

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE EROSÕES LINEARES NO MUNICÍPIO DE RIO  
CLARO/SP**

João Carlos Porcel Ferreira

Prof. Dr. Fabio Augusto Gomes Vieira Reis (orientador)

Rio Claro (SP)

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

JOÃO CARLOS PORCEL FERREIRA

Evolução Espaço Temporal de Erosões Lineares no município de Rio  
Claro/SP

Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Trabalho de Conclusão de Curso que será apresentado  
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -  
Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual  
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do  
grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2021

F383e

Ferreira, João Carlos Porcel

Evolução Espaço-Temporal de Erosões Lineares no município de Rio Claro/SP / João Carlos Porcel Ferreira. -- Rio Claro, 2021

75 f. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. Erosão. 2. Solos Erosão. 3. Voçorocas. 4. Rochas Sedimentares.  
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

João Carlos Porcel Ferreira

## Evolução Espaço-Temporal de Erosões Lineares no município de Rio Claro/SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Fábio Augusto Gomes Vieira Reis (orientador)

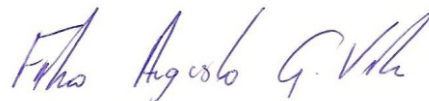
José Eduardo Zaine

Caiubi Emanuel Souza Kuhn

Rio Claro, 01 de setembro de 2021



Assinatura do(a) aluno(a)



assinatura do(a) orientador(a)

Eu vim plantar meu castelo naquela serra de lá  
Onde daqui a cem anos vai ser uma beira-mar

Lá vem a cidade - Lenine

## Agradecimentos

Como conclusão de mais uma etapa da minha vida, deixo os agradecimentos a todos que de certa forma ajudaram direta e indiretamente na minha formação como geólogo e ser humano, pois sonho que se sonha só é só um sonho, mas sonho que se sonha junto, é realidade.

Agradeço a todos os guias de minha vida, que me mostraram a luz nos momentos mais confusos.

À minha família por sempre ter me apoiado emocional e financeiramente, mesmo nos momentos de maiores dificuldades que passamos, em momentos onde optar pelo ensino muitas vezes seria o sacrifício de outras portas.

À Fundação Romi, que me instigou a vontade de estudar, e me financiou em todo meu ensino médio em outra localidade, onde eu não poderia arcar com as despesas

Ao COTUCA, que mesmo com todas as dificuldades, me trouxe bons amigos, e o reconhecimento da qualidade que um ensino público pode, e deve, ter.

À Petrobras e FUNDUNESP, que financiaram e possibilitaram a conclusão de meu curso, e da obra de TCC.

À UNESP, que possibilitou que o sonho de me tornar geólogo se tornasse realidade, me cedendo até mesmo moradia estudantil.

À todos meus amigos que conquistei nesses anos de universidade pública, aos professores que sempre me auxiliaram em todos os momentos, especialmente ao Fabio Reis, Rosemarie, Caiubi, Gilda e Zaine.

Os cafés da tarde, com jogos de baralho, que viraram lei com a Raquel, João Mosna, Diego e a Tati.

O fantástico grupo de amigos que tive na minha sala, o Enrico (TLG), Gabriel (Pompeu), Renato Francischet (Obama), João Guilherme (JG) E João Pedro (Menininho).

Ao pessoal da moradia estudantil, principalmente nessa última etapa da graduação, na casa 3, onde passei por momentos extremamente difíceis, mas sabia que poderia contar com uma conversa amiga do Leandro e do Menininho, acompanhado de Torcida e cerveja.

A Raquel, minha avaliadora de todas as versões do TCC, que o tempo e a graduação permitiram que eu conhecesse e tivesse o privilégio de contar com ela em todos os momentos mais difíceis dessa etapa.

E por fim, agradeço a todos que de certo modo não coloquei em meus agradecimentos, mas que não deixaram de passar uma marca em minha vida.

## Resumo

Processos erosivos lineares são largamente conhecidos e estudados na literatura, principalmente devido aos prejuízos que pode causar às plantações, às estruturas, ou em casos extremos, onde ocorrem acidentes envolvendo vidas humanas. Existem diversos meios que levam a formação de um processo erosivo linear, seja no âmbito antrópico, climático, relevo, e até mesmo a natureza do solo da área., e na região de Rio Claro, interior do estado de São Paulo, esses processos podem ser encontrados em zonas urbanas e rurais, portanto para o estudo foram selecionados dois processos erosivos, um em zona rural, no Campo dos Cochos, com baixa intervenção antrópica e outro na área periférica da zona urbana, com constante evolução do perímetro urbano, no Distrito Industrial. Uma das formas de se analisar o impacto que as erosões podem causar, seus agentes deflagradores, assim como sua evolução conforme os anos é através do mapeamento da evolução-espço temporal da área. O estudo retro analítico da evolução espaço-temporal de processos erosivos tem como objetivo mapear no decorrer do tempo as principais alterações que ocorreram em uma localidade, seja a delimitação da cicatriz da erosão, as áreas com solo exposto, a análise da causa do processo, assim como o mapeamento do uso e ocupação da área, e o avanço da área urbana do município. Com a utilização de *softwares* como *Google Earth Pro*, *ArcGIS 10.8*, *Global Mapper*, mais o auxílio de trabalhos de campo, ensaios laboratoriais e elaboração de mapas, foi possível gerar resultados que mostram um avanço contínuo entre os anos de 2005 e 2021 da voçoroca localizada no Campo dos Cochos, assim como o avanço da área urbana na periferia de Rio Claro e uma constante deposição à jusante da erosão localizada no Distrito Industrial, marcado pela alteração no leito da drenagem na área. Ambas erosões estudadas, embora com diferentes aproximações, obtiveram a mesma conclusão de que ambas erosões encontram-se no contato entre a Formação Corumbataí com a Formação Rio Claro, sobre meia encostas em anfiteatros de nascentes, embora não seja um fator preponderante para a erosão localizada no Distrito Industrial, e também que são processos ainda ativos em sua área, com constante evolução do espaço urbano sobre o Distrito Industrial de Rio Claro, além de um previsto avanço da área urbana sobre o Campo dos Cochos, segundo o plano diretor de 2017, o que pode induzir uma maior impermeabilização da área.

### Palavras Chaves

Erosão Linear, Voçoroca/Boçoroca, Evolução Espaço-Temporal, Rio Claro

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Proposta para conceito base de erosão. ....	3
<b>Figura 2:</b> Exemplo de voçoroca conectada e desconectadas ao canal fluvial. ....	6
<b>Figura 3:</b> Estágios de evolução de uma voçoroca e suas características. ....	7
<b>Figura 4:</b> Mapa das sub-bacias selecionadas no município de Rio Claro, com base em estudos anteriores. ....	13
<b>Figura 5:</b> Mapa apresentando a evolução do município de Rio Claro/SP, nos anos de 1900, 1963, 1984, 1992, 2007 2017 e o plano diretor para avanço a partir de 2017. ....	16
<b>Figura 6:</b> Gráfico de uso e ocupação do solo para os anos de 2016/2017. ....	17
<b>Figura 7:</b> Mapa de uso e ocupação para o município de Rio Claro -SP.....	18
<b>Figura 8:</b> Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná. ....	20
<b>Figura 9:</b> Mapa geológico do município de Rio Claro - SP.....	21
<b>Figura 10:</b> A) Afloramento da Formação Corumbataí, localizado no bairro Distrito Industrial, em Rio Claro; B) Siltito avermelhado C) Siltito esbranquiçado fraturado; D) Siltito avermelhado, com diques clásticos; E) Estromatólitos encontrados na Formação Corumbataí, destacados em amarelo. ....	22
<b>Figura 11:</b> A) Afloramento da Formação Rio Claro, apresentando canal fluvial, destacado em amarelo; B) Fragmento de carvão encontrado na formação Rio Claro; C) Nível conglomerático na Formação Rio Claro; D) Porção de arenito argiloso avermelhado; E) Níveis mais escuros, representando camada com volume maior de orgânicos, contendo fragmentos de carvão. ....	23
<b>Figura 12:</b> Mapa pedológico do município de Rio Claro - SP.....	25
<b>Figura 13:</b> Anfiteatro de nascentes no Distrito Industrial.....	26
<b>Figura 14:</b> Geomorfologia do município de Rio Claro.....	27
<b>Figura 15:</b> Mapa de declividade do município de Rio Claro - SP.....	28
<b>Figura 16:</b> Média de precipitação mensal para o município de Rio Claro nos anos de 1994 a 2021. .	29
<b>Figura 17:</b> amostras previamente secas, coletadas durante atividade de campo. ....	35
<b>Figura 18:</b> Detalhes de voçoroca no Distrito Industrial.....	37
<b>Figura 19:</b> Geologia local do Distrito Industrial.....	38
<b>Figura 20:</b> Altimetria para a área do Distrito Industrial.....	39
<b>Figura 21:</b> Declividade na voçoroca localizada no Distrito Industrial.....	40
<b>Figura 22:</b> Detalhes de voçoroca no Campo dos Cochos.....	41
<b>Figura 23:</b> Geologia local do Campo dos Cochos.....	42
<b>Figura 24:</b> Altimetria para a área de Campo dos Cochos.....	42
<b>Figura 25:</b> Declividade na voçoroca localizada no Campo dos Cochos.....	43
<b>Figura 26:</b> Curva granulométrica apresentando o percentual retido por abertura da peneira. ....	45
<b>Figura 27:</b> Curva granulométrica apresentando o percentual acumulado por abertura da peneira. ....	45
<b>Figura 28:</b> Evolução da erosão comparando os anos de 2005, imagem superior, e 2021, imagem inferior.....	46
<b>Figura 29:</b> Áreas erodindo classificadas de forma não supervisionada com o auxílio do <i>software ArcGIS 10.8</i> .....	47
<b>Figura 30:</b> Área de solo exposto no entorno da voçoroca para campo dos Cochos.....	48
<b>Figura 31:</b> Evolução da voçoroca entre os anos de 2005 a 2021.....	49
<b>Figura 32:</b> Gráfico pluviométrico mensal entre 2005 e 2021.....	51
<b>Figura 33:</b> Deposição de sedimentos próximo a erosão no Distrito Industrial.....	52
<b>Figura 34:</b> Evolução da área urbana no Distrito Industrial de Rio Claro.....	53

## Índice de Equações

<b>Equação 1:</b> Teor de umidade no solo .....	8
<b>Equação 2:</b> Massa específica do solo .....	9
<b>Equação 3:</b> Densidade dos grãos do solo .....	9

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Percentual de declividade.....	32
<b>Tabela 2:</b> Dados físicos obtidos através de ensaios laboratoriais realizados .....	43
<b>Tabela 3:</b> Valores para a área da voçoroca, seu volume perdido e a área do solo exposto total do local conforme o tempo. ....	50
<b>Tabela 4:</b> Valores para área urbana no local e seu avanço conforme os anos de 2007 a 2021 .....	52
<b>Tabela 5:</b> Resultados granulométricos para amostra RC-CC-1 (peneiramento). ....	63
<b>Tabela 6:</b> Determinação da massa específica do solo na amostra RC-CC-1.....	63
<b>Tabela 7:</b> Determinação da massa específica do solo na amostra RC-CC-2.....	64
<b>Tabela 8:</b> Análise granulométrica conjunta para a amostra RC-CC-2. ....	64

## Lista de Siglas e Abreviações

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR: Norma Técnica Brasileira

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

UNESP: Universidade Estadual Paulista

CEAPLA: Centro de Análise e Planejamento Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

w: umidade

m: Massa

$\rho_s$ : Massa específica dos sólidos

h: Fator de umidade

$\delta$ : Densidade dos grãos

v: Volume

## Sumário

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>3. Revisão bibliográfica</b>	<b>3</b>
3.1. Erosão	3
3.2. Ensaio laboratoriais	7
3.2.1. Granulometria	7
3.2.2. Sedimentação	10
3.3. Evolução Espaço-temporal	10
<b>4. Área de estudo</b>	<b>12</b>
4.1. Localização da área de estudo	12
4.2. Histórico	16
4.3. Geologia Regional	19
4.4. Geologia Local	21
4.4.1. Formação Corumbataí	22
4.4.2. Formação Rio Claro	23
4.5. Pedologia	24
4.6. Geomorfologia	26
4.7. Clima	29
4.8. Hidrografia	30
<b>5. Materiais e Métodos de Trabalho</b>	<b>31</b>
5.1. Levantamento bibliográfico	31
5.2. Confeção de mapas auxiliares, figuras e tabelas	31
5.3. Evolução espaço-temporal	32
5.4. Trabalhos de campo	34
5.5. Ensaio laboratoriais	35
<b>6. Resultados e Discussões</b>	<b>37</b>
6.1. Trabalho de campo	37
6.2. Ensaio laboratoriais	44
6.3. Análise Multitemporal	46
<b>7. Conclusão</b>	<b>54</b>
<b>8. Referências Bibliográficas</b>	<b>56</b>
<b>9. Apêndice 1</b>	<b>63</b>

## 1. *Introdução*

O processo erosivo é vastamente abordado na literatura devido ao seu impacto direto na vida humana, seja na forma de prejuízos econômicos, ambientais ou sociais em todo o Brasil; a erosão trata-se da desagregação e remoção de partículas presentes no solo ou rocha por diversos processos, sendo eles: hídricos, eólicos, glaciais ou causados por organismos vivos (MUEHE, 2006).

Os fatores que podem condicionar a deflagração desses processos erosivos seriam, segundo Conciani (2008), o clima, o relevo, a cobertura vegetal, a ação antrópica e, propriamente, a natureza do solo.

Os processos erosivos podem ser divididos em erosão pluvial por arrastamento (*splash*), erosão fluvial, erosão interna (*piping*), erosão laminar e erosão linear, esta, dividida em sulcos ravinhas e voçorocas (ou boçorocas), segundo Conciani (2008); a voçoroca ocorre no momento em que se atinge o nível d'água, com seu aprofundamento vertical e horizontal, com erosão interna (*piping*) em alguns casos, e é de grande relevância, pois possui um grande poder destrutivo, o que evidencia a necessidade de estudos para o processo erosivo.

Uma forma de analisar esses processos erosivos, é o método da análise da evolução das erosões através de imagens em diferentes momentos históricos, no qual é fundamental para o monitoramento do avanço, de modo a garantir sua estabilidade, e intermediação em casos necessários. As imagens utilizadas para a análise histórica podem ser com a obtenção de imagens de satélite, drones, aviões, e até mesmo com a utilização do *software Google Earth Pro*, gratuito e de fácil acesso à comunidade, portanto, estudos que permita explorar suas mais diversas funcionalidades para o geoprocessamento são de extremo interesse para a comunidade acadêmica.

O método já foi aplicado anteriormente por Ferreira (2012), Etchelar e Guasselli (2017), Batista *et al* (2019), Manguiera *et al.* (2016), Salgado *et al* (2008), entre outros autores, e consiste na definição da área de interesse, coleta, através dos diferentes mecanismos de busca de imagens históricas, sejam *softwares* como *Google Earth Pro* ou *Global Mapper*, imagens orbitais de satélites, utilização da captura de imagens por drones, ou até mesmo a compra de imagens por empresas privadas.

A análise espaço temporal possui suas limitações, como a necessidade de uma qualidade visual razoável das fotos, assim como sua disponibilidade em diferentes momentos, o que possibilite marcar uma evolução para a área

Na cidade de Rio Claro, o constante avanço da área urbana do município, alinhado a constantes alterações do uso e ocupação do solo e suas características geotécnicas locais, condicionam o aparecimento e potencialização das feições erosivas, sejam elas lineares ou laminares, portanto, para o desenvolvimento do trabalho, foram selecionadas duas feições erosivas com características distintas e coletadas imagens de satélite pelo *software Google Earth Pro* em dado intervalo de tempo, buscando dimensionar e quantificar os processos nas áreas.

O município de Rio Claro é dividido em duas zonas, segundo Kertzman, et al. (1995) que mapearam as áreas de susceptibilidade de erosão do estado de São Paulo, uma com alta susceptibilidade ao desenvolvimento de erosões, localizado na porção oeste do município, e uma área com baixa susceptibilidade a erosões, localizada a leste do município. A porção de alta susceptibilidade representa cerca de 70% do município e engloba boa parte da área urbana, o que pode apresentar risco a população local. Segundo Zaine (1994), o município é composto, predominantemente por 2 formações geológicas, a Formação Corumbataí, com seus siltitos e argilitos, como base, e a Formação Rio Claro, com depósitos cenozoicos de solos arenosos e arenitos pouco consolidados, como topo, que são, respectivamente, pouco e muito suscetíveis a infiltração hídrica, levando ao acúmulo de água no intermédio das formações e subsequente desencadeamento das feições erosivas; é uma característica comumente encontrada nas erosões encontradas e desenvolvidas na Depressão Periférica Paulista.

O uso e ocupação dos solos é outro quesito que pode acarretar no desencadeamento e avanço das feições erosivas, pois pode levar a uma impermeabilização da área, além de aumentar a exposição do solo aos processos que condicionam a erosão, como a chuva que desagregará as partículas.

O avanço desordenado do município e desconsiderando o substrato geológico da área, pode muitas vezes sobrepor a ordem natural para estabilização da área, como a alteração no regime hídrico de determinada região.

O trabalho pretende contribuir na linha metodológica apresentada pelos autores Ferreira (2012), Etchelar e Guasselli (2017) e Batista *et al* (2019), para aprofundar o uso de ferramentas de livre acesso, como o *software Google Earth Pro*, em trabalhos acadêmicos, além de agregar corpo ao estudo da evolução espaço-temporal das erosões.

## 2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a evolução espaço-temporal do desenvolvimento de erosão linear e fluvial em diferentes contextos geológicos, geomorfológicos e antrópicos.

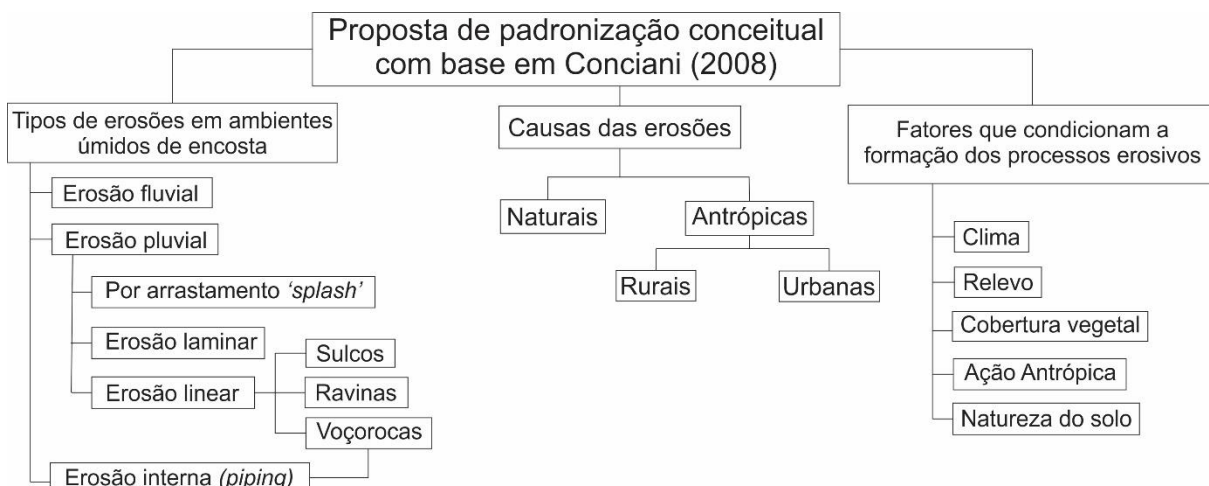
## 3. Revisão bibliográfica

### 3.1. Erosão

Erosão é caracterizado como o processo responsável pela desagregação e consequente remoção das partículas presentes no solo, ou rocha devido a ação de processos hídricos, eólicos, glaciais e por ação de organismo, sejam animais ou vegetais (Oliveira e Brito, 1999; Magalhães, 2001; Muehe, 2006).

Com exceção da água, os fatores que mais acarretam erosão linear são: o tipo de solo (primeiro), tipo de relevo (segundo), tipo de substrato rochoso (indireto) e fatores antrópicos, que também atuam de forma indireta, como o uso e ocupação do espaço ou a expansão não controlada da cidade, que tende a impermeabilizar o espaço, além de retirar parte da grande cobertura vegetal, desencadeando e potencializando a evolução do processo erosivo da área. Erosões também podem estar relacionadas a fatores climáticos, como o volume de chuva na área, além da saturação em que o solo é acometido. Conceito base de erosão, segundo Conciani (2008), pode ser observado na Figura 1.

**Figura 1:** Proposta para conceito base de erosão.



**Adaptado:** Conciani (2008).

Para o solo, pode-se citar como principais fatores sua textura, estrutura e profundidade.

**Textura** – texturas do tipo arenosa, tendem a ser mais suscetíveis a criação de erosões lineares do que os solos argilosos, estes demonstram uma certa resistência quanto ao aprofundamento da ravina.

**Estrutura** – estruturas como em bloco e prismáticas (principalmente), tendem a concentrar mais água do escoamento em filetes coincidente com a disposição das macroestruturas, favorecendo a formação de ravinas.

**Profundidade** - não se observa presença de voçoroca em solos rasos, pode se dizer que isso ocorre devido ao fato de que em solos rasos, a chance de haver o contato com o nível freático é menor.

Os locais preferenciais para o aparecimento de erosões são em encostas com a ruptura de declive, delimitando pequenos embaciamentos, geralmente encontrados em cabeceiras de drenagens, característica de erosões encontradas na Depressão Periférica Paulista, representada por uma das erosões selecionadas para estudo, localizada em zona rural, sem grande intervenção antrópica atuante.

Outro fator a ser levado em consideração é o regime de chuva que pode interferir quanto a sua capacidade de impacto, onde trompas de água tem um poder destrutivo gigantesco comparadas a outros tipos de precipitação; a ausência de proteção vegetal também pode intervir de modo significativo no processo erosivo, com o aumento do solo desagregado, e consequente impacto direto da precipitação sobre o solo.

Segundo Santos, Griebeler e Oliveira (2010), as principais características que podem deflagar e evoluir o processo erosivo na área, quando relacionado a precipitação, são sua intensidade, duração, frequência de chuva e sua erosividade. Nos casos voltados ao volume pluviométrico, o impacto das gotas de chuva sobre o solo desmatado, através da energia cinética do impacto da gota d'água, desagrega partículas mais finas do mesmo, proporcionando o escoamento dessas partículas, pela erosão laminar (Magalhães, 2001), e conforme as características do solo, nível de chuva e concentração do escoamento, se transforme em erosão linear em certas localidades; essa concentração no fluxo de água cria sulcos na terra, que, com o avanço do escoamento de partículas, se tornam ravinas e, alcançando o lençol freático, onde atuará também a erosão interna (*piping*), criam-se voçorocas (COSTA, 2001; SANTOS, 1997; GARBIATE *et al.*, 2011; SALGADO *et al.*, 2009).

Cabe a caracterização de dois termos que serão comumente utilizados no decorrer do projeto, são eles: **erosividade**, no qual trata-se de um índice que retrata a capacidade da chuva

em causar erosão (OLIVEIRA & BRITO, 1998; CAMPOS FILHO *et al.*, 1992; BERTOL, 1994), e **erodibilidade** do solo que está ligada ao processo que regula a infiltração de água no solo, a desagregação de partículas e a resistência ao transporte superficial, onde todos são responsáveis pelo comportamento do solo quando sobre efeito de processos erosivos (1988 Apud Lal, 1997; CAMPOS FILHO *et al.*, 1992).

A topografia também intervém, onde trechos mais íngremes e de maior comprimento da encosta tendem a ter um maior e mais rápido escoamento do fluxo de água e por consequência, maior desagregação do solo.

Esses condicionantes podem levar a um processo de erosão acelerada, que é a erosão que não permite a recuperação do solo em um curto período de tempo; seja devido a alteração do ambiente ou a ações antrópicas; o maior causador da erosão acelerada seria a chuva.

Erosões lineares, sejam elas sulcos, ravinas ou voçorocas, estão alinhados a dinâmica superficial, com ou sem a ocorrência de fatores antrópicos. Segundo Almeida Filho (2014), a diferenciação principalmente entre ravinas e voçorocas são de extrema importância, dado que possuem diferentes maneiras para remediação, enquanto que para as voçorocas deve ser dada uma atenção principalmente ao lençol freático, nas ravinas devem ser levadas em consideração formas de se conter o escoamento superficial e a estabilização desse processo, de modo a evitar sua evolução para uma voçoroca.

As feições erosivas podem progredir ou regredir no decorrer do tempo, sendo que a evolução natural da mesma é dada por:

**Sulco:** Início do processo erosivo, com a formação de pequenas estrias no solo, sem relevância vertical.

**Ravina:** Dá-se início ao processo de verticalização da erosão linear, onde são formadas estrias alongadas no solo, com comprimento métrico, e profundidade centimétricas.

**Voçoroca:** Ao se atingir o nível d'água, com o aprofundamento horizontal constante, inicia-se a formação de um processo intenso de aprofundamento horizontal, por vezes ligado a erosão interna, também conhecida como *piping*, que se trata de vazios no interior do terreno que podem causar desmoronamento ou escorregamento de solo.

A voçoroca possui um grande poder destrutivo se comparado aos outros tipos de erosões lineares, ressaltando uma maior necessidade e consequente dificuldade em seu controle.

É possível caracterizar as voçorocas em dois principais grupos, demonstrados na Figura 2:

1° - Voçoroca causadas pela alteração hidrológica das bacias de contribuição das drenagens, provocadas pelo desmatamento dessas bacias. O desequilíbrio hidrológico que assim se instala, aliado as características locais, muito favoráveis ao ravinamento, provoca alterações no regime

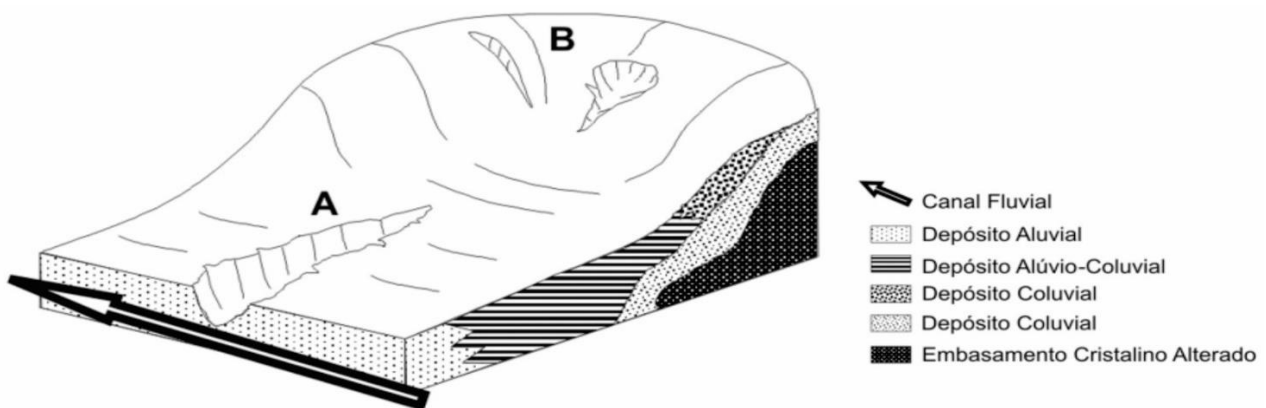
de vazões, criando condições para o surgimento de fenômenos de *piping* e erosão remontante, portanto, induzindo ao rejuvenescimento das drenagens. Imagem representativa a Figura 2 - B, contudo, a voçoroca pode vir a atingir o canal fluvial em dado momento.

O processo é natural à dinâmica de uma área, e uma das erosões selecionadas foi buscando esse critério de voçoroca, localizada em uma encosta sobre anfiteatros de nascentes.

Na busca, de um novo perfil de equilíbrio, compatíveis com as mudanças hidrológicas regionais, a drenagem remonta e reentalha, originando boçorocas ramificadas e de grande porte, como mostra a Figura 3.

2° - Voçoroca originada por concentração das águas superficiais. Dentro deste grupo de voçorocas incluíram-se as voçorocas urbanas causadas pelo lançamento concentrado das águas pluviais e servidas em drenagens próximas as cidades, e as boçorocas rurais induzidas pela drenagem de rodovias e ferrovias, bem como por manejo agrícola inadequado, por cercas, trilhas de gado e outros, exemplificado na Figura 2 - A. Tal tipo de voçoroca pode ser encontrada em uma segunda erosão selecionada, onde já se existia a drenagem, contudo, a alteração no regime hidrológico da bacia, devido a instalação de uma galeria, levou ao entalhe da voçoroca em uma formação geológica comumente resistente ao processo erosivo.

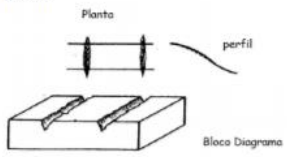
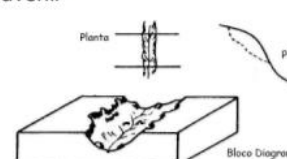
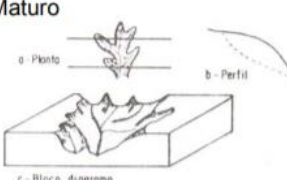
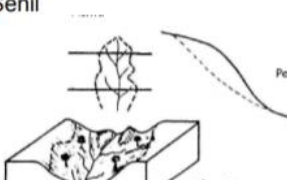
**Figura 2:** Exemplo de voçoroca conectada e desconectadas ao canal fluvial.



**Fonte:** Salgado *et al.* (2008)

Outro viés a ser levado em consideração é que algumas voçorocas podem estar relacionadas a formas de ocupação anteriores e não a atuais, cabendo ao estudo buscar o histórico de acontecimentos.

**Figura 3:**Estágios de evolução de uma voçoroca e suas características.

Estádio das Boçorocas	Características
<p><b>Inicial</b></p> 	<p>O leito apresenta-se com perfil irregular, acompanhando a encosta; Seção transversal em V, com paredes retilíneas; Não tem ramificações e os limites apresentam-se regulares; A base do sulco está elevada em relação a base da encosta.</p>
<p><b>Juvenil</b></p> 	<p>Perfil de leito irregular, com forma similar a encosta, porém com gradiente independente; Seção transversal em V aberto, com paredes côncavas para o vale; Linha de contorno irregular, porém sem ramificações; A base da voçorocas esta elevada em relação a base da encosta.</p>
<p><b>Maturo</b></p> 	<p>O perfil do leito é regular, independente do perfil da encosta côncava; A base da voçoroca atingiu o nível de base de encosta; A voçoroca apresenta ramificações com linhas de contorno irregulares, estas ramificações podem apresentar as características do estágio juvenil; Seção transversal em U; fundo chato e paredes côncavas.</p>
<p><b>Senil</b></p> 	<p>Perfil do leito apresenta-se como estágio maduro; Linha de contorno pouco irregular; Ramificação com as mesmas características do leito principal; Paredes com inclinação suave e relevo arredondado; Cobertura vegetal em toda parte; leito maior coberto com depósitos aluviais.</p>

**Fonte:** Guimarães (2008).

## 3.2. Ensaios laboratoriais

### 3.2.1. Granulometria

O ensaio de granulometria é utilizado para determinar a distribuição granulométrica do solo, ou em outras palavras, a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total utilizada para o ensaio. O ensaio de granulometria é dividido em duas partes distintas, utilizáveis de acordo com o tipo de solo e as finalidades do ensaio para cada caso particular. São elas: análise granulométrica por peneiramento e análise granulométrica por sedimentação (NBR 7181). Os solos grossos (areias e pedregulhos), possuindo pouca ou nenhuma quantidade de finos, podem ter a sua curva granulométrica inteiramente determinada utilizando-se somente o peneiramento. Em solos possuindo quantidades de finos significativas, deve-se proceder ao ensaio de granulometria conjunta, que

engloba as fases de peneiramento e sedimentação. Através dos resultados obtidos desse ensaio, é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, que possui fundamental importância na caracterização geotécnica do solo, principalmente no caso dos solos grossos.

Para aferição da curva granulométrica do solo, seguiu-se as seguintes etapas: Inicialmente, coleta-se 200 g da amostra que já foi lavada (para retirada de finos) e seca (por 12 horas na estufa). Então, a amostra é colocada em uma “torre” de peneira que possuem diferentes tamanhos para passagem de partículas sólidas, de acordo com a especificação na NBR 5734 da ABNT (4,76 mm; 2 mm; 1,19 mm; 0,59 mm; 0,42 mm; 0,297 mm; 0,25 mm; 0,149 mm; 0,074 mm; 0,053 mm; <0,053 mm - fração de finos). A torre é então colocada sobre o agitador por 10 minutos para a realização do peneiramento. Finalmente, o sólido retido em cada peneira é anotado e feito uma padronização dos cálculos com porcentagem.

Abordando os índices físicos do solo, define-se teor de umidade ( $w$ ) de uma amostra de solo como a razão percentual entre a massa da água ( $ma$ ) contida em um certo volume de solo e a massa da parte sólida ( $ms$ ), suas partículas, Equação 1 existente nesse mesmo volume, expressa em porcentagem. Também pode ser calculada pela razão entre pesos.

**Equação 1:** Teor de umidade no solo

$$h = w = 100 \cdot \frac{ma}{ms} (\%)$$

Conhecido o teor de umidade de um solo, pode ser imediatamente calculado o fator de correção de umidade ( $fc$ ), que ao ser multiplicado pelo peso de uma amostra com esse teor de umidade informa o peso que tal amostra teria se estivesse seca.

A determinação do teor de umidade de uma amostra de solo pode ser feita por vários métodos, sendo o mais utilizado:

- Determinar a massa total ( $mt$ ) da amostra;
- Secar completamente a amostra;
- Determinar a massa da amostra seca ( $ms$ );
- Por diferença, obter a massa original da água na amostra ( $ma = mt - ms$ )
- Calcular o teor de umidade  $h = 100 \cdot ma / ms$ . Expressá-lo em porcentagem

Massa específica de um sólido (NBR-6508) - é obtida pela razão entre sua massa e o volume que a partícula ocupa no espaço, e é expressa em  $g/cm^3$  como mostra a Equação 2. Como em um solo podem ocorrer partículas de natureza variada, em geral há mais interesse em determinar

o peso específico médio das partículas sólidas que o compõem. Além disso, a fração mais fina dos solos costuma ter natureza diversa se comparada com as de maior tamanho, já que é gerada mais por desintegração química (oxidação, hidratação, carbonatação) do que mecânica (ruptura e desgaste, causados por temperatura, atrito, etc.). Por isso, as normas sempre se referem à determinação do peso específico médio ou da densidade média das partículas menores que um tamanho especificado.

**Equação 2:** Massa específica do solo

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{m_{amostra+anel} - m_{anel}}{v_{anel}}$$

Sendo:  $\rho$  = massa específica do solo

$m_{amostra+anel}$  = massa da amostra com a massa do anel

$m_{anel}$  = massa do anel

$v_{anel}$  = volume do anel (99,34 g/cm<sup>3</sup>)

Um dos métodos utilizados para cálculo da massa específica do solo (Equação 3) é o da bomba a vácuo junto ao picnômetro. De acordo com a norma NBR 5734 (ABNT), é necessário determinar a massa específica dos grãos de solo que passam na peneira de 2,0 mm, utilizando um picnômetro de 500 ml. O processo é feito através da separação da amostra, aferido 40 g de material que é então triturado com o pistilo. A amostra é então transferida para um picnômetro, e então preenchida até metade com água destilada. Subsequentemente, é feito um bombeamento a vácuo do picnômetro, por 10 minutos, e completado o recipiente com água. Após esse processo, afere-se a temperatura e calcula a massa específica da água para determinada temperatura.

**Equação 3:** Densidade dos grãos do solo

$$\delta = \delta T \cdot m_s / (m_s + m_3 - m_2)$$

Onde:  $\delta$  = densidade dos grãos do solo;

$m_s$  = massa da amostra seca, obtida por  $M_s = 100 M_0 / (100 + h)$ ;

$m_2$  = massa do picnômetro com solo e água até a marca, na temperatura T de ensaio;

$m_3$  = massa do picnômetro com água até a marca, na temperatura T de ensaio;

w = umidade inicial da amostra;

$\delta T$  = densidade da água, na temperatura T de ensaio

### **3.2.2. *Sedimentação***

O método resume-se na lavagem de 40g de sedimentos, com o auxílio de uma peneira, para retirada da fração mais fina (argila e silte). Em seguida leva-se à estufa por no mínimo 12 horas para secagem do material. A amostra é então pesada para cálculo da quantidade de finos e areia presentes. Quando a quantidade de finos é suficiente grande (cerca de 20-30%), é realizado um cálculo simples (regra de três) para determinar que a massa da argila da amostra seja de 55 g. Em um béquer, é colocado a amostra calculada e sobre ela é adicionado uma mistura de hexametáfosfato de sódio e água (concentração de 45,7 gramas por litro), com aproximadamente 125 ml de água. Subsequentemente, a amostra é submetida a uma lavagem, com a captura da água em uma proveta, e com um suporte com peneira para separação da porção de finos da porção areia. A lavagem é feita até que o medidor atinja 1 litro d'água. Com um densímetro, são aferidas medições da densidade do líquido contendo finos, e com um termômetro é medido a temperatura da água sem finos; essas medidas são realizadas em intervalos de tempo que vão dobrando conforme se avança no tempo.

### **3.3. *Evolução Espaço-temporal***

A evolução temporal busca uma análise histórica para a evolução da feição erosiva através de ortofotos, imagens de satélite, imagens de drones ou aviões, entre outros modos de captura de imagens nos diversos anos dispostos para os métodos em questão.

Todas as formas de captura de imagens devem passar por um critério de utilização, se a imagem atenderá a escala de trabalho, sua qualidade de imagem, assim como o histórico que se busca, como imagens atuais capturadas através de drones para maiores detalhes, ou aviões para detalhes menores.

O método é comumente utilizado, contudo, possui seus lados negativos, como a alteração na coloração e no ângulo entre as imagens em diferentes momentos, assim como a cobertura das erosões por vegetações mais densas; nuvens, até mesmo o ângulo de incidência das sombras

pode afetar no momento de realização da tarefa, devendo se atentar ao horário do dia da coleta e seleção das imagens.

As imagens coletadas devem estar precisamente georreferenciadas de modo a observar a evolução que a voçoroca obteve, assim como as áreas expostas a erosão no decorrer dos anos; o método também possibilita observar a alteração no uso e ocupação do local, assim como o avanço da área urbana em alguns casos.

Outra forma de aplicação do mapeamento da evolução espaço-temporal seria com a utilização de *softwares*, como o *software* livre *Google Earth Pro*, semelhante ao aplicado por Ferreira (2012), Etchelar e Guasselli (2017) e Batista *et al* (2019). Deste método é possível caracterizar o processo erosivo quanto a sua evolução, seu volume deslocado de solo da área, assim como a causa que veio a deflagrar a erosão do local, como a instalação de obras próximas a drenagem, ou um aumento relativamente maior em momentos onde o volume pluviométrico foi elevado.

Em alguns casos, as imagens coletadas também podem ser submetidas a um estudo espectrométrico, quando utilizado imagens de satélites com mais de uma banda, levando a encontra a melhor disposição de cores que corresponda as características da área de estudo, como utilizado por Silva *et al.* (2017).

## ***4. Área de estudo***

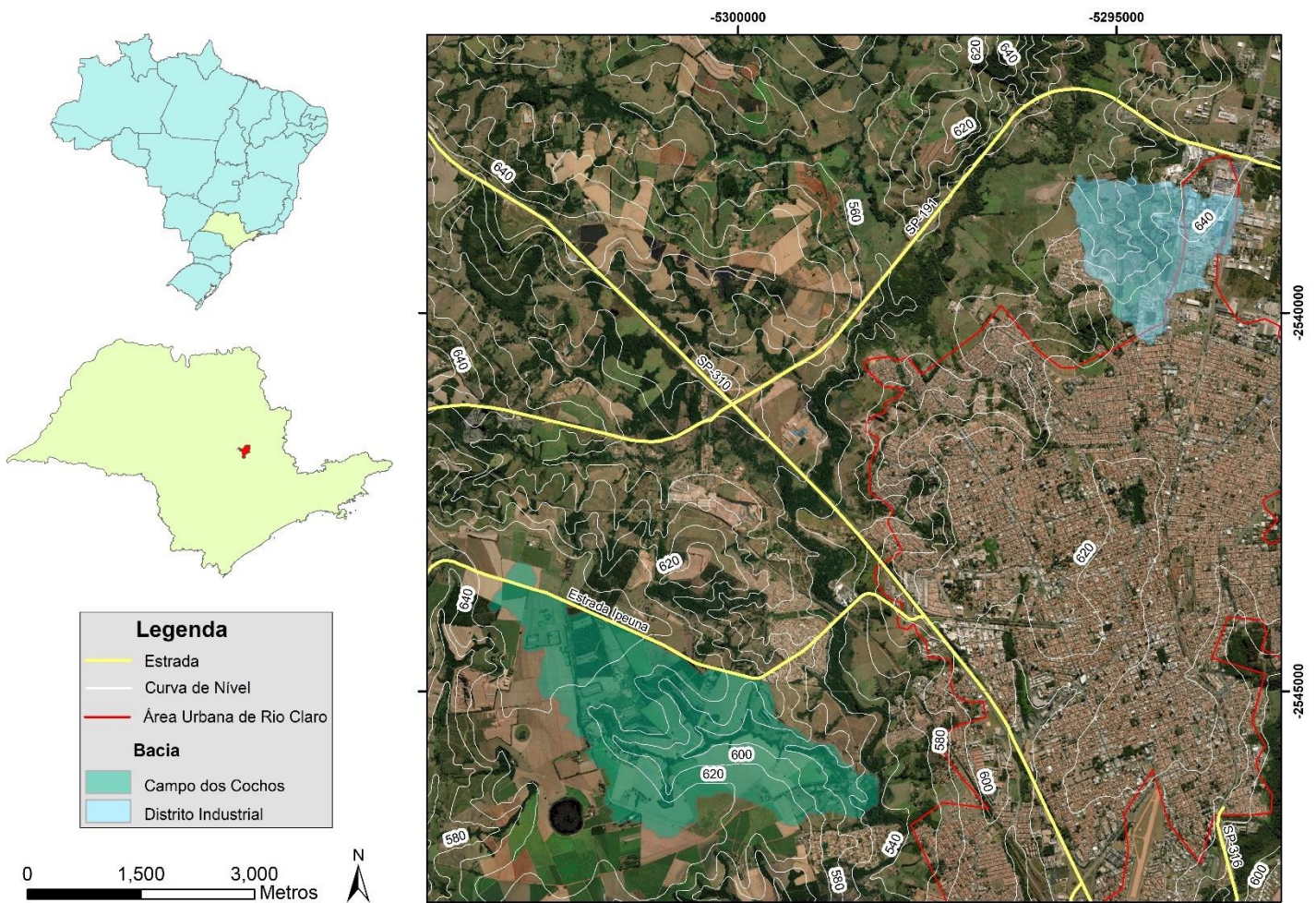
### ***4.1. Localização da área de estudo***

O município de Rio Claro está localizado na porção centro-leste do estado de São Paulo, possui uma área de aproximadamente 500.000 km<sup>2</sup> e uma população de aproximadamente 210.000 pessoas, com sua prefeitura localizada nas coordenadas 22°14' e 22°33' S, e entre 47°27' e 47°46' O.

As principais vias de acesso à cidade são SP-310 - Rodovia Washington Luís, SP-127 – Rodovia Fausto Santo Mauro, SP-316 – Estrada Santa Genebra, SP-191 – Estrada Pará Japi, e dista a 175 km da Capital.

O município foi escolhido para estudo por conta de suas características geológicas e geomorfológicas dispostas, como os solos arenosos e rochas pouco consolidadas da Formação Rio Claro sobre os argilitos e siltitos da Formação Corumbataí; essas características levam a ocorrência de inúmeros casos de erosões na área, sejam elas lineares ou laminares. Para uma ênfase no estudo das erosões da cidade de Rio Claro, foram selecionadas 2 erosões lineares (Figura 4) com contexto de formação e localidade totalmente distintos.

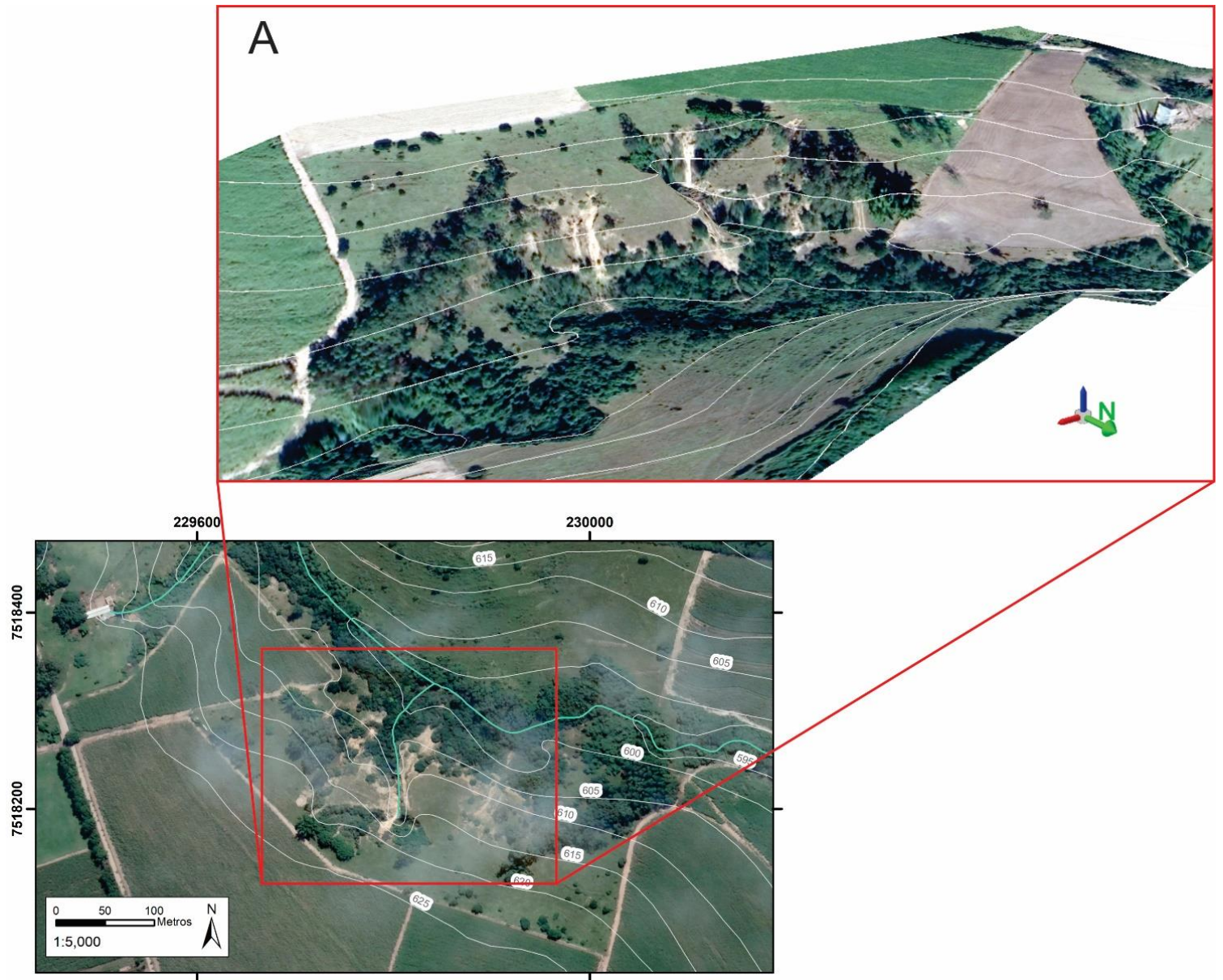
**Figura 4:** Mapa das sub-bacias selecionadas no município de Rio Claro, com base em estudos anteriores.



**Elaboração:** João C. P. Ferreira.

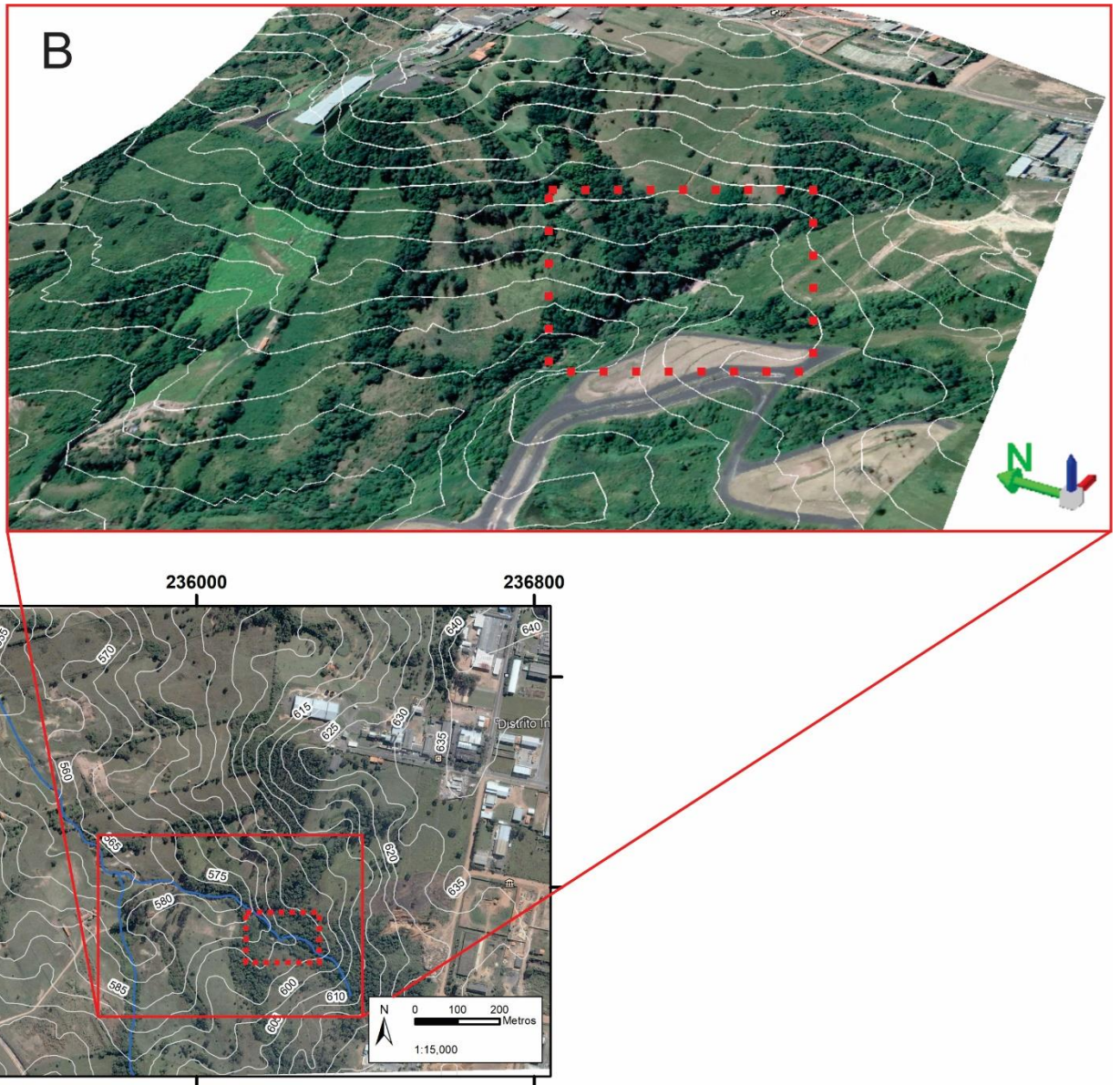
Dentre as erosões lineares selecionadas, uma se localiza dentro de área urbana, no Distrito Industrial próximo a área rural, e a segunda em área rural, localizada no Campo dos Cochos, como mostra respectivamente a Figura 5 e Figura 6, com uma sobrelevação de 5 vezes.

**Figura 5:** *Vistas aéreas da voçoroca instalada no Campo dos Cochos*



**Elaboração:** *João Carlos Porcel Ferreira*

**Figura 6:** *Vistas aéreas da voçoroca instalada no Distrito Industrial*



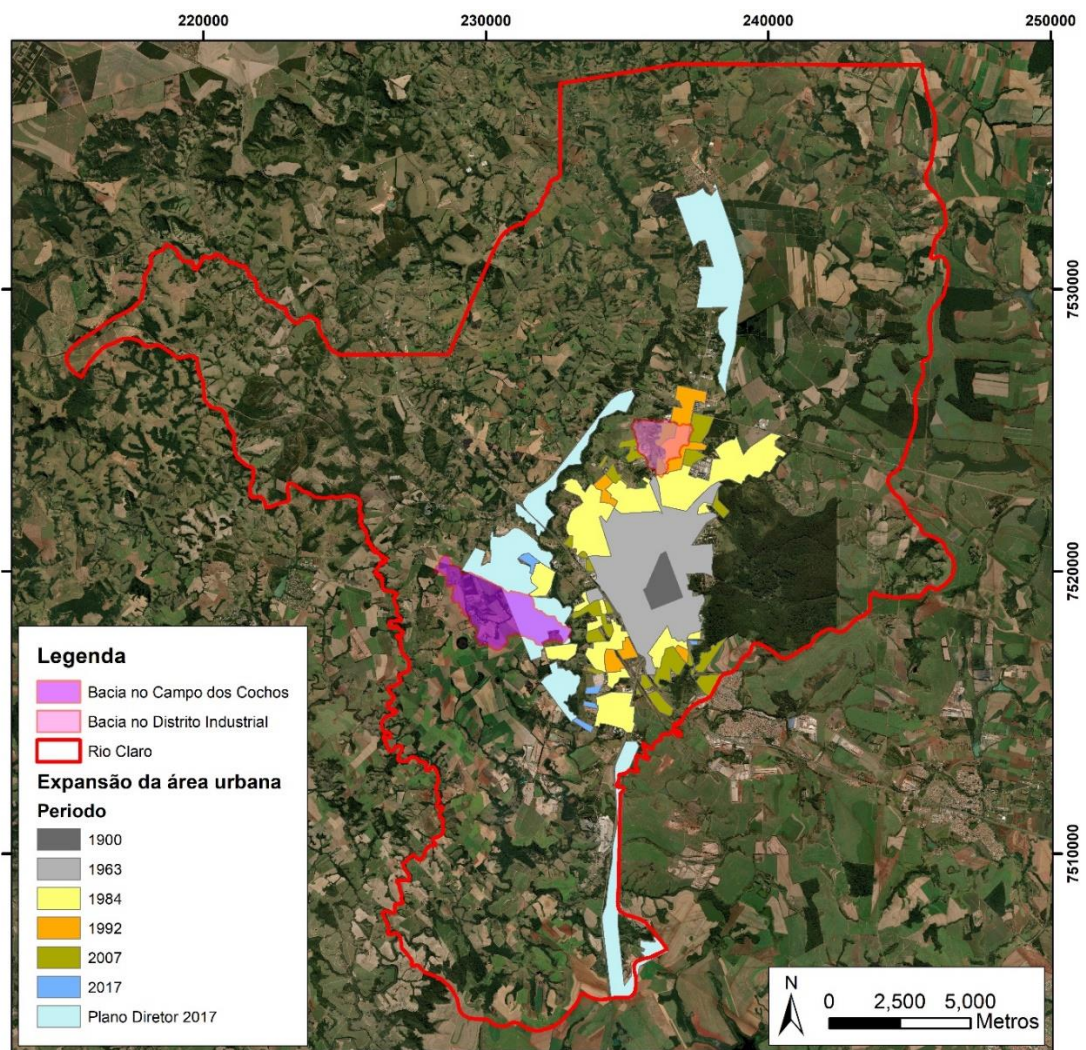
**Elaboração:** *João Carlos Porcel Ferreira*

## 4.2. Histórico

Fundada em 1830, com 190 anos, a cidade de Rio Claro passou por constante processo de expansão como apresenta a Figura 5, que mostra o avanço da cidade durante os anos e seu plano diretor para previsões futuras próximas.

O plano diretor para a cidade pode vir a alterar o uso e ocupação do município, levando a diminuição constante do uso e ocupação em pastagens e culturas temporárias, que predominam no município. O constante crescimento na urbanização também é um fator predominante na potencialização das feições erosivas, devido a impermeabilização da área periféricas por asfalto e construções, além de construções de galerias que podem condicionar a evolução da feição erosiva.

**Figura 5:** Mapa apresentando a evolução do município de Rio Claro/SP, nos anos de 1900, 1963, 1984, 1992, 2007, 2017 e o plano diretor para avanço a partir de 2017.



Adaptado: Ferreira (2019) e Rio Claro (2017).

Os avanços nas áreas urbanas de Rio Claro, demonstrados no mapa, são para as áreas urbanas já consolidadas, no plano diretor, que devem incluir os pré-requisitos para a consolidação desta, parafraseando a Resolução 302 do Conama, em seu artigo 1.228 – 2º:

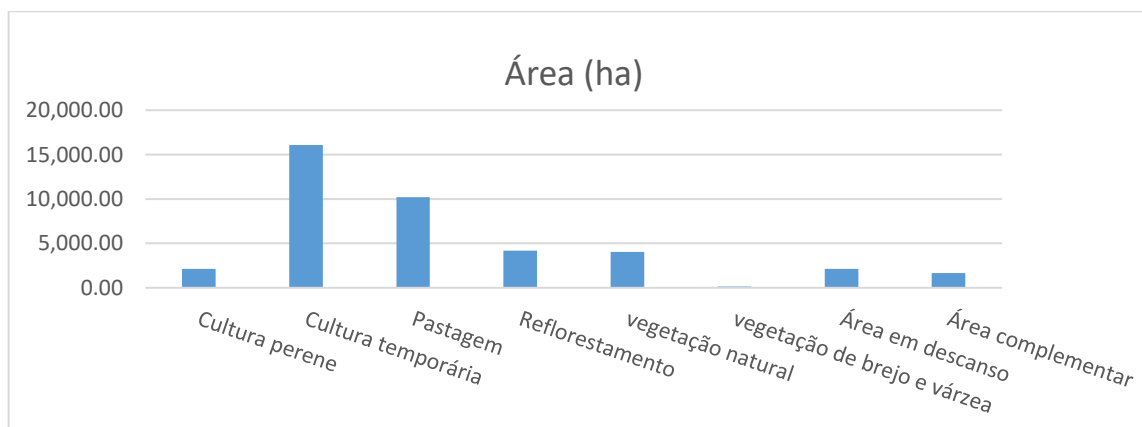
*“Área Urbana Consolidada: aquela que atende aos seguintes critérios:*

- Definição legal pelo poder público;
- Existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana:
  1. malha viária com canalização de águas pluviais;
  2. rede de abastecimento de água;
  3. rede de esgoto;
  4. distribuição de energia elétrica e iluminação pública;
  5. recolhimento de resíduos sólidos urbanos;
  6. tratamento de resíduos sólidos urbanos;
- Densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km<sup>2</sup>.”

De um ponto de vista urbano, o desencadeamento e subsequente evolução das erosões pode ser deflagrado pela ineficácia ou inexistência de uma devida rede de drenagem de águas pluviais, pelo planejamento inadequado do sistema viário, com ruas perpendiculares as curvas de nível da área, instalação de loteamento em locais indevidos, além da ausência de instalações de pavimentação, calçadas e afins (VITÓRIA, 2016).

Comumente, no município de Rio Claro, o uso e ocupação do solo, como mostra os dados de 2016/2017, na Figura 6, está majoritariamente ligado a áreas com culturas temporárias ou semi-perenes, e áreas de pastagem, onde ambas podem induzir a uma maior potencialização do processo erosivo linear, devido a característica de baixa vegetação e constante retirada desta, levando a exposição do solo, desagregação e transporte de partículas nos processo erosivo.

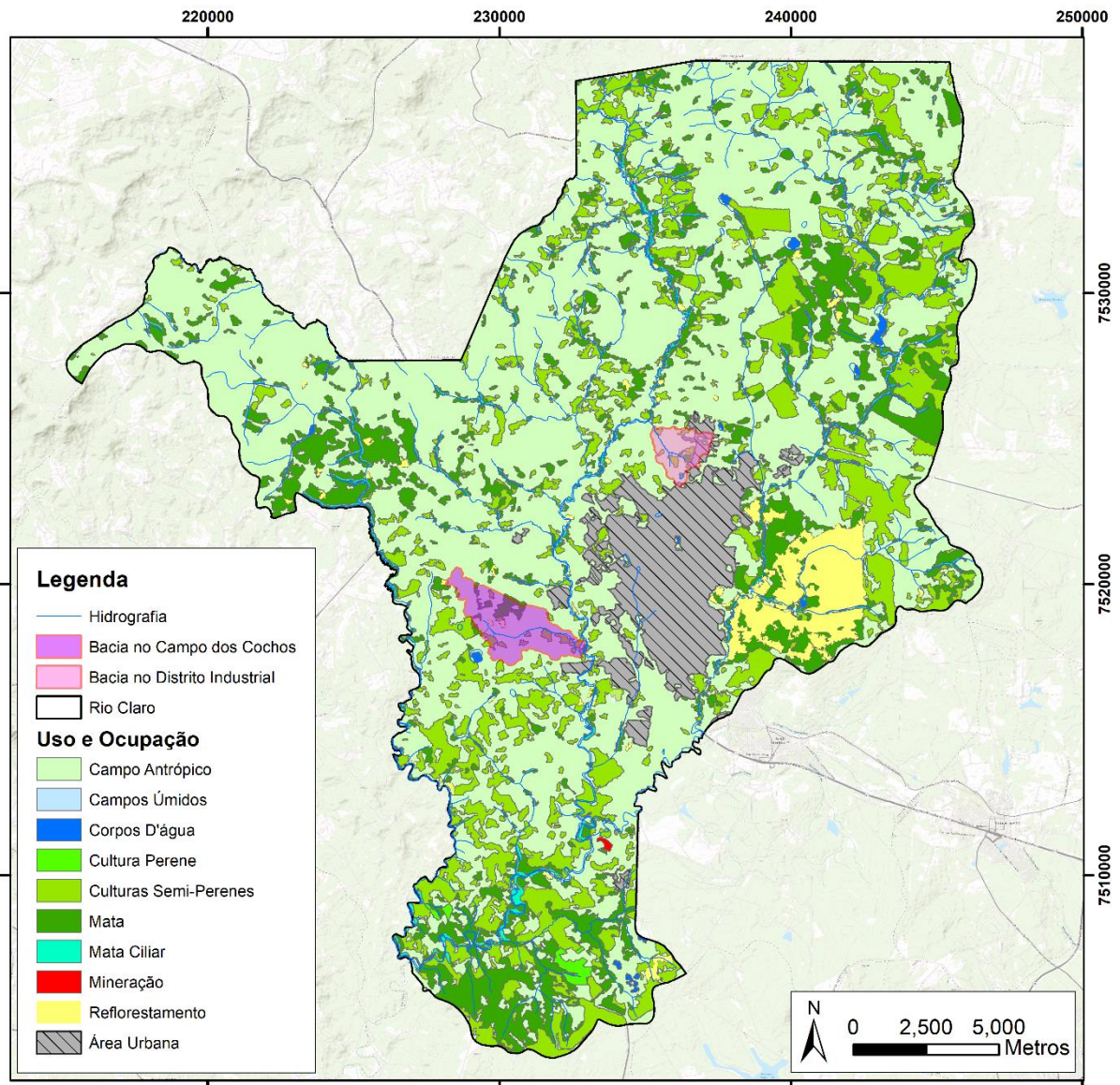
**Figura 6:** Gráfico de uso e ocupação do solo para os anos de 2016/2017.



**Fonte:** Secretaria de Agricultura e Abastecimento de Rio Claro.

Também observando o mapa de uso e ocupação para o município de Rio Claro (Figura 7), é notório predominância do campo da cultura semi-perene (ou temporária) e o campo antrópico, que também leva em consideração as pastagens citadas na figura supracitada.

**Figura 7:** Mapa de uso e ocupação para o município de Rio Claro -SP



Adaptado: IPT (2012)

### ***4.3. Geologia Regional***

A Bacia do Paraná é uma bacia sedimentar do tipo sinéclise, cobre parte do Uruguai, Paraguai, Argentina e Brasil, em sua porção meridional, abrangendo aproximadamente 1.500.00 km<sup>2</sup> e 6000 metros de espessura central e 2000 metros de rocha ígneas (sendo elas sills, diques e derrames basálticos), segundo Zalán et al. (1987); trata-se de uma bacia intracratônica, do tipo sinéclise, com formato ovalado, com seu maior eixo na direção N-S, datada do Ordoviciano, até o Cretáceo Superior, segundo Milani *et al.* (2007). Parte de sua porção é coberta pelos sedimentos cenozoicos (ZAINE, 1994).

No estado de São Paulo, a bacia dispõe do seguinte contexto geológico: Grupo Itararé e formações Tatuí, Irati, Corumbataí, Pirambóia, Botucatu, com derrames basálticos (Formação Serra Geral).

O Grupo Itararé, segundo Soares (1972), datada do Permo-Carbonífero, e é composta por sedimentos arenosos, que variam sua granulometria de muito fina a conglomerática, onde podem ocorrer diamictitos.

A Formação Tatuí, segundo Soares (1972), datada do Permiano Médio, é composta por rochas siltíticas, com a possibilidade de porções areníticas ou conglomeráticas, sua coloração varia de chocolate (porção basal) à esverdeadas e amareladas (superior).

A Formação Irati, data do Permiano Superior (DAEMON & QUADROS, 1970), e é dividida em dois membros, Taquaral e Assistência; o Membro Taquaral, porção basal da Formação Irati, logo acima da Formação Tatuí, é composto por argilitos, folhelhos cinza claro a escuro, com laminação plano paralelas, já o Membro Assistência, (SCHNEIDER et al., 1974), é composto por folhelhos pirobetuminosos, folhelhos cinza e calcários, por vezes dolomíticos.

A Formação Corumbataí, datada do Permiano Superior, segundo Schneider et al. (1974), é composta predominantemente por sedimentos finos, sejam eles siltitos, argilitos ou folhelhos, de coloração avermelhada a cinzenta, e com a possibilidade de ocorrer porções areníticas e carbonáticas, a formação será aprofundada mais a seguir

A Formação Pirambóia, data do Triássico Médio a Jurássico Inferior, e é composta por arenitos finos a médios, vermelhos a amarelados, com intercalação de argilitos e siltitos, com pequenos níveis conglomeráticos. São comumente encontradas estratificações cruzadas de médio a grande porte (ZAINE, 1994).

A Formação Botucatu é composta por arenitos bem selecionados, com grãos arredondados, marcando um ambiente desértico, sem a presença de argila, ele é datado do Jurássico. Segundo Schneider et al. (1974).





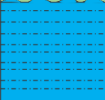

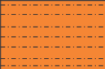

A Formação Serra Geral, segundo Schneider et al., 1974, datada do Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior, é composta por rochas ígneas, de composição basáltica toleítica, ligada a derrames de lava por vulcanismo fissural. Os diques e soleiras da Formação Serra Geral podem ser encontrados na região de Rio Claro/SP.

A formação Rio Claro, segundo Zaine (1994), datada do Cenozoico, é composta por arenitos pouco consolidados, em uma coloração amarelada a róseas, por vezes níveis contendo níveis conglomeráticos, ou argilosos; a formação será aprofundada mais a seguir.

O empilhamento estratigráfico, como apresentado na Figura 8, pode ser apresentado da base ao topo como Grupo Itararé, Formação Tatuí, Formação Irati, Formação Corumbataí, Formação Pirambóia, Formação Botucatu e Formação Serra Geral, embora esta possa ser encontrada intrudindo como sills e diques em diversas outras formações.

**Figura 8:** Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO DE PIRACICABA (SP)

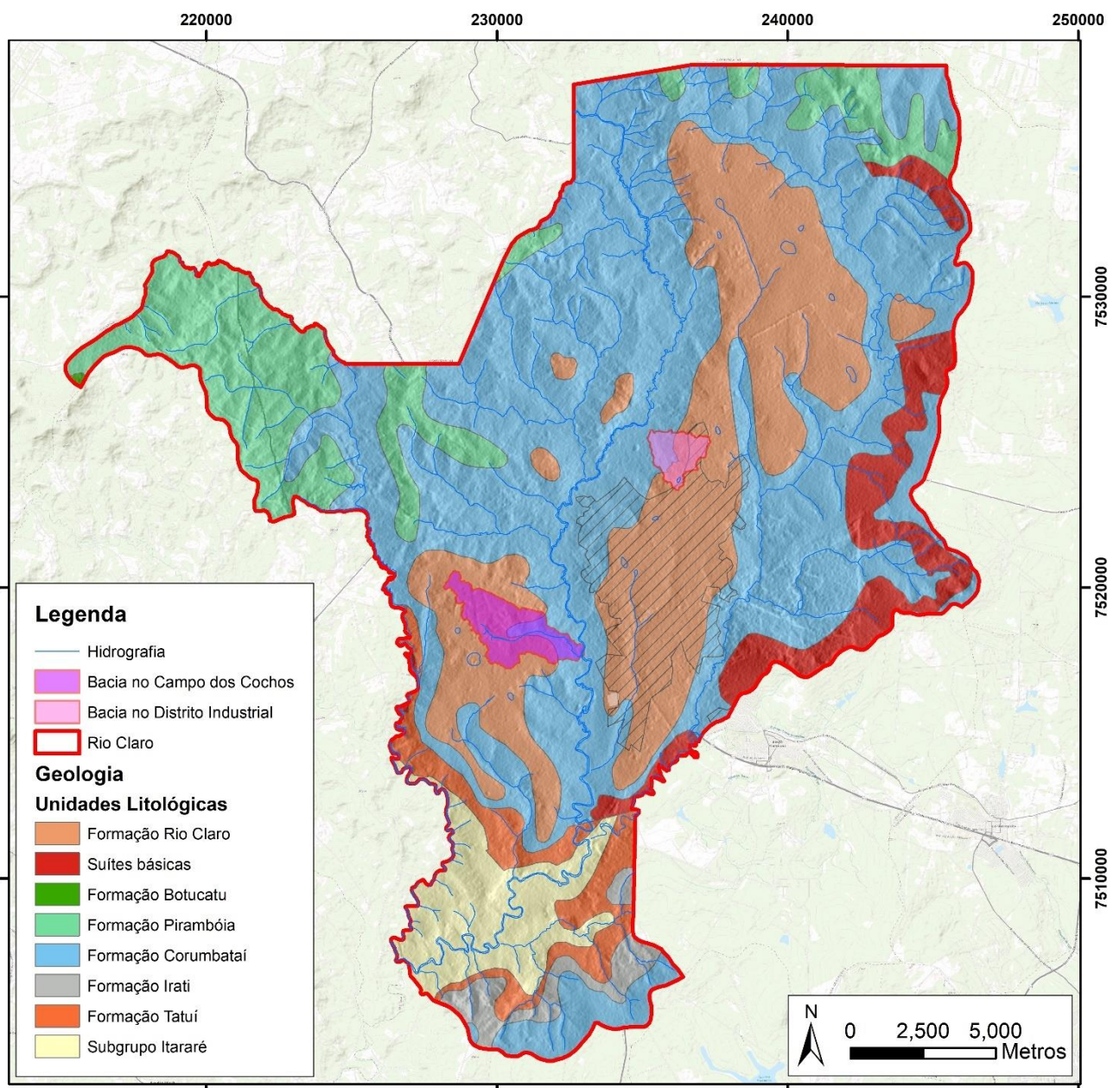
ERA	PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	ESPESSURA MÁXIMA LOCAL (m)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DEPOSIÇÃO
CENOZOICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	Arenito friável, pouco consolidado, com presença de linhas de seixos na base e lentes de argila eventuais	Continental, aluvionar conta com a presença de colúvião
	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	presente na porção mais central do mapa, ocorre como blocos proveniente de um dique ou soleira já erodidos	Magmatismo basico fissural
JURÁSSICO	BOTUCATU			100	Arenito bem selecionados, com grãos arredondados, esféricos e com pouca argila.	Ambiente continental e desértico	
TRIÁSSICO	PIRAMBOIA			150	Arenitos bem selecionados, maturo, com estratificações cruzadas, eventualmente aparece como um siltito em interduna encontrado apenas na borda do mapa	Grande deserto com dunas e interdunas, ambiente continental	
PALEOZOICO	PERMIANO	PASSA DOIS	CORUMBATAÍ		100	Siltitos e Argilitos arroxeados, por vezes amarelados por lixiviação, muito fraturados com coquinas, estromatolitos e diques clásticos	Ambiente marinho raso/transicional, tipo planície de maré
			IRATI		40	siltitos claros ou cinzas em seu membro inferior, com fosseis. no membro superior predominam calcários e folhelho escuro com bonecas de sílex e	Ambiente Marinho de plataforma e continental lagunar
		TATUÍ		50	Siltitos marrons na base e cor creme ao topo, tem concreções carbonáticas em toda espessura na area e a camada Ibicatu, um	Ambiente pós glacial, marinho de plataforma ou lacustre	
		ITARARÉ	ITARARÉ		900	a formação compreende diferentes facies como siltitos amarronzados, arenitos finos a medios com estratificação cruzada acanalada, arenitos com seixos e diamictitos	Ambientes glaciais marinhos e continentais.
CARBONIFER							

Fonte: Soares & Landim (1975 apud Perinotto & Zaine (2008)

#### 4.4. Geologia Local

No município de Rio Claro, as formações que podem ser encontradas em predominância, segundo Zaine (1994), são a Formação Rio Claro e a Formação Corumbataí, como mostra a Figura 9, embora existam porções mais periféricas ao município, onde possam ser localizadas as formações Botucatu, Irati, Pirambóia, Tatuí, Itararé, assim como a suíte básica da Formação Serra Geral.

**Figura 9:** Mapa geológico do município de Rio Claro - SP



Adaptado: IPT (2012)

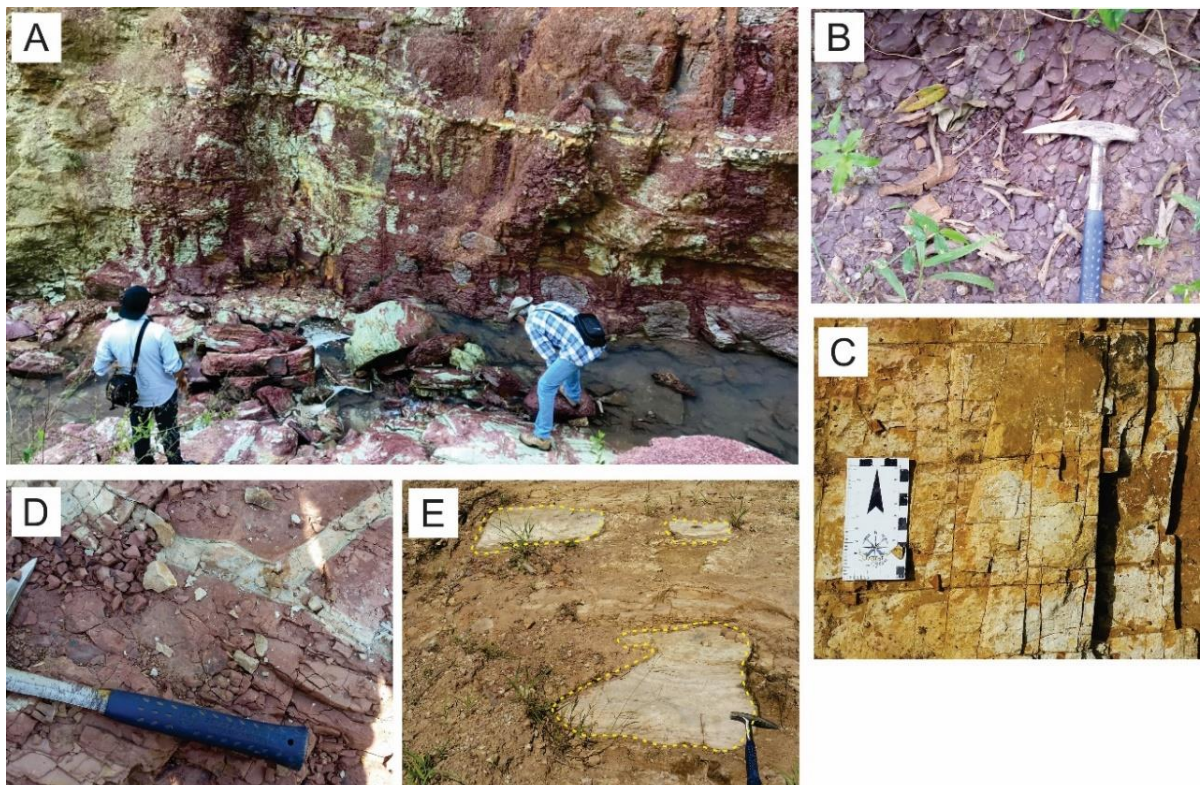
#### 4.4.1. Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí é constituída por arenitos finos, siltitos, lamitos folhelhos, Figura 10 – A, B, C e D, variando entre tons marrons avermelhados a acinzentados, também possuindo níveis de calcário (oolítico) e por vezes coquinas e estromatólitos (Figura 10 – E) (SCHNEIDER et al., 1974); sua espessura chega 130 metros (LANDIM, 1967). É datada do final do Permiano Superior, segundo Daemon e Quadros (1970) e encontrasse em contato concordante com a Formação Irati, como topo, e contato discordante com a Formação Pirambóia, como sua base.

Seu modelo formacional remete a um ambiente marinho de águas rasas, devido as características dos fósseis encontrados (SCHNEIDER et al., 1974). São eles bivalves, conchostráceos, ostracodes, peixes (cartilagosos e ósseos) e vegetais, desde licófitas Lepidodendrales à gimnospermas Glossopteridales, segundo Simões & Fittipaldi (1992).

Os siltitos e argilitos presentes na Formação Corumbataí tornam a mesma relativamente impermeável, predominando, portanto, o escoamento superficial sobre a formação.

**Figura 10:** **A)** Afloramento da Formação Corumbataí, localizado no bairro Distrito Industrial, em Rio Claro; **B)** Siltito avermelhado **C)** Siltito esbranquiçado fraturado; **D)** Siltito avermelhado, com diques clásticos; **E)** Estromatólitos encontrados na Formação Corumbataí, destacados em amarelo.



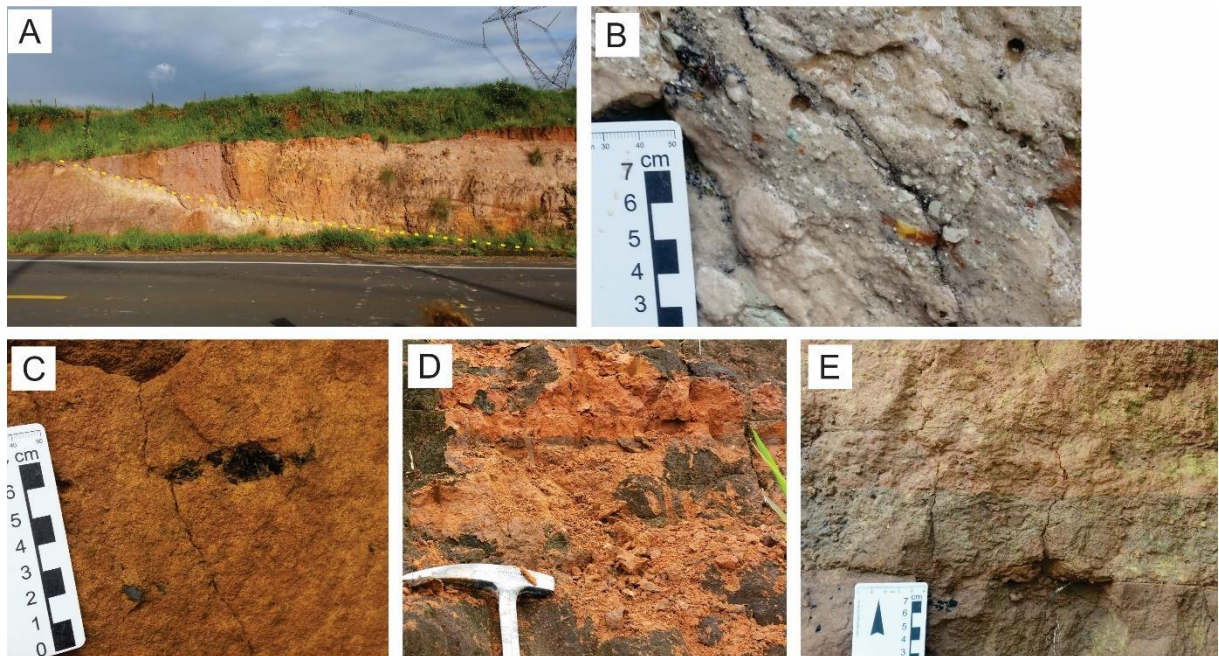
**Fonte:** João C. P. Ferreira.

#### 4.4.2. Formação Rio Claro

A Formação Rio Claro é datada do Cenozoico, em contato com as formações Irati, Corumbataí e Pirambóia, com relevos aplainados e suavizados (ZAINE, 1994). É composta por litotipos majoritariamente arenosos, pouco consolidados, que variam em cores esbranquiçadas, amareladas e por vezes róseas Figura 11 - C; sua porção basal possui, caracteristicamente, níveis conglomeráticos, contudo também são encontrados níveis com um arenito argiloso avermelhado e níveis de um argilitoossilífero Figura 11 – D (ZAINE, 1994). Sua espessura máxima chega a 30 metros, e o ambiente formacional pode ser representado por ambientes fluviais, como rios, lagos e planícies de inundações, Figura 11 - A, segundo Zaine (1994).

A formação possui fósseis fragmentados, em seus níveis argílicos, de vegetais, como angiospermas, e carófitas, Figura 11 B e E (ZAINE, 1994).

**Figura 11:** A) Afloramento da Formação Rio Claro, apresentando canal fluvial, destacado em amarelo; B) Fragmento de carvão encontrado na formação Rio Claro; C) Nível conglomerático na Formação Rio Claro; D) Porção de arenito argiloso avermelhado; E) Níveis mais escuros, representando camada com volume maior de orgânicos, contendo fragmentos de carvão.



**Fonte:** João C. P. Ferreira

O arenito pouco consolidado da Formação Rio Claro possibilita que está seja extremamente permeável, sendo por vezes, utilizada como aquífero não profundo e de baixa vazão, embora com uma maior possibilidade de contaminação.

#### **4.5. Pedologia**

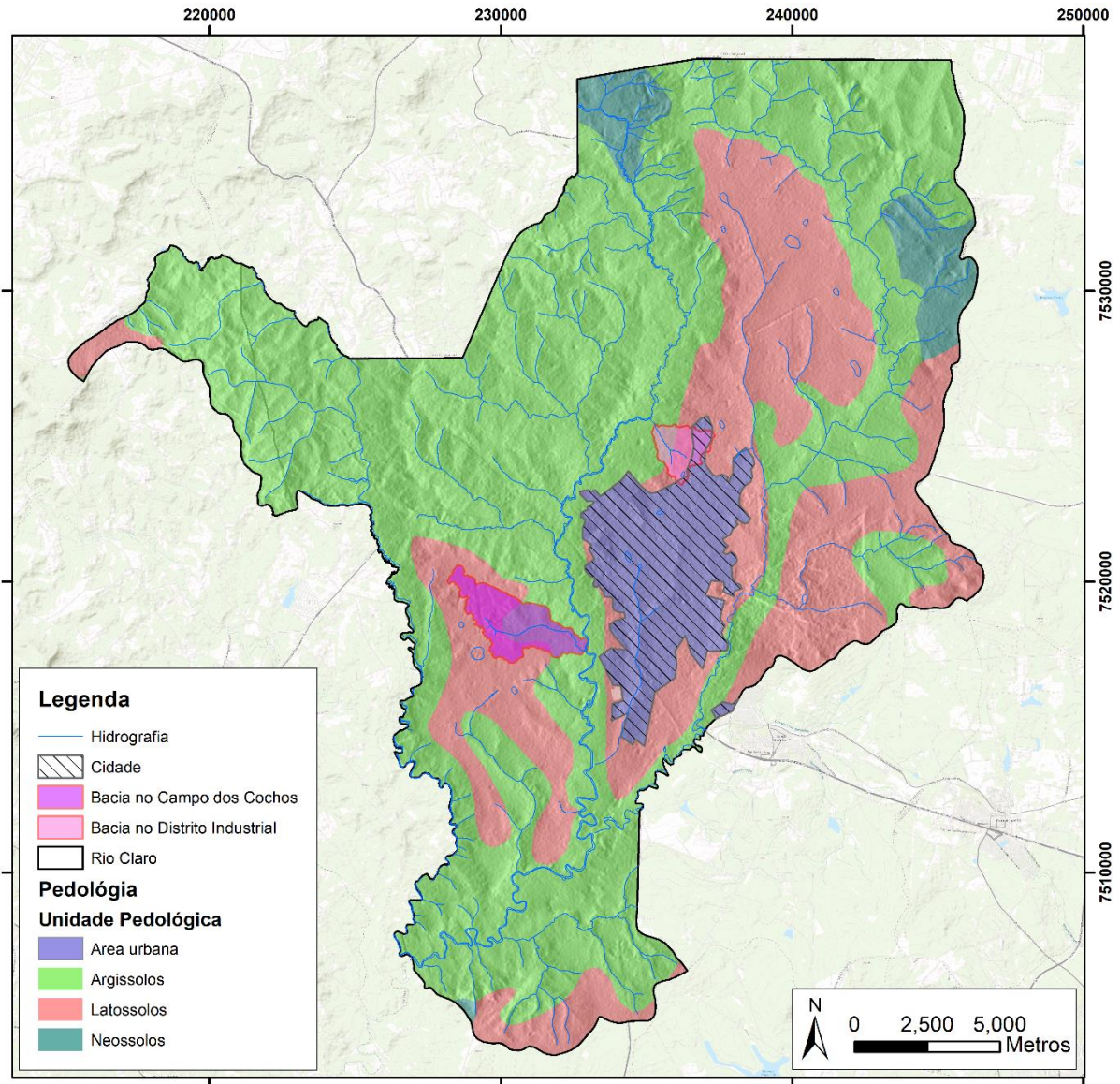
Possui, predominantemente (Figura 12), os solos podzólico ou argilossolos, de coloração vermelho-amarelado (PVA 16, 27, 31, 32, e 98), segundo classificação da EMBRAPA (1999), com sua textura variando de média a argilosa, encontrado nas porções mais baixas da região, próxima aos rios, seja o Corumbataí ou ribeirão Claro, associado a Formação Corumbataí, assim como o latossolo, de coloração vermelho-escura, em uma textura argilosa (OLIVEIRA *et al.*, 1981 *apud* ZAINE, 1994), ambos são bem drenados, infiltrados, levando a uma maior lixiviação; são pobres em matéria orgânica e comumente estão ligados as formações Pirambóia, Botucatu e Rio Claro (ZAINE, 2000).

Os solos classificados como podzólicos, ou argilossolos também são encontrados nas porções mais acidentadas da região, onde o número de erosões cadastrados (IPT, 2012) é relativamente grande, e a declividade classificada para a área varia entre suave ondulado e ondulado, conforme a classificação Embrapa (1979).

Também podem ser encontrados latossolos, em coloração vermelho-amarelada (LVA 6, 24, 25, 28, 44, 50, e 58), sua textura é média, e se encontra nas porções de topo aplainados, segundo Zaine (2000), correspondendo a Formação Rio Claro, além de latossolo roxo e também vermelho amarelado, com textura mais argilosa, localizados nas porções de relevo ondulado, caracterizando a Formação Corumbataí.

Por fim, segundo Prado *et al.* (1981) *apud* Zaine (2000), ocorrem em uma menor porção, terra roxa, característica na área para os diques e soleiras da Formação Serra Geral, solos hidromórficos (RQ, RL, 1 e RL2), localizado em zonas de várzeas de rio, assim como litólicos (RL 5, 7, 14, 16, e 25), estes, associados a Formação Corumbataí, ocorrendo comumente em zonas com relevo acidentado; são os chamados neossolos, uma variedade com solos pouco desenvolvidos e com uma baixa espessura.

**Figura 12:** Mapa pedológico do município de Rio Claro - SP



Adaptado: IPT (2012)

#### 4.6. Geomorfologia

Geomorfologicamente, se encontra no setor paulista da Bacia Sedimentar do Paraná onde, segundo Zaine (1994) e Zaine e Perinotto (2008), podem ocorrer rochas do Grupo Itararé, assim como das formações Tatuí, Irati e Corumbataí, datadas do paleozoico, formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral, datadas do mesozoico, e a Formação Rio Claro, já datada do cenozoico, onde predominam as formações Corumbataí e Rio Claro no município.

O município de Rio Claro está localizado nas províncias de Cuestas Basálticas em seu extremo noroeste (ALMEIDA, 1964), na chamada Depressão Periférica Paulista (Figura 14), subdividindo nas compartimentações do Planalto Residual de São Carlos, Planalto Centro Ocidental, Depressão do Médio Tietê, e na Depressão do Moji-Guaçu. Possui uma declividade que pode variar entre 2 a 20%, variando conformes as compartimentações (ROSS & MOROZ, 1997).

Comumente as erosões cadastradas no município de Rio Claro, segundo IPT 2012, quando classificadas quanto a sua declividade, se encontram em sua grande maioria localizadas nos relevos ondulados, entre 8% e 20% de declividade; neste contexto de declividade média a alta, em ambientes de meia encosta se encontraram os chamados anfiteatros de nascentes (Figura 13), representando um conjunto de nascentes formando uma espécie de superfície concava, característica para a formação de processos erosivos para a região.

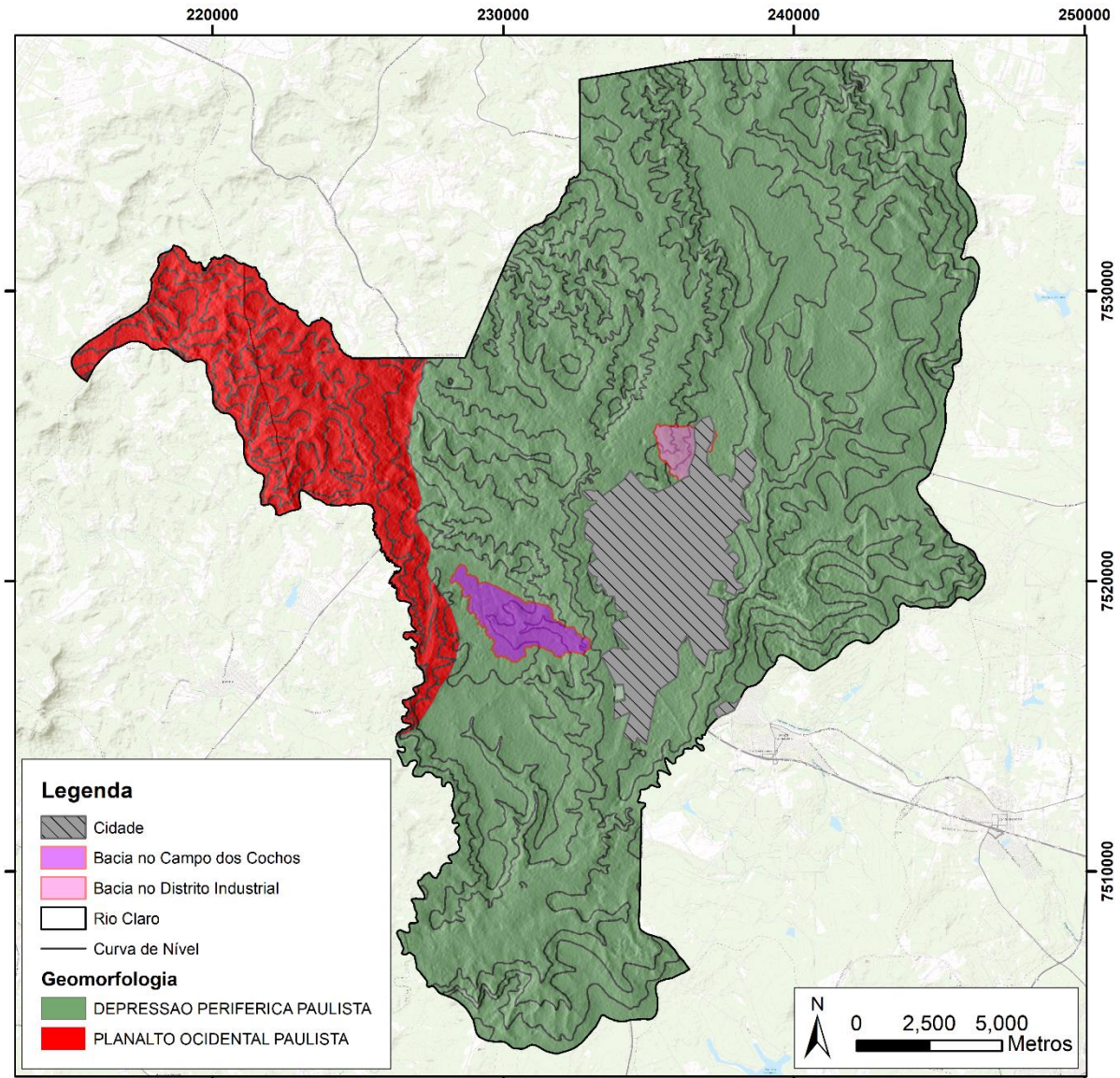
**Figura 13:** Anfiteatro de nascentes no Distrito Industrial



**Fonte:** Kolya, Zaine, Zaine, Perinotto e Reis (2018)

Esse percentual de declividade onde a erosão comumente se desenvolve também pode ser encontrado na literatura, como é o caso de Stabile & Vieira (2009), onde o percentual de erosões foi relativamente elevado entre 5 e 15%.

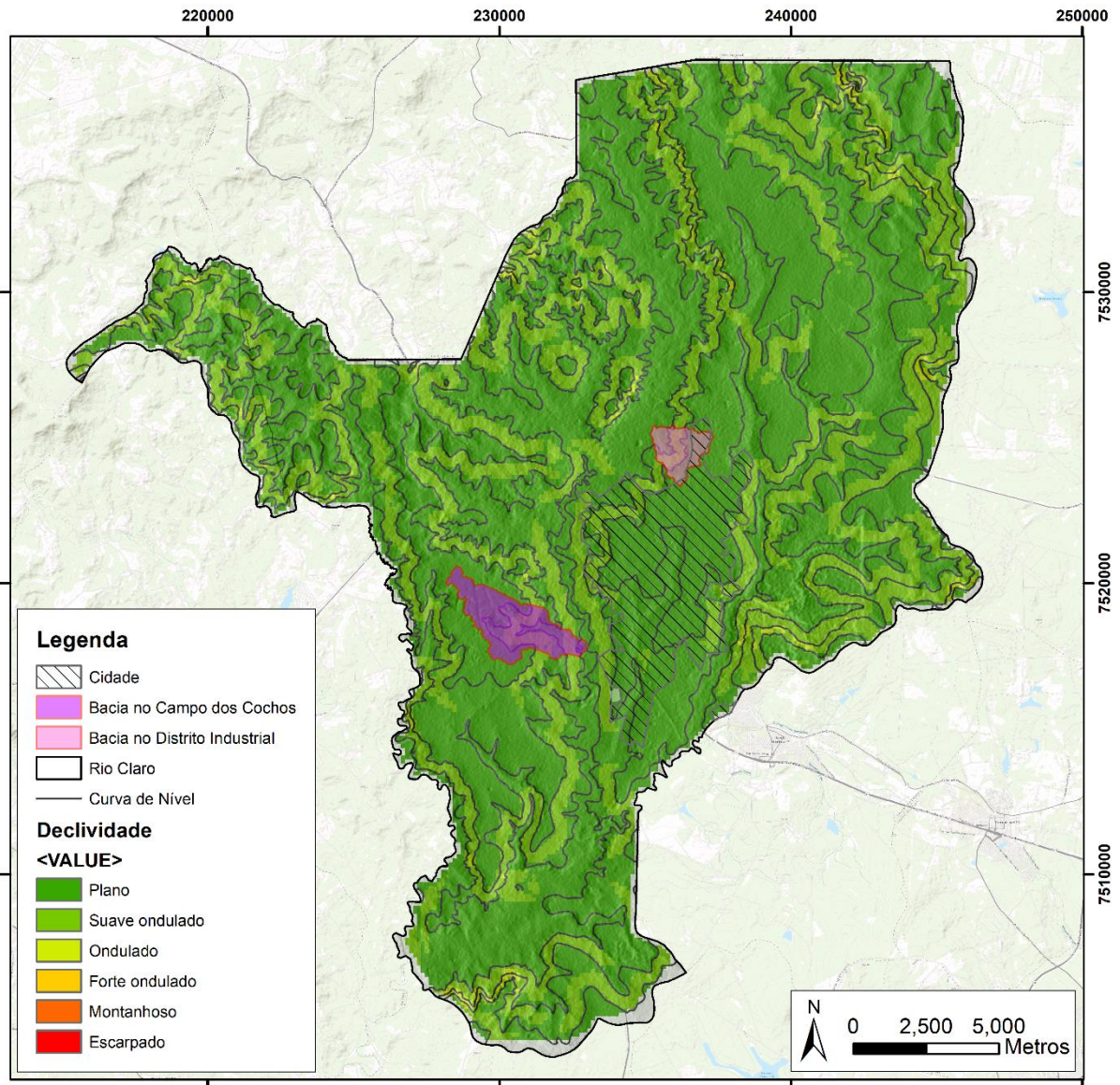
**Figura 14:** Geomorfologia do município de Rio Claro



Adaptado: IPT (2012)

O avanço periférico da área urbana da cidade coincide com a área onde a declividade aumenta (Figura 15), entre 8 e 20%, tornando o terreno mais suscetível a erosão, além da impermeabilização da área urbana auxiliar no processo.

**Figura 15:** Mapa de declividade do município de Rio Claro - SP



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

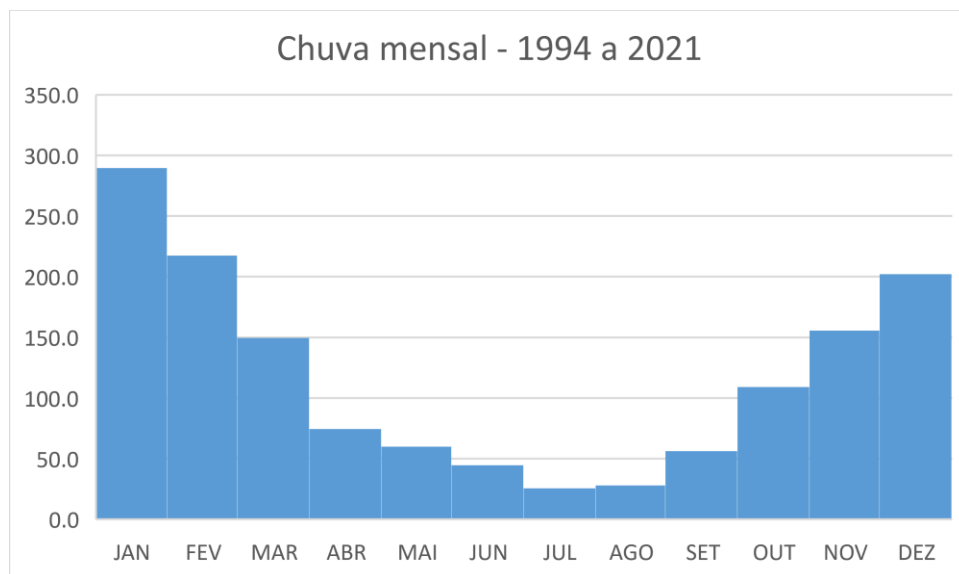
O relevo ondulado no município de Rio Claro marca as entostas na área, que podem marcar o contato da Formação Corumbataí com a Formação Rio Claro, observado no mapa geológico da área.

Ambas bacias selecionadas para estudo encontram-se sobre essas meias entostas, com uma declividade entre 5 e 20%, propiciando os processos erosivos nos locais.

#### 4.7. Clima

O clima no município de Rio Claro, segundo Monteiro (1973) e Rosim (1997), pode ser considerado como um clima sub-tropical (Cwa), segundo a classificação de Koeppen, com chuvas no verão (a, com temperatura média de 25°C e 18°C), e um inverno com baixa, ou precipitação ausente (w, com temperaturas médias que variam em 3°), como mostra a Figura 16, coletadas e disponibilizadas pelo CEAPLA (2021).

**Figura 16:** Média de precipitação mensal para o município de Rio Claro nos anos de 1994 a 2021.



**Fonte:** Centro de Análise e Planejamento Ambiental (2021).

Nos meses de outubro a março, são caracterizados os períodos chuvosos, com precipitações acima de 100mm, sendo que os meses mais chuvosos variam entre dezembro e fevereiro, com precipitações que variam entre 200mm e 300mm. Os meses mais chuvosos devem ser levados em consideração ao se abordar processos erosivos, devido ao fato de que uma constância na precipitação pode induzir a saturação do solo, e conseqüente erosão, assim, como precipitações de grande volume podem vir a desencadear a uma evolução extremamente rápida e eventuais acidentes, principalmente em áreas urbanas.

Os meses mais secos variam entre abril e setembro, com precipitações que não ultrapassam 100mm de chuva mensal.

Com relação a outras características no clima, os ventos predominam entre os quadrantes S e SE, e sua temperatura média anual varia entre 18,1 e 20,9°C.

#### ***4.8.Hidrografia***

O município de Rio Claro está localizando dentro da bacia hidrográfica do rio Corumbataí (ZAINÉ, 1994); esta possui uma extensão de aproximadamente 120 km, com nascentes na Serra de Santana, e desaguando no Rio Piracicaba em Piracicaba. A média anual de vazão do rio Corumbataí é de 20m<sup>3</sup>/s, com mínimo em 5 m<sup>3</sup>/s.

Representa seu curso médio na cidade de Rio Claro e tem um baixo declive, o que possibilita a formação de meandros devido a sua baixa vazão.

Erosões, como a encontrada no Distrito Industrial podem estar ligadas a drenagens já existentes, sendo classificadas como erosões fluviais, vinculadas a dinâmica hidrográfica da área.

## **5. Materiais e Métodos de Trabalho**

### **5.1. Levantamento bibliográfico**

O levantamento bibliográfico da área, buscou informações geológicas, geomorfológicas e estruturais, assim como conceitos teóricos na área de feições erosivas, limiares pluviométricos e o avanço do uso e ocupação do município de Rio Claro. Etapa caracterizada por estudos preliminares, através de artigos, relatórios técnicos, teses e dissertações, que buscam um conhecimento da área e do objetivo de estudo, além de termos e conceitos necessários para a aplicação do projeto. Também buscou o levantamento de fotos aéreas anteriores e dados pluviométricos para valores momentâneos, ou estudo de acúmulo de chuva no decorrer do tempo.

Foram utilizados periódicos, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso dos mais diversos mecanismos de pesquisa, como Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Embrapa, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Research Gate, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo (SBCS), Sociedade Brasileira de Cartografia (SBC), Science Direct, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Science Societies, UNESP e USP.

Para o levantamento do banco de dados, foram utilizadas, nos diversos mecanismos de pesquisas citados, as palavras chaves “Erosão linear, evolução da erosão, evolução espaço-temporal, ravinas, voçorocas, sulcos, Geologia e Pedologia de Rio Claro e Rio Claro”

### **5.2. Confeccção de mapas auxiliares, figuras e tabelas**

Com o auxílio do *software ArcGIS 10.8*, foram confeccionados os mapas geológicos (Figura 9), pedológicos (Figura 12), uso e ocupação (exemplificado e no decorrer do tempo), na Figura 7, para o município de Rio Claro, que buscaram auxiliar na interpretação do avanço das feições erosivas. Os mapas foram elaborados através de shapefiles propostos segundo IPT (2012). Já o mapa de declividade, onde as erosões comumente estão localizadas entre suave ondulado a ondulado, foi confeccionado conforme os critérios de declividades, Tabela 1, estipuladas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), elaborado

utilizando as imagens do satélite Daichi – Alos Palsar, com imagens disponíveis até 2011, em uma qualidade de resolução de aproximadamente 12 metros.

**Tabela 1:** Percentual de declividade.

<b>Declividade</b>	<b>Percentual</b>
plano	0-3%
suave ondulado	3-8%
ondulado	8-20%
forte ondulado	20-45%
montanhoso	45-75%
escarpado	> 75%

**Fonte:** Embrapa (1979)

Também foi realizado o levantamento de dados pluviométricos e a eventual formulação da tabela com os dados de chuva médio. O Levantamento foi realizado com o auxílio dos dados das estações meteorológicas, cedidos pelo Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA).

### ***5.3. Evolução espaço-temporal***

Para o estudo da evolução de uma área submetida a estas características geológicas, foi selecionada uma erosão localizada no Campo dos Cochos no município de Rio Claro; encontrada em ambiente rural, sendo desenvolvida em uma encosta associada a anfiteatros de nascentes. A segunda erosão selecionada se localiza condicionada sob os argilitos e siltitos da Formação Corumbataí, em uma drenagem, no Distrito Industrial de Rio Claro em contato com a zona rural, talhada com o auxílio de uma galeria, e que mostra os efeitos do avanço do município em um ambiente periurbano, levando a formação da voçoroca, e a uma nova dinâmica do curso d'água da área.

Através de métodos também trabalhados por Ferreira (2012), Etchelar e Guasselli (2017) e Batista et al (2019), foram coletadas e analisadas imagens aéreas das áreas através do software Google Earth Pro entre os anos de 2005 e 2021 (anterior a esta data, o *software* não possuía imagens com uma qualidade razoável para mapeamento), com a utilização da ferramenta que possibilita a seleção das imagens históricas da região, e subsequentemente as imagens foram filtradas, conforme sua relevância para a finalidade, observando se as erosões e a área do

entorno se encontravam visível, sem a presença de nuvens, ou sombras que impedissem o georreferenciamento e o mapeamento da evolução da erosão linear. e após seu georreferenciamento no *software ArcGis 10.8*, as imagens foram submetidas a uma Classificação Não Supervisionada que possibilitou observar melhor as localidades onde o processo erosivo estava em desenvolvimento nos momentos levantados.

O processo de Classificação Não Supervisionada é indicado para áreas com baixa grade de cores, como a região Rural de Rio Claro, onde foi possível distinguir entre o que seria a área mais clara, definidas como áreas com solo exposto, potencialmente erodindo, assim como as estradas de terra, em uma coloração verde clara, as culturas da região, e em uma coloração verde escura se encontravam a vegetação mais densa, como matas; o método não é indicado em regiões com uma maior grade de cores, como na periferia da cidade de Rio Claro, onde se localiza o processo erosivo do Distrito Industrial, e onde as cores mais claras das casas, comércios, calçadas e outras estruturas podem confundir com a classificação da erosão na área.

Após o processo da classificação não supervisionada das imagens aéreas, foram traçados os *shapefiles* que caracterizavam necessariamente as áreas com solo exposto, em potencial erosão para o momento, levando em consideração as estradas de terra, que também representavam uma área de potencial erosão; e com o termino da caracterização da área em erosão, delimitou-se a área em que a voçoroca está localizada, assim como o volume aproximado de sedimentos retirados da voçoroca com o passar do tempo, com o mapeamento das cicatrizes presentes na área nas diferentes imagens aéreas georreferenciadas. Para tal, foi utilizado, no *software ArcGIS 10.8*, a ferramenta *Surface Volume*, que após a definição da área a montante, mostrou aproximadamente o volume de sedimento retirado na voçoroca até dado momento.

Semelhante a classificação das áreas com solo exposto, outra delimitação realizada, também com a utilização do *software ArcGIS 10.8*, foi a delimitação propriamente da voçoroca da área com o auxílio visual das imagens obtidas entre os anos 2005 a 2021.

Para cálculo do volume e da área da voçoroca foram considerados apenas o fator horizontal, tendo em vista que não foi possível dispor de curvas de nível que contemplassem os diferentes momentos de cada imagem, portanto, foi utilizada apenas uma curva de nível para a geração da imagem *raster*, e conseqüente cálculo do volume; então o volume apresentado mostra apenas o avanço horizontal da voçoroca.

#### **5.4. Trabalhos de campo**

Etapa já realizada no município de Rio Claro, nos dias 27/05/2017 e 24/11/2017, nas voçorocas localizadas no Distrito Industrial e Campo dos Cochos. Para o estudo, foram coletadas amostras de solo apenas na voçoroca localizada no bairro Campo dos Cochos, tendo em vista que a erosão localizada no Distrito Industrial, por não se tratar de um solo, mas sim da própria formação geológica, e o caráter físico desta não estar diretamente associada a causa da erosão, não se julgou necessária à coleta de amostra para estudo.

Como objetivo da atividade têm-se:

- Reconhecimento, caracterização e dimensionamento dos processos erosivos selecionados, bem como avaliação diagnóstica e prognóstica dos mesmos;
- Coleta de amostra de solo para ensaios e granulométricos;

A atividade consistiu na avaliação dos processos erosivos, com caracterização dos solos e da geologia da área, bem como uma descrição detalhada das erosões. Nesse contexto, foi necessário um estudo prévio das erosões nas regiões de estudo, através dos mapas gerados nas etapas anteriores, como geológico, geomorfológico, e observações de imagens de satélites. Foi então, definido em campo, os pontos em que puderam ser amostrados e descritos, seguidos da caracterização dos processos. Ademais, foram utilizados materiais para coletas dos sedimentos para posterior análise laboratorial. A amostragem seguiu o padrão de coleta de amostras indeformadas do solo, com utilização do extrator de amostras manual. O equipamento utilizado possibilitou a retirada dos materiais nas faces expostas do solo (dos barrancos), com profundidade máxima de 50 centímetros. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetadas, e fechadas hermeticamente para manutenção da umidade natural e das suas estruturas.

Foram descritas as voçorocas, individualmente, separadas através de paradas, onde existem um total de 2 paradas na etapa de campo como um todo; foram anotados termos ditos pelo orientador durante o campo, também foram tiradas diversas fotos, todas com escalas de referência, para uma noção do tamanho da estrutura observada, e coletadas amostras; as amostras, assim como as rochas “in situ” são descritas e classificadas durante o campo, desde texturas, composição, estruturas presentes, entre outros.

Após o trabalho de campo, é realizado um “brainstorm” de tudo que foi observado e apanhado em campo, desde os dados fornecidos pelo orientador ou pelas voçorocas, quanto as fotos e as amostras coletadas durante o campo.

Com uma ideia geral de tudo, desde composição local, até mesmo evolução do ambiente, é elaborado um relatório com o intuito de preservar essas informações de maneira mais formal e entendível por qualquer um que as veja.

Nesta etapa foi realizada a descrição do contexto geológico do local, descrição dos afloramentos e das rochas, interpretação de cada parada, de modo a explicitar tudo o que foi subentendido através das informações obtidas pelo trabalho de campo e artigos estudados e referências bibliográficas utilizadas, para um maior entendimento do local e de sua evolução.

### ***5.5. Ensaios laboratoriais***

Em uma etapa conjunta ao trabalho de campo, foram coletadas 2 amostras: RC-CC-1 e RC-CC-2, porção inferior e superior da voçoroca do Campo dos Cochos, respectivamente, com a finalidade de realizar processos laboratoriais (Figura 17).

Foram coletadas 3 amostras in situ, através de anéis, para cada localidade visitada, tanto para o topo das voçorocas, quanto para a parte inferior, além de frações de solo avulsas. Foram realizados ensaios granulométricos, massa específica e sedimentação.

**Figura 17:** amostras previamente secas, coletadas durante atividade de campo.



**Fonte:** João C. P. Ferreira

Para a amostra RC-CC-1 foi realizado apenas o peneiramento da amostra com o intuito de aferir a curva granulométrica do solo. Já para a amostra RC-CC-2, além do teste granulométrico, essas amostras passaram por processos de sedimentação e teste de bomba de vácuo, que visaram obter o índice físico do solo, como a massa específica do solo.

Nesta fase, foram analisadas as amostras de campo, através de ensaios geotécnicos descritos nas etapas de revisão bibliográfica. Tais ensaios tiveram como base a avaliação das características físicas, como massa específica do solo úmido e solo seco, tamanho dos grãos presentes nos sedimentos, e em casos específicos a quantidade de partículas finas presentes nas amostras.

O objetivo dessa etapa é aferir as características físicas e geotécnica das amostras coletadas, de modo a correlacionar os processos erosivos com as feições do material coletados em campo.

## 6. Resultados e Discussões

### 6.1. Trabalho de campo

Para a erosão encontrada no bairro Distrito Industrial (Figura 18), o seu principal agente deflagrador foi a incorreta instalação de uma rede de drenagem das águas pluviais próximos a construção de um novo loteamento, fato esse, que levou ao aumento da carga hidráulica sobre a drenagem e levando a instabilidade do equilíbrio hidrológico da área; esse fator foi tão preponderante que a erosão evoluiu e escavou até mesmo uma formação geológica formada predominantemente por siltitos e argilitos, a Formação Corumbataí (Figura 19), que comumente representa uma maior resistência a erosão dada sua baixa permeabilidade.

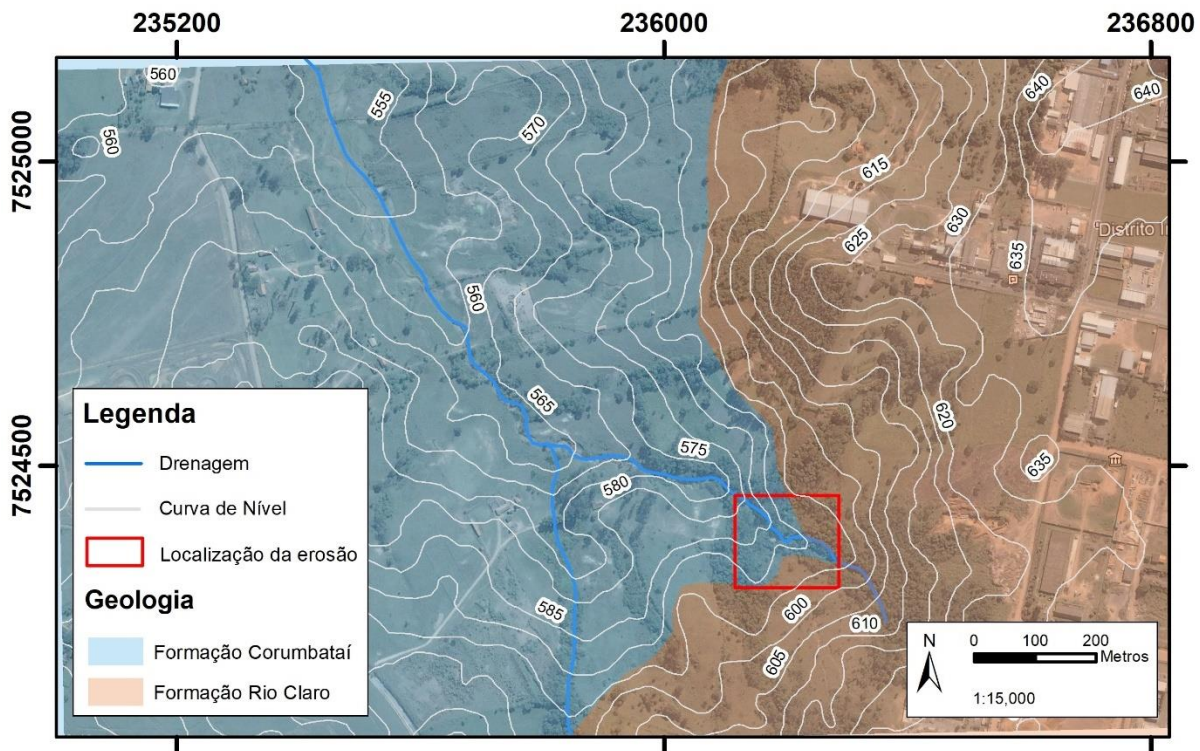
**Figura 18:** Detalhes de voçoroca no Distrito Industrial



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

É possível observar a presença de processos de ravinamento e, embora a área se encontre no contato entre a Formação Corumbataí e a Formação Rio Claro, a erosão se desenvolveu apenas devido a intervenção antrópica com a instalação da galeria na área, e recorrente alteração do fluxo hídrico da drenagem da área; há a presença de lineamentos na área, observados sobre a Formação Corumbataí; esses lineamentos podem, também, auxiliar na rápida evolução do processo de erosão.

**Figura 19:** Geologia local do Distrito Industrial



**Adaptado:** IPT (2012)

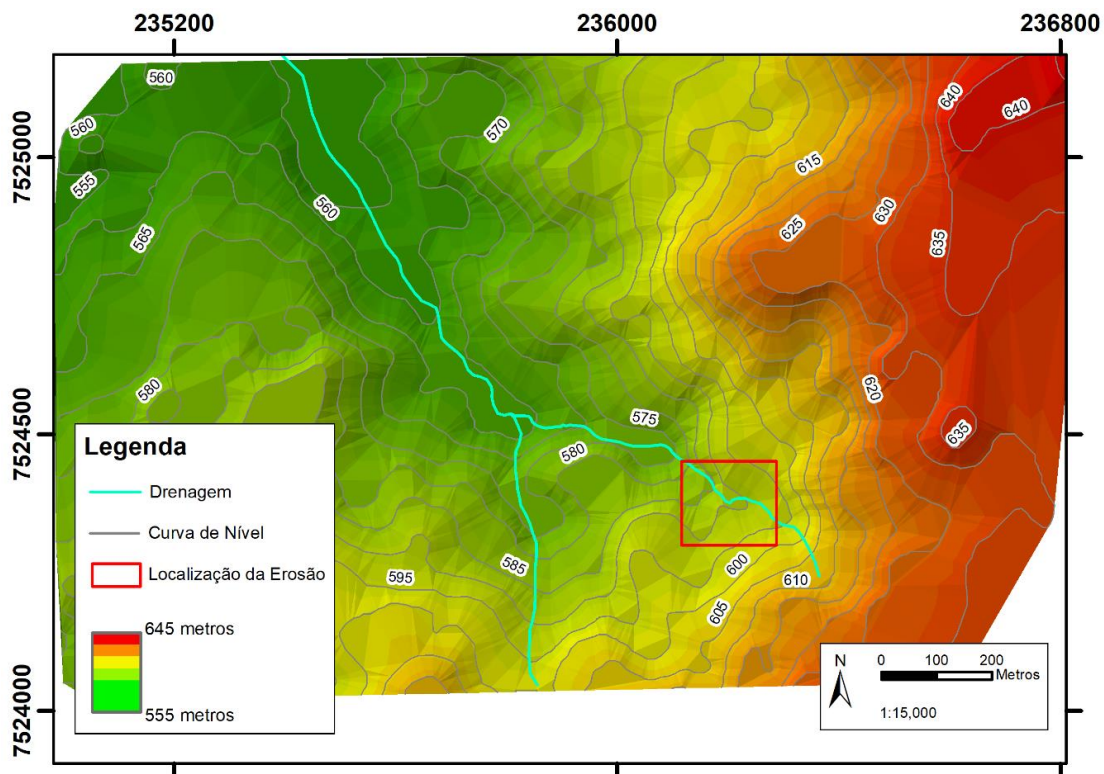
Após o levantamento das erosões, análise geológica e ensaios laboratoriais, uma das principais conclusões para os levantamentos e estudos realizados foi que os processos erosivos urbanos, comumente, estão ligados com o avanço da cidade, levando em consideração que o processo erosivo, devido a capacidade hídrica da área, pode não estar condicionado ao contato entre as formações Corumbataí e Rio Claro, como o que se prediz para as erosões encontradas no município.

A classificação da voçoroca encontrada no Distrito Industrial quanto a sua altimetria, Figura 20, se inicia em 610 metros, aproximadamente, a montante, e chega a 595 metros a sua jusante. A declividade na área varia entre 0 a 22%, classificando o como relevos planos a ondulados,

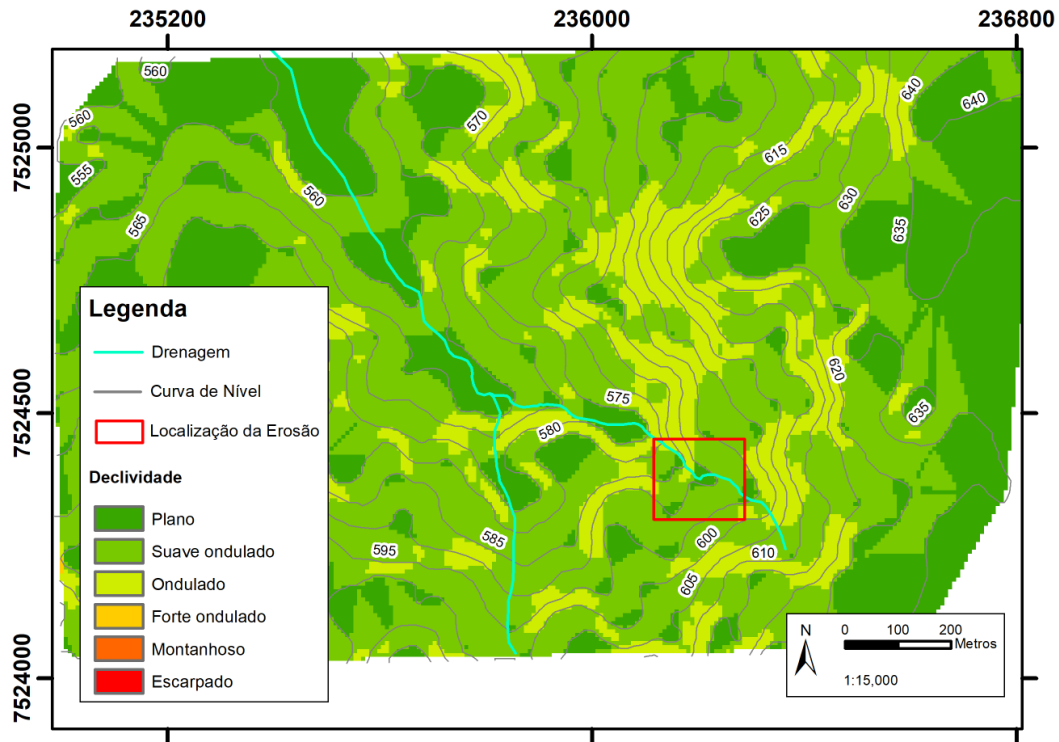
Figura 21, portanto o processo erosivo está encaixado em uma encosta com baixa a média declividade, atual situação para a periferia oeste do município de Rio Claro.

A voçoroca não é perceptível em sua imagem altimétrica e de declividade devido a sua cobertura vegetal estar localizada dentro de uma drenagem e a disponibilidade de imagens de elevação que a represente, portanto não foi possível a confecção de uma curva de nível adequada.

**Figura 20:** Altimetria para a área do Distrito Industrial



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

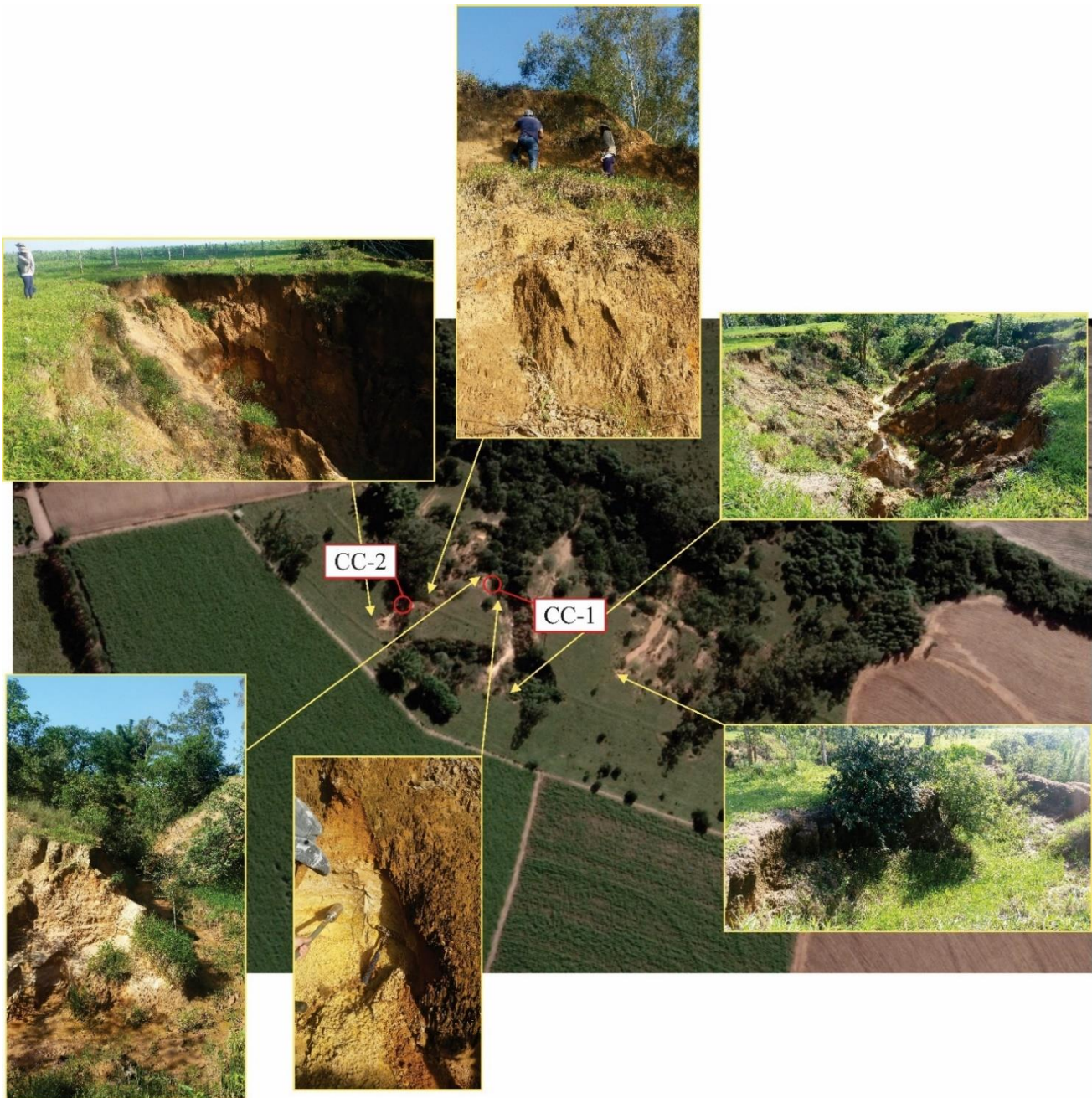
**Figura 21:** Declividade na voçoroca localizada no Distrito Industrial

**Elaboração:** João C. P. Ferreira

Já nos processos erosivos nas áreas rurais, como o encontrado no Campo dos Cochos (Figura 22), o avanço das erosões é de forma natural, e mostra uma erosão comumente característica na região, localizada sobre uma encosta, com anfiteatros de nascentes, com pequenos indícios da ação antrópica de forma indireta, por conta da pecuária ou da agricultura da área. A retirada da cobertura vegetal mais espessa, ou seja, da proteção natural do solo, propiciou o escoamento superficial e a formação de sulcos e ravinas que evoluíram para a voçoroca encontrada na área.

A erosão possui uma forma de V, e se classifica como voçoroca, estaria ligada a um processo onde ainda não se atingiu o nível d'água e ainda não ocorreu seu crescimento lateral relativo, no entanto, por ser tratar de um processo erosivo ligado a um volume hídrico constante atuando no local sua classificação deve se diferenciar das classificações usuais das voçorocas, com diferentes modelos antrópicos, geológicos e geomorfológicos.

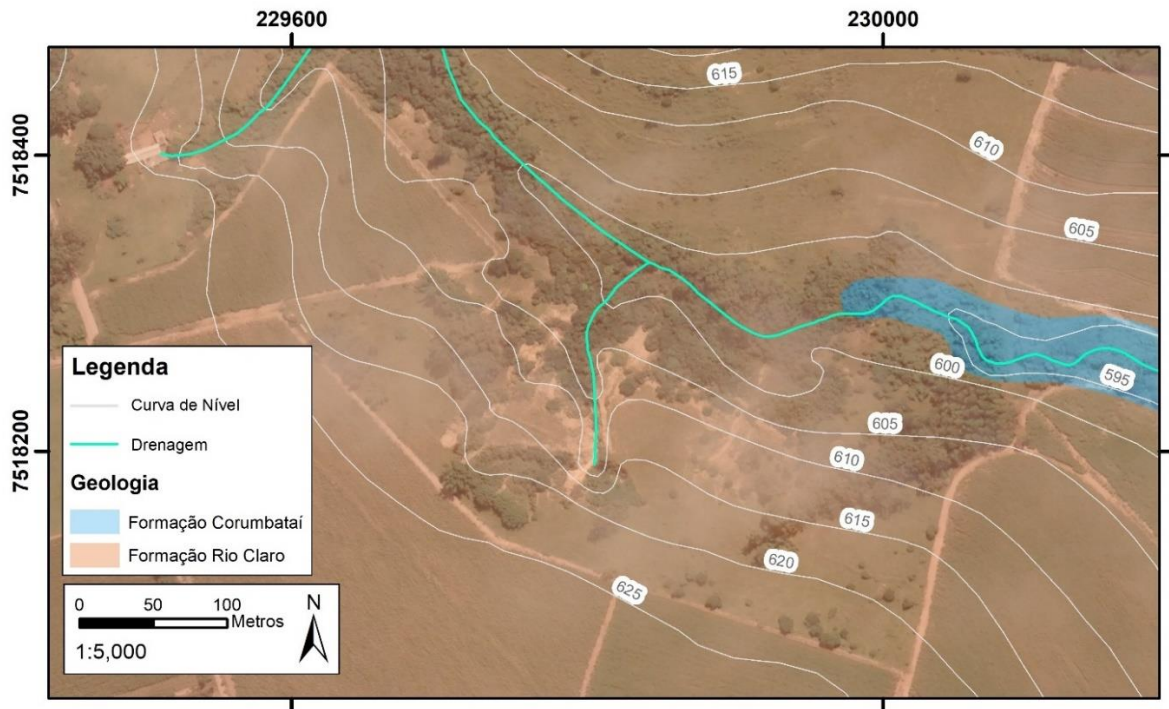
**Figura 22:** Detalhes de voçoroca no Campo dos Cochos



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

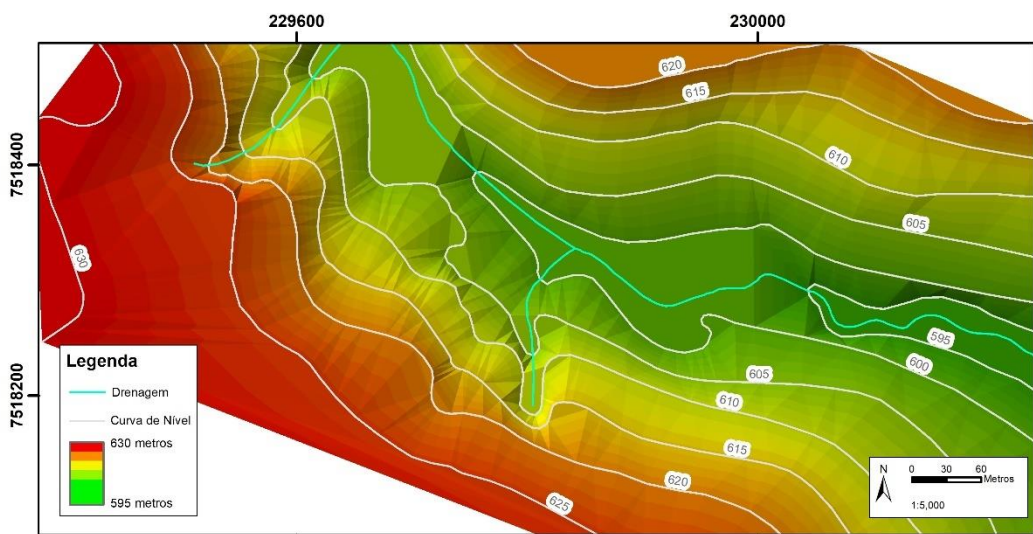
Outro fator que pode levar a um grande avanço da feição erosiva seria a espessura do solo em Rio Claro, onde, o contato com o nível d'água, entre a Formação Rio Claro e a Formação Corumbataí, destacadas na Figura 23, pode induzir a formação de voçorocas no local, muitas vezes gerando *piping*, devido à baixa permeabilidade da Formação Corumbataí.

A voçoroca possui uma forma em U, indicando seu estado mais maduro, onde o avanço vertical diminui devido ao seu contato com o nível d'água, e se inicia um avanço mais horizontal em suas laterais.

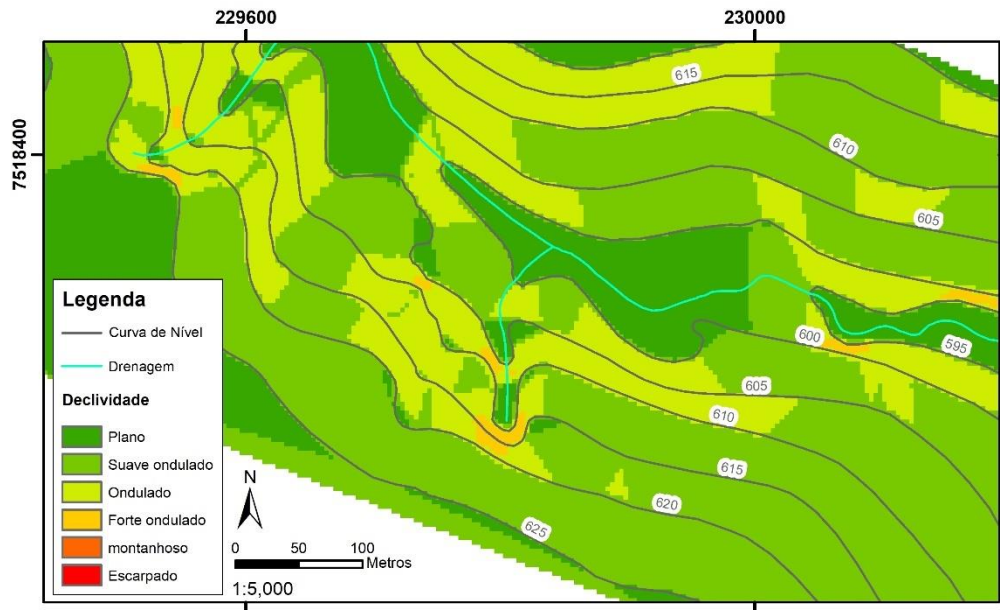
**Figura 23:** Geologia local do Campo dos Cochos

**Elaboração:** João C. P. Ferreira

Figura 24, a altimetria a montante da voçoroca é de aproximadamente 615 metros, com aproximadamente 605 a jusante. A voçoroca é caracterizada por uma declividade entre 22 e 45% (Figura 25) o que representa um relevo forte ondulado, diferenciando da região que apresenta um relevo variando de plano a ondulado (entre 0 e 22%), segundo Embrapa (1979).

**Figura 24:** Altimetria para a área de Campo dos Cochos

**Elaboração:** João C. P. Ferreira

**Figura 25:** Declividade na voçoroca localizada no Campo dos Cochos

**Elaboração:** João C. P. Ferreira

Foram coletados os dados de comprimento, largura e profundidade da voçoroca, assim como observado a geologia da área, e as características do solo, após a finalização dos ensaios geotécnicos, dados estes são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Dados físicos obtidos através de ensaios laboratoriais realizados

Erosão	Compr. (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Geologia	Tipo de solo	Uso do solo		Evolução	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%)
						Montan	Jusante			
RC-CC-1 (Base)	160	200	9	Fm. Rio Claro	Arenito pouco coeso com pequenas porções argilosas	Agricultura	APP	Ativa	1.597	3.60
RC-CC-2 (Topo)								Ativa		

**Fonte:** João C. P. Ferreira

A maior porosidade e espaços vazios pode ser encontrado na amostra RC-CC-2, evidenciada na etapa laboratorial, podendo indicar uma maior permeabilidade das amostras, o que caracteriza e pode indicar a presença de um solo coluvionar encontrado nas porções superiores da voçoroca. Para os solos do sudeste brasileiro, segundo Lacerda (2002), os solos coluvionares tem um maior índice de vazio do que em solos residuais, o mesmo conceito se aplica a amostra coletada em campo.

Vale ressaltar que muitas das características de cada amostra podem variar conforme a interferência antrópica atua na região, que podem inferir, como exemplo, na umidade do solo em momentos de alteração do fluxo hidrogeológico, como a instalação de galerias pluviométricas no caso da erosão encontrada no Distrito Industrial.

## ***6.2. Ensaios laboratoriais***

Os resultados das análises laboratoriais são apresentados na forma de tabelas localizadas no apêndice 1. Para a amostra RC-CC-1, extraída da voçoroca do Campo dos Cochos, somente foi realizado ensaio de análise granulométrica, apresentada na Tabela 5, em função da pequena quantidade de finos (silte e argila) presentes.

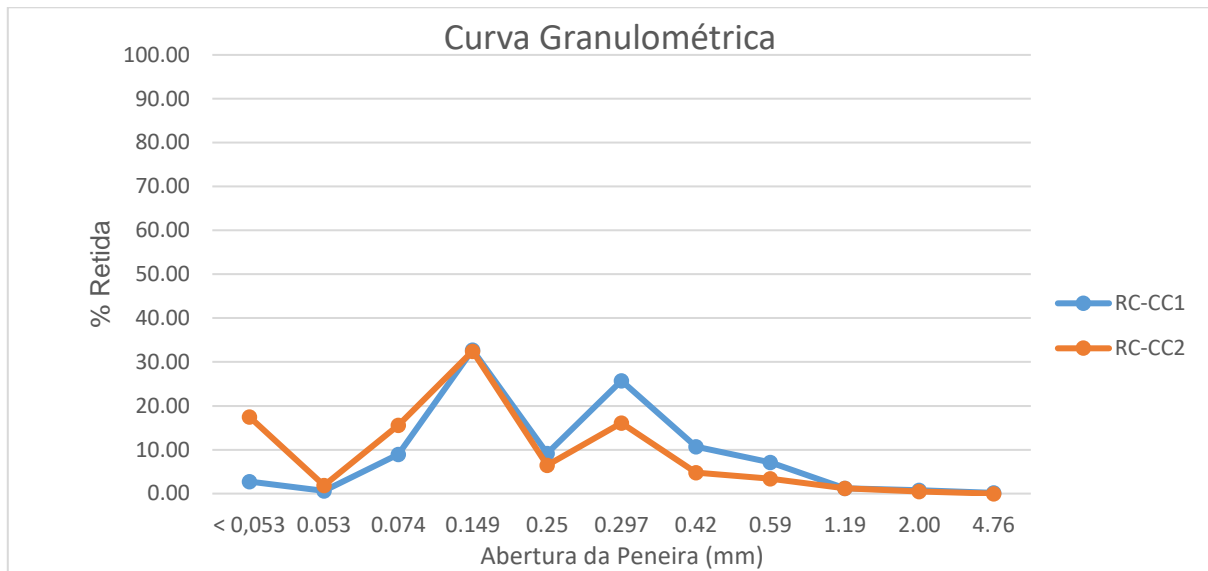
A determinação da massa específica do solo (seco) foi realizada em ambas as amostras e os resultados obtidos mostraram-se bem próximos, em uma média de  $1,60 \text{ g/cm}^3$ , sendo os valores  $1,60 \text{ g/cm}^3$  (RC-CC-1) e  $1,60 \text{ g/cm}^3$  (RC-CC-2), como constam, respectivamente, na Tabela 6 e Tabela 7.

O teor de umidade é superior na amostra RC-CC-2 da porção superior da voçoroca, isso pode ser um reflexo do maior número de finos que tem uma absorção de água relativamente maior.

Já a análise granulométrica conjunta foi realizada na amostra RC-CC-2, com uma fração maior de finos (Tabela 8), apresentando resultados próximos para a sedimentação, até mesmo na estabilização a partir de 30 minutos de teste, indicando alta densidade dos sedimentos das amostras.

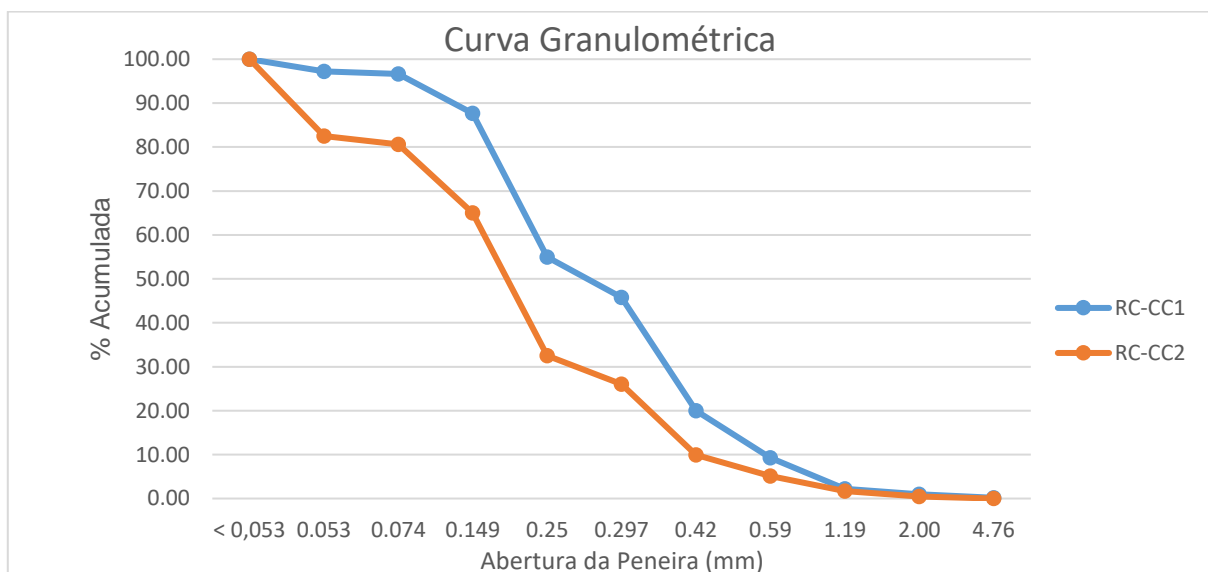
As diferentes curvas granulométricas obtidas, tanto do percentual retido (Figura 26), quanto do percentual acumulado (Figura 27), comprovam a composição predominantemente arenosa do solo da área. A amostra RC-CC-1 exibe uma curvatura menos acentuada para a porcentagem acumulada, que reflete maior granulometria e menor massa de finos.

**Figura 26:** Curva granulométrica apresentando o percentual retido por abertura da peneira.



**Fonte:** João C. P. Ferreira

**Figura 27:** Curva granulométrica apresentando o percentual acumulado por abertura da peneira.



**Fonte:** João C. P. Ferreira

A etapa laboratorial permitiu um maior aprofundamento quanto a litologia predominante em uma das principais erosões localizadas no município de Rio Claro e pode-se destacar uma maior quantidade de finos nas porções superiores da voçoroca estudada no Campo dos Cochos.

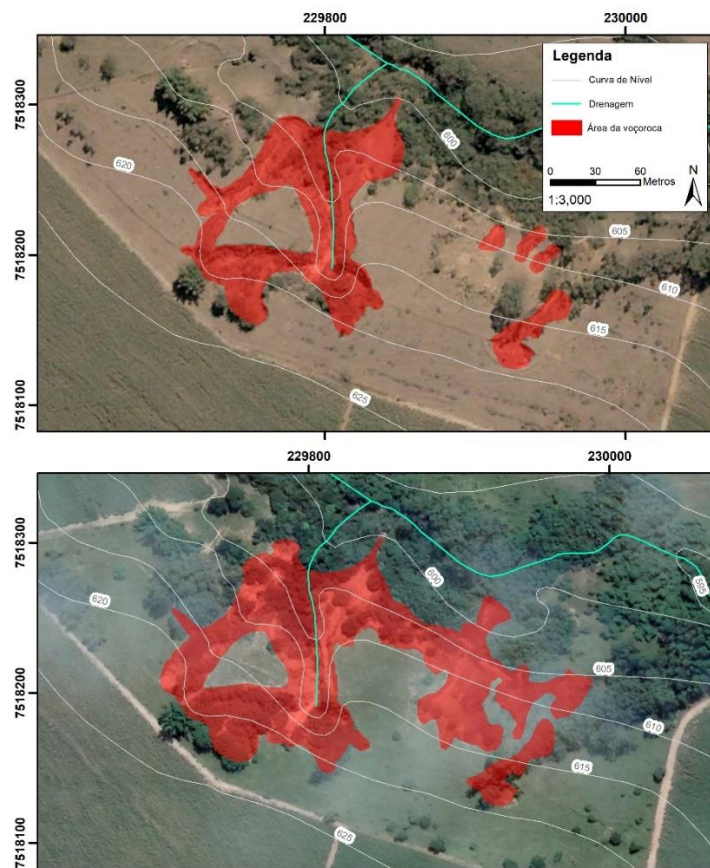
A análise granulométrica geral permitiu concluir que, para o local, o que predomina são areias médias a finas, embora haja porções de cascalho e finos, estes, variam conforme as amostras até mesmo conforme o ponto onde foram coletadas (inferior ou superior a voçoroca).

### 6.3. Análise Multitemporal

As erosões selecionadas possuem contextos geológicos, geomorfológicos e conceituais diferentes, para o estudo de seu modelo de evolução espaço-temporal o processo também foi distinto para ambos processos erosivos.

O estudo da evolução espaço-temporal na voçoroca do Campo dos Cochos foi marcado pela constante evolução do processo erosivo (Figura 28), e das áreas com solo exposto; após o processo de Classificação Não Supervisionada (Figura 29) observa-se, na Figura 30, que as áreas com exposição de solo na localidade foram relativamente constante entre os anos de 2005 a 2021, aumentando relativamente em momentos onde ocorria a colheita das plantações e transição das culturas na área, expondo o solo a erosão laminar, e potencializando a dinâmica superficial da água na área. As porções classificadas mais retilíneas nas figuras representam estradas de terra que também se encontram com o solo exposto, embora não haja um desenvolvimento de processo erosivo para esta.

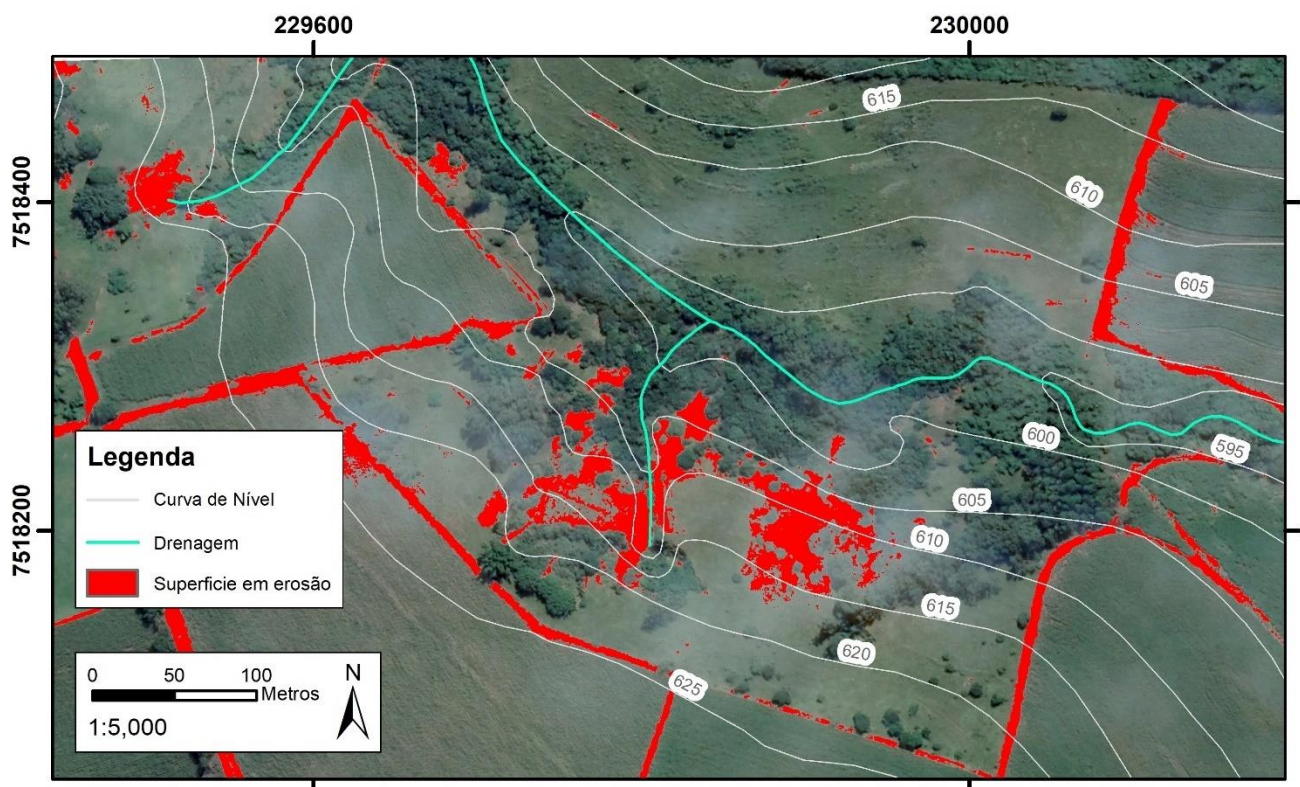
**Figura 28:** Evolução da erosão comparando os anos de 2005, imagem superior, e 2021, imagem inferior.



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

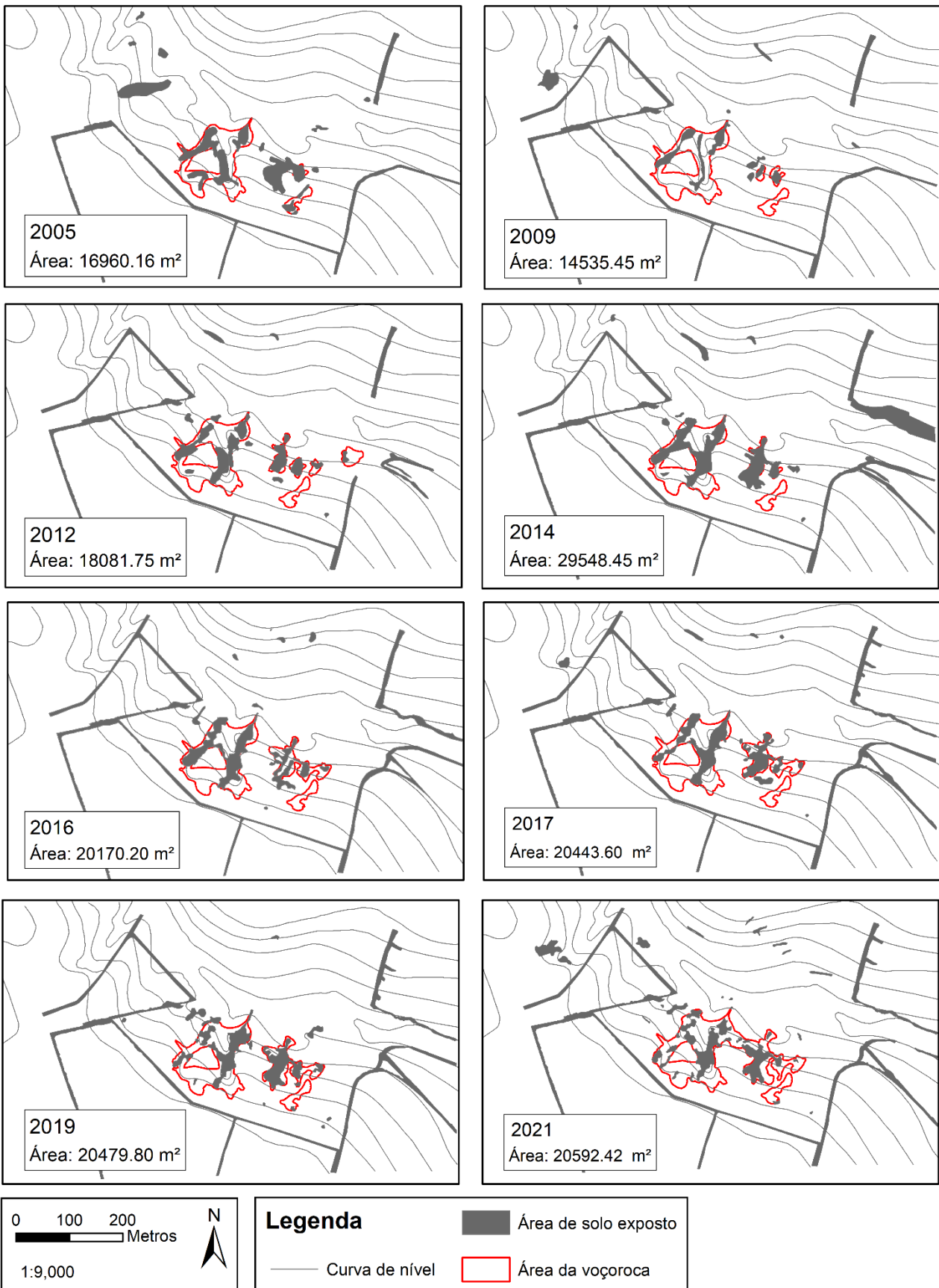
Em momentos onde ocorreu uma diminuição na área da erosão ocorreu devido ao aumento da cobertura vegetal do local, levando a um menor impacto das ações erosivas, como a chuva, na porção com cobertura vegetal.

**Figura 29:** Áreas erodindo classificadas de forma não supervisionada com o auxílio do *software ArcGIS 10.8*



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

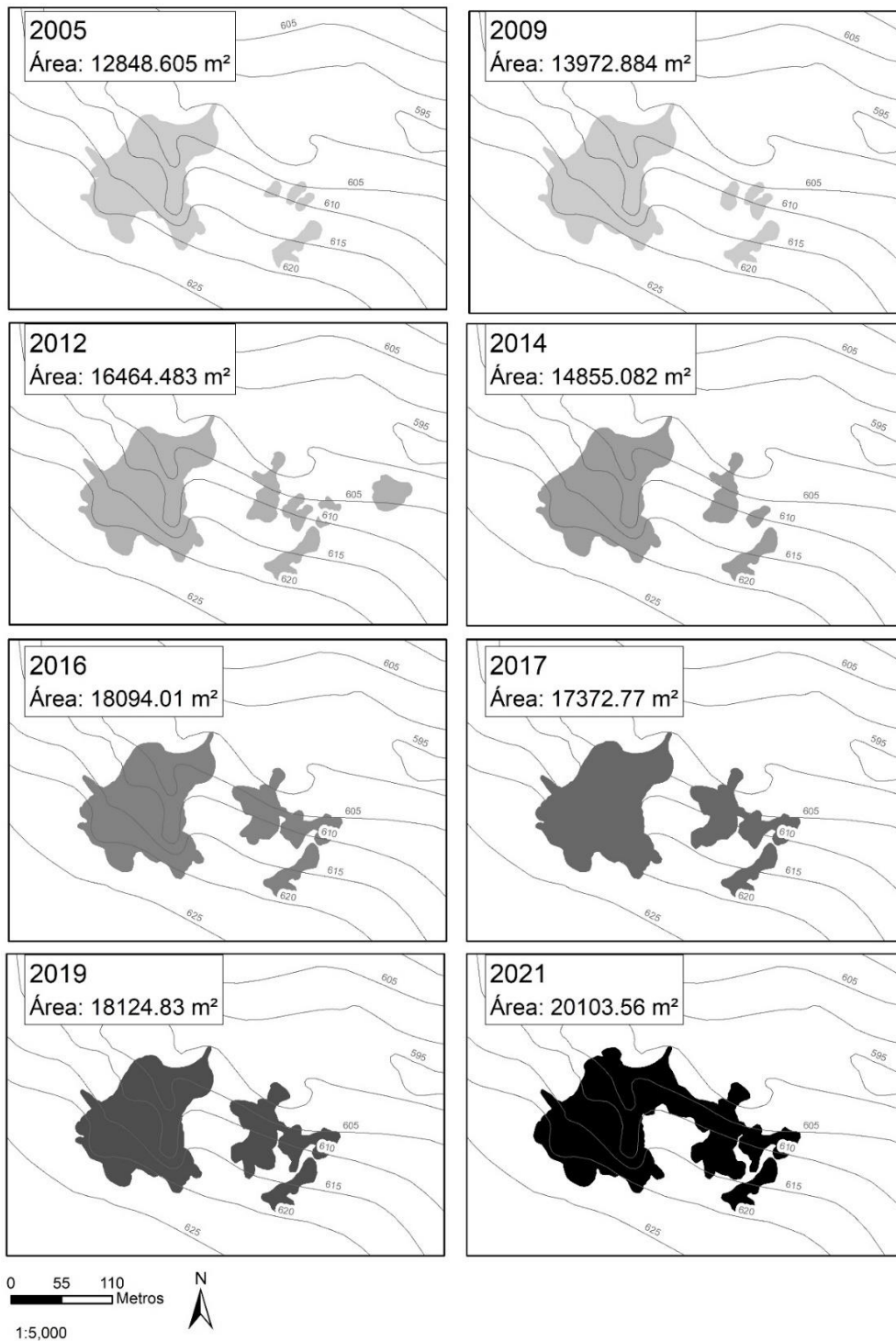
**Figura 30:** Área de solo exposto no entorno da voçoroca para campo dos Cochos



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

Concomitante, ao analisar a evolução da erosão na voçoroca encontrada no Campo dos Cochos entre os anos de 2005 a 2021 (Figura 31) cadastrada através da utilização dos *softwares ArcMap 10.8 e Google Earth Pro*, observasse que a mesma cresce com o passar do tempo, onde aumentou um percentual de 62,88% (Tabela 3).

**Figura 31:** Evolução da voçoroca entre os anos de 2005 a 2021



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

Na área não houve relativo aumento do espaço urbano, devido a se encontrar em zona rural, contudo, ocorreu a variação da cultura temporária da área, o que pode levar a um aumento da área de erosão laminar temporariamente, devido à ausência de culturas nos períodos de transição entre estas.

A cobertura vegetal mais densa sobre a voçoroca pode levar ao encobrimento das cicatrizes desta, levando, posteriormente a seu mapeamento, a valores que seriam similares a uma regressão do processo erosivo, o que não ocorreu na área, apenas sua cobertura parcial.

**Tabela 3:** Valores para a área da voçoroca, seu volume perdido e a área do solo exposto total do local conforme o tempo.

		2021	2019	2017	2016	2014	2012	2009	2005
Área	(m <sup>2</sup> )	18655.36	16292.63	15399.07	16133.91	12762.08	14293.78	11824.38	10696.93
	(% de aumento)	14.50	5.80	-4.55	26.42	-10.72	20.88	10.54	
Volume	(m <sup>3</sup> )	178930.40	150125.32	142216.72	139187.99	111516.25	128206.81	99760.57	94000.60
	(% de aumento)	19.19	5.56	2.18	24.81	-13.02	28.51	6.13	
Solo em exposição	(m <sup>2</sup> )	20592.42	20479.80	20443.60	20170.20	29548.45	18081.75	14535.45	16960.16
	(% de aumento)	0.55	0.18	1.36	-31.74	63.42	24.40	-14.30	

Aumento entre 2005 a 2021

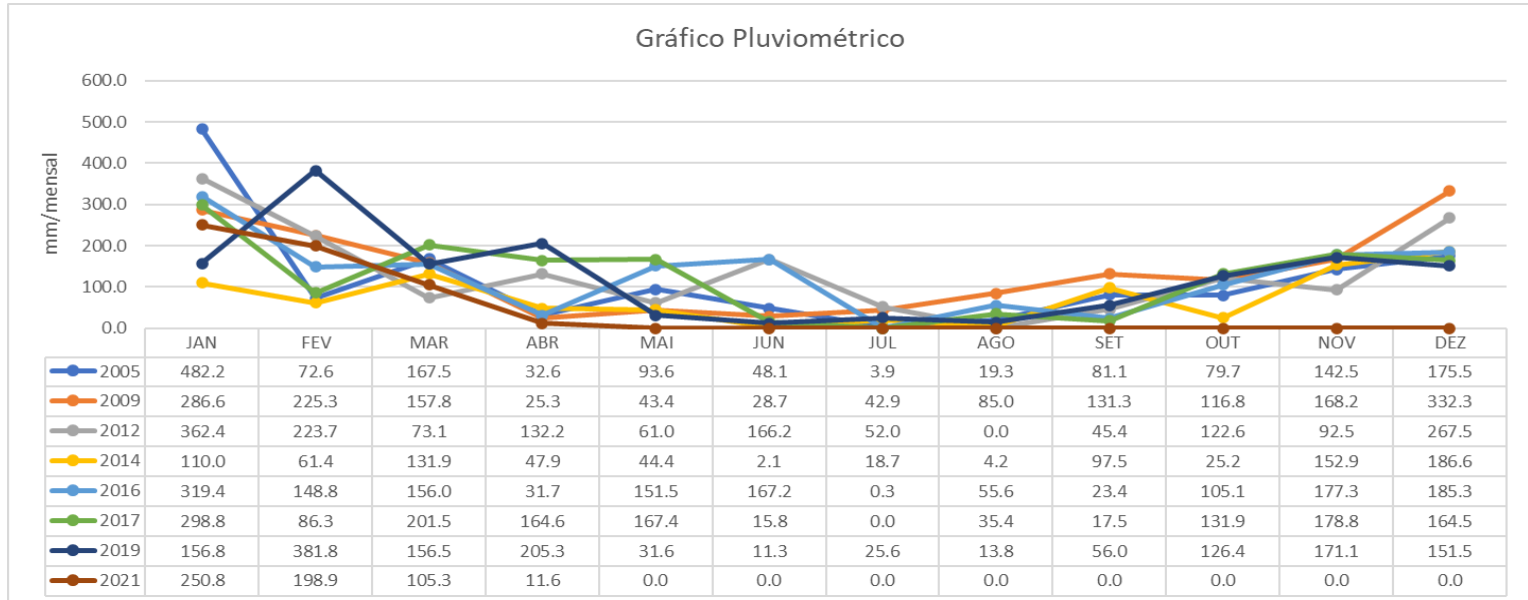
Área	(m <sup>2</sup> )	7958.43
	(% de aumento)	62.88
Volume	(m <sup>3</sup> )	84929.80
	(% de aumento)	73.36
Solo em exposição	(m <sup>2</sup> )	3632.26
	(% de aumento)	43.86

**Elaboração:** João C. P. Ferreira

Abordar os aspectos de precipitação para área pode ser uma forma de compreender o relativo aumento ou diminuição da evolução da erosão. Segundo Santos, Griebeler e Oliveira (2010), as principais características que podem deflagar e evoluir o processo erosivo em dada área, quando relacionado a precipitação, são sua intensidade, duração, frequência de chuva e sua Erosividade. O fator pode elevar a umidade do solo, um maior acúmulo hídrico nos intermédios das formações, e com sua constante percolação do solo, levar a um aumento considerável da erosão. Os anos que obtiveram um maior percentual no aumento da erosão e da

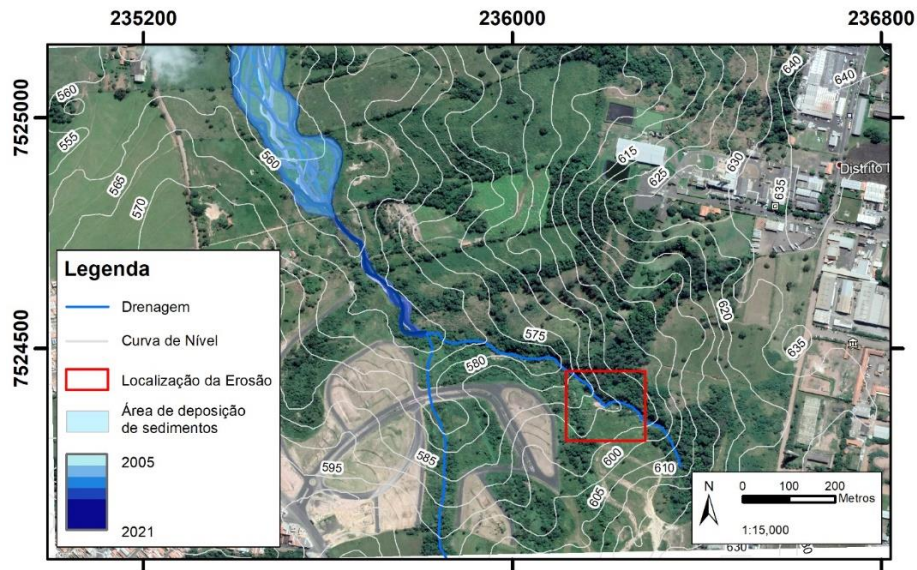
área da boçoroca, como entre 2019 e 2021 (aumento de 14,5% da área da voçoroca), foram momentos onde a chuva foi elevada e constante entre os meses, e não apenas localizada em determinados dias e meses.

**Figura 32:** Gráfico pluviométrico mensal entre 2005 e 2021



**Fonte:** CEAPLA

No estudo do processo erosivo encontrado no Distrito Industrial não foi possível a delimitação da área da erosão, devido a esta estar localizada junto uma drenagem anterior a formação da voçoroca, onde acaba por avançar verticalmente, e não horizontalmente, sobre a Formação Corumbataí. Para a voçoroca na área, foi possível delimitar no tempo, sua área de deposição de sedimentos, devido aos meandros que se alteram com a chegada dos sedimentos depositados como mostra a Figura 33, mostrando, dessa forma, o novo condicionamento da drenagem, que busca a estabilidade.

**Figura 33:** Deposição de sedimentos próximo a erosão no Distrito Industrial

**Elaboração:** João C. P. Ferreira

No distrito industrial, nas proximidades da erosão, ocorreu um grande aumento da urbanização como mostrado na Figura 34 e, Tabela 4. Ressaltando os anos entre 2009 e 2012, que ocorreu um aumento de 32% da área urbanizada, e entre os anos de 2017 a 2019, com um aumento de aproximadamente 24%. Também é possível observar que a galeria foi instalada no ano de 2007, dado a interpretação visual das imagens, o que condiciona o processo de instabilidade da drenagem.

Esse rápido processo de evolução da área urbana foi responsável pelo mau planejamento no dimensionamento e instalação de galerias pluviais na área, o que culminou na instabilidade da área e no processo erosivo sobre a Formação Corumbataí, que pode ser encontrado na área.

**Tabela 4:** Valores para área urbana no local e seu avanço conforme os anos de 2007 a 2021

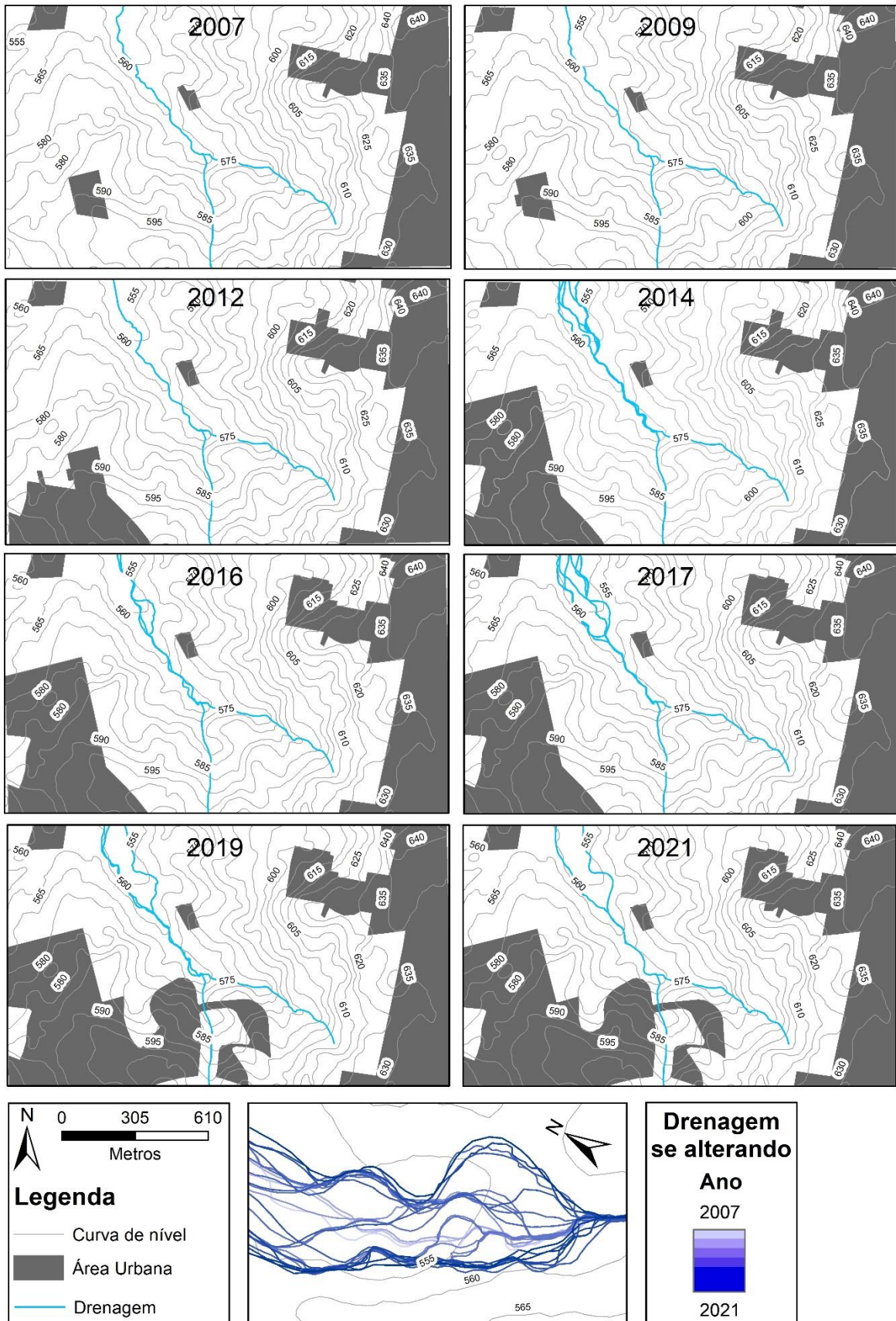
		2021	2019	2017	2016	2014	2012	2009	2007
Área	(m <sup>2</sup> )	802983.73	793379.73	641236.73	641236.73	631817.73	516467.73	391804.41	382666.63
	(% de aumento)	1.21	23.73	0.00	1.49	22.33	31.82	2.39	

Aumento entre 2007 a 2021

Área	(m <sup>2</sup> )	420317.10
	(% de aumento)	109.84

**Elaboração:** João C. P. Ferreira

**Figura 34:** Evolução da área urbana no Distrito Industrial de Rio Claro



**Elaboração:** João C. P. Ferreira

## **7. Conclusão**

No município de Rio Claro, foi observado, que, para os processos erosivos lineares, os principais desencadeadores estão relacionados, majoritariamente, às atividades antrópicas realizadas no local, sejam elas em ambientes rurais ou urbanos, assim como o fator geológico e geomorfológico da área. O fato é comprovado pelo cadastro de erosões realizados anteriormente pelo IPT (2012), que alinhado ao mapa geológico da área, possibilitou confirmar que boa parte das erosões se encontra no contato entre as formações Rio Claro e Corumbataí, isso se deve ao fato de uma maior acumulação d'água no contato das formações. O fato ocorre devido a uma menor condutividade representada na Formação Corumbataí, e leva ao desenvolvimento natural das feições erosivas. Comumente no contexto da Depressão Periférica Paulista, as erosões estão localizadas no contato entre as formações, em topos de morrotes e colinas amplas, nos anfiteatros de nascentes, como foi observado nas erosões, embora a erosão no Distrito Industrial esteja ligada a outros processos geradores. Outro fator que pode ser levado em consideração é uma baixa umidade, que pode levar a uma baixa coesão do solo nas voçorocas, levando a instabilidade e aumento do processo erosivo da área

Com relação a evolução e dimensionamento do processo erosivo, tem-se que os principais agentes seriam as características do solo, declividade na área, o contato entre as formações (local onde comumente se encontram as erosões), seu uso e ocupação (onde ocorre a retirada parcial da cobertura vegetal, ou sua impermeabilização), assim como, em casos urbanos, uma má gestão dos solos e das instalações de estruturas na área, como mostrado no Distrito Industrial. O tamanho da rampa na encosta também pode induzir a formação e evolução da erosão no local, tendo em vista que um maior comprimento da encosta levará ao aumento da velocidade de escoamento da água superficial. Também pode ocorrer uma potencialização da velocidade de escoamento em casos onde ocorra uma menor cobertura vegetal, desenvolvida através do avanço no uso e ocupação das áreas, como culturas temporárias ou a evolução do espaço urbano, onde anteriormente ocorriam grandes coberturas vegetais. As situações podem ser agravadas quanto maior for o volume pluviométrico no local, sendo o pior caso onde trombas d'água agravam a velocidade de escoamento superficial e conseqüente aumento extremamente rápido da erosão, levando aos casos emergenciais, comumente notificados pela mídia. O processo de estabilidade para as feições erosivas demanda a intervenção e constante remediação por órgãos públicos nas áreas ondem ocorrem os processos erosivos, contudo, os casos extremos, onde ocorre um avanço rápido da voçoroca em chuvas com grande volume

pluviométrico, são os mais preocupantes, já que podem levar a um grande prejuízo social e econômico, enfatizando ainda mais se está localizada em uma zona urbana. A presença de solos areno-argilosos, como os encontrados na amostra RC-CC-2, coletada no Campo dos Cochos, torna as erosões mais propícias ao seu desenvolvimento linear, concentrado, embora com menos ramificações, devido ao seu alto teor de argila, caracterizando um solo mais coeso em seu topo. Solos com um baixo teor de argila, como os encontrados nas amostras RC-CC-1, base da voçoroca, torna o solo mais incoeso, propícios para a desagregação por vezes pelo fluxo concentrado de água de chuva e com a dinâmica de erosão natural do solo.

Vale ressaltar que segundo a definição de voçoroca de Conciani (2008), a erosão encontrada no Distrito Industrial poderia ser definida como uma erosão fluvial, tendo em vista que a área já se encontrava como uma drenagem, e foi após a mudança no fluxo hídrico da área, com a instalação de uma galeria no ano de 2007, que a erosão se desenvolveu e talhou o leito da drenagem; o processo na área também foi potencializado pela presença de lineamentos, possibilitam a erosão e condicionam a drenagem. Os processos erosivos ligados ao avanço periférico da cidade são largamente conhecidos, por estar localizado dentro de um espaço urbano, sendo, portanto, remediado em determinado momento.

Os estudos e trabalhos de campo realizados no município de Rio Claro/SP apresentam que os processos erosivos são comumente instalados em terrenos com uma grande suscetibilidade a erosão (altamente erodíveis), portanto os fatores antrópicos, como o uso e ocupação para o solo da área, as características físicas do solo, assim como o regime pluviométrico da área, seja em ambientes urbanos ou rurais, são todos fatores que podem deflagrar os processos de erosão linear na área, e sua conseqüente potencialização e evolução, portanto sempre devem ser levados em consideração quando se deseja utilizar a área. Após a finalização da etapa de mapeamento da evolução espaço-temporal, é possível concluir que ambos processos erosivos em estudo ainda se encontram ativos, com volumes de retirada de solo variando no tempo, e podem variar conforme as características físicas, pluviométricas e antrópicas da área, principalmente destacado para o Campo dos Cochos.

Conclui-se, portanto, que o conhecimento das mais diversas feições erosivas e seus principais deflagradores pode atuar de forma preventiva, e não apenas corretiva ou remediativa, em diversas cidades, o que pode prevenir acidentes, como é o caso das erosões deflagradas em eventos pluviométricos extremos. Também é possível concluir que o avanço do município de Rio Claro pode levar a acarretar novas erosões, como a encontrada no Distrito Industrial, contudo, por não se tratar de um caso extremo, a erosão pode ser remediada com o tempo, além de não ser um grande perigo a região do entorno, devido ao seu tempo de evolução.

## 8. Referências Bibliográficas

ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de. USO DAS TERMINOLOGIAS DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES DOS TIPOS RAVINA E VOÇOROCA. **Revista Geonorte**, Uruaçu, v. 10, n. 1, p. 693-699, out. 2014.

ALMEIDA, F. DE. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim Instituto Geográfico e Geológico, v. 41, p. 169–263, 1964.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5734: Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico. Dezembro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508 (1984) Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm- Determinação da massa específica. Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT, São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-7181/ABNT - Análise Granulométrica de Solos; D421-58 e D422-63/ASTM; T87-70 e T88- 70/AASHTO; MSL-05/CESP.

BERTOL, Ildgardis. AVALIAÇÃO DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA LOCALIDADE DE CAMPOS NOVOS (SC) NO PERÍODO DE 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p.1453-1458, set. 1994.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (2002). Resolução CONAMA nº302, de 2002. Da implantação de Área Verde de Domínio Público em Área Urbana. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

CAMPOS FILHO, Olívio Ribeiro *et al.* EROSIVIDADE DA CHUVA E ERODIBILIDADE DO SOLO NO AGRESTE DE PERNAMBUCO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 9, p.1363-1370, set. 1992.

CATI – COORDENADORA DE ASSISTÊNCIA INTEGRAL. Projeto LUPA – Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária do Estado de São Paulo. Disponível em <https://www.cdrs.sp.gov.br/projetolupa/> . Acesso em 19 de abril de 2021.

CONCIANI, W. Processos erosivos: conceitos e ações de controle. 1 ed. Cuiabá: CEFET - MT, 2008, 148p.

COSTA, F.M. & SOBREIRA, F.G. Estudo Preliminar das Voçorocas da Bacia do Rio Carioca, Quadrilátero Ferrífero. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 03 a 06 de maio de 2001.

DAEMON, R.F.; QUADROS, L.P. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 24., 1970, Brasília. Anais. Brasília: SBG, v.1, 1970. p.359-412.

DAIANE CARDOSO LOPES BATISTA *et al.* USO DO "GOOGLE EARTH PRO" NO MAPEAMENTO DE VOÇOROCAS NA ÁREA URBANA DE MANAUS (AM), BRASIL. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 10, n. 20, p. 1-12, abr. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação**. Brasília, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1)

ETCHELAR, Cecilia Balsamo; GUASSELLI, Laurindo Antonio. **Processos erosivos em áreas úmidas, APA do Banhado Grande - RS**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, UFRGS, Porto Alegre, 2017.

FERREIRA, Klebiston Tchavo dos Reis. **O USO E APLICAÇÃO DE IMAGENS E FERRAMENTAS DO GOOGLE EARTH NO GEOPROCESSAMENTO**: estudo de caso

das erosões no campo de instrução no município de formosa - GO. 2012. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FERREIRA, Monica Cristina Brunini Frandi. **POLÍTICAS PÚBLICAS DOS GOVERNOS MUNICIPAIS DA REGIÃO PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO ARRANJO PRODUTIVO DE CERÂMICA DE REVESTIMENTO DE SANTA GERTRUDES/SP.** Rio Claro: Prefeitura de Rio Claro, 2019. 52 slides, color, 25x25.

GARBIATE, Marcos Vinícios *et al.* Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p.2145-2155, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Cadastramento de erosão e inundação no Estado de São Paulo.** São Paulo. (Relatório Técnico, 127 824-205). (2012)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 2012. (Relatório Técnico, 131.57 - 205).

KERTZMAN, Fernando Facciolla; OLIVEIRA, Antonio Manoel S.; SALOMÃO, Fernando Ximenes T.; GOUVEIA, Maria Isabel Faria. Mapa de erosão do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 16, p. 31-36, 1995. Instituto Geologico.

KOLYA, André de Andrade; ZAINÉ, Mariselma Ferreira; ZAINÉ, José Eduardo; PERINOTTO, José Alexandre; REIS, Fábio Augusto Gomes Vieira. DIDÁTICA NO ENSINO DE GEOCIÊNCIAS: práticas pedagógicas aplicadas à geodiversidade do projeto geopark corumbataí. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA, 8., 2018, Campinas. **Anais**. Campinas: Ensinogeo, 2018. p. 221-228.

LACERDA, W. A. (2002) Comportamento Geotécnico de Massas Coluviais. III SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA TÉCNICA DA REGIÃO SUL (GEOSUL), Joinville. **Anais**: ABMS, p.219-231.

LAL, R. **Erodibility and Erosivity**. In: LAL, R., ed. Soil Erosion Research Methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. P141-160.

LANDIM, P. M. B. **O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. 1967. 98 p. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1967.

MAGALHÃES, Ricardo Aguiar. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 03 a 06 de maio de 2001.

MANGUEIRA, C. G. *et al.* EVOLUÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS E A EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO NOROESTE DO PARANÁ. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais**. Maringá: Ugb, 2016. p. 1-3.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 265-287, 2007.

MONTEIRO. C.A.F. - 1973. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Instituto de Geografia - USP, São Paulo. 130 p.

MUEHE, Dieter. **EROSÃO E PROGRADAÇÃO DO LITORAL BRASILEIRO**. 2. ed. Brasília: Mma, 2006.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Oficina de Textos, 1998.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, v. 1, 2008.

PRADO, H. do; OLIVEIRA, J.B. de; ALMEIDA, C.L.F. de 1981. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. Escala 1:100.000. Instituto Agrônomo de Campinas.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos. II Memorial Descritivo, Campinas: Instituto Agrônomo, 118p, 1984.

RIO CLARO. Lei nº 0128, de 07 de dezembro de 2017. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Rio Claro. Relator: João Teixeira Junior. Disponível em: <https://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/2018/LeiComplementar128.pdf#:~:text=O%20Plano%20Diretor%20de%20Desenvolvimento%20de%20Rio%20Claro,e%20o%20bem-estar%20de%20seus%20habitantes.%20Art.%202%C2%BA.> Acesso em: 16/05/2021

ROSIM, P. - 1997. Características climáticas do Município de Rio Claro (SP) no período de 1955 a 1996. Rio Claro, SP. 36p. (Trabalho de Formatura - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp - Rio Claro).

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; MOROZ, Isabel Cristina. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista de Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 10, p. 41-58, 1996.

SALGADO, Carla Maciel *et al.* ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EROÇÃO LINEAR NO MÉDIO-BAIXO VALE DO RIBEIRÃO DO SECRETÁRIO (PATY DO ALFERES/RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 9, p.75-85, 2009. Anual

SANTOS, Roberto Marcio Macedo dos. **CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E ANÁLISE DO PROCESSO EVOLUTIVO DAS EROÇÕES NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA.**1997. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 1997

SANTOS, M.J.Z. dos - (1986/1987). Análise da variabilidade anual das precipitações em Rio Claro (SP). *Revista de Geografia*, São Paulo, 5/6: 29-53

SÃO PAULO. Instituto Agrônomo de Campinas. Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo: Quadrícula de Descalvado. In: OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H.; ALMEIDA, C. L. F. (Eds.), Aerofoto Cruzeiro S.A., Escala: 1:100.000,1982. 1 mapa color.

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratiográfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 28. 1974, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBG, v.1, 1974. p. 41-65.

SANTOS, Glenio G.; GRIEBELER, Nori P.; OLIVEIRA, Luiz F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123, fev. 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE - SMA. Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental - CPLEA. Mapa de uso e ocupação do solo do Estado de São Paulo. Escala 1:50.000. São Paulo: SMA/ CPLEA, 2009.

SILVA, Douglas Alberto de Oliveira *et al.* Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 34, n. 1, p. 89-99, 19 dez. 2017.

SIMÕES, M. G.; FITTIPALDI, F. C. Fósseis da Região de Rio Claro, SP. **Arquivos Município Rio Claro**, Rio Claro, p. 1-77, 1992.

SOARES, P.C. O limite glacial - pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v. 44, p. 333-341, 1972.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. **Geological Society American Bulletin**, v. 78, p. 181-191, 1974.

STABILE, R. A. & VIEIRA, B. C. O Papel do Ângulo da Encosta e da Forma das Vertentes na Distribuição das Feições Erosivas da Bacia Água da Faca, Piratininga (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa. Anais. Viçosa: UFV, 2009

VITÓRIA, Mariane Rodrigues da. Estudo de Caso Sobre a Erosão da Avenida Elmo Serejo, Taguatinga/Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS

E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: Abms, 2016. p. 1-8.

ZAINE, J. E. Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP). Rio Claro, SP. 1994. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – 63 - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP)**. 2000. 149 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987, Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987. v. 1. p. 441-477.

## 9. Apêndice 1

**Tabela 5:** Resultados granulométricos para amostra RC-CC-1 (peneiramento).

Classificação:			Local: Rio Claro/SP		
RC-CC-1		Profundidade: Base da voçoroca		Data: 24/11/2017	
Massa específica dos sólidos (r): g/cm <sup>3</sup>			1.61	Técnico do laboratório: Alan de Oliveira	
#	Abert. (mm)	Peso (g)	% Retida	% Ret. Ac.	APÓS ENSAIO
4	4.76	0,35	0,18	0,18	Massa retida # 100 (g)
10	2.00	1,62	0,81	0,99	175,4
16	1.19	2,39	1,20	2,18	
30	0.59	14,25	7,13	9,31	Massa ret. # 200 e 270 (g)
40	0.42	21,42	10,71	20,02	19,08
50	0.297	51,51	25,76	45,77	
60	0.25	18,34	9,17	54,94	Massa retida no prato (g)
100	0.149	65,52	32,76	87,70	5,52
200	0.074	17,88	8,94	96,64	
270	0.053	1,20	0,60	97,24	Massa de sólidos final (g)
Prato/Proveta	< 0,053	5,52	2,76	100,00	200.00

**Fonte:** João C. P. Ferreira

**Tabela 6:** Determinação da massa específica do solo na amostra RC-CC-1.

Classificação:			Local: Rio Claro/SP		
RC-CC-1		Profundidade: Base da voçoroca		Data: 24/11/2017	
Massa específica dos sólidos (r): g/cm <sup>3</sup>			1,597	Técnico do laboratório: Alan de Oliveira	
Recipiente n°:	3	14	22	Massa esp. Seca (ps): g/cm <sup>3</sup>	
Sólidos+Tara+Água (g)	24,69	24,25	28,82	1,541	
Sólidos+Tara (g)	24,06	23,66	28,04	Índice de vazios	
Tara (g)	6,95	6,43	6,84	0,036	
Massa d'água (g)	0,63	0,59	0,78	Massa de solo úmido (g)	

Massa de sólidos (g)	17,11	17,23	21,20	19,18
Teor de umidade: %	3,682	3,424	3,679	Massa de solo seco (g)
Média dos teores de umidade: %	3,595			18,513

Fonte: João C. P. Ferreira

**Tabela 7:** Determinação da massa específica do solo na amostra RC-CC-2.

Classificação:		Local: Rio Claro/SP		
RC-CC-2	Profundidade: Topo da voçoroca		Data: 24/11/2017	
Massa específica dos sólidos (r): g/cm <sup>3</sup>		1,597	Técnico do laboratório: Alan de Oliveira	
Recipiente n°:	43	7	15	Massa esp. Seca (ps): g/cm <sup>3</sup>
Sólidos+Tara+Água (g)	22,18	24,02	25,37	1,483
Sólidos+Tara (g)	21,11	22,8	24,03	Índice de vazios
Tara (g)	7,11	6,73	6,69	0,077
Massa d'água (g)	1,07	1,22	1,34	Massa de solo úmido (g)
Massa de sólidos (g)	14,00	16,07	17,34	17,013
Teor de umidade: %	7,64	7,59	7,73	Massa de solo seco (g)
Média dos teores de umidade: %	7,654			15,803

Fonte: João C. P. Ferreira

**Tabela 8:** Análise granulométrica conjunta para a amostra RC-CC-2.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA CONJUNTA			
Local: Voçoroca no Campo dos Cochos (Rio Claro/SP)			Data: 24/11
Amostra n°: RC-CC-2	Profundidade:	Superficial	Responsável técnico: Alan de Oliveira
Determinações			
Massa específica dos sólidos - (ps) g/cm <sup>3</sup>		1.5969398	Defloculante: Hexametáfosfato Na
Proveta n° : -	Densímetro : Incolor		Massa de sólido inicial: 387

PENEIRAMENTO						
Peso e porcentagem de retidos em cada peneira					APÓS ENSAIO	
#	Abert. (mm)	Peso ( g )	% Retida	%Ret.Ac.		
4	4.76	0.00	0.00	0.00	Massa retida # 100 (g)	
10	2.00	1.86	0.48	0.48	251.53	
16	1.19	4.65	1.20	1.68	Massa ret. # 200 e 270 (g)	
30	0.59	13.29	3.43	5.12	67.67	
40	0.42	18.60	4.81	9.92	Massa retida no prato (g)	
50	0.297	62.31	16.10	26.02	1.89	
60	0.25	25.13	6.49	32.52	Massa retida de finos na proveta (g)	
100	0.149	125.69	32.48	64.99		
200	0.074	60.40	15.61	80.60	65.91	
270	0.053	7.27	1.88	82.48	Massa de sólidos final (g)	
Prato/Proveta	< 0,053	67.80	17.52	100.00	387.00	
SEDIMENTAÇÃO						
Tempo após agitar: min		0	2	4	8	15
Leitura do densímetro	agitar		35.0	34	33.5	33.0
Temperatura: °C	◇		26.5	26.4	26.3	26.0
Correção da temperatura	◇		2	2	2	2
Leitura corrigida:	◇		33.0	32.0	31.5	31.0
Viscosidade da água:	◇		8.75	8.75	8.75	8.75
Massa esp.da água : g/cm <sup>3</sup>	◇		0.99662	0.99668	0.9967	0.99678
Porcentagem que passa: %	◇		22.81	22.12	21.77	21.43
Tempo após agitar: min		30	60	120	240	480
Leitura do densímetro		33	33	33	33	33
Temperatura: °C		24.8	23.8	22.6	21.4	21.3
Correção da temperatura		2	2.5	2.5	3	3
Leitura corrigida:		31.0	30.5	30.5	30.0	30.0
Viscosidade da água:		9.0	9.16	9.38	9.84	9.84
Massa esp.da água : g/cm <sup>3</sup>		0.9971	0.9974	0.9976	0.9979	0.9979
Porcentagem que passa : %		21.43	21.08	21.08	20.74	20.74

Fonte: João C. P. Ferreira