



Consistência Topológica de Dados Geoespaciais

Topological Consistency of Geospatial Data

Leandro Luiz Silva de França¹ e José Luiz Portugal²

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, Brasil. geoleandro.franca@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0863-1926>

² Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, Brasil. joseluiz.portugal@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6508-1687>

Recebido: 06.2021 | Aceito: 01.2022

Resumo: Para corretas análises e tomadas de decisões, baseadas em dados geoespaciais, é essencial que esses dados tenham sua confiabilidade e integridade atestadas. No que se refere à Consistência Lógica, ainda são poucas as normas e pesquisas que tratam do assunto de forma sistemática, não havendo um consenso sobre os procedimentos adequados para o controle de qualidade desta categoria. Consequentemente, alguns produtores de dados geoespaciais apresentam diversas dificuldades para garantir a integridade e consistência dos seus produtos cartográficos, devido à verificação inadequada dos relacionamentos lógicos, ocasionando retrabalhos com verificações repetidas e pouco eficientes. Este artigo, portanto, teve como finalidade documentar conceitos inerentes à avaliação da consistência topológica e apresentar exemplos práticos de validação aplicados em dados reais de produção cartográfica. A aplicação desta pesquisa ocorreu em um estudo de caso para um Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais (CDGV) do Projeto de Mapeamento do estado da Bahia, detalhando-se todo o procedimento metodológico para a validação topológica desses dados. Dos resultados, verificou-se uma quantidade considerável de inconsistências topológicas, indicando a necessidade de modernização dos procedimentos de validação pelos produtores de dados geoespaciais. No que se refere às contribuições deste trabalho, além da compilação de uma base teórica sobre a consistência topológica de dados geoespaciais, destaca-se também o desenvolvimento de soluções para a verificação das inconsistências com consultas SQL baseadas no software livre PostgreSQL e sua extensão espacial PostGIS.

Palavras-chave: Consistência Topológica. Controle de Qualidade. Topologia. Validação. PostGIS.

Abstract: For correct analysis and decision making, based on geospatial data, it is essential to attest the data's reliability and integrity. Regarding Logical Consistency, there are still few standards and research that address the subject in a systematic way, and there is no consensus on the proper procedures for quality control in this category. Consequently, geospatial data producers have several difficulties to ensure the integrity and consistency of their cartographic products, due to inadequate verification of logical relationships, causing rework with repeated and inefficient verifications. This article, therefore, aimed to document concepts inherent to the assessment of topological consistency and present practical examples of validation applied to real data from cartographic production. The application of this research took place in a case study for a Geospatial Vector Data Set (*Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais* – CDGV) of the Mapping Project of the State of Bahia, detailing the entire methodological procedure for the topological validation of these data. From the results, there was a considerable number of topological inconsistencies, indicating the need for modernization of validation procedures by geospatial data producers. Regarding the contributions of this work, in addition to the compilation of a theoretical basis on the topological consistency of geospatial data, besides the development of solutions for the verification of inconsistencies with SQL queries based on PostgreSQL free software and its spatial extension PostGIS.

Keywords: Topological Consistency. Quality control. Topology. Validation. PostGIS.

1 INTRODUÇÃO

Para os usuários avançados de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que necessitam realizar atividades que vão além da simples exploração visual dos dados como, por exemplo, análises de geoprocessamento, codificação, roteamento, mapas susceptibilidade etc., é necessário garantir as propriedades geométricas e a manutenção dos relacionamentos entre as feições (WADEMBERE; OGAO, 2014).

A detecção e correção completa dos erros é indispensável para provar que todos os procedimentos foram empregados, de forma que os dados geoespaciais modelem e representem adequadamente o mundo real, permitindo que estudos, consultas e análises sejam mais confiáveis.

Nesse contexto, a consistência topológica diz respeito à coerência das características topológicas explicitamente estabelecidas a um conjunto de dados (ISO, 2013).

Muito embora trabalhos para a implementação de restrições de integridade espaciais em banco de dados, como os apresentados por Borges et al. (2002), Stempliuc (2008) e Lizardo e Davis Jr. (2017) sejam ideais para a garantia da qualidade no processo de aquisição e alimentação do banco, verifica-se que essas restrições de integridade necessitam ser sistematicamente listadas como requisitos (ou regras) para a avaliação final do conjunto de dados (FRANÇA et al., 2020).

Ariza-López et al. (2019) afirmam que as regras lógicas podem ser verificadas por rotinas computacionais automáticas. Mas, para que essa validação ocorra, é necessário o detalhamento pormenorizado dos elementos de qualidade avaliados.

O intuito deste artigo é servir de referência para o desenvolvimento de procedimentos de controle de qualidade, no que se refere à validação da consistência topológica. A metodologia aqui desenvolvida surgiu no contexto do Mapeamento do Estado da Bahia, um projeto patrocinado pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI) e executado pelo Exército Brasileiro (EB).

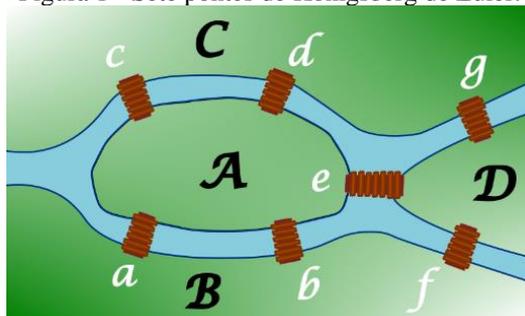
Desta forma, a pesquisa e aplicação da validação topológica foram feitas considerando as principais classes da categoria Hidrografia desse projeto, em um banco de dados na modelagem ET-EDGV 2.1.3. Dos resultados, verificou-se que o Gothic, um software de validação e correção dos dados vetoriais utilizado no Projeto de Mapeamento da Bahia pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) (PASSOS et al., 2017), tem se mostrado insuficiente para garantir a completa integridade dos dados.

Além da contribuição teórica, este trabalho também demonstra na prática como realizar a validação topológica, utilizando-se do software livre PostgreSQL com sua extensão espacial PostGIS, a partir de consultas em SQL, as quais estão abertamente disponíveis para que possam ser adaptadas e reutilizadas em outros projetos de mapeamento.

2 TOPOLOGIA PARA OS DADOS GEOESPACIAIS VETORIAIS

O termo topologia remonta ao século XVIII, mais precisamente 1736, onde Leonhard Euler, o fundador das bases da topologia e teoria dos grafos, solucionou o problema das sete pontes de Königsberg (Figura 1), atual Kaliningrado, exclave russo no mar Báltico. Euler provou, com base na topologia, que não era possível atravessar todas as pontes sem ter que cruzar uma delas pelo menos duas vezes (SHIELDS, 2012; ROMANHOLI; QUEIROZ FILHO, 2018).

Figura 1 - Sete pontes de Königsberg de Euler.



Fonte: Adaptada de Shields (2012).

De forma geral, a topologia pode ser definida como estudo das propriedades dos objetos, tais como adjacência, conectividade e continência (ROMANHOLI; QUEIROZ FILHO, 2018). As relações topológicas são fundamentais na definição de regras de integridade espacial, que especificam o comportamento geométrico entre os objetos (BORGES et al., 2001).

De acordo com Maraş et al. (2010), o dado vetorial vem sendo utilizado para representar feições geográficas devido a otimização de análises espaciais. O dado vetorial consiste em uma estrutura de pares de coordenadas, podendo ser divididas nas duas situações:

- a) Estrutura não-topológica (dados vetoriais sem topologia associada); e
- b) Estrutura topológica (dados vetoriais com topologia associada).

2.1 Estrutura não-topológica

O conjunto de feições geográficas em estrutura espaciais não-topológica, também denominada de estrutura espaguete (ou *spaghetti data structure*) (MARAŞ et al., 2010), representada as feições através de três formas geométricas (ponto, linha e polígono), de acordo com a escala de mapeamento.

As feições que são representadas pela geometria ponto são elementos zero-dimensionais (0D), sendo cada um deles definido por um par de coordenadas (x, y). As feições do tipo linha são unidimensionais (1D), sendo cada elemento definido por uma sequência de coordenadas (x, y). Já as feições do tipo polígono são bidimensionais (2D), sendo definidas por formas fechadas e compostas por linhas que começam e terminam no mesmo ponto.

Apesar da facilidade de criação e edição de dados vetoriais sem topologia nos diversos softwares de SIG, as estruturas não-topológicas podem conter uma série de problemas que dificultam a análise espacial dos dados (MARAŞ et al., 2010):

- a) Feições do tipo ponto podem não estar no ponto de interseção de linhas, por exemplo, ponte na interseção de rio e rodovia;
- b) Relacionamento de vizinhança entre feições pode não estar claro;
- c) Pontos de contato não coincidem, por exemplo, rio que não coincide com a borda de lago;
- d) Como a vizinhança entre dois polígonos é representada duas vezes, pode não haver total coincidência em todos os vértices, ocasionando problemas de sobreposição (*overlaps*) ou lacuna (*gaps*).
- e) Navegação não é possível quando o conceito de rede e direcionamento não está presente nas feições do tipo linha.

Siejka et al. (2013) apontam que o modelo vetorial simples (não-topológico) tem duas desvantagens básicas. Uma delas é a redundância de dados na duplicação de dados em fronteiras, onde um ponto pertence a dois ou mais objetos. Nesses casos, as coordenadas dos pontos são salvas em cada um desses objetos. A outra desvantagem significativa é que os relacionamentos espaciais entre os objetos só podem ser detectados através de métodos mais complexos de geometria analítica, ocasionando um maior custo computacional nas consultas.

2.2 Estrutura topológica

A topologia possibilita examinar características que vão além das informações geométricas das feições. O objetivo do conhecimento topológico em SIG é aumentar as oportunidades de análises espaciais, de forma a representar relações espaciais como vizinhança, coincidência, direção e ligações.

Na topologia, um nó (*node*) corresponde ao ponto; o arco (*edge*) é um elemento correspondente a linha; e o polígono (*face*). O arco é um conjunto de pares de coordenadas que começa com um nó e termina com um nó. O polígono, por sua vez, é um espaço bidimensional delimitado por arcos.

Há duas abordagens: topologia arco-nó, baseada em grafos e bastante utilizada para representar redes; e a arco-nó-polígono, que considera a área dos polígonos (CASANOVA et al., 2005). Tanto na abordagem arco-nó quanto arco-nó-polígono, a topologia pode ser compreendida como o relacionamento entre seus elementos (nós, arcos e polígonos), sendo um meio de definir relacionamentos espaciais, em adição aos relacionamentos métricos geometricamente identificáveis (MARAŞ et al., 2010).

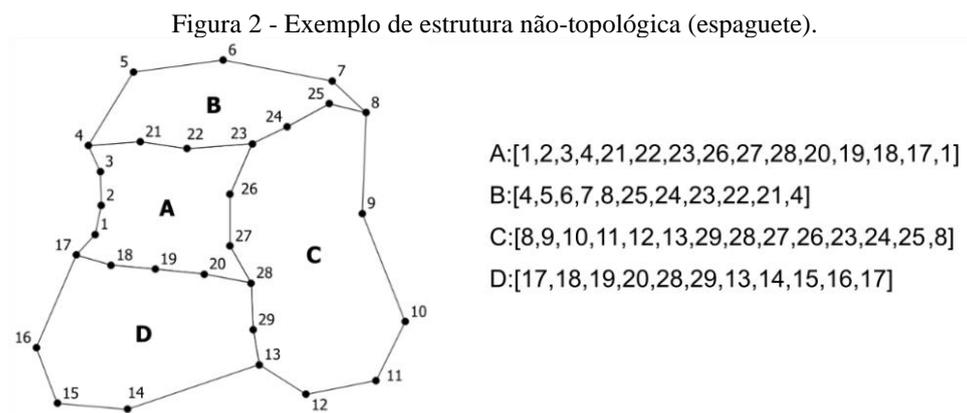
Referente à topologia arco-nó-polígono, para que um banco de dados geoespaciais tenha uma estrutura

topológica, os seguintes elementos devem ser determinados e armazenados:

- a) Arcos que definem as fronteiras de cada polígono (na tabela topologia de polígono);
- b) Relação de vizinhança entre polígonos (na tabela topologia de arco);
- c) Conexão nos pontos de interseção (na tabela topologia de nó); e
- d) Pontos inicial e final dos arcos (na tabela arco-coordenadas).

2.3 Comparação entre estruturas não-topológicas e topológicas

A Figura 2 apresenta um exemplo de estrutura não-topológica (espaguete), verificando-se, à esquerda, os polígonos A, B, C e D e, à direita o identificador dos pontos utilizados para a construção de cada polígono. Observa-se que cada polígono é representado por um laço (*loop*), representado por uma sequência de pontos.

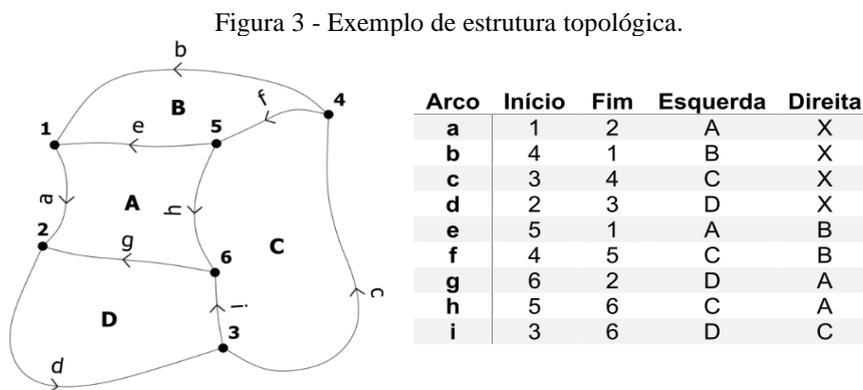


Fonte: Adaptada de Cao (2014).

Na estrutura não-topológica, não há representação explícita das relações topológicas entre as feições como, por exemplo, de adjacência. Além disso, verifica-se a redundância de dados para os pontos compartilhados por dois ou mais polígonos.

A Figura 3 é um exemplo de estrutura topológica das feições A, B, C e D, sendo “X” o polígono “universo”. A partir desta figura, as seguintes propriedades são observadas:

- a) cada arco tem exatamente um nó inicial e final;
- b) cada nó pode ser inicial ou final (ou ambos) de pelo menos um arco direcional;
- c) cada polígono é cercado por um ou mais arcos;
- d) Arcos podem se interceptar apenas nos seus nós;
- e) Cada arco direcionado deve ter apenas uma face à direita ou à esquerda.



Fonte: Adaptada de Cao (2014).

Nos bancos de dados, as propriedades topológicas podem ser armazenadas e utilizadas para diversas consultas como a conexão de linhas, pontos de rede e feições que se encontram à direita ou esquerda de feições lineares.

Entretanto, a existência de dados topológicos, em adição aos dados não-topológicos e seus atributos, pode causar um aumento considerável no volume do banco de dados geográficos, além de prejudicar fortemente o desempenho em operações de inclusão, alteração e exclusão de dados pela necessidade de se manter as estruturas topológicas *winged-edge* (BAUMGART, 1975) atualizadas. Operações comuns, que dependessem do uso da geometria completa de objetos, seriam também prejudicadas pela necessidade de junção (*join*) entre as tabelas de pontos, arcos e faces.

Quando a vetorização de dados não-topológicos é realizada obedecendo-se a construção topológica para os arcos em comum (França et al., 2018), é possível garantir a qualidade, dentro outras vantagens:

- a) Ganho de tempo (evitando-se a vetorização duplicada e fronteiras comuns);
- b) Garantia que os polígonos compartilham a mesma fronteira;
- c) Fronteiras serão representadas sem pontos repetidos;
- d) Rápido processamento dos dados; e
- e) Redução de custos.

Atualmente, a representação dos dados geográficos como estruturas não-topológicas se torna a opção mais viável para a avaliação da consistência topológica por seguir os padrões da *Open Geospatial Consortium* (OGC) (STOLZE, 2003; HERRING, 2011), que estabelece a *Dimensionally-Extended Nine-Intersection Model* (DE-9IM) como base para a verificação das restrições de integridade no relacionamento espacial entre feições (LIZARDO; DAVIS JR.,2017).

3 RELACIONAMENTO TOPOLÓGICO COM USO DA MATRIZ DE-9IM

No contexto de SIG, a topologia é compreendida como o posicionamento relativo entre feições, onde a consistência topológica está relacionada à verificação da adequação dos relacionamentos espaciais de suas geometrias às situações identificadas no mundo real.

A despeito de como os dados vetoriais estão estruturados, o entendimento dos relacionamentos entre as geometrias é essencial para a execução de análises espaciais. Estes relacionamentos são definidos através de operadores topológicos (EGENHOFER et al., 1993).

Os diversos tipos de relacionamentos espaciais entre feições podem ser determinados através da matriz DE-9IM, em português, matriz das 9 interseções dimensionalmente estendidas (CLEMENTINI; DI FELICE, 1995).

A DE-9IM é aplicada a geometrias de feições armazenadas em estruturas vetoriais não-topológicas. O resultado da DE-9IM foi estabelecido pela *Open Geospatial Consortium* (OGC) como base para a implementação das funções de relacionamento espacial nos SGBD (LIZARDO; DAVIS JR.,2017).

A matriz DE-9IM é resultante das interseções do interior (I), fronteira (B) e exterior (E) de duas geometrias analisadas. O interior, fronteira e exterior para as geometrias ponto, linha e polígono são:

- a) I(ponto) = ponto;
- b) I(linha) = todos os pontos da linha, excluindo os pontos inicial e final no caso de linha aberta;
- c) I(polígono) = os pontos dentro da fronteira;
- d) B(ponto) = \emptyset
- e) B(linha) = os pontos inicial e final de linha aberta ou \emptyset para linhas fechadas;
- f) B(polígono) = anéis (linhas) que compõe o polígono;
- g) E(pontos, linhas ou polígonos) = o que não é interior ou fronteira.

A Figura 4 apresenta a configuração da matriz M resultante das interseções entre interior, fronteira e exterior de uma geometria A em relação a geometria B.

Figura 4 - Matriz DE-9IM.

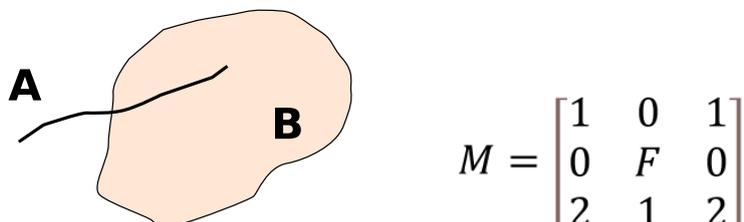
$$M = \begin{bmatrix} I(A) \cap I(B) & I(A) \cap B(B) & I(A) \cap E(B) \\ B(A) \cap I(B) & B(A) \cap B(B) & B(A) \cap E(B) \\ E(A) \cap I(B) & E(A) \cap B(B) & E(A) \cap E(B) \end{bmatrix}$$

Fonte: Adaptada de Clementini e Di Felice (1995).

A DE-9IM pode ser aplicada a objetos espaciais de diferentes dimensões (BORRMANN; RANK, 2009). No caso de uma geometria A interceptar outra geometria B, é retornado o valor 0, 1 ou 2, de acordo com a dimensão da interseção (ponto, linha e polígono, respectivamente).

A Figura 5 é um exemplo de resultado da matriz DE-9IM para uma configuração entre uma geometria A do tipo linha e outra geometria B do tipo polígono. Quando não há interseção, o resultado é “F” (para *false*); já no caso de contrário (*true*), é retornado a dimensão da interseção.

Figura 5 - Exemplo de resultado da matriz DE-9IM.



Elaboração: Os autores (2021).

Os operadores topológicos, também denominados de predicados topológicos (BORRMANN ; RANK, 2009), retornam o valor booleano “True” se o resultado de M for classificado nos possíveis esquemas de relações espaciais, verificando-se situações como: intercepta, toca, cruza, contém, dentro de, disjunto, igual, sobrepõe, entre outros predicados espaciais.

O Quadro 1 apresenta o padrão de valores aceitos da matriz DE-9IM para os principais predicados topológicos. Quando o caractere “T” é utilizado, significa que pode ser aceito qualquer dimensão (0, 1 ou 2). Já quando é utilizado o caractere asterisco (*), significa que pode ser qualquer valor “T” ou “F”.

Quadro 1 - Padrão de matriz DE-9IM para os principais predicados topológicos.

Predicado Topológico	Padrão de Matriz
A.Equals(B)	$\begin{bmatrix} T & * & F \\ * & * & F \\ F & F & * \end{bmatrix}$
A.Disjoint(B)	$\begin{bmatrix} F & F & * \\ F & F & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$
A.Intersects(B)	$\begin{bmatrix} T & * & * \\ * & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} * & T & * \\ * & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} * & * & * \\ T & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} * & * & * \\ * & T & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$
A.Touches(B)	$\begin{bmatrix} F & T & * \\ * & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} F & * & * \\ * & T & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} F & * & * \\ T & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$
A.Crosses(B)	$\begin{bmatrix} T & * & T \\ * & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} T & * & * \\ * & * & * \\ T & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} 0 & * & * \\ * & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$
A.Overlaps(B)	$\begin{bmatrix} T & * & T \\ * & * & * \\ T & * & * \end{bmatrix}$ or $\begin{bmatrix} 1 & * & T \\ * & * & * \\ T & * & * \end{bmatrix}$
A.Within(B)	$\begin{bmatrix} T & * & F \\ * & * & F \\ * & * & * \end{bmatrix}$
A.Contains(B)	$\begin{bmatrix} T & * & * \\ * & * & * \\ F & F & * \end{bmatrix}$

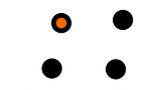
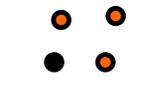
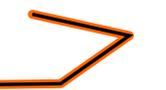
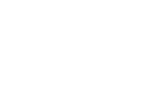
Fonte: Strobl (2017).

Retornando atenção à situação da Figura 5, e comparando com as possibilidades do Quadro 1, fica evidente que a geometria A intercepta a geometria B, bem como A cruza B.

Os operadores topológicos também podem ser utilizados com geometrias multipartes. Algumas possibilidades de operadores de acordo com os tipos de geometria são apresentadas no Quadro 2. Em todos os casos um tipo de geometria A, na cor preta, é relacionada a uma segunda geometria B, na cor laranja.

Quadro 2 - Exemplos de operadores topológicos.

Continua

Operador Topológico	Exemplo		
<p>• Toca (<i>touches</i>): testa se uma geometria A toca uma geometria B, ou seja, checa se as geometrias possuem pelo menos um ponto em comum, desde que seus interiores não se interceptem.</p>	 Point/Linestring	 Linestring/Linestring	 Multipoint/Linestring
	 Point/Polygon	 Linestring/Polygon	 Multipoint/Polygon
<p>• Sobrepõe (<i>overlaps</i>): testa se uma geometria A sobrepõe outra geometria B de mesma dimensão. As geometrias possuem alguns, mas não todos os pontos em comum.</p>	 Linestring/Linestring	 Polygon/Polygon	 Multipoint/Multipoint
<p>• Contém (<i>contains</i>): testa se uma geometria A contém outra geometria B, ou seja, todos os pontos da geometria B são ponto da geometria A e os interiores das duas geometrias têm pelo menos um ponto em comum. É o equivalente a “B dentro de A”.</p>	 Multipoint/Point	 Multipoint/Multipoint	 Linestring/Point
	 Linestring/Multipoint	 Polygon/Point	 Polygon/Multipoint
<p>• Igual (<i>equals</i>): testa se uma geometria é igual a outra, ou seja, os interiores se interceptam e nenhuma parte do interior ou fronteira de uma geometria intercepta o exterior da outra.</p>	 Point/Point	 Linestring/Linestring	 Polygon/Polygon
	 Multipoint/Multipoint	 Multilinestring/Multilinestring	 Multipolygon/Multipolygon
	 Point/Point	 Point/Linestring	 Point/Polygon
	 Point/Multipoint	 Multipoint/Multipoint	 Multipoint/Linestring
	 Multipoint/Polygon	 Linestring/Polygon	 Polygon/Polygon

Operador Topológico	Exemplo			Conclusão
<p>• Cruza (<i>crosses</i>): testa se uma geometria cruza outra geometria específica. As geometrias têm alguns, mas, não todos os pontos interiores em comum.</p>	 <p>Multipoint/Linestring</p>	 <p>Multipoint/Polygon</p>	 <p>Linestring/Linestring</p>	 <p>Linestring/Polygon</p>
<p>• Dentro de (<i>within</i>): testa se uma geometria A está dentro da geometria B. Todos os pontos da geometria A é um ponto da geometria B e os interiores de ambas possuem pelo menos um ponto em comum. É o equivalente a “B contém A”.</p>	 <p>Point/Multipoint</p>	 <p>Multipoint/Multipoint</p>	 <p>Point/Linestring</p>	 <p>Multipoint/Polygon</p>
	 <p>Multipoint/Linestring</p>	 <p>Point/Polygon</p>	 <p>Multipoint/Polygon</p>	 <p>Polygon/Polygon</p>

Fonte: Adaptado de Esri (2010).

4 VALIDAÇÃO TOPOLÓGICA

No processo de validação topológica, é comum se deparar com geometrias inválidas ou, até mesmo, geometrias construídas com configuração inadequada à representação cartográfica da feição geográfica para uma escala de mapeamento. Essas geometrias impossibilitam, ou induzem ao erro, a determinação de relacionamentos espaciais, bem como qualquer outra análise de geoprocessamento ou medições geométricas como área ou perímetro.

Para melhor entendimento do processo de validação topológica, considerando-se os tipos de inconsistências e o fluxo de verificação, foram definidos neste trabalho os seguintes níveis de validação:

- a) Validação da geometria: objetiva checar validade da geometria de acordo com as *Simple Feature Specifications* (SFS) da OGC e outras regras de construção da geometria exigidas pelo modelo.
- b) Validação intraclasse (interna): objetiva identificar inconsistências topológicas entre feições de uma mesma classe (IBGE, 2017).
- c) Validação interclasse (externa): objetiva identificar inconsistências topológicas entre feições de classes diferentes (IBGE, 2017).

Os dados geoespaciais devem ser construídos (ou estruturados) de acordo com o modelo de dados e todas as inconsistências nas geometrias (seja de forma ou posição relativa dos vértices) devem ser verificadas e reparadas de forma a buscar representar adequadamente uma feição do mundo real.

As inconsistências topológicas estão relacionadas ao posicionamento relativo entre as feições dentro da mesma classe (intraclasse) ou em classes diferentes (interclasse), de forma a atenderem o significado do relacionamento espacial entre os objetos. Essa verificação pode ser feita através da criação de estruturas topológicas, mas o mais comum é a utilização de métodos analíticos baseados na matriz DE-9IM.

No caso deste trabalho, o processo de validação dos dados foi realizado em estruturas não-topológicas, buscando-se analisar a topologia entre as feições através de operadores topológicos, baseados na matriz DE-9IM.

4.1 Validação interclasses (externa)

Na validação interclasse são verificadas regras topológicas entre as feições de classes distintas. Para que a execução desta validação seja efetiva, é essencial que a validação intraclasse e das geometrias sejam executadas preliminarmente.

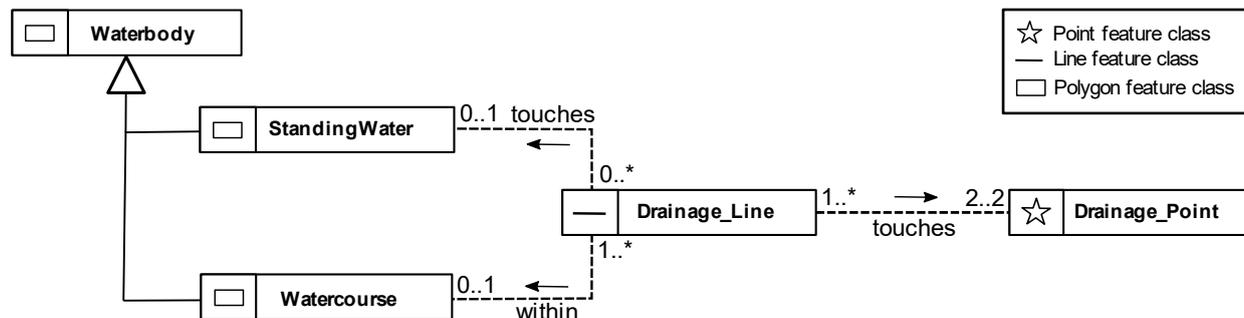
Os relacionamentos espaciais entre as feições de classes distintas podem ser indicados nos diagramas do modelo conceitual pelo seu nome convencional (por exemplo, *contains*, *touches* etc.) ou, em casos mais específicos, por restrições baseadas diretamente nos resultados da matriz DE-9IM (Lizardo ; Davis Jr., 2017).

Os relacionamentos espaciais são caracterizados pela cardinalidade. A cardinalidade representa o número de instâncias de uma classe que pode estar associadas a instâncias de outra classe (BORGES et al., 2005).

A notação de cardinalidade adotada pelo modelo OMT-G é baseada na *Unified Modeling Language* (UML) (DAVIS JR.; LAENDER, 2000), onde são indicados o valor mínimo e máximo, separados por dois pontos consecutivos. O asterisco é utilizado quando se deseja simbolizar o valor máximo como “muitos”, por exemplo em: 1..*, onde lê-se: “um a muitos”.

A Figura 6 apresenta um diagrama de modelo conceitual em OMT-G para representar algumas classes de uma bacia hidrográfica. Neste diagrama é possível observar os principais relacionamentos espaciais entre as classes e suas cardinalidades.

Figura 6 - Relacionamentos espaciais entre classes e suas cardinalidades.



Elaboração: Os autores (2021).

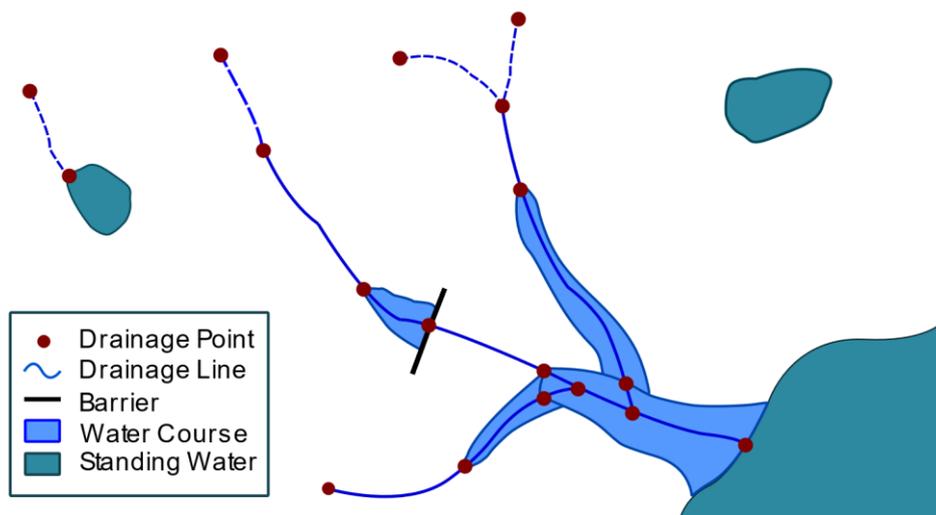
Da Figura 6, observa-se que as classes “Trecho de Massa d’água – *Watercourse*” e “Massa d’água – *StandingWater*” se generalizam em “Corpo d’água – *Waterbody*”. O Quadro 3 apresenta a descrição das classes apresentadas na Figura 6. A Figura 7 ilustra alguns casos dessas classes.

Quadro 3 - Descrição das classes hidrográficas.

Classe	Geometria	Descrição
Ponto de Drenagem <i>Drainage_Point</i>	Ponto	Ponto de conectividade entre linhas de drenagem definidos pelos seus pontos inicial e final.
Trecho de Drenagem <i>Drainage_Line</i>	Linha	Representação linear do fluxo principal de um corpo d’água.
Corpo d’água <i>Waterbody</i>	Polígono	Superfície com acumulação significativa de água para uma determinada escala. Ela pode ser classificada em “Massa d’água – <i>Standing Water</i> ” (lagos, lagoas, oceanos etc.) e “Trecho de massa d’água – <i>Water Course</i> ” (rios, córregos, canais etc.), de acordo com a existência de fluxo de água.

Elaboração: Os autores (2021).

Figura 7 - Configuração dos relacionamentos entre classes hidrográficas.



Elaboração: Os autores (2021).

Embora o modelo conceitual torne explícito os principais relacionamentos espaciais, deixando-os mais compreensíveis, outras regras podem estar implicitamente definidas como parte do significado das feições, podendo ser deduzidas do modelo (LIZARD; DAVIS JR., 2017).

Do diagrama da Figura 6, por exemplo, está definida a seguinte relação: um trecho de drenagem (*drainage_line*) deve estar dentro de 0 ou 1 trecho de massa d’água (*watercourse*). No entanto a mesma relação, no sentido oposto, pode ser interpretada, ou seja, um trecho de massa d’água deve conter 1 ou muitos trechos de drenagem.

Muitas regras topológicas podem ser estabelecidas de forma a garantir a integridade dos dados, podendo o número de regras ser não exaustivo (FRANÇA et al., 2020).

O Quadro 4 lista, baseadas nas classes apresentadas na Figura 6, regras topológicas que devem (ou não) ocorrer, considerando-se determinada cardinalidade.

Quadro 4 - Exemplos de regras para validação interclasse.

Regra	Classe 1	Deve	Topologia	Classe 2	Cardinalidade
01	Trecho_Drenagem	sim	<i>touches</i>	Massa_Dagua	0..1
02	Trecho_Drenagem	sim	<i>within</i>	Trecho_Massa_Dagua	0..1
03	Trecho_Drenagem	sim	<i>touches</i>	Ponto_Drenagem	2..2
04	Trecho_Massa_Dagua	sim	<i>contains</i>	Trecho_Drenagem	1..*
05	Ponto_Drenagem	sim	<i>touches</i>	Trecho_Drenagem	1..*
06	Ponto_Drenagem	não	<i>within</i>	Massa_Dagua	1..*
07	Trecho_Drenagem	não	<i>crosses</i>	Massa_Dagua	1..*
08	Massa_Dagua	não	<i>intersects</i>	Trecho_Massa_Dagua	1..*

Elaboração: Os autores (2021).

Observa-se que as regras 04 e 05 correspondem respectivamente às regras 02 e 03 no sentido oposto. Já as regras 06, 07 e 08 são exemplos de regras para checar situações que não devem ocorrer, que embora não estejam explícitas no modelo de dados, são consensos do entendimento do mundo real.

É importante salientar que todas as regras topológicas devem constar no esquema conceitual ou, pelo menos, no dicionário de dados, de forma a otimizar os critérios de checagem e garantia da integridade dos dados. A documentação dessas regras nas especificações técnicas do conjunto de dados, principalmente quando requeridas em contratos, eliminará qualquer subjetividade no processo de avaliação da qualidade.

Em termos práticos, as inconsistências na validação interclasse podem ser identificadas por consultas em SQL. A Figura 8 mostra um exemplo de consulta SQL do PostGIS, que pode ser aplicada à regra 04 do Quadro 4, para identificar os polígonos que não contém pelo menos uma linha.

Figura 8 - Consulta SQL para identificar inconsistências topológicas entre classes.

```

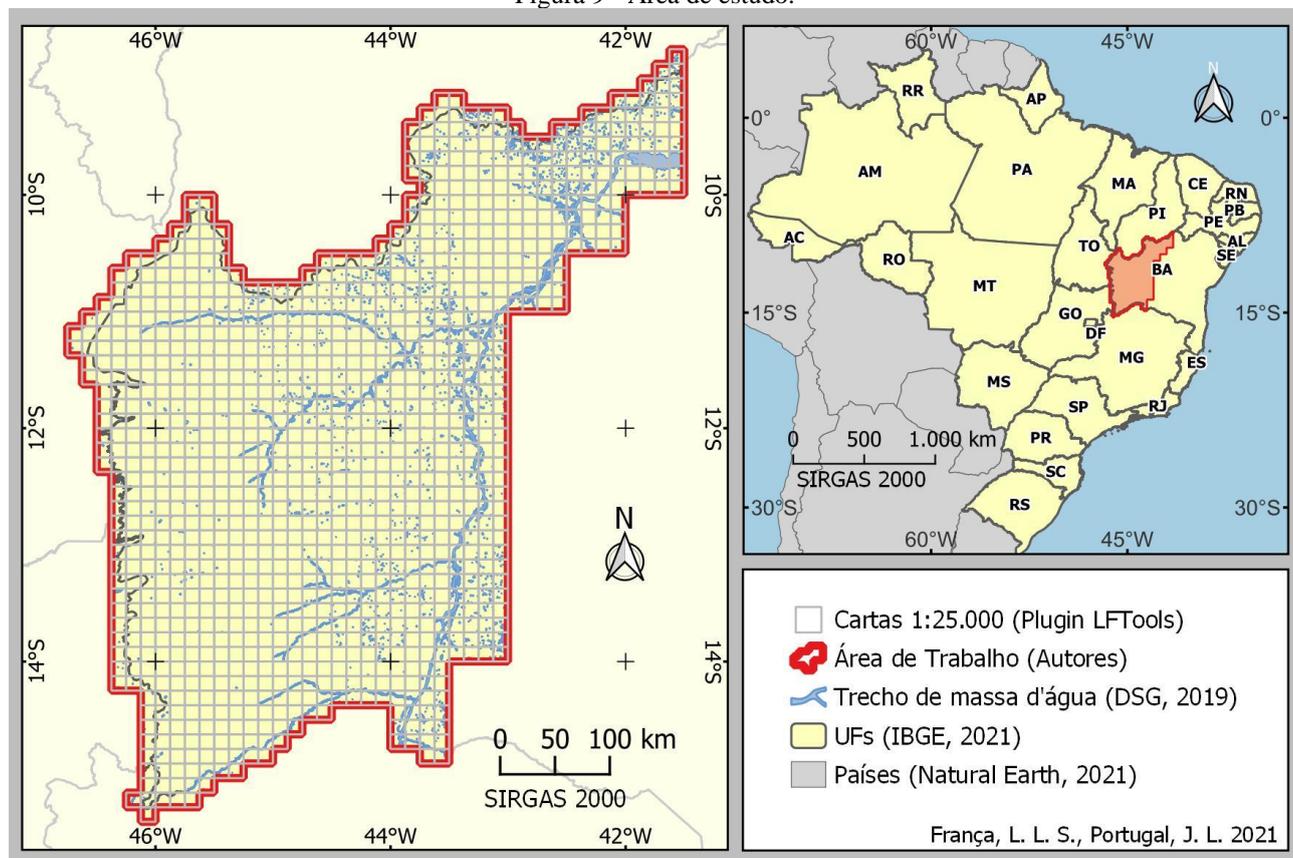
1 SELECT
2 V.id AS id,
3 V.geom AS geom
4 --,'hid_trecho_massa_dagua_a deve conter pelo menos 1 feição da classe hid_trecho_drenagem_l' AS erro_msg
5 FROM(
6     SELECT
7         C.id AS id,
8         C.geom AS geom,
9         sum(C.relation::int) AS n_elems
10    FROM(
11        SELECT
12            T1.id AS id,
13            T1.geom AS geom,
14            st_contains(T1.geom, T2.geom) AS relation -- relação topológica
15        FROM cb.hid_trecho_massa_dagua_a T1, cb.hid_trecho_drenagem_l T2 -- classes
16        ) C
17    GROUP BY C.id, C.geom
18 ) V
19 WHERE n_elems = 0; -- cardinalidade
    
```

Elaboração: Os autores (2021).

5 METODOLOGIA

A área de estudo será o oeste do estado da Bahia, cujo mapeamento topográfico foi executado pelo Exército Brasileiro entre 2010 e 2019 no Projeto de Mapeamento do Estado da Bahia. A Figura 9 identifica cartograficamente a área de mapeada.

Figura 9 - Área de estudo.



Elaboração: Os autores (2021).

Esta área tem o total de 209.923,5 Km² e corresponde a um total de 1.116 cartas topográficas na escala 1:25.000, seguindo o mapeamento sistemático brasileiro (FRANÇA et al., 2017; FRANÇA; FERREIRA DA

SILVA, 2018; PASSOS; FRANÇA, 2018; FRANÇA et al., 2019).

O material avaliado consiste no CDGV da área de estudo, no formato “.sql” correspondente ao backup de banco PostGIS, na modelagem das Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), versão 2.1.3 (CONCAR, 2017).

Esses dados são públicos e disponibilizados tanto através do Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx), assim como pelo geoportal da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais do estado da Bahia (SEI, 2021).

Os dados foram trabalhados utilizando o SGBD PostgreSQL, v. 10.11, com sua extensão espacial PostGIS, v.2.5.1, sendo os mapas elaborados com o software QGIS 3.16 e as avaliações, análises e relatórios feitos baseados em consultas em SQL implementadas para este trabalho.

Do CDGV do oeste baiano foram selecionadas para a avaliação as seguintes classes de feições para avaliação:

- a) Ponto de drenagem (*Ponto_Drenagem*): ponto de conectividade entre dois trechos de drenagem ou mais;
- b) Trecho de drenagem (*Trecho_Drenagem*): corresponde a um corpo d’água, cuja geometria do tipo linha representa o fluxo d’água, permanente ou temporário, contido ou coincidente com um trecho de massa d’água capturado como linha, em função da escala de aquisição;
- c) Massa d’água (*Massa_Dagua*): corpo d’água representado por polígono, tais como oceano, baías, enseadas, meandros abandonados, lagos, lagoas, e os açudes que não possuam fluxo d’água; e
- d) Trecho de massa d’água (*Trecho_Massa_Dagua*): segmentos de cursos d’água representados por polígonos, que possuem fluxo d’água.

Na avaliação da consistência topológica, foram verificadas as regras 01 a 08, já listada anteriormente no Quadro 4. Os arquivos SQL utilizados na validação topológica estão disponíveis para *download* através de consultas SQL (FRANÇA, 2021).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de feições por classe avaliada do CDGV da área de estudo, na modelagem ET-EDGV v.2.1.3, é dado pela Tabela 1.

Tabela 1 - Número de feições por classe avaliada.

Classe	Nome da classe no BD	Número de Feições
Ponto de drenagem	Ponto_Drenagem	17.051
Trecho de drenagem	Trecho_Drenagem	248.809
Massa d’água	Massa_Dagua	5.735
Trecho de massa d’água	Trecho_Massa_Dagua	3.654

Elaboração: Os autores (2021).

A quantidade e percentual de inconsistências encontradas para as regras topológicas interclasses, definidas no Quadro 4, são dados na Tabela 2.

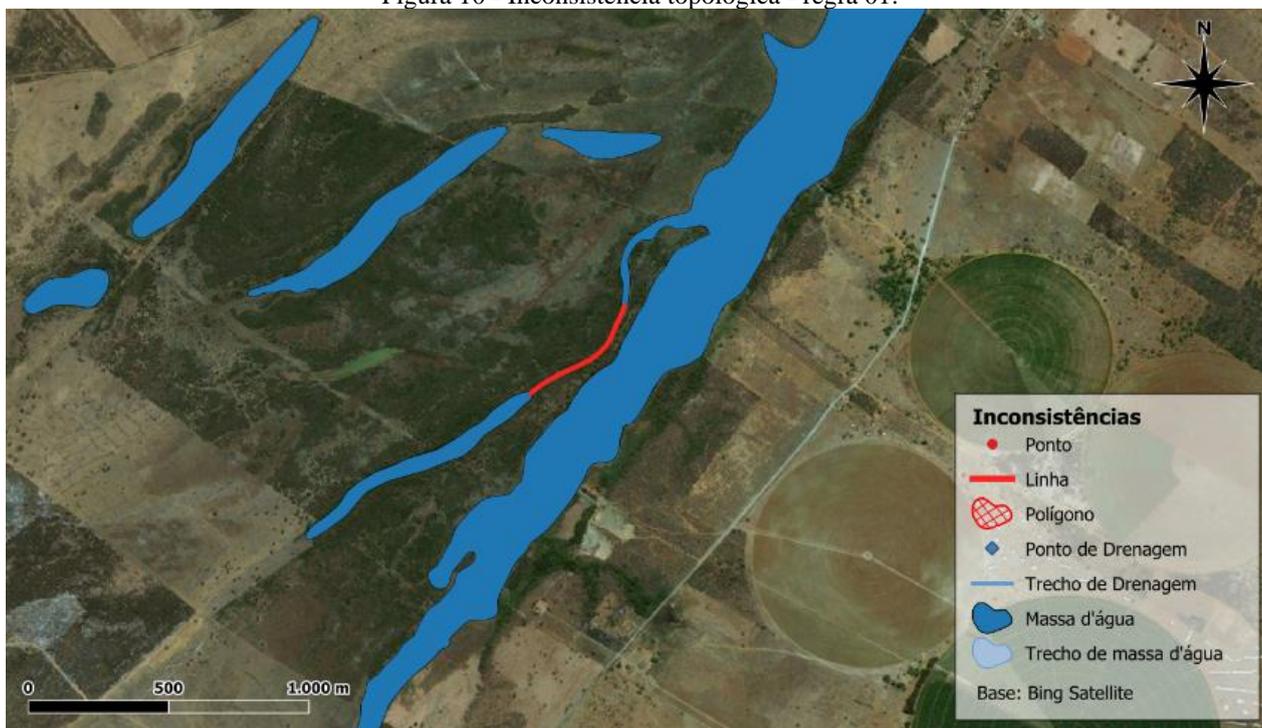
Tabela 2 - Total de inconsistências para as regras interclasses.

Regra	Descrição	# Inconsistências e Percentual
01	Trecho_Drenagem deve tocar 0 ou 1 feição da classe Massa_dagua_a.	1 (0,00%)
02	Trecho_Drenagem deve estar dentro de 0 ou 1 feição da classe Trecho_Massa_Dagua.	0 (0,00%)
03	Trecho_Drenagem deve tocar exatamente 2 feições da classe Ponto_Drenagem.	244.705 (98,35%)
04	Trecho_Massa_Dagua deve conter pelo menos 1 feição da classe Trecho_Drenagem.	649 (17,76%)
05	Ponto_Drenagem deve tocar pelo menos 1 feição da classe Trecho_Drenagem.	3.452 (20,25%)
06	Ponto_Drenagem NÃO deve estar dentro de mais de 0 feição da classe Massa_Dagua.	0 (0,00%)
07	Trecho_Drenagem NÃO deve cruzar de mais de 0 feição da classe Massa_Dagua.	18 (0,01%)
08	Massa_Dagua NÃO deve interceptar mais de 0 feição da classe Trecho_Massa_Dagua.	5 (0,09%)

Elaboração: Os autores (2021).

Para a inconsistência da regra 01 foi encontrada uma única ocorrência (Figura 10), onde um trecho de drenagem toca em duas massas d’água, o que caracterizaria um fluxo de água entre elas, infringindo à regra do modelo conceitual.

Figura 10 - Inconsistência topológica - regra 01.

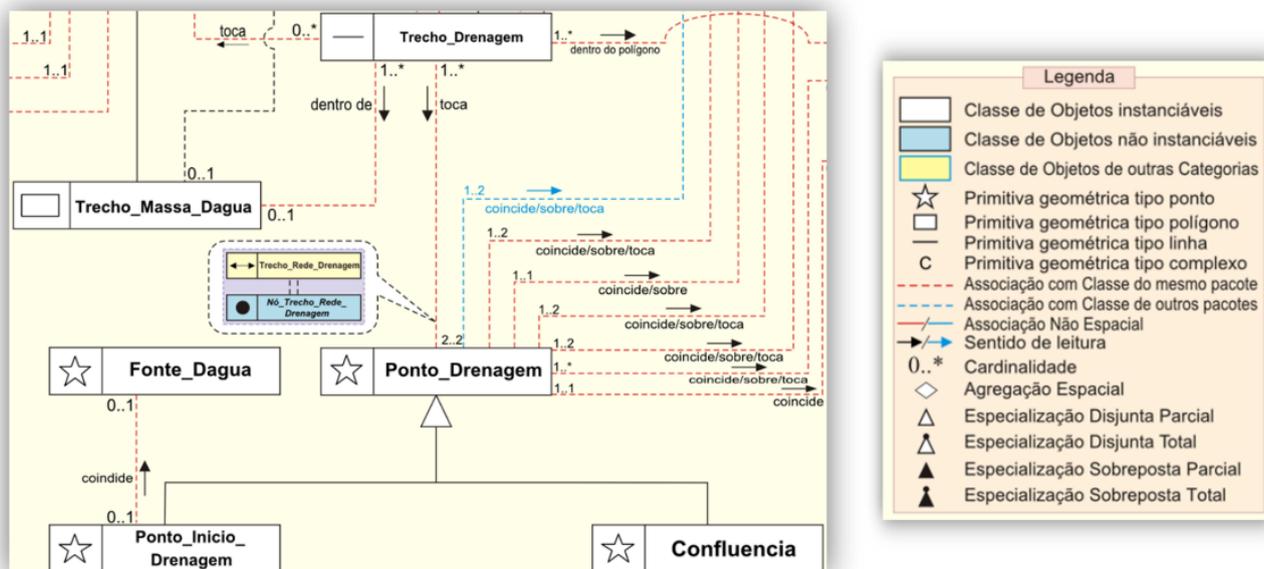


Elaboração: Os autores (2021).

Na validação da regra 02, nenhum caso de inconsistência foi encontrado, tendo em vista que somente linhas estivessem dentro de 2 ou mais polígonos dos trechos de massa d’água seriam identificadas.

Para as inconsistências da regra 03, foi verificado que os pontos de “confluência” e “início de drenagem” não constam na classe “ponto de drenagem”, conforme previsto na ET-EDGV 2.1.3 (Figura 11). Esse problema no banco de dados fez com que mais de 98% dos trechos de drenagem estejam inconsistentes nesta regra (Figura 12).

Figura 11 - Relacionamento entre “Trecho de Drenagem” e “Ponto Drenagem”, conforme a ET-EDGV.



Fonte: CONCAR (2010).

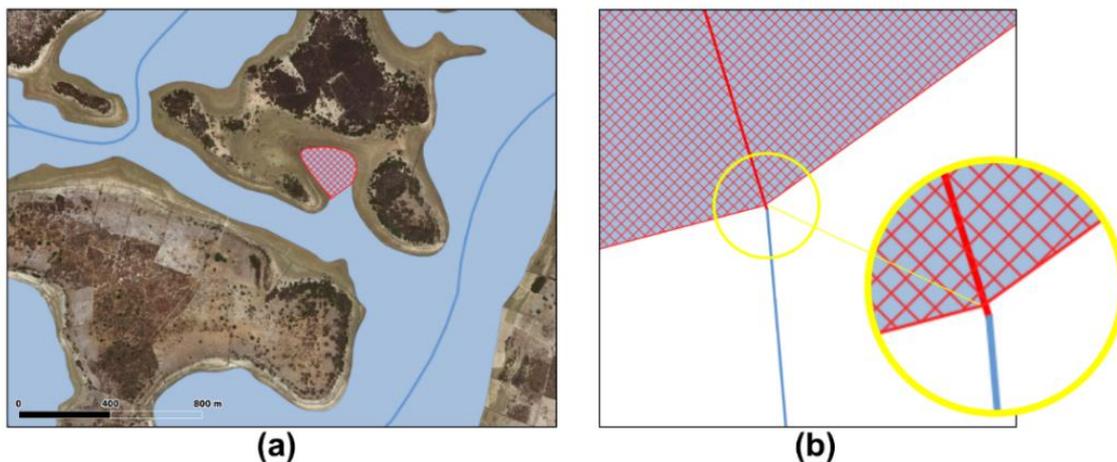
Figura 12 - Inconsistências topológicas - regra 03.



Elaboração: Os autores (2021).

Na validação da regra 04, verificou-se raros casos de polígonos da classe “Trecho de Massa D’água” que realmente não sejam atravessados por um trecho de drenagem, como mostrado na Figura 13(a). No entanto, a maior causa das inconsistências está relacionada à falta de precisão das coordenadas das feições, fazendo com que a geometria linha não esteja completamente dentro do polígono, como mostrado na Figura 13(b).

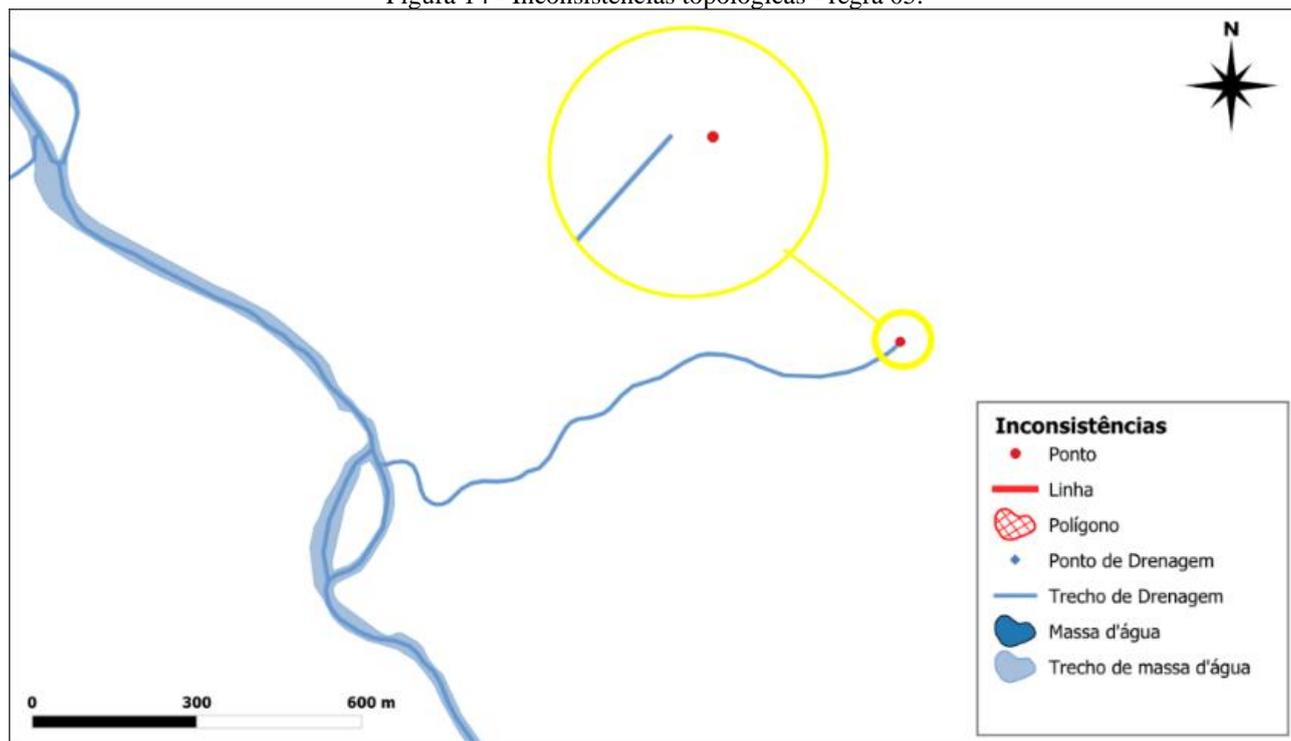
Figura 13 - Inconsistências topológicas – regra 04 (a) polígono que não contém linha; (b) polígono que não contém totalmente a linha por precisão das coordenadas.



Elaboração: Os autores (2021).

Na validação da regra 05, não foi identificado ponto de drenagem “isolado”, ou seja, sem estar relacionado com uma linha da classe Trechos de Drenagem. Entretanto, o motivo das inconsistências encontradas pela consulta SQL está relacionado à precisão das coordenadas de alguns pontos, conforme verificado na Figura 14.

Figura 14 - Inconsistências topológicas - regra 05.

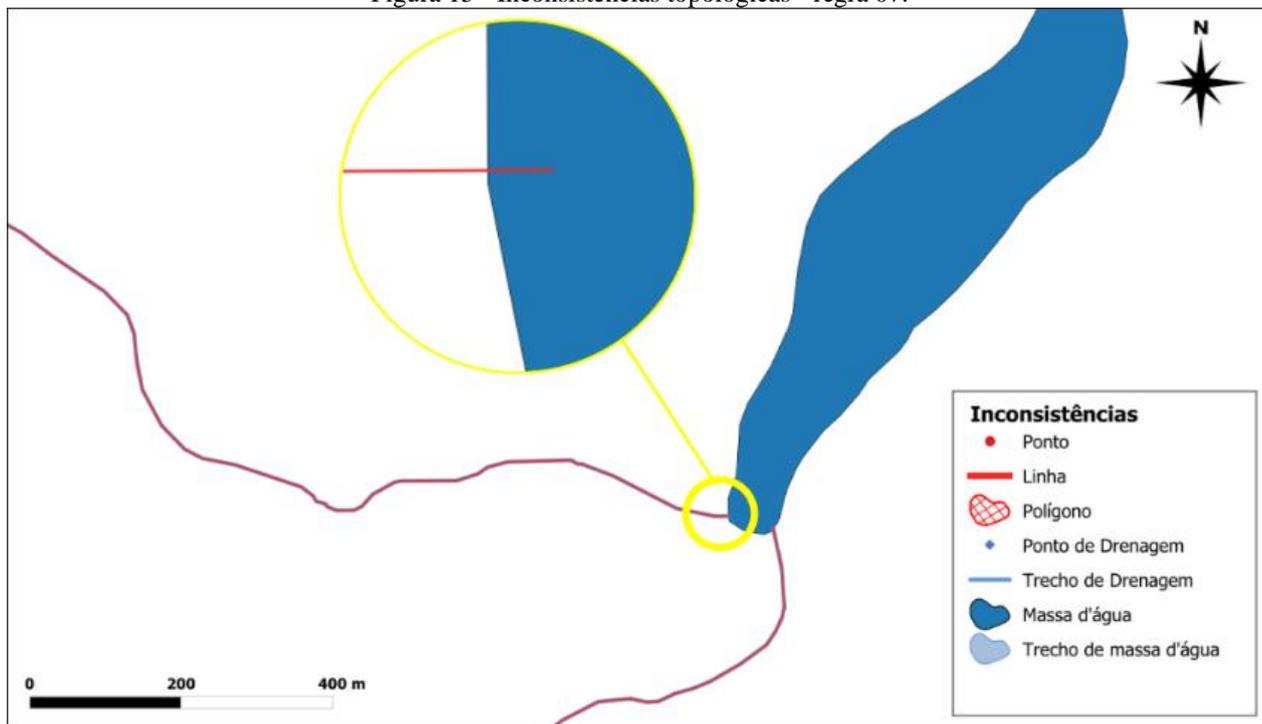


Elaboração: Os autores (2021).

Para a regra 06, onde foi verificado se algum Ponto de Drenagem está dentro de Massa d'água, não foi encontrada nenhuma inconsistência.

Já para a regra 07, que busca identificar linhas de drenagem que cruzam Massa d'água, todas as 18 inconsistências encontradas estão relacionadas à precisão das coordenadas, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Inconsistências topológicas - regra 07.



Elaboração: Os autores (2021).

A última regra topológica interclasse verificada identificou cinco casos de interseção entre polígonos das classes Massa D’água e Trecho de Massa D’água, como mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Inconsistências topológicas - regra 08.



Elaboração: Os autores (2021).

7 CONCLUSÃO

Alguns produtores de dados geospaciais apresentam grande dificuldade de garantir a integridade e confiabilidade dos seus produtos devido à verificação inadequada das relações topológicas, ocasionando retrabalhos com verificações repetidas e pouco eficientes.

Sobre o estudo de caso, este trabalho realizou a validação topológica interclasse (externa) em um

CDGV previamente validado no Gothic, um sistema utilizado há mais de 10 anos pela DSG.

Dos resultados da consistência topológica, verificou-se uma grande quantidade de inconsistências relacionadas à precisão das coordenadas, e à implementação do modelo no banco de dados, como é o caso da classe Pontos de Drenagem, além de uma menor quantidade de outros casos que, de fato, infringem as regras do modelo de dados.

Os resultados obtidos nesse trabalho indicam a necessidade de modernização dos procedimentos adotados na produção cartográfica, de forma a documentar e implementar todas as possíveis regras topológicas do modelo de dados para se alcançar uma completa integridade do CDGV produzido.

Sobre futuras pesquisas alinhadas com o tema deste trabalho, sugere-se também o estudo de técnicas que permitam a validação em tempo real das regras lógicas elencadas para o modelo de dados no exato momento da aquisição ou vetorização, seja na forma de construção de mecanismos de “alerta”, ou na construção de *constraints* que impedirão que o dado inconsistente seja armazenado no banco de dados.

Agradecimentos

Aos profissionais da Diretoria de Serviço Geográfico que participaram do Projeto de Mapeamento do Estado da Bahia para a construção do conjunto de dados utilizados nesta pesquisa.

Contribuição dos Autores

L.L.S. França contribuiu para a conceptualização, curadoria dos dados, metodologia, análise, implementação e redação do texto. J.L. Portugal contribuiu para a supervisão e revisão do texto.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- ARIZA-LÓPEZ, F. J., RODRÍGUEZ-AVI, J., REINOSO-GORDO, J. F., ARIZA-LÓPEZ, Í. A. Quality Control of “As Built” BIM Datasets Using the ISO 19157 Framework and a Multiple Hypothesis Testing Method Based on Proportions. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 12, p. 569, 2019. DOI. 10.3390/ijgi8120569.
- BAUMGART, Bruce G. A polyhedron representation for computer vision. In: NATIONAL COMPUTER CONFERENCE, **Proceedings of the May 19-22, 1975, national computer conference and exposition**. New York, NY, USA, 1975. p. 589-596.
- BORGES, K. A. V.; DAVIS, C. A.; LAENDER, A. H. F. OMT-G: an object-oriented data model for geographic applications. **GeoInformatica**, v. 5, n. 3, p. 221-260, 2001. DOI. 10.1023/A:1011482030093.
- BORGES, K. A. V.; DAVIS, C. A.; LAENDER, A. H. F. Integrity constraints in spatial databases. In: **Database integrity: challenges and solutions**. IGI Global, 2002. p. 144-171.
- BORGES, K. A. V.; DAVIS JR, C. A.; LAENDER, A. H. F. Modelagem conceitual de dados geográficos. In: CASANOVA, et al. **Banco de Dados Geográfico**: Curitiba: MundoGEO, 2005. p. 83-136.
- BORRMANN, A.; RANK, E. Topological analysis of 3D building models using a spatial query language. **Advanced Engineering Informatics**, v. 23, n. 4, p. 370-385, 2009. DOI. 10.1016/j.aei.2009.06.001.
- CAO, G. Spatial analysis and modeling: Database Fundamentals. 06 aug. 2014, 12 dec. 2014. 99 p. **Notas de Aula**. Department of Geosciences. Texas Tech University. 2014.
- CASANOVA, M. A., CÂMARA, G., DAVIS JR, C., VINHAS, L., E QUEIROZ, G. R. **Banco de dados geográficos**. Editora Mundogeo. Curitiba-PR. 2005.
- CLEMENTINI, E.; DI FELICE, P. A comparison of methods for representing topological relationships.

- Information sciences-applications**, v. 3, n. 3, p. 149-178, 1995. DOI. 10.1016/1069-0115(94)00033-X.
- COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR). **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)**. Versão 2.1.3. Brasília, 2010. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/edgv/ET_EDGV_Vs_2_1_3.pdf>. Acesso em: 07 AGO 2022.
- DAVIS JR, C. A.; LAENDER, A. H. F. Extensões ao modelo OMT-G para produção de esquemas dinâmicos e de apresentação. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 2000. **Anais do II Workshop Brasileiro de Geoinformática**, São Paulo. 2000.
- EGENHOFER, M. J.; SHARMA, J.; MARK, D. M. A critical comparison of the 4-intersection and 9-intersection models for spatial relations: formal analysis. In: R. MCMASTER AND M. ARMSTRONG (EDS), AUTOCARTO 11. **ASPRS American Society for Photogrammetry**, 1993. p. 1-12.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS Resource Center ArcSDE SDK 10 C and Java API – Predicates**. 2010. Disponível em: <https://help.arcgis.com/en/geodatabase/10.0/sdk/arcscde/concepts/geometry/shapes/spatial_relations/predicates.htm>. Acesso em: 12 dez 2020.
- FRANÇA, L. L. S.; DE ALMEIDA, A. D. O.; DA PENHA, A. L. T. Avaliação da qualidade dos modelos digitais de elevação Aster e SRTM para o Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 9, 2017.
- FRANÇA, L. L. S.; SILVA, T. A., A., BORBOREMA C.B.A.B., ALCÂNTARA, L.A. Vetorização de Cobertura Terrestre no QGIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. **Anais do VII SIMGEO**. Recife-PE, 2018. p.393-400.
- FRANÇA L. L. S.; FERREIRA DA SILVA, L. F. C. Comparison between the Double Buffer Method and the Equivalent Rectangle Method for the quantification of discrepancies between linear features. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 24, n. 3, p. 300-317, 2018. DOI. 10.1590/s1982-21702018000300020.
- FRANÇA, L. L. S.; DA PENHA, A. L. T.; CARVALHO, J. A. B. Comparison between absolute and relative positional accuracy assessment-a case study applied to digital elevation models. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 25, n. 1, 2019. DOI. 10.1590/s1982-21702019000100003.
- FRANÇA, L. L. S.; PASSOS, J. B.; PORTUGAL, J. L. Topological validation: a study applied for hydrographic features of a watershed. **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País**. 1ed.: Atena Editora, v., p. 191-207. 2020
- FRANÇA, L. L. S. **Consultas SQL para Validação Topológica**. GitHub. 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3tgMzBf>>. Acesso em: 10 fev 2022.
- HERRING, J. OPENGIS® **Implementation Standard for Geographic Information-Simple Feature Access**. Part 2: SQL option. 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais**. Manuais Técnicos em Geociências nº 13. 2017. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101152.pdf>>. Acesso em: 07 AGO 2022.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Geographic Information – Services. Quality management systems-requirements (ISO 19.157: 2013)**. 2013. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/32575.html>>. Acesso em: 07 AGO 2022.
- LIZARDO, L. E. O.; DAVIS JR, C. A. A PostGIS extension to support advanced spatial data types and integrity constraints. In: SIGSPATIAL'17. **Proceedings of the 25th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems**. Los Angeles, CA: ACM, 2017. p. 33.
- MARAŞ, H. H. et al. Topological error correction of GIS vector data. **International Journal of Physical Sciences**, v. 5, n. 5, p. 476-483, 2010. DOI. 10.5897/IJPS.9000598.
- PASSOS, J. B.; FRANÇA, L. L. Processo de reambulação no mapeamento topográfico. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 6, n. 2, p. 119-138. 2018. DOI. 10.3895/rbgeo.v6n2.6700.
- PASSOS, J. B., CARVALHO, R. B., PENHA, A. D. L. T., E FRANÇA, L. L. S. Estruturação e validação de

- dados geográficos em ambiente orientado a objeto do Sistema Gothic. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVIII, 2017. **Anais do XVIII SBSR**, Santos-SP. 2017.
- ROMANHOLI, M. P.; DE QUEIROZ, A. P. Base hidrográfica ottocodificada na escala 1: 25.000: Exemplo da bacia do Córrego Itapiranga (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 68, p. 46-60, 2018. DOI. 10.14393/RCG196804.
- SHIELDS, R. Cultural topology: The seven bridges of Königsburg, 1736. Theory, **Culture & Society**, v. 29, n. 4-5, p. 43-57, 2012. DOI. 10.1177/0263276412451161.
- SIEJKA, M.; ŚLUSARSKI, M.; ZYGMUNT, M. Correction of topological errors in geospatial databases. **International Journal of Physical Sciences**, v. 8, n. 12, p. 498-507, 2013. DOI. 10.5897/IJPS2013.3835.
- STEMPLIUC, Sergio Murilo. **Modelagem de restrições de integridade espaciais em aplicações de rede através do modelo UML-Geoframe**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.
- STOLZE, K. SQL/MM spatial: The standard to manage spatial data in a relational database system. In: BTW 2003. **Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web**, Tagungsband der 10. BTW Konferenz. Gesellschaft für Informatik eV, 2003. 247–264.
- STROBL C. Dimensionally Extended Nine-Intersection Model (DE-9IM). In: SHEKHAR S., XIONG H., ZHOU X. **Encyclopedia of GIS**. Springer. 2008. DOI. 10.1007/978-3-319-17885-1_298. 470–476
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). **Geoserviços - Baseados em Vetores - Cartografia de Referência - Cartografia 1:25.000**. 2021. Disponível em: <https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3346&Itemid=953>. Acesso em: 10 jan 2021.
- WADEMBERE, I.; OGAO, P. Validation of GIS vector data during geo-spatial alignment. **International Journal of Geoinformatics**, v. 10, n. 4, p. 17-25, 2014. DOI. 10.52939/ijg.v10i4.576.

Biografia do autor principal



Leandro Luiz Silva de França é Engenheiro Cartógrafo pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) com período cursado na Texas Tech University (TTU), nos Estados Unidos. Também é Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Trabalha como desenvolvedor de soluções Python para o QGIS focadas em Cartografia, Agrimensura, Banco de Dados Geográficos em PostgreSQL/PostGIS, Processamento de Imagens e Controle de Qualidade de dados Geoespaciais.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.