

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

DELIMITAÇÃO E CÁLCULO DE ESPESSURA DE ALTERAÇÕES
ANTROPOGÊNICAS NO RELEVO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SÃO
CARLOS, SP

Emilene Frazão Capoia

São Carlos
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

DELIMITAÇÃO E CÁLCULO DE ESPESSURA DE ALTERAÇÕES
ANTROPOGÊNICAS NO RELEVO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SÃO
CARLOS, SP

Emilene Frazão Capoia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Área: Geotecnia e Geoprocessamento Aplicado

Linha de Pesquisa: Geotecnia em áreas urbanas, com foco em contaminação de água subterrânea e estudo de depósitos antropogênicos

Orientadora: Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes

São Carlos
2021

Capoia, Emilene Frazão

Delimitação e cálculo de espessura de alterações antropogênicas no relevo: estudo de caso no município de São Carlos, SP / Emilene Frazão Capoia -- 2021 . 53f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Denise Balestrero Menezes

Banca Examinadora: José Augusto de Lollo, Franciane Mendonça dos Santos

Bibliografia

1. Relevo antropogênico . 2. Depósitos antropogênicos.
3. Mapeamento geotécnico. I. Capoia, Emilene Frazão. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Emilene Frazão Capoia, realizada em 25/06/2021.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes (UFSCar)

Prof. Dr. José Augusto de Lollo (UNESP)

Profa. Dra. Franciane Mendonça dos Santos (FCUL)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais pelo incentivo ao estudo, por sempre acreditarem em mim e mesmo sem entender, aceitarem a maioria das minhas decisões.

A minha orientadora, Professora Dr.^a Denise Balestrero Menezes pelos ensinamentos e compreensão nos momentos de dificuldade em prosseguir com o trabalho. A dissertação e outros trabalhos realizados durante o mestrado sob sua orientação expandiram a minha forma de entender a pesquisa, além de preciosos conselhos sobre a vida.

Agradeço à Valentina, por todos os anos de amizade. À Heloisa por todo apoio e conforto. Obrigada por me mostrarem que é possível estar perto mesmo se estando longe.

Agradeço também a companhia das minhas queridas amigas Ana Carolina e Daniele pela amizade e por fazerem essa temporada da minha vida um pouco mais leve me ajudando em vários momentos de desespero.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma, sejam os professores, os meus colegas de laboratório, que sempre me ajudaram a superar as dificuldades, agregando conhecimento de vivências distintas que me fizeram crescer.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudo concedida. Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos (PPGEU – UFSCar), pela oportunidade de realização deste trabalho.

RESUMO

A atividade humana geralmente resulta na modificação da paisagem, particularmente em um ambiente urbano, sendo assim à medida que a velocidade dessas modificações se intensifica e remodela o relevo, emerge a necessidade do acompanhamento e análise dessas transformações. O presente trabalho teve como objetivo resgatar e revitalizar os documentos cartográficos e imagens aéreas históricos do bairro Jockey Clube no município de São Carlos-SP, Brasil, a fim de entender a evolução do relevo mediante as alterações causadas durante a ocupação da área estudada nos anos de 1970, 1989 e 2011. Para tal, foi realizada a digitalização dos mapas históricos e sua georreferenciação. A partir destes documentos foram gerados os DEMs para o cálculo da geometria dos depósitos antropogênicos, possibilitando as análises comparativas multitemporais dentro do período estudado. A partir das análises propostas foi possível traçar a evolução do relevo e as mudanças de direção de fluxo superficial, permitindo o entendimento da antropização ocorrida. Os produtos cartográficos apresentaram diferenças nas medidas volumétricas, demonstrando que ao longo dos anos a maior faixa de alteração da espessura do relevo ficou entre -1 e 1m. Houve diminuição na espessura das camadas dos materiais que compõem o relevo no entorno da cabeceira do rio, no período de 1989 e 1970, indicando processos erosivos. Nos períodos seguintes, foram observados aumentos na espessura dessa mesma região, causados por aterros visando mitigar o processo erosivo, o que pode ter acarretado o recuo de cabeceira devido à depósitos antropogênicos. Outro padrão percebido na região diz respeito aos aterros, que ocorreram em sua grande maioria nas regiões que apresentaram aumento de áreas construídas. Assim, conclui-se que a metodologia adotada se mostrou eficiente para a delimitação da alteração na espessura do relevo, pois trata-se uma metodologia de baixo custo, porém com resultados satisfatórios, permitindo a observação de padrões ao longo do tempo.

Palavras-chave: relevo antropogênico, depósitos antropogênicos, mapeamento geotécnico, sistema de informação geográfica (SIG), geoprocessamento.

ABSTRACT

Human activity usually results in the modification of the landscape, particularly in an urban environment. Therefore, as the speed of these changes intensifies, remodeling the relief, the need for monitoring and analysis of these transformations emerges. The present work aimed to rescue and revitalize the cartographic documents and historical aerial images of the Jockey Clube neighborhood in the city of São Carlos-SP, Brazil, to understand the evolution of the relief through the alterations caused during the occupation of the studied area in the years of 1970, 1989, and 2011. For this purpose, the digitalization of historical maps and their georeferencing was performed. From these documents, the DEMs were generated for the calculation of the geometry of the anthropogenic deposits, enabling the comparative multitemporal analyzes within the studied period. From the proposed analyses, it was possible to trace the evolution of the relief and the changes in the direction of the surface flow, which allowed an understanding of the anthropization that occurred. The cartographic products showed differences in volumetric measures, demonstrating that, over the years, the widest range of change in relief thickness was between -1 and 1 m. In the period between 1970 and 1989, there was a decrease in the thickness of the layers of materials that make up the relief around the head of the river, indicating erosive processes. In the following periods, increases in the thickness of this same region were observed, caused by landfills aimed at mitigating the erosive process, which may have caused the headwater to retreat due to anthropogenic deposits. Another pattern perceived in the region concerns the landfills, which occurred mostly in regions that showed an increase in built-up areas. Thus, it was concluded that the adopted methodology proved to be efficient for the delimitation of the change in the relief thickness. Even though it was low-cost, it yielded satisfactory results, which allowed the observation of patterns over time.

Keywords: anthropogenic landform, anthropogenic deposits, geotechnical mapping, geographic information system (GIS), geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1, nenhuma mudança significativa de elevação durante o intervalo de 1873–1924 nas zonas originalmente rurais (co-registro como mostrado em (c)); 2, mudanças de elevação elevada durante o intervalo de 1873–1924 (linhas de contorno de 1873 manualmente vinculadas às co-registradas no setor 1; 3, mudanças de baixa elevação durante os intervalos de tempo nas primeiras zonas urbanizadas (aprimoramento de conjuntos de dados fornecidos por dados arqueológicos e pontos de correspondência entre mapas); 4, poucos dados de elevação (aprimoramento de dados GPS survey), que está relacionado. Fonte: Luberti (2018).....	9
Figura 2. Valores de SPC (Equação 3) (a e c) e SLLAC médio (b e d) calculados para duas áreas (uma natural e uma antropogênica) considerando um modelo de declive quadrado (T) com larguras de 10 a 30 m e uma janela fixa de 100 m (a e b), e um gabarito fixo de 10 m e diferentes janelas (W) com tamanhos de 100 a 300 m (c e d). FONTE: Sofia et al. (2016).....	11
Figura 3. DEM da Diferença - DoD de 1853 a 1895, sobreposto ao DEM de 1853. Fonte: Hil, Lawrence e Smith (2020).	13
Figura 4. Mapa da área de estudo. Fonte: Autora (2020).....	17
Figura 5. Fluxograma contendo as etapas de trabalho. Fonte: Autora (2020).....	19
Figura 6. Mapas históricos: A) Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970); B) Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989). Em destaque pelo retângulo preto área estudada.....	22
Figura 8. Imagem aérea da região nordeste do município de São Carlos, com destaque na área do bairro Jockey Club, sem data. Fonte: Pró-memória São Carlos (2021).....	25
Figura 9. Foto aérea da SICOM, São Carlos, SP, sem data. Fonte: IBGE (2021).	26
Figura 10. A: Fotografia aérea georreferenciada IBC-GERCA (1971), escala 1:25.000. B: Ortofoto do Terra Foto (1978), escala 1:35.000. Em destaque pelo retângulo vermelho área estudada.....	27
Figura 11. Recorte da Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989), as linhas vermelhas indicam ruas sem pavimento, linhas rosas indicam ruas pavimentadas.....	28

Figura 12. Evolução da paisagem da área de estudo. A) 2003, aumento da área da mata ciliar; B) 2011, diminuição da mata ciliar próximo a cabeceira do rio. Fonte: Imagens Digital Globe da plataforma Google Earth Pro®.	29
Figura 13. Evolução do relevo da área de estudo. A) DEM gerado a partir Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970); B) DEM gerado a partir da Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989); C) DEM gerado a partir da imagem ALOSPALSAR de 15/01/2011.	31
Figura 14. DoD (Dem of difference) 1970 para 1989.	33
Figura 15. Localização da nascente do córrego da área de estudo em: A) Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970), B) Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989).	34
Figura 16. DoD (Dem of difference) de 1989 para 2011.	35
Figura 17. DoD (Dem of difference) 1970 para 2011.	36

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1. Dados e informações geoambientais aplicados neste trabalho.....	20
Tabela 1. Resultados dos dados geomorfométricos derivados dos Modelos Digitais de Elevação para a área de estudo.....	30
Tabela 2. Mudança de elevação dos DoDs para a área de estudo e a porcentagem de cada classe.....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Geomorfologia e Relevo antropogênico	4
3.2 Geoprocessamento e sensoriamento remoto - método analógico ao digital	6
3.3 Metodologias para estudo de relevo antropogênico.....	8
3.4 Planejamento urbano e desenvolvimento do uso do solo do município de São Carlos	13
4. MATERIAS E METODOS	17
4.1. Área de estudo.....	17
4.2 Metodologia	18
4.2.1 Banco de dados	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 Histórico do bairro e dinâmica do uso e ocupação do solo.....	24
5.2 Análise dos Modelos Digitais de Elevação.....	30
5.3 Análise de Superfície.....	32
6. CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As atividades humanas, motivadas pelas necessidades socioeconômicas, se expandiram em escala global, principalmente após a revolução industrial (século XVIII), alterando as formas de apropriação e transformação do espaço geográfico, resultando em alterações do meio físico. Nesse sentido, passou-se a conceber o homem como um agente geomorfológico independente, capaz de intensificar e/ou retardar processos, interferindo nos sistemas ambientais, e conseqüentemente gerando novas formas de relevo (TAROLLI *et al.*, 2019; WATERS, 2018; PELOGGIA, 2017; PRICE *et al.*, 2011).

Em função desse cenário surgiu a necessidade do estudo, identificação, classificação e delimitação dos depósitos e terrenos antropogênicos, a fim de auxiliar em demandas específicas, como: análise de risco, planejamento urbano ou análise geoambiental; também em levantamentos geológicos básicos, como no caso do mapeamento em 1:50.000 do Reino Unido (PELOGGIA, 2017; BINI *et al.*, 2017).

No entanto, as investigações para a delimitação geográfica desses depósitos são normalmente dispendiosas, financeiramente e temporalmente, pois são pautadas em extensas campanhas de perfuração, ensaios de campo (resistência à penetração, permeabilidade, geofísica de eletrorresistividade) e análises físicas e químicas dos materiais (TAROLLI *et al.*, 2019). Assim, soluções financeiramente mais econômicas pautados no uso de Sistemas de Informação Geográfico (SIG) vêm surgindo.

A partir de uma revisão sistemática sobre a temática de delimitação de depósitos antropogênicos utilizando como ferramenta base SIG, chegamos ao trabalho de Luberti (2018), intitulado “*Computation of modern anthropogenic-deposit thicknesses in urban areas: A case study in Rome, Italy*”, que busca estimar a espessura e distribuição dos depósitos a partir de análises multitemporais do relevo apoiadas em técnicas de geoprocessamento, que se tornou base para o desenvolvimento do presente trabalho.

Com o exposto, nota-se a importância de conhecer o histórico de ocupação para compreender as mudanças do meio físico e entender os processos que desencadearam a situação atual (SANTOS, 2004). Logo, a caracterização e delimitação da espessura de depósitos antropogênicos e alterações topográficas produzidas pela ocupação humana é importante para que as condições representativas do relevo possam ser estimadas, as

técnicas de investigação e construção possam ser planejadas e os riscos geológicos avaliados. Muitos locais que sofreram alterações topográficas, com cortes, aterros, retificações de cursos hídricos, por exemplo, passam a sofrer com processos geológicos e hidrológicos que antes não ocorriam ali.

Uma visão holística torna-se a ideal para realizar o planejamento físico territorial; nesse sentido o estudo dos depósitos e terrenos antropogênicos do município de São Carlos, baseado em metodologias que utilizem álgebra de mapas em sistema SIG, podem fornecer dados para o planejamento urbano e gestão de risco do município, bem como a análise de aplicação de uma técnica alternativa, auxiliando planejadores a tomarem decisões de forma a assegurar o manejo adequado do meio ambiente (MARTIN *et al.*, 2017; FUSHITA *et al.*, 2016).

O bairro Jockey Club, localizado na zona norte da área urbana da cidade de São Carlos é uma destas áreas, que neste período cartografado estava em processo de expansão, o que justifica sua escolha como área teste para a aplicação da metodologia. O bairro, embora pequeno, passou por transformações em especial ao redor do córrego sem denominação que está na sua parte central, sofrendo com processos erosivos e aterros, não sendo mais possível identificar onde eram as nascentes, que transformações ocorreram. O escoamento pluvial oriundo de vias e galerias em direção ao córrego gerou erosões. O bairro teve uma dinâmica de ocupação lenta, alterada no início dos anos 2000 por novos loteamentos na região. Deste modo, estudar a área foi de importância para ações futuras de recuperação ambiental do córrego e entorno.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa se propôs a realizar uma análise multitemporal baseada em cartas topográficas para avaliação das alterações geomorfológicas antrópicas e obtenção da geometria das alterações antropogênicas do bairro Jockey Clube no município de São Carlos-SP.

2.2. Objetivos Específicos

Aplicar técnicas de geoprocessamento como alternativa metodológica para estimar a espessura dos depósitos antropogênicos, a fim de testar a viabilidade e confiabilidade desta técnica.

Observar as alterações sofridas na área ao longo da sua ocupação urbana, buscando entender os processos ocorridos e suas consequências.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Geomorfologia e Relevo antropogênico

O objeto de estudo da geomorfologia é o relevo da superfície terrestre, bem como a gênese, composição e os processos que atuam nesse. A superfície terrestre não é plana, nem uniforme em toda a sua extensão, caracteriza-se por elevações e depressões. Essas diferenças ao longo do relevo são resultado dos processos de troca de energia e matéria que ocorrem entre as várias esferas do globo - litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera (FLORENZANO, 2016).

As atividades antrópicas, no entanto, aceleraram a dinâmica dos processos de formação de relevo. Rosembaum *et al.* (2003) crê que os processos antrópicos precisam ser caracterizados para fornecer informações confiáveis e atuais sobre o relevo e o solo, assim a caracterização tridimensional de depósitos superficiais torna-se imprescindível para compreendermos a potencial variabilidade litológica espacial do solo artificial e da geometria de superfícies.

Segundo Peloggia *et al.* (2018), as modificações antrópicas passaram a ser mapeadas a partir do momento em que Chemekov (1983) apresentou o conceito de depósito tecnogênico como uma categoria geológica específica e original. A partir de então outros autores passaram a estabelecer metodologias de classificação desses depósitos, em função da necessidade de mapeá-los por conta de demandas específicas como análise de risco, planejamento urbano ou análise geoambiental, abaixo discorreremos sobre algumas dessas classificações.

A classificação de Oliveira (1990) aperfeiçoada por Peloggia (1999) distingue tipos básicos de terrenos artificiais e é apropriada a escalas pequenas (regionais), permite a sobreposição de mapas geológicos e pedológicos preexistentes, mas não permite a distinção de tipos dentro das categorias principais. A classificação baseada em perfis de sobreposição foi a primeira a utilizar o conceito de cobertura remobilizada, um tipo de depósito tecnogênico de encostas urbanas, essa foi criada com o intuito de solucionar o problema de representar as camadas antropogênicas sobre terrenos naturais diferenciados.

A classificação do Serviço Geológico Britânico (BGS) consiste no uso de padrões hachurados que possibilitam a sobreposição aos mapas geológicos convencionais, ela possui uma escala de trabalho de 1:50.000. A classificação atualizada de terrenos

tecnogênicos de Peloggia (2017), considera-se uma união da classificação do BGS, da Geologia de Engenharia Soviética e da ciência dos solos norte-americanos; considera a delimitação de quatro classes básicas: agradação, de degradação, modificados e complexos, associando a cada uma delas categorias geológicas (respectivamente depósitos tecnogênicos, solos tecnogênicos, substrato exposto ou movimentado e paisagem tecnogênica). Por fim, cada categoria pode ser dividida em tipos, cada um dos quais correspondendo a camadas ou feições tecnogênicas específicas.

Ford *et al.* (2010), aprimoraram a classificação de solo artificial com base na classificação da British Geological Survey (BGS); isso ocorreu em resposta ao crescente papel da BGS no ambiente urbano e, portanto, a necessidade de melhorias na classificação das formas de relevo pelo homem.

Assim Ford *et al.* (2010) propõem o detalhamento dos depósitos através de uma hierarquia de classe, tipo e unidade, sendo a classe o nível mais básico de informação e a unidade a mais detalhada. A estrutura desse esquema permite que ele se integre a banco de dados e aplicativos corporativos existentes, podendo ser aplicado em metodologias modernas de mapeamento e modelagem, também permite que após algumas adaptações seja aplicado a ambientes industriais e urbanos (modernos e antigos). As escalas sugeridas para cada nível hierárquico são de 1:50.000 para classe, que corresponde ao nível de detalhe existente atualmente, e 1:10.000 para o nível de unidade.

Volungevicius e Skorupskas (2011) propuseram uma classificação em quatro etapas. A primeira divide os solos conforme o grau de impacto antropogênico. A segunda etapa da classificação dos solos é baseada em sua gênese, que é causada por diferentes tipos de atividades antropogênicas, ou seja, os métodos físicos de alteração do solo (mistura, escavação, preenchimento). A terceira etapa da classificação dos solos antropogênicos baseia-se na ênfase nas diferenças das características físicas em seus perfis e a quarta etapa da classificação antropogênica do solo é baseada nas peculiaridades das características químicas. Assim no primeiro nível de classificação temos solos: levemente antropogênico, mediamente antropogênico, fortemente antropogênico e antropogênico ou tecnogênico.

Analisando os artigos estudados notamos que a maioria das metodologias se deu pela necessidade na otimização da classificação dos solos antropogênicos, bem como na padronização de suas terminologias, entretanto como cada região apresenta peculiaridades distintas, como clima, relevo, forma de ocupação e de alteração da paisagem, os autores propuseram as metodologias de forma a melhor se encaixarem nas

suas respectivas realidades. Tais metodologias acarretaram em grandes avanços para o mapeamento de solos antropogênicos nas três dimensões.

3.2 Geoprocessamento e sensoriamento remoto - método analógico ao digital

A geografia, bem como a cartografia – um ramo dessa, são ciências antigas. A cartografia é a ciência que representa objetos, elementos, fenômenos ambientais e socioeconômicos, entre outros, para os mais variados fins, por meio de mapas, planos cartesianos e/ou outras formas de expressão, com diversos níveis de complexidade e informação, baseados em elementos científicos, técnicos e artísticos (FITZ, 2018; ZAIDAN, 2017; DUTENKEFER, 2016).

Ao contrário da cartografia, o processamento de dados eletrônicos é um campo recente do conhecimento, assim o geoprocessamento é uma intersecção entre a geografia e o processamento de dados (ZAIDAN, 2017; DUTENKEFER, 2016). Segundo FITZ (2018), o geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratar a informação geográfica, sendo compreendido como um conjunto de tecnologias que possibilita à coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de informações espaciais, a fim de gerar novos dados.

Dentro do ramo do geoprocessamento podemos encontrar uma das geotecnologias conhecida como “Sistemas de Informações Geográficas” ou SIG (em inglês: Geographic Information System – GIS). Está nos permitem automatizar a coleta, o armazenamento, assim como a manipulação, edição, processamento, análise e disponibilização final de diversos dados cartográficos. O SIG, também pode ser definido como um tipo de sistema formado por softwares e hardwares, componentes de uma rede de pessoas ligadas entre si e que buscam a mesma finalidade ao utilizarem dados georreferenciados, no caso a de estruturar e observar questões referentes ao espaço físico geográfico. Em suma, trata-se de uma estrutura computacional, que opera sobre bases de dados georreferenciados a fim de transformá-los em informação relevante, por meio da identificação das possíveis relações espaciais entre eles, descrevendo, portanto, os fenômenos da região estudada e permitindo a análise destes, de acordo com os objetivos considerados.

O sensoriamento remoto (SR), outra técnica inserida no geoprocessamento, consiste na obtenção de informações, à distância, que registram a interação entre energia

eletromagnética e matéria (BISHOP *et al.* 2018; ASADZADEH e SOUZA FILHO, 2016; FLORENZANO, 2016; GOETZ, 2009). As informações são obtidas através da radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais ou artificiais, por meio de sensores instalados em plataformas aéreas, terrestres ou orbitais (FLORENZANO, 2016).

O SR traz como vantagem a possibilidade da observação da Terra, sem contato, fornecendo contexto temporal e espacial, permitindo a detecção de mudanças ambientais, avaliações de riscos e caracterização de eventos perigosos. Além disso, permite “traduzir” os dados captados em informações que atendam às necessidades da comunidade, de forma que essa possa ser compreendida, tornando está, portanto em uma ferramenta operacional.

Nos últimos anos, o surgimento das tecnologias anteriormente citadas facilitou ações vinculadas ao planejamento, à gestão, ao monitoramento, ao manejo, à caracterização de espaços urbanos e rurais, ou seja, as análises de cunho espacial. Contudo, concomitantemente ao avanço das tecnologias, houve o aumento das populações, o que levou a maior utilização dos recursos naturais e, na maioria das vezes, essa utilização ocorreu de forma insustentável. Assim, a preocupação com os recursos naturais finitos fez com que os países começassem a se preocupar com a forma que tais recursos eram utilizados e retirados da natureza. Evidenciou-se a necessidade de realizar estudos baseados na análise do meio físico a fim de especializar as áreas afetadas pelas ações antrópicas, evitando uma futura degradação ou então, formas de recuperação dessas áreas.

Nesse contexto, a cartografia digital torna-se uma importante ferramenta para os estudos do meio físico, pois os avanços tecnológicos permitiram uma maior precisão na elaboração de mapas, através de técnicas de geoprocessamento. Dessa forma, as geotecnologias chegam para ajudar no planejamento e gerenciamento do meio ambiente.

Uma ferramenta útil para essa finalidade é a cartografia geomorfológica histórica, pois esta estuda as formas do relevo e sua evolução passada e atual. Entretanto, a maioria das imagens aéreas e mapas históricos dessa área encontra-se em meio analógico, com coordenadas regionais ou desconhecidas, gerando um empecilho para a máxima exploração das suas potencialidades e contribuições. Com isso os mapas topográficos históricos e imagens aéreas antigas perdem espaço na representação da evolução e estado do relevo frente às tecnologias atuais, como no caso dos modelos digitais de elevação (DEM) obtidos por imagens de satélite de alta resolução.

3.3 Metodologias para estudo de relevo antropogênico

A fim de observar as formas do relevo ao longo do tempo, foi preciso recorrer a um ramo das geotecnologias – aglomerado de tecnologias para coleta, armazenamento, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica, conhecido como geoprocessamento.

A utilização do geoprocessamento para a elaboração de produtos cartográficos relacionados a análises de mudanças de relevo difundiu-se, pois, as ferramentas que compõem os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) evoluíram permitindo a integração de dados de escala e natureza diferentes, facilitando assim a realização de operações complexas, como o caso do cruzamento dos dados remotamente obtidos utilizados para detectar e interpretar características geomórficas, formas de relevo e paisagens antropogênicas. A partir desse progresso nas ferramentas computacionais, surgiram algumas metodologias recentes de delimitação de depósitos antropogênicos (LUBERTI, 2018; JOHNSON e OUIMET, 2018; SOFIA *et al.*, 2016; QIN *et al.*, 2016), que se fundamentam no sensoriamento remoto (SR), como ferramenta para a análise das mudanças no relevo, sejam essas contemporâneas ou históricas. Abaixo, apresentaremos alguns estudos que têm como base os dados de sensoriamento remoto usados para extrair e analisar recursos antropogênicos e quantificar alterações antropogênicas na superfície.

Luberti (2018), Johnson e Ouimet (2018), Sofia *et al.* (2016) e Qin *et al.* (2016) realizarem seus estudos com base em Modelos Digitais de Elevação (Digital Elevation Models - DEMs), essa abordagem simula luzes e sombras para refinar os dados de entrada, possibilitando assim a visualização dos resultados por meio de mapas de sombra ou relevo sombreado.

Vale ressaltar que além dos Modelos Digitais de Elevação existem vários outros modelos digitais que representam parte da superfície terrestre, sua topografia ou seu uso e cobertura, como, por exemplo: Modelo Digital de Elevação (DEM), Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Numérico de Terreno (MNT) e Modelo Numérico de Elevação (MNE).

A diferença entre MDT e DEM ocorre pelo fato de o primeiro conter apenas altimetria enquanto o segundo pode conter outras feições além dessa. Um modelo digital do terreno (MDT) é uma representação matemática computacional de ocorrência de um

determinado fenômeno espacialmente distribuído numa região limitada da superfície terrestre. Já o DEM segundo Valeriano e Rossetti (2012) “são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com valor de elevação em cada pixel”. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude de relevo, idealmente para que o DEM seja uma representação da topografia.

Os DEMs podem ser construídos de diversas maneiras. Luberti (2018) utilizou no seu trabalho os modelos convencionais de construção que utilizam dados oriundos da vetorização de curvas de nível e outros elementos topográficos presentes nas cartas, como os pontos cotados extraídos por fotometria a partir de fotografias aéreas (Figura 1).

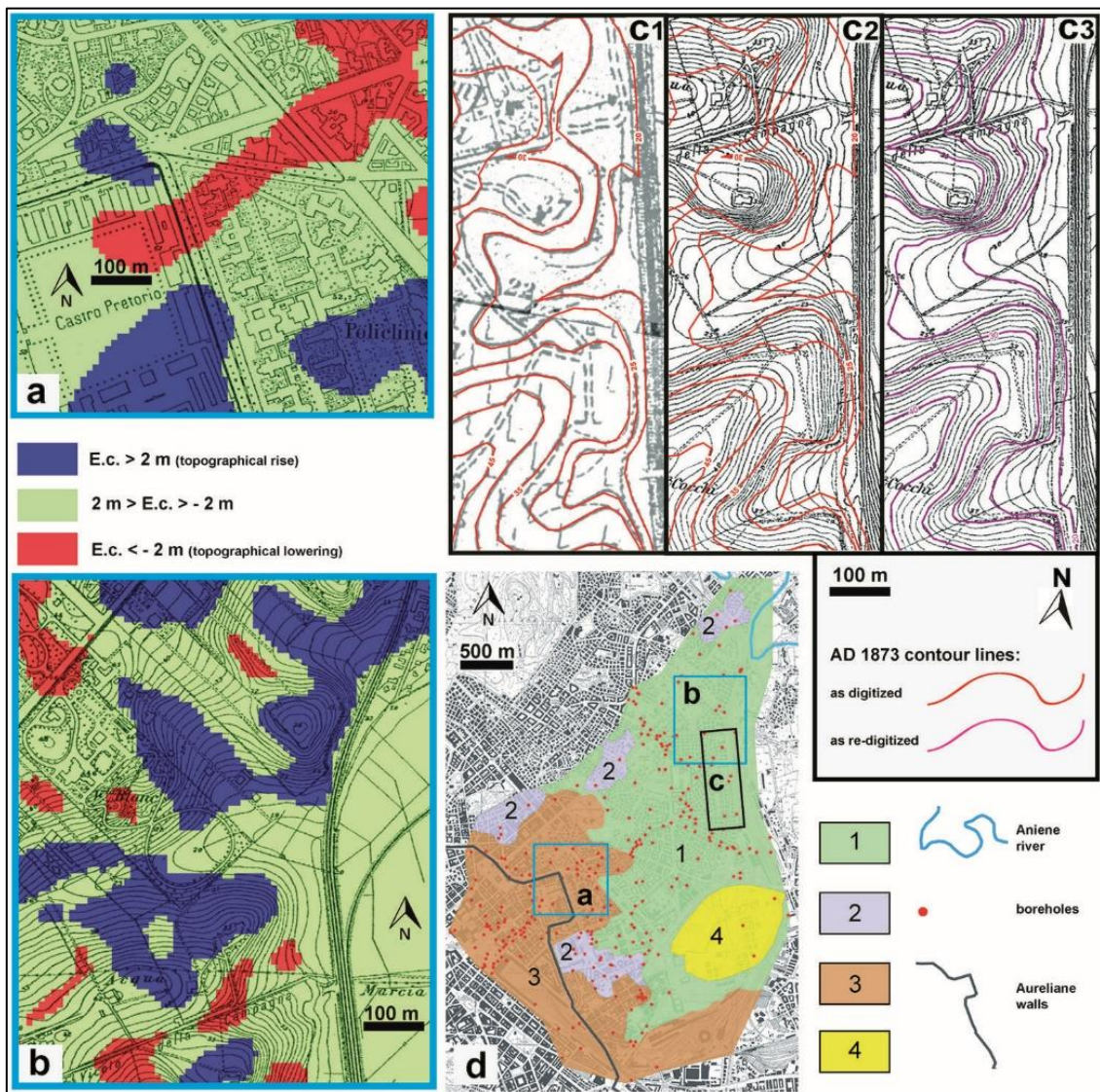


Figura 1. 1, nenhuma mudança significativa de elevação durante o intervalo de 1873–1924 nas zonas originalmente rurais (co-registro como mostrado em (c)); 2, mudanças de elevação elevada durante o intervalo de 1873–1924 (linhas de contorno de 1873 manualmente vinculadas às co-registradas no setor 1; 3, mudanças de baixa elevação durante os intervalos de tempo nas primeiras zonas urbanizadas (aprimoramento de conjuntos de dados fornecidos por dados arqueológicos e pontos de correspondência entre mapas); 4, poucos dados de elevação (aprimoramento de dados GPS survey), que está relacionado. Fonte: Luberti (2018).

Outros autores utilizaram modelos gerados a partir de imagens orbitais ou de sensores lidar (Light Detection and Ranging), como é o caso de Qin et al. (2016), de Johnson e Ouimet (2018) e Sofia et al. (2016).

A abordagem mais direta consiste em partir dos DEMs gerados, filtrar os dados por meio de filtros "passa baixo", resultando em uma superfície suavizada, similar a ferramenta "fill" que preenche vazios, ou seja, eles calculam a diferença volumétrica entre DEMs de diferentes épocas por meio de álgebra de mapas, gerando o *DEM of Difference* (DoD). Nessa etapa os erros possivelmente presentes nos modelos devem ser considerados, para que se obtenha maior acurácia, a natureza e a resolução dos dados tem grande influência nesse quesito. A partir da análise dos resultados obtidos, Luberti (2018) concluiu que a diferença entre os DEMs, forneceram medidas volumétricas das alterações antropogênicas do relevo, permitindo assim delimitar geograficamente as áreas de depósitos antropogênicos.

Entretanto, outras abordagens podem ser aplicadas. Sofia *et al.* (2016), por exemplo, utilizaram a abordagem SLLAC (Slope Local Length of Auto-correlation), que consiste na análise local de auto-similaridade de declive. Para aplicar essa técnica, primeiramente realiza-se o agrupamento das paisagens naturais e antropogênicas, em seguida calcula-se a correlação entre um fragmento de declive e uma área circundante definida, e assim identifica-se o comprimento de correlação característico de cada vizinhança, permitindo discriminar áreas naturais do relevo de áreas antropogênicas (Figura 2).

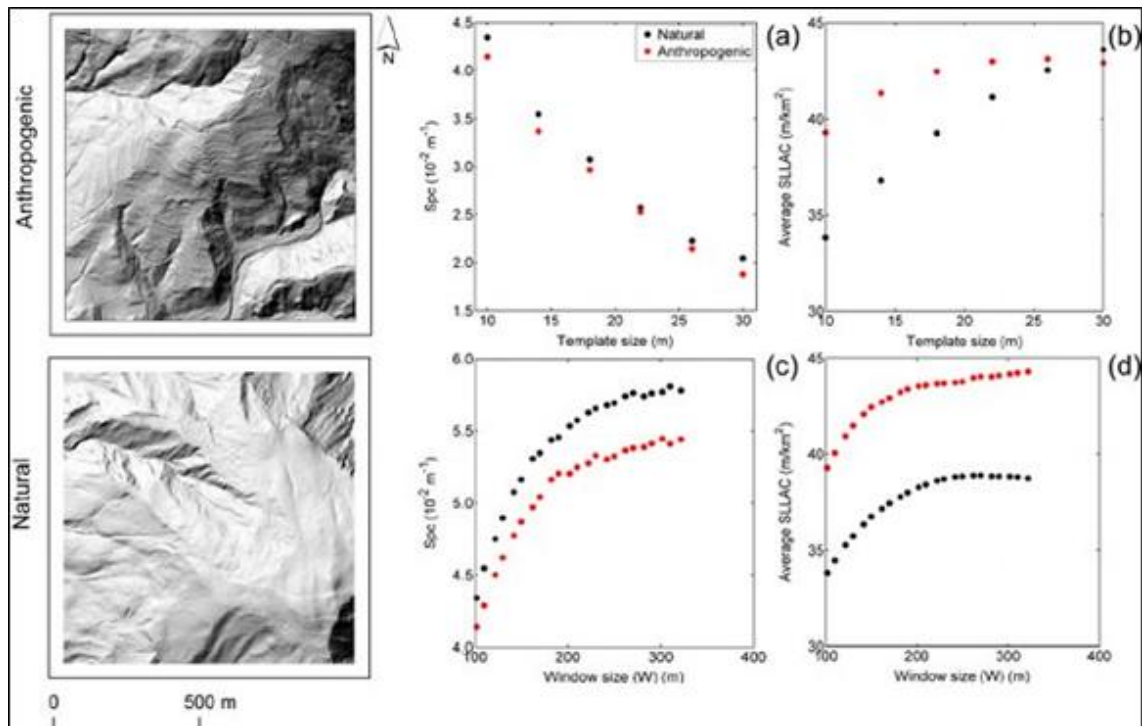


Figura 2. Valores de SPC (Equação 3) (a e c) e SLLAC médio (b e d) calculados para duas áreas (uma natural e uma antropogênica) considerando um modelo de declive quadrado (T) com larguras de 10 a 30 m e uma janela fixa de 100 m (a e b), e um gabarito fixo de 10 m e diferentes janelas (W) com tamanhos de 100 a 300 m (c e d). FONTE: Sofia et al. (2016).

Os DEMs fornecem informações fundamentais para a modelagem e análise de relevo, pois permitem a apresentação de uma superfície levando-se em consideração a sua rugosidade. Entretanto deve-se levar em conta a sua forma de construção, pois eles serão os dados de entrada para os modelos de delimitação de depósitos antropogênicos, portanto, precisam representar bem as formas de relevo da região estudada.

Os DEMs gerados a partir de imagens orbitais podem exibir “ruídos” decorrentes do processamento automático das imagens ópticas e não representarem adequadamente o relevo local, e os gerados da forma mais convencional exigem o acesso a mapas cartográficos e imagens ortorretificadas, o que nem sempre é possível. Portanto, conclui-se que ambas a abordagem de construção dos DEMs apresenta vantagens e desvantagens, assim o uso combinado de características dessas abordagens pode ser o mais adequado em função do objetivo do estudo e da escala de mapeamento adotada.

Faccini *et al.* (2020) adotaram uma metodologia de análise integrada, combinando geomorfologia com geografia histórica, afim de realizar um levantamento geomorfológico do centro histórico de Gênova, Itália. Para tal, os autores realizaram levantamentos de campo em áreas urbanas, interpretação de formas de relevo naturais e antrópicas a partir de mapas e fotografias. Obtendo como resultado a atualização da

geomorfologia urbana do centro histórico da cidade de Gênova, incluindo a morfogênese das feições atuais.

Para a atualização do levantamento geomorfológico Faccini *et al.* (2020) coletaram dados atuais e melhoraram a interpretação dos dados antigos, realizaram pesquisas multidisciplinares e pesquisas multitemporais baseadas em visitação a campo e observação, fotointerpretação aérea, processamento de dados de perfuração do solo e análise de informações de arquivo histórico. Faccini *et al.* (2020) salientam que o reconhecimento das mudanças no relevo devido a atividade antropogênica fez com que fosse necessária uma análise extremamente cuidadosa, foi necessário reconhecer e sistematizar as formas de relevo criadas artificialmente (por exemplo, escavações para construções e aterros), bem como estrutura-las em ambiente SIG para o desenvolvimento de solução cartográficas que melhor representam-se essas formas de relevo. Assim, o enfoque e comparação realizado focou no mapeamento georreferenciado de escavações antigas e recentes, pedreiras históricas, túneis e cavernas, modificações na rede hidrográfica, aterros sanitários, aquedutos e paredes históricas.

Peloggia *et al.* (2018) realizaram uma análise morfoestratigráfica e geoambiental em uma sub-bacia caracterizada como área de expansão urbana periférica no município de Itaquaquecetuba, Região Metropolitana de São Paulo. A análise da bacia foi feita por critério topológico; a área foi dividida em topobacias de cabeceiras e a essa delimitação foi sobreposta à análise do uso e ocupação do solo.

Hil, Lawrence e Smith (2020) estudaram a mudança na elevação do relevo de Melbourne, na Inglaterra, para isso modelaram as mudanças históricas na paisagem usando mapas topográficos do século XIX e SIG. A metodologia dos autores se dividiu em três estágios de análise: 1) pré-processamento (georreferenciamento e vetorização); 2) produção de DEM; e 3) comparação de superfície a superfície. Na primeira etapa cópias digitalizadas de alta resolução dos mapas dos anos de 1853 e 1895 foram recuperadas de bancos de dados online, georreferenciadas e digitalizadas. O mapa de 1895, não possuía curvas de nível, mas apresentava dados topográficos por meio de referências de elevação, outra característica que auxiliou na reconstrução da elevação foram as plantas dos edifícios e adegas, pois continham um ou mais valores de elevação disponíveis. Após essa etapa os DEMs foram gerados a partir de dois interpoladores diferentes “topo to raster” e “spline with barriers”. A última etapa contou com o uso da

“calculadora raster” para calcular as diferenças volumétricas ao longo do tempo. Por meio de álgebra de mapas quantificaram a alteração do valor da célula entre dois DEMs, produzindo um novo DEM conhecido como DEM of Difference (DoD) e permitindo distinguir as áreas de aumento de elevação das áreas de diminuição (Figura 3).

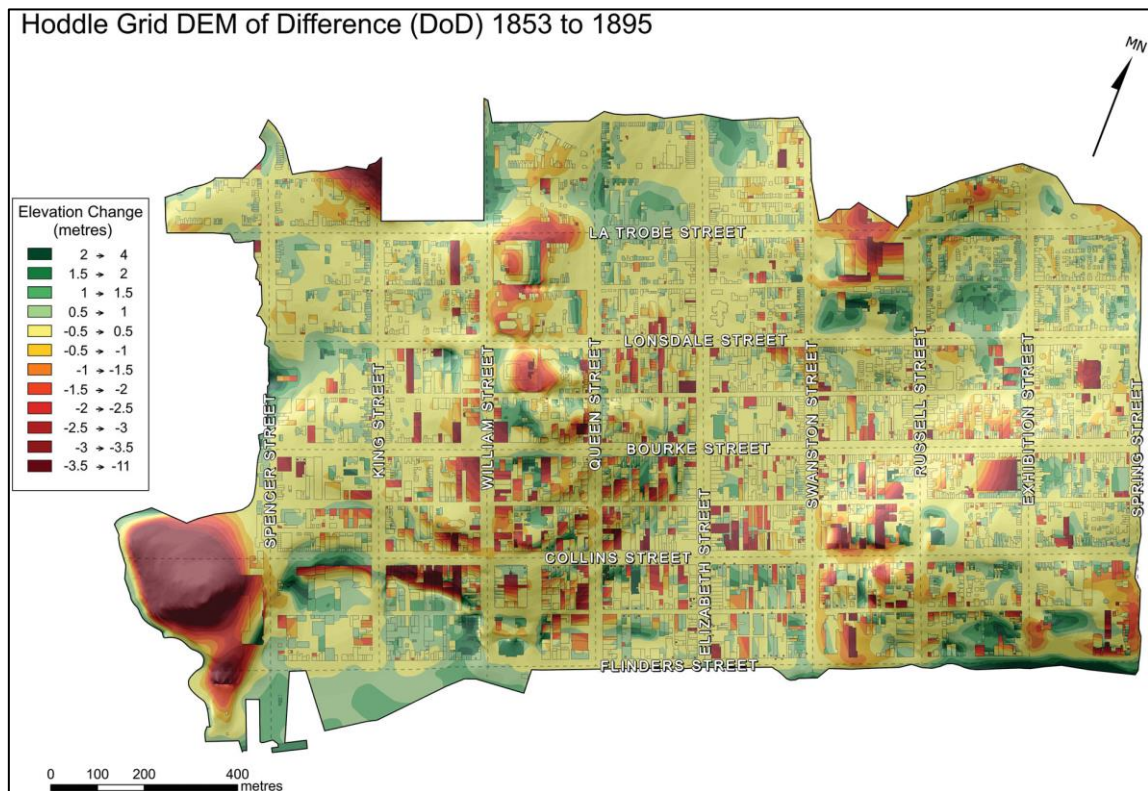


Figura 3. DEM da Diferença - DoD de 1853 a 1895, sobreposto ao DEM de 1853. Fonte: Hil, Lawrence e Smith (2020).

3.4 Planejamento urbano e desenvolvimento do uso do solo do município de São Carlos

O planejamento do espaço sempre foi uma premissa para grupos de pessoas que se propõem a viver conjuntamente, sob objetivos e normas comuns. Essa organização vem sendo observada desde a antiguidade, quando já existiam formas de planejamento, porém quase nenhuma forma de organização do espaço se preocupava com a construção das cidades aliada à conservação dos elementos da natureza (SANTOS, 2004).

A ocupação do solo no Brasil ocorreu de maneira desordenada, sem uma avaliação consistente das características e das potencialidades do meio físico, desconsiderando as possíveis implicações ao meio ambiente. O modelo urbanístico adotado nos dias atuais é

motivado por interesses privados sobre os sociais, não respeitando as diretrizes de crescimento do município, normas de loteamento, entre outros (ROLNIK, 2009).

Um exemplo desse fato são as cidades brasileiras de médio e grande porte que apresentam graves problemas ambientais no meio urbano, consequência da rápida taxa de urbanização, aliada à disposição inadequada de resíduos sólidos e o uso intensivo do solo por atividades relacionadas ao agronegócio (TUNDISI *et al.*, 2008; ZUQUETTE, PALMA, PEJON, 2009).

Nesse cenário, surgem políticas públicas referentes à ordenação do uso e ocupação do solo, no âmbito municipal, o planejamento e desenvolvimento do espaço urbano devem ser regidos pelo Plano Diretor, instrumento através do qual se determinam e se estabelecem as formas de uso do solo e de exercício do direito de propriedade.

Esse planejamento propõe o adequado ordenamento do uso, controle e proteção do ambiente, buscando o desenvolvimento equilibrado da região e a manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social.

Esse ordenamento pode ser realizado através da organização dos espaços em bacias hidrográficas, consideradas unidades de planejamento e gestão para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Essas são consideradas como unidades de planejamento e gestão, pois todas as suas interações são correlacionadas, ou seja, a ocorrência de qualquer evento, seja esse de origem natural ou antrópica, interfere na dinâmica da bacia, na quantidade e na qualidade da água. Porém cada bacia hidrográfica possui características próprias, o que torna necessário individualizar o seu planejamento e manejo em função das suas particularidades (CAVALCANTE *et al.*, 2013).

Sistemas ambientais precisam ser definidos geograficamente para que os gestores estejam aptos a compreender a dinâmica de interação dos fluxos de matéria e energia entre seus componentes, podendo assim delimitar de forma mais precisa a influência entre os seus componentes. Assim, levando em conta que a bacia hidrográfica é uma forma de delimitar geograficamente as componentes ambientais e a Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997, que institui as bacias como unidade de gestão, tem-se no presente projeto uma microbacia inserida no bairro Jockey Club como área de estudo.

O município de São Carlos – SP, está inserido nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Tietê-Jacaré (UGRHI 13) e Mogi-Guaçu (UGRHI 9). O município é composto por 10 bacias hidrográficas (Guabirobas, Araras, Mogi-Guaçu, Cabaceiras, Quilombo, Pantâno, Chibarro, Monjolinho, Feijão e Jacará-Guaçi), tendo uma população estimada de 243.765 habitantes segundo o IBGE (2016).

A cidade de São Carlos, assim como outras do estado de São Paulo, passou por um processo de mudanças significativas em sua rede urbana. A partir da década de 80 o modelo de ocupação utilizado no município intensificou a canalização de córregos, ocupou áreas de várzea e regiões de fundo de vale e criou uma malha viária dedicada a veículos individuais. A falta de consideração de fatores naturais como elementos norteadores do planejamento urbano acarretou e acarreta até os dias de hoje uma série de episódios de inundação em regiões ocupadas, como a área central (SCHENK, FANTIN, PERES, 2015), assim como inúmeros processos erosivos especialmente associados aos cursos hídricos.

O município de São Carlos é localizado em uma região de especial interesse ambiental, principalmente pelos recursos hídricos subterrâneos. A ação de loteadores e especulação imobiliária resultou em um perfil de ocupação intensiva das áreas periféricas, resultando no espraiamento da malha urbana e ocupação de áreas relevantes ambientalmente (SCHENK, FANTIN, PERES, 2015).

A gestão da cidade apresenta um comportamento visto na maioria dos municípios brasileiros, com políticas direcionadas e fundamentadas no zoneamento municipal, que têm por objetivo controlar e orientar as ocupações, levando em consideração fatores sociais, econômicos e ambientais (GROSTEIN, 2001), mas nem sempre estes zoneamentos consideram o equilíbrio entre características ambientais e crescimento urbano.

O Plano Diretor Municipal, em vigor desde 2005, passou por um processo de atualização no ano de 2016. O novo Plano Diretor de 2016 (SÃO CARLOS, 2016) apresenta uma série de mudanças, como as zonas definidas para expansão urbana, proteção de recursos hídricos e áreas de especial interesse ambiental, alterando coeficientes, instrumentos aplicáveis e as áreas definidas para cada ocupação. Essas mudanças podem levar a uma série de consequências para o município, como aumento da população, ocupação de novas áreas, demanda por infraestrutura, que afetam diretamente os recursos naturais do município.

Segundo o último levantamento do IBGE (2010), o município possui 71.613 domicílios para uma população de 221.950 habitantes e apresenta uma densidade demográfica de 195,15 (hab./km²). A estimativa populacional para o ano de 2020 segundo o IBGE é de 254.484 habitantes, um aumento de aproximadamente 30.000 hab. em 10 anos.

O perímetro urbano na cidade de São Carlos, entre os anos de 2005 a 2016, teve seu crescimento concentrado na região noroeste do município, com apenas um loteamento localizado na porção sudeste do perímetro urbano. O crescimento do perímetro, atualizado no Plano Diretor de 2016 (SÃO CARLOS, 2016), representa um aumento de 7,6% da área existente no Plano Diretor de 2005, sendo que esse crescimento é dividido em 2 vetores, um no sentido noroeste, que já era previsto nas áreas de expansão de 2005 e outro no setor sudoeste da cidade, que não estava anteriormente considerado.

4. MATERIAS E METODOS

4.1. Área de estudo

A área em estudo nesta pesquisa compreende parte do bairro Jockey Club e está em uma bacia hidrográfica com área de 0,96 km², localizada no município de São Carlos/SP, entre as coordenadas UTM 200.500/201.500 mE e 7.566.000/7.567.200 mN, zona 23 Sul, datum SIRGAS 2000 (Figura 4).

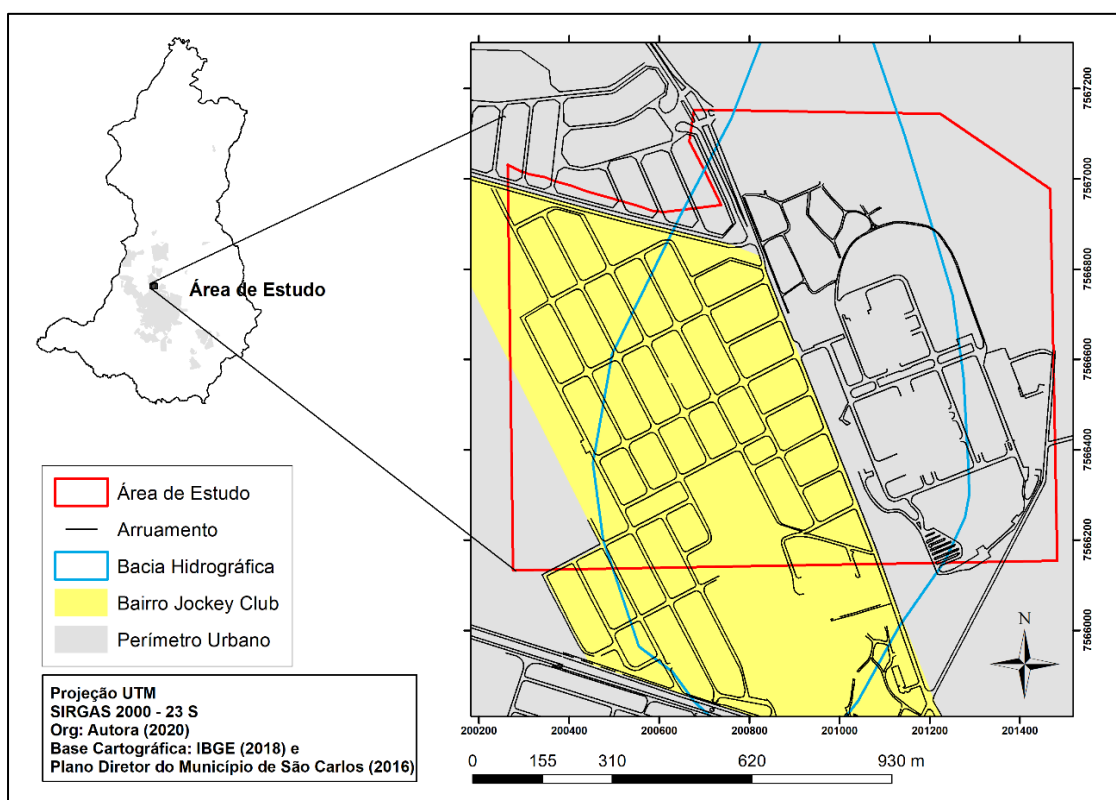


Figura 4. Mapa da área de estudo. Fonte: Autora (2020).

Os dados da Folha 8A - Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970) foram os responsáveis pela decisão do recorte da área de estudo a apenas um trecho da bacia hidrográfica, pois essa carta não cobria a bacia completamente. Portanto, o recorte do mapeamento e análise segue a carta de 1970, de forma a conseguir comparar os dados dessa área entre todos os anos.

A área está totalmente inserida no perímetro urbano do município, loteada desde a década de 1950, com incremento de ocupação a partir de 1973 com a instalação da indústria de refrigeração SICOM, que em 1996 mudou de nome para Tecumseh do Brasil

Ltda¹. A partir dos anos 2000 houve um maior adensamento devido a novos loteamentos na região. A parte central do bairro corresponde a área de proteção permanente (APP) de um córrego de primeira ordem, segundo a classificação de Strahler (1964), afluente do rio Monjolinho. As demais ocupações na área são residenciais, comerciais e industriais. De acordo com os Planos Diretores de 2005 e de 2016, que foram aprovados pelas leis municipais Nº 13.691 de 25 de novembro de 2005 (SÃO CARLOS, 2005) e Nº18.053 de 19 de dezembro de 2016 (SÃO CARLOS, 2016), respectivamente, o bairro encontra-se na macrozona urbana, na zona de ocupação condicionada. Essa zona é caracterizada pela predominância de um sistema viário fragmentado e com a carência de infraestrutura de drenagem em algumas regiões.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima de São Carlos é classificado como o tipo Cwa (clima tropical com verão úmido e inverno seco), a média anual de pluviosidade é acima de 1.422 mm, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CEPAGRI, 2012). No âmbito das províncias geomorfológicas, o município faz parte do reverso das cuestas arenítico-basálticas, pertencentes ao Planalto Ocidental Paulista (GONÇALVES, 1986).

Segundo Pons (2006) na área ocorrem os seguintes materiais inconsolidados: material arenoso III e material orgânico na foz da bacia. O material arenoso III caracteriza-se como areno-argiloso, com predominância da areia fina (27%), possui coloração amarelo-avermelhada e é composto por quartzo, caulinita, magnetita e outros minerais. Estes materiais são altamente porosos, o que contribui para ocorrência de processos erosivos. O material orgânico foi identificado em alguns pontos da área em estudo e ocorre ao longo das drenagens, mais especificamente nos terraços fluviais; apresenta alto teor de matéria orgânica e tons acinzentados, possui estratos arenosos, siltosos e argilosos, e caracteriza-se como pouco permeável (AGUIAR, 1989).

4.2 Metodologia

A Figura 5 resume as etapas metodológicas adotadas na pesquisa realizada, os materiais e os produtos resultantes deste trabalho e que são descritos na sequência.

¹ <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=443435&view=detalhes>

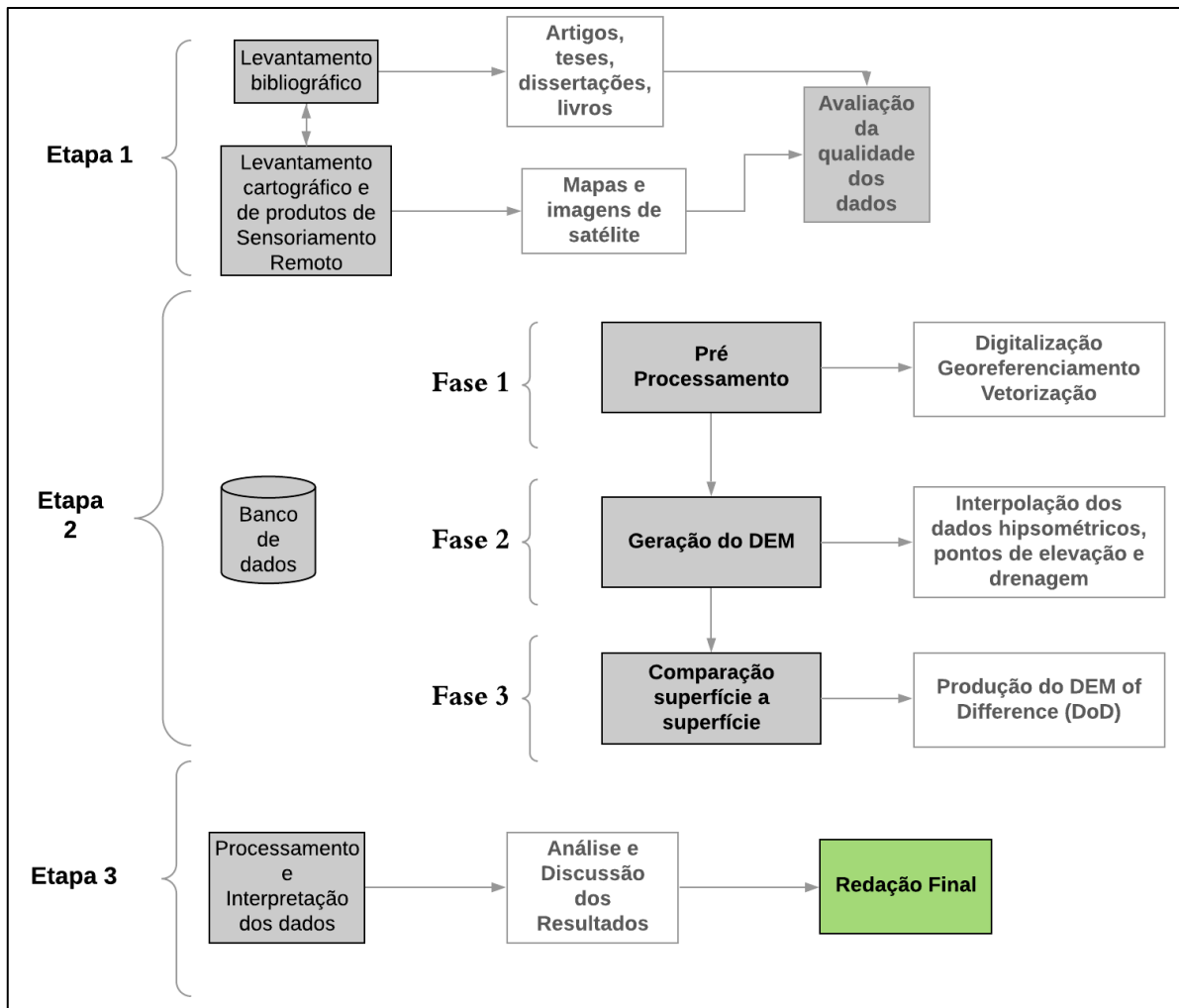


Figura 5. Fluxograma contendo as etapas de trabalho. Fonte: Autora (2020).

A Etapa 1 baseou-se primeiramente em uma revisão bibliográfica. Esta foi realizada visando obter fundamentação teórica e científica sobre relevo antropogênico, planejamento urbano e as técnicas de geoprocessamento para análise de relevo antropogênico. O levantamento bibliográfico foi feito em plataformas de artigos científicos (SCIELO, Scopus e Periódicos CAPES). Ainda nessa etapa, realizou-se a compilação dos produtos cartográficos e de sensoriamento remoto da área de estudo. O quadro 1 apresenta os dados coletados em mapeamentos existentes e a informação utilizada de cada fonte.

Quadro 1. Dados e informações geoambientais aplicados neste trabalho.

Atributos	Descrição	Fonte	Escala / Resolução
Hidrografia	Rios, reservatórios artificiais e delimitação de bacia hidrográfica	Folha 8A - Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970) Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989)	1:2.000 1:10.000
Cobertura e uso do solo	Cobertura vegetal e atividades antrópicas	IGC – Imagem aérea (1971 e 1978)	1:25.000 1:35.000
Relevo	Curvatura do terreno	Folha 8A - Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970) Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989) Modelo Digital de Elevação (DEM) (ALOS – PALSAR)	1:2.000 1:10.000 12,5m

Na Etapa 2 foi elaborada uma base de dados no software QuantumGIS, contendo os mapas base para a obtenção da série temporal na mudança do relevo. As etapas propostas foram baseadas em Sofia *et al.* (2016), Johnson e Ouimet (2018), Luberti, (2018), Faccini *et al.* (2020) e Hil, Lawrence e Smith (2020), que também utilizam ferramentas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e revitalização de mapas históricos para a caracterização e obtenção da mudança do relevo. Essa etapa divide-se em três fases: 1) pré-processamento; 2) geração de DEM; e 3) comparação de superfície a superfície.

Por fim, na Etapa 3 foi realizado o processamento e interpretação dos dados, análise, discussão e a redação final do texto de dissertação.

4.2.1 Banco de dados

A análise proposta foi baseada em metodologias recentes de delimitação de depósitos antropogênicos (SOFIA *et al.*, 2016, JOHNSON, OUIMET, 2018, LUBERTI, 2018, FACCINI *et al.*, 2020; HIL, LAWRENCE, SMITH, 2020), que se fundamentam no sensoriamento remoto como ferramenta para a análise das mudanças no relevo, sejam

essas contemporâneas ou históricas, dado o aumento da base de dados remotos, que fornecem uma estrutura teórica através da qual podemos detectar e interpretar características geomórficas, formas de relevo e paisagens antropogênicas, sendo assim, abaixo detalharemos os procedimentos adotados em cada fase de trabalho, da etapa 2 – Banco de dados.

A Fase 1 – pré-processamento foi dividida em três etapas: digitalização (rasterização), edição de imagem (georreferenciamento) e vetorização. Os mapas históricos encontravam-se em meio analógico, portanto foi necessário transpô-los para o meio digital; para que isso fosse possível, a Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970) foi rasterizada com uso de scanner de engenharia, gerando arquivo em formato TIFF (Tagged Image File Format). A resolução espacial definida foi 200 DPI (pontos por polegadas) que garante um nível de exatidão elevada (FRANCISCO e XAVIER-DA-SILVA, 1993). A Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989), foi obtida já rasterizada.

Em seguida, os mapas digitalizados e as fotografias aéreas do IBC-GERCA (1971) e Terra Foto (1978) foram georreferenciados em ambiente SIG. Informações georreferenciadas têm como atributo principal a característica da localização, ou seja, estão ligadas a uma posição geográfica específica do globo terrestre por meio de suas coordenadas. Portanto, no processo de georreferenciamento, são atribuídas coordenadas do mundo real a mapas ou imagens aéreas por meio de uma série de pontos de controle de solo inseridos pelo usuário. Esses pontos de controle ancoram um dado raster (imagem digitalizada) a um mapa ou imagem aérea já espacialmente definido em pontos de semelhança conhecida.

Essa etapa do trabalho evidenciou uma das principais barreiras no georreferenciamento de mapas históricos, pois a Folha 8A - Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970) não continha o Sistema de Referência de Coordenadas Geográficas, na sua descrição.

Assim, por se tratar de um mapa histórico, que representa os fenômenos espaciais do passado de São Carlos, foi necessário adequá-lo às coordenadas geográficas do presente, a fim de propor uma reconstrução mais detalhada do relevo urbano da cidade. Seria incoerente não devolver ao mapa histórico suas coordenadas geográficas a partir do georreferenciamento, pois, as mesmas já existiam em 1970, apenas sendo adequadas e,

consequentemente, recriadas ao presente para fazerem parte da realidade, deixando de ser apenas uma representação da espacialidade passada. Para os fins deste estudo, foi realizado o georreferenciamento relativo, levando em consideração pontos conhecidos, como esquinas e endereços, que foram usados para alinhar cada mapa e imagem aérea aos limites cadastrais modernos.

A imagem de radar do satélite Alos no modo de imagem beam: FBS; Path: 62; Frame: 6730 e tamanho do pixel de 12,5 m, com data de aquisição de 15/01/2011, foi obtida no repositório da *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2020). Originalmente, a imagem é disponibilizada com o DATUM WGS 84 – 22 S. Portanto, fez-se necessário reprojeta-la para o DATUM SIRGAS 2000 – 23 S, o que gerou uma distorção no encaixe geral, algo que pode ser notado pelo sistema de drenagem que não se ajustou precisamente a curvatura do terreno. Associasse essa distorção ao fato da cena da imagem de satélite escolhida estar inserida em sua maior parte no FUSO 22S, mas também conter dados no FUSO 23S, ou seja, a cena contém dados de uma fase de transição entre zonas UTM, logo é necessário levar esse detalhe durante a análise dos resultados.

A partir da inserção das imagens em ambiente SIG, foi realizada a vetorização dos mapas, ou seja, transpomos digitalmente as curvas de nível, pontos de elevação e drenagem. A vetorização é um processo pelo qual os dados em formato raster são convertidos em dados vetoriais (arquivos em formato de ponto, linha e polígono). A Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970) (Figura 6A) e a Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989) (Figura 6B) foram vetorizadas com o mouse no ambiente SIG.

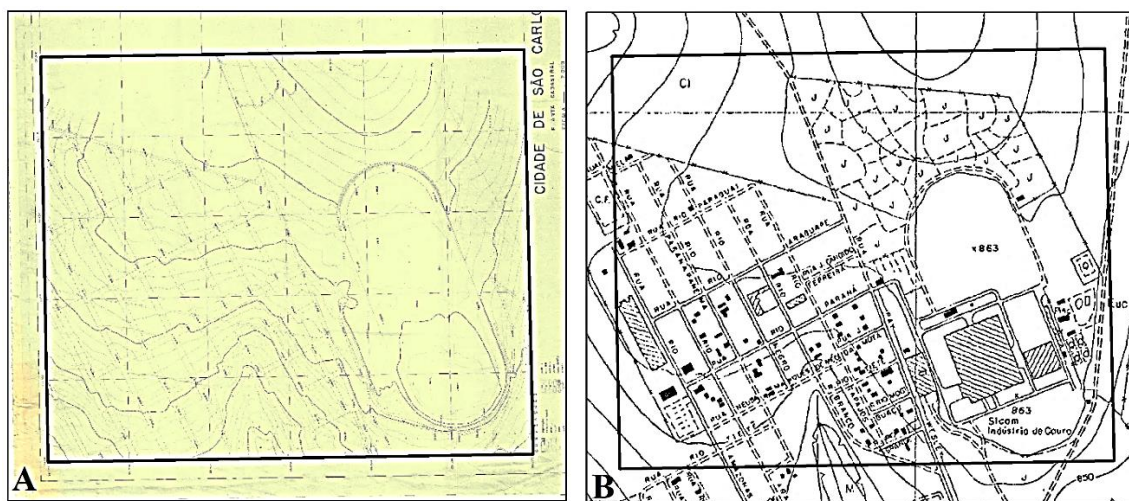


Figura 6. Mapas históricos: A) Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970); B) Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989). Em destaque pelo retângulo preto área estudada.

Na fase 2 foram gerados os DEMs a partir de dados de elevação do século XX e XXI baseados em princípios de interpolação. Quando um mapa topográfico é georreferenciado, cada pixel (ou seja, célula raster) recebe uma coordenada x e y do mundo real. Os dados de elevação vetorizados na forma de linhas de contorno ou pontos herdam esses dados x e y, enquanto contribuem com seus próprios valores z por meio da elevação anotada.

O processo de interpolação usa algoritmos de média para "preencher as lacunas" entre cada fonte de dados z, resultando em uma superfície digital conhecida como DEM. Existem diferentes formas de interpolação disponíveis incluindo IDW (Inverse Distance Weighted), Kriging, Natural Neighbour, Topo to Raster e Spline. No presente trabalho os dados altimétricos dos três anos foram interpolados utilizando a ferramenta de análise espacial *Interpolation*, método *topo to raster*, visto que este é um interpolador projetado especificamente para trabalhar com dados de contorno do relevo.

Na fase 3, procedeu-se a comparação de superfície a superfície, a partir dos DEMs gerados na fase 2. Para o cálculo da diferença volumétrica dos diferentes DEMs ao longo do tempo, foi utilizada a “calculadora raster”, que por meio de álgebra de mapas quantifica a alteração do valor da célula entre dois DEMs, produzindo um novo DEM conhecido como DEM of Difference (DoD) (HIL, LAWRENCE e SMITH, 2020).

Se uma área hipotética dentro da área de estudo estivesse quatro metros acima do nível do mar em 1970 e cinco metros acima do nível do mar em 1989, o valor do DoD naquele local seria de um metro. Por outro lado, se uma área estava 10 metros acima do nível do mar em 1970 e dois metros acima do nível do mar em 1989, o valor DoD resultante seria oito metros negativo. O DoD foi reclassificado com cores alternativas para que pudessemos distinguir visualmente as áreas de aumento de elevação, das áreas de diminuição.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A dinâmica de ocupação da área de estudo e as características do relevo são apresentados e discutidos nas seções a seguir.

5.1 Histórico do bairro e dinâmica do uso e ocupação do solo

O surgimento do loteamento Jockey Club, na porção nordeste do município as margens da Rodovia Washington Luís acompanham o cenário nacional da década de 50, onde as rodovias assumiam o papel estrutural no processo da configuração urbana. Em São Carlos, a reestruturação da Rodovia Washington Luís fez com que os eixos de expansão urbana se alterassem, pois até a década de 30 a expansão tinha seus eixos voltados para o sul em direção a ferrovia (LIMA, 2007). A partir da década de 50 novos eixos surgiram na direção, norte, nordeste e noroeste, muitos formados pelos prolongamentos de ruas até a rodovia Washington Luís, como é o caso da rua Miguel Petroni que se conecta à rodovia e passou a atrair loteamentos para a região

A implantação do loteamento Jockey Club ocorreu em 1955 (LIMA, 2007), no local havia uma fazenda denominada Fazenda do Urso e um Jockey Clube (Figura 7), com áreas verdes e pastagem de animais, daí advém o nome do bairro. O loteamento tinha uma área de 45,60 hectares e era dividido em Jockey Club 1 e Jockey Club 2, Omar Ribeiro da Souza era o seu proprietário e os lotes mediam em média 300 m² (LIMA, 2007). A Figura 8 apresenta uma fotografia aérea, sem data, da região nordeste do município, com destaque na área do bairro Jockey Club, apresentando o arruamento do bairro no entorno do antigo hipódromo.



Figura 7. A e C: Fotos aéreas da raia do antigo hipódromo, sem data. B: Foto histórica da fachada de entrada do antigo hipódromo, sem data. Fonte: Pró-memória São Carlos (2021).



Figura 7. Imagem aérea da região nordeste do município de São Carlos, com destaque na área do bairro Jockey Club, sem data. Fonte: Pró-memória São Carlos (2021).

Inicialmente o bairro foi idealizado para ser um distrito industrial do município, por conta da sua proximidade com a Rodovia Washington Luís o que facilitaria a logística de escoamento da produção. Entretanto, concomitantemente a implantação da SICOM - Sociedade Intercontinental de Compressores, em 1973, na área do antigo hipódromo, também ocorreu a instalação da moradia de alguns trabalhadores ao redor da fábrica, tornando o bairro uma zona de uso misto (Figura 9). Segundo Breda (2020), a população do bairro Jockey Club se caracterizava por trabalhadores semiespecializados e não especializados, sendo considerado um loteamento popular precário sem condições de infraestrutura e saneamento básico.



Figura 8. Foto aérea da SICOM, São Carlos, SP, sem data. Fonte: IBGE (2021).

As ortofotos do IBC-GERCA de 1971 e do Terra Foto de 1978, mostram alguns aspectos do uso e ocupação históricos da área. No início da década de 70 podemos notar que não haviam construções além do hipódromo (Figura 10A). No fim da década de 70, após a instalação da indústria de compressores - SICOM, nota-se o surgimento de algumas habitações à margem esquerda do rio, bem próximo à rodovia (Figura 10B, em

destaque pelo círculo). A vegetação ciliar continuava presente, evidenciando que entre o primeiro e o segundo registro fotográfico a área não havia passado por desflorestamento.

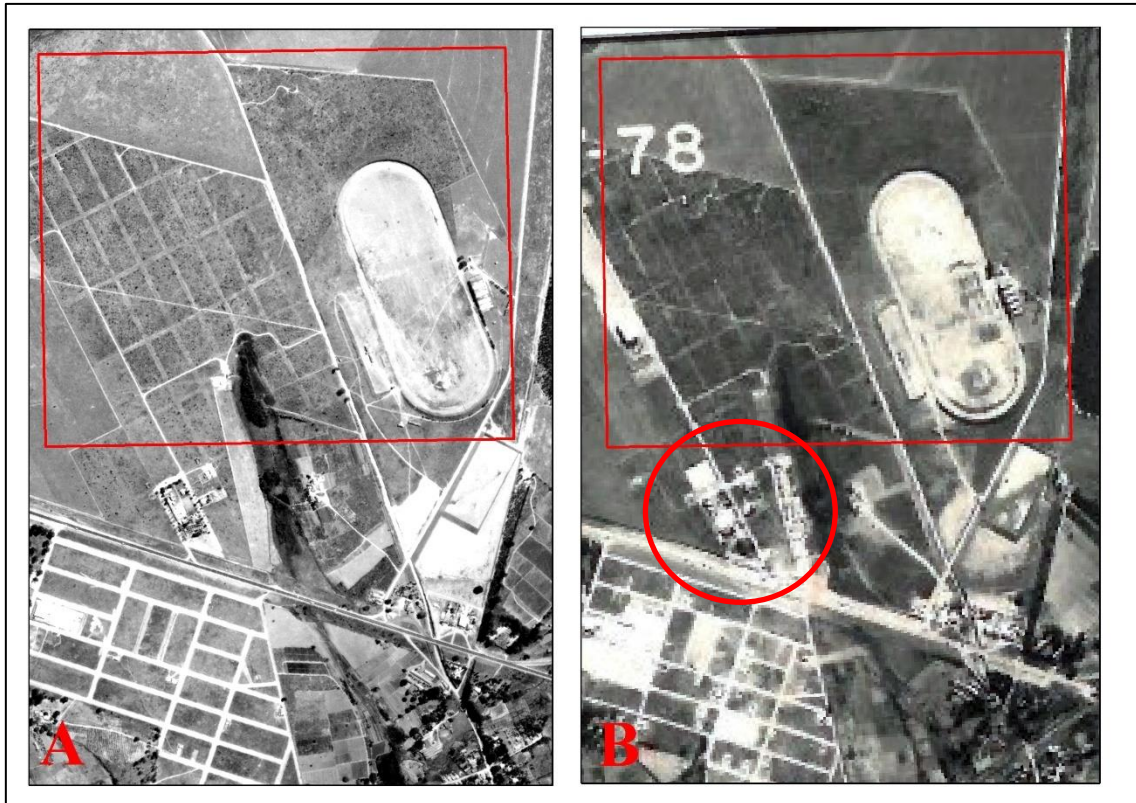


Figura 9. A: Fotografia aérea georreferenciada IBC-GERCA (1971), escala 1:25.000. B: Ortofoto do Terra Foto (1978), escala 1:35.000. Em destaque pelo retângulo vermelho área estudada.

O processo de implantação de loteamentos na década de 1950 era pautado na lei de habitação de 1948, que tornava mais flexível os parâmetros urbanos para novos parcelamentos, o que levou muitos empreendedores a atuarem sem a mínima responsabilidade visando lucros. Em muitos casos o loteador apenas abria as ruas e já começava a vender os lotes. O bairro Jockey Club é um exemplo desse fenômeno, foi o primeiro bairro a atravessar a rodovia Washington Luís em São Carlos, deixando a população residente isolada da cidade pela rodovia, sem infraestrutura básica e saneamento (LIMA, 2007).

Esse fato ligado ao aumento do adensamento urbano a partir da década de 1980, em função da chegada da SICOM gerou grandes conflitos entre a população e o governo local. Após pressão popular, o governo local começou aos poucos a fazer investimentos em obras de infraestrutura, tais como: redes de energia elétrica, redes de abastecimento

de água; redes de coleta e afastamento de esgoto; sistemas de drenagem de águas pluviais; guias e sarjetas; pavimentação do sistema viário.

A Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989) (Figura 11) ilustra a questão do adensamento urbano e da falta de infraestrutura enfrentada pelos moradores. Nela podemos notar o aparecimento de moradias dispersas em várias quadras pelo bairro e que apenas as ruas centrais (linhas rosas) contavam com pavimentação.

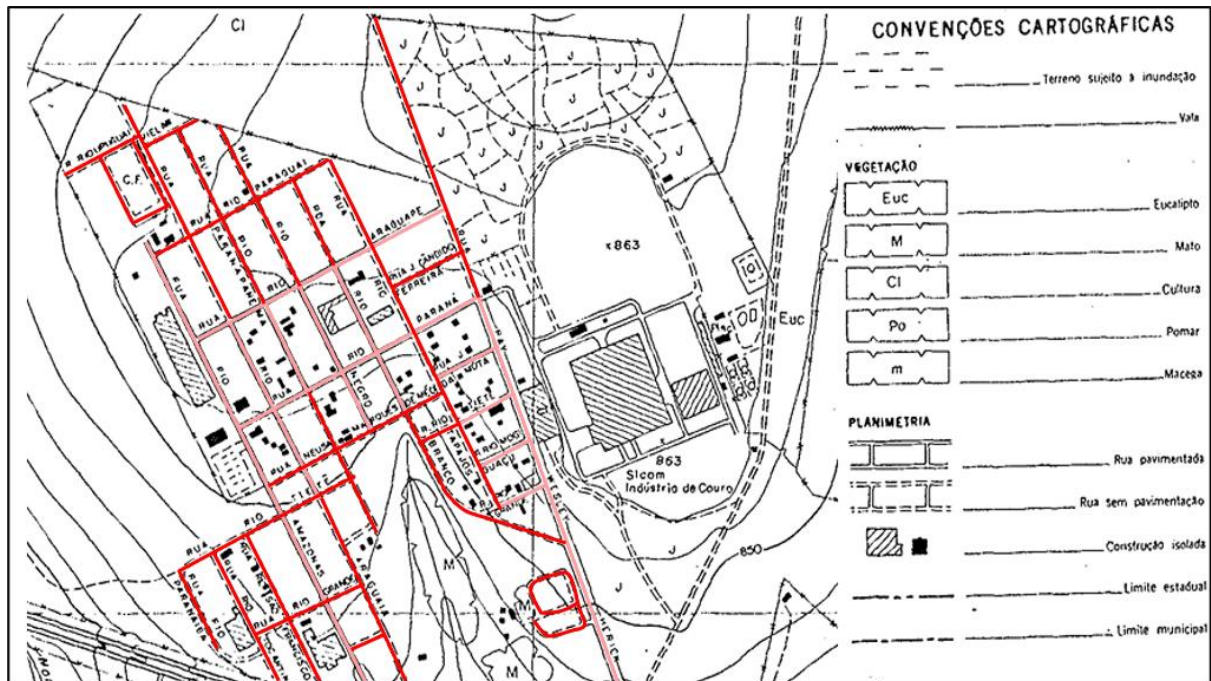


Figura 10. Recorte da Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989), as linhas vermelhas indicam ruas sem pavimento, linhas rosas indicam ruas pavimentadas.

Nas imagens de satélite obtidas do Google Earth Pro dos anos de 2003 e de 2011 (Figura 12) pode-se notar que as áreas edificadas aumentaram ocupando todas as quadras do bairro. No ano de 2003, observa-se um aumento da vegetação densa às margens do rio, em relação ao ano de 1978. Entretanto, em 2011 podemos notar a diminuição da mata ciliar, principalmente próxima à cabeceira do rio, o que pode acelerar os processos erosivos que ocorrem na área (CAPOIA, NEVES e MENEZES, 2020).

aterros, não sendo mais possível identificar onde eram as nascentes, e que transformações ocorreram.

5.2 Análise dos Modelos Digitais de Elevação

As altitudes máximas e mínimas dos DEMs de 1970, 1989 e 2011 apresentaram valores semelhantes respectivamente: mínimos Z_{\min} 836,919 m; Z_{\min} 839,019 m e Z_{\min} de 838,796 m; e máximos Z_{\max} 874,317 m; Z_{\max} 876,856 m e Z_{\max} de 875,11 m. As amplitudes foram de 37,39 m; 37,837 m e 36,314 m (Tabela 1). A amplitude é a diferença vertical máxima entre o ponto mais baixo e o mais alto de uma área.

Analisando esses dados notamos que a região apresenta baixa amplitude vertical e que ao longo dos anos estudados teve baixa variação das suas altitudes extremas (mínima e máxima).

Tabela 1. Resultados dos dados geomorfométricos derivados dos Modelos Digitais de Elevação para a área de estudo.

Características do relevo (m)	Base de dados		
	Folha 8A - Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970)	Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989).	AlosPalsar (15/01/2011; beam mode: FBS; Path: 62; Frame: 6730)
Altura máxima Z_{\min} (m)	836,919	839,019	838,796
Altura mínima Z_{\max} (m)	874,317	876,856	875,11
Amplitude H (m)	37,39	37,837	36,314

Considerando os resultados observados em relação ao relevo no presente trabalho, para o planejamento urbano e ambiental na área de estudo e em escala urbana, o DEM gerado a partir das curvas de nível e pontos cotados do levantamento aerofotogramétrico de 1970, na escala 1:2.000 é o mais apropriado. Na Figura 13 fica evidente o efeito da resolução espacial, ou seja, tamanho da grade na distribuição geográfica dos dados de elevação. Portanto, quanto mais fina a resolução espacial do modelo altimétrico (menor tamanho da grade), melhor será a representação da paisagem. Além disso, devemos considerar o erro de ajuste local gerado no DEM do ano de 2011, o que também afetou a distribuição fidedigna das características do relevo na área.

Logo, considerando os dados de elevação disponíveis para a área de estudo, o DEM gerado a partir do levantamento aerofotogramétrico implica em maior precisão e uma extração mais precisa e acurada dos componentes da superfície terrestre.

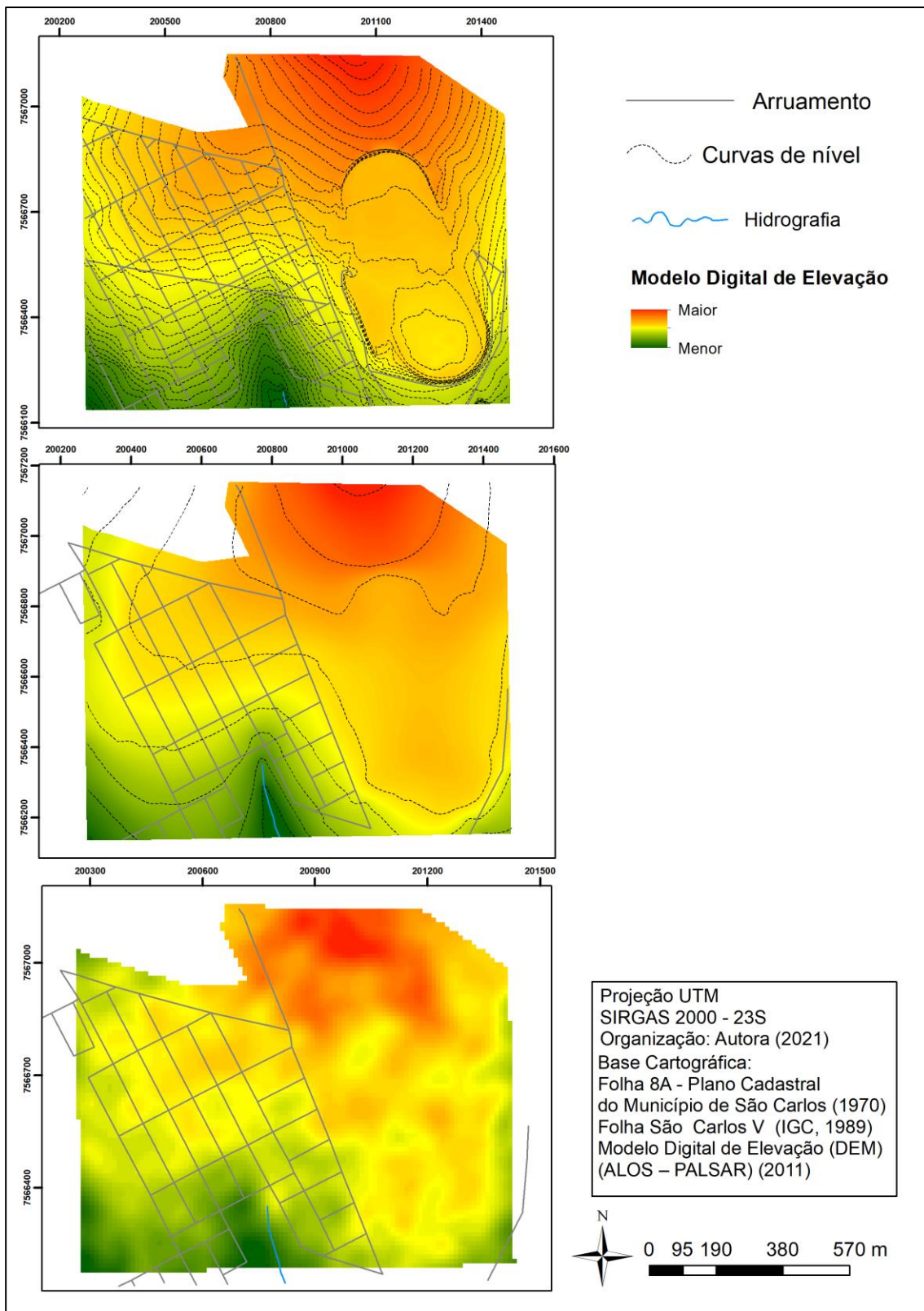


Figura 12. Evolução do relevo da área de estudo. A) DEM gerado a partir Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970); B) DEM gerado a partir da Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989); C) DEM gerado a partir da imagem ALOSPALSAR de 15/01/2011.

5.3 Análise de Superfície

A modelagem da mudança histórica da paisagem produzida nesta pesquisa identificou alterações na topografia da área de estudo entre os anos de 1970, 1989 e 2011, possibilitados pelos DEMs gerados a partir da Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970), da Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989) e imagem ALOS PALSAR.

A partir dos DEMs da diferença, aqui chamados de DODs, considerando a mudança de elevação modelada pela área de superfície total (de 100%), observamos que a faixa de alteração da espessura do relevo entre 1m e -1m, apresentou a maior proporção, entre 40% e 58% (Tabela 2). Algo relativamente próximo ao esperado para uma área que sofreu um processo de urbanização, pois essa variação se justifica por meio de cortes e aterros simples para a construção civil.

As faixas com maior variação de espessura, seja ela negativa (intervalo entre -5 e -11m) ou positiva (intervalo entre 6 e 12 m) ocorreram apenas nas análises que tiveram como dados de entrada o DEM obtido a partir da imagem de satélite ALOS PALSAR; como dito anteriormente, essa imagem apresentou erros na sua reprojeção, portanto esses dados destoantes, podem ser fruto dessas distorções, sendo assim podemos afirmar que mudanças de elevação ocorreram, mas não podemos afirmar com precisão quantitativa.

Tabela 2. Mudança de elevação dos DoDs para a área de estudo e a porcentagem de cada classe.

Mudança de elevação (m)	Área (m ²)		
	2011 e 1989	2011 e 1970	1989 e 1970
-11	0,01%	0,00%	0,00%
-10	0,05%	0,00%	0,00%
-9	0,10%	0,07%	0,00%
-8	0,21%	0,11%	0,00%
-7	1,30%	0,21%	0,00%
-6	3,83%	0,85%	0,00%
-5	5,04%	3,56%	0,00%
-4	8,70%	5,96%	0,04%
-3	12,60%	9,89%	1,15%
-2	16,31%	13,00%	4,49%
-1	17,88%	14,83%	7,65%
0	14,45%	16,39%	17,48%
1	9,37%	12,57%	33,12%
2	5,32%	9,80%	23,90%

3	1,79%	6,26%	7,22%
4	1,20%	3,41%	4,35%
5	0,73%	1,27%	0,61%
6	0,35%	0,71%	0,00%
7	0,17%	0,33%	0,00%
8	0,24%	0,23%	0,00%
9	0,15%	0,21%	0,00%
10	0,15%	0,15%	0,00%
11	0,04%	0,15%	0,00%
12	0,00%	0,03%	0,00%
Total	100,00%	100,00%	100,00%

Analisando o intervalo de 1970 a 1989, nota-se que a diferença entre as duas datas (quase duas décadas), apresentou uma diminuição topográfica significativa na região da cabeceira do córrego, em torno de um a dois metros a menos (Figura 14).

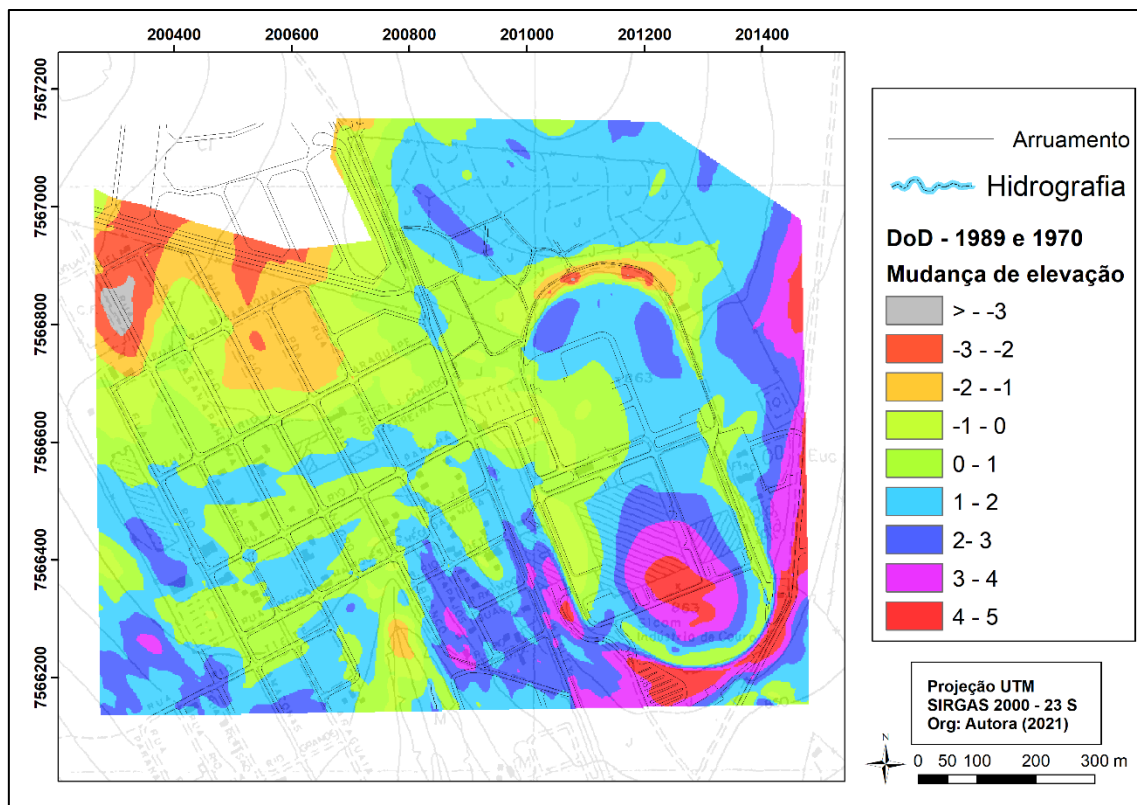


Figura 13. DoD (Dem of difference) 1970 para 1989.

Ainda em relação à questão da mudança da topografia, analisando a planta cadastral do município de São Carlos - Folha 8A, em escala 1:2.000 (Figura 6A), realizada em 1970 com levantamento da AEROMAPA BRASIL S.A e a carta topográfica, em escala 1:10.000 de 1980 do IGC (Figura 6B), pode-se observar que a nascente da área de estudo apresentou um recuo a montante, neste intervalo de tempo; dado que na região há registros orais de processos erosivos antigos e também registros mais recentes (CAPOIA, NEVES E MENEZES, 2020), acreditamos que esse recuo não tenha relação apenas com a diferença das escalas, mas reflita uma erosão remontante que atingiu a cabeceira do córrego.

Em 1970 a sua nascente encontrava-se na altura do cruzamento das ruas Rio Grande com Rio Branco, e em 1980 após o recuo de aproximadamente 130m, encontrava-se na altura do cruzamento das ruas Rio Tietê e Rio Branco, indicando a mudança de localização da nascente, mesmo com as escalas distintas entre as cartas comparadas (Figura 15). Não há registro histórico do motivo do recuo, mas com base no DoD produzido cremos que essa mudança se deu em função dos processos erosivos já que justamente nessa região há uma mudança negativa na altura do relevo.

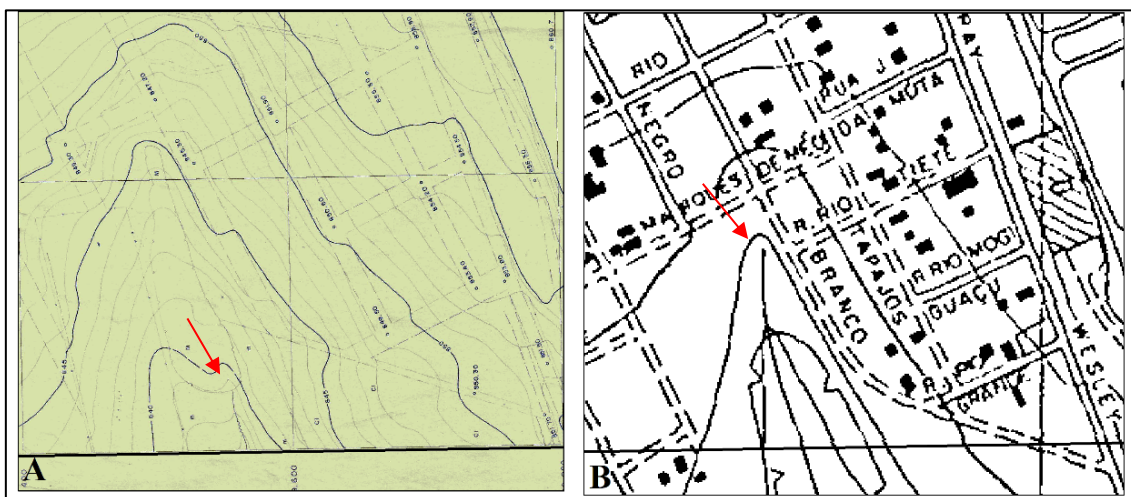


Figura 14. Localização da nascente do córrego da área de estudo em: A) Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970), B) Folha São Carlos V – SF-23-V-C-IV-3-SO-F (IGC, 1989).

A maior parte da alteração de relevo observada neste período ficou dentro do intervalo entre -1 e 2 m (82,14%), ou seja, praticamente não sofreram alterações significativas. Notamos que essas regiões se encontram justamente sobrepostas às quadras do bairro Jockey Club, o que indica cortes e aterros para a construção civil. As áreas adjacentes à Tecumseh apresentaram aumentos entre 3 e 5 m, principalmente na

região onde foi construído o arruamento que conecta o bairro à Rodovia Engenheiro Thales de Lorena Peixoto Júnior e onde se instalou a indústria no terreno do antigo Jockey Club.

O DoD gerado para esse intervalo (1989 a 1970) apresentou os dados mais consistentes e esperados para a região, a variação na elevação foi de -3 a 5 m. O que corrobora a importância de uma escala de maior detalhamento quando trabalhamos com escala urbana.

A diferença entre 1989 e o ano de 2011 (aproximadamente duas décadas) apresentou um resultado quantitativamente maior na alteração da espessura do relevo, o maior entre os intervalos. A diminuição de elevação modelada foi de -10 metros, e a área de maior aumento chegou a +11 metros (figura 16), indicando alguns cortes na área estudada na região próxima à rodovia. A região a montante da cabeceira do córrego apresentou aumento da espessura entre 6 e 9 m, o que é explicado pelo aterramento que ocorreu na área (TOYAMA, ARRUDA, OLIVATTO, MENEZES, 2019) e que, segundo informações orais, foi feito como forma de recuperação da erosão da cabeceira do córrego.

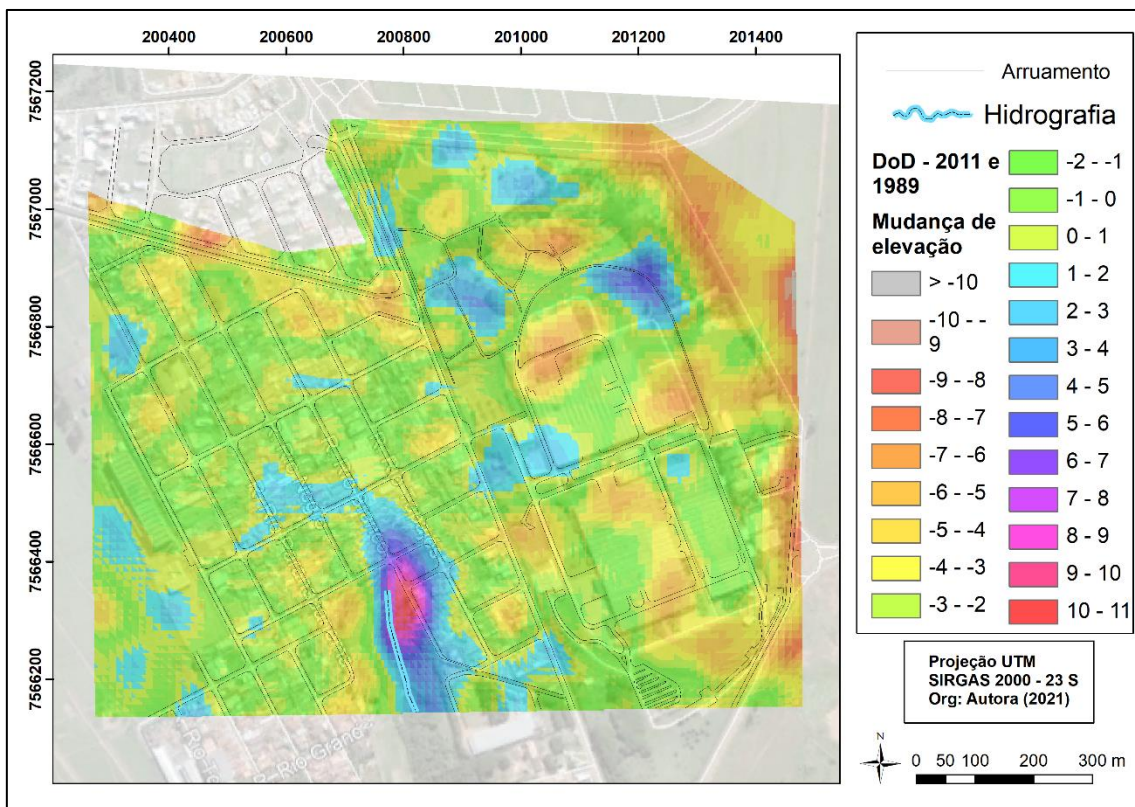


Figura 15. DoD (Dem of difference) de 1989 para 2011.

O intervalo entre 1970 e 2011 apresentou um padrão semelhante ao de 1989 e 2011, com um intervalo de variação topográfica do relevo entre -9 m e 12 m. A região passou por intenso processo de remoção de matéria nesse intervalo, sendo que 47% da área equivale ao intervalo entre as classes -1 e -4, isso deve-se ao fato desse período marcar o processo de urbanização do bairro, logo, essas mudanças tratam-se de cortes dentro da área das quadras.

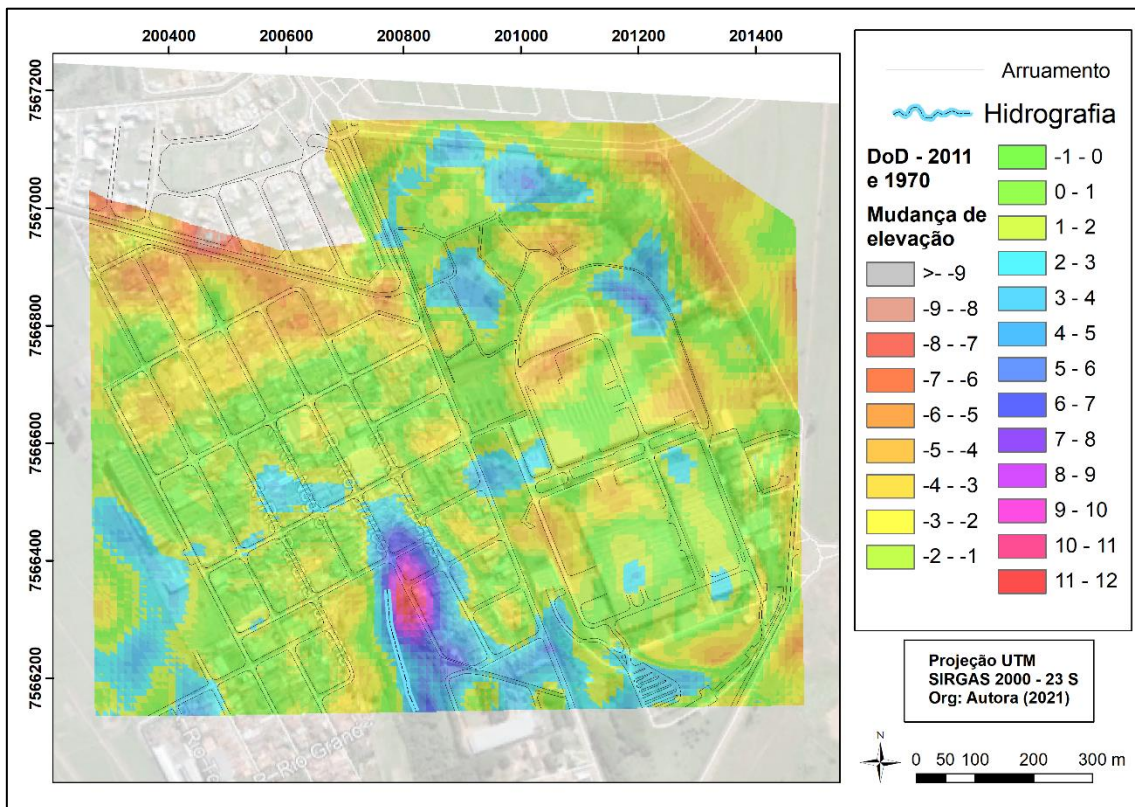


Figura 16. DoD (Dem of difference) 1970 para 2011.

Podem ser ressaltados alguns padrões que se evidenciaram nos resultados do modelo. As áreas de redução de espessura concentraram-se principalmente no interior das quadras do bairro, o que indica cortes simples da construção civil. A cabeceira do rio sofreu uma perda significativa de espessura entre a década de 1970 e 1989; entretanto nos anos seguintes apresentou um aumento, devido a aterros realizados pela prefeitura, como forma de minimizar os processos erosivos da área. Regiões com aumento significativo de elevação (4m ou mais) estão associadas a aterros para obras de engenharia, no caso do arruamento adjacente à Tecumseh e à implantação da indústria ou áreas onde houve aterros de materiais da construção civil, como o caso da região do entorno do córrego.

6. CONCLUSÕES

A metodologia adotada mostrou-se eficiente para a obtenção da alteração na variação altimétrica do relevo, mas com ressalvas para seu melhor desempenho. Trata-se uma metodologia de baixo custo, com resultados adequados, permitindo a observação de padrões ao longo do tempo.

Entretanto, considerando os resultados observados para o planejamento urbano e ambiental em escala regional faz-se necessário o uso de uma resolução espacial maior para elaboração do modelo altimétrico, pois esse representará com maior acurácia a paisagem. O uso de imagens aéreas obtidas a partir de drones seria o ideal para a escala de trabalho adotada no presente estudo devido à ausência de dados de alta resolução atuais.

A escolha do bairro Jockey Club, como área teste possibilitou a realização da análise da metodologia, pois dentro do período estudado o bairro passou por seu processo de urbanização. Em bairros já consolidados, como áreas centrais dos municípios, essa metodologia precisará de adaptações, já que os DEMs levam em consideração a altura das construções acima do solo.

O DEM gerado a partir das curvas de nível e pontos cotados da Planta Cadastral do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 1970), na escala 1:2.000, mostrou-se o mais apropriado. Os dados provenientes do satélite ALOS PALSAR, com escala de menor precisão e problemas durante sua reprojeção implicam em uma extração menos precisa e acurada dos componentes da superfície terrestre, mas ainda proporcionam um panorama geral da paisagem.

Portanto, conclui-se que as comparações entre os dados de elevação apresentados nos mapas e conjuntos de dados extraídos auxiliaram na compreensão dos processos atuantes na região estudada, trazendo percepções valiosas sobre a mudança da paisagem em relação às alterações antrópicas ocorridas.

Além disso, observamos que os documentos cartográficos históricos contêm informações importantes para o entendimento de questões atuais e o planejamento ambiental, justificando, portanto, os esforços para mantê-los, resgata-los e garantir a sua disponibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R. L. **Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos SP: Contribuição ao Planejamento**. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.
- ASADZADEH, S.; SOUZA FILHO, C. R. A review on spectral processing methods for geological remote sensing. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 47, p. 69-90, 2016. DOI: 10.1016/j.jag.2015.12.004
- BINI, M.; PAPPALARDO, M.; ROSSI, V.; NOTI, V.; AMOROSI, A.; SARTI, G. Deciphering the effects of human activity on urban areas through morphostratigraphic analysis: the case of Pisa, Northwest Italy. **Geoarchaeology** 2017 (online): 1-9, 2017. DOI: 10.1002/gea.21619.
- BISHOP, C. *et al.* Geological remote sensing. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 64, p. 267-274, 2018. DOI: 10.1016/j.jag.2017.08.005
- BREDA, T. V. Narrativas Urbanas: Acesso à moradia, organização familiar e a (re) produção do espaço urbano. **ILUMINURAS**, v. 21, n. 54, 2020. DOI: 10.22456/1984-1191.106777
- CAPOIA, E. F; NEVES, M; MENEZES, D. B.; Avaliação Das Modificações Antrópicas Em Uma Bacia Hidrográfica Localizada No Bairro Jockey Club – São Carlos (SP). In: 1º Simpósio Brasileiro Cidades + Resilientes. **Anais [...]** Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo. 2020, p. 492-506.
- CAVALCANTE, L. B.; INÁCIO, A. S.; GOMES, H. B.; INÁCIO JÚNIOR, C. A. Verificação do uso do software livre TerraViewHidro para a extração das características físicas da bacia hidrográfica do rio Ipanema. In: Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2013, p. 4708-4715.
- CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acessado em: 02.12.2020.
- CHEMEKOV, Y. F. Technogenic deposits. In: Inqua Congress, 11, 1983. **Anais [...]** Moscow. 1983, v. 3, p. 62.
- DUTENKEFER, E. Metodologia para um saber e um fazer geo-histórico: análise de espacialidades pretéritas utilizando instrumentos computacionais. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, Brasil, n. 65, p. 57-71, dez. 2016. DOI: 10.11606/issn.2316-901X.v0i65p57-71
- FACCINI, F. *et al.* Urban geomorphology of Genoa old city (Italy). **Journal of Maps**, p. 1-14, 2020. DOI: 10.1080/17445647.2020.1777214
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, 2018.

- FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos, 2016.
- Ford, Jonathan R.; Mathers, Stephen J.; Royse, Katherine R.; Aldiss, Donald T.; Morgan, David J.R. Geological 3D modelling: scientific discovery and enhanced understanding of the subsurface, with examples from the UK. **Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften**, v. 161, n. 2, p. 205-218, 2010. DOI: 10.1127/1860-1804/2010/0161-0205
- FRANCISCO, C. N.; XAVIER-DA-SILVA, J. O uso de scanners na digitalização de mapas destinados a sistemas de informações geográficas. In: Congresso de Brasileiro de Cartografia, 1993, Rio de Janeiro. **Anais [...] Sociedade Brasileira de Cartografia**, v.3, 1993, p. 807-815.
- FUSHITA, A. T. *et al.* Landscape Structural Indicators as a Tool to Assess Land Use Changes in Planning for Sub-Basin Sustainability (Southeastern Brazil). **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 04, p. 482, 2016. DOI: 10.4236/jwarp.2016.84041
- GOETZ, A. F. H. Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. S5-S16, 2009. DOI: 10.1016/j.rse.2007.12.014
- GONÇALVES, A. R. L. **Geologia Ambiental de São Carlos**. Tese. Universidade de São Paulo: IG/USP, 1986.
- GROSTEIN, M. D. MetrÓpole e expansão urbana: a persistência de processos" insustentáveis". **São Paulo em perspectiva**, v. 15, n. 1, p. 13-19, 2001. DOI: 10.1590/S0102-88392001000100003
- HIL, G.; LAWRENCE, S.; SMITH, D. Remade ground: Modelling historical elevation change across Melbourne's Hoddle Grid. **Australian Archaeology**, p. 1-15, 2020. DOI: 10.1080/03122417.2020.1840079
- IBC. Instituto Brasileiro do Café. Grupo Executivo de Racionalização da Cafeicultura - GERCA. **Mosaico de fotoíndices do voo executado entre 1971-72 (Estado de São Paulo)**: 1 fotografia aérea, São Carlos, 1971. Escala 1:25.000. Disponível em: <https://metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d63513c7-5061-4223-b720-3baa12aafdb1>. Acesso em: 02, dez., 2020.
- IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Cidade e Estados**. São Carlos. Densidade demográfica. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-carlos.html>. Acesso em: 02, dez., 2020.
- IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Divisão territorial brasileiro e limites territoriais**: IBGE cidades – São Carlos. 2016. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. Acesso em: 02, dez., 2020.
- IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Acervo dos municípios Brasileiros**. Vista aérea da cidade: Sociedade Intercontinental de Compressores Herméticos S.A.: São Carlos, SP. Sem Data. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=443435&view=detalhes>. Acesso em: 02, dez., 2020.

- JOHNSON, K. M.; OUIMET, W. B. An observational and theoretical framework for interpreting the landscape palimpsest through airborne LiDAR. **Applied Geography**, v. 91, p. 32-44, 2018. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.12.018
- LIMA, R. P. **O processo e o (des)controle da expansão urbana de São Carlos (1857-1977)**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- LUBERTI, Gian Marco. Computation of modern anthropogenic-deposit thicknesses in urban areas: A case study in Rome, Italy. **The Anthropocene Review**, v.5, n.1, p. 2-27, 2018. DOI: 10.1177/2053019618757252
- MARTIN, D. M. *et al.* An Objective Method to Prioritize Socio-Environmental Water Management Tradeoffs Using Multi-Criteria Decision Analysis. **River Research and Applications**, v. 33, n. 4, p. 586-596, 2017. DOI: 10.1002/rra.3103
- OLIVEIRA, A. M. S. Depósitos tecnogênicos associados à erosão atual. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6, Salvador, **Anais [...]** ABGE: ABMS, 1990, v.1, p.411-415
- PELOGGIA, A. U. G. Sobre a classificação, enquadramento estratigráfico e cartografia dos depósitos tecnogênicos. In: PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO /SEHAB /HABI, **Estudos de Geotécnica e Geologia Urbana (I)**, São Paulo, Manual Técnico 3 (GTGEOTEC), 1999, p.35-50.
- PELOGGIA, A. U. G. O que produzimos sob nossos pés? Uma revisão comparativa dos conceitos fundamentais referentes a solos e terrenos antropogênicos. **Revista UNG – Geociências**, v.16, n.1, p.102-127, 2017.
- PELOGGIA, A. U. G. *et al.* Processos de formação de terrenos e relevos tecnogênicos correlativos à urbanização: análise morfoestratigráfica e geoambiental aplicada na bacia do córrego Água Branca, Itaquaquecetuba (RMSP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i2.1286
- PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos – SP, com auxílio de geoprocessamento**. 2006. 201f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.
- PRICE S.J.; FORD J.R.; COOPER A.H.; NEAL C. Human as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain. **Phil. Trans. R. Soc. A**. n.369, p.1056-1086, 2011. DOI: 10.1098/rsta.2010.0296
- QIN, Rongjun; TIAN, Jiaojiao; REINARTZ, Peter. 3D change detection—approaches and applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 122, p. 41-56, 2016. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.09.013

- ROLNIK, R. Democracia no fio da navalha: limites e possibilidades para a implementação de uma agenda de reforma urbana no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 11, n. 2, p. 31-31, 2009. DOI: 10.22296/2317-1529.2009v11n2p31
- ROSEMBAUM M. S.; McMILLAN A. A.; POWELL J.H.; COOPER A.H.; CULSHAW M.G.; NORTHMORE K.J. Classification of artificial (man-made) ground. **Engineering Geology** v.69, n. 3-4, 2003, p.399-409. DOI: 10.1016/S0013-7952(02)00282-X
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. Oficina de textos, 2004.
- SÃO CARLOS. Prefeitura Municipal de São Carlos. **Folha 8A da Planta Cadastral do Município de São Carlos**, escala 1:2.000. Mapa, Escritório de Planejamento Municipal, 1970.
- SÃO CARLOS. **LEI Nº 13.691 de 25 de novembro de 2005**. Institui o Plano Diretor do Município de São Carlos e dá outras providências. São Carlos, 2005. 69p+Anexos.
- SÃO CARLOS. Prefeitura Municipal de São Carlos. **Plano Diretor Municipal**. 2016. Disponível em: www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/habitacao-morar/166049-plano-diretoestrategico.html. Acesso em: 02, dez., 2020.
- SÃO PAULO. Instituto Geográfico e Cartográfico. **Folha São Carlos V (SF-23-V-C-IV-3-SO-F)**, escala 1:10.000. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, 1989.
- SCHENK, L. B. M.; FANTIN, M.; PERES, R. B. A revisão do plano diretor da cidade de São Carlos e as novas formas urbanas em curso. In: X Colóquio Quapá-SEL: produção e apropriação dos espaços livres e da forma urbana, Brasília, 2015. **Anais [...]** FAU-USP, São Paulo, 2015, p1-19.
- SOFIA, Giulia; MARINELLO, Francesco; TAROLLI, Paolo. Metrics for quantifying anthropogenic impacts on geomorphology: road networks. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 41, n. 2, p. 240-255, 2016. DOI: **10.1002/esp.3842**
- STRAHLER, A. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: Chow, V., Ed., **Handbook of Applied Hydrology**, McGraw Hill, New York, 1964, p439-476.
- TAROLLI, P. *et al.* From features to fingerprints: A general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 43, n. 1, p. 95-128, 2019. DOI: 10.1177/0309133318825284
- TERRAFOTO. **Recobrimento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo: 1** fotografia aérea, São Carlos, 1978. Escala 1:35.000. Disponível em: <https://metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d63513c7-5061-4223-b720-3baa12aafdb1>. Acesso em: 02, dez., 2020.
- TOYAMA, D.; ARRUDA, N. S.; OLIVATTO, T. F. ; MENEZES, D. B. Identificação de depósitos tecnogênicos na microbacia do bairro Jockey Club, São Carlos -SP. In: 16º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2019. **Anais [...]** Poços de Caldas - MG, 2019, v. 11. p. 218-1-5.

- TUNDISI, J. G. *et al.* A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 159-172, 2008. DOI: 10.1590/S0103-40142008000200010
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300-309, 2012. DOI: 10.1016/j.apgeog.2011.05.004
- VOLUNGEVIČIUS, J.; SKORUPSKAS, R.. Classification of anthropogenic soil transformation. **Geologija**, v. 53, n. 4, 2011.
- WATERS, C.N. Artificial ground. In: BOBROWSKY, P.T; MARKER, B. (eds.) **Encyclopaedia of Engineering Geology**. Cham: Springer International Publishing, 2018, p.1-15.
- ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 7, n. 2, 2017. DOI: 10.34019/2236-837X.2017.v7.18073
- ZUQUETTE, Lazaro Valentin; PALMA, Janaina Barrios; PEJON, Osni Jose. Methodology to assess groundwater pollution conditions (current and pre-disposition) in the São Carlos and Ribeirão Preto regions, Brazil. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 68, n. 1, p. 117-136, 2009. DOI: oi.org/10.1007/s10064-008-0173-y