

Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Departamento de Geografia

BEATRIZ A FONTES ANDRADE

**FRAGILIDADE AMBIENTAL NA SUB-BACIA DO RIO LIMOEIRO NA ZONA
LESTE DE SÃO PAULO: ANÁLISE GEOGRÁFICA COM REFLEXÃO
SISTÊMICA**

São Paulo
2019

BEATRIZ A FONTES ANDRADE

**FRAGILIDADE AMBIENTAL NA SUB-BACIA DO RIO LIMOEIRO NA ZONA
LESTE DE SÃO PAULO: ANÁLISE GEOGRÁFICA COM REFLEXÃO
SISTÊMICA**

Trabalho de Graduação Individual apresentado
ao Departamento de Geografia da Universidade
de São Paulo para obtenção do Título de
Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches
Ross

São Paulo

2019

ANDRADE, B. A. F. Fragilidade Ambiental na sub-bacia do RIO Limoeiro na Zona Leste de São Paulo: Análise geográfica com reflexão sistêmica. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Bacharel em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. (a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. (a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. (a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Agradeço ao Jurandyr, pela orientação ímpar e disposição para me atender e conversar sempre que precisei.

À minha mãe Cirene, por tudo que abriu mão para que eu pudesse chegar a cursar a graduação, e ao meu pai Ailton e sua companheira Rita, que sempre fizeram o possível para que conseguisse permanecer na universidade.

Ao Francisco, Horácio, Paloma, Pedro, Sandro e Vinícius, por terem sido amigos maravilhosos por toda a graduação.

E ao Leonardo, pelo companheirismo e amizade, me dando força nos momentos emocionalmente mais frágeis.

RESUMO

Este trabalho diz respeito à aplicação da metodologia de Fragilidade Ambiental preconizada por ROSS (1994), com base na Teoria dos Sistemas e nos novos conceitos incorporados pelo autor às Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977). A metodologia foi aplicada no intuito de analisar a Fragilidade na sub-bacia do rio Limoeiro, localizada no alto curso da bacia do rio Aricanduva, na zona leste da cidade de São Paulo. Elaborou-se produtos cartográficos intermediários em escala de detalhe que permitiram uma análise integrada do meio, expressa no mapa de Fragilidade Potencial e Emergente, produto final da presente pesquisa.

Palavras-Chave:

Fragilidade Ambiental; Geomorfologia; Unidades Ecodinâmicas; Análise Integrada; Teoria dos Sistemas; Bacia do rio Aricanduva; Bacia do Limoeiro.

ABSTRACT

This study refers to the application of the Environmental Fragility methodology proposed by Ross (1994), based on the Systems Theory and on the new concepts incorporated by the author to the Ecodynamic Units from Tricart (1977). The methodology was applied in order to analyse the Fragility in the Limoeiro River sub-basin, located at the head of the Aricanduva River basin, which is situated in the Eastern zone of São Paulo city. Intermediate cartographic products were developed in detail scale and allowed the integrated analysis of area, expressed in the Potential and Emergent Fragilities map, the final product of the present research.

Keywords:

Environmental Fragility; Geomorphology; Ecodynamic Units; Integrated Analysis; Systems Theory; Aricanduva River Basin; Limoeiro River Basin.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	OBJETIVOS.....	9
2.1.	Objetivo Geral.....	9
2.2.	Objetivos Específicos.....	9
3.	JUSTIFICATIVA.....	10
4.	FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICA E METODOLÓGICA.....	11
5.	ÁREA DE ESTUDO.....	27
5.1.	Características da Geologia e Geomorfologia Regional.....	30
5.2.	Condições climáticas e a cobertura regional.....	34
6.	PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS.....	37
6.1.	Elaboração dos Produtos Cartográficos Intermediários.....	37
6.1.1.	Mapa Hipsométrico.....	38
6.1.2.	Mapa Clinográfico.....	39
6.1.3.	Mapa Geomorfológico.....	41
6.1.4.	Mapas de Uso e Ocupação da Terra.....	43
6.1.5.	Mapa de Fragilidade Ambiental.....	43
6.2.	Elaboração do Mapa de Fragilidade Ambiental: Produto Final da Pesquisa.....	48
7.	RESULTADOS DOS PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS.....	48
8.	MAPA DE FRAGILIDADE E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

O processo de crescimento da Grande São Paulo no século XX ocorreu em uma velocidade maior que a da implantação de infraestruturas básicas para as demandas desta expansão (GAYOSO, 2014) e diversos problemas ambientais e sociais foram produzidos a partir dessa dinâmica de crescimento. Os setores mais periféricos da cidade, ao começarem a ser ocupados pelo homem, incorporaram-se aos espaços produtivos da sociedade, o que levou a uma inevitável alteração do meio nessas áreas, causando uma série de desequilíbrios.

O equilíbrio de um sistema, entendido como um conjunto de elementos que se encontram relacionados e interdependentes, formam uma determinada unidade e integridade, é muitas vezes alterado pelo ser humano, elemento fundamental no entendimento do processo, que é admitido dentro da perspectiva sistêmica como parte de um contexto ambiental integrado, podendo gerar desde desequilíbrios temporários até permanentes. A partir do conceito de sistema e da Ecologia, compreendida como o estudo dos seres vivos e de sua interdependência com a natureza, Tricart (1977) constrói o conceito de Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis, onde a primeira encontra-se em equilíbrio e a segunda não. Este conceito é ampliado por Ross (1994), que elabora uma metodologia de análise da Fragilidade Ambiental, diagnosticada através da análise integrada do meio, em uma perspectiva sistêmica.

O presente trabalho aplica a metodologia de Fragilidade preconizada por Ross (1994) que ao ampliar o conceito de Tricart (1977) estabelece as Instabilidades Potencial, para os meios estáveis, e Emergente, para os instáveis. Para a aplicação desta metodologia, definiu-se a bacia hidrográfica do Limoeiro, especificada abaixo em localização, enquanto unidade geográfica de análise. A escolha se deu em função de se tratar de uma área em expansão urbana, onde a geomorfologia local é desfavorável à ocupação antrópica. Apresenta ainda uma transição de morros cristalinos para a planície fluvial e terrenos sedimentares.

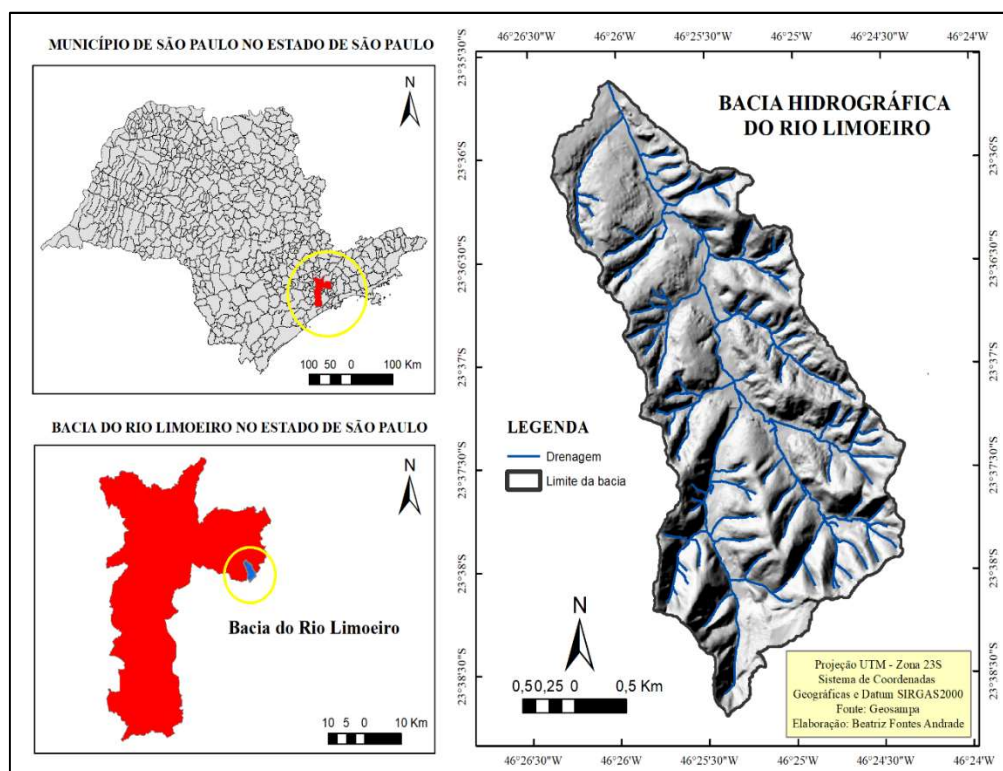
Para subsidiar esta pesquisa, elaborou-se, em escala de detalhe, diversos produtos cartográficos intermediários, através dos quais obteve-se a base para a análise integrada da área de estudo e confecção do produto cartográfico final deste trabalho, o Mapa de Fragilidade Ambiental.

- **Localização da área de estudo**

A metodologia é aplicada na bacia hidrográfica do rio Limoeiro (Figura 1), afluente da bacia do rio Aricanduva, que está localizada no território brasileiro, no estado e cidade de São Paulo, no setor leste. A bacia do rio Aricanduva tem suas nascentes nas proximidades de Mauá, cidade da Região Metropolitana de São Paulo, e o rio que atribui seu nome é afluente da margem esquerda do Rio Tietê. De acordo com o DAEE, a bacia do Aricanduva possui uma área de drenagem de aproximadamente 100 km² e 22 afluentes, sendo o rio Limoeiro um dos cinco afluentes de seu alto curso.

Dados do DAEE (1990) informam que o talvegue do curso principal da bacia do rio Aricanduva possui uma extensão de 20 km, desde suas nascentes em uma altitude de 1000 m até sua foz na cota de 720 m, e que neste percurso estão inseridos, integral ou parcialmente, os distritos da Vila Matilde, Penha, Carrão, Tatuapé, Aricanduva, Vila Formosa, Cidade Líder, Parque do Carmo, José Bonifácio, São Mateus, Sapopemba, Iguatemi, São Rafael e Cidade Tiradentes, todos na zona leste de São Paulo (LISTO, 2011).

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: Geosampa, elaborado por Beatriz F Andrade (2019).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Tem-se como objetivo geral desta pesquisa a produção de uma análise ambiental integrada, da área de estudo escolhida, a partir da aplicação da metodologia de Fragilidade Ambiental preconizada por Ross (1994), e da confecção de produtos cartográficos intermediários bases para a elaboração do mapa de Fragilidade Ambiental, produto final do presente trabalho, fundamentado nos pressupostos teórico-metodológicos adotados.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- 1) Elaborar um mapa hipsométrico e clinográfico para subsidiar a produção de um mapa geomorfológico;
- 2) Avaliar e levantar aspectos geomorfológicos da área de estudo em escala de detalhe, 1:10 000, com representação do 5º Táxon, a partir da utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a fim de elaborar o mapa geomorfológico com legenda integrada;
- 3) Levantar e compreender informações e características pertinentes ao uso e ocupação da terra na mesma escala, realizando mapeamentos em três recortes espaço-temporais, sendo eles da década de 70, 2010 e um último tão recente quanto for possível, através do sensoriamento remoto;
- 4) Identificar, a partir da sobreposição das informações advindas das três etapas acima, consideradas etapas intermediárias, elementos que abram caminhos para a elaboração de um diagnóstico da Fragilidade Potencial e Emergente, representado em um mapa final.;
- 5) Analisar e discutir os resultados, demonstrados pelos mapeamentos, no que toca à Fragilidade Ambiental.

3. JUSTIFICATIVA

Os objetivos acima discutidos se justificam dentro de dois parâmetros. O primeiro diz respeito à relevância social do tema da pesquisa. Já o segundo, está ligado diretamente à pertinência científica deste, situando-o na conjuntura da ciência geográfica.

O estágio de desenvolvimento e modernização, no qual se encontra, de modo heterogêneo, a sociedade no presente momento, possui um longo histórico e passou por diversas revoluções técnicas e científicas, como se sabe. Tais revoluções e mudanças dentro do âmbito da organização da sociedade não trouxeram somente modernização, mas também uma série de alterações e incrementações de costumes e padrões de vida em meio às populações, ao passo em que se dá o desenvolvimento econômico. Dentre essas modificações, a alteração de uma natureza dita primária (SANTOS, 1996) foi inevitável e tem se intensificado de modo muito expressivo, sobretudo nas cidades, a partir dos anos 80.

Atualmente, a maior parte da população mundial vive em cidades, que passam, em geral, por um processo violento de valorização imobiliária, condicionando populações de menor poder aquisitivo a se mudarem para as porções mais periféricas das áreas urbanas. Essa ocupação tem se dado, em grande medida, em um ritmo mais acelerado que aquele da instalação de serviços básicos de infraestrutura por parte do poder público, de modo que acaba, por consequência, desenvolvendo-se de maneira precária e em áreas de risco. Nesse sentido, tem-se demonstrado a pungente necessidade de uma maior organização e planejamento na utilização do meio ambiente frente a essas mudanças, tendo como questão norteadora o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais (ROSS, 1993) e das questões humanas dentro de seu devido contexto histórico-social, que se passam no estrato geográfico (GRIGORIEV, 1998 apud ROSS, 1990).

Nesse sentido, o tema da Fragilidade Ambiental, concebido sob a luz da teoria sistêmica e do conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977) ampliado por Ross (1994), seguido da confecção de um mapa que expresse esse fenômeno, é de extrema relevância do ponto de vista social. O estudo de Fragilidade, uma questão não só ambiental, mas situada na interface natureza-sociedade, se presta a serviço do planejamento e ordenamento territorial enquanto importante ferramenta de gestão que

auxilia, entre outras coisas, no norteamento da ocupação antrópica, indicando as porções territoriais mais susceptíveis e com maior risco de desastres naturais, além de mostrar caminhos para a recuperação e conservação ambiental, favorecendo, mesmo que indiretamente, o bem-estar da sociedade.

Além do parâmetro social relacionado à questão da Fragilidade, a aplicação dessa metodologia também é de grande relevância dentro do contexto da ciência geográfica. Enquanto pertencente à geomorfologia, a pesquisa de Fragilidade Ambiental se situa em meio aos grandes temas da Geografia atual. Propondo uma análise integrada, a pesquisa correlaciona e mobiliza conhecimentos de diversas disciplinas e áreas da ciência geográfica. Enquadra-se aqui na perspectiva da geografia sistêmica, a qual tem tido o interesse atual aumentado, à medida que se tem acumulado conhecimentos teóricos e empíricos acerca dos elementos estudados e suas relações. Assim, a pesquisa se desenvolve, sobretudo, à luz da Teoria dos Sistemas, na qual os elementos destes, inclusive o antrópico, são absolutamente interdependentes, constituindo um todo dinâmico e complexo que é mais do que a simples soma de seus elementos setorizados.

Desse modo, trata-se de uma temática pertinente não só do ponto de vista social, mas também dentro do contexto de uma ciência, que neste caso é a geográfica.

4. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICA E METODOLÓGICA

A abordagem de temas relacionados à fragilidade ambiental deve envolver a compreensão e estudo de aspectos tanto da natureza, passando necessariamente por estudos de solo, subsolo, relevo, clima e uso e ocupação da terra, quanto socioeconômicos. Uma dada paisagem enquanto um recorte espaço-temporal não é estática. Muito pelo contrário, ela é dinâmica e está em constante mudança, mesmo que os olhos humanos não possam apreendê-la (ROSS, 2012, p. 40).

Compreende-se aqui a fragilidade ambiental enquanto a propensão ao desmantelamento de um sistema que se encontra em equilíbrio dinâmico, concordando-se que “a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas” (ROSS, 1993). Segundo Fierz (2008),

a Fragilidade é demonstrada pelas possíveis quebras na interação entre os elementos do sistema natural, rompimento, portanto, do equilíbrio dinâmico de uma determinada paisagem, de um determinado sistema.

Um sistema pode ser visto como um conjunto de elementos que se encontram relacionados e ligados entre si e que formam uma determinada unidade e integridade. É um conjunto energético-substancial de componentes inter-relacionados, agrupados de acordo com as relações diretas e inversas em certa unidade. É um todo complexo, único, organizado, formado pelo conjunto ou combinação de objetos ou partes. De acordo com o enfoque sistêmico, o objeto é pesquisado como um conjunto que muda constantemente devido ao metabolismo de suas partes inter-relacionadas em um todo integral, dando origem a uma estrutura única e peculiar. Dependendo de suas propriedades, os sistemas podem ser divididos em algumas classes e aqui pretende-se trabalhar com a ideia de um sistema dinâmico, onde seus componentes e fluxos mudam com o passar do tempo.

O traçado teórico-metodológico aqui proposto toma por base a abordagem sistêmica, instrumento mais apropriado para se estudar questões do meio ambiente (TRICART, 1977, p. 19), enquanto prisma sob o qual a paisagem dinâmica será estudada. Esta paisagem será analisada de modo integrado, analisando-se a variável da Fragilidade Ambiental. Acerca disso, explica Fierz (2008):

O termo Fragilidade Ambiental pode ser concebido a partir dos conceitos relacionados aos preceitos da teoria geral dos sistemas, nos quais os elementos da natureza são considerados como de interação mútua, em que o sentido de “o todo é mais que a soma das partes” está identificando o caráter sistêmico. Nesse sentido, a fragilidade ambiental seria explicitada pelas possíveis quebras na interação entre os elementos do sistema natural.

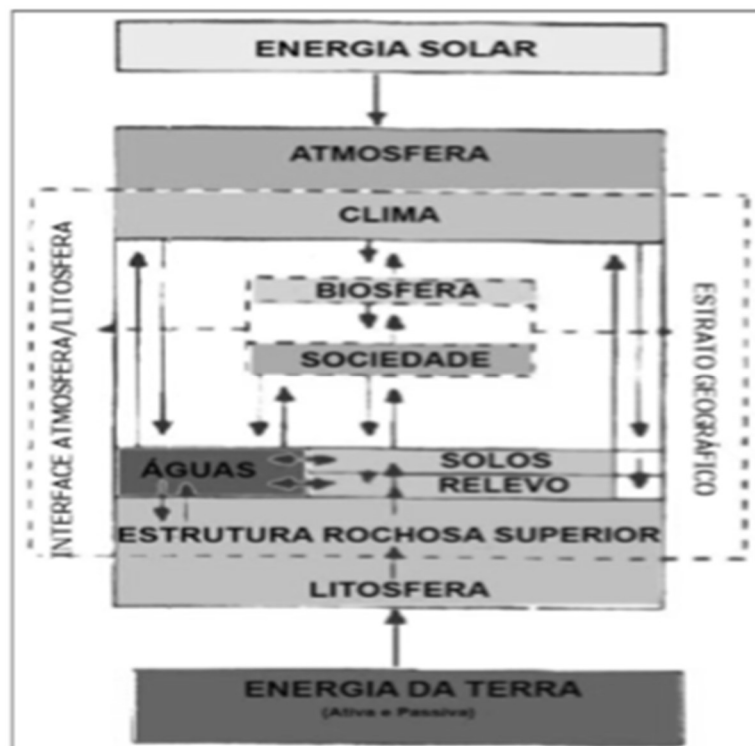
Christofletti (1979), citado por Santos (2011), destaca que desde meados do século XX, os estudos que se pautavam nas concepções da abordagem sistêmica já eram claros e conhecidos, todavia o autor ressalva que somente após os anos 60 os estudos sistêmicos passaram a ser difundidos e utilizados em maior escala. Desse modo, o interesse por essa abordagem não vem de hoje, mas tem aumentado à medida que se acumula conhecimentos teóricos e empíricos sobre os objetos estudados e suas relações.

A questão da globalidade ou totalidade é muito presente, partindo-se do pressuposto de que todo sistema é parte de outro sistema maior, nunca sendo absolutamente autônomo. No presente caso, o sistema ou sub-bacia Córrego do Limoeiro faz parte de um sistema mais abrangente, a bacia do Rio Aricanduva, que por sua vez também faz parte de outro sistema ainda maior, a bacia do Alto Tietê, e assim por diante.

Para que funcionem, existe nos sistemas uma retroalimentação, um fluxo de entrada (*input*), transferência e saída (*output*) de energia e matéria, que o faz receber, continuamente, informações de seu meio externo, ajudando-o a se ajustar e manter seu equilíbrio. Como explica Fierz (2008, p. 45), a entrada é composta por tudo aquilo que o sistema recebe, sendo portanto o alimento do sistema. Exemplifica alguns elementos considerados como entrada, dentre eles a água da precipitação e sedimentos fornecidos pelas vertentes para um determinado rio; a energia solar recebida pelo planeta Terra; a alimentação recebida por um animal, entre outros. As entradas recebidas por um sistema, após sofrer transformações em seu interior, são em algum momento posterior enviadas para fora, o que se traduz nas saídas ou *outputs*. (FIERZ, 2008, p. 47). Assim, uma entrada corresponde a alguma saída.

A Fragilidade Ambiental é um importante estudo a ser verificado na quantificação e na relação entre os componentes do “extrato geográfico” (FIERZ, 2008, p. 94). É no Estrato Geográfico da Terra (GRIGORIEV 1968, apud ROSS 1990), “palco das ações humanas” que se passa esse cenário e é compreendido, em linhas mais gerais, como o espaço entre a baixa atmosfera e a parte superior da litosfera. Além disso, é nele que se dão as mais intensas trocas de energia e matéria (SANTOS, 2011). Na figura 2 é possível observar a relação entre as forças, endógenas e exógenas, que compõem o Estrato Geográfico.

Figura 2: Fluxo da relação entre os meios natural e social



Fontes: Ross (1993)

Os componentes do Estrato Geográfico da Terra, são vistos, nesse estudo de Fragilidade, de maneira integrada e interdependente, dentro da perspectiva sistêmica, sendo que o homem, cabe ressaltar, não é aqui compreendido como externo ao meio em que se insere, ao sistema, mas sim como parte fundamental dele, afetando cada vez mais a sua funcionalidade e muitas vezes condicionando graves processos degenerativos ao meio ambiente (ROSS, 1993, p.65). É nesse sentido que se estabelece a base teórica, espinha dorsal, que guiará a pesquisa. Ross (1993, p. 65), sintetiza:

Assim sendo, os estudos ambientais integrados e especializados no tempo e no território, devem contemplar a pesquisa, tanto em nível das disciplinas que representam o todo ou parte das componentes do “estrato geográfico”, como a inter-relação entre elas.

Além da Teoria dos Sistemas, a Ecologia é também outro conceito teórico que figura dentre os principais a serem incorporados na realização de um estudo de fragilidade ambiental. Ambos concebem que as partes de um todo, quando se trata de meio ambiente, se encontram em constante troca energética. É por esse motivo que, tanto a Teoria dos Sistemas quanto a Ecologia, são elementos centrais, cerne teórico e metodológico deste trabalho.

TRICART (1977), expõe que a ecologia tem como objetivo principal estudar os seres vivos em suas relações mútuas e com a natureza, em um estado no qual um depende do outro, ou seja, de interdependência. Nesse sentido, a Ecologia passa necessariamente pelo conceito de Sistema, apontado pelo autor como o melhor instrumento lógico para se estudar os problemas do meio ambiente, e definindo-o como “um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia”, e continua, “esses fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos” (TRICART, 1977, P. 19).

GAYOSO (2014), que teve TRICART como importante fonte bibliográfica, afirma que em Ecodinâmica (1977), buscou-se o entendimento da paisagem de forma integrada. ROSS (2006) expõe que o conceito de unidade ecodinâmica está ligado ao ecossistema, enfocando relações mútuas entre os vários componentes da dinâmica e os fluxos de energia e matéria do meio. Por sua vez, o conceito de ecossistema foi, segundo TRICART (1977, p. 17), proposto pelo inglês Tansley, no ano de 1934, que o sistematizou definindo-o como um conjunto de seres vivos mutuamente dependentes uns dos outros e do meio ambiente no qual eles vivem.

A adoção do conceito teórico de sistema pela ecologia, somada à elaboração da ideia de ecossistema, permitiu que os conhecimentos anteriormente isolados fossem integrados uns aos outros (TRICART, 1977, p.19) e analisados enquanto um conjunto, dotado de relações. Assim, observa-se a amarração destes três importantes conceitos, que figuram em uma posição de destaque nos estudos da fragilidade ambiental. Nesse sentido, o estudo pedológico, por exemplo, passa a ser associado a outros, necessitando de conhecimentos geológico, climático, entre outros.

O equilíbrio de um sistema é muitas vezes alterado pelo ser humano, elemento fundamental no entendimento do processo, que é admitido dentro da perspectiva sistêmica como parte de um contexto ambiental integrado e pode gerar desde desequilíbrios temporários até permanentes. Ross (1993) expõe que as progressivas

alterações inseridas pelas sociedades humanas nos distintos componentes naturais, afetam cada vez mais a funcionalidade do sistema e com frequência induzem a graves processos degenerativos ao ambiente natural.

Com o objetivo de entender e pesquisar como a ação humana, através de sua organização espacial, interfere na dinâmica natural, Tricart (1977) distingue três tipos de meio morfodinâmicos que são produtos de processos atuais. Segundo o autor, essa abordagem se dirige ao melhor aproveitamento dos recursos ambientais de modo que sua exploração não ultrapasse a capacidade de suporte do ambiente. Santos (2011) retoma Ross et al. (2008), que explicam que esse tipo de avaliação exige um significativo conhecimento dos fluxos de matéria e energia que caracterizam o sistema, o que para Tricart se traduz em “determinar a taxa aceitável de extração de recursos, sem degradação do ecossistema ou determinar quais as medidas que devem ser tomadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação”. (ROSS et al. 2008, op. Cit., p. 68). A interferência do elemento antrópico varia, vale ressaltar, de acordo com o grau de desenvolvimento tecnológico e dos processos histórico-culturais de uma dada sociedade. (SANTOS, 2011).

Dentro dessa perspectiva, com a admissão de que o ambiente tende ao equilíbrio, os três meios morfodinâmicos foram classificados por Tricart (1977) como Meios Estáveis, Meios *Intergrades* (de transição) e Meios Fortemente Instáveis.

Os ambientes estáveis, assim definidos quando estão em equilíbrio dinâmico, são aqueles em que os processos morfogenéticos são pouco expressivos, ao passo que os processos pedogenéticos predominam em relação a eles. Isso equivale a dizer, como explica Santos (2011), que a deposição supera a erosão. Desse modo, sua evolução se dá de maneira mais branda e lenta, com pouca atuação dos processos mecânicos, o que torna essas mudanças tão sutis e constantes a ponto de dificilmente serem percebidas e apreendidas visualmente, sendo necessário até mesmo que se faça uso de instrumentos técnicos capazes de mensurar qualquer evolução. Como consequência desse quadro, tem-se uma cobertura vegetal bem desenvolvida, que pode se aproximar das condições originais, denominada “clímax”. Estes meios morfodinâmicos específicos apresentam algumas características, dentre elas um recobrimento vegetal bem desenvolvido e consideravelmente fechado, fator que, conseqüentemente, abranda os impactos da energia cinética das chuvas e reduz o escoamento superficial, o que proporciona uma maior

infiltração da água no solo, diminuindo assim os processos mecânicos atuantes da morfogênese (TRICART, 1977, p. 36). Além da cobertura vegetal mais fechada, a dissecação do relevo é modesta, com lenta evolução das vertentes. Também se destacam a estabilidade da atividade tectônica e a ausência de manifestações vulcânicas, que podem desencadear ocorrências catastróficas. Ambientes que apresentam essas condições, os Meios Ecodinâmicos Estáveis, demonstram um equilíbrio entre a exploração dos recursos e a aptidão produtiva dos sistemas.

Os Meios *Intergrades* (de transição), por sua vez, são os de passagem entre os Meios Estáveis e os Fortemente Instáveis. Neste caso específico, ocorrem, simultaneamente a morfogênese e a pedogênese, em diferentes níveis, sendo que hora uma é mais expressiva, hora a outra, uma vez que dependem de determinadas condições. A ecodinâmica pode ser de transição com tendências à estabilidade ou à instabilidade. Se a morfogênese é mais atuante, a ecodinâmica tende à instabilidade. Por outro lado, quando os processos pedogenéticos são mais expressivos, nota-se uma transição que tende à estabilidade. Nesse sentido, o balanço morfogênese/pedogênese pode passar por alterações, sobressaindo o processo de morfogênese, por exemplo, havendo movimentação e retirada de material em maior expressão do que a sua formação. Tricart (1977, p. 47) diferencia as modalidades de interferência morfogênese-pedogênese em função de dois critérios, um qualitativo e um quantitativo. Qualitativamente falando, é preciso diferenciar os processos morfogenéticos que só afetam a superfície do solo, não alterando a sucessão dos horizontes no perfil, daqueles que agem em toda a espessura do solo ou em uma parte considerável e importante dessa espessura, causando impacto na disposição desses horizontes. Do ponto de vista quantitativo, fala-se justamente no balanço pedogênese/morfogênese, já citado brevemente. Em uma condição de fraca instabilidade, nota-se um processo pedogenético mais atuante, o que significa dizer que ganha-se vantagem na transição para os meios estáveis. Como bem expressa Santos (2011, p. 53) ao discorrer sobre os Meios *Intergrades*, o equilíbrio entre a capacidade produtiva e o uso e exploração dos recursos ambientais pode ser facilmente perturbado, ao passo que as atividades socioeconômicas ensejam intervenções no meio, o que permite um ambiente passar de um estado de transição com tendências à estabilidade para um ambiente que tende à instabilidade, inclusive podendo atingir a condição de forte instabilidade, a depender do nível de alteração.

Por fim, os Meios Fortemente Instáveis apresentam processos morfogenéticos que predominam em relação aos pedogenéticos, além de que os demais elementos do sistema natural estão subordinados à morfogênese. Nesses meios é muito expressivo e intenso o processo erosivo atuante, que pode chegar a até mesmo exaurir a capacidade produtiva dos recursos naturais. Tricart (1977) expõe uma série de ambientes nesta situação, sobretudo aqueles afetados pelo clima, nos quais se dão a predominância dos processos morfogenéticos e que, no geral, estão associados a eventos extremos, como o vulcanismo, as churras torrenciais, a atividade tectônica e os deslizamentos de terras. Em condições assim, de ruptura do equilíbrio ecológico, os ambientes são fortemente comprometidos e podem chegar a um ponto tão crítico que leva à irreversibilidade da condição em que se encontra, com remoção dos solos, por exemplo, impossibilidade da atividade biológica e do desenvolvimento e expansão das atividades socioeconômicas.

Segundo Santos (2011, pg. 54), as pesquisas que se utilizam de uma abordagem ancorada na ecodinâmica, caso da fragilidade ambiental, precisam ter enquanto objetivo primordial a hierarquização dos ambientes, considerando sua dinâmica, a fim de que as intervenções por parte da sociedade sejam bem realizadas. Nesse caminho, Ross (1993) afirma que o ordenamento territorial deve seguir uma política conservacionista. Para tanto, o planejamento territorial ambiental deve avaliar a fragilidade do meio.

Esses pressupostos preconizados por Tricart (1977), embora atendam com eficiência à uma perspectiva de planejamento agrônomo-ambiental (ROSS et al., 2008), encontram limitações à ampla utilização da ecodinâmica no planejamento ambiental, em situações de alta complexibilidade em função das intervenções humanas que se propagam em vários níveis de desenvolvimento técnico e econômico. Assim, o estabelecimento de três meios ecodinâmicos diminui as possibilidades de uso desse conhecimento. Mesmo que o ambiente se encontre em uma condição de estabilidade, ela é de característica cambiante, pois sempre tenderá à instabilidade, especialmente se considerado o progressivo desenvolvimento das sociedades humanas.

A esse respeito, Ross (1993) incorporou o conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart, ampliando-o. Baseado nesse conceito, desenvolveu uma metodologia de análise das fragilidades ambientais, acrescentando de modo mais categórico que Tricart (1977) a ação do homem no meio ambiente. Foram inseridos, nesse sentido, novos critérios

analíticos na definição das Unidades Ecodinâmicas, tanto para as Estáveis quanto para as Instáveis.

A partir da ampliação, utilizou-se para as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente, graus hierárquicos de instabilidade, de modo a se classificar a fragilidade, que variam de Muito Fraca a Muito Forte, como pode ser visto abaixo na Tabela 1. O mesmo método é empregado para as Unidades Ecodinâmicas Estáveis devido a sua Instabilidade Potencial, ao se considerar a possível intervenção antrópica. Os Meios *Intergrades* foram desconsiderados em virtude de sua imprecisão.

Tabela 1: Classificação das unidades de fragilidade

UNIDADES DE FRAGILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE INTENSIDADE DA FRAGILIDADE	
	QUALITATIVA	NUMÉRICA
Fragilidade Potencial	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Forte	4
	Muito forte	5
Fragilidade Emergente	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Forte	4
	Muito forte	5

Fonte: ROSS, 1994, adaptado por SANTOS, 2011.

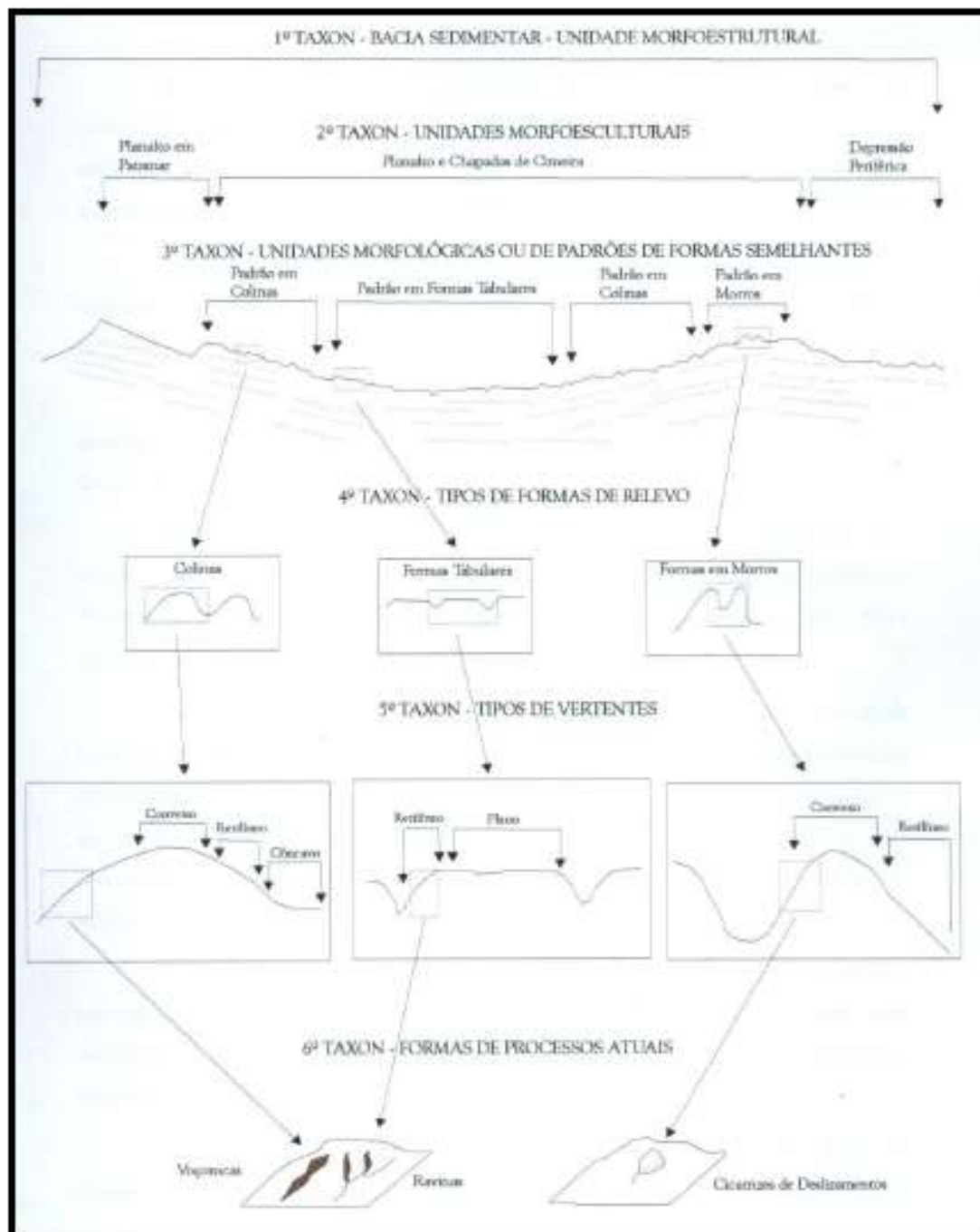
As Unidades de Fragilidade Potencial podem ser brevemente sintetizadas como ambientes estáveis, em condições de equilíbrio dinâmico e, portanto, menos atingidas pelas atividades humanas. No entanto, mesmo que apresentem um status de estabilidade, Ross (1993, p. 66) explica que apresentam essa Instabilidade Potencial, qualitativamente previsível, em função das características naturais que apresentam e da sempre possível intervenção antrópica.

Paralelamente têm-se as Unidades de Fragilidade Emergente, ampliação do conceito de Unidade Ecodinâmicas Instáveis, que não se encontram em equilíbrio dinâmico. Mesmo que essas unidades possam ser frágeis naturalmente, se caracterizam

sobretudo por se tratar de ambientes naturais intensamente modificados pela inserção antrópica na dinâmica do meio. Dentro dessa concepção, portanto, ao homem é atribuída uma importância ainda maior do que aquela vista em Tricart (1977), ao ser compreendido como elemento que afeta cada vez mais a funcionalidade do sistema.

O estudo dos fatos geomorfológicos atravessa uma indispensável proposta taxonômica, assentada sobretudo no conceito de morfoestrutura e morfoescultura. A primeira diz respeito a uma dada estrutura que sustenta o relevo, enquanto a segunda se refere ao aspecto escultural mostrado pela primeira, sendo resultante da ação do tipo climático atual e pretérito, que operou e opera nessa determinada estrutura. Nesse sentido, ambas a morfoescultura e a morfoestrutura definem situações estáticas, engendradas por processos endógenos, os tectônicos, e processos exógenos, os morfodinâmicos. (ROSS, 1992, p. 19). Nesse contexto e a partir da incorporação desses pressupostos, Ross (1992) apresenta uma classificação taxonômica do relevo, a partir dos seis táxons, demonstrados na figura 3 abaixo.

Figura 3: Os seis táxons que constituem o relevo



Fonte: Ross (1993).

O primeiro táxon está relacionado às Unidades Morfoestruturais, as mais expressivas em tamanho e abrangência, de antiga história genética. Por sua vez, o segundo táxon refere-se às Unidades Morfoesculturais, de menor ordem hierárquica, que são

“geradas pela ação climática ao longo do tempo geológico, no seio da morfoestrutura” (ROSS, 1992, p. 19). Mediante o exposto, entende-se que uma única Unidade Morfoescultural pode abrigar mais de uma Unidade Morfoescultural.

O terceiro táxon abrange as Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes, menos antigas que as expostas no parágrafo acima. Ross (1992) explica que dizem respeito a conjuntos de formas menores do relevo, apresentando diferenças de aparência entre si, em função do índice de dissecação do relevo, da rugosidade topográfica e do formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão existente. Tal como a Unidade Morfoestrutural, que pode apresentar várias Unidades Morfoesculturais distintas, uma Unidade Morfoescultural também pode apresentar diversos Padrões de Formas Semelhantes.

Os processos morfoclimáticos atuais passam a ser bem mais percebidos a partir do quarto, quinta e sexto táxon. O quarto se refere às formas de relevo individualizadas, contidas dentro de cada Unidade de Padrões de Formas Semelhantes, ressaltando-se que essas formas do quarto táxon podem ser tanto de agradação, como planícies fluviais e planícies marinhas, como de denudação decorrente de desgaste por processo erosivo, como colinas e morros. (ROSS, 1992).

O quinto táxon, por sua vez, ocupa-se das vertentes, ou de seus setores, de cada uma das formas individualizadas do relevo. (ROSS, 1992). Essas formas de vertentes derivam da erosão ou esculturação da atual morfogênese. Ross (1992) explica que as vertentes de cada forma são geneticamente distintas umas das outras, bem como os seus setores. Exemplifica que na forma de uma colina os diversos setores apresentam peculiaridades geométricas, genéticas e dinâmicas, diferenciando-os.

Por fim, o sexto táxon refere-se às Formas dos Processos Atuais, que são formas de relevo ainda menores que as anteriores, nas quais se nota o desgaste do solo sob as formas de voçorocas, ravinas e cicatrizes de deslizamento. São produto dos processos erosivos ou de depósitos atuais, como indica a própria nomenclatura dessas formas, e é aonde se percebe com maior evidência a interferência antrópica no meio, que pode não só aumentar a magnitude de processos, como causá-los.

Mediante o exposto até aqui, encontra-se a base para a análise empírica das fragilidades, estudo que necessita de levantamentos de dados, e análises destes, sobre

alguns importantes aspectos da área de estudo, estando entre eles o relevo, o clima, a cobertura pedológica e o uso e ocupação da terra. Estes dados serão analisados de maneira integrada, ancorados, como visto, numa perspectiva sistêmica que compreende a natureza como dotada de uma funcionalidade intrínseca, envolvendo componentes físicos, bióticos e socioeconômicos. (SANTOS, 2011).

A metodologia de fragilidades ambientais utilizada neste trabalho foi preconizada por Ross (1994), que partiu do conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977) e o ampliou, inserindo, como visto, a Fragilidade Potencial para os Ambientes Estáveis, em equilíbrio dinâmico, e a Fragilidade Emergente para os Instáveis, já modificados pela ação do homem. A Fragilidade Ambiental, seja Potencial ou Emergente, tem cinco níveis hierárquicos de classificação, começando pela declividade do terreno. Abaixo encontram-se as classes de declividades que foram revistas por Ross (2012) em seu trabalho “Landforms and Environmental Planning: Potentialities and Fragilities, sendo definidas da seguinte forma:

Tabela 2: Classes hierárquica de Fragilidade pela variável das declividades das vertentes

Classes de Fragilidade	Declividades
1 – Muito Fraco	0 a 2% - planos e altos relevos
2 – Fraco	3% a 15%
3 – Médio	16% a 30%
4 – Forte	31% a 50%
5 – Muito Forte	50% ou maior
5 – Muito Forte	2% ou menor – relevo de planície fluvial.

Fonte: Ross (2012); adaptado.

O próximo parâmetro de análise refere-se à variável Tipos de Solo, elemento do meio físico que pode intensificar ou não a Fragilidade e que abarca critérios que passam pelas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. (ROSS, 1993). Segundo o autor, essas características relacionam-se diretamente com o relevo, litologia

e clima, entendidas como elementos motores da pedogênese, além de serem fatores determinantes das condições físicas e químicas dos solos. A variável de análise toma por base os conhecimentos adquiridos pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC); Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR); levantamentos de campo realizados por Ross na condição de técnico do Projeto RadamBrasil e pesquisador do Departamento de Geografia da FFLCH-USP por muitos anos, entre outros. Assim, as classes de fragilidades pela variável Tipo de Solo foram definidas como mostra a tabela a seguir:

Tabela 3: Classes de Fragilidade pela variável Tipos de Solos

Classes de Fragilidade	Tipos de Solo
1 – Muito Fraco	Terras profundas, bem drenadas, Latossolo areno-argiloso e agiloso-poroso.
2 – Fraco	Solos profundos, bem drenados, Latossolos arenosos de textura média.
3 – Médio	Solos moderadamente profundos, de textura média, Nitossolos.
4 – Forte	Solo raro com horizonte B muito pouco espesso, Cambissolos com transição brusca.
5 – Muito Forte	Solos rasos e rochosos ou arenoso, Neossolos.
5 – Muito Forte	Solo orgânico, Gleissolo com alto hidromorfismo, Espodossolos e Tiomóficos. .

Fonte: Ross (2012). Tradução livre da autora.

Considerando o solo como elemento pertinente da análise de Fragilidade, a cobertura vegetal e o uso da terra se tornam, conseqüentemente, elementos a serem avaliados. O estudo da proteção dos solos pela cobertura vegetal passa necessariamente pela análise dos tipos de cobertura vegetal e das modalidades de uso da terra que se encontram sobre determinado solo. Essa análise é feita a partir de imagens de satélite ou de fotografias aéreas, a depender do tamanho da escala de trabalho, que ditará o melhor

tipo de imagem a ser utilizada. Ross (2012) sugere uma hierarquia dos graus de proteção, disposta na tabela abaixo.

Tabela 4: Classes de Fragilidade pela variável Cobertura vegetal e Uso da Terra

Classes de Fragilidade	Cobertura vegetal e uso da terra
1 – Muito Fraco	Muito alta proteção dos solos, florestas primárias e secundárias, com alto estágio de regeneração.
2 – Fraco	Alta proteção dos solos, florestas de savana densa, floresta com cobertura herbácea.
3 – Médio	Média proteção do solo de cultivos de ciclo longo com curvas e terraços entre ruas de café, laranja, mamão, silvicultura e pastagem de baixo pisoteio.
4 – Forte	Baixa proteção dos solos de culturas de ciclo longo sem forragem entre as ruas e de ciclo curto com terraços e em curvas.
5 – Muito Forte	Muito baixa proteção do solo, terras desmatadas com práticas de queimada, solos expostos para cultivo e terraplanagem, culturas de ciclo curto ausente de prática conservacionista.

Fonte: Ross (2012). Tradução livre da autora.

Finalmente, há as classes de fragilidade pelas variações pluviométricas, representadas por apenas um dígito numérico, dado que o clima abrange toda uma determinada região. Seguem abaixo as classes de fragilidade em função dessa variável.

Tabela 5: Classes de Fragilidade pela variável pluviométrica

Classes de Fragilidade	Características pluviométricas
1 – Muito Fraco	Situação de distribuição regular das chuvas ao longo do ano, com volumes anuais não muito acima de 1000 mm/ano.
2 – Fraco	Situação de distribuição regular das chuvas ao longo do ano, com volumes anuais não muito acima de 2000 mm/ano.
3 – Médio	Situação de distribuição desigual das chuvas ao longo do ano, com períodos de seca entre 2 a 3 meses no inverno; no verão chove com alta intensidade de dezembro a março, com volumes que variam de 1300 a 1600 mm/ano.
4 – Forte	Situação de distribuição desigual das chuvas ao longo do ano, com períodos de seca entre 3 a 6 meses e alta concentração das chuvas no verão, entre novembro e abril, quando chove de 70% a 80% do total, com volumes que variam de 1600 a 1800 mm/ano.
5 – Muito Forte	Situação de distribuição regular, ou irregular, das chuvas durante o ano, com volumes anuais que ultrapassam 2500 mm/ano, ou até comportamento irregular ao longo do ano, com episódios de alta intensidade de chuvas e baixo volume ano, abaixo de 900 mm/ano (semiárido).

Fonte: Ross (2012). Tradução livre da autora.

A carta de Fragilidade, produto final deste trabalho, será elaborada a partir de uma série de produtos cartográficos intermediários, tais como o mapa clinográfico, geomorfológico e de uso da terra. Uma vez que estes mapas temáticos estejam prontos, tem-se a base para a confecção da carta de Fragilidades Ambientais, produto cartográfico síntese, resultante da interseção das feições mapeadas anteriormente nos produtos intermediários. Estes recebem, conforme a metodologia para Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados (ROSS, 1993), dígitos numéricos provenientes das classes de Fragilidade, hierarquizadas de Muito Fraca a Muito Forte. A

combinação desses dígitos será realizada através da matriz obtida pela combinação dos dados, conforme a metodologia desenvolvida por Ross (1993).

Ross (1992) explica que a compreensão do relevo e da sua dinâmica passa impreterivelmente pelo entendimento do funcionamento e da interrelação entre os demais componentes naturais, como os solos, subsolo, clima e cobertura vegetal, e que isto é de expressivo interesse ao planejamento físico-territorial. Assim, a carta de Fragilidade terá esse propósito, de ser um estudo que identificará na área pesquisada, a partir da análise integrada, as manchas dos padrões de Fragilidade ali existentes, levando-se em consideração o conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977) ampliado por Ross (1993).

Em suma, neste estudo a tríade epistemológica (objetivo-teoria-método) se articula de modo que se pretende atingir o objetivo deste trabalho com base, sobretudo, na teoria sistêmica, tendo a análise integrada da Fragilidade como o principal procedimento metodológico.

5. ÁREA DE ESTUDO

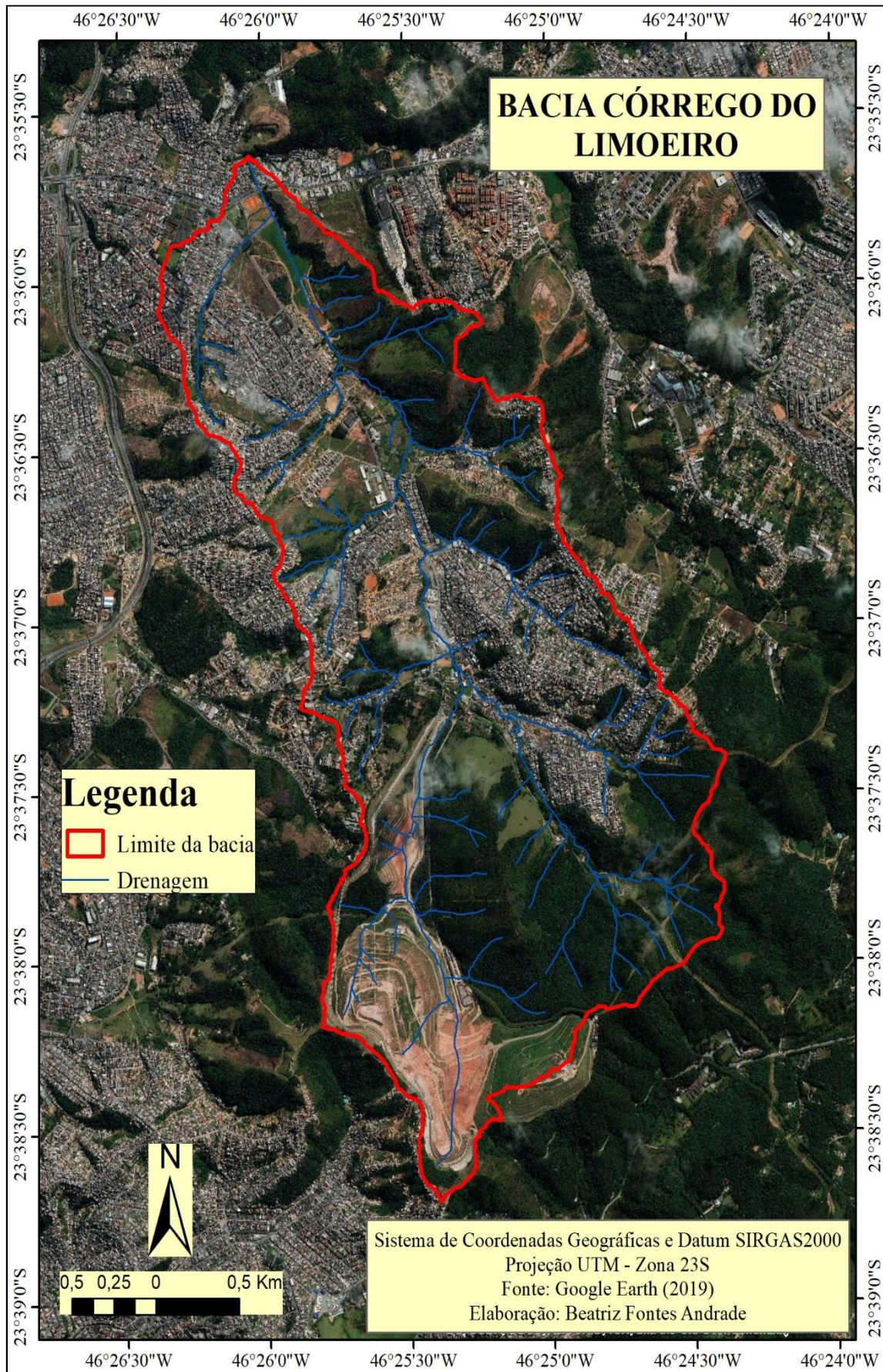
A bacia estudada está inserida no contexto do alto Aricanduva, região que até 1970 era considerada área rural do município de São Paulo. Como explica Déli (2005), a clara fragmentação do vale do Aricanduva em diferentes partes quanto à forma de ocupação deveu-se primeiro a uma estruturação fundiária complexa e às orientações de circulação de uma economia rural e colonial, depois devido à estruturação urbana da metrópole que veio a se consolidar sobreposta à antiga estrutura e de maneira não menos complexa, revela como a dinâmica da produção do espaço pode apresentar muita diversidade e variação, não só ao longo do tempo como também, simultaneamente, devido aos diversos processos ocorridos em cada período da ocupação. Nesse sentido, tem-se atualmente, por exemplo, um Aricanduva com médio a alto padrões de construção nos baixo e médio cursos da bacia, enquanto no alto curso ainda predomina o baixo padrão construtivo.

Déli (2005), retomado por Listo (2011), constatou que a ocupação urbana começou a se consolidar na área de estudo, no alto curso, de modo mais promissor a partir de 1979, momento em que o primeiro trecho da Avenida Aricanduva foi finalizado,

integrando o Anel Viário Metropolitano, que, além de firmar a integração da bacia do rio Limoeiro, bem como as outras sub-bacias do alto curso, ao centro de São Paulo, o colocou em contato direto com muitas rodovias, o que fortaleceu a ligação com o ABC paulista e promoveu uma forte expansão do setor terciário da economia.

Como visto, a área de estudo na qual a problemática desta pesquisa se insere diz respeito à bacia do rio Limoeiro (figura 4). Em um trabalho de cunho sistêmico, no entanto, a perspectiva da totalidade é de extrema relevância, partindo-se do que pressuposto que um sistema nunca é absolutamente autônomo. Como visto, um sistema qualquer faz parte de um outro sistema mais abrangente, que por sua vez está inserido em outro ainda maior e assim por diante. Nesse contexto, serão abordadas algumas características relacionadas à bacia do Aricanduva, sistema no qual a sub-bacia do Limoeiro, está inserida e com o qual realiza trocas energéticas na manutenção de seu equilíbrio dinâmico.

Figura 4: Delimitação da área de estudo



Fonte: Google Earth (2019), elaborado por Beatriz F Andrade.

A escolha de uma bacia hidrográfica enquanto unidade geográfica de análise é coerente com esta pesquisa por constituir em si um sistema, já exposto como conjunto de elementos que se encontram relacionados e ligados entre si e que formam uma determinada unidade e integridade, sendo um todo complexo, único, organizado, formado pelo conjunto ou combinação de objetos ou partes. Além do mais, segundo Gayoso (2014), a utilização de bacias hidrográficas em estágios de urbanização como unidade de análise da ciência geográfica, pode ajudar significativamente na reflexão sobre o uso e ocupação da terra, característica relevante nos estudos de fragilidade ambiental.

Após optar-se por uma bacia hidrográfica enquanto unidade analítica, procurou-se também chegar a uma que estivesse em situação de expansão urbana e na qual a geomorfologia regional fosse um fator desfavorável à ocupação antrópica.

Nesse sentido, a sub-bacia Córrego do Limoeiro, foi escolhida enquanto área de estudo e limite do sistema, sendo ainda uma área de transição de morros cristalinos para planície fluvial e terrenos sedimentares. Sua escolha passou, primeiramente, por consultas a imagens de satélite, ortofotos, e, na sequência, por reconhecimentos de campo das áreas previamente julgadas como apropriadas para a presente pesquisa, até que se chegasse na escolha final.

5.1 Características da geologia e da geomorfologia regional

A área pesquisada está situada em uma transição de duas unidades morfoestruturais. De um lado da planície fluvial está o cinturão orogênico do Atlântico, constituído por rochas cristalinas, enquanto do outro encontra-se a Bacia de São Paulo, terreno sedimentar cenozóico.

O cinturão orogênico do Atlântico, assim como os demais cinturões orogênicos do território brasileiro, é muito antigo, datado do Pré-cambriano. Trata-se de uma antiga cadeia montanhosa que se estende desde a parte oriental da região nordeste até o sudeste do estado do Rio Grande do Sul e apresenta um alto grau de complexidade do ponto de vista litológico e estrutural. Segundo Ross (1996), nele prevalecem as rochas metamórficas de variados tipos e idades, como os migmatitos, quartzitos, gnaisses, micaxistos, filitos e, em segundo plano, as intrusivas, tais como os granitos. Embora

erodido em diversas fases ao longo do tempo geológico e extremamente antigo, esse terreno cristalino ainda apresenta um “aspecto serrano”, que o levou a receber a alcunha de “mar de morro” por Aziz Ab’Saber.

Ambas as unidades morfoestruturais nomeadas acima estão sob a mesma morfoescultura, o Planalto Atlântico. Houve nesta unidade diversas fases de retrabalhamento ao longo de milhões de anos, ocorridos nos ciclos Transamazônico e Brasileiro, além da Reativação Walderiana (GAYOSO, 2014, p. 18). Nesse contexto, apresenta faixas de dobramentos, falhas e juntas, que foram acompanhados por metamorfismos regionais e intrusões, tratando-se de uma faixa de orogenia antiga que, a partir desse tectonismo proveniente das várias fases orogenéticas do Pré-Cambriano sucedidas por ciclos de erosão (ROSS, 1996) , formou as principais características do relevo regional.

O Planalto Paulistano é a unidade morfológica sobre a qual está a área de estudo. A respeito dele, Gayoso (2014) explica, a partir de Ab’Saber (2007), que está “na subzona das morrarias de Embu em transição com as colinas de São Paulo, especificamente, no reverso da escarpa da Serra do Mar, um “peneplano parcial, esculpido diretamente em micaxistos e gnaisses das formações pré-cambrianas regionais”. Listo (2011, p. 43), a respeito do relevo na bacia do córrego do Limoeiro e do Planalto Paulistano, ilustra (fig. 5) e fundamenta:

Este planalto apresenta formas de relevo bastante acentuadas, no qual os processos intempéricos atuantes na denudação dos terrenos e na conformação da paisagem ajudaram a formar um relevo local bastante dissecado, onde também se encontram anfiteatros de erosão nas cabeceiras de drenagem (EMPLASA, 1980; ROSS & MOROZ, 1997; DAEE, 1999).

Figura 5: Exemplo de relevo dissecado (setas amarelas) e presença de ocupações precárias em relevos do tipo anfiteatro na bacia do Limoeiro



Fonte: Listo (2011).

Os padrões de formas encontrados na área de estudo podem ser resumidos em morros e colinas de topos convexos, fundos de vale abertos e planícies fluviais. Verifica-se uma associação dos morros de topo convexo aos micaxistos, enquanto as colinas, também de topo convexo, estão associadas aos sedimentos terciários da bacia de São Paulo. À planície fluvial, por sua vez, associam-se os sedimentos aluvionares quaternários do Holoceno. Essas relações são estabelecidas a partir da análise da carta geológica da bacia do Aricanduva (Fig. 6), bem como alicerçadas em trabalhos acadêmicos realizados nesta bacia, como a dissertação de mestrado de Listo (2011) e o Trabalho Individual de Graduação de Dantas (2014). As questões mais diretamente relacionadas aos padrões de

formas, anteriormente citados, e à tipologia das vertentes serão expostas e melhores discutidos na apresentação do mapa geomorfológico da área de estudo.

Figura 6: Carta geológica da bacia do rio Aricanduva



Fonte: DAEE.

A litologia e o relevo, na bacia do rio Aricanduva, estão associados de modo que as rochas mais resistentes vinculam-se às altitudes e declividades mais proeminentes, ao passo que à planície fluvial, área alagável em níveis de base das vertentes, estão associados os sedimentos aluvionares quaternários. Assim, os terrenos de rochas cristalinas, mais resistentes, tendem a apresentar maiores altitudes, chegando, por exemplo, a mais de 900 m, e declividades, que podem beirar os 80% no alto curso onde está a área de estudo. Já as colinas sedimentares, em função de sua litologia, tendem a apresentar altitudes e declividades menos expressivas. Essas relações, todavia, podem ser observadas posteriormente, a partir dos mapas hipsométrico e clinográfico.

Em síntese, o alto curso da bacia do Aricanduva, onde localiza-se a bacia córrego do Limoeiro, é então constituído predominantemente por rochas metamórficas pré-cambrianas, principalmente por micaxistos do complexo Embu, encontrando-se como rochas primárias o micaxisto e o quartzito, e, dentre as rochas secundárias, o milonito,

anfíbolito, rocha calcissilicática e metaultramáfica. Uma porção pouco menos expressiva da bacia córrego do Limoeiro, se comparada à unidade de xistos, é composta por terreno sedimentar da bacia de São de Paulo, na qual as rochas primárias encontradas são o arenito, argilito, siltito e arenito conglomerático. No médio curso também predominam as rochas metamórficas citadas anteriormente, além de ocorrerem gnaisses e migmatitos em menor expressão, enquanto que no baixo curso se destaca a presença predominante do terreno cenozóico da bacia sedimentar de São Paulo, como pode ser observado também na figura 6.

Listo (2011, p. 42), a respeito da preponderância dos micaxistos na área de estudo, explica:

As características geológicas e geotécnicas dos micaxistos e o seu comportamento bastante sensível às intervenções antrópicas condicionam processos de instabilização notáveis nas áreas onde estão localizados na bacia. Segundo IPT (2005), 75% dos escorregamentos ocorreram em áreas de micaxisto no verão de 2005, comprovando tal situação.

O autor ainda expõe que, de acordo com Infanti e Fornasari (1998), a ocorrência de rochas pré-cambrianas, especialmente os micaxistos, bastante porosas, permeáveis e friáveis, favorece o desencadeamento de um intenso processo erosivo, como ravinas e voçorocas e de movimentos de massa. Essa é uma situação muito preocupante na bacia do Limoeiro, onde a urbanização em estágio de expansão avança cada dia mais em direção à montante, área que apresenta maiores declividades, revelando morros mais inclinados nas proximidades das nascentes da bacia do rio Aricanduva. Conforme a Carta Geotécnica do Município de São Paulo (IPT, 1984), a topografia regional é fortemente desfavorável à ocupação antrópica sem planejamento nesta porção da bacia, uma vez que se trata de uma área muito sujeita a processos erosivos e movimentos de massa.

5.2 Condições climáticas

Predomina na bacia do rio Aricanduva o clima tropical sub-úmido, apresentando uma boa definição dos regimes pluviométricos. Segundo o Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo, a pluviosidade total anual média da bacia está compreendida entre 1.300 e 1.400 mm, de modo que o período de outubro a março figura como estação chuvosa, tendo um índice no entorno de 1.000 mm, ao passo que a estação seca, entre abril e setembro,

apresenta um índice médio pouco inferior a 300 mm (DANTAS, 2014). Assim sendo, os maiores índices pluviométricos ocorrem no verão, em contrapartida dos menores, que ocorrem no inverno.

Dantas (2014) realizou um estudo acerca do fenômeno das inundações na bacia do Aricanduva, reunindo e sistematizando dados da pluviometria ali incidente no período de 2003 a 2013, de modo averiguar essa distribuição das chuvas na bacia e sua influência na ocorrência de inundações. A partir de dados fornecidos pelo DAEE, Dantas elaborou uma série histórica da pluviometria regional, produzindo os seguintes gráficos:

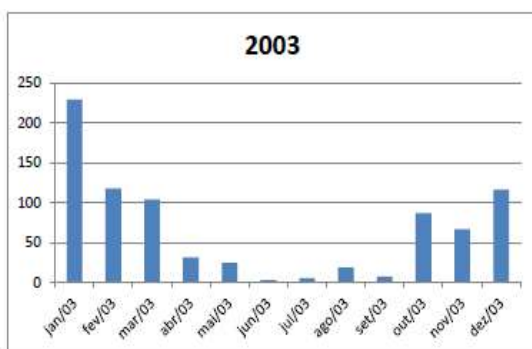


Gráfico 1 - Acumulado de chuvas - ano 2003

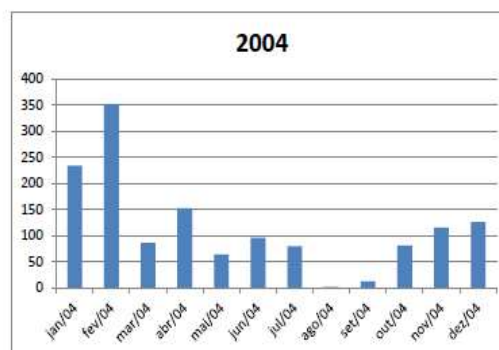


Gráfico 2 - Acumulado de chuvas - ano 2004

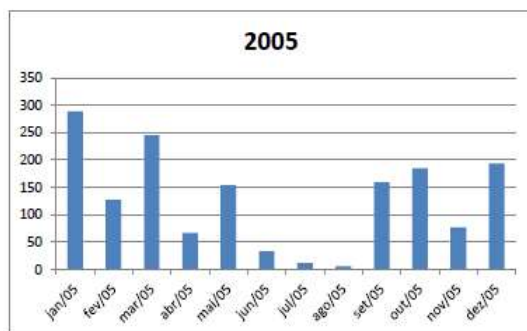


Gráfico 3 - Acumulado de chuvas - ano 2005

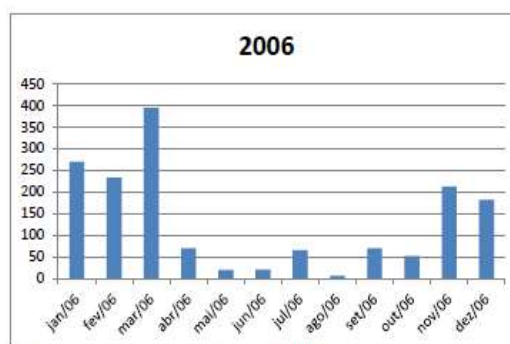


Gráfico 4 - Acumulado de chuvas - ano 2006

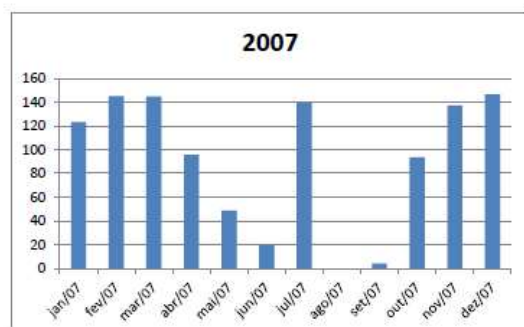


Gráfico 5 - Acumulado de chuvas - ano 2007

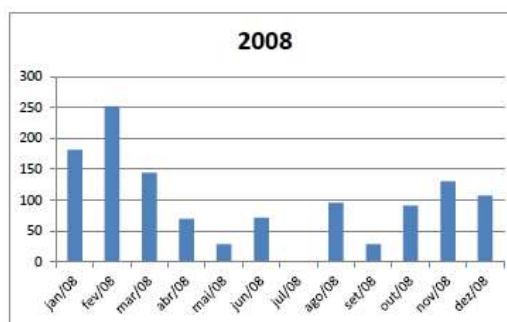


Gráfico 6 - Acumulado de chuvas - ano 2008

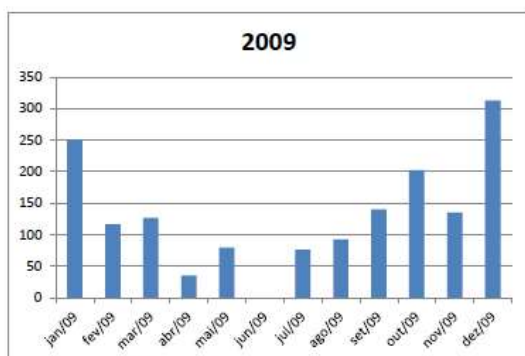


Gráfico 7 – Acumulado de chuvas – ano 2009

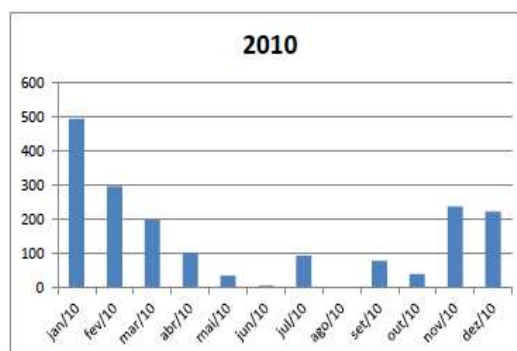


Gráfico 8 – Acumulado de chuvas – ano 2010

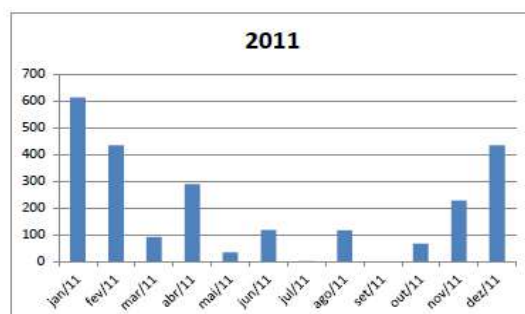


Gráfico 9 – Acumulado de chuvas – ano 2011

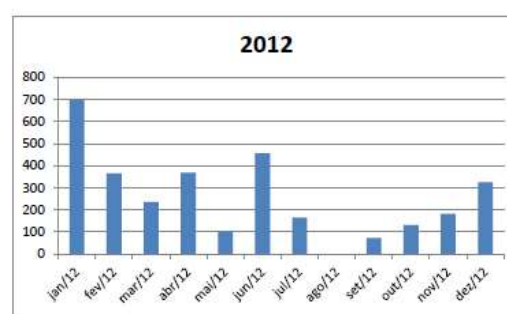


Gráfico 10 – Acumulado de chuvas – ano 2012

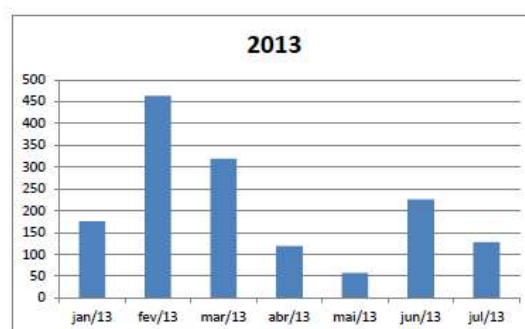


Gráfico 11 – Acumulado de chuvas – ano 2013

Como é possível observar nos gráficos, os volumes de chuva são de fato mais intensos no período citado anteriormente, de outubro a março, apresentando apenas 2007 como um ano atípico, no qual precipitou um grande volume no mês de julho, normalmente considerado dentro do período de estiagem.

É pertinente ressaltar que a bacia do rio Aricanduva apresenta graves problemas relacionados ao fenômeno das inundações. O entendimento desse fenômeno envolve diversos fatores a serem considerados, extrapolando o parâmetro da climatologia e do regime de chuvas, que, embora muito significativo e comprovadamente influente na ocorrência do fenômeno, é frequentemente apontado pelos meios midiáticos como o grande responsável pelas inundações. A ocorrência desse fenômeno na bacia resulta de

uma integração de variáveis, não só naturais como humanas, estando entre elas, além da climatologia e do regime de chuvas, os padrões de uso e ocupação da terra, a urbanização das áreas mais ocupadas, seguida da impermeabilização do solo, e a geomorfologia regional, que tem destaque na contribuição do fenômeno das inundações na bacia do Aricanduva, uma vez que a planície fluvial ali presente favorece os episódios de enchentes naturalmente (DANTAS, 2014).

6. PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS

Para que se chegasse no objetivo final desta pesquisa, o mapa de fragilidade ambiental da área de estudo escolhida, foi necessário reunir uma série de informações relacionadas aos aspectos físicos e humanos presentes na bacia hidrográfica do Limoeiro. Estes parâmetros não foram escolhidos arbitrariamente, mas sim seguindo as variáveis mais importantes em um estudo de fragilidade ambiental a partir da metodologia preconizada por Ross (2012).

Neste contexto, figuram como as principais variáveis de um estudo de fragilidade a declividade do terreno; altimetria; pedologia; uso e ocupação da terra e o clima, com foco no regime pluviométrico. As informações relacionadas a essas variáveis foram trabalhadas e sistematizadas a partir de técnicas de geoprocessamento, mais especificamente do ArcMap do *software* ArcGIS 10.5, de modo que se elaborasse produtos cartográficos imbuídos destas informações. Ressalta-se que confecção destes produtos deve ocorrer seguindo-se uma ordem específica, uma vez que determinado produto gerado serve de base para elaborar o outro. Assim, os produtos cartográficos que serviram de subsídio para este trabalho foram: o mapa hipsométrico, que expressa os intervalos altimétricos presentes na área de estudo; o mapa clinográfico, no qual se avalia as declividades do terreno; o geomorfológico, visando sobretudo a análise da tipologia das vertentes, além da litologia e cobertura pedológica; e os mapas de uso e ocupação da terra, no quais se avalia o desenvolvimento e tendências nos padrões de uso e ocupação da bacia ao longo do tempo. A variável do clima, sobretudo da pluviometria, não foi sistematizada em um produto cartográfico pelo fato de ser uma só para toda a área pesquisada, todavia foi considerada como importante parte do estudo e das análises.

Os mapas citados acima recebem o nome de produtos cartográficos intermediários da pesquisa, haja vista que são os subprodutos que levam ao resultado manifestado no produto cartográfico final deste trabalho, o mapa de fragilidade ambiental. Cabe ressaltar que este não é simplesmente um mapa síntese, mas sim o produto da síntese das informações anteriores, mostrando mais que a simples soma das informações dos subprodutos, uma vez que, a partir da interação mútua e interdependente, constituem um todo complexo, particular e organizado.

6.1 Elaboração dos produtos cartográficos intermediários

Será exposta aqui uma breve descrição de como se deu a elaboração e ordem de confecção de cada mapa intermediário, já citados anteriormente, bem como a organização de suas legendas.

Todos os mapas temáticos analíticos, secundários e final, foram elaborados no *software* ArcGIS 10.5 e representados em escala 1:17.000, diferindo apenas a escala de trabalho que variou de 1:2.000 a 1:5.000. A projeção de todos é a Transversa de Mercator, com o Datum SIRGAS2000, fuso 23 S.

6.1.1. Mapa Hipsométrico

O primeiro passo foi delimitar a bacia do Limoeiro em seus limites externos. Isso foi feito construindo um polígono a partir do divisor de águas, com bases nas curvas de nível de 5 em 5 m extraídas do Geosampa, site da prefeitura onde encontra-se o mapa digital da cidade de São Paulo e uma série de camadas e arquivos para serem baixados. A partir do polígono criado e cortado pela ferramenta *clip*, construiu-se um segundo *layer*.

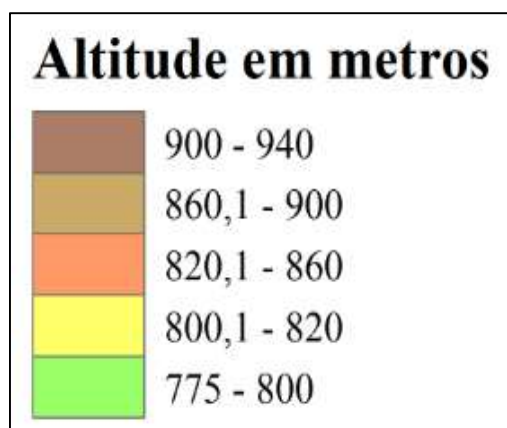
O *layer* criado foi utilizado como uma máscara (*extract by mask*), tanto para mostrar apenas o interior da bacia, representação que interessa à pesquisa, como para extrair da camada de drenagem, também proveniente do Geosampa, a área que abrange a

bacia do Limoeiro. As curvas de nível e rede de drenagem, extraídas a partir da máscara, foram utilizadas em todos os mapas.

Para a geração dos produtos cartográficos, elaborou-se, a partir da entradas das feições de curva de nível e hidrografia, um Modelo Digital do Terreno (MDT) por meio da ferramenta *Topo to Raster*, obtendo um arquivo *raster* como produto, que guarda em suas células as informações e valores provenientes das feições utilizadas em sua criação.

Após a geração do arquivo *raster*, foi feita a classificação dos intervalos altimétricos. A bacia do Limoeiro apresenta uma variação de altitude de 775 a 940 m e, no intuito de representar a topografia o melhor possível, foram estabelecidas cinco classes de intervalos altimétrico. A escolha dos intervalos foi realizada em conjunto com o orientador desta pesquisa, após alguns testes para verificar quais expressariam visualmente melhor a topografia da área de estudo. As cinco classes definidas estão representadas abaixo:

Figura 7: Classes altimétricas



Fonte: Beatriz F Andrade (2019)

6.1.2. Mapa Clinográfico

O mapa clinográfico cumpre a função de representar as inclinações do terreno de uma determinada área. Constitui-se em elemento fundamental a ser analisado dentro da pesquisa geomorfológica, tendo em conta que os ângulos de declividade controlam a disponibilidade da força gravitacional para o trabalho das formas de relevo (STRAHLER, 1956), sendo um dos responsáveis pela intensidade e frequência dos

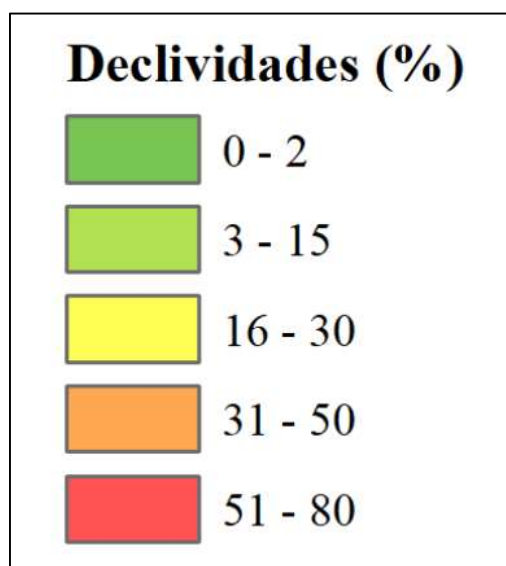
processos erosivos. Além disso, é muito importante no processo de setorização das classes geomorfológicas e na correspondência relevo com a cobertura pedológica.

O mapa hipsométrico é necessário para a confecção do clinográfico, pois o *raster* altimétrico é utilizado pelo ArcMap nos cálculos exigidos para a elaboração do mapa de declividades, o que justifica a ordem de geração destes produtos cartográficos.

Uma vez que já se tem o *raster* altimétrico, utiliza-se a ferramenta *Slope* do software, contida em *Spatial Analyses*. Esta ferramenta, conforme explica Martins (2016), realiza um cálculo da taxa da máxima alteração nas elevações sobre a distância entre uma célula do *raster* e suas células vizinhas, reconhecendo a descida mais acentuada em declive a partir desta célula, considerando que o valor de cada célula corresponde às altimetrias do terreno. Já o valor da inclinação do plano é calculado com a técnica da média máxima.

As inclinações do terreno podem ser mensuradas tanto em graus como em porcentagem. Neste trabalho optou-se pela mensuração em porcentagem, embora o cálculo em graus também seja perfeitamente aceitável. As classes de declividade seguiram a proposta atualizada de Ross (2012), extraídas de seu artigo “Landforms and Environmental Planning: Potentialities and Fragilities”. Assim, foram estabelecidas da seguinte maneira:

Figura 8: Classes de declividades na área de estudo



Fonte: Beatriz F Andrade (2019)

6.1.3. Mapa geomorfológico

O mapa geomorfológico foi confeccionado, neste estudo, com foco na proposta taxonômica encontrada no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo de Ross & Moroz (1997), especialmente até o 5º táxon do relevo, referente à tipologia de vertentes. Também foram identificadas duas antropofomas, inclusas no 6º táxon, restritas às classes corte e aterro.

Este mapa foi desenvolvido a partir da delimitação de polígonos, vetorizados manualmente no ArcMap para se identificar, sobretudo, os tipos de vertentes presentes na área de estudo. Todo o processo foi realizado em escalas de detalhe, entre 1:2.000 e 1:5.000.

O principal método de mapeamento foi através das curvas de nível, vetorizadas de cinco em cinco metros. As curvas utilizadas foram as mesmas envolvidas na confecção dos dois mapas anteriores, obtidas no site do Geosampa. Além das curvas de nível, foram muito úteis no reconhecimento dos polígonos os próprios mapas hipsométrico e de declividades, dando força à importância de que os produtos cartográficos fossem desenvolvidos na ordem que têm sido exposta aqui. Ortofotos da Emplasa (2007) e imagens de satélite do Google Earth (2019) foram meios a que se recorreu para esclarecer eventuais dúvidas que surgiam ao longo do processo de vetorização dos tipos de vertentes presentes na bacia.

Foi elaborada uma legenda integrada, inspirada na que acompanha o Mapa Geomorfológico de Ross & Moroz (1997), inserindo-se a proposta taxonômica do relevo preconizada por Ross (1992). A legenda que acompanha o mapeamento aqui realizado traz informações sobre, principalmente, os cinco primeiros táxons do relevo, sendo eles a morfoestrutura (1º táxon); morfoescultura (2º táxon); unidade morfológica (3º táxon); padrões de formas semelhantes (4º táxon) e morfologia de vertentes (5º táxon). As formas detalhadas (6º táxon) na área de estudo não foram muito aprofundadas, reconhecendo-se apenas antropofomas como corte e aterro. Ross (1992, p. 20) explica que a partir dos táxons ou categorias de formas de relevo definidos, pode-se operacionalizar uma pesquisa

geomorfológica com maior facilidade, possuindo como apoio a cartografia das formas de relevo de diferentes tamanhos.

Além dos táxons, foram incluídas na legenda as predominâncias altimétricas e de declividade em cada tipo de vertente encontrada, seguidas pela litologia, com ênfase nas principais rochas existentes, e solos dominantes. Abaixo, na figura 9, está exposto o cabeçalho da legenda integrada desenvolvida, no programa Excel 2016, para o mapa geomorfológico da bacia do Limoeiro.

Figura 9: Legenda integrada da área de estudo

LEGENDA INTEGRADA PARA O MAPA GEOMORFOLÓGICO									
Unidade Morfo-estrutural 1° Táxon	Unidade Morfo-escultural 2° Táxon	Unidade Morfológica 3° Táxon	Padrões de Formas 4° Táxon	Morfologia de Vertentes 5° Táxon	Formas detalhadas 6° Táxon	Declividades	Intervalo Altimétrico	Materiais	
								Litologia	Solos

Fonte: Ross & Moroz (1997), adaptado.

Para este trabalho, considerou-se importante abranger o mapeamento até 5° táxon, referente às formas das vertentes, em função da característica reveladora, apresentada por elas, dos processos pretéritos e, sobretudo, atuais envolvidos na história geomorfológica do relevo. A respeito das vertentes e da dinâmica do relevo, Ross (1992, p. 21) explica:

[...] Os processos erosivos ou de esculturação operantes no momento atual se manifestam ao longo das vertentes. A dinâmica atual do relevo melhor se manifesta nas vertentes e é, portanto, neste táxon que o homem pode melhor perceber e atuar junto aos processos morfogenéticos, pois a vertente é o resultado da morfogênese ou morfodinâmica viva, presente, atual.

Cassetti (2005), citado por Martins (2016), argumenta que a vertente pode revelar processos decorrentes ou intensificados pela ação e alterações socioeconômicas das sociedades nesse relevo, ou seja, o uso e a forma que a sociedade se apropria de um meio gera alterações em sua dinâmica, podendo por exemplo, causar alterações nos processos morfoclimáticos e morfodinâmicos.

A classificação das vertentes é realizada em conformidade com a forma por elas assumida, assim, foram aqui agrupadas em setores de vertentes convexas, côncavas e retilíneas. Todos setores observados na área pesquisada estão ilustrados e descritos no mapa geomorfológico propriamente dito.

6.1.4 Mapas de uso e ocupação da terra

Este tipo de mapa temático expressa a distribuição de padrões de uso do espaço e da cobertura da superfície, observados inicialmente em imagens de satélite ou fotografias aéreas (ROSS, 1993). Nesta pesquisa, a fim de obter uma análise evolutiva do uso, pretendeu-se trabalhar com três recortes espaço-temporais, sendo um deles anterior ao ano 2000, outro de 2010 e um último o mais atual possível. Segundo Gayoso (2014, p. 71), esse tipo de registo cartográfico se torna um importante instrumento para construção de diagnósticos ambientais e principalmente para a avaliação da fragilidade ambiental frente às ações antrópicas expressas na paisagem.

Para esta pesquisa confeccionou-se dois mapas de uso e ocupação da terra, sendo um de 2010 e outro de 2019. Estes mapas foram elaborados através do mesmo método utilizado no mapeamento geomorfológico, que consiste na delimitação de polígonos identificando-se determinadas classes presentes na área de estudo. O principal meio para se delimitar os polígonos, no entanto, ao invés de curvas de nível, foram produtos de sensores remotos: ortofotos da Emplasa, de 2010, e imagens de satélite do Google Earth, deste ano de 2019. Listo (2011), realizou em seu trabalho, direcionado à mesma bacia, um mapeamento de uso do ano 1973 e, haja vista a dificuldade para adquirir ortofotos ou imagens de satélite anteriores ao ano 2000 para a área pesquisada, foi decidido utilizar seu mapa para compor este trabalho, completando assim os três mapas de uso dentro recortes temporais almejados.

Optou-se por utilizar imagens de satélite do Google Earth de 2019 em função da excelente qualidade de detalhes e resolução apresentada por elas na área pesquisada. Além disso, são muito atuais, mostrando a realidade do uso e da ocupação da terra vigente, neste ano, na bacia. Para o ano de 2010, as ortofotos da Emplasa permitiram comunicar melhor visualmente, pois a grande quantidade de nuvens nas imagens de satélite do Google, para este ano, atrapalharia a precisão do mapeamento.

Para que as imagens de 2019, provenientes do Google Earth, pudessem ser utilizadas no *software* ArcMap, foi necessário tornar suas coordenadas conhecidas no mesmo sistema de referência das ortofotos da Emplasa, ou seja, georreferenciá-las. Após este processo, procedeu-se da mesma maneira nos dois mapeamentos, reconhecendo e delimitando os polígonos.

A análise do uso e ocupação da terra é muito relevante em um estudo de fragilidade ambiental, uma vez que determina o grau de exposição ou proteção de determinada área. Nesse sentido, buscou-se estabelecer algumas classes de uso a partir da análise das ortofotos e imagens de satélite, reconhecendo padrões recorrentes ou importantes na bacia. Assim, foram estabelecidas nove classes, predominantes na área de estudo, que são exibidas abaixo na figura 10.

Figura 10: Classes de uso e ocupação da terra na bacia do Limoeiro



Fonte: Beatriz F Andrade (2019).

Após a elaboração dos mapas, foi feita uma tabela a fim de se demonstrar cada classe de uso. Inseriu-se imagens de satélite da própria bacia, obtidas no Google Earth (2018), ilustrando cada classe mapeada, seguida por imagens ilustrativas, não necessariamente da própria área de estudo e, por fim, a cor utilizada na representação dos mapas elaborados. Abaixo, na figura 11, está exposto um exemplo da tabela.

Figura 11: Exemplo da tabela elaborada para ilustrar o mapa de uso da terra

Imagem de Satélite	Foto ilustrativa*	Classe de uso da terra mapeada	Cor utilizada na representação
		Florestas	

Fonte: Beatriz F Andrade (2019).

6.2 Elaboração do Mapa de Fragilidade Ambiental, produto final da pesquisa

Este mapa é resultado da combinação de diversos elementos mapeáveis expressos na superfície, considerando tanto aspectos de ordem ambiental quanto da complexidade socioeconômica, no contexto da ciência geográfica. A fragilidade mapeada neste produto cartográfico foi dividida em unidades de instabilidade potencial (estáveis), e emergente (instáveis), seguindo os novos critérios incorporados por Ross às Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), e como visto, vai de 1, muito fraca, a 5, muito forte. É o produto da pesquisa, reunindo diversos elementos relevantes para o estudo da Fragilidade e passíveis de serem cartografados.

A combinação dos índices de fragilidade é composta por quatro algarismos e define o grau desta, que como visto vai de muito fraca, representada pelo dígito 1, a muito forte, representada pelo 5. Na metodologia preconizada por Ross (2012), o 1º dígito refere-se à declividade e tem maior peso na definição da fragilidade; o 2º dígito está relacionado à variável pedológica; o 3º à variável cobertura vegetal e uso da terra e, por fim, o 4º se relaciona ao clima, principalmente à pluviometria. Massa & Ross (2012) exemplificam que a combinação 5555, constitui valor extremo, em que todas as variáveis são desfavoráveis: declividade do relevo muito baixa, porém em área suscetível à

inundações (5), gleissolos melânicos muito suscetíveis à erosão (5), desprovido de cobertura vegetal (5) e com totais pluviométricos elevados regularmente distribuídos ou não durante o ano.

A respeito da preponderância da declividade, Gayoso (2014, p. 83) explica:

Quanto menos inclinada a vertente, maior a estabilidade dos objetos às motivações gravitacionais, incentivos estes que culminam em processos de erosão, queda de blocos e desmoronamento de edificações humanas, como as autoconstruções que compõem, ou não, as favelas. Assim, quanto mais inclinado o relevo mais forte é a fragilidade, quanto menos inclinado mais fraca é a fragilidade.

É importante ressaltar que embora haja uma predominância da variável declividade, a Fragilidade é condicionada por mais de um fator. Assim, a litologia, cobertura pedológica, uso da terra/cobertura vegetal e pluviometria são levados o tempo todo em consideração, caso contrário o mapa final seria idêntico ao clinográfico.

Este mapa foi elaborado em algumas etapas. Em um primeiro momento, realizou-se manualmente uma proposta da fragilidade emergente, para as áreas onde o homem modificou significativamente o ambiente natural, a partir da legenda integrada do mapa geomorfológico. Para tanto, atribuiu-se combinações de índices de 1 a 5, onde 1 é muito fraco e 5 muito forte. Na sequência utilizou-se os *shapfiles* dos produtos cartográficos intermediários, expostos nos itens anteriores, para interseccionar suas informações através da ferramenta *Intersect* do ArcMap. Nesta ferramenta o *software* faz a intersecção geométrica dos *shapfiles*, bem como de suas tabelas, dando origem a um produto cartográfico que considera em suas feições as informações provenientes da declividade, geomorfologia e pedologia. A variável pluviométrica foi considerada a mesma para toda a área de estudo.

O primeiro mapa elaborado manualmente, em uma folha de papel, foi utilizado apenas para se ter maior controle dos resultados apresentados pelo mapa gerado através do *software*, servindo para refletir melhor a fragilidade da área de estudo. Uma vez gerado o mapa de Fragilidade emergente, realizou-se algumas pequenas modificações, vetorizando algumas partes das vertentes para corrigir eventuais equívocos, sobretudo na planície fluvial, a fim de reforçá-la como uma área de fragilidade muito forte.

As áreas em estado de equilíbrio dinâmico, ainda não incorporadas aos espaços produtivos da sociedade, são denominadas Unidades Estáveis ou de Instabilidade Potencial. Por sua vez, foram totalmente vetorizadas dentro do próprio mapa de fragilidade emergente. Consultando o último mapa de uso e ocupação da terra, de 2019, e as combinações de índices de fragilidade estipuladas para as áreas onde havia cobertura vegetal, delimitou-se no ArcMap os polígonos de fragilidade, que também vão de 1 a 5. No processo de vetorização a escala de trabalho utilizada foi de 1:2.500. Na figura 12 observa-se divisão da Fragilidade em Emergente e Potencial, bem como as cores utilizadas em cada uma.

Figura 12: A classificação da Fragilidade

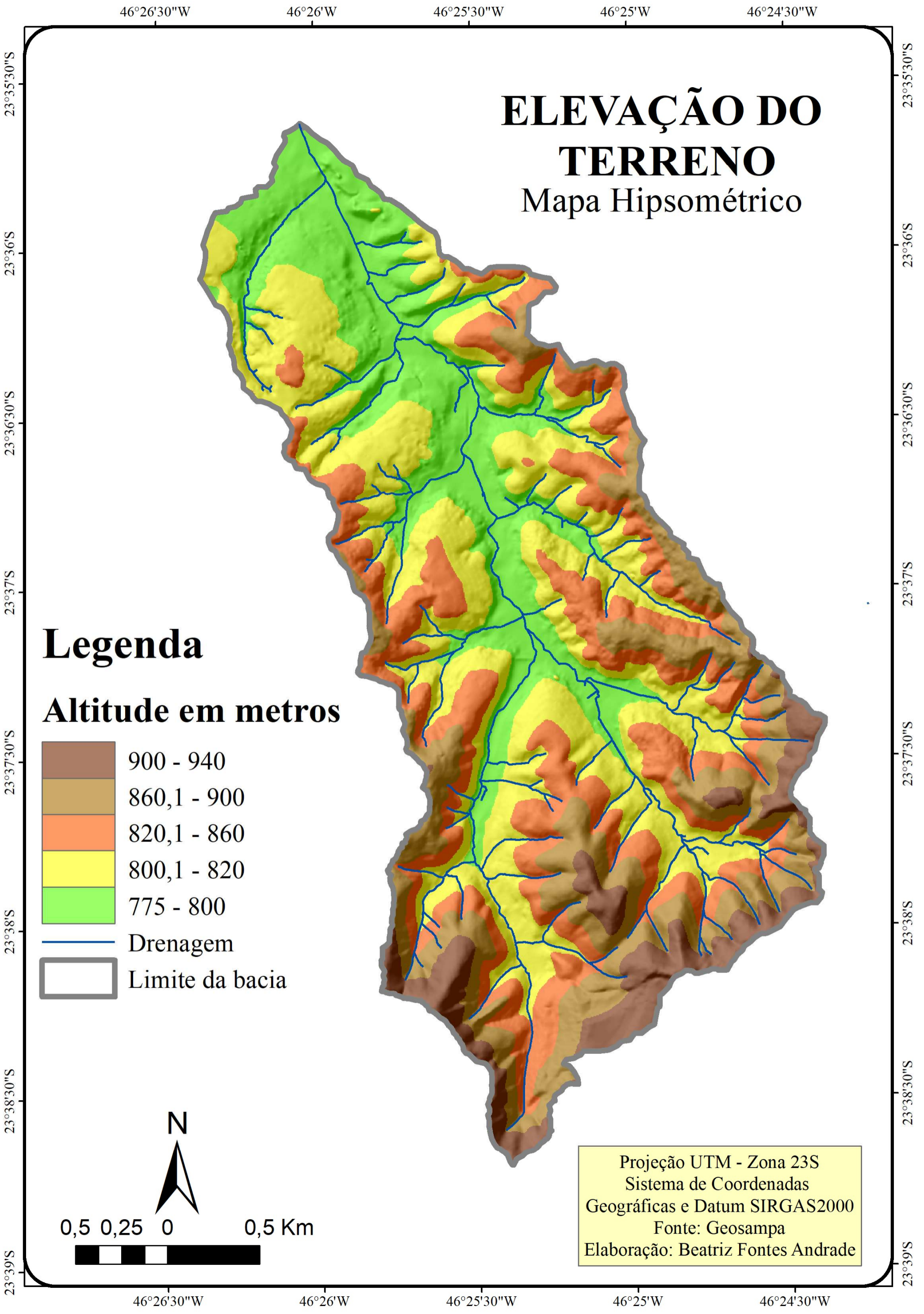


Fonte: Beatriz F Andrade (2019)

7. RESULTADOS DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS INTERMEDIÁRIOS

Abaixo são apresentados os produtos confeccionados nesta pesquisa, seguidos da discussão dos resultados obtido.

O **mapa Hipsométrico** foi o primeiro produto cartográfico a ser elaborado. A partir dele foi possível constatar que a área de estudo apresenta um intervalo altimétrico que vai de 775 a 940 metros, apresentando uma variação de 165 metros de altitude, apresentada no mapa abaixo, em cinco classes de intervalos altimétricos.



A partir da observação do mapa Hipsométrico nota-se o gradativo aumento da altitude à medida que se afasta da planície fluvial, pronunciando morros e colinas. Enquanto a planície abrange uma área de 775 a 800 metros de altitude, o relevo a ao seu redor atinge progressivamente os 940 metros, especialmente ao sul da área de estudo, em direção às nascentes da bacia.

Também se destaca a diferença de altitude entre as porções Noroeste e Leste da área de estudo, uma vez que a primeira apresenta uma variação altimétrica significativamente menor que a segunda. Enquanto a porção leste chega a beirar facilmente os 900 metros, a noroeste figura entre os 820,1 e 860. O Sul, por sua vez, evidencia as maiores altitudes, atingindo os 940 metros. Nesse sentido, parece clara a diferença, em termos altimétricos, entre a porção noroeste e o restante da área de estudo.

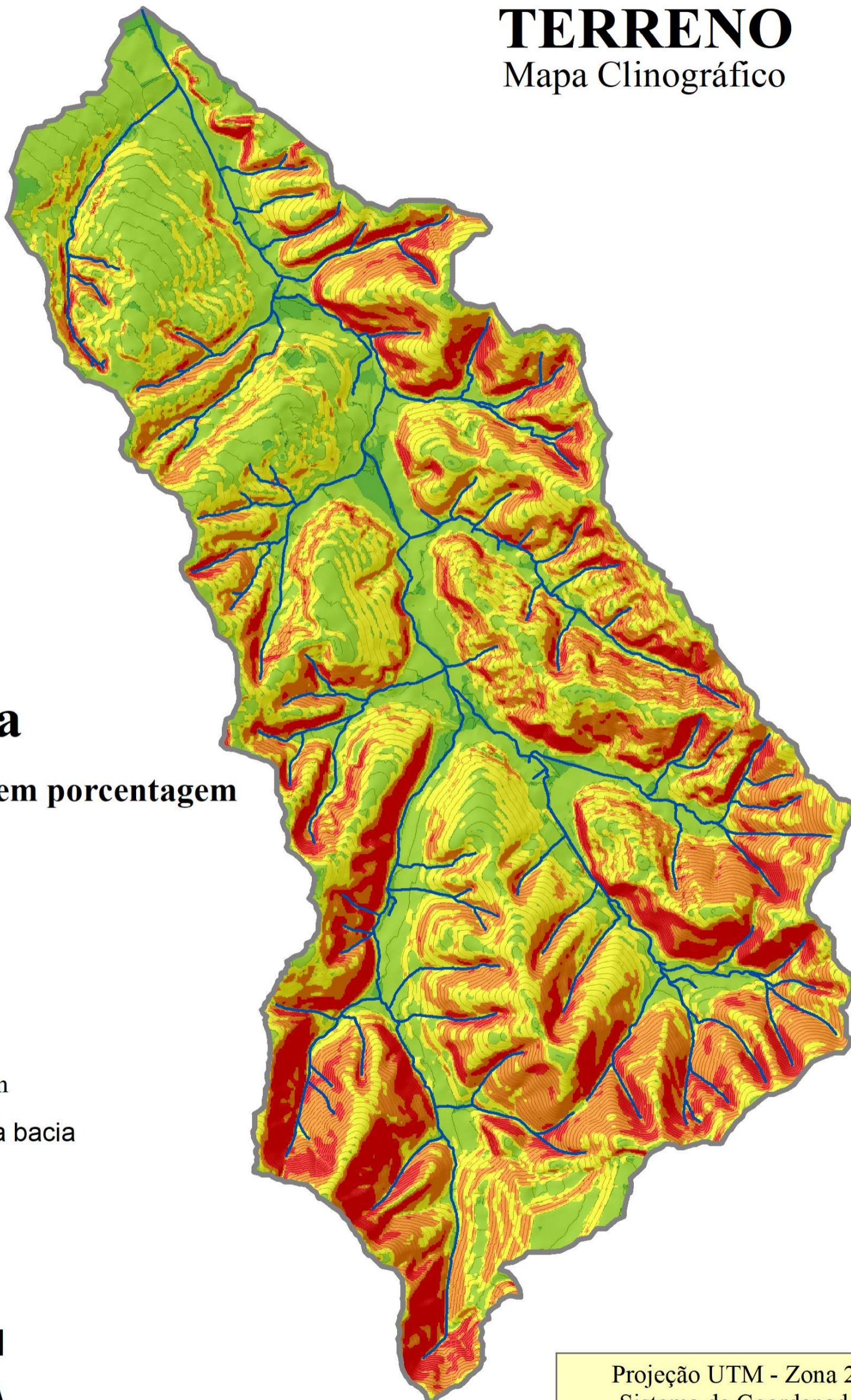
A espacialidade e a distribuição das altitudes fornecem importantes informações acerca do relevo que, associadas à análise litológica, podem explicar suas ocorrências. Assim, os próximos produtos cartográficos se integram, cumprindo a função de auxiliar na investigação do relevo e da Fragilidade na área estudada.

O **mapa Clinográfico**, ou mapa de declividades, ao apresentar as inclinações do relevo na área de estudo, também auxilia na compreensão e distribuição de suas formas. Abaixo tem-se a espacialização das classes de declividade mapeadas na bacia, expressas no produto cartográfico.

46°26'30"W 46°26'W 46°25'30"W 46°25'W 46°24'30"W



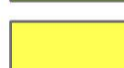




DECLIVIDADE DO TERRENO

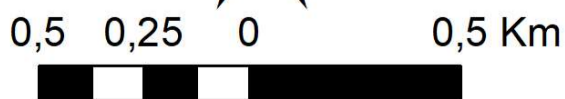
Mapa Clinográfico



Legenda

Declividade em porcentagem

-  0 - 2
-  3 - 15
-  16 - 30
-  31 - 50
-  51 - 80
-  Drenagem
-  Limite da bacia



Projeção UTM - Zona 23S
Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum SIRGAS2000
Fonte: Geosampa
Elaboração: Beatriz Fontes Andrade

46°26'30"W 46°26'W 46°25'30"W 46°25'W 46°24'30"W

23°35'30"S
23°36'S
23°36'30"S
23°37'S
23°37'30"S
23°38'S
23°38'30"S

23°35'30"S
23°36'S
23°36'30"S
23°37'S
23°37'30"S
23°38'S
23°38'30"S
23°39'S

A partir da análise do mapa Clinográfico é possível constatar que, bem como ocorre no mapa hipsométrico, a porção Noroeste da bacia apresenta características que destoam das demais.

A porção Noroeste apresenta declividades não muito acentuadas, predominantemente de até 15% e com alguns setores de até 30%, sendo pouco expressiva a presença de classes maiores que estas, que se restringem às vertentes côncavas por onde são direcionadas as águas dos rios. Isso é esperado, pois este processo de direcionamento do fluxo, rumo ao rio principal da bacia, tende a erodir o caminho por onde se dá a sua passagem, devido à maior retirada de sedimentos.

Em contrapartida, o relevo no restante da bacia é intensamente dissecado, apresentando porções significativas do relevo com declividades entre 51 e 80%. Segundo Listo (2011) é expressiva a quantidade de vertentes que apresentam declividades muito próximas de 80% nas cabeceiras de drenagem, o que pode facilitar a ocorrência de escorregamentos.

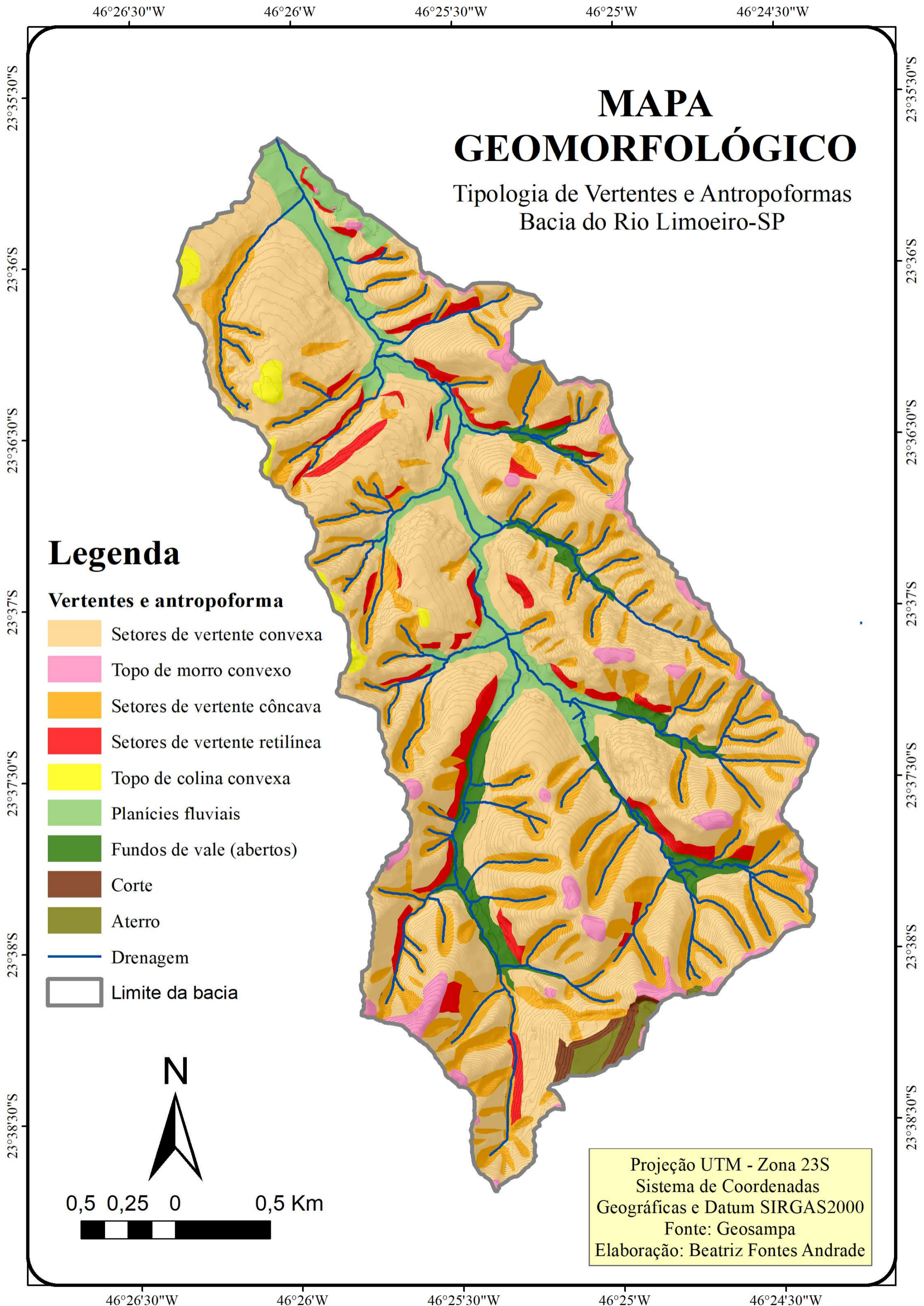
Palaretti (2013) menciona que a declividade do terreno e a velocidade de escoamento das águas estão associadas, de forma que quanto maior for a inclinação, maior a velocidade de escoamento. Nesse sentido, estes fatores diretamente proporcionais ocasionam maior erosão em determinadas partes da bacia, especialmente nas que já apresentam maiores declividades.

A planície fluvial e os fundos de vale abertos apresentam declividades muito pouco expressivas, como é esperado. A primeira apresenta declividades tanto 0 a 2% quanto de 3 a 15%, ao passo que nos fundos de vale a classe de 0 a 2% é praticamente inexistente, sendo quase exclusivamente presentes as declividades entre 3 e 15%. Relacionando-se as informações provenientes dos dois mapas morfométricos já expostos acima, cabe mencionar que a declividade pouco expressiva nessas áreas também está relacionada à menor altitude. Nesse sentido, embora os dois produtos cartográficos não sejam propriamente correlatos, nota-se a possibilidade de estabelecer algumas relações entre eles.

Neste mapeamento foi aumentada a transparência da camada (*layer*) “declividade” no *software*, para que pudessem ser reveladas as formas do relevo apresentadas pelo Modelo Digital de Terreno que está inserido na camada abaixo. Assim, torna-se possível identificar, com maior clareza, os topos nas formas do relevo e notar que apresentam declividades inferiores às constatadas no entorno.

No geral, a bacia do Aricanduva apresenta maiores altitudes e declividades conforme se aproxima da montante, atingindo as maiores proporções nas cabeceiras de drenagem onde localiza-se a área de estudo do presente trabalho.

Por sua vez, o **mapa Geomorfológico** foi, como visto, elaborado com foco na proposta taxonômica encontrada no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo de Ross & Moroz (1997), especialmente até o 5º táxon do relevo, referente à Tipologia de Vertentes, identificando-se também duas antropofomas, inclusas no 6º táxon, restritas às classes corte e aterro. O resultado deste mapeamento é encontrado abaixo, seguido da legenda integrada.



LEGENDA INTEGRADA PARA O MAPA GEOMORFOLÓGICO

Unidade Morfoestrutural 1º Táxon	Unidade Morfoescultural 2º Táxon	Unidade Morfológica 3º Táxon	Padrões de Formas 4º Táxon	Morfologia de Vertentes 5º Táxon	Formas detalhadas 6º Táxon	Declividades	Intervalo Altimétrico	Materiais	
								Litologia	Solos
Cinturão Orogênico do Atlântico	Planalto Atlântico	Planalto Paulistano	Morros de topos convexos - formas denudacionais de dissecação muito intensa e significativamente propensas a processos erosivos agressivos, como os movimentos de massa.	Tc - Topo de Morro Convexo	-	Declividades dominantes de 2,1 a 15%, com setores de 15,1 a 30%.	860 - 940 m	Rochas do Complexo Embu (datado do Pré-Cambriano), Unidade de Xistos, localmente migmatíticos. Rochas primárias - mica xisto e quartzo xisto. Rochas secundárias - milonito, anfibolito, rocha calcissilicática e metaultramáfica.	Cambissolos - com mudança brusca do horizonte B para o C, sendo o B incipiente, está presente nas vertentes cristalinas, em declividades acima de 30%. Argissolos - está presente em declividades inferiores, de 2 a 30%.
				Vc - Setores de Vertentes Convexas	Antropoformas - Corte e Aterro: Presente em apenas uma pequena área ao sul da sub-bacia.	Declividades dominantes de 15,1 a 30%, com setores de 30,1 a 50%. Para o corte, a declividade dominante é de 50,1 a 80%. Já para o aterro figura entre 2,1 e 15%.	800 - 940 m		
				Vcc - Setores de Vertentes Côncavas	-	Declividades dominantes de 50,1 a 80%, com setores de 30,1 a 50%.	800 - 900 m		
				Vr - Vertente Retilínea	-	Declividades dominantes de 50,1 a 81%, com setores de 30,1 a 50%.	800 - 860 m		
			Fundos de vale (abertos)	-	Declividades dominantes de 0,002 a 2%, com setores de 2,1 a 15%.	774 - 820 m	Depósitos de argila e areia.	Colúvio aluvionares.	
			Planícies Fluviais - áreas de baixa dissecação, mais ou menos planas, junto à margem dos rios. Sujeitas à inundações periódicas.	Pf - Planície Fluvial	-	Até 2%	775 - 800 m	Depósitos de silte, areia e cascalho.	Gleissolos húmicos, solos hidromórficos (saturação de água), depósito aluvionar, datado do Quaternário (Holoceno).
Bacia de São Paulo (Bacias Sedimentares Cenozóicas)	Planalto Atlântico	Planalto Paulistano	Colinas de topos convexos - áreas de dissecação bem menos expressivas, se comparadas às áreas do cristalino.	Tc - Topo de Colina Convexa	-	Declividades dominantes de 2,1 a 15%, com setores de 15,1 a 30%.	820 - 860 m	Rochas da Formação São Paulo, sendo as principais: arenito, argilito, siltito e arenito conglomerático.	Latosolos - solos minerais homogêneos, com diferenciação de horizontes pouco perceptível.
				Vc - Setores de Vertentes Convexas	-	Declividades dominantes de 2,1 a 30%, com setores de 30,1 a 50%.	775 - 860 m		
				Vcc - Setores de Vertentes Côncavas	-	Declividades dominantes de 15 a 50%, com setores de 50,1 a 81%.	775 - 860 m		
			Planícies Fluviais	Pf - Planície Fluvial	-	Até 2%	775 - 820 m	Depósitos de silte, areia e cascalho.	Gleissolos húmicos, solos hidromórficos (saturação de água), depósito aluvionar, datado do Quaternário (Holoceno).

Como desenvolvido anteriormente, na descrição do meio físico, coexistem duas Unidades Morfoestruturais, 1º Táxon na classificação do relevo proposta por Ross (1992), dentro dos limites da área de estudo. Essas unidades são o Cinturão Orogênico do Atlântico, terreno de rochas cristalinas datado do Pré-Cambriano, e a Bacia de São Paulo, terreno de rochas sedimentares da Era Cenozóica. Como Unidade Morfoescultural, 2º Táxon na classificação, tem-se o Planalto Atlântico, enquanto a Unidade Morfológica, 3º Táxon, é representada pelo Planalto Paulistano.

No contexto da área de estudo, a dessemelhança que foi evidenciada pela porção Noroeste, nos mapas hipsométrico e clinográfico, está relacionada à geologia regional. Essa parte da bacia está assentada em terreno sedimentar e apresenta altitudes e declividades menos pronunciadas em função, sobretudo, de sua composição litológica. A partir de consultas à mapas e figuras geológicas, constatou-se juntamente com o orientador desta pesquisa, que a porção Noroeste da bacia é composta por sedimentos Terciários da bacia de São Paulo. Listo (2011) cita através de dados da Emplasa (1980) que 1/3 da bacia do rio Aricanduva é composto por esses sedimentos. Essa informação também é constatada já exposta na figura 6 a partir da Carta Geológica (DAEE) desta bacia, na qual os sedimentos Terciários chegam nas proximidades da bacia do Limoeiro. Quando discutindo a respeito da composição litológica do setor Noroeste desta bacia, Ross expôs oralmente que a altitude, declividades e formas por ela apresentadas estão relacionadas ao terreno sedimentar, motivo pelo qual se destoa claramente do restante da área de estudo. Essa informação foi reforçada na Carta Geológica abaixo e no Mapa Geológico do Estado, ainda que a escala mais generalizada não capte com tanta precisão as nuances do relevo.

Figura 6: Carta Geológica da bacia do Aricanduva



Fonte: DAEE.

Em contrapartida, o restante da bacia, que apresenta as maiores altitudes e declividades, está associado ao terreno de rochas cristalinas do Pré-cambriano. Embora tenha uma origem muito mais antiga, as rochas dessa morfoestrutura são significativamente mais resistentes e, assim, relacionam-se às maiores altitudes e declividades. Desse modo, o relevo está muito associado à litologia.

A partir da observação do Modelo Digital de Terreno e dos mapas Hipsométrico e Clinográfico, se pôde chegar à definição dos principais Padrões de Formas, do 4º Táxon, encontrados na bacia do Limoeiro. Foram definidos três Padrões de Formas distribuídos no Cinturão Orogênico, morfoestrutura cristalina, e dois na Bacia de São Paulo, morfoestrutura sedimentar. No que concerne ao Cinturão Orogênico no limite da bacia, os morros de topos convexos são um dos principais Padrões de Formas presente, seguidos pelos fundos de vale

abertos e pela planície fluvial. No terreno sedimentar observa-se a ocorrência de colinas de topos convexos e mais uma vez da planície fluvial.

O mapeamento geomorfológico se estende ao 5º Táxon, apresentando a Morfologia das Vertentes identificadas nos Padrões de Formas mencionados abaixo (tabela 6), dentro dos limites da bacia do Limoeiro.

Tabela 6: Características dos Tipos de Vertentes

Padrões de Formas 4º Táxon	Morfologia de Vertentes 5º Táxon	Declividades	Intervalo Altimétrico
Morros de topos convexos	Tc - Topo de Morro Convexo	Declividades dominantes de 2,1 a 15%, com setores de 15,1 a 30%.	860 - 940 m
	Vc - Setores de Vertentes Convexas	Declividades dominantes de 15,1 a 30%, com setores de 30,1 a 50%.	800 - 940 m
	Vcc - Setores de Vertentes Côncavas	Declividades dominantes de 50,1 a 80%, com setores de 30,1 a 50%.	800 - 900 m
	Vr - Vertente Retilínea	Declividades dominantes de 50,1 a 81%, com setores de 30,1 a 50%.	800 - 860 m
Fundos de vale (abertos)	-	Declividades dominantes de 0,002 a 2%, com setores de 2,1 a 15%.	774 - 820 m
Planícies Fluviais	Pf - Planície Fluvial	Até 2%	775 - 800 m
Colinas de topos convexos	Tc - Topo de Colina Convexa	Declividades dominantes de 2,1 a 15%, com setores de 15,1 a 30%.	820 - 860 m
	Vc - Setores de Vertentes Convexas	Declividades dominantes de 2,1 a 30%, com setores de 30,1 a 50%.	775 - 860 m
	Vcc - Setores de Vertentes Côncavas	Declividades dominantes de 15 a 50%, com setores de 50,1 a 81%.	775 - 860 m
Planícies Fluviais	Pf - Planície Fluvial	Até 2%	775 - 820 m

Fonte: Beatriz A Fontes Andrade. Adaptado da tabela integrada para o mapa geomorfológico.

A tabela acima especifica as características morfométricas de cada Tipo de Vertente encontrada e mapeada. Nota-se que os morros de topos convexos apresentam as maiores altitudes da área de estudo, além de dissecação muito intensa, o que pode tornar algumas partes do terreno mais propensas a processos erosivos agressivos, como os movimentos de massa. Isso

ocorre sobretudo nas vertentes côncavas e retilíneas, pois evidenciam declividades bem superiores aos topos de morros e às vertentes convexas. Enquanto os topos de morros apresentam declividades dominantes entre 2,1 e 15% e as vertentes convexas entre 15,1 e 30%, as vertentes côncavas e retilíneas variam entre 50,1 e 80%.

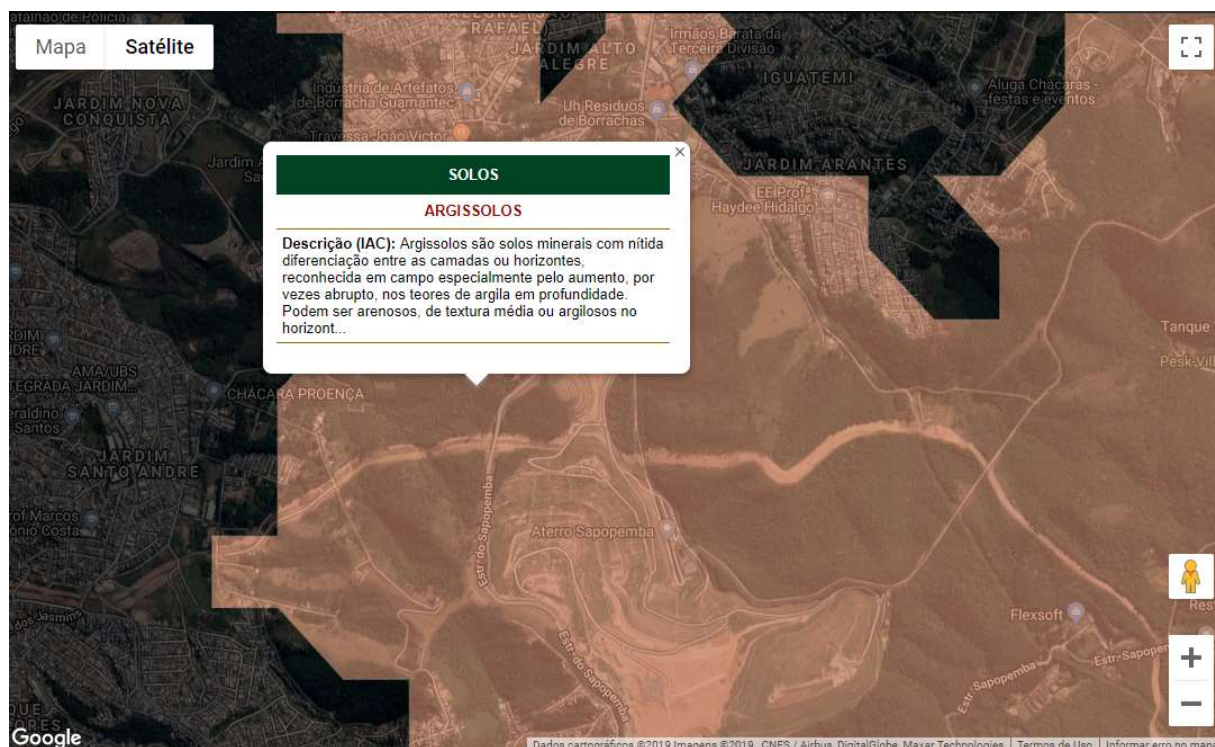
Já as colinas de topos convexos, em terreno sedimentar, apresentam altitudes e áreas de dissecação bem menos expressivas, se comparadas às do cristalino. A partir da tabela, observa-se que embora a declividade nos topos das colinas seja similar àquela evidenciada nos topos dos morros, as semelhanças se dão por encerradas, pois as declividades das vertentes côncavas figuram entre os 16,1 e 50%, e as das convexas raramente ultrapassam os 30%.

A planície fluvial, por sua vez, evidencia áreas de baixa dissecação, mais ou menos planas, junto à margem dos rios nas menores altitudes da bacia. São sujeitas à inundações periódicas, a depender de alguns fatores combinados, como os menciona Dantas (2014), ao citar o regime de chuvas, os padrões de uso e ocupação da terra, a urbanização das áreas mais ocupadas, seguida da impermeabilização do solo, e a geomorfologia regional. A planície, no geral, apresenta declividades de 0 a 2%, com alguns setores de 3 a 15%, bem como os fundos de vale abertos, com a ressalva de que estes praticamente não apresentam declividades inferiores aos 2%.

A respeito da cobertura pedológica, Ross (1993, p. 69) explica que mesmo as pesquisas mais básicas relacionadas à erosão dos solos são fundamentais, entre outras coisas, para subsidiar o Planejamento Ambiental, no qual os feitos econômicos devem estar alicerçados em princípios conservacionistas. Essas valiosas informações podem ser muito utilizadas na análise de Fragilidade dos ambientes naturais e antropizados e, assim, é importante realizar associações entre o relevo e a cobertura pedológica existentes na área de estudo.

No início de 2019, o núcleo de apoio à pesquisa em Patrimônio Geológico do Instituto de Geociências (IGc) da USP, disponibilizou um mapa online da Geologia do Estado de São Paulo denominado Webmap, no qual é possível acessar informações da geologia, relevo, vegetação, solos e cavernas do estado (figura 12). Esse novo portal foi significativamente útil na pesquisa, pois confirmou muitas informações já adquiridas em outros trabalhos e meios. A partir deste novo portal online confirmou-se informações a respeito da Pedologia na área de estudo, adquiridas sobretudo na dissertação de Listo (2011) para a mesma área.

Figura 12: Exemplo da utilização do Webmap disponibilizado pelo IGc



Fonte: <http://webmap.igc.usp.br/#> Acessado em 28/06/2019.

Pedologicamente, nas vertentes cristalinas da bacia do rio Limoeiro verifica-se a predominância de argissolos vermelho-amarelo e cambissolos com texturas argilo-siltosa a arenosa fina. Listo (2011) pautado em Ross & Moroz (1997) e em dados do DAEE (1998), explica que a predominância destes solos confere à bacia um alto potencial de escoamento superficial. O setor sedimentar do relevo, no entanto, apresenta o latossolo vermelho-amarelo como principal cobertura pedológica (WEBMAP, IGc.).

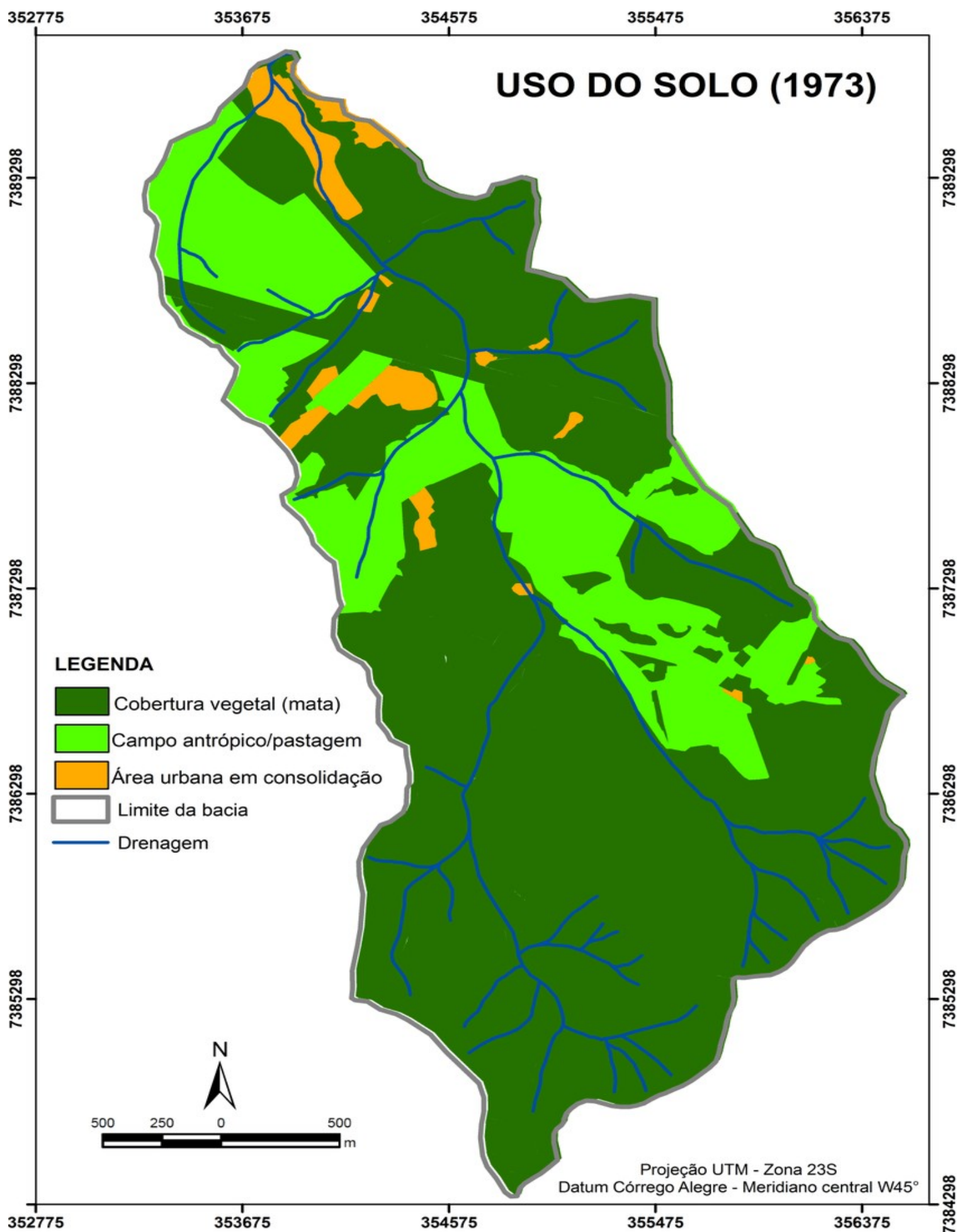
A presença de determinada cobertura pedológica e sua formação no relevo estão intimamente ligadas à declividade do terreno. Desse modo, a partir do conhecimento dos principais solos existentes na área de estudo e da ajuda do orientador desta pesquisa, elaborou-se a tabela 7, de aproximação entre a cobertura pedológica e as feições geomorfológica mapeadas, levando-se em consideração as declividades existentes, bem como o grau de fragilidade de cada tipo de solo presente em cada Unidade Morfoestrutural.

Tabela 7: Relação entre declividade, feições geomorfológicas, tipos de solo e Fragilidade

Unidade Morfoestrutural 1º Taxon	Materiais		Fragilidade
	Litologia	Solos	
Cinturão Orogênico do Atlântico	Rochas do Complexo Embu (datado do Pré-Cambriano), Unidade de Xistos, localmente migmatíticos. Rochas primárias - mica xisto e quartzo xisto.	Cambissolos - com mudança brusca do horizonte B para o C, sendo o B incipiente, estão presentes nas vertentes cristalinas, em declividades acima de 30%.	5 - Muito Forte
	Rochas secundárias - milonito, anfibolito, rocha calcissilicática e metaultramáfica.	Argissolos - estão presentes nas vertentes cristalinas em declividades inferiores, de 2,1 a 30%.	4 - Forte
	Depósitos de silte, areia e cascalho/ Depósito aluvionar, datado do Quaternário (Holoceno).	Gleissolos húmicos , solos hidromórficos (saturação de água). Presentes na planície fluvial.	5 - Muito Forte
Bacia de São Paulo (Bacias Sedimentares Cenozóicas)	Rochas da Formação São Paulo, sendo as principais: arenito, argilito, siltito e arenito conglomerático.	Latosolos - solos minerais homogêneos, com diferenciação de horizontes pouco perceptível. Presentes nas vertentes sedimentares.	2 - Fraca
	Depósitos de silte, areia e cascalho/ Depósito aluvionar, datado do Quaternário (Holoceno).	Gleissolos húmicos , solos hidromórficos (saturação de água). Presentes na planície fluvial.	5 - Muito Forte

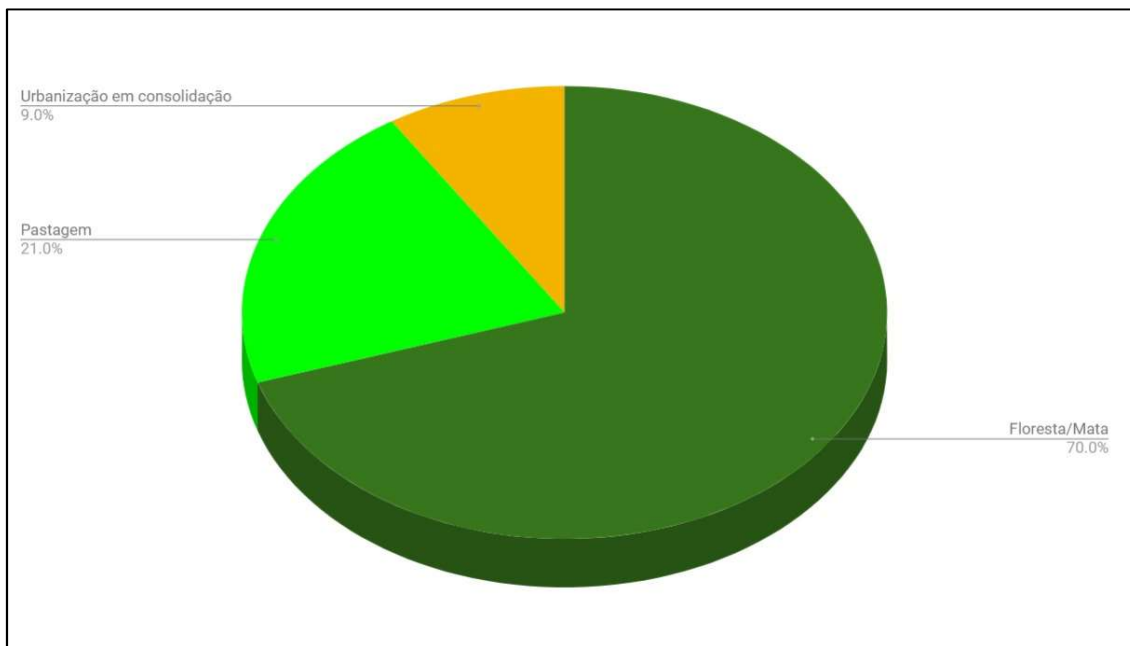
Elaboração: Beatriz F Andrade (2019). Adaptado da legenda integrada do mapa geomorfológico.

No mapeamento de **Uso e Ocupação da Terra**, optou-se por utilizar mais de um produto cartográfico, de modo que se pudesse estabelecer algumas comparações. Abaixo visualiza-se três mapas de uso e ocupação, sendo que o primeiro apresentado, de 1973, foi elaborado por Listo (2011).



A partir do mapa elaborado por Listo (2011) é fácil notar a predominância da cobertura vegetal, que atinge 70% da área de estudo, como pode ser visto no gráfico 12. A área de pastagem figura entre os 11%, enquanto a urbanização, ainda não consolidada, começa a ocupar a bacia, representando 9% da área total.

Gráfico 12: Percentual das classes mapeadas



Fonte: Elaborado por Beatriz F Andrade, com base nas informações de Listo (2011).

A respeito destes percentuais, Listo (2011, p. 72) explica que:

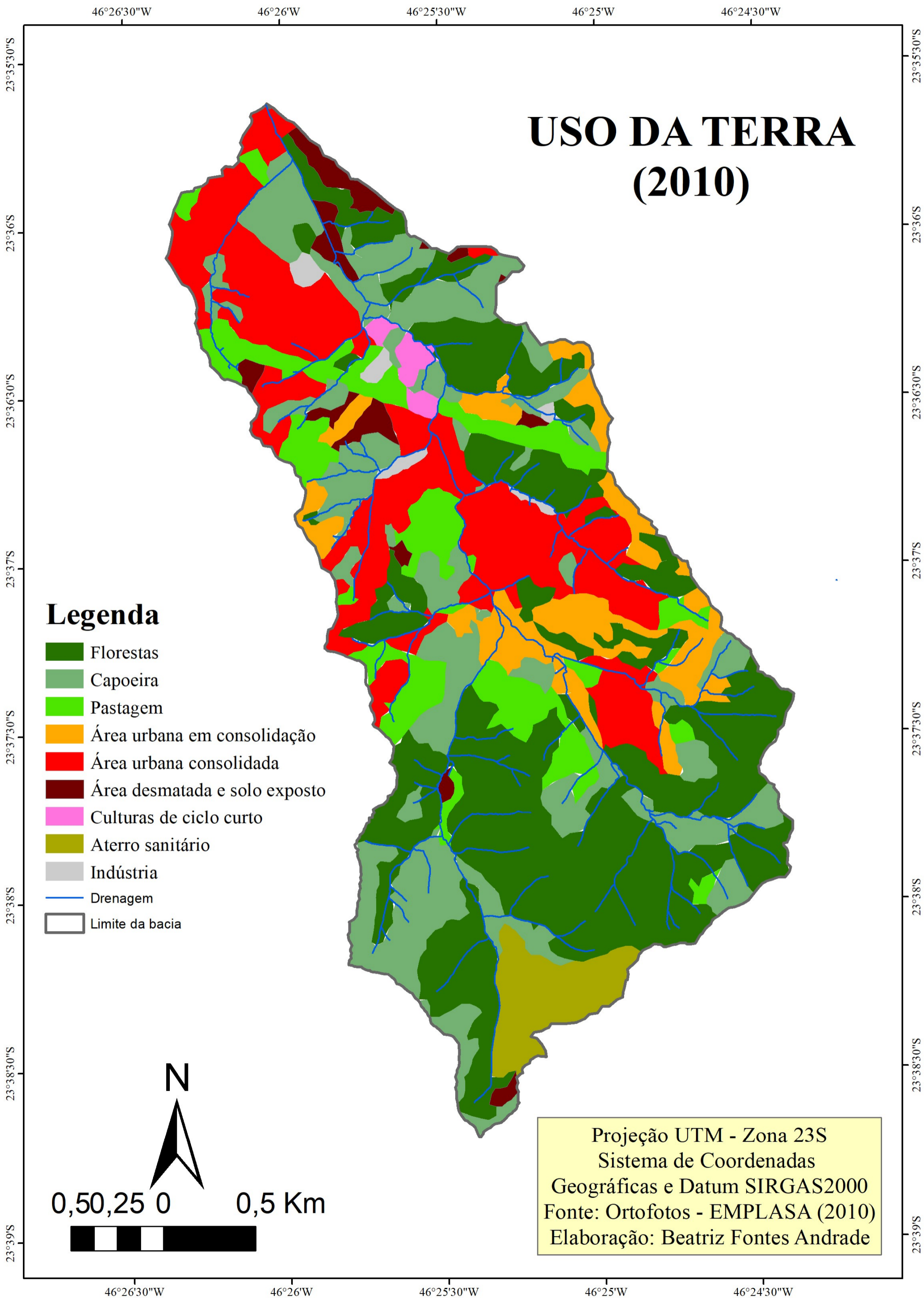
A presença de pastagens na bacia neste período era comum, sendo ainda instalados os primeiros loteamentos urbanos, que passaram a se expandir de forma mais acelerada ao final da década de 1970, e em anos anteriores, a bacia era composta por fazendas, caracterizando-se como área rural do município de São Paulo (DÉLI, 2005). Dessa forma, a área urbana em consolidação, assim classificada em função da baixa densidade de ocupação e pela ausência dos serviços de infra-estrutura urbana, corresponde ao uso em menor expressão (9%).

Na sequência é apresentado o mapa de uso e ocupação referente ao ano 2010. Nele foi mapeada a vegetação ombrófila densa, identificada no mapa como Florestas; a capoeira, vegetação em estado médio de desenvolvimento; as áreas de pastagem, cobertas por gramíneas e alguns arbustos; as porções ocupadas pela urbanização em estágio não consolidado, frequentemente em áreas carentes de infraestrutura básica; a urbanização consolidada, na qual já há infraestrutura urbana, como vias pavimentadas; seguidas por áreas desmatadas e solo exposto; culturas de ciclo curto; aterro sanitário e indústria. Na tabela 8 abaixo estão expostas imagens de satélite da própria área de estudo, ilustrando as classes mapeadas, seguidas de imagens ilustrativas e a indicação da cor utilizada na representação.

Imagem de Satélite	Foto ilustrativa*	Classe de uso da terra mapeada	Cor utilizada na representação
		Florestas	
		Capoeira	
		Pasto	
		Área Urbana Consolidada	
		Área Urbana em consolidação	

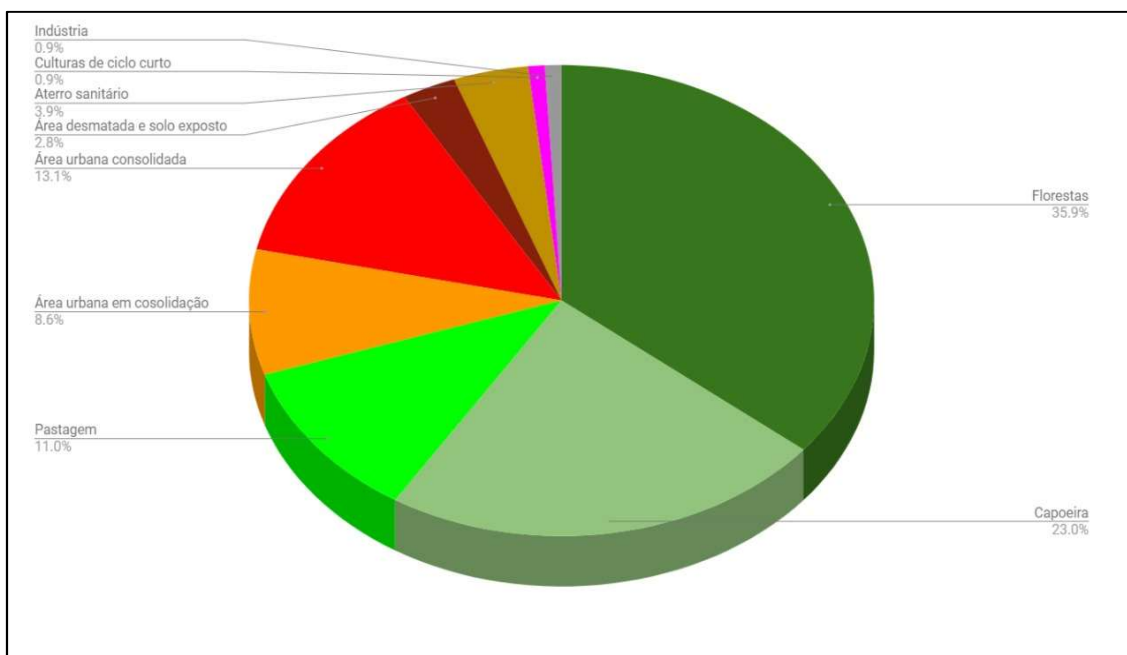
		Área desmatada e solo exposto	
		Cultura de Ciclo Curto	
		Aterro	
	-	Indústria	

Fonte: Google Earth (2019).



O intervalo temporal é significativo, representando um período comparativo de 37 anos, refletindo neste segundo mapeamento, com maior diversificação de classes de uso.. Abaixo, no gráfico 13, estão distribuídos os percentuais de cada classe na área de estudo no ano de 2010.

Gráfico 13: Percentuais das classes de uso e ocupação da terra na bacia em 2010



Fonte: Beatriz F Andrade (2019).

No mapeamento de 1973, a classe cobertura vegetal ou mata engloba tanto as classes “Florestas” como “Capoeira”. Assim, objetivando uma análise da cobertura vegetal em 2010, é necessário que se considere as duas classes como uma só. Juntas, essas classes representam um total de 58,9% de cobertura vegetal, o que significa uma redução de aproximadamente 15,8% desta no intervalo de 37 anos. Além disso, nota-se a diminuição da pastagem em 47,7%, enquanto as áreas de urbanização em consolidação se mantêm praticamente na proporção. Dentre as novas classes de uso e ocupação que surgem após a integração da bacia ao centro da cidade e demais localidades, estão as áreas urbanas que se consolidaram, áreas desmatadas e solo exposto, aterro sanitário, culturas de ciclo curto e indústria. Como tais classes são novidades neste mapeamento, não há propriamente o que comparar. Cabe ressaltar apenas a significativa ocupação da planície

fluvial, setor de Fragilidade 5, pelas áreas urbanas, fenômeno preocupante. A respeito da urbanização não planejada, Massa & Ross (2012, p. 70) explicam:

O processo de urbanização desordenado é acompanhado por profundas alterações no uso e ocupação da terra, resultando em impactos nos comportamentos hidráulicos e hidrológicos das bacias hidrográficas. As transformações sofridas pelas bacias em fase de urbanização podem ocorrer muito rapidamente, gerando impactos na qualidade da água, nos níveis e frequência de inundações e no transporte de sólidos.

A seguir apresenta-se o último e mais atual mapa de uso e ocupação da terra desse período analítico de 46 anos.

46°26'30"W 46°26'W 46°25'30"W 46°25'W 46°24'30"W

23°35'30"S
23°36'S
23°36'30"S
23°37'S
23°37'30"S
23°38'S
23°38'30"S
23°39'S

23°35'30"S
23°36'S
23°36'30"S
23°37'S
23°37'30"S
23°38'S
23°38'30"S
23°39'S

USO DA TERRA (2019)

Legenda

-  Florestas
-  Capoeira
-  Pastagem
-  Área urbana em consolidação
-  Área urbana consolidada
-  Área desmatada e solo exposto
-  Culturas de ciclo curto
-  Aterro Sanitário
-  Indústria
-  Drenagem
-  Limite da bacia



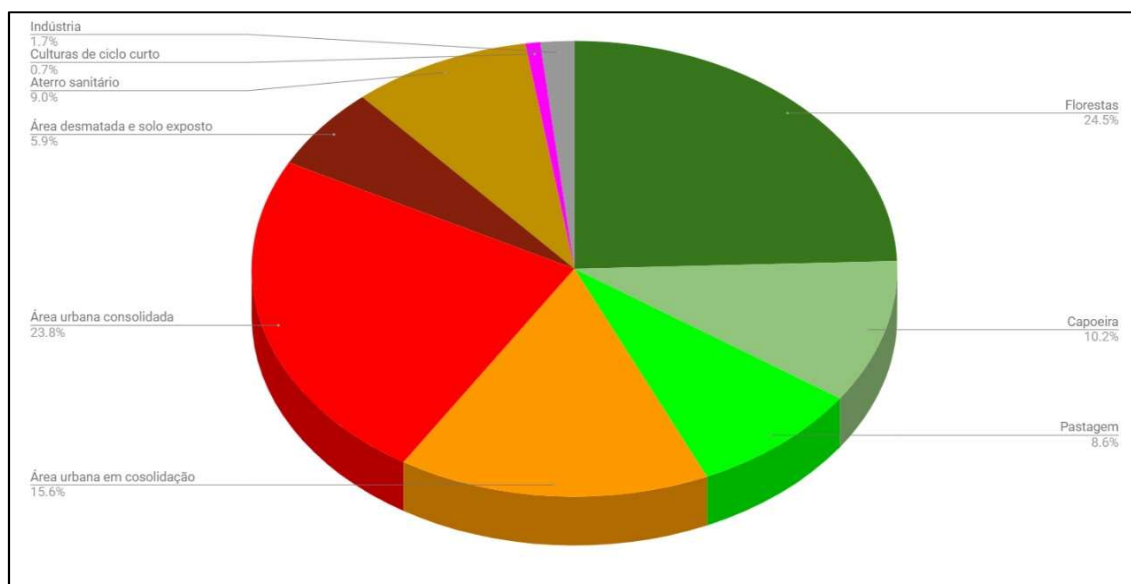
0,5 0,25 0 0,5 Km

Projeção UTM - Zona 23S
Sistema de Coordenadas
Geográficas e Datum SIRGAS2000
Fonte: Fotos - Google Earth Pro (2019)
Elaboração: Beatriz Fontes Andrade

46°26'30"W 46°26'W 46°25'30"W 46°25'W 46°24'30"W

No produto cartográfico acima, as classes mapeadas se mantiveram as mesmas apresentadas no mapa de 2010 e estão percentualmente distribuídas conforme exposto abaixo no gráfico 14.

Gráfico 14: Percentuais das classes de uso e ocupação da terra na bacia em 2019



Fonte: Beatriz F Andrade (2019).

O mapeamento de 2019 revela uma alarmante diminuição das capoeiras e da vegetação herbácea, classificada como Florestas, para um período de nove anos. Esta classe foi diminuída em aproximadamente 26,7%, enquanto as áreas ocupadas pelas capoeiras chegaram a ser reduzidas em 47,6%. A diminuição da cobertura vegetal tem se mostrado, portanto, muito expressiva na área de estudo nos últimos nove anos. Os pastos seguem a tendência da diminuição de áreas, apresentando uma marca de 15,7%. Atualmente a vegetação ombrófila densa representa 24,5% da área total da bacia; as capoeiras 10,2% e as áreas de pastagem 8,6%.

Ao passo que a cobertura vegetal presente na bacia diminuiu, as áreas urbanas em estágio de consolidação cresceram 48,8% nos últimos nove anos, enquanto as já consolidadas expandiram em 19,3%. As áreas desmatadas e de solo exposto, acompanhando a tendência de crescimento, apresentaram uma taxa de 56%. A urbanização não consolidada ocupa atualmente 15,6% da área total; a que já está consolidada representa 23,8%; e as áreas desmatadas 5,9%.

A porção referente à classe Aterro no mapa de 2010 diz respeito ao Aterro Sítio São João, que operado por regime de concessão pela EcoUrbis de outubro de 2004 até novembro de 2009 (ECOUBIS, acesso em 06/2019). Já neste último mapa de 2019 percebe-se claramente a expansão da área do aterro desativado em 2009. Isso se deve à inauguração da realocação da Avenida Sapopemba, a partir do número 22.254, a fim de que a via antiga fosse desativada para ser utilizada na junção das áreas do aterro São João e da Central de Tratamento de Resíduos Leste – CTL localizada nas proximidades do primeiro, aumentando, assim, a vida útil do aterro em pelo menos 10 anos. (PREFEITURA SP, acesso em 07/2019). Devido, portanto, à junção de áreas para que se aumentasse a vida útil do aterro, nota-se a partir dos gráficos dos dois mapas um aumento percentual de 56,7%, sendo que atualmente o local representa 9% da área total da bacia. O aterro recebe até sete mil toneladas de resíduos sólidos diariamente e possui uma estação de queima centralizada de biogás, conforme informado por um funcionário que se encontrava na entrada no local em julho de 2019, durante um estudo de campo na bacia do Limoeiro. Abaixo, na foto 1, a entrada do aterro.

Foto 1: Entrada do Aterro Sanitário identificado no mapa de uso e ocupação da terra em 2019

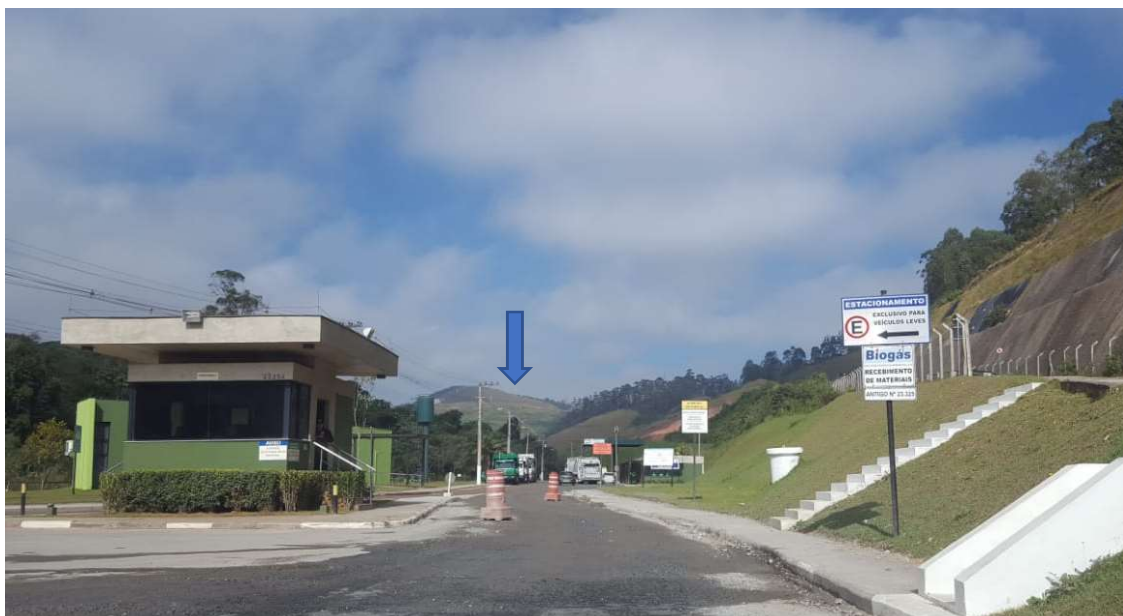


Foto: Beatriz F Andrade (2019). Ao fundo, indicado pela seta azul, o aterro.

A classe Culturas de Ciclo Curto é presente, desde o mapeamento de 2010, em apenas uma porção da bacia. Assim, a área ocupada por ela se mantém a mesma, representando aproximadamente 0,8% da área total.

A presença das indústrias, por fim, teve um crescimento de aproximadamente 47%, representando atualmente 1,7% da área total.

Para o diagnóstico da Fragilidade é necessário pensar o grau proteção promovido pela cobertura vegetal presente na área de estudo. Na tabela 9 abaixo tem-se a relação entre o grau de proteção, o tipo de cobertura vegetal encontrada e a Fragilidade.

Tabela 9: Fragilidade de cada tipo de cobertura vegetal

Grau de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal	Fragilidade
5 - Muito alta	Mata ombrófila densa e capoeiras	1 - Muito Fraca
3 - Média	Áreas de pastagem	3 - Média
1 - Muito baixa	Áreas desmatadas e solo exposto	5 - Muito forte

Fonte: Beatriz F Andrade (2019).

Com a ajuda do orientador desde trabalho, definiu-se para as áreas urbanas em consolidação uma fragilidade muito forte, enquanto para as já consolidadas a fragilidade foi considerada forte.

O mapa de uso e ocupação é uma ferramenta muito importante no diagnóstico da Fragilidade Ambiental, especialmente da Fragilidade Potencial. A partir desta série de mapeamentos, foi percebida uma redução muito significativa da mata ombrófila densa e capoeiras na área de estudo, especialmente nos últimos nove anos, período relativamente curto de tempo, no qual o percentual de diminuição dessas áreas foi alarmante.

A partir da análise dos mapas percebe-se uma relação entre as áreas de cobertura vegetal e as urbanas. A urbanização avança cada vez mais em direção à vegetação, instalando-se frequentemente em áreas de declividades não indicadas para ocupação antrópica sem o devido planejamento. Nota-se que o avanço das áreas urbanas para as cabeceiras de drenagem e vegetação tem ocorrido na quase ausência do devido

planejamento ambiental e urbano, como pode ser observado nas fotos 2, 3 e 4. As fotos 5 ilustra a vegetação e pastagem e a 6 a presença de mata ombrófila densa ao sul da área de estudo.

Foto 2: Avanço da urbanização em consolidação em direção aos morros de topos convexos na bacia do Limoeiro



Foto: Beatriz F Andrade (2019).

Foto 3: Ocupação antrópica nas vertentes e topo de morro convexo na área de estudo



Foto: Beatriz F Andrade (2019). Setas indicam a presença antrópica.

Foto 4: Área urbana e vegetação lado a lado



Foto: Beatriz F Andrade (2019). A área urbana representada pela seta vermelha e a vegetação pela verde.

Foto 5: Vegetação e pastagem na área de estudo



Foto: Beatriz F Andrade (2019).

Foto 6: No horizonte, ao sul da bacia do Limoeiro, a vegetação ombrófila



Foto: Beatriz F Andrade (2019).

8. MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto anteriormente, o mapa de Fragilidade Ambiental apresenta as Unidades de Instabilidade Potencial (estáveis), e de Instabilidade Emergente (instáveis), que vai desde muito fraca a muito forte, seguindo os novos critérios incorporados por Ross às Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977). É o produto da pesquisa, reunindo diversos elementos relevantes para o estudo da Fragilidade e passíveis de serem cartografados, analisados de forma integrada, na perspectiva sistêmica. Assim, o mapa elaborado não é exatamente uma síntese, mas sim o produto dela.

Relembrando, as áreas em estado de equilíbrio dinâmico, ainda não incorporadas aos espaços produtivos da sociedade, poupadas da ação antrópica, são denominadas Unidades Estáveis ou de Instabilidade Potencial. Em contrapartida, as Unidades Instáveis ou de Instabilidade Emergente são aquelas “cujas intervenções humanas modificaram intensamente os ambientes naturais, através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas” (ROSS, 1994). É importante ressaltar que na primeira ocorre o predomínio do processo pedogenético, enquanto na segunda sobressai a morfogênese.

Na bacia do Limoeiro são presentes tanto áreas modificadas pela ação humana quanto poupadas desta. Assim, o mapa de Fragilidade Ambiental elaborado apresenta tanto a Fragilidade Emergente quanto a Potencial, visto que ambas são expressivas na área de estudo.

Nas tabelas abaixo tem-se a síntese das discussões realizadas até aqui, expressas através das combinações de 4 algarismos arábicos que apresentam as Fragilidades. Na primeira, tabela 10, tem-se as combinações verificadas para as áreas estáveis, onde há cobertura vegetal expressiva. Na segunda, tabela 11, estão as combinações estipuladas para as áreas instáveis. O primeiro algarismo arábico refere-se ao grau de Fragilidade em função da declividade; o segundo em função do tipo de solo; o terceiro relaciona-se ao uso da terra e grau de proteção; e o quarto e último é estabelecido em função do clima, com foco no regime pluviométrico, lembrando que para toda a bacia é atribuído apenas um algarismo, devido à escala do fenômeno climático.

Tabela 10: Combinações dos algarismos da Fragilidade Emergente

Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente		
Fragilidade	Simbologia	Ocorrências na área de estudo
1 – Muito Fraca		-
2 – Fraca		2344, 2354, 2444, 2454
3 – Média		3334, 3344, 3354
4 – Forte		4234, 4244, 4254, 4434, 4444, 4454
5 – Muito Forte		5444, 5454, 5534, 5544, 5554.

Fonte: Beatriz F Andrade (2019), adaptado de Massa & Ross (2012).

Tabela 11: Combinações dos algarismos da Fragilidade Potencial

Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou de Instabilidade Potencial		
Fragilidade	Simbologia	Ocorrências da área de estudo
1 - Muito Fraca		1414
2 - Fraca		2414, 2514, 2524
3 - Média		3214, 3414, 3424, 3514
4 - Forte		4414, 4514, 4524
5 - Muito Forte		5414, 5514, 5524.

Fonte: Beatriz F Andrade (2019), adaptado de Massa & Ross (2012).

Cabe ressaltar que as combinações e o mapeamento da Fragilidade Emergente foram elaborados com base, sobretudo, no mapa geomorfológico, ao passo que o diagnóstico da Fragilidade Potencial foi muito apoiado pelo mapa de uso e ocupação da Terra de 2019.

Na tabela 12 abaixo tem-se a síntese das combinações numéricas estabelecidas.

Tabela 12: Quadro síntese das combinações numéricas estabelecidas

Grau de Fragilidade	Classes de declividade do relevo	Tipos de solos	Grau de Proteção	Uso da terra e cobertura vegetal	Grau de Fragilidade	Características pluviométricas
1 - Muito Fraca	Até 2%	-	1 - Muito Alto	Mata ombrófila densa (Florestas)	4 - Forte	Distribuição muito desigual das chuvas, chovendo em torno de 80% do total anual na estação chuvosa e 20% no período de estiagem. Total pluviométrico anual em torno de 1.400 mm.
2 - Fraca	De 3 a 15%	Latossolos VA e Argissolos	2 - Alto	Capoeiras		
3 - Média	De 16 a 30%	Latossolos VA e Argissolos	3 - Médio	Pastagem		
4 - Forte	De 31 a 50%	Latossolos VA e Argissolos	4 - Baixo	Áreas urbanas consolidadas		
5 - Muito Forte	De 51 a 80%	Cambissolos	5 - Muito Baixo	Áreas urbanas em consolidação, áreas desmatadas e solo exposto, corte e aterro sanitário.		
5 - Muito Forte	Até 2%	Gleissolos húmicos				

Fonte: Beatriz F Andrade (2019), adaptado de Massa & Ross (2012).

As combinações verificadas na área de estudo, a partir da análise integrada, geram o mapa de Fragilidade Ambiental exposto abaixo.

46°26'30"W

46°26'W

46°25'30"W

46°25'W

46°24'30"W

23°35'30"S

23°35'30"S

23°36'S

23°36'S

23°36'30"S

23°36'30"S

23°37'S

23°37'S

23°37'30"S

23°37'30"S

23°38'S

23°38'S

23°38'30"S

23°38'30"S

23°39'S

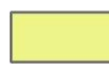




23°39'S

MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e Emergente



Legenda

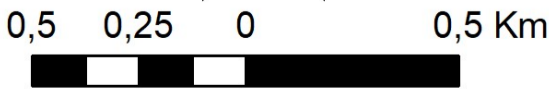
Fragilidade Emergente

-  Muito fraca
-  Fraca
-  Média
-  Forte
-  Muito forte

Fragilidade Potencial

-  Muito fraca
-  Fraca
-  Média
-  Forte
-  Muito forte

-  Drenagem
-  Limite da bacia



Projeção UTM - Zona 23S
 Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum SIRGAS2000
 Fonte: Geosampa e Google Earth (2019)
 Elaboração: Beatriz Fontes Andrade

46°26'30"W

46°26'W

46°25'30"W

46°25'W

46°24'30"W

Analisando-se o mapa da Fragilidade Emergente e Potencial na bacia do Limoeiro, nota-se a presença dominante da classe de fragilidade Muito Forte na planície fluvial e muito significativa nos fundos de vale. A planície, embora presente em áreas com as menores declividade, é um ambiente extremamente frágil e instável, pois recebe as cheias dos rios, inunda facilmente no verão e possui solos hidromórficos e muitas vezes arenosos. Nesse sentido, ainda que se trate de uma área não muito sujeita aos processos erosivos, devido à baixíssima declividade apresentada, é classificada neste trabalho como sendo de Fragilidade muito forte.

A planície fluvial, mesmo sujeita à “deposição de sedimentos oriundos das encostas, assoreamentos, inundações periódicas, e o solapamento das margens dos córregos” (MASSA & ROSS, 2012, p. 68), é uma porção do relevo fácil de ser ocupada, tanto que nos mapas de uso da terra nota-se a presença muito expressiva da ocupação antrópica nestas áreas. A foto 7 é um exemplo da urbanização presente na planície fluvial da bacia do Limoeiro, evidenciando problemas de ordem tanto ambiental quanto social.

Em relação à Fragilidade Emergente, as vertentes convexas das colinas, em terreno sedimentar, apresentam predominantemente a classe de Fragilidade Fraca, com alguns setores de Fragilidade Média. São, na bacia, as áreas mais favoráveis à ocupação. As vertentes côncavas, por sua, apresentam Fragilidade maior, entre Forte e Média, com presença não significativa da classe Muito Forte.

Nas vertentes dos morros cristalinos o cenário é bem distinto. A classe de Fragilidade Muito Fraca é quase inexistente, enquanto a fraca é muito pouco expressiva, praticamente restrita aos topos dos morros convexos e poucos setores de vertentes convexas. Nestas, predomina a Fragilidade Média.

A classe Forte, da Fragilidade Emergente, é a mais representativa no terreno cristalino. Também se observa a presença dominante da classe Muito Forte nas vertentes retilíneas e significativa em alguns setores de vertentes côncavas.

Foto 7: Ocupação antrópica na planície fluvial da área de estudo



Foto: Beatriz F Andrade, 2019.

Como pode ser percebido no mapa, a presença das Unidades Estáveis é muito significativa na bacia. Percebe-se uma predominância da Fragilidade Potencial nas vertentes do cristalino, sendo quase inexpressivas nas colinas do terreno sedimentar. Se concentram ao Sul e em uma porção do Norte/Nordeste da bacia, mantendo o padrão observado nos morros cristalinos de Fragilidade Emergente, ou seja, com predominância da classe Fraca nos topos de morros e poucos setores de vertentes convexas; e da classe Muito Forte nas vertentes retilíneas e em alguns setores de vertentes côncavas. No geral, parece haver um equilíbrio entre as classes Média e Forte verificadas nos setores de vertentes convexas e côncavas, respectivamente. A classe Muito Fraca é muito pouco expressiva na área de estudo.

O mapa de Fragilidades Emergente e Potencial, portanto, parece deixar claro a baixa oferta de áreas adequadas à ocupação no terreno cristalino e na planície fluvial, sendo predominantes as classes Forte e Muito Forte de Fragilidade. O terreno sedimentar, por outro lado, embora menos representativo em termos de área total na bacia do Limoeiro, oferta boas condições de ocupação ao apresentar uma predominância de Fragilidades Fraca e Média. No que toca às Unidades Estáveis, de Fragilidade Potencial, ainda que significativa, a presença de cobertura vegetal vem sendo bastante reduzida nos últimos anos, conforme evidenciou o último mapa de uso e ocupação da terra. Na análise deste, percebeu-se o avanço da urbanização em direção aos morros de topos convexas dotados de cobertura vegetal, o que sem o devido planejamento pode acarretar uma série de complicações, pois “as transformações sofridas pelas bacias em fase de urbanização podem ocorrer muito rapidamente, gerando impactos na qualidade da água, nos níveis e frequência de inundações e no transporte de sólidos” (MASSA & ROSS, 2012, p. 70).

É sempre importante lembrar que o alto custo da moradia, em função da especulação imobiliária na região central e em algumas determinadas porções da cidade, obriga muitas pessoas de baixa renda a se instalarem em áreas inadequadas à ocupação antrópica. Nesse contexto, o estudo e diagnóstico da Fragilidade, uma questão não só ambiental, mas situada na interface natureza-sociedade, se presta a serviço do planejamento ambiental e da sociedade, enquanto importante ferramenta de gestão.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Rosangela do. A Fragilidade Ambiental na Bacia do Ribeirão Bonito, Município de Teodoro Sampaio

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, n. 13. São Paulo: IGEOG-USP, 1971,p. 1-27.

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, Antonio José Teixeira (Org.). Geomorfologia Urbana . Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 71-116.

CHORLEY, Richard J.; HAGGETT, Peter. Modelos integrados em geografia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1974.

DANTAS, C. G., Análise ambiental Integrada dos Fatores Condicionantes das Inundações na Bacia do Aricanduva. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia. São Paulo, 2014.

DÉLI, F.R. (2005). O povoamento e a circulação no vale do Aricanduva, da colonização ao início da urbanização: momentos da fragmentação do espaço numa porção da zona leste paulistana. Revista GEOUSP (18), p. 81-103.

FIERZ, Marisa de Souto Matos. As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia – FFLCH-USP.

FUJIMOTO, Nina Simone Vilaverde Moura. Considerações sobre o Meio Urbano: um estudo com ênfase na Geomorfologia Urbana. Revista do Departamento de Geografia, n. 16, 2005, pp. 76-80.

GAYOSO, R. C. Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social para análise integrada do espaço geográfico: bacia hidrográfica no Jardim Ângela (São Paulo-SP). 2014. 162f.

Dissertação (mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2014.

LISTO, F. L. R.. Análise da Suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na bacia do alto Aricanduva, RMSP (SP). 2011. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2011.

MARTINS, P. Análise da Fragilidade Ambiental relevo-solo na Zona Norte do Município de São José dos Campos – SP. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia. São Paulo, 2016.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevosolo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH-USP, São Paulo, v. 24, p. 57 – 79, 2012.

ROSS, J. L. S. Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

_____. Landforms and Environmental Planning: Potentialities and Fragilities. Revista do Departamento de Geografia, vol. Especial 30 Anos. São Paulo, 2012, p. 38-51.

_____. O registro Cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia, n. 6. São Paulo, 1992, pp. 18-29.

_____. Geomorfologia Ambiente e Planejamento. 8. ed. São Paulo: Contexto, 1990.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. Revista do Departamento de Geografia, n. 8. São Paulo: 1994, pp. 65-74.

SANTOS, Jader de Oliveira. Fragilidade e Riscos Socioambientais em Fortaleza-CE: contribuições ao ordenamento territorial. São Paulo, 2011. Tese (Doutorado em Geografia Física) – FFLCH-USP.

STRAHLER, A. N., 1956. Quantitative Slope Analysis, Bulletin of the geological Society of America 67(5), p. 571-596.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977, pp. 17-65.

Endereços eletrônicos:

<http://www.capital.sp.gov.br/noticia/obras-ampliam-em-12-anos-vida-util-do-aterro-de>

<https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/engenhariarural/luizfabianopalaretti/bacia-hidrografica.pdf>