

## Proposta de modelagem de trajetórias de regiões móveis

### RESUMO

**Priscila Backes de Oliveira**

[priscila\\_backes@ime.eb.br](mailto:priscila_backes@ime.eb.br)  
[orcid.org/0009-0002-9596-8614](https://orcid.org/0009-0002-9596-8614)  
Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

**Ivanildo Barbosa**

[ivanildo@ime.eb.br](mailto:ivanildo@ime.eb.br)  
[orcid.org/0000-0003-4164-0875](https://orcid.org/0000-0003-4164-0875)  
Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

As trajetórias de regiões móveis consideram a representação espaço-temporal das variações de posição e forma de objetos com geometria do tipo polígono. Este estudo propõe indicadores inovadores para analisar a evolução dessas feições geométricas, avaliando tanto os deslocamentos quanto as mudanças de forma. A modelagem foi desenvolvida com base em cinco feixes de trajetórias independentes: Norte, Sul, Leste, Oeste e Centroides. Essa metodologia foi aplicada aos dados do furacão Beryl e os resultados obtidos por meio do cálculo dos indicadores foram apresentados em gráficos com as séries temporais, proporcionando a descoberta de conhecimento sobre o deslocamento, a direção e mudanças de forma. Além disso, a metodologia pode ser adaptada para o estudo de outras regiões móveis, como nuvens, geleiras, incêndios florestais, movimentação de tropas em cenários de guerra ou multidões em diferentes cenários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trajetória. Região móvel. Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados.

## INTRODUÇÃO

Trajatória é uma sequência de pontos cronologicamente ordenados, que representam o movimento de um objeto em um espaço geográfico (ANDRIENKO *et al.*, 2008; BOGORNY; BRAZ, 2012). Cada ponto é formado por uma marcação de tempo e coordenadas geoespaciais (FENG; ZHU, 2016). As trajetórias podem representar movimentos de diferentes objetos, como pessoas, veículos e animais (SPACCAPIETRA *et al.*, 2008; FENG; ZHU, 2016), a partir de cálculos de velocidade, aceleração, direção e outros parâmetros de movimento e de distribuição espacial. Isso ajuda a identificar tendências, comportamentos anômalos ou prever o próximo movimento (DODGE, 2011).

Com o aumento do volume de dados de trajetórias, diversos estudos buscam informações e padrões de movimento para a representação da dinâmica de feições analisando mudanças ocorridas ao longo do tempo, seja em sua posição (LAUBE; IMFELD, 2002; DODGE, 2011), em seus atributos (MESQUITA, 2013) ou em sua forma (COSTA; MIRANDA; MOREIRA, 2020). Segundo Bogorny e Braz (2012), o estudo de trajetórias se torna cada vez mais relevante com o uso crescente de tecnologias como sistemas de posicionamento globais (GPS - *Global Positioning System*), dispositivos que utilizam identificadores de radiofrequência, sensores e telefones celulares. A análise desses dados pode contribuir para soluções de problemas em diversas áreas tais como planejamento urbano, mobilidade, transportes, segurança e ecologia (MAZIMPAKA; TIMPF, 2016).

Para Güting *et al.* (2000) o estudo de trajetórias de regiões móveis envolve a análise de movimentos de objetos que não apenas se deslocam em uma área geográfica, mas também alteram sua forma ao longo do tempo, por exemplo, derretimento de geleiras, queimadas e furacões (HEINZ; GÜTING, 2016; TØSSEBRO; GÜTING, 2001; DUARTE, 2017).

Uma aplicação voltada para superfícies é a análise de alteração no uso e cobertura do solo a partir de séries temporais de imagens de satélite, normalmente destacando as alterações de classe observadas ao longo da área em estudo (WAYLEN *et al.*, 2014). Duarte *et al.* (2019) descrevem como o estudo de trajetórias de regiões móveis podem ajudar a prever a propagação de desastres bem como a identificar potenciais áreas de risco conforme análise de um incêndio controlado.

Ortiz, Rocha e Medina (2020) propuseram um modelo semântico para regiões móveis visando descrever a expansão de regiões e as respectivas tendências direcionais, com base nas alterações observadas nas geometrias. O modelo foi aplicado para analisar a alteração de uso do solo ao longo de décadas de expansão da área urbana da cidade de Bogotá, na Colômbia. Os autores simplificaram a geometria da área urbana, baseando suas análises no centroide e em vértices de coordenadas extremas (isto é, sobre o retângulo envolvente mínimo), conforme o nível de detalhamento desejado (baixa, média e alta resolução). A conexão desses pontos, interligando os vértices do polígono que representa a região móvel a cada instante de tempo, gera trajetórias de forma análoga à descrita em OGC (2017). Neste trabalho, essas trajetórias serão denominadas trajetórias representativas.

Este trabalho visa propor uma metodologia para extrair conhecimentos a partir da dinâmica de regiões móveis, considerando posição e forma, por meio da análise de feixes de trajetórias representativas. Para tanto, faz-se necessário

estabelecer indicadores e critérios de análise com base nas propriedades espaço-temporais das trajetórias representativas.

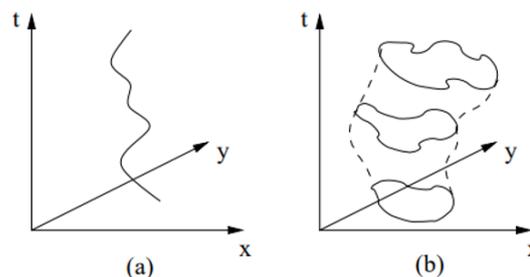
Este artigo inicia com uma breve revisão conceitual, seguida da apresentação da modelagem com base em trajetórias representativas. Em seguida, descreve-se a metodologia utilizada para a descoberta de conhecimentos. Por fim, a metodologia é aplicada a um cenário correlacionado, com a discussão dos resultados obtidos e as considerações finais.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### REGIÕES MÓVEIS

Região móvel é o termo adotado para indicar o movimento de um polígono que muda de posição ao longo do tempo e que pode alterar sua forma (HEINZ, 2021; DUARTE, DIAS e MOREIRA, 2022; HEINZ e GÜTING, 2018). Schneider (2013) representa na Figura 1 (a) a trajetória de um objeto pontual móvel e na Figura 1 (b) a trajetória de uma forma tridimensional móvel, que representa um volume, com mudança de forma ao longo do tempo. É possível analisar a posição e a forma da região nos diversos instantes de tempo.

Figura 1 – (a) Trajetória de ponto móvel; (b) Trajetória de Região Móvel



Fonte: Schneider (2013).

Junghans e Gertz (2010) criaram um modelo para analisar as trajetórias de regiões móveis a partir de retângulos orientados para prever a posição das regiões por meio de regressão linear. Cada região móvel é um polígono modelado como um retângulo orientado mínimo que não necessariamente é paralelo aos eixos e representa a trajetória do centroide em sete intervalos de tempo distintos e os retângulos envolventes de uma região que se move para o oeste com expansão e contração de forma. Os autores definem, ainda, uma região R a partir do centroide e dos eixos do retângulo envolvente (a partir do comprimento do eixo maior e do eixo menor) e do ângulo entre o eixo maior e o eixo x.

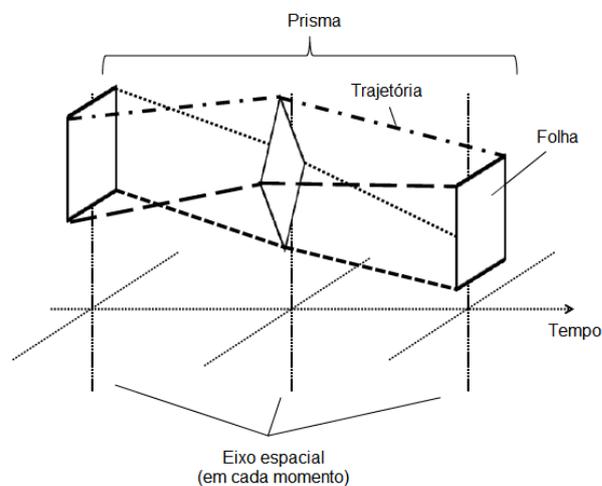
McKenney e Webb (2010) descrevem uma série de fatias onde os segmentos de linhas que se movimentam representam as regiões móveis nos instantes de tempo. O movimento é registrado por meio do movimento dos limites da região móvel, representando o crescimento ou encolhimento da área e inclusive a junção de duas regiões móveis.

McKenney, Viswanadham e Littman (2014) desenvolveram o modelo de regiões móveis baseado em componentes para representar o movimento das regiões móveis descrevendo o uso de segmentos móveis a cada intervalo de tempo até o instante final. Criando funções matemáticas para identificar as mudanças topológicas entre as regiões, podendo haver buracos ou não na região, para computar operações essenciais nas regiões extraídas como união, diferença, interseção e topologia.

Barbosa e Oliveira (2022) descrevem três abordagens para analisar a geometria de regiões móveis adaptando os conceitos de trajetórias de pontos móveis para regiões móveis a partir de retângulo mínimo envolvente, feixes de trajetórias representativas e análise da geometria para descoberta de conhecimento sobre movimento, direção, escala e complexidade das regiões móveis.

O OGC (2017) definiu um conjunto de características para feições que se movem como corpos rígidos. A Figura 2 ilustra os conceitos de foliação, prisma, trajetória e folha, que são definidos na ISO 19141 (2008) para representar um retângulo 2D se move e rotaciona. Cada representação do retângulo em um determinado momento é uma folha. O caminho traçado por cada vértice do retângulo é uma trajetória. O conjunto de pontos contidos em todas as folhas e em todas as trajetórias forma um prisma. Desta forma, foi definida a geometria de prisma para identificar a trajetória de um objeto que se move e rotaciona ao longo do tempo (OGC, 2017).

Figura 2 – Prisma de trajetória



Fonte: OGC (2017).

Neste trabalho, uma região móvel será definida como o conjunto de tuplas da Equação 1.

$$O_{i,j} = \langle O_i, t_j, S_{i,j} \rangle \quad (1)$$

onde:

- $O_{i,j}$  é o estado do objeto  $O_i$ , de modo que o valor de  $i$  varia entre 1 e o número de objetos representados no conjunto de dados (campo opcional quando apenas um objeto é avaliado);

- $t_j$ , de modo que o valor de  $j$  varia entre 1 e o número de instantes em que o objeto está representado ao longo de sua vida;
- $S_{i,j}$  é a geometria que representa o objeto  $O_i$  no instante  $t_j$ ;

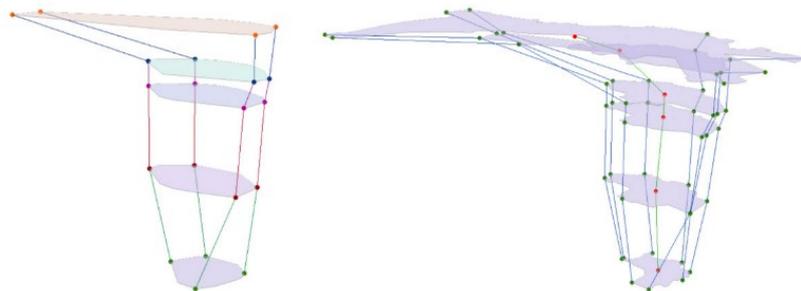
### FEIXES DE TRAJETÓRIAS REPRESENTATIVAS

Para interpretar e calcular as trajetórias espaço-temporais de objetos móveis a partir das coordenadas armazenadas em banco de dados, estas deverão estar na forma de posição em função do tempo, associadas a uma área para melhor definição da superfície.

Ortiz, Rocha e Medina (2020) propuseram um modelo de trajetórias onde as informações de mudança de forma foram coletadas selecionando os pontos mais extremos com máximos e mínimos das coordenadas cartesianas X e Y para cada lado, por meio de um retângulo mínimo envolvente com até quatro pontos extremos. A análise apenas dos centroides é chamada de baixa resolução; para a média resolução consideram-se os lados do retângulo mínimo envolvente mais os centroides; por fim, a alta resolução leva em conta os centroides, os vértices e os lados dos retângulos mínimos envolventes.

A Figura 3 apresenta as trajetórias dos vértices utilizando a média e a alta resolução para representar o crescimento da cidade de Bogotá na Colômbia. Cabe destacar a diferença conceitual das trajetórias formadas no processo de foliação (Figura 2), definidas pelos mesmos vértices, representados em diferentes instantes, e as trajetórias representativas, em que os vértices de coordenadas extremas podem ser diferentes.

Figura 3 – Média resolução (esquerda) e alta resolução (direita)



Fonte: Rocha, Ortiz e Medina (2020).

A abordagem proposta consiste na avaliação simultânea das trajetórias formadas pela ligação dos vértices de coordenadas extremas do polígono a cada instante de tempo análogo à média resolução de Rocha, Ortiz e Medina (2020). O feixe de trajetórias representativas é formado de maneira independente por:

- trajetória norte: composta pelos vértices com a maior latitude;
- trajetória sul: composta pelos vértices com a menor latitude;
- trajetória leste: composta pelos vértices com a maior longitude;
- trajetória oeste: composta pelos vértices com a menor longitude;

- trajetória centroide: composta pelos centroides.

Entre as vantagens dessa abordagem, cabe destacar a redução da complexidade computacional e a existência de diversos métodos e ferramentas de extração de conhecimentos em trajetórias, tais como a detecção de paradas, cálculo de perfis de velocidades e descoberta de padrões (LAUBE; IMFELD, 2002; SPACCAPIETRA *et al.*, 2008; BOGORNY; BRAZ, 2012). Por outro lado, tal simplificação não permite identificar a rotação da geometria, sendo necessário recorrer à abordagem proposta por Heinz e Güting (2016).

## MODELAGEM BASEADA EM TRAJETÓRIAS REPRESENTATIVAS

### PARÂMETROS DE MOVIMENTO E DEFORMAÇÃO

Diferentes modelos e métodos elaborados para a descrição do comportamento de objetos móveis de geometria pontual podem ser adaptados ou complementados para descrever as variações de posição e forma das regiões móveis. Dodge, Weibel e Lautenschütz (2008) apresentaram parâmetros de movimento baseados nas primitivas posição e tempo para descrever objetos móveis pontuais (*Moving Point Objects – MPOs*), das quais se derivam distância, direção, sinuosidade, entre outras. A extensão espacial diz respeito à distribuição dos objetos móveis como um retrato da posição deles a cada instante de tempo, enquanto a sinuosidade o grau de desvio ou os sentidos diferentes entre os polígonos que representam a geometria da região móvel. Pode-se, ainda, considerar a distância de Hausdorff como métrica de distância entre polígonos (ALT *et al.*, 1988; KREVELD *et al.*, 2022).

Visando ao aprimoramento da modelagem das regiões móveis, faz-se necessário estender o rol de parâmetros de movimento com a inclusão de parâmetros de deformação, ou seja, destinados a descrever as variações de forma das regiões ao longo do tempo, revelando comportamentos e tendências.

Tem-se para a primeira derivada a diferença entre a escala em dois instantes de tempo e, também, da diferença de escala nos eixos, de forma correlacionada. Enquanto a segunda derivada revela a assimetria da forma, quantificada em função da divergência de escalas observadas nos dois eixos em instantes distintos. A variação do índice de forma ou da compacidade indicam a alteração na complexidade da forma, o que pode ser de interesse em algumas aplicações. As contribuições relacionadas aos parâmetros de deformação podem ser observadas em **negrito** no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros para análise de regiões móveis

Dimensão	Primitiva	Primeira Derivada	Segunda Derivada
Espacial	Posição (x,y)	Distância	Distribuição espacial
		Direção	Mudança de direção
		Extensão Espacial	Sinuosidade
	Forma (p,A)	Escala geral	Assimetria
		Escala por eixo	
		Complexidade	

Fonte: Adaptado de Dodge, Weibel e Lautenschütz (2008).

Neste contexto, foram selecionadas métricas de paisagem como a dimensão fractal (MCGARIGAL; MARKS, 1995) e compacidade (LI; GOODCHILD; CHURCH, 2013), além das métricas de similaridade como a razão de interseção sobre união e suas variações (REZATOFIHI *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2021).

#### INDICADORES DE MOVIMENTO E DEFORMAÇÃO

Para quantificar o deslocamento e mudança de forma da região móvel em estudo, serão criados indicadores associados aos parâmetros de movimento e deformação listados no Quadro 1, considerando a representação de uma região móvel na forma de trajetórias representativas de média resolução. Assim, os polígonos da região móvel serão representados pelos centroides e pelos vértices com as maiores e com as menores longitudes e latitudes.

Na primitiva posição (Quadro 1), calculam-se as distâncias (geodésicas ou euclidianas) entre pares de vértices consecutivos ao longo de uma trajetória, implicando a definição dos indicadores:

- **dist\_n**: distância entre os vértices consecutivos sobre a trajetória norte;
- **dist\_s**: distância entre os vértices consecutivos sobre a trajetória sul;
- **dist\_e**: distância entre os vértices consecutivos sobre a trajetória leste;
- **dist\_w**: distância entre os vértices consecutivos sobre a trajetória oeste, e
- **dist\_c**: distância entre os centroides consecutivos.

Estes indicadores apresentam apenas valores positivos, pois são calculados com a direção, podendo ser empregados como peso na análise direcional a ser realizada posteriormente. Para que os valores sejam representados no sistema métrico, pode ser necessário reprojeter as coordenadas, dependendo do *software* empregado no cálculo.

Para obter as direções da região móvel, entre pares de vértices consecutivos ao longo de uma trajetória, é possível adotar os respectivos azimutes, implicando a definição dos indicadores:

- **az\_n**: azimute entre os vértices consecutivos sobre a trajetória norte;
- **az\_s**: azimute entre os vértices consecutivos sobre a trajetória sul;

- **az\_e**: azimute entre os vértices consecutivos sobre a trajetória leste;
- **az\_w**: azimute entre os vértices consecutivos sobre a trajetória norte; e
- **az\_c**: azimute entre os centroides consecutivos.

Para quantificação dos avanços e recuos das fronteiras cobertas ao longo dos eixos Norte (N), Sul (S), Leste (E) e Oeste (W), está sendo proposto o cálculo das variações de coordenadas nessas direções, com crescimento positivo a partir da origem, resultando nos indicadores:

- **diff\_n**: diferença entre as latitudes observadas entre vértices consecutivos da trajetória norte;
- **diff\_s**: diferença entre as latitudes observadas entre vértices consecutivos da trajetória sul;
- **diff\_e**: diferença entre as longitudes observadas entre vértices consecutivos da trajetória leste;
- **diff\_w**: diferença entre as longitudes observadas entre vértices consecutivos da trajetória oeste;

A partir dos indicadores projetados, é possível ainda calcular a expansão nos eixos norte-sul e leste-oeste, medidas importantes para quantificar alterações na forma, bem como servir de referência para análises comparativas além da identificação de tendências:

- **ext\_ns**: diferença entre os indicadores **diff\_n** e **diff\_s**, e
- **ext\_ew**: diferença entre os indicadores **diff\_e** e **diff\_w**.

Em termos relativos, pode-se obter indicadores calculados como uma relação entre os deslocamentos observados na direção N, S, E, W comparados às extensões dos respectivos eixos:

- **diff\_n/ext\_ns**: relação entre o deslocamento observado na direção Norte e a extensão no eixo Norte-Sul;
- **diff\_s/ext\_ns**: relação entre o deslocamento observado na direção Sul e a extensão no eixo Norte-Sul;
- **diff\_e/ext\_ew**: relação entre o deslocamento observado na direção Leste e a extensão no eixo Leste-Oeste, e
- **diff\_w/ext\_ew**: relação entre o deslocamento observado na direção Oeste e a extensão no eixo Leste-Oeste.

Na primitiva forma (Quadro 2), a análise da mudança de forma consiste na comparação entre medidas extraídas de pares consecutivos de geometrias e na comparação dos indicadores de deslocamento e direção já apresentados. São indicadores relevantes:

- **diff\_area**: diferença das áreas das geometrias observadas em instantes consecutivos, retratando expansão ou contração da área coberta;
- **escala**: razão entre as áreas das geometrias observadas em instantes consecutivos;

- **simplificacao:** razão entre os fatores de forma das geometrias observadas em instantes consecutivos, e
- **assimetria:** razão entre faixas de variação de latitude e longitude (ou coordenada correspondente) das geometrias observadas em instantes consecutivos, ou seja, **assimetria = ext\_ns/ext\_ew**.

## DESCOBERTA DO CONHECIMENTO

Esta seção visa apresentar possíveis conclusões oriundas dos indicadores calculados na etapa anterior. As conclusões respondem a questões relacionadas à variação de posição e forma das regiões móveis ao longo do tempo. Algumas podem ser deduzidas a partir de técnicas descritivas de dados geoespaciais, tais como:

- estatísticas descritivas: média, mediana, desvio-padrão, frequência (histogramas) *etc.*;
- decomposição de séries temporais: tendências, sazonalidades e previsões;
- análise direcional: diagramas de rosácea, tendências direcionais;

Em consonância com as diretrizes da ISO 19157 (2013) para a descrição de elementos de qualidade, as análises propostas nesta seção podem gerar três tipos de resultados: indicadores booleanos, indicadores absolutos e indicadores relativos, dependendo das necessidades específicas da aplicação em estudo. Dessa forma, as modificações nas regiões móveis podem ser quantificadas conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2– Formas de quantificar modificações nas regiões móveis

Possíveis Variações	Indicador Booleano	Indicador Absoluto	Indicador Relativo
Deslocamento N, S, E, W, C	V ou F	m ou km	%
Direção N, S, E, W, C	-	Graus	Graus
Projeção N, S, E, W	V ou F	m ou km	%
Diferença de Área	V ou F	m <sup>2</sup> ou km <sup>2</sup>	%

Fonte: Autoria própria (2024).

Indicadores booleanos retornam valores "verdadeiro" ou "falso", dependendo de se um deslocamento ou mudança de forma excede a tolerância previamente definida para uma região móvel. Por exemplo, se a região se deslocar além do limite permitido, o valor retornado será "verdadeiro"; caso contrário, será "falso". O mesmo critério pode ser aplicado para a análise de deformações ou mudanças de forma.

Indicadores absolutos são importantes para quantificar o deslocamento ou deformação de forma precisa. Nesse caso, o indicador fornecerá valores exatos de distância percorrida, ângulo de rotação ou grau de deformação da região móvel ao

longo do tempo. Isso possibilita uma mensuração direta da magnitude do movimento.

Quanto aos indicadores relativos, o valor observado deve ser comparado a um valor de referência, por exemplo, as dimensões da geometria num instante, comparada com o instante inicial, e representado como porcentagem.

Como forma de resumir algumas descobertas do conhecimento possíveis é apresentado o Quadro 3 onde a primeira coluna indica o item, a segunda coluna indica o fator analisado considerando um par de geometrias observadas em instantes consecutivos e a terceira coluna indica o tipo de saída e, quando couber, a unidade de representação, seguida das regras de extração dos valores.

Quadro 3 – Conclusões possíveis

Item	Questão	Regras de descoberta de conhecimento
1	O objeto se moveu?	<i>booleano</i> Compara as posições de pares de vértices consecutivos ao longo de uma trajetória, detectando paradas e retornando verdadeiro se for observado deslocamento de ordem superior à tolerância estabelecida.
2	O objeto se deslocou para o Norte / Sul / Leste / Oeste?	<i>booleano</i>
3	Quanto o objeto se deslocou para o Norte / Sul / Leste / Oeste?	<i>numérico (metros) ou adimensional</i>
4	Existe tendência direcional?	<i>booleano</i>
5	Qual é a direção de tendência?	<i>numérico (graus)</i>
6	O objeto mudou de forma?	<i>booleano</i> Compara as geometrias da representação da região em instantes consecutivos e retorna verdadeiro se forem iguais
7	O objeto cresceu?	<i>booleano</i> Diferença de Área
8	Quanto o objeto cresceu / encolheu?	<i>numérico (metros) ou adimensional</i>
9	Há assimetria?	<i>booleano</i>
10	Qual é a assimetria estimada?	<i>numérico (metros) ou adimensional</i>

Fonte: Autoria própria (2024).

## Deslocamento

A análise com base no indicador booleano (item 1 do Quadro 3) pode ser feita por meio da comparação das posições de pares de vértices consecutivos ao longo de uma trajetória. Se todos os vértices estiverem imóveis ou dentro de uma tolerância estabelecida, a região pode ser considerada parada, caso contrário, houve deslocamento.

Combinando as informações do item 1 do Quadro 3 com a análise de direções, é possível identificar se houve deslocamento nos eixos N, S, E, W (item 2 do Quadro 3) e identificar padrões e tendências de movimento (item 4 do Quadro 3).

Para os indicadores absolutos será considerada como premissa o avanço da fronteira em cada eixo isoladamente. Assume-se que o valor numérico é o valor absoluto correspondente ao deslocamento efetivo projetado em cada eixo. Assim, há quatro valores absolutos de deslocamento, um para cada eixo (N, S, E, W) calculados por meio dos valores de **diff\_n**, **diff\_s**, **diff\_e** e **diff\_w**.

Enquanto os indicadores relativos irão considerar as comparações entre os deslocamentos efetivos como forma de razão entre os **diff\_n/ext\_ns**, **diff\_s/ext\_ns**, **diff\_e/ext\_ew** e **diff\_w/ext\_ew** em cada eixo ou a partir das diferenças dos indicadores: **escala**, **simplificacao** e **assimetria**. Destacando que todos retornam valores adimensionais (ou em termos de porcentagem, se multiplicados por cem).

## Direção

As direções serão analisadas com base nas trajetórias projetadas nos eixos, destacando que deslocamentos negativos podem influenciar na direção. Onde “s” - significa parado (*stop*), “p” - movimento no sentido positivo do eixo em questão e “n” - movimento no sentido negativo do eixo em questão. Desta forma, tem-se as seguintes regras para responder ao item 4 do Quadro 3:

- Move Norte:
  - N(p) - Norte positivo;
  - N(s) e S(n) - Norte parado e Sul negativo;
  - $0^\circ < az\_n < 90^\circ$ , ou
  - $270^\circ < az\_n < 360^\circ$ .
- Move Sul:
  - S(p) - Sul positivo;
  - S(s) e N(n) - Sul parado e Norte negativo, ou
  - $90^\circ < az\_s < 270^\circ$ .
- Move Leste:
  - E(p) - Leste positivo;
  - E(s) e W(n) - Leste parado e Oeste negativo, ou
  - $0^\circ < az\_e < 180^\circ$ .

- Move Oeste:
  - $W(p)$  - Oeste positivo;
  - $W(s)$  e  $E(n)$  - Oeste parado e Leste negativo, ou
  - $180^\circ < az\_w < 360^\circ$ .

Para saber se existe uma tendência direcional, serão analisadas as séries temporais dos indicadores. As trajetórias podem seguir direções diferentes e as direções podem ser divididas em setores para formação dos diagramas de rosácea. Assim, para responder ao item 5 do Quadro 3 serão analisadas as séries temporais dos feixes de trajetórias representativas que ligam os vértices N, S, E, W e o centroide para obter a tendência de movimento em cada eixo e no geral para a região móvel em análise.

### Forma

A análise da mudança de forma das regiões móveis é fundamental para identificar padrões relevantes e prever comportamentos específicos, dependendo das características e do tipo de objeto estudado. Detectar essas mudanças possibilita uma compreensão mais profunda das dinâmicas espaciais e temporais que afetam tais regiões, permitindo, por exemplo, a antecipação de eventos como deslocamentos significativos, deformações estruturais ou expansões geográficas. A metodologia segue os padrões definidos pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC, 2010) para a comparação de geometrias.

Para o indicador booleano, será importante analisar os valores de **ext\_ns** e **ext\_ew** não nulos, bastando um deles ser maior que a tolerância para retornar um valor verdadeiro.

No caso do indicador absoluto, será calculada a área ocupada pela região em cada instante de tempo, permitindo a mensuração direta da variação espacial ao longo do tempo. Esse cálculo é essencial para detectar tanto expansões quanto contrações da região móvel.

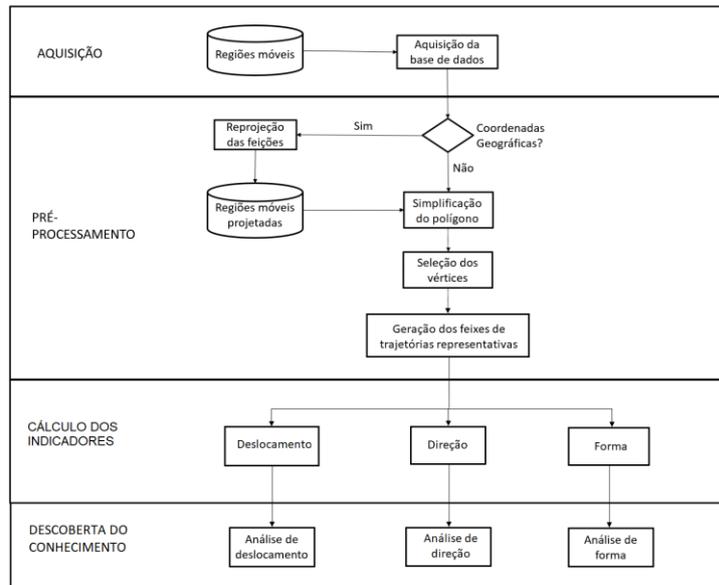
Já para o indicador relativo, várias métricas complementares podem ser analisadas. Entre elas, destaca-se o cálculo da **escala**, que avalia o fator de ampliação ou redução da forma ao longo do tempo. O indicador **diff\_area** quantifica a diferença percentual de área entre dois instantes consecutivos, com uma visão mais proporcional da deformação.

Pode-se calcular a assimetria como a **ext\_ns** e **ext\_ew** para uma análise detalhada da expansão ou contração da região ao longo dos eixos norte-sul e leste-oeste, respectivamente. Esses indicadores são úteis em situações onde a deformação ocorre de forma direcional, revelando padrões de movimento ou de crescimento espacial que podem ser mais pronunciados em determinadas direções. A utilização desses indicadores facilita uma compreensão mais granular das alterações geométricas e possibilita a detecção de tendências de expansão direcionada ou de compressão ao longo desses eixos.

## METODOLOGIA

A abordagem adotada para a modelagem de trajetórias de regiões móveis segue as etapas de aquisição de dados, pré-processamento, cálculo dos indicadores e análise dos resultados obtidos para a descoberta de conhecimento conforme Figura 4. Para o presente trabalho serão utilizadas as trajetórias representativas a partir da decomposição das trajetórias dos vértices do prisma da figura 2.

Figura 4 – Fluxograma com a metodologia proposta



Fonte: Autoria própria (2024).

### AQUISIÇÃO

A base de dados deve seguir o formato do conjunto de tuplas da Equação 1, e as trajetórias dos objetos a serem estudados serão armazenadas em um banco de dados. Esses objetos consistem de polígonos ao longo de uma série temporal, ordenados por data.

### PRÉ-PROCESSAMENTO

Para o pré-processamento serão realizadas as etapas de projeção das feições (caso necessário), simplificação do polígono, seleção dos vértices e geração dos feixes de trajetórias representativas.

Faz-se necessário identificar o sistema de coordenadas no qual o conjunto está representado e com o intuito de obter a medição de distâncias em metros, faz-se uma reprojeção de feições. Ao reprojetar as feições, deve-se analisar potenciais distorções lineares e angulares decorrentes da transformação para determinar o sistema de coordenadas projetado mais adequado.

A simplificação de um polígono consiste em reduzir a quantidade de vértices ao longo de sua borda, preservando sua forma geral, com o objetivo de otimizar o

processamento e armazenamento em softwares de geoprocessamento. Esse processo minimiza o consumo de memória e melhora a performance em análises espaciais, sem comprometer a precisão necessária para a representação cartográfica ou modelagem geoespacial. O algoritmo de Douglas-Peucker é frequentemente utilizado para essa simplificação.

A abordagem proposta funciona para qualquer polígono e consiste na avaliação simultânea das trajetórias com base nos deslocamentos dos centroides e dos vértices escolhidos. Para minimizar a possibilidade de um mesmo ponto pertencer a duas trajetórias, a recomendação é de delimitar a áreas com pelo menos quatro vértices. Quando o polígono possuir mais de quatro vértices, apenas os quatro extremos são selecionados em cada instante de tempo. Ou seja, aqueles mais ao Norte, Sul, Leste e Oeste.

Os polígonos que representam a região móvel a cada instante serão simplificados conforme a resolução média da Figura 3. Assim, os polígonos serão representados por seus centroides e vértices extremos, que incluem os pontos com maiores e menores longitudes e latitudes, identificados na etapa anterior.

O feixe de trajetórias representativas é criado pela ligação dos vértices escolhidos para representar o polígono a cada instante de tempo. A avaliação se dará de forma simultânea para as trajetórias formadas, que têm um comportamento independente.

## CÁLCULO DOS INDICADORES

Para o cálculo dos indicadores serão consideradas as cinco trajetórias dos vértices e do centroide de forma independente. Em todos os casos, as unidades de medida devem ser definidas de maneira compatível com a classe do objeto e o contexto da aplicação, sendo calculados conforme proposta descrita na Seção anterior. As rotinas básicas para esse cálculo já estão implementadas em diversos *softwares* e bibliotecas de suporte ao geoprocessamento.

Adicionalmente, é possível observar uma variedade de indicadores propostos, onde cada um será escolhido com base no tipo de objeto geométrico em análise, com o intuito de destacar alterações no deslocamento, na direção e na forma da geometria. Essa escolha criteriosa dos indicadores permite uma maior precisão na interpretação das mudanças espaciais e garante a adequação dos indicadores aos diferentes contextos de análise geográfica.

## DESCOBERTA DO CONHECIMENTO

A aplicação das regras selecionadas a partir dos indicadores calculados na etapa anterior e a formalização dos resultados para a descoberta do conhecimento. A partir do deslocamento de regiões móveis, com base no modelo de trajetórias representativas, pode-se revelar a detecção de paradas e a análise de séries temporais, a partir das quais são extraídas eventuais tendências de deslocamento ao longo do tempo. Esses padrões podem refletir fatores dinâmicos, fenômenos naturais ou outros fatores externos que influenciam o movimento dessas regiões. Dependendo da aplicação será utilizada uma tolerância, a ser definida, para caracterizar o deslocamento de uma região móvel.

De forma geral, a análise das trajetórias representativas de regiões móveis permite identificar tendências de movimento, prever comportamentos futuros e fornecer dados críticos para a tomada de decisão em áreas como defesa, gestão de territórios ou monitoramento ambiental.

## RESULTADOS

A fim de testar a abrangência e a adequação do modelo proposto, foi elaborada uma aplicação que analisou a região móvel definida pelo cone de probabilidades do furacão Beryl. Os dados estão disponíveis no repositório de dados Github na página <https://github.com/Priscila-IME/Trajectoria-furacao.git>

As tempestades climáticas são constantemente monitoradas pelos Estados Unidos da América por meio do Centro Nacional de Furacões (*NHC - National Hurricane Center*) e da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (*NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration*). O furacão Beryl, que se formou em 28 de junho de 2024 no Atlântico, inicialmente como uma depressão tropical, evoluiu para um furacão em 29 de junho, atingindo a categoria 5 em 2 de julho enquanto passava pelo Caribe, causando estragos em várias ilhas, como Granada e Jamaica. Beryl seguiu para o Golfo do México, atingiu o México e os EUA, e foi monitorado até 9 de julho, quando enfraqueceu para uma tempestade tropical, apesar de continuar causando danos significativos com ventos fortes e inundações.

## AQUISIÇÃO

As bases de dados sobre tempestades climáticas são oferecidas gratuitamente para monitoramento e alertas (NOAA, 2024). As informações da trajetória do furacão Beryl foram obtidas da NOAA e registradas com polígonos que representam cada aviso do objeto em movimento. Para depressões tropicais, esses polígonos são atualizados a cada seis horas, e quando a tempestade evolui para uma tempestade tropical, o monitoramento passa a ser mais frequente, com avisos a cada três horas.

A NOAA também fornece a localização e o horário das regiões afetadas. No caso do furacão Beryl, que passou por várias regiões, foram utilizados os fusos AST (UTC -4), EDT (UTC -4) e CDT (UTC -5). O banco de dados contou com setenta e oito polígonos que representaram a região por onde o furacão Beryl passou entre 28 de junho de 2024 e 9 de julho de 2024. Esses dados adquiridos foram carregados em um banco de dados PostgreSQL com extensão espacial PostGIS.

## PRÉ-PROCESSAMENTO

Os dados dos polígonos que representam a região móvel em estudo estavam referenciados ao sistema de coordenadas WGS-84 (EPSG:4326) e foram projetados para no sistema Pseudo Mercator (EPSG:3857), uma vez que a região móvel se estendeu por vários países e fusos UTM.

Os polígonos que representam a região móvel do furacão em estudo possuem entre dois mil e três mil vértices, logo foi realizada uma generalização por meio da ferramenta de simplificação do QGIS a partir do algoritmo de Douglas-Peucker com

tolerância de 0,10 (graus) ou 11 km, reduzindo a quantidade de vértices para aproximadamente trezentos vértices. A versão simplificada do polígono mantém a ordem de grandeza da área original.

Diante dos polígonos simplificados, foi aplicada a metodologia para a escolha dos vértices mais ao Norte, mais ao Sul, mais ao Leste e mais ao Oeste para os polígonos que representam a região móvel em cada instante em consulta SQL.

Os feixes de trajetórias representativas foram gerados por meio de consulta SQL e foram armazenados no formato *shapefile* com geometria de linha, sendo uma linha para cada feixe de trajetórias. Os resultados das escolhas dos vértices e a geração dos feixes de trajetórias representativas estão apresentados na Fig. 5 a) Norte; b) Sul; c) Leste; d) Oeste, e e) Centroides.

Figura 5 a - Norte

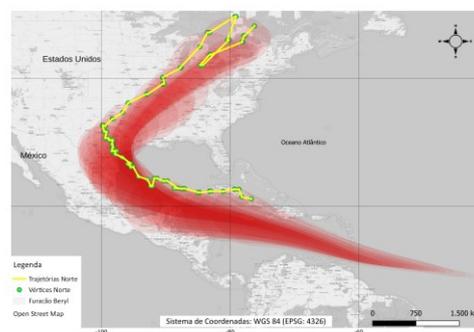


Figura 5 b - Sul

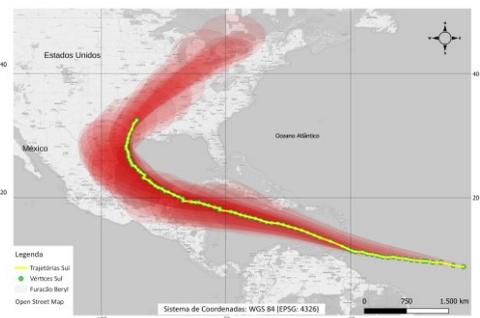


Figura 5 c - Leste

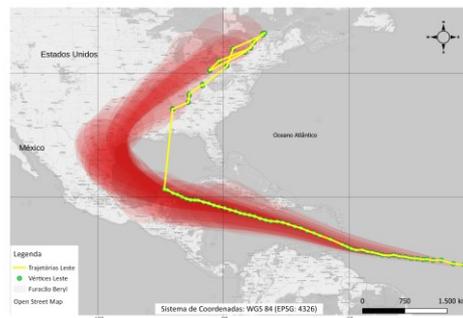


Figura 5 d - Oeste

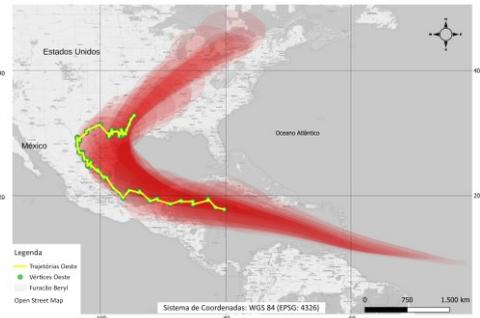
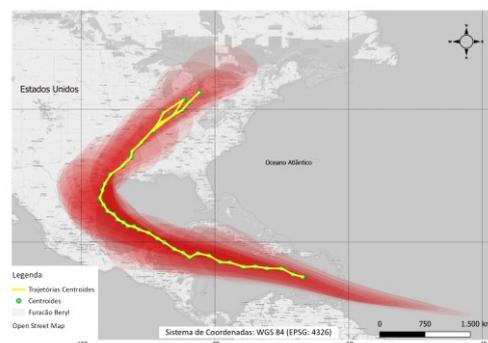


Figura 5 e - Centroides



Fonte: Autoria própria (2024).

## CÁLCULO DOS INDICADORES

Para análise de deslocamento, direção e forma da região móvel em estudo foram calculados os indicadores descritos no presente trabalho por meio de consultas em SQL e armazenados na tabela *metricas* no repositório de dados.

- **dist\_c** e **az\_c**;
- **dist\_n**, **az\_n** e **diff\_n**;
- **dist\_s**, **az\_s** e **diff\_s**;
- **dist\_e**, **az\_e** e **diff\_e**, e
- **dist\_w**, **az\_w** e **diff\_w**.

## DESCOBERTA DO CONHECIMENTO

Nesta seção, foram calculadas média, mediana, desvio padrão, média aparada, dispersão, mínimo e máximo de cada indicador, além da amplitude, assimetria, curtose e erro padrão usando o comando *describe* do pacote *Psych* (REVELLE, 2024).

Para o cálculo de periodicidade a amostra analisada considerou apenas os polígonos com avisos a cada três horas para a decomposição da série temporal usando o pacote *tseries* (TRAPLETTI; HORNIK, 2018).

Serão aplicadas as regras descritas na metodologia para análise da região móvel e de acordo com os valores retornados, os itens do Quadro 3 serão respondidos.

### Deslocamento

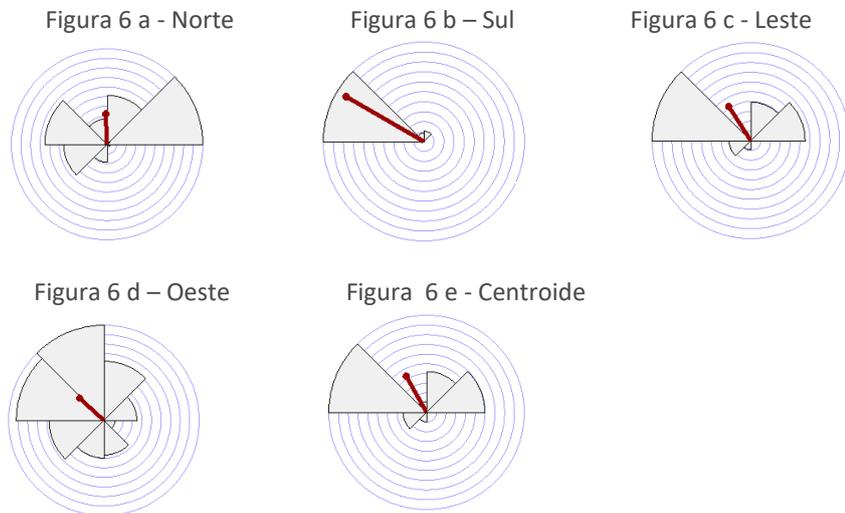
A análise dos feixes de trajetórias representativas indicou que houve um recuo substancial da região móvel em certos momentos, como evidenciado nas Figuras 5 (a, c, d, e) com exceção das trajetórias representativas Sul (5b) que se mantiveram uniformes.

Para responder aos itens 1 e 2 do quadro 3 foi possível verificar variações significativas nos deslocamentos dos feixes de trajetórias representativas ao longo do tempo. Estes valores são obtidos por meio dos indicadores **diff\_n**, **diff\_s**, **diff\_e** e **diff\_w** a cada instante. Foram analisados os histogramas relativos à frequência de distribuição dos indicadores. O deslocamento com base em indicadores relativos do item 3 do Quadro 3 não foi calculado.

### Direção

Para a análise da direção foram gerados gráficos em formato de rosácea com o *plugin Line Direction Histogram* no QGIS (TVEITE, 2015), utilizando as trajetórias representativas do estudo. As rosáceas das Figuras 6 mostram as direções de deslocamento das fronteiras, baseados nos eixos (a, b, c, d) e centroides (e), para identificar tendências ao longo do tempo. As porcentagens de deslocamento em cada direção são indicadas nos gráficos, com a cor vermelha mostrando a

tendência principal. Para responder aos itens 4 e 5 do Quadro 3 nota-se que existe uma tendência direcional com predominância no sentido Noroeste, que pode ser confirmada pela rosácea dos centroides.



Fonte: Autoria própria (2024).

### Forma

Apesar do modelo de trajetórias representativas, não foi utilizada a escala por esta não depender das trajetórias representativas. Para responder aos itens 6, 7, 8, 9 e 10 do Quadro 3 foram calculados os indicadores **dist\_n**, **dist\_s**, **dist\_e**, **dist\_w** e **dist\_c**. A partir dos gráficos de tendências de deslocamento em cada eixo e nos centroides, apresentados nas Figuras 6, foi possível identificar a mudança de forma na região móvel como um todo pois os deslocamentos não foram uniformes para cada indicador. A partir do dia 7 foi possível identificar encolhimento principalmente nos indicadores **dist\_n** (Figura 7 a) e **dist\_e** (Figura 7 c).

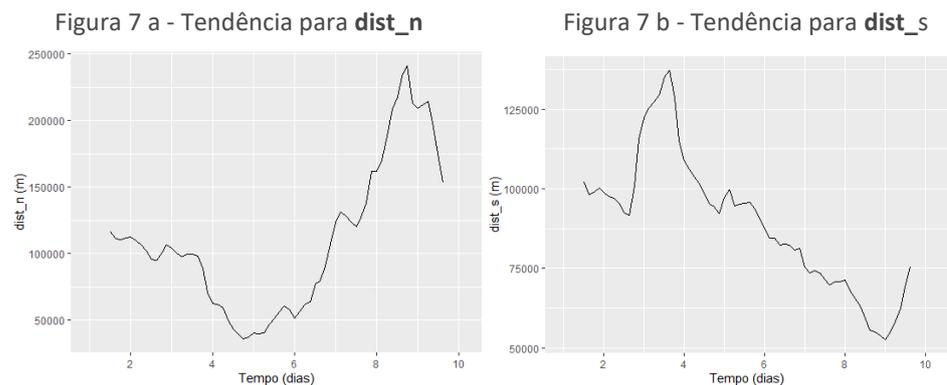


Figura 7 c - Tendência para **dist\_e**

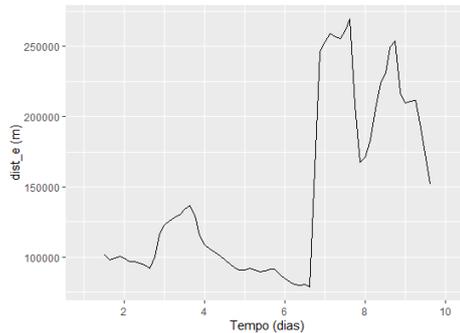


Figura 7 d - Tendência para **dist\_w**

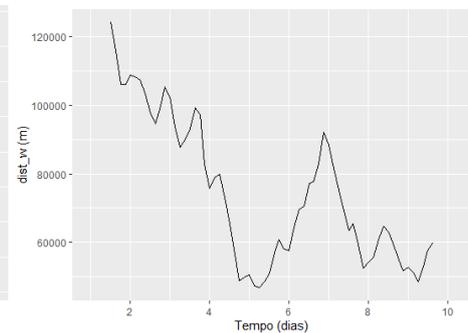
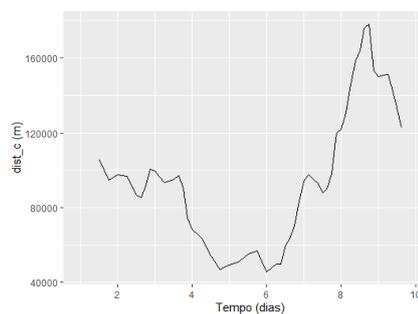


Figura 7 e - Tendência para **dist\_c**



Fonte: Autoria própria (2024).

## CONCLUSÕES

Este artigo teve como principal objetivo propor uma metodologia para a descoberta de conhecimento a partir de regiões móveis, utilizando feixes de trajetórias representativas e indicadores de movimento e deformação que capturam aspectos de deslocamento, direção e deformação.

Foram propostos um conjunto de indicadores, que podem ser escolhidos para cada tipo de aplicação, dependendo do tipo de região móvel em estudo. A simplificação dos polígonos não é obrigatória, mas dependendo do caso, pode ser realizada desde que mantenha o contorno da região estudada.

A abordagem proposta foi aplicada a uma base de dados de trajetórias do furacão Beryl, demonstrando que a metodologia é capaz de identificar tendências de movimento e mudança de forma ao longo do tempo. Os indicadores desenvolvidos permitiram uma análise mais detalhada das transformações espaciais, evidenciando comportamentos dinâmicos, como a expansão e contração das regiões móveis. Esses resultados foram corroborados pela análise dos feixes de trajetórias representativas, que demonstraram coerência com os fenômenos observados no comportamento da tempestade climática.

Além disso, a descoberta de conhecimento com a decomposição de séries temporais identificou tendências de direção e mudanças espaciais. Esse tipo de aplicação pode ser útil em contextos como monitoramento ambiental, gestão de desastres naturais e defesa territorial, onde a previsão de mudanças de regiões móveis é essencial para a tomada de decisão.

Por fim, o trabalho com feixes de trajetórias representativas e a modelagem da interação entre diferentes regiões móveis abre caminho para novas

investigações, como o uso de técnicas de aprendizado de máquina para a modelagem das trajetórias representativas.

# Proposal for modeling trajectories of moving regions

## ABSTRACT

The trajectories of moving regions consider the spatiotemporal representation of position and shape variations of objects with polygonal geometry. This study proposes innovative indicators to analyze the evolution of these geometric features, assessing both displacements and shape changes. The modeling was developed based on five independent trajectory beams: North, South, East, West, and Centroids. This methodology was applied to the data of Hurricane Beryl, and the results obtained through the calculation of the indicators were presented in graphs with time series, providing insights into displacement, direction, and shape changes. Additionally, the methodology can be adapted to study other moving regions, such as clouds, glaciers, wildfires, troop movements in war scenarios, or crowds in different settings.

**KEYWORDS:** Trajectory. Moving region. Knowledge Discovery in Databases.

## REFERÊNCIAS

ALT, H.; MEHLHORN, K.; WAGENER, H.; WELZL, E. Congruence, similarity, and symmetries of geometric objects. **Discrete Comput Geom** **3**, p. 237–256, 1988. <https://doi.org/10.1007/BF02187910>

ANDRIENKO, N.; ANDRIENKO, G.; PELEKIS, N.; SPACCAPIETRA, S. Basic concepts of movement data. **Mobility, Data Mining and Privacy**. Springer-Verlag, p. 15–38, 2008.

BARBOSA, I.; OLIVEIRA, R. A. A. C. Modeling the dynamics of moving regions for knowledge discovery. **Anais do 23º Simpósio Brasileiro de Geoinformática**. São José dos Campos: INPE, 2022.

BOGORNY, V.; BRAZ, F. J. **Introdução a trajetórias de objetos móveis**: conceitos, armazenamento e análise de dados. Editora Univille, 2012. 116p.

CHEN, P.; ZHOU, H.; LI, Y.; LIU, B.; LIU, P. Shape similarity intersection-over-union loss hybrid model for detection of synthetic aperture radar small ship objects in complex scenes. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, PP, 09 2021.

COSTA, R. L. C.; MIRANDA, E.; MOREIRA, J. Towards the automatic selection of moving regions representation methods. **Association for Computing Machinery**. Inc, 2020. p. 60–63. ISBN 9781450381611.

DODGE, S. **Exploring movement using similarity analysis**. 2011. 176 f. Tese (Doutorado na Faculdade de Matemática e Ciências Naturais). Universidade de Zurique. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281755591>. Acesso em: 03 Mar 2022.

DODGE, S.; WEIBEL, R.; LAUTENSCHÜTZ, A.-K. Towards a taxonomy of movement patterns. **Information Visualization**, v. 7, p. 240–252, 08 2008.

DUARTE, J.; DIAS, P.; MOREIRA, J. Approximating the evolution of rotating moving regions using bezier curves. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor and Francis Ltd., v. 37, p. 839–863, 2022. ISSN 13623087.

DUARTE, J.; SILVA, B.; MOREIRA, J.; DIAS, P.; MIRANDA, E.; COSTA, R. L. Towards a qualitative analysis of interpolation methods for deformable moving regions. **Association for Computing Machinery**, 2019. p. 592–595. ISBN 9781450369091.

DUARTE, J. H. F. **A framework for the management of deformable moving objects.** Dissertação de Mestrado – Departamento de Eletrônica, Tele-comunicações e Informática, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2017.

FENG, Z.; ZHU, Y. A survey on trajectory data mining: Techniques and applications. **Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, 2016. v. 4, p. 2056–2067. ISSN 21693536.

GÜTING, R. H.; BÖHLEN, M. H.; ERWIG, M.; JENSEN, C. S.; LORENTZOS, N. A.; SCHNEIDER, M.; VAZIRGIANNIS, M. A foundation for representing and querying moving objects. *Transactions on Database Systems*, **Association for Computing Machinery**, v. 25, p. 1–42, 2000. ISSN 03625915.

HEINZ, F. **Methods for Processing Moving Regions in Moving Objects Databases.** 2021. 165 f. Tese (Doutorado na Faculdade de Matemática e Informática), FernUniversität in Hagen, Regensburg, Alemanha, 2021.

HEINZ, F.; GÜTING, R. H. Robust high-quality interpolation of regions to moving regions. *GeoInformatica*, **Springer New York LLC**, v. 20, p. 385–413, 7 2016. ISSN 13846175.

HEINZ, F.; GÜTING, R. H. A data model for moving regions of fixed shape in databases. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor and Francis Ltd., v. 32, p. 1737–1769, 9 2018. ISSN 13623087.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 19141 **Geographic Information - Schema for moving features.** 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 19157 **Geographic information - Data quality.** 2013.

JUNGHANS, C.; GERTZ, M. Modeling and prediction of moving region trajectories. **Association for Computing Machinery**, 2010. ISBN 9781450304313.

KREVELD, M.; MILTZOW, T.; OPHELDERS, T.; SONKE, W.; VERMEULEN, J. L. Between shapes, using the hausdorff distance. **Computational Geometry**, v. 100, p. 101817, 2022. ISSN 0925-7721.

LAUBE, P.; IMFELD, S. Analyzing relative motion within groups of trackable moving point objects. **GIScience 2002**, Springer-Verlag, 2002.

LI, W.; GOODCHILD, M.; CHURCH, R. An efficient measure of compactness for two-dimensional shapes and its application in regionalization problems. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 27, p. 1227–1250, 06 2013.

MAZIMPAKA, J. D.; TIMPF, S. Trajectory data mining: A review of methods and applications. **Journal of Spatial Information Science**, University of Maine, v. 13, p. 61–99, 2016. ISSN 1948660X.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. 1995.

MCKENNEY, M.; VISWANADHAM, S. C.; LITTMAN, E. The cmr model of moving regions. **Association for Computing Machinery**, Inc, 2014. p. 62–71. ISBN 9781450331395.

MCKENNEY, M.; WEBB, J. Extracting moving regions from spatial data. **Association for Computing Machinery**, 2010. p. 438–441. ISBN 9781450304283.

MESQUITA, P. A. V. Técnicas de Morphing Para Representação de Objetos Móveis Geográficos. Universidade de Aveiro. 2013

NATIONAL HURRICANE CENTER. **Hurricane BERYL - 2024 Archive Forecast Results**. 2024. Disponível em: [https://www.nhc.noaa.gov/gis/archive\\_forecast\\_results.php=al02&year=2024&name=Hurricane%20BERYL](https://www.nhc.noaa.gov/gis/archive_forecast_results.php=al02&year=2024&name=Hurricane%20BERYL). Acesso em: 15 ago 2024.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. **OGC Moving Features Access**. 2017. Disponível em: <https://docs.ogc.org/is/16-120r3/16-120r3.html>. Acesso em: 10 mar 2024.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. OGC Implementation Standard for Geographic information - **Simple feature access - Part 1: Common architecture**. 2010. Disponível em: <https://www.ogc.org/standards/sfa>. Acesso em: 17 abr 2024.

ORTIZ, A. E.; ROCHA, L. A.; MEDINA, R. J. Modelo semântico para trayectorias de regiones en movimiento. **Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, Nº E28, p. 437–449, 2020.

REVELLE, W. **Psych**: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research. Evanston, Illinois, 2024. R package version 2.4.6. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=psych>. Acesso em: 12 set 2024.

REZATOFIGHI, S. H.; TSOI, N.; GWAK, J.; SADEGHIAN, A.; REID, I. D.; SAVARESE, S. Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression. 2019 **IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, p. 658–666, 2019.

SCHNEIDER, M. **Spatial and spatio-temporal data models and languages**. 12 2013. SPACCAPIETRA, S.; PARENT, C.; DAMIANI, M. L.; MACEDO, J. A. de; PORTO, F.; VANGENOT, C. A conceptual view on trajectories. **Data and Knowledge Engineering**, v. 65, p. 126–146, 4 2008. ISSN 0169023X.

TRAPLETTI, A.; HORNIK, K. **tseries: Time Series Analysis and Computational Finance**. 2018. R package version 0.10-43. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=tseries>. Acesso em: 18 set 2024.

TVEITE, H. **The QGIS Line Direction Histogram Plugin**. (2015). Disponível em: <http://plugins.qgis.org/plugins/LineDirectionHistogram/>. Acesso em: 24 jun 2024.

TØSSEBRO, E.; GÜTING, R. H. Creating representations for continuously moving regions from observations. In: **Springer-Verlag**, 2001. p. 321–344.

WAYLEN, P.; SOUTHWORTH, J.; GIBBES, C.; TSAI, H. Time series analysis of land cover change: Developing statistical tools to determine significance of land cover changes in persistence analyses. **Remote Sensing, MDPI AG**, v. 6, p. 4473–4497, 2014. ISSN 20724292.

**Recebido:** 01 out. 2024

**Aprovado:** 06 dez. 2024

**DOI:** 10.3895/rbgeo.v13n1.19241

**Como citar:** OLIVEIRA, P. B.; BARBOSA, I. Proposta de modelagem de trajetórias de regiões móveis. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 052-076, jan./jun. 2025. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Priscila Backes de Oliveira

Praça General Tibúrcio, 80, CEP 22290-270, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

