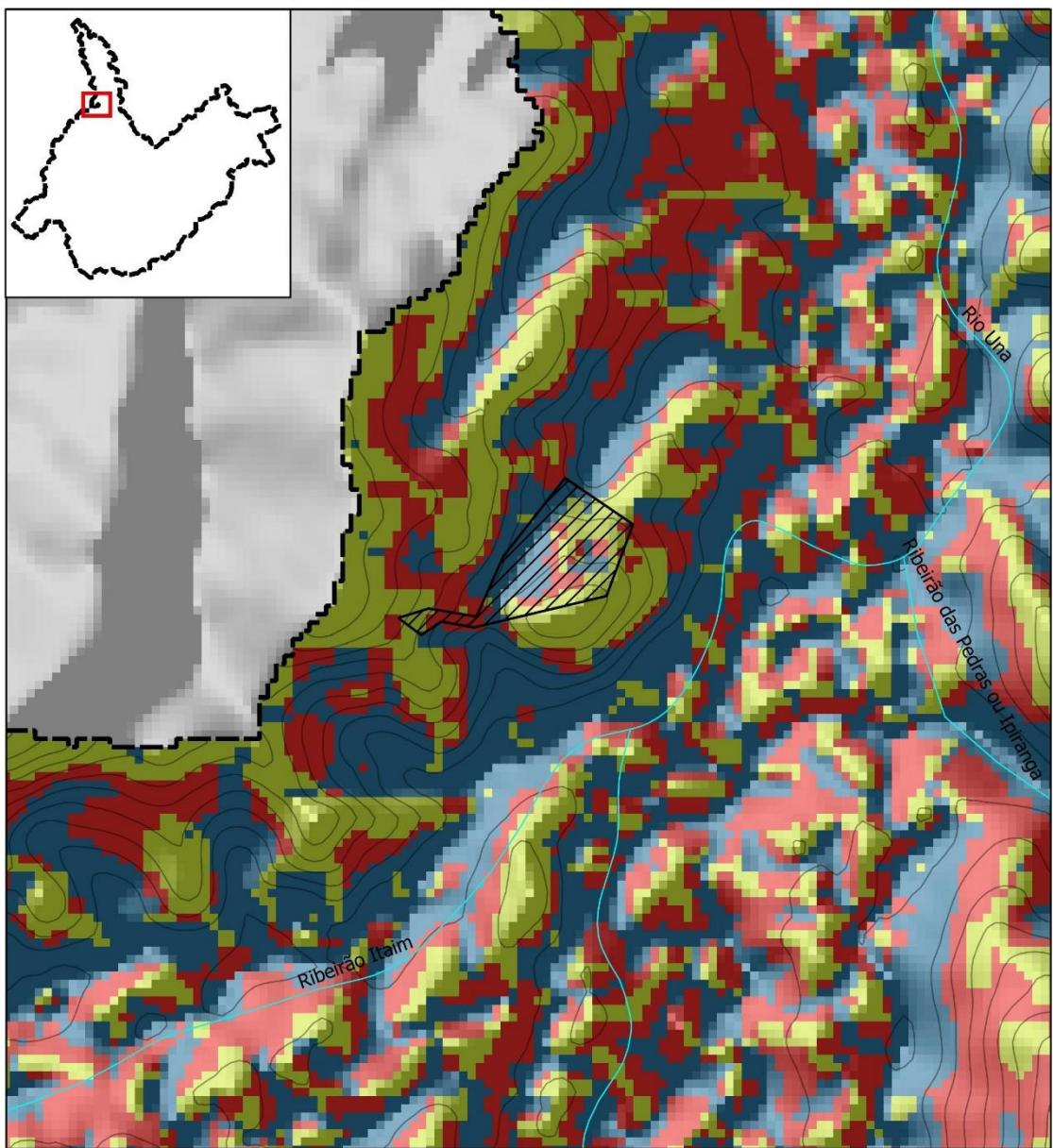
7.4 ÁREA DE ESTUDO

O Mapa 05 apresenta o posicionamento do Aterro Sanitário de Taubaté sobre o Mapa 04 – Domínios Hidrodinâmicos.

É possível perceber que a porção oeste do aterro está encaixada em um setor de concentração de fluxos enquanto que a porção leste do aterro está assentada sobre o domínio dispersor de fluxos.

No Contexto da Bacia, o aterro aparece no setor norte onde o domínio de transição é mais concentrado.

Mapa 05 – Aterro Sanitário de Taubaté (1:15.000)



8. CONCLUSÕES

A execução da cartografia morfológica-morfométrica através da extração e manipulação dos dados do MDE TOPODATA (INPE,2008), foi satisfatória no que diz respeito à extração das feições côncavas, convexas e retilíneas do relevo.

A metodologia de Feições Mínimas na elaboração de cartografia prévia revelou-se como instrumento capaz de fornecer informações qualitativas importantes capazes de orientar a tomada de decisão quanto a escolha da melhor localização para implantação de empreendimentos com potencial de contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

Importante salientar que uma análise para instalação de empreendimentos com potencial de contaminação deve, sobretudo, levar em consideração outras variáveis, como a litologia, a vegetação, e sobretudo o solo, uma vez que o coeficiente de permeabilidade desses últimos, apresentam variações (Lei de Darcy) que podem significar importante variável a ser considerada na tomada de decisão.

No contexto de elaboração de Estudos como EIA/RIMA e AIA's a cartografia morfológico-morfométrica produzida a partir do modelo de Feições Mínimas permite prever qual o tipo de comportamento de fluxo superficial se estabelecerá na área estudada. Assim, juntamente com outras informações, como coeficiente de permeabilidade do solo por exemplo, permite a antecipação de cenários de contaminação de importantes rios, como o Rio Una e Rio Paraíba do Sul, bem como os aquíferos.

Para a área de estudo, o Aterro de Taubaté, os mapas morfológico-morfométricos produzidos para a bacia do Rio Una revelaram:

- A localização do empreendimento no setor em que os fluxos indicavam maior concentração e dispersão, setor mais colorido do Mapa 02.
- A proximidade do empreendimento com áreas de altimetria menor do que a média da bacia, revelado pela coloração vermelha no setor próximo à foz (Mapa 03)
- A possibilidade de um indicador prévio de qualidade no uso de MDE em análises locais, propiciado pelo retorno imagético dos pixels.
- A região evidenciada pela coloração vermelha no Mapa 04, apresenta declividade mais baixa em relação ao resto da bacia, devido à proximidade com a foz. Apresentando pouca variação de altitude em cerca de 20 km de extensão, a cor predominantemente vermelha, associada ao domínio de transição do mapa, está relacionada a baixa velocidade com que o Rio Una deságua no Rio Paraíba do Sul. Isso se dá porque a área

de escape do rio se amplia, diferenciando-se das áreas de vale encaixado presentes no setor sul-sudeste da bacia, destacado pelas cores azul e amarela do mesmo mapa.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. (1955). As camadas de São Paulo e a tectônica da Cantareira. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, p. 23-40.
- ALMEIDA, F. F. M. (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. Geologia do Est. São Paulo, Bol.41:182.
- BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; FIDALGO, ECC. Banco de dados ambientais da Bacia do Rio Una, Bacia do Rio Paraíba do Sul. DSPACE. 2005.
- CARNEIRO, C. D. R.; HASUI, Yociteru; GIANCURSI, Fausto Delgado. Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 1976. p. 247-256.
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), 1997, Uso das Águas Subterrâneas para Abastecimento Público no Estado de São Paulo - Relatório 43.
- CPTI. (2001). Planos de Bacia Serra da Mantiqueira e Paraíba do Sul. Coordenador A. M. Saad, 349 p
- CHRISTOFOLLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo / SP, Ed. Editora Edgard Blücher, 2^a. ed., 1980.
- COLANGELO, A. C. O modelo de feições mínimas, ou das unidades elementares de relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geoecológicos. Revista do Departamento de Geografia, v. 10, p. 29-40, 1996.
- DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. Zeitschrift fur Geomorphologie, v. 80, p. 45-55, 1990.
- FLORENZANO, T. G., 2008. Os Satélites e suas aplicações. São José dos Campos – SP.
- GUIGUER, N. Modelagem numérica do transporte de poluentes nas águas subterrâneas adjacentes ao aterro sanitário de Taubaté. Águas Subterrâneas, 1988.
- HACK, J.T. & GOODLETT, J.C. 1960. Geomorphology and forest ecology of a mountain region in the central Appalachians. Denver, U.S. Geol.Surv. 66 p. (Prof. Paper 347).
- HASUI, Y; SADOWSKI, G. R.; CARNEIRO, Celso Dal Ré. Considerações sobre a estratigrafia do Pré-Cambriano na região de São Paulo. Boletim IG, v. 7, p. 107-112, 1976.
- HORTON, R.E.; Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *GSA Bulletin* 1945; 56 (3): 275–370.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1981. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 94 p.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. Solos do estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapapedológico. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. (Boletim técnico IAC 45 e Mapa Pedológico do Estado de São Paulo - 4 cartas com legenda expandida). São Paulo, 1999.

MOURA, J. R., PEIXOTO, M. N., & SILVA, T. M. (1991). Geometria do relevo e estratigrafia do Quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro–Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. *Brazilian Journal of Geology*, 21(3), 255-265.

PARISOT, E. H. et al. Monitoramento das águas subterrâneas adjacentes ao aterro sanitário de Taubaté (SP): primeiros resultados. *Boletim IG-USP. Série Científica*, v. 16, p. 32-45, 1985.

PONÇANO, W. L. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, 1981.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 10, p. 41-58, 1996.

RUHE, R.V. 1975. *Geomorphology - Geomorphic Process and Surficial Geology*. Boston, Houghton Mifflin Company. 254 p.

SÁNCHEZ, L.E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 1ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 495p

SENTELHAS, P.C., et al. Balanços hídricos climatológicos do Brasil-500: balanços hídricos de localidades brasileiras. ESALQ Piracicaba, 1999.

SETZER, J. *Atlas climatológico do estado de São Paulo*, CESP, São Paulo (1966).

STRAHLER, A.N. *Dinamic basis of geomorphology*. *Bulletin Geological Society of America*, Washington, D.C, 1952, 63(9):923-928.

STRAHLER, A.N. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. New Haven: *Transactions: American Geophysical Union*, 1957. v.38. p. 913-920.

SUGUIO, K. Contribuição à Geologia da Bacia de Taubaté-Vale do Paraíba-Estado de São Paulo. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Mineralogia*, p. 3-106, 1969.

TITARELLI, A. H. V. *O vale do Paratei. Estudo geomorfológico [hidrografia, clima, perfil do solo, vegetação, São Paulo, Brasil]*. 1975.

TROEH, F.R. *Landform equations fitted to contour maps*. *American Journal Science*, New Haven, v.263, n.3, p.616-627, 1965

VALERIANO, M. M. *TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais*. Márcio de Morisson Valeriano. 2008. São José dos Campos: INPE, 2008. 44p;

VERDADE, F. C. et al. Solos da Bacia de Taubaté (Vale do Paraíba): Levantamento de reconhecimento. Séries monotípicas, suas propriedades genético-morfológicas, físicas e químicas. Bragantina, v. 20, n. UNICO, p. 43-322, 1961.

WILDNER, W. et al. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul - Escala 1:750000. Porto Alegre CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 2006.