

Ontologias no *Land Administration Domain Model (LADM)* para administração fundiária: uma revisão sistemática da literatura

Cleiton R. Monteiro¹, Mauricio B. Almeida²

Resumo. A maioria dos países, via de regra, têm interesse na gestão fundiária e gestão da terra. Uma questão nesse contexto é como construir, ou melhorar, sistemas de administração de terras que incorporem todos os direitos, restrições e responsabilidades, permitindo a gestão dos interesses fundiários. No Brasil, um país de dimensões continentais, não é diferente, uma vez que diversas instituições e estudos acadêmicos abordam o assunto. Ainda assim, inexiste no país um vocabulário bem estruturado e unificado para representar adequadamente a noção da gestão de terras em sistemas de informação. Uma alternativa para tal tarefa é o uso de ontologias. O presente artigo traz uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar estudos que propõem, aplicam ou avaliam ontologias fundamentadas no *Land Administration Domain Model (LADM – ISO 19152)*. Obteve-se a partir de um conjunto inicial de 223 artigos preliminares, um subconjunto de 12 artigos para compor o mapeamento. Observou-se um predomínio de abordagens práticas, voltadas à interoperabilidade e à integração de sistemas. Buscou-se compreender como ontologias no contexto da gestão fundiária têm sido desenvolvidas, em que contextos têm sido utilizadas e quais os benefícios de sua adoção. Essa compreensão objetiva apoiar o desenvolvimento de um artefato ontológico brasileiro e fundamentar pesquisas futuras.

Abstract. Most countries are interested in land management and land administration. One question in this context is how to build, or improve, land administration systems that incorporate rights, restrictions and responsibilities, allowing the management of land interests. In Brazil, a country of continental dimensions, it is no different, since several institutions and academic studies address the subject. Even so, there is no well-structured and unified vocabulary in the country to adequately represent the notion of land management in

¹ Doutorando em Gestão e Organização do Conhecimento pela Escola de Ciência da Informação (ECI) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é professor do Departamento de Informática do IF Sudeste MG, Campus Manhuaçu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-4765>. cleitonrm@eci.ufmg.br

² Doutor em Ciência da Informação, Professor titular da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4711-270X>. mba@eci.ufmg.br

information systems. An alternative for this task is the use of ontologies. This article presents a systematic literature review with the objective of identifying studies that propose, apply or evaluate ontologies based on the Land Administration Domain Model (LADM – ISO 19152). From an initial set of 223 preliminary articles, a subset of 12 articles was obtained to compose the review. It is observed predominance of practical approaches, focused on interoperability and systems integration. The aim of this study is to understand how ontologies in the context of land management have been developed, in which contexts they have been used and what the benefits of their adoption are. This understanding aims to support the development of a Brazilian ontological artifact and to provide a basis for future research.

1. Introdução

Os sistemas de administração de terras são instrumentos relevantes para melhorar a gestão da terra, desde que constituídos por um sistema cadastral. Tal sistema cadastral é o elemento central que fornece um inventário completo do território, incluindo a tríade Direitos, Restrições e Responsabilidades (RRR) que incide sobre a terra. Dessa forma, é possível gerenciar a ocupação do território, atendendo às necessidades de governos, agências, empresas e a comunidade em geral (Silva, 2022).

É de interesse de muitos países gerir a terra e os processos que envolvem tal gestão. Uma questão é como construir, ou melhorar, sistemas de administração de terras que incorporem todos os direitos, restrições e responsabilidades, permitindo o alcance da gestão dos interesses fundiários. No Brasil, existem pesquisas abordando os RRR que incidem sobre o território brasileiro, com base nas diretrizes internacionais. Essas pesquisas buscam desenvolver o sistema de administração territorial brasileiro no que se refere ao gerenciamento dos RRR, para atingir a governança fundiária e o desenvolvimento sustentável (Silva, 2022).

Ainda assim, o Brasil convive com problemas para desenvolver um sistema adequado para gestão dos RRR, problemas estes provenientes da falta de um vocabulário comum capaz de expressar os mais diversos aspectos políticos, legais, sociais, econômicos, tecnológicos e de infraestrutura que envolvem as instituições responsáveis por produzir e disseminar a informação cadastral.

Nesse contexto, o uso de ontologias tem sido identificado para resolver questões de ambiguidade, incerteza e falta de precisão de vocabulários temáticos sobre informação cadastral (Sladić *et al.*, 2013; Shi e Roman, 2018). Ontologias também são úteis para criar um modelo computacional bem fundamentado e unificado para representar um domínio do conhecimento (Almeida, 2020). Um modelo assim, versando sobre o domínio da informação cadastral, inexiste hoje no Brasil. Seu desenvolvimento pode auxiliar a todas as pessoas e instituições envolvidas na gestão de terra no país.

Como etapa para o planejamento e desenvolvimento de uma ontologia para esse fim, o presente artigo descreve um mapeamento sistemático da literatura internacional sobre ontologias e gestão de terras, a partir do modelo de referência *Land Administration Domain Model* (LADM – ISO 19152). Para tanto, o restante do texto se organiza da seguinte forma: introduzem-se brevemente os temas da fundamentação teórica (Seção 2), apresentam-se os procedimentos metodológicos (Seção 3), discutem-se os resultados obtidos nessa primeira iniciativa (Seção 4).

2. Fundamentação Teórica

A presente seção introduz, brevemente, os dois temas necessários para realização do mapeamento sistemático de literatura, a saber, ontologias (Seção 2.1) e gestão da terra (Seção 2.2).

2.1. Uma visão geral sobre ontologias

“Ontologia” é um termo técnico usado na Filosofia, em particular, na Metafísica. Apesar de Aristóteles ser o precursor no tema, o termo em si passou a ser usado apenas em obras da escolástica no século XVII. Nessa primeira concepção, o resultado é o que se denomina aqui ontologia como disciplina, uma disciplina filosófica que aborda o que existe e as relações entre o que existe. Além de sua abordagem filosófica, o termo “ontologia” também diz respeito ao uso de princípios metafísicos para o entendimento da realidade e aplicação à modelagem de sistemas de informação. Nesse sentido, estudar ontologia é estudar os tipos de entidades da realidade e as relações que mantêm entre si para fins de representação de domínios do conhecimento (Almeida, 2020).

Para Gruber (1993), uma “ontologia” pode ser definida como a especificação formal e explícita de uma conceituação, operando como um modelo sistemático que organiza os conceitos e as relações fundamentais de um domínio do conhecimento. Adicionalmente, Guizzardi (2005) afirma que as ontologias contribuem para a comunicação eficiente de um conhecimento específico, possibilitando o raciocínio e a compreensão estruturada dentro de um domínio e apoiando a construção de consensos terminológicos entre comunidades profissionais e acadêmicas.

O uso de ontologias em sistema de informação para modelagem conceitual é hoje bastante disseminado. Como a modelagem objetiva descrever a realidade ao representar entidades e processos de interesse para um sistema, os princípios da ontologia como disciplina podem ser usados para gerar um tipo de “metamodelo”. Comparam-se constructos da linguagem aos constructos ontológicos, os quais são metafisicamente fundamentados, de forma a corrigir possíveis deficiências da modelagem. Dessa forma, quando se pensa na modelagem orientada por ontologias, o fundamento ainda se mantém em uma visão metafísica do mundo (Almeida, 2020).

A segunda concepção mencionada – a ontologia como artefato – é, como o nome sugere, um artefato de software que compõem sistemas de informação, em particular,

sistemas da Inteligência Artificial (IA). Na Representação do Conhecimento, campo da IA, a palavra “ontologia” é usada desde os anos de 1960 para se referir a uma estrutura de termos formalmente organizada. No final dos anos de 1990, “ontologia” passou a compor o conjunto de tecnologias da Web Semântica com linguagens orientadas a web, como a Web Ontology Language (OWL) (Almeida, 2020). Os mais recentes avanços tecnológicos, como os grandes modelos de linguagem (LLMs), também têm ampliado significativamente as perspectivas de aplicação das ontologias (Garbacz, 2024).

Costuma-se atribuir a combinação dessas duas concepções – ontologia como disciplina e ontologia como artefato – a uma nova disciplina denominada pelo termo “Ontologia Aplicada” (Munn e Smith, 2008). Em resumo, uma ontologia é uma representação da realidade, formalmente (logicamente) fundamentada, que inclui entidades e suas inter-relações em um domínio de interesse específico. Essa representação da realidade é operacionalizada em um artefato de software e implementada de uma forma interpretável por máquina (Almeida, 2024).

2.2. Uma visão geral sobre a gestão de terras baseada no LADM

O território constitui a base espacial sobre a qual se organizam as sociedades, fornecendo não apenas recursos e oportunidades, mas também influenciando sua estrutura social, cultural e seu processo de desenvolvimento. Ele desempenha um papel central na formação da identidade coletiva, ao moldar as dinâmicas sociais, econômicas e políticas. Por esta razão, tem sido historicamente essencial para a humanidade e para o avanço das civilizações, atuando como palco de disputas, articulações e transformações ao longo do tempo (Amorim, Pelegrina e Julião, 2018).

Os autores também afirmam que atuar na gestão territorial exige a consideração e a articulação de múltiplas perspectivas e interesses, incluindo dimensões sociais, econômicas, ambientais e jurídicas. Esse processo envolve a mediação de conflitos, a regulamentação do uso do solo e a formulação de políticas voltadas ao desenvolvimento sustentável, buscando assegurar a equidade no acesso e na distribuição dos recursos territoriais. No mesmo sentido, Silva (2022) destaca que as transformações sociais influenciam diretamente a relação entre o homem e a terra, provocando alterações nos direitos fundiários e nos mecanismos de controle sobre os recursos naturais e artificiais. Na tentativa de mitigar os impactos da degradação ambiental e das desigualdades sociais, esses mecanismos são, em grande parte, regulamentados por leis, normas, decretos e sanções instituídos pelos Estados.

O *Land Administration Domain Model* (LADM) é um modelo de referência padronizado pela norma ISO 19152:2012 que fornece uma estrutura conceitual para gestão territorial (International Organization for Standardization [ISO], 2012). Seu escopo envolve os aspectos da administração fundiária vinculados aos direitos,

responsabilidades e restrições incidentes sobre a terra, bem como aos seus componentes geométricos e espaciais. O núcleo do modelo consiste em quatro pacotes principais:

- *LA_Party*: representa o proprietário ou a pessoa com determinados direitos sobre o imóvel;
- *LA_RRR*: representa os direitos, restrições e responsabilidades;
- *LA_BAUnit*: contém dados administrativos sobre unidades espaciais com os mesmos direitos, restrições e responsabilidades;
- *LA_SpatialUnit*: representa unidades territoriais, como parcelas ou edifícios.

A terminologia adotada pelo LADM possibilita uma descrição comum de diferentes práticas e procedimentos, sejam eles formais ou informais, e em diferentes jurisdições, além de oferecer suporte à criação de perfis nacionais e regionais e ainda viabilizar a integração coerente de informações sobre a gestão de terras provenientes de múltiplas fontes (ISO, 2012). Este modelo tem se consolidado como uma referência para a definição de conceitos fundamentais na administração fundiária, favorecendo a integração semântica e a interoperabilidade entre sistemas cadastrais e outras infraestruturas de dados espaciais (Sladić *et al.* (2013).

3. Procedimentos Metodológicos

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de natureza exploratória e abordagem mista, conduzida por meio de uma revisão sistemática da literatura. Segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é realizada a partir de materiais já publicados e tem como objetivo analisar e discutir as contribuições teóricas existentes sobre o tema investigado. De forma complementar, Prodanov e Freitas (2013) destacam que a pesquisa exploratória é indicada quando se busca maior familiaridade com um problema ainda pouco estudado, permitindo ao pesquisador aprofundar-se sobre o objeto de estudo. Nesse contexto, a abordagem mista se mostra apropriada, pois permite combinar análises qualitativas e quantitativas em um mesmo estudo, favorecendo uma compreensão mais abrangente (Creswell e Plano Clark, 2018).

As revisões sistemáticas aplicam uma abordagem metodológica rigorosa e explícita para identificar, avaliar e sintetizar estudos relevantes, organizando criticamente os principais achados disponíveis na literatura (Gough *et al.*, 2017). Dessa forma, buscando assegurar o rigor e a explicitação requeridos, optou-se neste estudo por seguir as sete etapas gerais para uma revisão de literatura descritas por Souza *et al.* (2022), a saber: (1) definição da questão de pesquisa, (2) seleção das bases de dados, (3) elaboração da estratégia de busca, (4) realização da busca, (5) seleção dos estudos, (6) gestão dos resultados e (7) avaliação dos estudos e redação. Para facilitar a condução dessas etapas, elas foram organizadas em três estágios, conforme sua finalidade: (A) planejamento, (B)

coleta de dados e (C) interpretação e representação dos dados. Diferentes instrumentos metodológicos foram implementados, como pode ser observado na Figura 1.

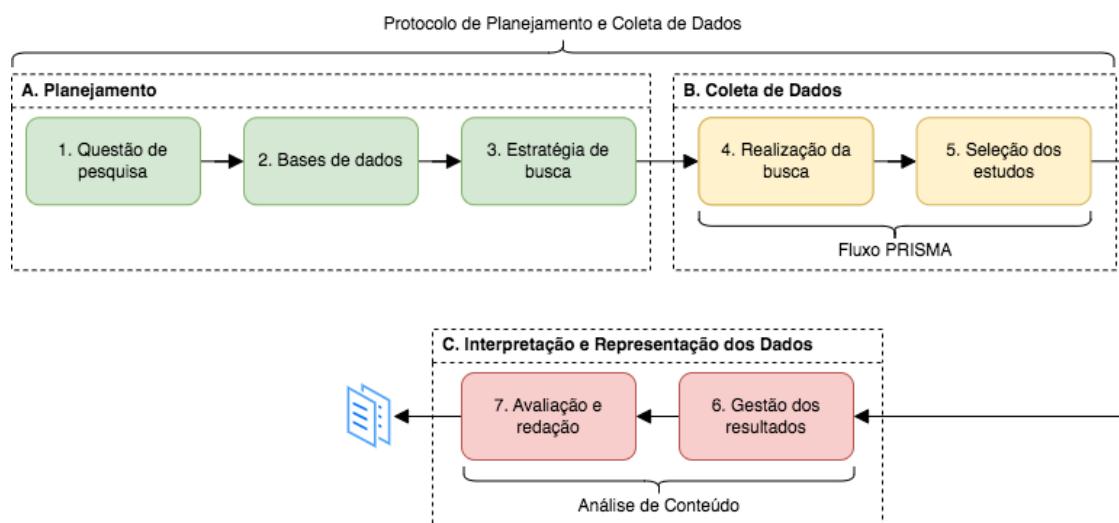


Figura 1. Fluxo geral implementado na revisão

Para as etapas de planejamento (1-3) e coleta de dados (4-5), foi elaborado um protocolo próprio (Quadro 1) baseado em Kitchenham (2007). Este protocolo foi aplicado por meio da ferramenta *Parsifal*. Para as etapas do estágio de interpretação e representação dos dados (6-7), aplicou-se a técnica de Análise de Conteúdo descrita por Bardin (2016), um processo de pré-análise, exploração do material e de tratamento e interpretação dos resultados, que busca relacionar os achados aos objetivos da pesquisa. Essa abordagem foi aplicada aos estudos selecionados com o intuito de identificar similaridades, conceitos-chave e formas de aplicação das ontologias relacionadas ao modelo LADM.

Esta revisão também foi orientada pelo PRISMA, que além de incluir uma lista de verificação com 27 itens, para maior confiabilidade metodológica, fornece um fluxograma que auxilia na quantificação dos estudos coletados (Page *et al.*, 2021).

Quadro 1. Protocolo de Planejamento e Coleta de Dados

Critério	Descrição
Objetivos	Identificar, analisar e sintetizar estudos da literatura que propõem, utilizam ou avaliam ontologias baseadas no <i>Land Administration Domain Model</i> (LADM – ISO 19152) no contexto do cadastro e da administração territorial. Busca-se ainda compreender as abordagens metodológicas adotadas, os domínios de aplicação, benefícios e desafios relacionados à adoção de ontologias fundamentadas no LADM, com o intuito de apoiar futuras pesquisas e o desenvolvimento de soluções neste domínio.
Questões de Pesquisa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quais abordagens e metodologias têm sido utilizadas para desenvolver ontologias baseadas no LADM no contexto da administração fundiária? 2. Como as ontologias baseadas no LADM têm sido aplicadas em sistemas de cadastro e gestão territorial? 3. Quais são os benefícios e desafios identificados na adoção de ontologias baseadas no LADM para o cadastro e a gestão territorial?
Bases de Dados	ACM <i>Digital Library</i> , MDPI, <i>ScienceDirect</i> , <i>Scopus</i> e <i>Web of Science</i> .
Termo de Busca	("Land Administration" OR "LADM" OR "ISO 19152") AND ("ontology" OR "ontologies" OR "ontological model" OR "ontological representation")
Idioma	Inglês
Período	Estudos publicados a partir de 2013 (2013-2025).
Tipo de Estudo	Somente artigos publicados em periódicos ou conferências.
Seleção Preliminar	<p>Critérios de Inclusão:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aborda o LADM (ISO 19152) 2. Faz uso de ontologia ou alguma abordagem ontológica <p>Critérios de Exclusão:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Não menciona diretamente o LADM nem aplica ou propõe alguma abordagem ontológica 2. Abordagem superficial
Avaliação da Qualidade	<p>Questões Metodológicas e de Aderência ao tema:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O problema e os objetivos do estudo estão claramente definidos? 2. Os procedimentos metodológicos são replicáveis? 3. As conclusões são suportadas pelos resultados apresentados? 4. O estudo possui aderência significativa ao tema da revisão? <p>Respostas possíveis e pontuação correspondente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sim – 1.0 ponto • Parcialmente – 0.5 ponto • Não – 0.0 ponto <p>Pontuação de corte (score): 3,0 pontos</p>

Conforme estabelecido no Protocolo de Planejamento e Coleta de Dados, após a elaboração dos objetivos e das questões de pesquisa foram definidas as fontes de dados. Para garantir a abrangência e a relevância da revisão, foram selecionadas cinco bases de dados científicas amplamente reconhecidas na literatura: ACM *Digital Library*, MDPI, *ScienceDirect*, *Scopus* e *Web of Science*. A escolha dessas bases considerou a necessidade de cobrir pesquisas em áreas complementares, como ciência da computação,

geotecnologias e administração territorial, campos diretamente relacionados ao tema deste estudo.

Como destacam Usman *et al.* (2017), bases especializadas como a ACM são fundamentais para garantir a recuperação de estudos técnicos em domínios computacionais. A editora MDPI, por sua vez, tem sido cada vez mais utilizada em revisões com foco em geotecnologias, governança territorial e infraestrutura de dados espaciais, especialmente por hospedar periódicos como o ISPRS *International Journal of Geo-Information* e *Land*, os quais têm demonstrado crescimento significativo em publicações relacionadas ao LADM e à modelagem ontológica no contexto fundiário (Silva *et al.*, 2021). A *ScienceDirect* é uma das principais fontes de artigos científicos revisados por pares em áreas aplicadas como engenharia, ciência da informação e estudos urbanos, tendo sido, por exemplo, recomendada por Kitchenham *et al.* (2009) como uma base essencial em revisões que envolvem tecnologia da informação e sistemas complexos. Por fim, as bases *Scopus* e *Web of Science* foram selecionadas por seu amplo escopo multidisciplinar e por serem amplamente reconhecidas como fontes confiáveis em revisões sistemáticas. Como afirmam Booth *et al.* (2016), essas bases oferecem cobertura robusta, critérios rigorosos de indexação e ferramentas para análise de dados bibliométricos. Dessa forma, a combinação das bases possibilitou uma busca mais ampla, técnica e metodologicamente sólida, assegurando que os estudos mais relevantes e qualificados sobre ontologias relacionadas ao LADM fossem devidamente identificados.

Para acesso às bases selecionadas, foi utilizado o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Portal CAPES), por meio de convênio institucional. Todo o processo de busca e seleção dos estudos, referente ao estágio de coleta de dados, ocorreu no período 24 de fevereiro a 26 de março de 2025. Os descritores de busca (ou termos de busca), conforme apresentados no Quadro 1, foram elaborados com o intuito de identificar o estado da arte sobre o objeto de estudo. Os mesmos descritores foram aplicados nas cinco bases selecionadas, sendo que apenas para a base MDPI foi preciso ajustar os operadores lógicos na expressão. Foram pesquisados artigos em inglês, publicados em periódicos ou conferências, entre 2013 e 2025, considerando o ano de publicação da norma ISO 19152:2012.

A seleção dos dados ocorreu em dois momentos: análise preliminar dos estudos retornados e avaliação da qualidade. Para análise preliminar foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos no protocolo. Para isto, foram analisados os resumos de todos os estudos inicialmente selecionados, já desconsiderando os critérios mencionados anteriormente (idioma, período e tipo de estudo) e os arquivos duplicados. Os estudos selecionados neste primeiro momento foram avaliados quanto à qualidade da estrutura metodológica e aderência significativa ao tema, por meio de quatro questões também descritas no protocolo de planejamento e coleta de dados. Para cada questão, as respostas “Sim”, “Parcialmente” e “Não” podiam ser indicadas, e para cada resposta, havia uma pontuação correspondente (1.0, 0.5 e 0.0, respectivamente). Além disso, uma pontuação de corte (3.0) também foi definida para que os estudos pudessem ser selecionados automaticamente a partir das respostas indicadas. Com esta pontuação,

foram elegíveis para o último estágio da revisão somente aqueles estudos com todas as respostas “Sim” ou no máximo uma resposta “Parcialmente”, assegurando a relevância desses estudos para a pesquisa. Para a quantificação dos resultados da coleta, desde a busca nas bases à seleção final dos estudos, foi usado o diagrama de fluxo PRISMA.

3.1. Indicadores Bibliométricos

Para complementar a análise qualitativa da revisão, foram extraídos e elaborados indicadores bibliométricos a partir dos estudos selecionados. Os dados foram organizados e tratados com o auxílio do Excel, do pacote *Bibliometrix* (via *Posit Cloud/RStudio*), e do *VOSviewer* (para visualização), permitindo gerar diferentes perspectivas sobre as produções.

Foram considerados: (a) distribuição dos estudos por base de dados, com o objetivo de identificar as fontes mais representativas, (b) distribuição dos estudos por ano de publicação, para visualizar a evolução do interesse pelo tema, (c) estudos mais citados, conforme dados registrados no *Google Scholar*, (d) rede de coautoria, construída no *Bibliometrix* e *VOSviewer*, com base nas relações de colaboração entre autores e (e) rede de coocorrência entre palavras-chave, também utilizando o *Bibliometrix* e *VOSviewer*, para identificar os principais termos temáticos e suas correlações no corpus analisado.

Para análise de coautoria e coocorrência, o *Bibliometrix* usa os indicadores de centralidade *Betweenness*, *Closeness* e *PageRank*. Esses indicadores permitem compreender o papel estrutural dos autores na rede, destacando sua posição como pontes entre grupos, proximidade em relação aos demais nós e influência geral na estrutura da colaboração científica (Newman, 2010). Para os autores com maior *PageRank*, foram coletados indicadores adicionais no *Google Scholar*, incluindo o número total de citações, índice h (medida de produtividade e impacto) e índice i10 (artigos com pelo menos 10 citações). O *Google Scholar* foi consultado no período de 30 e 31 de março de 2025.

3.2. Análise de Conteúdo

Para a análise de conteúdo dos estudos selecionados, adotou-se como orientação geral a técnica de Análise de Conteúdo descrita por Bardin (2016), aplicada de forma simplificada. A técnica foi utilizada principalmente para guiar a organização e estruturação das informações, a partir da definição de temáticas analíticas alinhadas às questões de pesquisa. Nesse sentido, os estudos foram examinados de maneira sistemática, com foco na identificação e interpretação de trechos relevantes. Foram definidas três categorias analíticas, cada uma correspondendo a uma das questões investigadas: (1) estratégias de modelagem ontológica baseadas no LADM, (2)

aplicações práticas das ontologias em sistemas de cadastro e gestão territorial e (3) benefícios e desafios associados à sua adoção. O Excel e a plataforma *Posit Cloud/RStudio* também foram usados para organização dos dados e geração de gráfico.

4. Resultados e Discussões

Conforme descrito na seção anterior, o processo de busca e seleção dos estudos foi conduzido com base em um Protocolo de Planejamento e Coleta de Dados (Quadro 1) criado durante a revisão. Foram recuperados inicialmente 223 artigos nas bases ACM, MDPI, *ScienceDirect*, *Scopus* e *Web of Science*. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão (idioma, tipo de publicação e período) e da eliminação de registros duplicados, esse número foi reduzido para 145 artigos. Em seguida, realizou-se uma triagem preliminar por meio da leitura dos resumos, com foco em estudos que abordassem o modelo LADM (ISO 19152) ou empregassem alguma abordagem ontológica, resultando na seleção de 60 artigos. Como um único documento não pôde ser recuperado, 59 estudos passaram por uma análise de qualidade baseada em questões que avaliaram a estrutura metodológica e a aderência ao tema, onde foram selecionados 12 artigos para compor a análise final da revisão. Os resultados consolidados desse processo estão representados no diagrama de fluxo PRISMA da Figura 2.

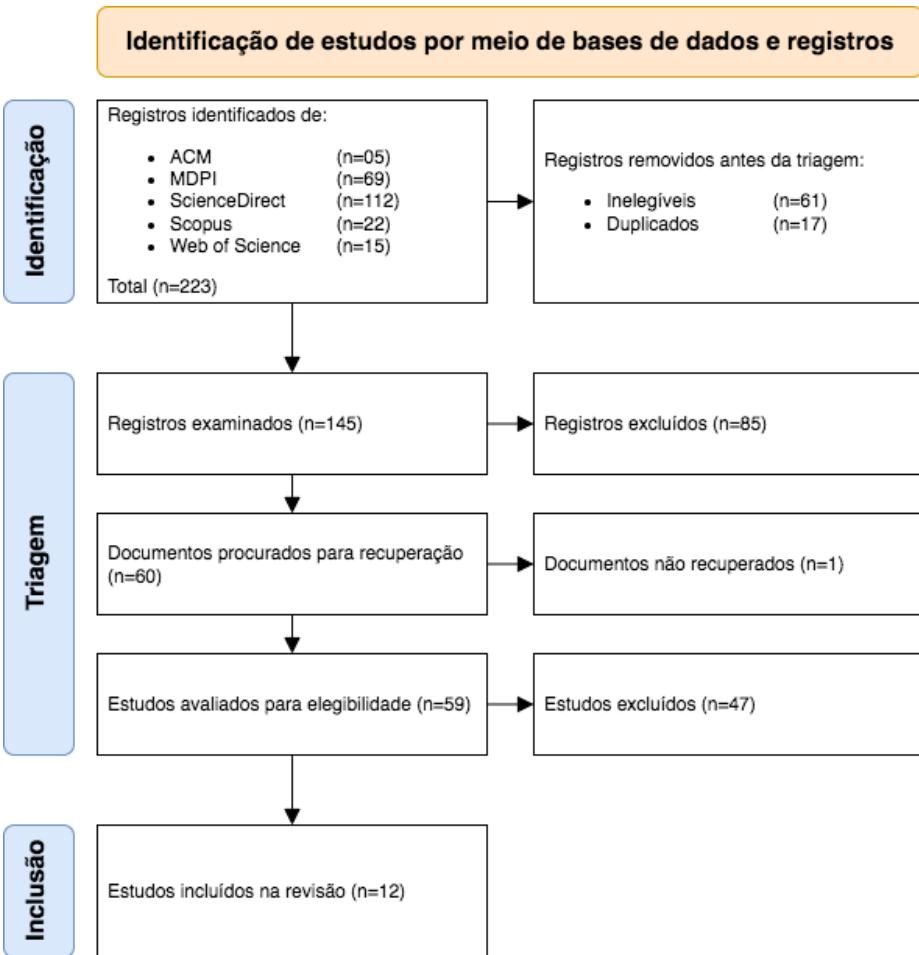


Figura 2. Diagrama de fluxo PRISMA da revisão

Na Tabela 1 estão relacionados os 12 estudos incluídos na revisão, contendo, para cada um deles, uma identificação (Id.), o título, a referência e a pontuação (*score*) obtida na avaliação da qualidade. Apenas dois dos artigos selecionados (A5 e A11) não alcançaram a pontuação máxima (4.0), o que indica um alto nível de qualidade e aderência temática dos estudos incluídos. A baixa quantidade de estudos considerados na análise final pode ser explicada por três fatores principais. Primeiramente, observa-se uma quantidade relativamente reduzida de publicações sobre o tema específico da revisão, mesmo nas principais bases de dados internacionais, o que sugere que a aplicação de ontologias no contexto do modelo LADM ainda constitui um campo de pesquisa emergente e altamente especializado. Em segundo lugar, a especificidade dos critérios de elegibilidade, que exigiram a presença explícita de abordagens ontológicas associadas ao modelo LADM (ISO 19152), restringiu naturalmente o escopo de seleção, garantindo

maior alinhamento com os objetivos da pesquisa. Por fim, a etapa de avaliação da qualidade contribuiu para refinar ainda mais o conjunto de estudos, priorizando aqueles que apresentaram clareza metodológica e relevância direta para a temática investigada. Assim, embora o número final de estudos incluídos seja reduzido, sua qualidade e pertinência asseguram a robustez da revisão.

Tabela 1. Relação dos estudos incluídos para análise

Id.	Título	Referência	Score
A1	<i>A graph-based representation of knowledge for managing land administration data from distributed agencies – A case study of Colombia</i>	Vilches-Blázquez e Saavedra (2022)	4.0
A2	<i>A SKOS vocabulary for Linked Land Administration: Cadastre and Land Administration Thesaurus</i>	Çağdaş e Stubkjær (2015)	4.0
A3	<i>Alignment of standards through semantic tools – The case of land administration</i>	Stubkjær e Çağdaş (2021)	4.0
A4	<i>Assessment of Name Based Algorithms for Land Administration Ontology Matching</i>	Zarembo (2015)	4.0
A5	<i>INTERLIS Language for Modelling Legal 3D Spaces and Physical 3D Objects by Including Formalized Implementable Constraints and Meaningful Code Lists</i>	Kalogianni <i>et al.</i> (2017)	3.5
A6	<i>Methodology for Similarity Assessment of Relational Data Models and Semantic Ontologies</i>	Zarembo <i>et al.</i> (2016)	4.0
A7	<i>Ontologies for the Real Property Domain</i>	Shi e Roman (2018)	4.0
A8	<i>Ontology for real estate cadastre</i>	Sladić <i>et al.</i> (2013)	4.0
A9	<i>Provenance ontology model for land administration spatial data supply chains</i>	Sadiq <i>et al.</i> (2015)	4.0
A10	<i>SmartSkeMa: Scalable Documentation for Community and Customary Land Tenure</i>	Chipofya <i>et al.</i> (2021)	4.0
A11	<i>The LADM Valuation Information Model and its application to the Turkey case</i>	Kara <i>et al.</i> (2021)	3.5
A12	<i>The Use of Ontologies in Cadastral Systems</i>	Sladić <i>et al.</i> (2015)	4.0

4.1. Indicadores Bibliométricos

A Figura 3 apresenta o número de estudos selecionados por base de dados durante as etapas de análise preliminar e avaliação da qualidade, com destaque para a base *Scopus*. Embora esta base tenha representado menos de 10% dos 145 estudos incluídos na triagem, ela forneceu 75% dos 12 artigos finais, evidenciando sua relevância e confiabilidade para revisões. Entretanto, cabe destacar que alguns dos artigos selecionados foram encontrados também em outras bases, mas foram desconsiderados com a eliminação de registros duplicados. Na Figura 4, os estudos incluídos estão distribuídos por ano de publicação.

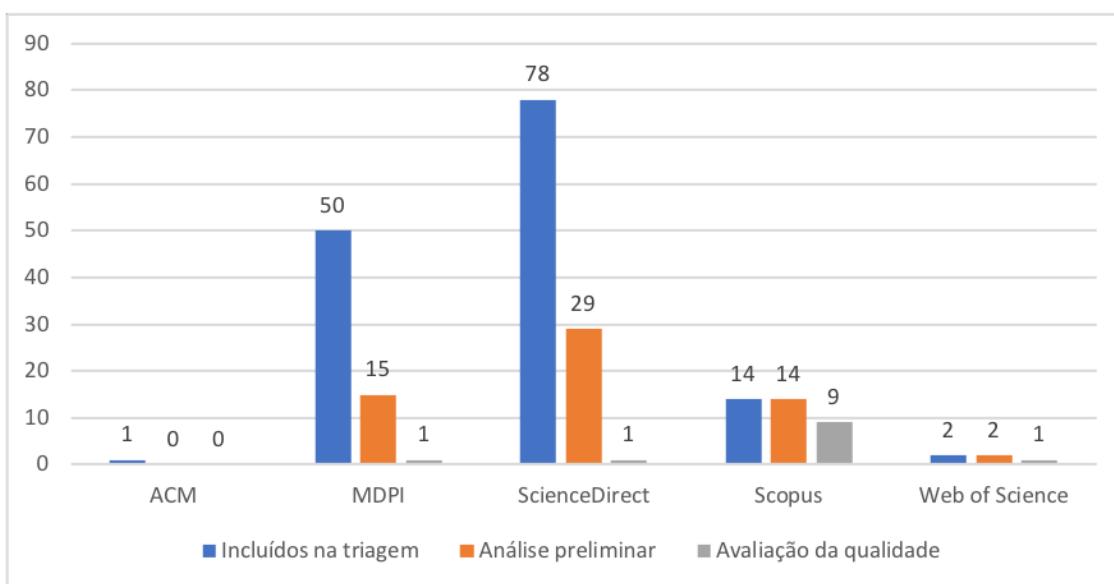


Figura 3. Gráfico da distribuição dos artigos selecionados por base de dados

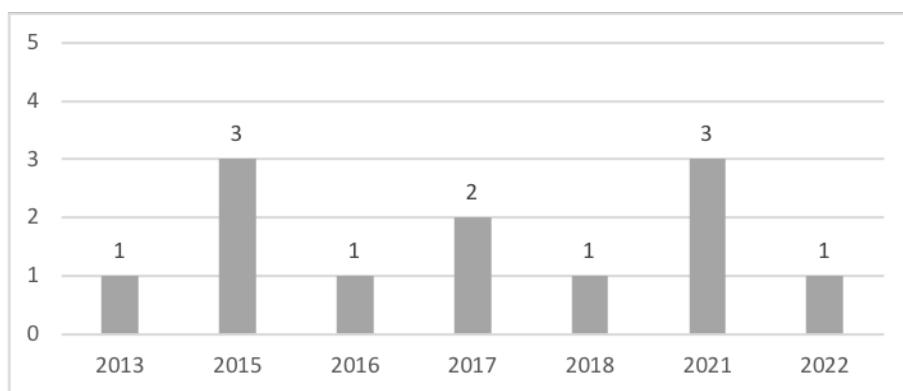


Figura 4. Gráfico da distribuição dos artigos incluídos por ano de publicação

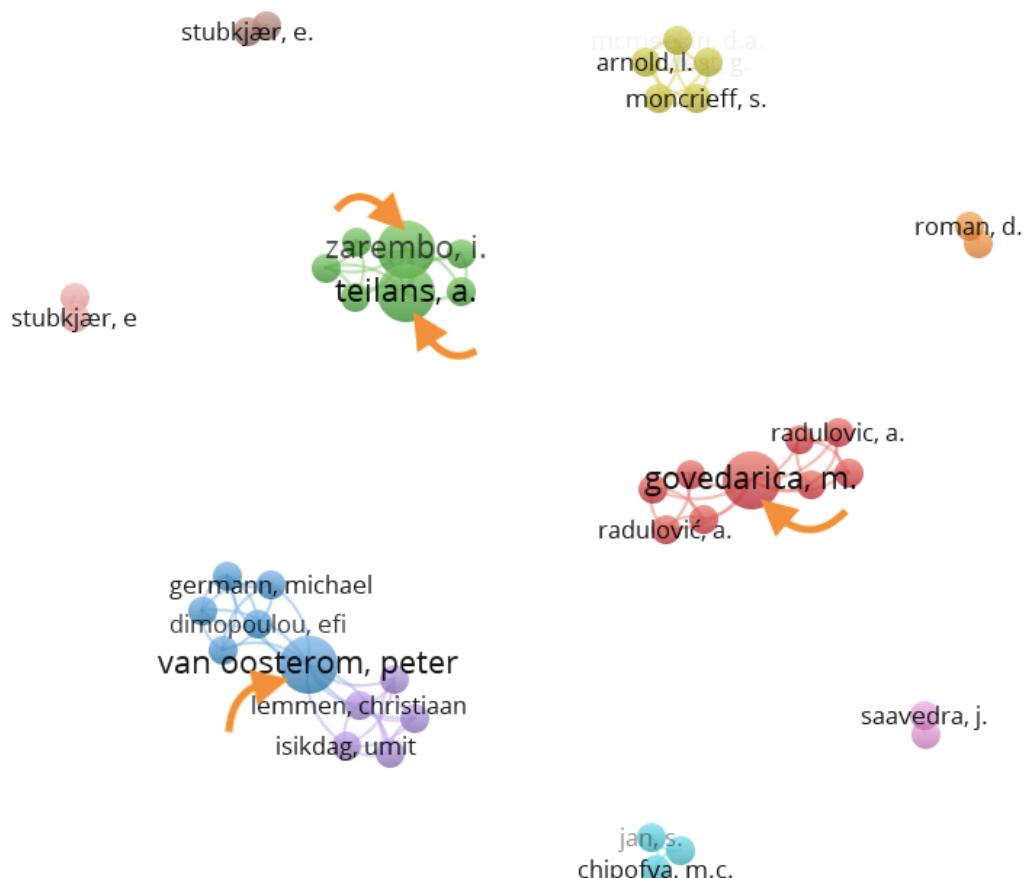
Dos 12 artigos incluídos, 66% foram publicados em periódicos e os demais em eventos. O periódico que mais se destacou foi o “*Land Use Policy*”, com três estudos. Trata-se de uma publicação científica internacional, revisada por pares, que envolve pesquisas interdisciplinares sobre o uso e a gestão da terra em diferentes contextos sociais,

econômicos e ambientais. Os dois artigos mais citados da revisão foram publicados neste periódico. Na Tabela 2 estão relacionados os artigos que possuem o número de citações acima da média (≥ 15), considerando o número total (184) entre os artigos incluídos. Para cada um, são apresentados sua identificação (Id.), o título e a quantidade de citações registradas.

Tabela 2. Relação dos artigos mais citados

Id.	Título da Publicação	Nº de Citações
A11	<i>Land Use Policy</i>	38
A2	<i>Land Use Policy</i>	27
A5	<i>SPRS International Journal of Geo-Information</i>	24
A8	<i>Survey Review</i>	20
A12	<i>Computer Science and Information Systems</i>	17
A10	<i>Land</i>	15

Quanto às cooperações científicas, a Figura 5 apresenta o gráfico da rede de coautoria referente aos estudos incluídos na revisão. Considerando o número reduzido de artigos selecionados, é compreensível a ausência de agrupamentos amplos que indiquem cooperação entre autores de diferentes trabalhos. Como um resultado natural, observa-se a formação de pequenos grupos isolados, em geral limitados às



coautorias dentro de um mesmo estudo, com algumas exceções identificadas (em destaque).

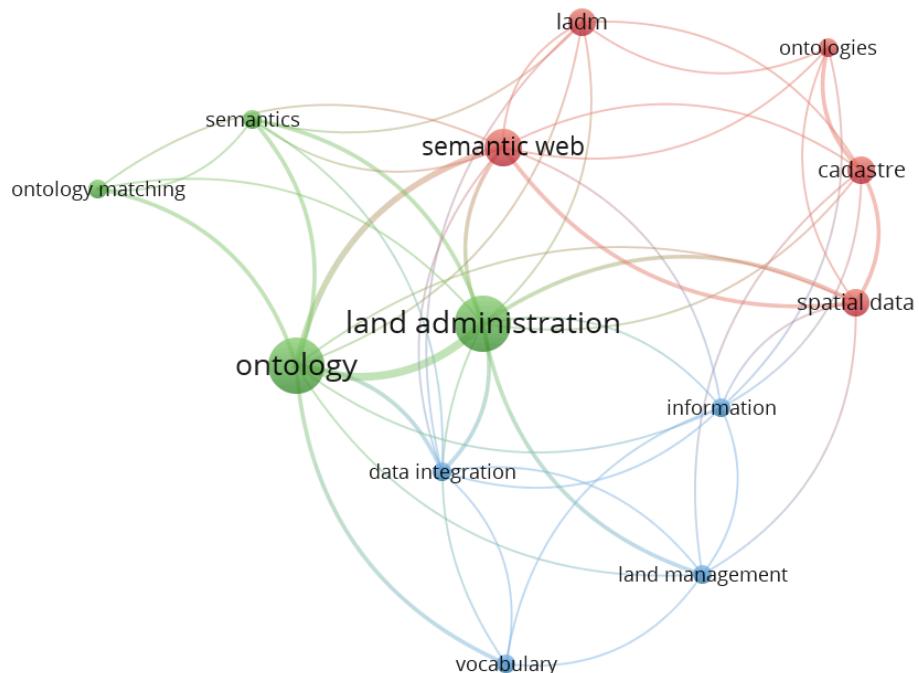
Figura 5. Gráfico da rede de coautoria

Na Tabela 3 estão relacionados os autores que participaram de mais de um artigo, sugerindo um nível pontual de colaboração entre eles, ainda que insuficiente para caracterizar um padrão de articulação mais abrangente na área. Consequentemente, esses autores obtiveram uma maior pontuação (*PageRank*) entre os 43 autores dos estudos selecionados. Para cada um, são apresentados seu o nome, *PageRank* e os indicadores coletados do *Google Scholar* (citações, Índice h e Índice i10).

Tabela 3. Indicadores bibliométricos dos autores mais produtivos

Nome do Autor	PageRank	Nº de Citações	Índice h	Índice i10
Peter van Oosterom	0.042	12930	57	271
Miro Govedarica	0.041	1568	20	46
Artis Teilans	0.035	296	11	13
Imants Zaremba	0.035	130	6	3

Por fim, a Figura 6 apresenta um recorte (13 palavras) da coocorrência entre as palavras-chave mais frequentes nos estudos analisados, evidenciando os termos centrais da temática investigada. A análise revela uma forte correlação em torno dos termos “ontology” e “land administration”, que se destacam como nós principais na



estrutura da rede, reforçando a coerência entre os dados coletados e o foco da pesquisa. Ao todo, foram consideradas 121 palavras para construção da rede.

Figura 6. Gráfico da rede de coocorrência

4.2. Análise de Conteúdo

Os estudos foram analisados com base nas três categorias temáticas: (1) estratégias de modelagem ontológica baseadas no LADM, (2) aplicações práticas das ontologias em sistemas de cadastro e gestão territorial e (3) benefícios e desafios associados à sua adoção. A seguir, os resultados são apresentados conforme os dados interpretados de cada documento. Os Quadros 2, 3 e 4 trazem, respectivamente, uma síntese das evidências extraídas de cada estudo para cada uma das três categorias analisadas.

Quadro 2. Categoria de análise 1 - estratégias de modelagem ontológica baseadas no LADM

Id.	Evidências percebidas no estudo
A1	Uso de grafos do conhecimento baseados em ontologias para integrar dados heterogêneos (<i>shapefiles</i> , <i>geodatabases</i> , WFS). Uso de padrões nacionais e internacionais. Não especifica metodologia formal de modelagem ontológica, mas baseia-se em princípios da Web Semântica.
A2	Desenvolvimento de um vocabulário SKOS baseado no LADM. A modelagem usa como base termos do LADM (ISO 19152) e <i>guidelines</i> da ANSI/NISO para construção de vocabulários controlados. Foco em representação semântica formal para publicação como <i>Linked Data</i> .
A3	Uso de tesouros e ferramentas semânticas como CaLAThe para alinhar o LADM com o padrão OGC <i>LandInfra</i> . A abordagem envolve reutilização de listas de códigos, integração de vocabulários e formalização semântica via SKOS.
A4	Avaliação de algoritmos baseados em nomes para <i>matching</i> automático entre ontologias do LADM e do serviço de cadastro da Letônia. Modelagem com base em OWL 2 e uso de medidas de similaridade textual. Foco em interoperabilidade semântica.
A5	Uso da linguagem INTERLIS para implementar perfis do LADM com restrições formalizadas. Integração entre espaços físicos e legais em 3D, com abordagem baseada em <i>Model Driven Architecture</i> (MDA). Modelagem conceitual rigorosa.
A6	Metodologia para avaliação de similaridade entre modelos relacionais e ontologias semânticas. Uso de transformação automática de modelos relacionais em OWL e técnicas de <i>ontology matching</i> . Aplicação prática no domínio de administração fundiária.
A7	Estudo comparativo de ontologias existentes no domínio da propriedade imobiliária. Análise de ontologias em diferentes contextos (transações, dados espaciais, integração semântica). Uso de LADM como referência conceitual. Não propõe novo modelo, mas discute boas práticas.
A8	Desenvolvimento de uma ontologia para cadastro imobiliário na Sérvia baseada no LADM e em padrões geoespaciais (ISO 19152). Usa OWL e RDF para interoperabilidade semântica e integração com serviços OGC.
A9	Proposta de uma ontologia de proveniência (GeoPROV-LM) para rastrear o fluxo de dados cadastrais. Modelagem baseada em eventos, agentes, processos. Uso de abordagens semânticas para representar o ciclo de vida dos dados.
A10	Modelagem ontológica baseada em OWL-DL para representar regras locais de posse de terra e relacioná-las com o LADM. O adaptador semântico permite mapear conceitos locais para conceitos do LADM.
A11	Desenvolvimento do LADM <i>Valuation Information Model</i> e aplicação ao caso da Turquia. Modelagem com UML e INTERLIS. Extensão do LADM para representar dados de avaliação imobiliária com interoperabilidade semântica.

A12	Modelagem ontológica baseada no LADM para melhorar a interoperabilidade semântica em sistemas cadastrais. Uso de OWL e <i>web services</i> para integrar dados de diferentes fontes. Aplicação prática no cadastro da Sérvia.
-----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Os estudos analisados evidenciam o uso variado de abordagens e tecnologias para o desenvolvimento de ontologias fundiárias, com o LADM servindo como modelo conceitual de referência para a estruturação semântica dos elementos territoriais. Frequentemente, a modelagem das ontologias segue uma abordagem *top-down*, em que os pacotes conceituais do LADM são adaptados ou estendidos conforme o contexto nacional ou institucional.

As linguagens de representação mais utilizadas são OWL (*Web Ontology Language*) e OWL-DL, que permitem a formalização lógica e inferência automatizada de conhecimento. Ferramentas como *Protégé*, INTERLIS, UML e *ShapeChange* também foram aplicadas para construir e validar os modelos. Por exemplo, no estudo “*Ontology for real estate cadastre*” (Sladić *et al.*, 2013), uma ontologia baseada no LADM foi implementada com OWL para representar os dados cadastrais da Sérvia, garantindo interoperabilidade entre serviços de dados espaciais.

No campo da avaliação fundiária, destaca-se o estudo “*The LADM Valuation Information Model and its application to the Turkey case*” (Kara *et al.*, 2021), que propõe a extensão do LADM para representar dados de valor e avaliação de imóveis. A modelagem foi realizada em UML e convertida para a linguagem INTERLIS, visando garantir a integração com cadastros e registros públicos.

Também foram encontrados casos como o *SmartSkeMa* (Chipofya *et al.*, 2021), que utiliza OWL-DL para mapear conceitos locais de posse consuetudinária e relacioná-los com o LADM, viabilizando a tradução semântica de regras culturais para estruturas formais de administração fundiária.

Quadro 3. Categoria de análise 2 - aplicações práticas das ontologias em sistemas de cadastro e gestão territorial

Id.	Evidências percebidas no estudo
A1	Aplicação prática na Colômbia para integração de dados fundiários de duas agências distintas. Foco em superação da heterogeneidade e isolamento de dados usando conhecimento baseado em grafos.
A2	Criação de um tesauro para ser utilizado por bibliotecas, arquivos legais e bases cadastrais em ambientes de <i>Linked Data</i> . Aplicação indireta em sistemas de informação e recuperação semântica.
A3	Uso do CaLAThe como base para alinhamento entre padrões internacionais em registros de terra e infraestrutura. Apoia a interoperabilidade entre registros europeus e organizações cadastrais.
A4	Aplicação no Serviço de Terras da Letônia para avaliar compatibilidade entre modelos nacionais e o LADM. Sistema protótipo de <i>matching</i> foi testado em ambiente real.
A5	Implementação do modelo LADM com INTERLIS em três países (Suíça, Grécia, Colômbia). Aplicações voltadas ao registro tridimensional de propriedades com vínculos legais e físicos.
A6	Aplicação de metodologia em estudo de caso envolvendo o modelo do Serviço de Terras da Letônia e o LADM. Apoia a modernização e migração de bases relacionais para formatos semânticos.

A7	Aplicação teórica voltada à integração de dados imobiliários em âmbito internacional. Referência para interoperabilidade em sistemas multiculturais e multi-institucionais.
A8	Aplicação no contexto do cadastro da Sérvia. Objetiva integrar diferentes modelos e serviços por meio de uma ontologia comum. Casos de uso demonstram benefícios na recuperação e integração de dados.
A9	Aplicação no contexto australiano para rastreabilidade de dados espaciais em cadeias de suprimento cadastrais. Visa aumentar a confiança nos dados utilizados em decisões fundiárias.
A10	Aplicações práticas em comunidades no Quênia e Etiópia. Mapeamento participativo de terras comunitárias e personalização ontológica para registrar conceitos locais de posse.
A11	Prototipagem de um sistema de avaliação fundiária baseado no LADM_VM com dados reais da Turquia. Uso em processos de avaliação recorrente e vinculação com cadastros e registros.
A12	Casos de uso demonstrando a integração semântica de serviços cadastrais via web. Aplicação no contexto da Sérvia, com foco em interoperabilidade entre sistemas geoespaciais e administrativos.

As ontologias desenvolvidas com base no LADM têm sido aplicadas em múltiplas frentes. Um dos principais usos é a integração de dados heterogêneos, como ilustrado por Vilches-Blázquez e Saavedra (2022), em que uma ontologia foi utilizada para integrar dados cadastrais de diferentes agências governamentais na Colômbia.

Além disso, a interoperabilidade semântica entre sistemas geoespaciais e administrativos foi fortemente enfatizada, como no estudo “*The Use of Ontologies in Cadastral Systems*” (Sladić *et al.*, 2015), que demonstrou a aplicação de ontologias para conectar serviços baseados em OGC com bancos de dados cadastrais, promovendo maior eficiência na recuperação e integração de dados.

Outros estudos trataram da aplicação em contextos específicos, como o projeto *SmartSkeMa*, voltado à documentação participativa de terras em comunidades tradicionais (Chipofya *et al.*, 2021), e o uso de ontologias na avaliação fundiária recorrente, com base no LADM *Valuation Model* (Kara *et al.*, 2021).

As ontologias também foram utilizadas para publicação de dados interligados (*Linked Data*), como em Çağdaş e Stubkjær (2015), o que permitiu disponibilizar conceitos cadastrais em ambientes web, favorecendo consultas semânticas e interoperabilidade aberta.

Também no contexto das estratégias e aplicações abordadas nas categorias 1 e 2, a Figura 7 ilustra o uso de pacotes específicos do LADM, com destaque para os pacotes *SpatialUnit* e *RRR*, mais empregados em iniciativas de cadastro fundiário e imobiliário, voltadas à representação de parcelas, direitos legais e infraestrutura cadastral, tanto em áreas urbanas quanto rurais.

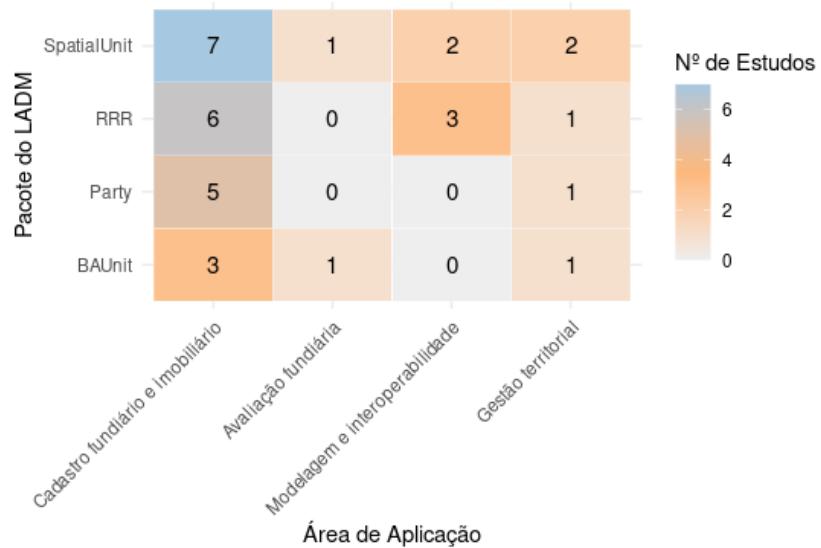


Figura 7. Pacotes do LADM x áreas de aplicação

Quadro 4. Categoria de análise 3 - benefícios e desafios associados à sua adoção

Id.	Evidências percebidas no estudo	
	Benefícios	Desafios
A1	Integração de dados de múltiplas fontes, interoperabilidade e representação formal de conhecimento.	Heterogeneidade de dados e complexidade da modelagem baseada em grafos.
A2	Padronização semântica, suporte à interoperabilidade e publicação de dados legais e científicos.	Limitação de vocabulários existentes, necessidade de manutenção e expansão contínua.
A3	Alinhamento entre padrões, interoperabilidade semântica e apoio ao <i>e-government</i> .	Complexidade técnica, dependência de padronização multilateral e falta de consenso terminológico.
A4	Economia de tempo em integração ontológica e maior precisão na comparação entre modelos.	Desempenho variável dos algoritmos de similaridade e necessidade de validação humana.
A5	Integração entre representações legais e físicas, consistência de dados e suporte a restrições formais.	A formalização de restrições é complexa e a integração semântica exige esforço técnico.
A6	Facilita a migração de dados para a Web Semântica e promove compatibilidade entre sistemas.	Necessidade de ferramentas especializadas, envolvimento de especialistas em domínio e Tecnologia da Informação.
A7	Integração semântica entre dados legais, espaciais e de negócios.	Diversidade de vocabulários e modelos, e complexidade da padronização internacional.

A8	Padronização, interoperabilidade semântica e reutilização de dados.	Necessidade de adaptação nacional e manutenção de ontologias complexas.
A9	Rastreabilidade dos dados e aumento da confiança e transparência.	Modelagem complexa e adoção prática em sistemas governamentais.
A10	Inclusão de sistemas consuetudinários, mapeamento participativo e <i>fit-for-purpose</i> .	Tradução semântica entre conceitos locais e modelos oficiais.
A11	Interoperabilidade entre sistemas de avaliação e registro, e consistência de dados.	Complexidade técnica e necessidade de perfil nacional robusto.
A12	Maior integração entre dados e serviços, e interoperabilidade semântica efetiva.	Adoção institucional, capacitação técnica e manutenção das ontologias.

Entre os benefícios mais destacados está a capacidade das ontologias de promover padronização semântica e facilitar a interoperabilidade entre sistemas e instituições, especialmente em ambientes complexos e distribuídos. Estudos como “*Assessment of Name Based Algorithms for Land Administration Ontology Matching*” (Zarembó, 2015) e “*Ontology for real estate cadastre*” (Sladić *et al.*, 2013) apontam que o uso de ontologias melhora a precisão na correspondência entre modelos de dados, além de permitir a integração entre bases cadastrais locais e internacionais.

A aplicação em contextos sociais diversos também é um ponto forte. O projeto *SmartSkeMa* também mostra que é possível representar formalmente conhecimentos locais, fortalecendo a inclusão e a segurança da posse da terra por meio da tradução entre diferentes sistemas jurídicos e culturais.

Por outro lado, os desafios mais comuns incluem a complexidade técnica envolvida na modelagem ontológica, a necessidade de capacitação institucional e a resistência à adoção de novas tecnologias por parte de órgãos públicos. Além disso, a construção de perfis nacionais do LADM demanda um esforço considerável de adaptação legal e tecnológica, como exemplificado no caso da Turquia (Kara *et al.*, 2021).

Há também dificuldades relacionadas à manutenção das ontologias, que precisam ser continuamente atualizadas diante de mudanças legais, tecnológicas e sociais, o que implica custos e infraestrutura adequados.

Por fim, o Quadro 5 apresenta uma relação das localidades (países) com aplicação prática direta e efetiva nos estudos analisados. Sua inclusão buscou evidenciar a diversidade geográfica e institucional dos contextos em que as ontologias baseadas no LADM foram implementadas ou testadas. Essas informações também podem indicar lacunas e oportunidades para o desenvolvimento de estudos futuros em regiões ainda pouco exploradas.

Quadro 5. Casos de aplicação (por país) associados aos estudos analisados

País	Estudo(s) relacionado(s)
Austrália	A9
Colômbia	A1, A5
Etiópia	A10
Grécia	A5
Letônia	A4, A6
Quênia	A10

Sérvia	A8, A12
Suíça	A5
Turquia	A11

5. Considerações Finais

Este artigo teve como objetivo, por meio de uma revisão sistemática da literatura, identificar, analisar e sintetizar estudos que propõem, aplicam ou avaliam ontologias fundamentadas no *Land Administration Domain Model* (LADM – ISO 19152), no âmbito do cadastro e da administração territorial. Buscou-se, assim, compreender como essas ontologias têm sido desenvolvidas, em que contextos estão sendo utilizadas e quais os benefícios e desafios de sua adoção, como uma forma de contribuir para pesquisas futuras e apoiar o desenvolvimento de novas soluções.

A revisão foi orientada por três questões centrais: (1) estratégias de modelagem ontológica baseadas no LADM, (2) aplicações práticas das ontologias em sistemas de cadastro e gestão territorial e (3) benefícios e desafios associados à sua adoção apontados na literatura especializada.

Os estudos analisados mostram que a construção dessas ontologias se apoia, principalmente, em padrões semânticos (como OWL, RDF e SKOS), no uso de ferramentas especializadas (como Protégé e INTERLIS) e na adaptação do modelo internacional às realidades jurídicas e administrativas locais. Observou-se um predomínio de abordagens práticas, voltadas à interoperabilidade e à integração de sistemas, embora alguns métodos de desenvolvimento mais sistemáticos e formalizados também têm sido explorados.

Em termos de aplicação, as ontologias baseadas no LADM têm sido utilizadas para integrar dados de diferentes fontes, garantir a interoperabilidade semântica entre sistemas, representar situações mais complexas (como avaliações fundiárias ou formas tradicionais de posse) e aprimorar a forma como as informações cadastrais são organizadas, publicadas e recuperadas. Essas iniciativas demonstram não apenas a viabilidade técnica das ontologias LADM, mas também seu potencial para promover avanços importantes na modernização e inclusão dos sistemas de administração fundiária.

Além disso, os estudos apontam que o uso dessas ontologias pode trazer ganhos expressivos em clareza conceitual, integração institucional e inovação tecnológica. Ainda assim, sua adoção plena enfrenta alguns desafios, desde limitações técnicas à necessidade de articulação entre diferentes setores e atores institucionais, o que exige investimentos em capacitação e padronização.

Por fim, destaca-se a carência de estudos com esse enfoque no contexto brasileiro, onde o uso de ontologias aplicadas à gestão fundiária ainda é incipiente, o que também representa uma oportunidade para estudos aplicados ao perfil nacional, considerando suas particularidades jurídicas, institucionais e territoriais.

Referências

- Almeida, M. B. (2020). *Ontologias em ciência da informação: Teoria e método* (Coleção Representação do Conhecimento em Ciência da Informação, Vol. 1). CRV.
- Almeida, M. B. (2024). *Ontologia na prática: Projeto, metodologia e construção* (Coleção A prática da ontologia aplicada, Vol. 1). CRV.
- Amorim, A., Pelegrina, M. A., & Julião, R. P. (2018). *Cadastro e gestão territorial: Uma visão luso-brasileira para a implementação de sistemas de informação cadastral nos municípios*. Editora UNESP Digital.
- Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo* (Edição revista e ampliada). Edições 70.
- Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2016). *Systematic approaches to a successful literature review* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Çağdaş, V., & Stubkjær, E. (2015). A SKOS vocabulary for linked land administration: Cadastre and land administration thesaurus. *Land Use Policy*, 49, 668–679. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.12.017>
- Chipofya, M. C., Jan, S., & Schwering, A. (2021). SmartSkeMa: Scalable documentation for community and customary land tenure. *Land*, 10(7), 662. <https://doi.org/10.3390/land10070662>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Garbacz, P. (2024). Large language models and foundational ontologies. In C. Trojahn, D. Porello, & P. P. F. Barcelos (Eds.), *Formal ontology in information systems: Proceedings of the 14th International Conference (FOIS 2024)* (pp. 89–103). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/FAIA241296>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6. ed.). Atlas.
- Gough, D., Oliver, S., & Thomas, J. (2017). *An introduction to systematic reviews* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5, 199–220. <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
- Guizzardi, G. (2005). *Ontological foundations for structural conceptual models* (Tese de doutorado, University of Twente). University of Twente.
- International Organization for Standardization. (2012). *ISO 19152:2012 – Geographic information – Land Administration Domain Model (LADM)*. <https://www.iso.org/standard/51206.html>
- Kalogianni, E., Dimopoulou, E., Quak, W., Germann, M., Jenni, L., & van Oosterom, P. (2017). INTERLIS language for modelling legal 3D spaces and physical 3D objects by including formalized implementable constraints and meaningful code lists. *ISPRS*

- International Journal of Geo-Information*, 6(10), 319.
<https://doi.org/10.3390/ijgi6100319>
- Kara, A., Çağdaş, V., Isikdag, U., van Oosterom, P., Lemmen, C., & Stubkjær, E. (2021). The LADM valuation information model and its application to the Turkey case. *Land Use Policy*, 104, 105307. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105307>
- Kitchenham, B. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering* (Version 2.3, EBSE Technical Report EBSE-2007-01). Keele University and University of Durham.
- Kitchenham, B., Pearl Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>
- Munn, E. K., & Smith, B. (2008). *Applied ontology: An introduction*. OntosVerlag.
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico* (2. ed.). Editora Feevale.
- Sadiq, M. A., West, G., McMeekin, D. A., Arnold, L., & Moncrieff, S. (2015). Provenance ontology model for land administration spatial data supply chains. In *2015 11th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)* (pp. 184–189). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INNOVATIONS.2015.7381537>
- Shi, L., & Roman, D. (2018). Ontologies for the real property domain. In *Proceedings of the 8th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS '18)* (Article 14). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3227609.3227661>
- Silva, J. A., Rocha, R. M., & Oliveira, G. M. (2021). Aplicações do modelo LADM em ambientes urbanos: Uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Geomática*, 9(2), 23–40.
- Silva, S. D. R. S. E. (2022). *Sistematização e modelagem dos direitos, restrições e responsabilidades no cadastro territorial no contexto do sistema de administração territorial brasileiro* (Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná). Universidade Federal do Paraná.

- Sladić, D., Govedarica, M., Pržulj, D., Radulović, A., & Jovanović, D. (2013). Ontology for real estate cadastre. *Survey Review*, 45(332), 357–371. <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000042>
- Sladić, D., Radulović, A., Govedarica, M., Jovanović, D., & Pržulj, Đ. (2015). The use of ontologies in cadastral systems. *Computer Science and Information Systems*, 12(3), 1033–1053.
- Souza, A. D., Ribeiro, J. S. A. N., Silva, E. B. F., Aguiar Filho, A. S., & Soares, A. N. (2022). Ferramentas para gestão da informação em revisões de literatura. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, 12(3), 299–313.
- Stubkjær, E., & Çağdaş, V. (2021). Alignment of standards through semantic tools: The case of land administration. *Land Use Policy*, 104, 105381. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105381>
- Usman, M., Mendes, E., & Börstler, J. (2017). Effort estimation in agile software development: A systematic literature review. In *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement* (pp. 60–69). <https://doi.org/10.1109/ESEM.2017.19>
- Vilches-Blázquez, L. M., & Saavedra, J. (2022). A graph-based representation of knowledge for managing land administration data from distributed agencies: A case study of Colombia. *Geo-Spatial Information Science*, 25(2), 259–277. <https://doi.org/10.1080/10095020.2021.2015250>
- Zarembó, I. (2015). Assessment of name based algorithms for land administration ontology matching. *Procedia Computer Science*, 43, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.008>
- Zarembó, I., Teilans, A., Barghorn, K., Merkuryev, Y., & Berina, G. (2016). Methodology for similarity assessment of relational data models and semantic ontologies. In *2016 International Conference on Systems Informatics, Modelling and Simulation (SIMS)* (pp. 119–123). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIMS.2016.21>