Inovação Territorial e Inteligência de Dados para o Futuro Rural Sustentável

Territorial Innovation and Data Intelligence for a Sustainable Rural Future

Luiz Fernando Satolo[1], Catarina Barbosa Careta[2]
[1]INPE, [2]ESALQ/USP
satololuiz@gmail.com, caretta@usp.br

Grupo de Trabalho (GT): GT12. Impactos socioambientais das novas tecnologias no agronegócio

Resumo
Este trabalho apresenta uma proposta de estrutura metodológica voltada à análise de padrões de inovação tecnológica em territórios rurais com a aplicação de Ciências de Dados. O estrutura proposta contempla mapear redes territoriais de inovação, desenvolver indicadores multidimensionais e validá-los por meio de estudos de caso. Indica-se a utilização de dados secundários, técnicas de geoprocessamento, análise de redes sociais e algoritmos de clustering para compreender dinâmicas socioterritoriais ligadas à inovação rural. Espera-se produzir dashboards interativos, repositórios georreferenciados e publicações científicas que subsidiem políticas públicas e estratégias de desenvolvimento local.
Palavras-chave: Ciência de Dados; Inovação Rural; Desenvolvimento Territorial; Indicadores; Geoprocessamento.

Abstract
This paper presents a proposal for a methodological framework to analyze patterns of technological innovation in rural areas with the application of Data Science. The proposed framework includes mapping territorial innovation networks, developing multidimensional indicators, and validating them through case studies. The use of secondary data, geoprocessing techniques, social network analysis, and clustering algorithms is recommended to understand socio-territorial dynamics linked to rural innovation. The aim is to produce interactive dashboards, georeferenced repositories, and scientific publications that support public policies and local development strategies.
Key words*: Data Science; Rural Innovation; Territorial Development; Indicators; Geoprocessing.*

1. Introdução

A agricultura contemporânea enfrenta desafios complexos que combinam pressões ambientais, sociais e econômicas. O avanço das mudanças climáticas, a concentração fundiária, a desigualdade territorial e a intensificação tecnológica colocam novas exigências para o desenvolvimento rural sustentável (BENOS et al., 2021; PLOEG, 2014). Nesse cenário, cresce a demanda por abordagens interdisciplinares que articulem Ciências Sociais e Ciências de Dados para entender e transformar os sistemas agropecuários.

A aplicação de técnicas de Ciências de Dados — como mineração de dados, aprendizado de máquina, análise espacial e de redes — permite explorar grandes volumes de informações e identificar padrões de inovação e transformação territorial antes invisíveis aos métodos tradicionais (BOTERO-VALENCIA et al., 2025). Tais abordagens podem subsidiar políticas públicas mais eficientes, estratégias locais de desenvolvimento e formas colaborativas de produção e comercialização.

Além disso, a noção de inovação territorial, ancorada em autores como Freeman (1997), Long (2001) e Van der Ploeg (2014), destaca que os processos inovadores não se limitam à tecnologia, mas envolvem práticas sociais, saberes locais, redes de cooperação e

arranjos institucionais específicos de cada território. Assim, compreender a inovação rural demanda considerar as interações entre atores, instituições e sistemas de conhecimento.

Este tabalho propõe integrar essas abordagens, utilizando ferramentas computacionais aliadas a referenciais teóricos das Ciências Sociais para analisar como se constituem ecossistemas de inovação nos territórios rurais brasileiros. A proposta se insere em uma agenda crítica de transformação digital com justiça social, com ênfase na geração de conhecimento aplicado, participativo e voltado à sustentabilidade.

A estrutura metodológica proposta justifica-se pela necessidade de compreender os fenômenos de inovação tecnológica nos territórios rurais a partir de múltiplas dimensões — sociais, espaciais, institucionais e técnicas. Ao articular referenciais teóricos consolidados das Ciências Sociais com ferramentas computacionais contemporâneas, a pesquisa busca garantir tanto a profundidade interpretativa quanto a robustez analítica dos resultados.

2. Revisão da literatura

A análise de padrões de inovação tecnológica em territórios rurais exige um olhar integrado que articule abordagens socioterritoriais e ferramentas de análise computacional. Autores clássicos e contemporâneos apontam que os processos de inovação são moldados pelas condições locais, pelas redes sociais e institucionais e pelas estratégias dos atores envolvidos.

No campo da sociologia rural, destaca-se a perspectiva de Norman Long (2001), que propõe a análise de interfaces e redes sociais para compreender como o conhecimento circula e é reconfigurado em diferentes contextos. Michael Woods (2011), por sua vez, introduz o conceito de ruralidades múltiplas e destaca as dinâmicas de reestruturação territorial como chave para interpretar os efeitos da globalização e da modernização agrícola.

Do ponto de vista da inovação, Chris Freeman (1997) fundamenta a abordagem dos sistemas de inovação, ressaltando a importância das instituições e das interações entre empresas, universidades, governos e sociedade civil. Essa abordagem tem sido adaptada ao contexto rural por autores que defendem a ideia de ecossistemas de inovação territorial (KLERKX; LEEUWIS, 2009).

Com a ampliação do acesso a dados e ferramentas digitais, surgem estudos que integram técnicas de Ciência de Dados à análise dos processos de inovação. Benos et al. (2021) e Botero-Valencia et al. (2025) mostram como algoritmos de aprendizado de máquina podem ser aplicados para previsão de safras, gestão de recursos e identificação de padrões de comportamento inovador em áreas agrícolas.

A literatura também evidencia a relevância de abordagens participativas e da inovação social para a sustentabilidade rural. Silva et al. (2024) argumentam que a inovação social é essencial para transformar os modelos convencionais de desenvolvimento e promover processos mais inclusivos e adaptados às realidades locais.

Esta pesquisa busca dialogar com esse corpo teórico e metodológico, combinando a análise crítica das Ciências Sociais com as possibilidades oferecidas pelas tecnologias emergentes na produção de conhecimento aplicado aos territórios rurais.

3. Metodologia

A abordagem metodológica deste trabalho baseia-se em uma revisão de literatura interdisciplinar que orienta tanto a escolha das técnicas analíticas quanto a interpretação dos resultados. Fundamentada nos referenciais das Ciências Sociais e nos avanços contemporâneos em Ciência de Dados, a metodologia articula contribuições teóricas de

autores como Long (2001), Van der Ploeg (2014) e Freeman (1997) com estudos recentes sobre aplicações de machine learning e geotecnologias na agricultura (Benos et al., 2021; Botero-Valencia et al., 2025). Essa fundamentação teórica permite estruturar as etapas de análise em consonância com os princípios da inovação territorial e da complexidade dos sistemas rurais, assegurando a coerência entre os dados analisados, os objetivos científicos e os contextos empíricos estudados.

4. Resultados

A proposta fundamenta-se em uma abordagem interdisciplinar, combinando referenciais das Ciências Sociais e das Ciências de Dados para investigar padrões de inovação tecnológica em territórios rurais. A estrutura metodológica é composta por sete eixos complementares que articulam técnicas qualitativas e quantitativas, com base em ampla revisão de literatura nacional e internacional.

A partir da revisão da literatura, a etapa seguinte consiste na coleta e organização de dados secundários oriundos de fontes institucionais (IBGE, Embrapa, CNPq, SICONV), bem como em dados capturados por web scraping de portais de redes agroecológicas e cooperativas. As variáveis selecionadas envolvem aspectos produtivos, institucionais, demográficos, geográficos e tecnológicos. Os dados devem ser organizados em banco relacional (PostgreSQL/PostGIS), com limpeza, normalização e integração para posterior análise.

Em seguida, técnicas de geoprocessamento e análise territorial são empregadas para representar espacialmente os dados. Utilizando ferramentas como QGIS, R (pacotes sf e tmap) e Python (geopandas, folium), são produzidos mapas temáticos, análises de densidade e clusters espaciais. São também avaliadas a conectividade territorial e o acesso a recursos e infraestrutura.

A análise de redes sociais (ARS) é aplicada para modelar as interações entre os atores territoriais, considerando variáveis como vínculos institucionais, participação em projetos e articulações em redes produtivas. São utilizados softwares como Gephi e pacotes em R (igraph, ggraph) para mensuração de centralidade, modularidade e visualização de redes georreferenciadas.

Na etapa seguinte, algoritmos de aprendizado não supervisionado — como K-means, DBSCAN e Hierarchical Clustering — são empregados para identificar agrupamentos de territórios com perfis semelhantes de inovação. A redução de dimensionalidade por PCA é utilizada como técnica preparatória. A análise é conduzida com auxílio da biblioteca Scikit-learn (Python), e os agrupamentos são avaliados por métricas de validação como o índice de silhueta.

Com base nas variáveis analisadas, são desenvolvidos indicadores multidimensionais que integram dimensões sociais, econômicas, ambientais e institucionais. A construção segue critérios estatísticos e multicritério, como AHP, com validação empírica e análise de consistência interna (ex.: alfa de Cronbach).

Por fim, são realizados estudos de caso em 2 a 4 territórios selecionados a partir de critérios de diversidade geográfica, densidade institucional e relevância empírica. As técnicas qualitativas incluem entrevistas semiestruturadas, observação participante e roteiros analíticos baseados nos referenciais da inovação socioterritorial. A triangulação dos achados qualitativos e quantitativos permite validar os modelos analíticos, enriquecer as interpretações e subsidiar recomendações aplicadas a diferentes contextos. A Figura 1 sintetiza a estrutura metodológica proposta.

Etapa Metodológica	Descrição	Ferramentas e Técnicas Aplicadas
1. Coleta e organização de dados	Compilação de dados secundários e web scraping	IBGE, Embrapa, CNPq, SICONV; Python (BeautifulSoup), PostgreSQL/PostGIS
2. Geoprocessamento e análise territorial	Construção de mapas temáticos e análise espacial	QGIS, R (sf, tmap), Python (geopandas, folium)
3. Análise de redes sociais (ARS)	Modelagem de interações entre atores institucionais e comunitários	Gephi, R (igraph, ggraph), métricas de centralidade e modularidade
4. Agrupamento e machine learning	Identificação de clusters territoriais e perfis de inovação	K-means, DBSCAN, PCA, Hierarchical Clustering, Scikit-learn
5. Indicadores multidimensionais	Desenvolvimento de índices compostos sobre inovação socioterritorial	AHP, análise estatística (z-score, min-max), alfa de Cronbach
6. Estudos de caso e validação qualitativa	Aplicação de entrevistas e observação participante em territórios selecionados	Roteiros analíticos, triangulação de métodos, análise comparativa

Figura 1 - Quadro resumo da estrutura metodológica proposta
Fonte: elaborado pelos autores.

5. Considerações finais

A estrutura metodológica proposta neste trabalho pretende contribuir para a consolidação de uma linha de pesquisa interdisciplinar voltada à análise de padrões de inovação tecnológica nos territórios rurais, combinando referenciais teóricos das Ciências Sociais com métodos e técnicas da Ciência de Dados. A expectativa é de que os resultados gerados e as ferramentas analíticas que deles serão derivadas forneçam subsídios concretos para a formulação de políticas públicas e estratégias de desenvolvimento territorial.

Referências

BENOS, L.; TAGARAKIS, A.C.; DOLIAS, G.; BERRUTO, R.; KATERIS, D.; BOCHTIS, D. Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review. Sensors 2021, 21, 3758.

BOTERO-VALENCIA, J.; GARCÍA-PINEDA, V.; VALENCIA-ARIAS, A.; VALENCIA, J.; REYES-VERA, E.; MEJIA-HERRERA, M.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, R. Machine Learning in Sustainable Agriculture: Systematic Review and Research Perspectives. Agriculture 2025, 15, 377.

SILVA, A. L. F. da; PLAZA-ÚBEDA, J. A.; SOUZA PIAO, R. Social innovation as a game changer in agriculture: A literature review. Sustainable Development, 2024, 32(4), 4160–4171.

FREEMAN, C.; SOETE, L. The economics of industrial innovation. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 1997.

KLERKX, L.; LEEUWIS, C. Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. Technological Forecasting and Social Change, v. 76, n. 6, p. 849–860, 2009.

LONG, N. Development sociology: actor perspectives. London: Routledge, 2001.

PLOEG, J. D. van der. Camponeses e a arte da agricultura: um manifesto chayanoviano. Porto Alegre/São Paulo, Ed. UFRGS/UNESP, 2016. 196p.

WOODS, M. Rural. London: Routledge, 2011.