

## **PUBLICAÇÃO E REUSO DE DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA COM RDF DATA CUBE**

**Nerval de Jesus Santos Junior<sup>1</sup>, Carlos Daniel dos Santos Silva<sup>1</sup>, Felipe Martins Sousa<sup>1</sup>,  
Denilson da Silva Bezerra<sup>1</sup>, Sérgio Souza Costa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, São Luis - MA, Brasil, [nerval.junior@discente.ufma.br](mailto:nerval.junior@discente.ufma.br).

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luis - MA, Brasil, [carlosdiel16@gmail.com](mailto:carlosdiel16@gmail.com).

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, São Luis - MA, Brasil, [pep.ocean@icloud.com](mailto:pep.ocean@icloud.com).

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, São Luis - MA, Brasil, [denilson.bezerra@ufma.br](mailto:denilson.bezerra@ufma.br)

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, São Luis - MA, Brasil, [sergio.costa@ufma.br](mailto:sergio.costa@ufma.br).

Resumo: A publicação e o reuso de dados provenientes de modelos de mudança de uso e cobertura da terra apresentam desafios significativos devido ao volume, diversidade e complexidade dos dados envolvidos. Este artigo propõe um vocabulário baseado no RDF Data Cube Vocabulary, adaptado para representar dados de modelos de uso e cobertura da terra, visando facilitar a publicação, o reuso e a replicação desses modelos no paradigma dos dados conectados. O vocabulário organiza os dados em medidas, dimensões e atributos, abrangendo variáveis estáticas, resultados de operações espaciais e informações que garantem a reprodutibilidade dos processos. Os dados foram publicados em um portal com suporte a consultas SPARQL, permitindo integração com repositórios como o DBCells. A validação inicial incluiu dados de cobertura e variáveis ambientais, com previsão de publicação completa ao final do projeto. Destaca-se a necessidade de desenvolvimento futuro de metodologia para avaliação da reusabilidade do vocabulário proposto. O trabalho destaca a necessidade de desenvolver uma metodologia para avaliar a reusabilidade do vocabulário e contribui para a ciência aberta, promovendo transparência e replicabilidade em estudos ambientais.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra. Dados conectados. Ciência aberta. Estudos ambientais.

## **PUBLISHING AND REUSING LAND USE AND LAND COVER DATA THROUGH RDF DATA CUBE**

**Nerval de Jesus Santos Junior<sup>1</sup>, Carlos Daniel dos Santos Silva<sup>1</sup>, Felipe Martins Sousa<sup>1</sup>,  
Denilson da Silva Bezerra<sup>1</sup>, Sérgio Souza Costa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Federal University of Maranhão, São Luís - MA, Brazil, [nerval.junior@discente.ufma.br](mailto:nerval.junior@discente.ufma.br)

<sup>1</sup> Federal University of Maranhão, São Luís - MA, Brazil, [carlosdiel16@gmail.com](mailto:carlosdiel16@gmail.com).

<sup>1</sup> Federal University of Maranhão, São Luís - MA, Brazil, [pep.ocean@icloud.com](mailto:pep.ocean@icloud.com).

<sup>1</sup> Federal University of Maranhão, São Luís - MA, Brazil, [denilson.bezerra@ufma.br](mailto:denilson.bezerra@ufma.br).

<sup>1</sup> Federal University of Maranhão, São Luís - MA, Brazil, [sergio.costa@ufma.br](mailto:sergio.costa@ufma.br).

Summary: The publication and reuse of data from land use and land cover change models face challenges due to the volume, diversity, and complexity of the data involved. This article proposes a vocabulary based on the RDF Data Cube Vocabulary, tailored to represent data from land use and land cover models, aiming to facilitate their publication, reuse, and replication within the linked data paradigm. The vocabulary organizes data into measures, dimensions, and attributes, covering static variables, results of spatial operations, and information ensuring process reproducibility. The data were published on a portal supporting SPARQL queries, enabling integration with repositories such as DBCells. Initial validation included data on land cover and environmental variables, with full publication planned upon project completion. The need for a future methodology to assess the reusability of the proposed vocabulary is highlighted. This work contributes to open science by promoting transparency and replicability in environmental studies.

Key words: Land use and land cover, Linked data, Open science, Environmental studies.

## INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e cobertura da terra resultam de interações complexas entre sistemas sociais e biofísicos, refletindo transformações contínuas na superfície terrestre. A cobertura da terra refere-se aos atributos físicos da paisagem, como florestas, corpos d'água e áreas urbanizadas, enquanto o uso da terra está relacionado às funções humanas atribuídas a esses espaços, como agricultura, pecuária ou habitação (VERBURG et al., 2019). A compreensão dessas dinâmicas é essencial para avaliar impactos ambientais, apoiar políticas públicas e planejar o uso sustentável do território.

Essas análises dependem fortemente de dados espaciais, cuja visualização, manipulação e interpretação são viabilizadas por Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os SIGs são ferramentas consolidadas para o gerenciamento e análise de dados georreferenciados, oferecendo suporte a tarefas como a geração de mapas temáticos, a integração de diferentes bases de dados e a execução de análises espaciais (LONGLEY et al., 2015). Entre as plataformas disponíveis, destacam-se soluções proprietárias como o ArcGIS (ESRI, 2024) e alternativas de código aberto como o SPRING e o TerraView, desenvolvidos pelo INPE (CÂMARA et al., 2000; 2008), além do QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024), amplamente adotado por sua flexibilidade, extensibilidade em Python e forte comunidade de usuários.

Contudo, os SIGs possuem limitações quando se trata de representar a dinâmica temporal dos processos territoriais. Nesse contexto, os modelos de mudança de uso e cobertura da terra surgem como ferramentas complementares, pois permitem simular cenários futuros, avaliar políticas públicas e compreender os fatores que impulsionam essas mudanças. Geralmente, estes modelos representam o território como uma matriz de células sujeitas a transições condicionadas por fatores socioambientais, utilizando técnicas como regressões, redes neurais e autômatos celulares (BEZERRA e BEZERRA, 2023; BEZERRA et al, 2022; MAZY; LONGARETTI, 2023; PONTIUS et al., 2018; VERBURG; EICKHOUT; MEIJ, 2008; VERBURG et al., 2019; REN et al. 2019).

A construção desses modelos, no entanto, exige a integração de grandes volumes de dados heterogêneos, ambientais, socioeconômicos, estruturais e frequentemente organizados

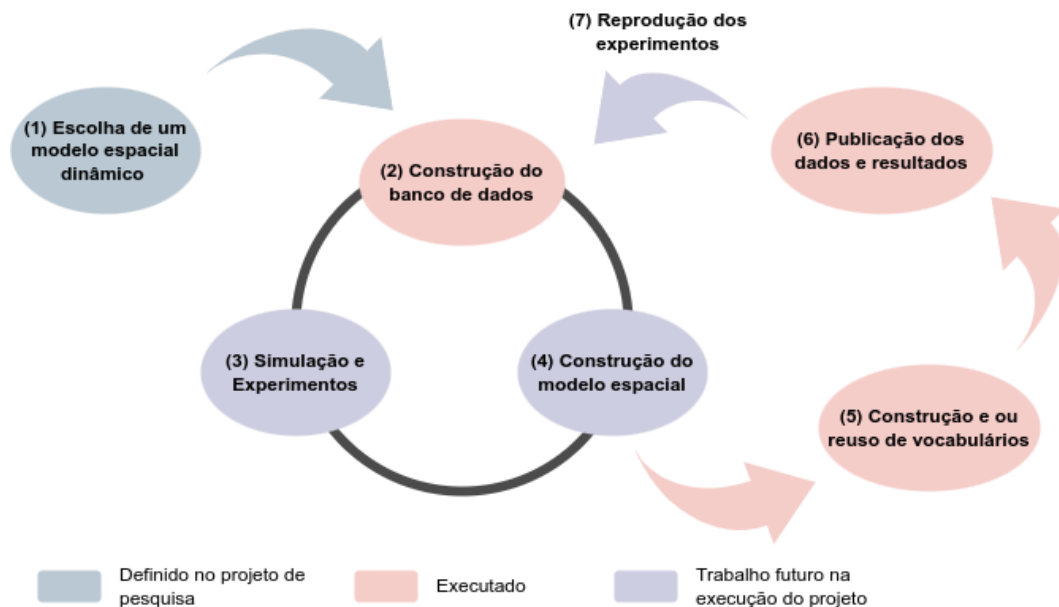
de maneira fragmentada e com baixa interoperabilidade. Nesse cenário, o conceito de Dados Conectados (Linked Data), fundamentado no modelo RDF (*Resource Description Framework*), oferece um paradigma promissor para a publicação e reutilização automática desses dados na Web, promovendo maior transparência, integração e reprodutibilidade dos experimentos científicos (HEATH; BIZER, 2011; KAUPPINEN; DE ESPINDOLA, 2011; KUHN; KAUPPINEN; JANOWICZ, 2014). A disponibilização de dados abertos e conectados constitui um pilar fundamental da ciência aberta, promovendo a transparência, a colaboração e a reprodutibilidade dos experimentos científicos (MURRAY-RUST, 2013; KAUPPINEN & DE ESPINDOLA, 2011; MOLLOY, 2011). Molloy (2011) destaca que a ampliação do acesso a dados abertos e estruturados contribui para tornar o processo científico mais eficiente, gerando benefícios diretos para a sociedade.

Nesse contexto, Costa et al. (2017) propuseram o DBCells, um repositório global de dados conectados voltado para enfrentar os desafios de interoperabilidade e reprodutibilidade em modelos de uso e cobertura da terra. O DBCells foi concebido para facilitar a publicação, o compartilhamento e a replicação desses modelos em diferentes ambientes computacionais. Dando continuidade a essa linha de pesquisa, o presente artigo propõe um vocabulário padronizado, baseado no RDF *Data Cube Vocabulary*, com o objetivo de colaborar com a publicação, o reuso e a replicação de modelos de mudança de uso e cobertura da terra em ambientes interoperáveis. Para isso, são definidos os seguintes objetivos específicos: (i) construir um banco de dados adequado a esse tipo de modelo; (ii) utilizar, adaptar e estender vocabulários existentes, com ênfase no *Data Cube*; e (iii) publicar os dados e resultados de acordo com os princípios dos Dados Conectados, em formatos estruturados e acessíveis na Web.

## MATERIAL E MÉTODOS

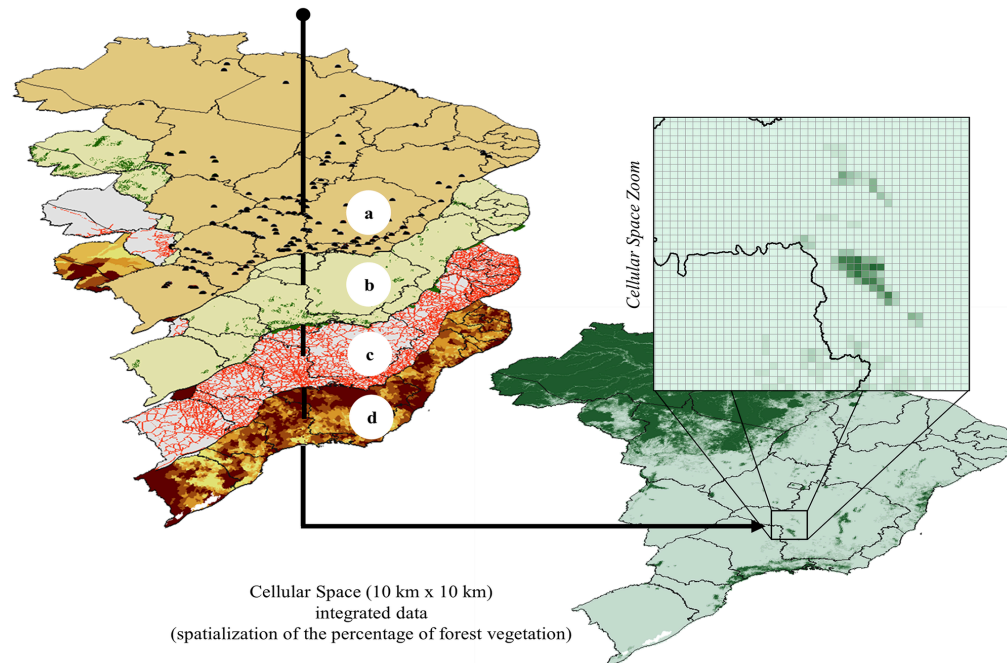
Este trabalho integra etapas da metodologia proposta no projeto “DBCells: Reprodutibilidade de Modelos de Uso e Cobertura da Terra Suportada por uma Plataforma de Dados Conectado”, ilustrada na Figura 1. A metodologia abrange a definição da área de estudo, a criação da base de dados, a homogeneização de variáveis, a automação de processos e a publicação de dados, com foco na interoperabilidade e reprodutibilidade.

*Figura 1. Metodologia para publicação de dados de modelos de uso e cobertura.*



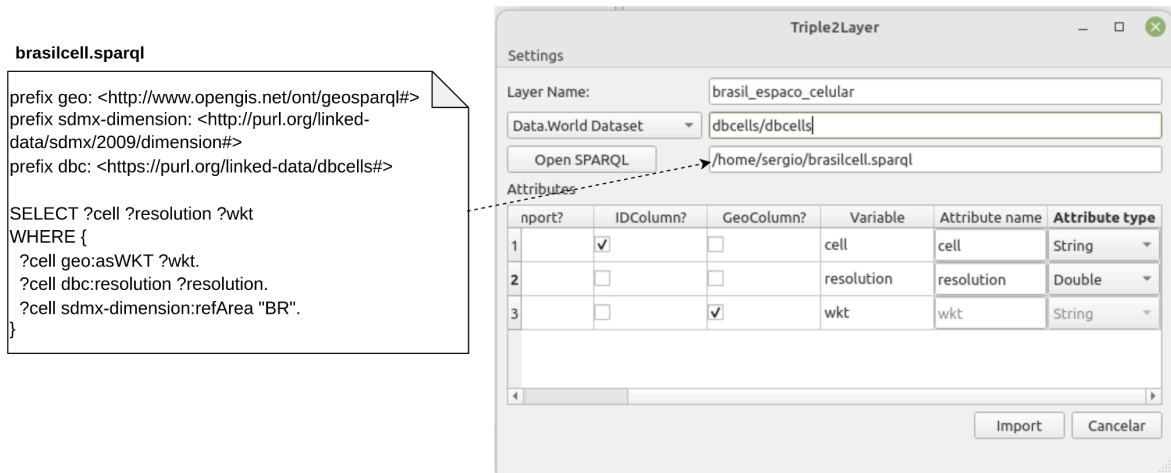
Na primeira etapa, são definidos a área de estudo, o problema e a abordagem que será utilizada para modelagem. No contexto do projeto, foi selecionado um modelo produzido e publicado por pesquisadores do **Instituto Nacional de Pesquisas** (BEZERRA, F. G. S. et al. 2022). O modelo é aplicado em todo o território brasileiro, com um espaço celular com resolução espacial de aproximadamente **100 km<sup>2</sup>**, integrando dados **ambientais**, **sociais**, **econômicos** e de **infraestrutura** (Figura 2).

**Figura 2.** Espaço celular integrando dados *ambientais, sociais, econômicos e de infraestrutura* (Fonte: BEZERRA et al. 2022).



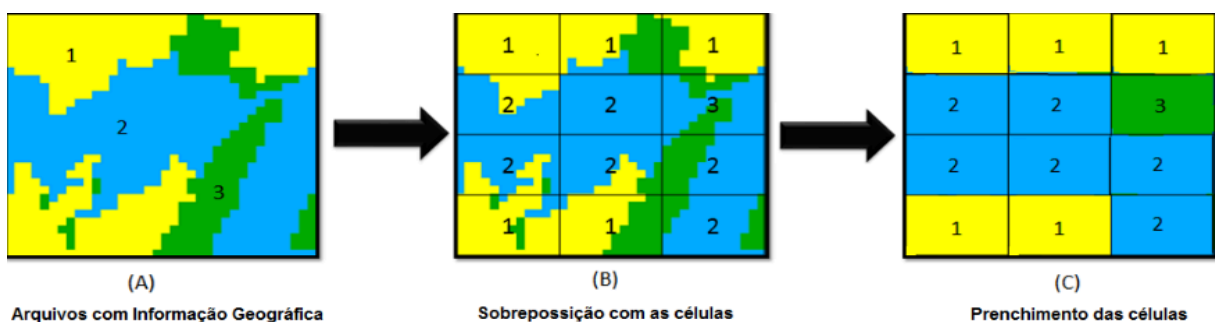
A segunda etapa (criação da base de dados) requer a definição ou importação de um espaço celular que agregue os dados geográficos. Em Costa et al. (2017), foi proposto um repositório denominado **DBCCells**, no qual cada célula possui um identificador de recurso único na Web, denominado **URI** (*Uniform Resource Identifier*). Segundo os autores, essa abordagem favorece a comparação, o reuso e a reprodutibilidade de modelos de mudanças no uso e cobertura da terra. Para que essa abordagem funcione de forma integrada, o banco de dados utilizado pelo modelo deve estar conectado a um repositório de dados conectados. Com esse objetivo, foi desenvolvido o software **QGISSPARQL** (JUNIOR; COSTA; SILVA, 2023), composto por dois plugins para o QGIS. Nessa etapa foi utilizado o *plugin Triple2Layer* que possibilita a importação direta por meio da interface gráfica do QGIS, sem a necessidade de programação, como era feito anteriormente (GARCIA et al., 2019). O *plugin* pode ser utilizado com qualquer repositório que disponibilize dados vetoriais, bastando informar o endereço e elaborar uma consulta SPARQL, conforme demonstrado na Figura 3. A metodologia tem início com a importação dos dados do DBCells, atualmente disponível em: <https://data.world/dbcells/dbcells>.

**Figura 3.** Consulta SPARQL executada no plugin Triple2Layer para importar dados vetoriais diretamente no QGIS.



É importante destacar que os modelos espaciais dinâmicos, objeto deste trabalho utilizam o espaço celular para homogeneizar variáveis ambientais, socioeconômicas e de infraestrutura, independentemente do formato original (vetorial, matricial etc.), conforme ilustrado na Figura 4. Logo, antes da modelagem, é necessário aplicar operadores que agregam essas variáveis em cada célula, como a distância mínima a estradas ou a porcentagem de cobertura florestal. Frequentemente, os dados de entrada possuem resoluções distintas, por exemplo, imagens de satélite de 30m x 30m, enquanto os modelos são aplicados em grades mais amplas, como 10km x 10km, exigindo agregações como médias ou somatórios.

**Figura 4.** Esquema de homogeneização espacial utilizando grade celular. (A) Arquivos com informações geográficas originais; (B) sobreposição dessas informações com a grade de células regulares; (C) preenchimento das células com a classe predominante em cada uma. Adaptado de BEZERRA; BEZERRA (2023).



Embora esses cálculos possam ser realizados em sistemas de informação geográfica (SIG), como o QGIS ou TerraView, essa abordagem compromete a reprodutibilidade, um dos objetivos centrais deste trabalho. Assim, optou-se pela automação com scripts em Lua (<https://www.lua.org>), utilizando o ambiente TerraME (<https://www.terrame.org>), construído sobre a biblioteca TerraLib ([www.terralib.org](http://www.terralib.org)). O TerraME é um ambiente de modelagem multiparadigma de código aberto e oferece operadores nativos para agregação espacial (<https://github.com/TerraME/terrame/wiki/Fill>), como o cálculo de distâncias mínimas e estatísticas zonais (CARNEIRO et al., 2013). Os scripts desenvolvidos em conjunto com os dados brutos utilizados estão sendo disponibilizados no repositório (<https://github.com/LambdaGeo/brlucc-database>), permitindo a replicação completa do modelo ou sua adaptação a outras áreas e resoluções espaciais.

A modelagem e simulação constituem um processo cíclico, no qual, a cada iteração, adquire-se um entendimento mais profundo sobre o problema em estudo, possibilitando a identificação da necessidade de incluir ou excluir variáveis. Este artigo, contudo, não tem como foco o processo de modelagem em si, mas sim a etapa de publicação dos dados, que ocorre após a definição de um modelo final. Antes da publicação, é imprescindível realizar a construção e/ou o reuso de vocabulários ontológicos que garantam a padronização semântica dos dados. Neste trabalho, foi adotado o vocabulário RDF *Data Cube* (DCV) como base para a representação dos dados derivados de modelos de uso e cobertura da terra. O RDF *Data Cube Vocabulary*, recomendado pelo *World Wide Web Consortium* (W3C), foi concebido especificamente para a publicação de dados estatísticos multidimensionais (W3C, 2014). Esse vocabulário organiza os dados em três componentes essenciais: dimensões, que identificam cada observação como o período de referência temporal ou a região geográfica analisada, sendo que uma combinação específica de valores para todas as dimensões caracteriza uma observação única; medidas, que descrevem o fenômeno observado, representando os valores principais a serem analisados, como a extensão de áreas desmatadas ou a produção agrícola de uma localidade; e atributos, que qualificam os valores observados, fornecendo informações adicionais como unidades de medida, fatores de escala, níveis de precisão ou o status da observação, podendo indicar, por exemplo, se o dado é estimado ou provisório.

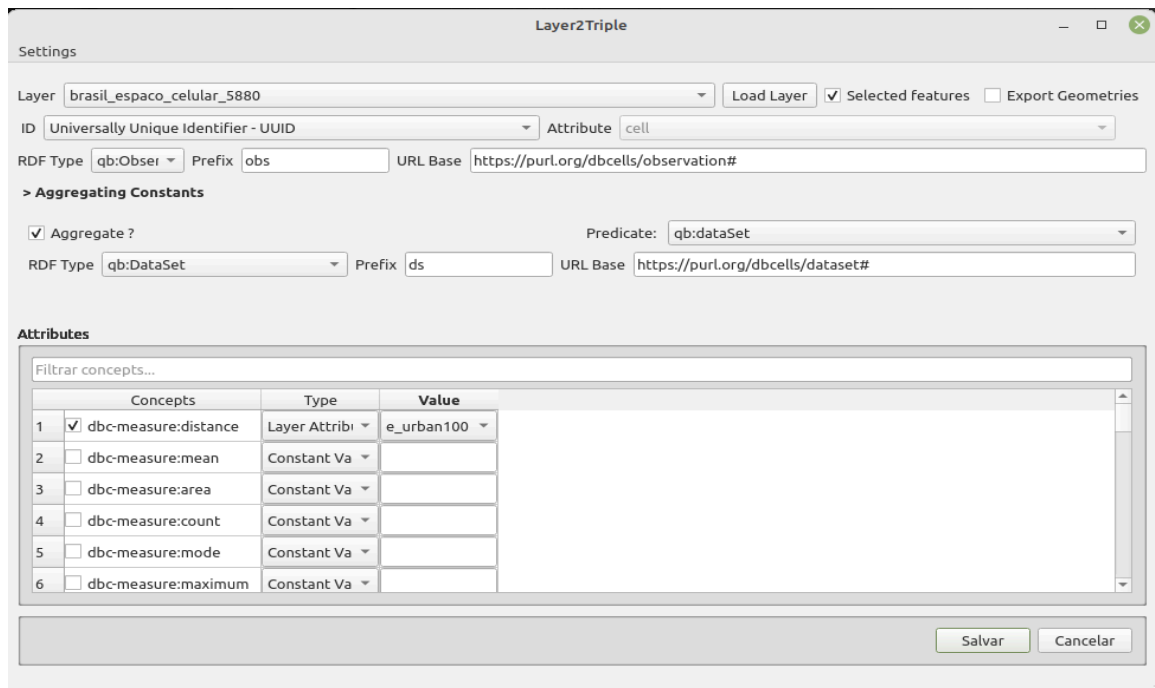
Para modelar os dados de modelos de mudanças de uso e cobertura no vocabulário *Data Cube*, é fundamental distinguir entre dimensões, atributos e medidas. A contribuição deste trabalho é a aplicação rigorosa desses três conceitos para aprimorar o reuso de dados e vocabulários, separando claramente a medida observada (por exemplo, média) da variável analisada (por exemplo, declividade). Nesse contexto, “média” é a medida, enquanto “declividade” é o atributo associado. Considerando modelos dinâmicos espaciais, as dimensões principais são o tempo e o espaço.

O vocabulário DBCells foi publicado em <http://purl.org/linked-data/dbcells/> e documentado em <https://github.com/LambdaGeo/dbcells-ontology>, reutiliza os predicados `sdmx:refArea` e `sdmx:refPeriod` do SDMX para representar as dimensões espacial e temporal respectivamente. As medidas, comuns em modelos espaciais dinâmicos, incluem distância euclidiana, média, moda, mínimo, máximo, soma, contagem, desvio padrão. Organizadas sob <https://purl.org/linked-data/dbcells/measure>. Os atributos, definidos em <http://purl.org/linked-data/dbcells/attribute>, vinculam feições geográficas como áreas urbanas, florestas e estradas, podendo também referenciar dados brutos e scripts para garantir reprodutibilidade. O vocabulário inclui ainda códigos para categorias temáticas, como *Roads*, *Urban*, *Rivers*, *Forest vegetation*, entre outros.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados, a etapa 6 refere-se à publicação dos dados e resultados. Para viabilizar essa publicação, a geração dos dados conectados é iniciada por meio do plugin Layer2Triple, como mostrado na Figura 5. Esse plugin permite exportar os dados relacionando conceitos e atributos de forma eficiente, utilizando o vocabulário *Data Cube*. Com ele, é possível agrupar múltiplas observações em um mesmo *DataSet*, otimizando a estruturação ao centralizar atributos comuns, como dimensão temporal, feição geográfica, fonte dos dados e o script utilizado no cálculo. Durante a exportação, são configurados parâmetros essenciais para associar as observações ao *DataSet* e definir seus tipos, assegurando a correta representação dos dados sem a necessidade de detalhamento exaustivo dos predicados.

**Figura 5:** Interface do plugin Layer2Triple para exportação de dados modelados.



Após a configuração, os dados foram exportados no formato *Turtle*, conforme ilustrado no código abaixo.

```
@prefix dbc-code: <http://www.purl.org/linked-data/dbcells/code#> .
@prefix dbc-measure: <http://www.purl.org/linked-data/dbcells/measure#> .
@prefix dbc-attribute: <http://www.purl.org/linked-data/dbcells/attribute#> .
@prefix ds: <https://purl.org/dbcells/dataset#> .
@prefix obs: <https://purl.org/dbcells/observation#> .
@prefix qb: <http://purl.org/linked-data/cube#> .
@prefix dct: <http://purl.org/dc/terms/> .
@prefix sdmx-dimension: <http://purl.org/linked-data/sdmx/2009/dimension#> .

# -- Conjunto de dados -----
ds:be776437-bd01-4583-82f7-ff9e80c55157 a qb:DataSet ;
    dct:title "Apenas um exemplo de conjunto de dados"@pt-br ;
    dbc-attribute:feature dbc-code:urban ;
    dbc-attribute:sourceFile <https://.../data/urban_center.zip> ;
    dbc-attribute:scriptFile <https://.../scripts/fill_urban_distance.lua> .

# -- Observações -----
obs:0405277c-fdf6-4e11-b5cf-9c4a03e67494 a qb:Observation ;
    qb:dataSet ds:be776437-bd01-4583-82f7-ff9e80c55157 ;
    dbc-measure:distance 3.516528e+03 ;
    sdmx-dimension:refArea <https://purl.org/dbcells/epsg4326#R0991> .
```

As linhas iniciais definem os prefixos, enquanto, a partir da linha 8, são estabelecidas as conexões com metadados relacionados ao *DataSet*. Poderiam ser adicionados outros metadados, de diferentes vocabulários, para enriquecer a descrição. O *DataSet* centraliza informações comuns a todas as observações, como os dados de origem e o script utilizados no cálculo da medida de distância. Os dados estão sendo publicados no repositório *data.world* (<https://data.world/lambdageo/>), organizados em dois projetos distintos: dados de cobertura, que reúnem informações sobre o uso e cobertura da terra, e fatores (*drivers*), que podem ser utilizados como explicadores das mudanças nesses usos, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resumo dos dois projetos publicados no *data.world* usando o Data Cube Vocabulary.

Projetos	Total de Triplas	Observações
Dados de Cobertura	2.966.868	726.488
Fatores (drivers)	870.499	207.568

Os dados de cobertura, referentes a diferentes anos, estão agrupados em: <https://data.world/lambdageo/lucmebrlanduse/>, com destaque para os dados de 2010, publicados no contexto deste trabalho. As classes de cobertura incluem, por exemplo, floresta, savana, pastagem plantada, agricultura, mosaico de ocupação e florestas plantadas. Já os fatores inicialmente disponibilizados, como a distância a rios e às sedes urbanas, estão organizados em: <https://data.world/lambdageo/lucmebrdrivers>.

Uma das principais vantagens dos dados conectados é permitir que diferentes conjuntos de dados, armazenados em coleções distribuídas em múltiplos servidores, possam ser integrados de forma transparente. Essa integração ocorre por meio de consultas SPARQL, que, utilizando a cláusula reservada SERVICE, acessam remotamente outros servidores triple store. Assim, os dados de modelos podem permanecer distribuídos, mas ser consultados de forma unificada. O Código abaixo exemplifica uma consulta que integra dados do Data.World e do DBCells.

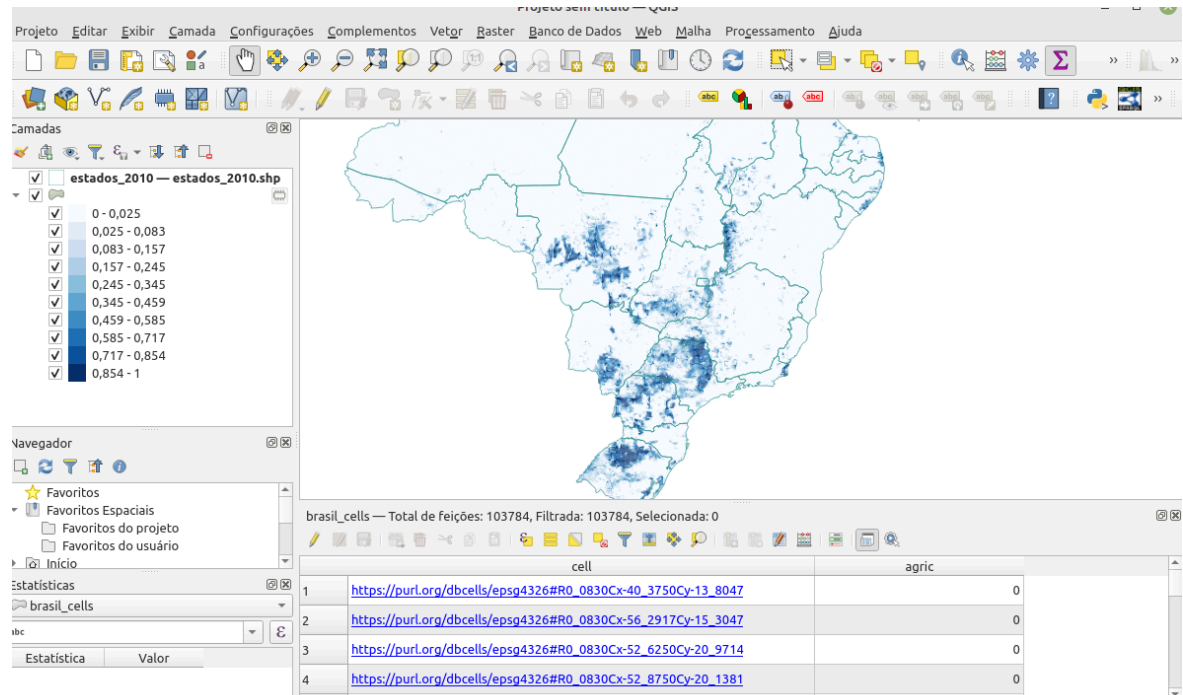
```

PREFIX dbc-measure: <http://www.purl.org/linked-data/dbcells/measure#>
PREFIX qb: <http://purl.org/linked-data/cube#>
PREFIX dbc-code: <http://www.purl.org/linked-data/dbcells/code#>
PREFIX dbc-attribute: <http://www.purl.org/linked-data/dbcells/attribute#>
PREFIX sdmx-dimension: <http://purl.org/linked-data/sdmx/2009/dimension#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>

SELECT ?cell ?agric ?wkt
where {
  SERVICE <https://dbcells-fuseki-production.up.railway.app/cells> {
    ?cell geo:asWKT ?wkt.  }
  ?s1 a qb:Observation;
    dbc-measure:mean ?agric;
    qb:dataSet ?ds1;
    sdmx-dimension:refArea ?cell.
  ?ds1 dbc-attribute:feature dbc-code:landcover-agric.
}
    
```

A consulta do Código acima irá carregar os dados de geometria do DBCells e a porcentagem de áreas de agricultura do *DataWorld*. Conforme demonstrado na Figura 6.

**Figura 6.** Visualização no QGIS do dado importado com legenda indicando o percentual de agricultura em cada célula



## CONCLUSÃO

Publicar dados de modelos de mudança de uso da terra representa um desafio significativo devido ao elevado volume, diversidade de formatos e variedade de sistemas envolvidos. A relevância desses modelos, que contribuem para a prevenção de desastres naturais e o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas, reforça a necessidade de superar as dificuldades associadas à publicação desses dados. Neste contexto, este artigo apresenta uma contribuição importante para um projeto de pesquisa que visa viabilizar a publicação, o reuso e a replicação desses modelos, fundamentado no paradigma dos dados conectados.

A principal contribuição deste trabalho foi a proposição de um vocabulário baseado no *RDF Data Cube*, que facilita o reuso dos dados de modelos de uso e cobertura da terra. O vocabulário estruturou-se a partir dos conceitos de medidas, dimensões e atributos, onde as dimensões englobam variáveis estáticas e resultados de operações espaciais (como média, soma, distância euclidiana e contagem). Por serem comuns a diversos modelos, essas medidas permitem o uso do vocabulário em múltiplos contextos, enquanto os atributos associados podem variar conforme o modelo. O conjunto de atributos proposto inclui informações essenciais, como a relação entre a medida, os dados originais e os scripts utilizados para seu cálculo, garantindo transparência e permitindo a reprodução dos processos.

Os dados foram publicados em um portal compatível com consultas SPARQL, possibilitando a integração com outros repositórios de dados conectados, como o DBCells. Para validar a proposta, já foram disponibilizados conjuntos de dados relacionados à cobertura e variáveis ambientais, com a previsão de publicação completa ao término do projeto. Entretanto, destaca-se a necessidade futura de desenvolver uma metodologia específica para avaliar e validar a reusabilidade do vocabulário apresentado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento **FAPEMA** e **CNPq** pelo apoio financeiro, por meio das bolsas de **Iniciação Científica (PIBIC)** e **Iniciação Tecnológica (PIBITI)** concedidas no decorrer deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] BEZERRA, F. G. S.; SOUSA, L. F.; MEDEIROS, L. F.; ANDRADE, M. J.; SILVA, R. M. New land-use change scenarios for Brazil: refining global SSPs with a regional spatially-explicit allocation model. *PLOS ONE*, v. 17, n. 4, p. 1–17, abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256052>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- [2] BEZERRA, J. S.; BEZERRA, D. Uso de autômatos celulares para entendimento dos impactos da elevação do nível do mar no litoral do Maranhão. *Multidebates*, v. 7, n. 1, p. 123–130, 2023.
- [3] BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. *Scientific American*, v. 284, n. 5, p. 28–37, 2001.
- [4] BIZER, C.; HEATH, T.; BERNERS-LEE, T. Linked Data: The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, v. 5, n. 3, p. 1–22, 2009.
- [5] CÂMARA, G.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; SOUZA, R. C. M. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 15, n. 6, p. 13–22, 2000.
- [6] CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. TerraLib: An open source GIS library for large-scale environmental and socio-economic applications. In: *Open Source Approaches in Spatial Data Handling*. Springer, 2008. p. 247–270.
- [7] CARNEIRO, T. G. S.; ANDRADE, P. R.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; PEREIRA, R. R. An extensible toolbox for modeling nature–society interactions. *Environmental Modelling & Software*, v. 46, p. 104–117, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213000534>. Acesso em: 10 jun. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.002>.
- [8] COSTA, S. S.; MOREIRA, E. G.; GARCIA, D. A. DBCells – an open and global multi-scale linked cells. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, 2017.

- [9] ESPINDOLA, G. M.; BROWN, D. G.; CARVALHO, C. J. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. *Applied Geography*, v. 32, n. 2, p. 240–252, mar. 2012.
- [10] ESRI. ArcGIS. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2024. Disponível em: <https://www.esri.com>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- [11] GARCIA, D. A.; COSTA, S. S.; MOREIRA, E. G. Publicação de dados conectados para modelos de uso e cobertura da terra. *Revista Geonorte*, v. 10, p. 77–94, 2019.
- [12] HEATH, T.; BIZER, C. *Linked Data: Evolving the Web into a Global Data Space*. San Rafael: Morgan & Claypool, 2011.
- [13] KAUPPINEN, T.; DE ESPINDOLA, G. M. Linked open science – communicating, sharing and evaluating data, methods and results for executable papers. *Procedia Computer Science*, v. 4, p. 726–731, 2011.
- [14] KAUPPINEN, T.; JANOWICZ, K.; HÄKKILÄ, J. Linked Brazilian Amazon Rainforest Data. *Semantic Web*, v. 5, n. 2, p. 151–155, 2014.
- [15] KUHN, W.; KAUPPINEN, T.; JANOWICZ, K. Linked Data – A Paradigm Shift for Geographic Information Science. p. 173–186, 2014.
- [16] LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. *Geographic Information Science and Systems*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.
- [17] MAZY, François-Rémi; LONGARETTI, Pierre-Yves. Towards a generic theoretical framework for pattern-based LUCC modeling: Allocation revisited: Formal foundations and bias identification. *Environmental Modelling & Software*, v. 166, p. 105706, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815223000920>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- [18] MOLLOY, J. C. The open knowledge foundation: Open data means better science. *PLoS Biology*, v. 9, n. 12, p. 1–4, 2011.

- [19] MOREIRA, E.; COSTA, S.; GARCIA, D.; FRITZ, S.; MOLINEROS, J. Dynamical coupling of multiscale land change models. *Landscape Ecology*, v. 24, n. 9, 2009.
- [20] MURRAY-RUST, P. Open data in science. *Serials Review*, v. 34, n. 1, p. 52–64, 2008.
- [21] PONTIUS, R. G.; MALDONADO, P.; GUO, Q.; ROME, M. Lessons and challenges in land change modeling derived from synthesis of cross-case comparisons. In: *Trends in spatial analysis and modelling*. Springer, 2018. p. 143–164.
- [22] QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. *Open Source Geospatial Foundation Project*, 2024. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- [23] REN, Yanjiao et al. Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. *Earth-Science Reviews*, v. 190, p. 398–415, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825218300059>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- [24] S. JUNIOR, N. de J.; COSTA, S. S.; SILVA, C. D. dos S. QGISSPARQL – Integrando Dados Conectados e Sistemas de Informação Geográfica. In: ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO DO CEARÁ, MARANHÃO E PIAUÍ – ERCEMAPI, 11., 2023, Aracati/CE. *Anais [...]*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.5753/ercemapi.2023.236248>.
- [25] VERBURG, Peter H. et al. Beyond land cover change: towards a new generation of land use models. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 38, p. 77–85, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343518301362>. Acesso em: 10 jun. 2025.