

Sistema de Informação Geográfica como ferramenta de análises espaciais visando a implantação da economia circular na Plasticultura

Palavras-Chave: Geoprocessamento, Plasticultura, Aproveitamento de Resíduos

Autores(as):

Yuri Seregati, IG - UNICAMP

Ana Cláudia Dombroski Neme, FEAGRI - UNICAMP

Prof. Dr. Rubens Augusto Camargo Lamparelli (orientador), CEP-NIPE - UNICAMP

Dr. Marlon Fernandes de Souza (coorientador), FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A utilização do plástico na agricultura é adotada de formas variadas, podendo oferecer diversas vantagens, possibilitando ganhos de produtividade e eficiência. Seu uso inclui estufas, filmes de mulching, sistemas de irrigação, telas de proteção, túneis de cultivo, entre outros. O emprego destes materiais possibilita ganhos de produtividade por controlar a demanda hídrica das plantas, criar um ambiente onde há menos exposição a pragas e eventos climáticos extremos e possibilitar o cultivo em períodos mais extensos (FAO, 2021). De acordo com Blanco et. al (2018) e Briassoulis et. al. (2013), apenas uma parcela do resíduo de plástico agrícola é reciclado, por vezes sendo enterrado, queimado, levado para aterros sanitários ou mesmo abandonado no campo. O manejo incorreto destes rejeitos pode causar problemas ambientais, econômicos e de saúde pública, como a poluição do solo e da água, degradação de sistemas agroecológicos, dispersão de substâncias prejudiciais à saúde e gases poluentes, além da contaminação dos alimentos cultivados.

Em vista destes fatores, é necessário que se pense uma aplicação destas tecnologias viável a longo prazo. Dentre as metas propostas através da Agenda 2030 de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas se destaca o Objetivo 12: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis, onde dispõe de sugestões dentre as quais “reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” (ONU, 2015), princípios alinhados aos “5R’s” - reduzir, reutilizar, reprocessar, recuperar e reciclar, que compõe a base da Economia Circular (Osman et. al., 2024).

O presente trabalho se propõe a desenvolver uma base de dados espaciais georreferenciados para identificar onde se encontra o plástico de uso agrícola, onde ele deverá ser processado e suas características, a fim de suplementar análises espaciais que visam a estruturação de uma cadeia de logística reversa do plástico de uso agrícola com a possibilidade de instalação de novas unidades de reciclagem, adotando a Região Metropolitana de Campinas (RMC) como estudo de caso.

METODOLOGIA:

Para a realização de pesquisas como esta, é necessário a utilização de uma base de dados geoespaciais robusta, além de um sistema computacional capaz de organizar, armazenar, analisar e exibir informações georreferenciadas (Paulino et. al., 2024). As ferramentas empregadas neste processo incluem o software QGIS versão 3.34.10 (QGIS Development Team, 2025) e o framework de banco de dados geoespaciais PostGIS versão 3.5.0 para PostgreSQL (PostGIS Development Group, 2025).

Coleta dos dados

A construção do banco de dados e as análises iniciais foram focadas nos 20 municípios que compõem a Região Metropolitana de Campinas, a fim de facilitar o processamento e validação dos dados em uma escala reduzida. Devido à capacidade de representar geometrias com fidelidade nesta região do globo, o Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) SIRGAS 2000 foi utilizado como parâmetro para a padronização das camadas obtidas.

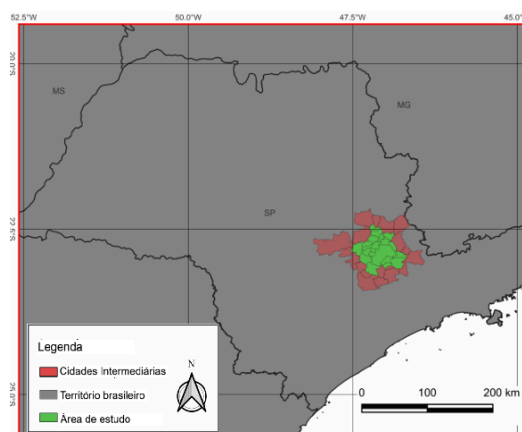


Figura 1 - Delimitação da área de estudo

A delimitação da área de estudo é representada com camadas provenientes da Malha Territorial do IBGE (IBGE, 2023), agregando à RMC as 19 cidades adjacentes para assegurar a integridade dos dados, como mostra a figura 1. Os demais dados foram levantados a partir de instituições públicas respectivamente responsáveis por cada tema (Agência Nacional de Águas, Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, IBGE e Sistema Nacional de Informações sobre a gestão dos Resíduos sólidos) além da base aberta de dados geoespaciais OpenStreetMap (OSM Contributors, 2017).

De acordo com Silva et. Al. (2014), uvas, morangos, vegetais folhosos, pimentões, tomates e pepinos, além de outras frutas e vegetais podem ter ganhos de produtividade em condições de cultivo protegido. Para identificar a possível origem do plástico de uso agrícola, foram filtrados os valores da Produção Agrícola Municipal disponíveis no Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2017) para as cidades selecionadas.

Pré-processamento dos dados

Os arquivos obtidos das fontes originais foram a princípio ordenados em sistema de pastas estruturadas e avaliados através de uma análise exploratória quanto à qualidade e aplicabilidade para

a análise almejada. Para este processo, foram confeccionadas tabelas de modelagem lógica, que contém metadados das camadas como fonte, projeção e codificação, e modelagem conceitual, que expõe tipos de variáveis e descrição dos atributos presentes em cada arquivo.

Utilizando a modelagem dos dados como base, as informações foram divididas em três conjuntos de acordo com as respectivas funções no processo de análise da cadeia de logística reversa do Resíduo Plástico Agrícola, sendo estes:

- **Dados de infraestrutura:** sistemas rodoviário e ferroviário e disponibilidade hídrica;
- **Dados de restrição:** aeroportos e aeródromos, unidades de conservação, terras indígenas, rios e corpos d'água e áreas urbanas;
- **Dados relacionados ao plástico:** estufas de plástico, cultivos com mulching, usinas de reciclagem existentes e culturas com uso intensivo de plástico.

Pipeline

Visando possibilitar uma escalabilidade de processos durante o tratamento dos dados para outras possíveis regiões de estudo, os dados brutos obtidos foram padronizados e transferidos para o banco de dados PostGIS, que permite a realização de operações espaciais entre tabelas pela intersecção dos dados de geometria espacial. Neste ambiente, comandos de recorte das camadas para a área de estudo foram compilados em um único documento de *Structured Query Language* (SQL) que permite a replicação das operações em outras áreas mudando apenas um dos parâmetros de entrada.

Ao fim desta etapa também foram definidos buffers em áreas de manancial, bordas de corpos d'água e Áreas de Proteção Permanente às margens de rios de acordo com o Artigo 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2012) e nas áreas que margeiam aeroportos e aeródromos onde existem restrições de construção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os dados obtidos através da execução da pipeline foram exportados e organizados de acordo com as categorias definidas durante o processo de modelagem (Figura 2). As camadas que compõem o grupo de áreas de restrição foram consolidadas em uma representação única. Juntas, elas tomam cerca de 49% de toda a área da região, majoritariamente pela densidade de áreas urbanas, que correspondem a 45% de todo o espaço restrito e 22% da área total, deixando aptos à instalação de novas usinas de reciclagem 1953km² (Tabela 1).

Tabela 1 - Sumário de uso da terra

	Área (km ²)	Proporção
Total da RMC	3.814,62	100%
Área restrita	1.861,14	48,79%
Área utilizável	1.953,48	51,21%

No presente contexto de utilização dos dados, foram selecionadas apenas feições do sistema rodoviário capazes de suportar veículos de grande porte, levando em consideração o uso de caminhões para o transporte de resíduos entre as fontes de plástico e as recicladoras. A disponibilidade hídrica é considerada parte da infraestrutura necessária pela utilização intensiva da água durante o processo de reciclagem do plástico, em etapas como a lavagem dos materiais

descartados para remoção de sujeiras e contaminantes e o resfriamento do maquinário empregado (Briassoulis et. al. 2012)

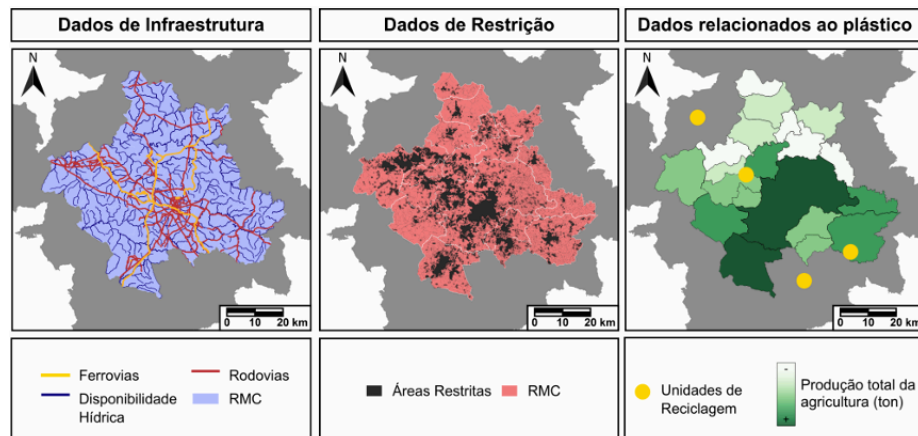


Figura 2 - Mapas da área de estudo por agrupamento de dados

A partir destas informações foram confeccionadas novas camadas que buscam compor parte de um modelo de Processo Analítico Hierárquico (AHP) a ser utilizado para determinar as melhores localizações para coleta do resíduo plástico de uso agrícola. Levando em consideração a proximidade das áreas de geração do plástico, os dados espacializados da produção agrícola municipal foram interpolados pelo método de Distância Inversa (*IDW - Inverse Distance Weighting*), realizando uma média da distância dos centróides dos municípios ponderada pelo valor da produção total das culturas selecionadas e dispondo os resultados de forma matricial (Figura 3). Posteriormente, visando o cálculo limitado por custo entre a origem do plástico e as potenciais indústrias compradoras do material com o uso da ferramenta *r.cost* nativa ao QGIS, a infraestrutura rodoviária foi convertida de dados vetoriais para raster, permitindo a comparação entre matrizes com o resultado da interpolação IDW.

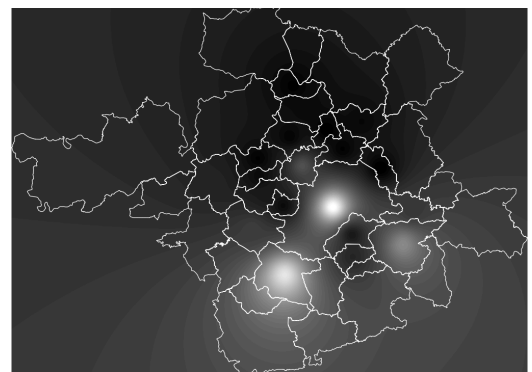


Figura 3 - Matriz interpolada por IDW

CONCLUSÕES:

A estruturação de uma base de dados geoespacial integrada, associada ao uso de ferramentas como QGIS e PostGIS, demonstrou-se eficaz para subsidiar análises espaciais voltadas à logística reversa do resíduo plástico agrícola. A aplicação do modelo na Região Metropolitana de Campinas possibilitou a identificação de áreas tecnicamente viáveis para instalação de unidades de reciclagem, considerando variáveis como disponibilidade hídrica, acesso viário e restrições legais. A metodologia desenvolvida apresenta escalabilidade e flexibilidade, permitindo replicação em outros contextos territoriais com ajustes mínimos. Os resultados obtidos reforçam a importância da integração entre geotecnologias e planejamento ambiental na formulação de soluções sustentáveis, contribuindo para a

consolidação da economia circular no setor agroindustrial. Com isso, o estudo avança no sentido de promover práticas sustentáveis no âmbito da plasticultura, visando a integração de tecnologia, planejamento territorial e responsabilidade ambiental.

BIBLIOGRAFIA

BLANCO, Ileana; LOISI, Rosa Viviana; SICA, Carmela; et al. Agricultural plastic waste mapping using GIS. A case study in Italy. **Resources, conservation, and recycling**, v. 137, p. 229–242, 2018.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.008>>.

Brasil, Decreto nº 12.651 (2012). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; Disponível em: <https://www.gov.br/mj/pt-br/aceso-a-informacao/atuacao-internacional/legislacao-traduzida/lei-no-12-651-de-25-de-maio-de-2012-senasp_eng-docx.pdf>. (acessado em Fevereiro de 2025).

BRIASSOULIS, Demetres; HISKAKIS, Miltiadis; BABOU, Epifania. Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste. **Waste Management (New York, N.Y.)**, v. 33, n. 6, p. 1516–1530, 2012.

BRIASSOULIS, Demetres; BABOU, Epifania; HISKAKIS, Miltiadis; et al. Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe. **Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA**, v. 31, n. 12, p. 1262–1278, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0734242X13507968>>.

FAO. **Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action**, 2021.

Disponível em: <<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d1b18314-562a-48bc-83d6-90610cdd6257/content>> (acessado em Janeiro de 2025).

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**.

Brasília, DF: Nações Unidas no Brasil, 2015. Disponível em:

<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. (acessado em outubro de 2025).

OSM contributors, 2017. **OpenStreetMap**. Geofabrik Download Server. Disponível em:

<<https://download.geofabrik.de/south-america/brazil.html>> (acessado em Janeiro de 2025).

PAULINO, Erik Júnior; CHERRI, Adriana C.; SOLER, Edilaine M. Suitability model and optimal location of biodigesters in the state of São Paulo. **Energy reports**, v. 11, p. 4726–4740, 2024. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2024.04.038>>.

PostGIS Development Group. **PostGIS, spatial and geographic objects for postgresSQL**, 2025.

disponível em: <<https://postgis.net>>.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**, 2025. Open Source Geospatial Foundation Project. disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.

SILVA, Bruna Abrahão., DA SILVA, Amanda Rodrigues, & PAGIUCA, Larissa Gui. Cultivo protegido: Em busca de mais eficiência produtiva. **Hortifruti Brasil, Cepea, Esalq, USP**, p. 9–18, 2014.

Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat_capa.pdf> (acessado em Fevereiro de 2025).