|  |  |
| --- | --- |
| CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC | |
| (  ) PRÉ-PROJETO     (  X  ) PROJETO | ANO/SEMESTRE: 2024/1 |

estudo de caso aplicando a extensão espacial postgis para postgresql

Vinicius Pereira Forte

Prof. Alexander Roberto Valdameri – Orientador

# Introdução

Nos últimos anos, testemunha-se um rápido avanço na aquisição de dados geoespaciais, impulsionado por tecnologias como satélites de alta resolução, sensores Internet das Coisas (IOT) e dispositivos móveis habilitados para Sistemas de Posicionamento Global (Global Positioning System – GPS) (Godfrid *et al*., 2022). Godfrid *et al.* (2022) afirmam que esses avanços trazem uma quantidade sem precedentes de informações georreferenciadas à nossa disposição. No entanto, a necessidade de aplicação e processamento desses dados ainda é sinônimo de dúvida. No mundo todo, o termo movimento é um aspecto muito importante na vida cotidiana e todo movimento que é gravado geograficamente, pode ser representado em forma de um mapa com sua linha de trajeto, ou até mesmo com pontos dos locais visitados (Nara, 2015).

Nara (2015) destaca que a introdução do tema de espaços geoespaciais também aborda a semântica de que os dados de movimento são constituídos por coordenadas, datas e horas. Nara (2015) ainda afirma que a partir do momento que se possui os dados respectivos, pode-se realizar análises aprofundadas com essas informações e essa é a grande vantagem da utilização de dados geoespaciais. Por este motivo, os grandes Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBDs) estão se aprofundando na questão do tratamento dos dados geoespaciais. Exemplos disso são Oracle, SQLServer e PostgreSQL.

Alinhado a isso, Araújo (2021) descreve que o desenvolvimento urbano das grandes metrópoles, o aumento da cadeia de suprimentos e a exigência por um serviço de qualidade, desencadeia a busca por sistemas de roteamento e entregas de mercadoria mais eficazes as empresas do setor. Os sistemas de roteirização e programação de veículos obtém um resultado geralmente satisfatório na organização e manipulação das entregas nos diversos meios modais. Segundo o autor, esses softwares de roteirização normalmente possuem custo elevados de aquisição e manutenção e que se gerenciado da forma incorreta, pode vir a dar prejuízo a organização.

A importância do modal rodoviário é evidente atualmente no país, segundo Moreira, Freitas Junior e Toloi (2023, p. 1-13) 65% das cargas gerais são movimentadas no modal rodoviário nos últimos 30 anos, sendo assim, o mais utilizado. Em justaposição a esses dados**,** Omija *et al.* (2021) destaca que a identificação dos fatores operacionais e o controle de custos nesta atividade são de extrema importância, tornando os estudos do assunto indispensáveis para comtemplar todas as falhas do sistema rodoviário.

A flexibilidade e a facilidade de acesso ao meio rodoviário, conforme Omija *etal.* (2021) dá uma grande vantagem a esse modal, no que se refere aos outros modais de transporte. O atendimento de porta a porta, com rapidez e confiança, torna esse modal um dos mais utilizados no país. O autor ainda acrescenta a importância de um planejamento cônscio para a conservação do meio ambiente e do custo do contribuinte.

Diante desse cenário, esse trabalho se propõe a disponibilizar uma ferramenta para amparar a entrega mais rápida e definição de rotas utilizando a extensão PostGIS, extensão do PostgreSQL para tratamento de referências geoespaciais. A ferramenta auxiliará na definição de roteamento com as informações capturadas do banco PostgreSQL, objetivando a usabilidade da extensão para tratamento de localizações e dados espaciais.

## OBJETIVOS

O objetivo do estudo é disponibilizar uma ferramenta para organização de rotas de caminhões direcionando ao motorista a rota prevista como foco no estudo da extensão PostgreSQL/PostGIS.

Os objetivos específicos são:

1. fazer o tratamento e reconhecimento das distâncias entre os endereços geoespaciais;
2. explorar a utilização da extensão PostGIS/PostgreSQL, evidenciando o entendimento da extensão;
3. investigar e disponibilizar um estudo de caso, utilizando sistema de roteamento.

# trabalhos correlatos

A seguir são apresentados os trabalhos correlatos ao proposto nesse trabalho. Esses trabalhos buscam evidenciar e servir como ferramenta de unificação do conteúdo e esclarecer a temática do tema. A seção 2.1 apresenta o trabalho de estudo sobre base de dados do IBGE (RODRIGUES, 2018), o segundo ilustra uma comparação entre o sistema PostGIS e SpatiaLite (DELGADO *et al.,* 2015) e o terceiro é a ferramenta integradora do PostgreSQL/PostGIS chamada MobilityDB (ZIMÁNYI *et al.*, 2020).

## Armazenamento e MANIPULAÇÃO DE dados espaciais no postgresql/postgis

O trabalho disponibilizado por Rodrigues (2018) tem por objetivo contextualizar e apresentar formas de armazenamento de manipulação dos dados espaciais. O trabalho realiza uma contextualização sobre o assunto, além do motivo pelo qual o assunto é abordado. Além disso, ao final do texto é apresentada a metodologia, a qual apresenta-se em forma de estudo de caso e que busca evidenciar a utilização da extensão PostGIS para o trabalho, buscando distinguir as diferenças existenciais entre os diversos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD).

Inicialmente, o trabalho apresenta a fundamentação para seu desenvolvimento abordando a história da cartografia e dos mapas e posteriormente as diversas representações de dados espaciais e como eles podem ser representadas dentro do contexto estudado. Ademais, o autor aponta que os dados espaciais, dentro de SGBDs podem representar informações sobre o local físico ou até mesmo a forma dos objetos geométricos. É contextualizado as diferentes vertentes das informações espaciais, desde os modelos de representação, os diversos tipos de dados espaciais, as operações realizáveis e até mesmo a modelagem dos dados apresentados (RODRIGUES, 2018).

Ainda, é abordado as diversas ferramentas de SGBDs possíveis para o desenvolvimento e tratamento desses dados, destacando seus pontos positivos e negativos, além de toda uma contextualização da ferramenta. Dentre elas destacam-se: PostGIS, Oracle Spatial, IBM DB2 Spatial Extender e SPATIAL DATA do SQL Server (RODRIGUES, 2018).

Por fim, é realizado uma análise da ferramenta PostGIS do PostgreSQL, demonstrando em forma de estudo de caso, o qual realiza um experimento prático das ferramentas abordadas, utilizando como dados do estudo uma base do Instituto Brasileiro Geografia e Estatística (IBGE). Além da utilização da ferramenta PostGIS, também é utilizada a ferramenta QGIS de código aberto. Utilizando esse Sistema de Informação Geográfico (SIG) o autor demonstra os dados retirados com a extensão PostGIS como pode ser observado na Figura 1, ao evidenciar as áreas sustentáveis do Brasil disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (RODRIGUES, 2018).

Figura 1 – Estudo de Caso de áreas sustentáveis

Mapa

Descrição gerada automaticamente

Fonte: RODRIGUES (2018).

## COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE EXTENSÕES ESPACIAIS SGBD:POSTGIS E SPATIALITE

Delgado *et al*. (2015) analisaram a performance e as diversas características entre duas extensões espaciais de dois diferentes SGBDs, PostGIS e SpatialLite, respectivamente, do PostgreSQL e SQLLite. Com objetivo de comparar a quantidade de funções suportadas, espaço de armazenamento e a velocidade de consultas Structured Query Language (SQL), foi apresentado uma metodologia de avaliação de desempenho dos testes avaliados. Ao final, é apresentado as considerações do autor.

Delgado *et al*. (2015) definiram critérios de avaliação para chegar a uma conclusão de desempenho entre as duas extensões espaciais. Primeiros critérios dizem respeito ao suporte as funções estabelecidas conforme em Consórcio Geoespacial Aberto (OGC). O segundo critério é o tamanho das tabelas após população dos dados e por fim o último critério é o tempo de execução das consultas envolvendo as funções espaciais. No Quadro 1 é possível observar os tempos decorridos em milissegundos (ms) e que foram comparadas para publicação do trabalho.

Quadro 1 - Tempo decorrido na execução das consultas não-espaciais

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Consulta | Tempo PostGIS (ms) | Tempo SpatiaLite (ms) |
| Exibir uma tabela | 18 | 28 |
| Exibir uma tabela obedecendo uma restrição | 17 | 25 |
| Exibir uma tabela ordenada obedecendo uma restrição | 12 | 36 |
| Exibir a quantidade de elementos que obedecem a uma restrição | 13 | 36 |
| Exibir o SRID de uma tabela | 12 | 24 |
| Exibir o tipo de geometria de uma tabela | 14 | 21 |

Fonte: Delgado *et al.* (2015).

Os testes realizados abordam dados da Prefeitura do Rio de Janeiro, contendo 106 hotéis, 382 monumentos, 20 praias, 18 museus e 136 pontos turísticos. Ao final do estudo o resultado determinou pouca diferença entre as duas extensões, assim possibilitando a utilização do SpatiaLite para consultas não muito complexas e com base de dados pequenas (DELGADO *et al.,* 2015).

## MOBILITYDB: A MOBILITY DATABASE BASED ON POSTGRESQL AND POSTGIS

Zimányi *et al.* (2020) disponibilizaram uma solução completa capaz de realizar o tratamento de dados móveis (MOD). Em primeiro momento é contextualizado a respeito da motivação do tema, no qual aborda a necessidade do tratamento de dados espaciais e temporais. Após é apresentada a ferramenta MobilityDB que é MOD baseado no PostGIS e PostgreSQL, com todas suas funções e ao final demonstrado todos os testes de *benchmark* utilizando as mais diversas consultas em SQL.

Os autores do trabalho destacam as funções disponíveis dentro da ferramenta como o tratamento de dados de tempo, assim como caixas delimitadoras, ou seja, apresentar a área de abrangência de um objeto geoespacial, conversão entre tipos e diversas funções com dados prontos para utilização. Conforme especificações da OGC (2010), o autor descreve as principais funções do sistema as quais podemos destacar os tipos temporais e de tempos, esses tipos buscam representar dados que evoluem com o passar do tempo.

Ainda, Zimányi *et al.* (2020) por fim ponderam o resultado do estudo utilizando 17 consultas em diferentes escalas de dados em comparação a uma pesquisa anterior de um protótipo de objetos móveis, denominado SECONDO. Os resultados mostraram que o MobilityDB superou o SECONDO em várias consultas, graças ao seu uso eficiente de índices espaciais e ao uso de consultas comuns (CTEs) para orientar o planejador SQL. Algumas diferenças entre os sistemas incluem o fato de que o SECONDO usa índices espaço-temporais com caixas delimitadoras de segmentos, enquanto o MobilityDB usa índices GiST e SP-GiST com caixas delimitadoras de trajetória completa. Além disso, o MobilityDB pré-computa e armazena projeções espaciais para acelerar operações topológicas.

Os testes de algumas consultas podem ser observados na Figura 3, o qual há comparação de diversas consultas de SQL na implementação do estudo e do estudo anterior, denominado SECONDO. Na Figura 2 pode ser observado o tempo em segundos de resposta das implementações comparadas e observado uma boa equivalência entre elas.

Figura 2 - Benchmark das Querys (Comparação entre MobilityDB e SECONDO)

Gráfico, Gráfico de barras

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Zimányi *et al.* (2020).

# proposta do software

Nesta seção será apresentada a relevância e a importância deste trabalho para a área acadêmica e industrial buscando evidenciar estudo de caso sobre a utilização da extensão PostGIS/PostgreSQL. Também serão apresentados os principais Requisitos Funcionais (RF) e Requisitos Não Funcionais (RNF), a metodologia a ser utilizada e o cronograma a ser seguido no desenvolvimento do trabalho.

## JUSTIFICATIVA

No Quadro 2 são apresentadas características dos trabalhos correlatos que podem contribuir para o desenvolvimento da ferramenta proposta nesse trabalho. Nas linhas são descritas as características e nas colunas os trabalhos.

Quadro 2 - Comparativo dos trabalhos correlatos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Trabalhos Correlatos  Características | Rodrigues (2018) | Delgado *et al.* (2015) | Zimányi *et al.* (2020) |
| Cenário / Objetivo | Manipulação dados espaciais | Comparação entre PostGIS e SpatiaLite | Solução para tratamento de dados móveis |
| Estudo de Caso / Sistema c/ PostGIS | Sim (estudo caso) | Sim (estudo caso) | Sim (MobilityDB) |
| Base de Dados | Dados do IBGE | Dados da Prefeitura do RJ | Não Possui |
| Utilização de SIG | Sim | Não | Não |
| Padrões definido pela OGC (2010) | Não | Sim | Sim |
| Qual modelagem de dado espacial | Diversos | Pontos | Temporais |
| Possui relatórios de análise e impacto | Não | Sim | Sim |
| Versão PostGIS | 2.5 | 1.5 | X |

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Conforme sintetizado no Quadro 2, os trabalhos possuem diferentes objetivos de estudo, Rodrigues (2018) e Delgado *et al.* (2015) estimulam a contextualização da manipulação dos dados e como a ferramenta é utilizada a partir desses estudos propiciando em futuros estudos mais abrangentes sobre o assunto. Zimányi *et al.* (2020) já apresenta uma solução para o tratamento de dados espaciais tratados quando são objetos em movimento principalmente. Todas as ferramentas aplicam a extensão PostGIS em seus estudos.

A abordagem dos dados utilizados, se difere entre as três pesquisas. Rodrigues (2018) utiliza uma base do IBGE com 61 tabelas com informações de hidrografia, sistema de transportes, energia e comunicação, abastecimento de água, entre outros dados. Delgado *et al.* (2015) utiliza uma base de dados da prefeitura do Rio de Janeiro, que possui informações de pontos turísticos da cidade. Já Zimányi *et al.* (2020) não aplica a utilização de uma base de dados, diferente disso, ele desenvolve uma extensão para o banco PostgreSQL capaz de lidar com informações de mobilidade que variam no tempo.

De acordo com OGC (2010), os padrões da Consórcio Geoespacial Aberto (OGC) uma organização sem fins lucrativos composta por uma comunidade de empresas, governo, organização acadêmica e outras parte interessadas da comunidade geoespacial, definem alguns padrões para utilização das informações geoespaciais, tendo por objetivo que sistemas de informações geográficas (SIG), Sistema de Posicionamento Global (GPS) e sensoriamento remoto possam funcionar independentemente de quem os desenvolveu. Com exceção de Rodrigues (2018) que não aborda a temática dos padrões definidos pela organização, todos os outros deixam claro que utilizam os padrões definidos pela organização.

A modelagem dos dados difere nos três trabalhos. No estudo de caso de Rodrigues (2018) é demonstrado alguns tipos trabalhos como polígono, linha e pontos. Delgado *et al.* (2015) utiliza apenas o tipo ponto. Enquanto Zimányi *et al.* (2020) disponibiliza com sua ferramenta o tratamento de dados temporais.

Os resultados são de extrema importância para avaliação do estudo comtemplado, Zimányi *et al.* (2020) e Delgado *et al.* (2015) trazem resultados de *benchmark* e do comparativo entre as ferramentas de estudo respectivamente. A utilização de resultados gráficos demonstra graficamente para o leitor os resultados obtidos.

Conforme descrevem Meng *et al. (*2017), com o crescimento urbano as cidades cada vez mais enfrentam numerosos desafios para satisfazer a necessidade de sua população, refletindo especialmente no setor de transportes, o qual necessita cada vez mais de sistemas capazes de lidar com informações geoespaciais**.** Agarwal e Rajan (2016)destacam a necessidade do aprofundamento do estudo em bancos de dados, visando encontrar soluções para os tratamentos de dados contemporâneos.

## REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Os requisitos da ferramenta são:

1. permitir o cadastro de clientes (Requisito Funcional - RF);
2. permitir o cadastro de localizações dos clientes (RF);
3. permitir o cadastro de observações (RF);
4. permitir a importação de dados pelo usuário (RF);
5. permitir o cadastro de veículos (RF);
6. permitir desativar clientes na rota (RF);
7. permitir o acompanhamento das rotas (RF);
8. disponibilizar relatório de rotas (RF);
9. utilizar a extensão PostGIS do PostgreSQL (Requisito Não Funcional - RNF);
10. utilizar HTML, CSS e Javascript para desenvolver o visual da ferramenta (RNF);
11. utilizar Python para desenvolver a ferramenta do usuário (RNF);
12. disponibilizar a ferramenta para rodar em navegadores (RNF).

## METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

1. levantamento bibliográfico: fazer pesquisa bibliográfica sobre extensão PostGIS/PostgreSQL, aplicações de roteamento, Python, SQL e desenvolvimento similares;
2. elicitação de requisitos: análise e revisão dos requisitos destacados, evidenciando o objetivo do trabalho;
3. pesquisa e análise de algoritmo para definição do estudo de caso: pesquisar e montar a estrutura do estudo de caso, definindo as ferramentas/componentes necessários para o desenvolvimento do estudo de caso;
4. busca de informação e definição dos dados geográficos: definição da base dados que será utilizada para elaboração do estudo de caso, buscando evidenciar a melhor forma da utilização da extensão PostGIS e PostgreSQL. Montagem da arquitetura do banco para operacionalizar o estudo de caso;
5. especificação: estabelecer o modelo de análise e projeto do trabalho por meio da utilização de diagramas de casos de uso, diagramas de classes e utilização da Linguagem de Modelagem Unificada, assim como, do modelo de persistência dos dados;
6. implementação: desenvolvimento do estudo de caso utilizando Python;
7. testes: testes unitários e funcionais para garantir que a aplicação Python funcione de maneira confiável. Isso envolve a criação de casos de teste, simulações de uso e verificações minuciosas para identificar e corrigir possíveis problemas;
8. validação: validação da ferramenta com base na revisão por pares para validar e resultar o trabalho de estudo. Além da avaliação de usabilidade de usuários e avaliação estatística.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 3.

Quadro 3 - Cronograma

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2024 | | | | | | | | | |
|  | jul. | | ago. | | set. | | out. | | nov. | |
| etapas / quinzenas | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| levantamento bibliográfico |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| elicitação de requisitos |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| pesquisa e análise de algoritmo para definição do estudo de caso |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| busca de informação e definição dos dados geográficos |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| especificação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| implementação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| testes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| validação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção descreve brevemente sobre os assuntos que fundamentarão o estudo a ser realizado, assim como também o estudo de caso aqui apresentado. A subseção 4.1 aborda sobre a questão do roteamento de cargas e suas especificações, considerando seus pontos e demandas. Na subseção 4.2 apresenta algumas dinâmicas e cálculos sobre a teoria de rotas e entregas. Por fim, na subseção 4.3 conceitua-se informações sobre a extensão POSTGIS e suas utilidades.

## roteamento de cargas

Ikeuti (2020) descreve que os custos de transportes englobam uma grande fatia do custo da cadeia de suprimentos, assim, é imprescindível que as empresas realizem um planejamento de otimização de rotas para manter sua competitividade no mercado, sem comprometer suas margens de lucro. No contexto brasileiro, de acordo com o Instituto de Logística e Supply Chain (2017), em 2015, os gastos com transporte representaram 56,5% dos custos logísticos totais e 6,9% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, um valor superior ao investimento total na Educação (6,2%) no mesmo ano.

Conforme aponta a CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT,2019)**,** o setor de transporte é um dos mais importantes setores de produção intermediário do Brasil, pois é o promotor de um serviço indispensável à operação de todas as demais atividades secundárias. Atualmente se estima a necessidade de investimento de 865 bilhões de reais em investimento de infraestrutura modal. Ainda conforme aponta a CNT (2019), a redução da União nos investimentos rodoviários acarreta dificuldades na execução das atividades e danos sérios aos diversos modais.

Silva e Barcelos (2019) destacam a necessidade de aprimoramento dos serviços logísticos pelas empresas, essa atitude segundo o autor busca fidelizar o cliente e entregar em menor tempo possível o produto. Conforme Souza (2022) a roteirização tem a finalidade de encontrar a melhor rota para empresa e minimizar o custo de tempo e quilometragem, consequentemente gerando benefícios financeiros e de qualidade. Dessa forma o geoprocessamento vem como grande ferramenta para auxiliar na solução aos problemas de roteirização de veículos, visto que tem como principal função coleta e manipulação de informações, análise, elaboração e criação de propostas para gerenciamento do sistema e reconhecimento de soluções para os problemas identificados (Souza2022).

Palhares et. al. (2019) descreve que a partir de um plano estruturado de roteirização, os veículos podem ser otimizados, as rotas podem ser devidamente planejadas e a eficiência operacional atendida através da redução de quilometragem, custos, manutenção e aperfeiçoamento das informações gerenciais. Resultados que impactam na redução dos custos logísticos e no aumento da qualidade na prestação do serviço ofertado. O problema de roteirização visa resolver problemas de ociosidade, veículo parado e rapidez na entrega, entre outras demandas do setor logístico (FREITAS *et.al.* 2021).

## CÁLCULO DE ROTAS E SUAS DIRETRIZES

Pedro Leopoldo nos introduz o tema de Vehicle Routinh Proble (VPR) como um elemento de desenvolvimento estudado a mais de 50 anos e que possui diversas diretrizes de conhecimento e abordagem. SOUZA (2022) descreve VPR como um problema de classe NP, ou seja, que não pode ser classificado de forma polinomial e que assim demanda um alto custo computacional.

Ikeuti (2020) introduz o termo Vehicle Routing Problem (VPR), conhecido como o problema de roteamento de veículos e suas diversas diretrizes como o VPR capacitado (Citaded Vehicle Routing Problem - CVRP), para a resolução do problema do caixeiro viajante. Palhares *et. al.* (2019) descreve que o Problema do Caixeiro Viajante é base para o VPR que busca encontrar um menor custo, ou distância, para visitar diferentes clientes, respeitando também a capacidade de cada cliente e adicionado a isso que o começo deve ser igual a sua chegada. Silva e Barcelos (2019) afirma que o objetivo dessa metodologia é encontrar o caminho hamiltoniano, definido como a rota que será percorrida atendendo uma demanda de cidades sem precisar passar mais de uma vez no mesmo ponto.

Palhares *et.al.* (2019) nos revela que a utilização de VPR visa organizar e alinhar os objetivos da empresa a uma economia de caminho percorrido e a satisfação do cliente. Conforme aponta o autor, a utilização de um plano cartesiano com marcações longitudinais e latitudinais, com a montagem de nós e arestas conforme Figura 3, vem a ser realizado visando o cálculo da rota e solução do problema. Palhares *et. al* (2019) acrescenta ao tema que a solução dada a esses problemas são soluções de nível ótimo, sendo soluções viáveis e não obrigatoriamente as melhores opções, visto que exigem um cálculo computacional que demanda um alto processamento de dados para chegar em uma solução definitiva.

Figura 3 - Demonstração de plano cartesiano usando referência geoespacial

Gráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Palhares *et. al.* (2019).

## EXTENSÃO POSTGIS

O PostGIS tem sua história iniciada em 2001, na necessidade de uma ferramenta que ao invés de tratar os dados geoespaciais como arquivos, trate como um banco espacial (POSTGIS, 2012). Zimányi *et al.* (2020) afirma que o PostGIS veio a contemplar soluções de problemas como o acesso simultâneo de diversos usuários e softwares especiais para ler e gravar os dados, além da simplificação do código de tratamento, evitando centenas de linhas para executar comandos simples. A evolução durante os anos, tornou o PostGIS uma das ferramentas de código aberto mais utilizada, permitindo a grandes empresas a sua utilização (POSTGIS, 2012).

Obe *et. al.* (2021) aponta que com poucas linhas de código SQL (Structure Query Language) é possível implementar grandes consultas com informações espaciais e georreferenciais. PostGIS começou como um projeto de uma companhia localizada em Victoria, no Canadá e desde então se destaca em universidades, organizações públicas e outras companhias privadas. Com PostGIS é possível trabalhar com suporte de projeção, suporte de processamento geométrico, processamento de recursos raster e permite ainda análises 3D. Ainda conforme Obe et. al. (2021) o PostGIS suporta muitos dos padrões ANSI SQL, além dos padrões da OGC e o SQL Multimedia-spec. O PostGIS fornece ferramentas capazes de realizarem operações espaciais, funções espaciais e trabalhar com tipos de dados espaciais.

Segundo Obe *et. al.* (2021) é possível realizar funções para trabalhar com GeoJSON, Keyhole Markup Language (KML) e Mapbox Vector Tiles (MVT). GeoJSON permite trabalhar com JSON para representar objetos JavaScript. KML, é um formato XML que foi usado primeiramente nos mapas da Google e aceito em diversas APIs. E por fim, o MVT, um vetor binário preenchido por Mapbox. Conforme Obe *et. al.* (2021) afirma, a razão pela qual se deve a grande facilidade e desenvolvimento do PostGIS, é por conta do PostgreSQL ter uma maior facilidade de construção de novos tipos de operadores e para controlar operadores de índices. Além é claro de ser uma ferramenta gratuita e open source.

Referências

AGARWAL, S., RAJAN, K.S. **Performance analysis of MongoDB versus PostGIS/PostGreSQL databases for line intersection and point containment spatial queries.** *Spat. Inf. Res.* V.24, p. 671-677, 2016.

ARAÚJO, Filipe Naves. **Análise do desempenho logístico da roteirização em uma varejista de autopeças em Goiânia-GO**. 2021. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Análise do Transporte. Disponível em: https://www.cnt.org.br/. Acesso em: 9 jun. 2024.

DELGADO, Rodrigo Evangelista et al. **Comparação do desempenho de extensões espaciais de SGBD: PostGIS e SpatiaLite**. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTOSBSR, v. 4, p. 3326-3330, 2015.

GODFRID, J. *et. al.* **Analyzing public transport in the city of Buenos Aires with MobilityDB**. Public Transp v.14, p. 287-321, 2022.

IKEUTI, André Kenji. **Roteamento do sistema de transporte intermodal de cargas**. 2020. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/50017/50017.PDF. Acesso em: 24 set. 2023.

MENG, Chuishi et.al. **City-wide Traffic Volume Inference with Loop Detector Data and Taxi Trajectories.** ACM Transactions on Database Systems (TODS), 2017. Disponível em https://doi.org/10.1145/3139958.3139984. Acesso em 18 ago. 2023.

MOREIRA, M. A. L., FREITAS, M. de Junior, TOLOI, R. C. **O transporte rodoviário no Brasil e suas deficiências.** Refas - Revista Fatec Zona Sul, 4(4), 1–13, 2018. Disponível em: https://revistarefas.com.br/RevFATECZS/article/view/191. Acesso em: 25 ago. 2023.

NARA, Atsushi. **Visual analytics of movement**, by Gennady Andrienko, Natalia Andrienko, Peter Bak, Daniel Keim and Stefan Wrobel, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, p. 280. 2015.

OBE, Regina; HSU, Leo S. **PostGIS in action**. 2. ed. Simon and Schuster, 2021.

OGC. **OpenGIS Implementation Standard for Geographic information** - Simple feature access - Part 2: SQL option, Arlington 2010. Disponível em: http://www.opengeospatial.org. Acesso em 17 set. 2023.

OMIJA, Fernando Tetsuo; FATEC ZONA LESTE; FATEC SP; LEYWYSON RAMON; FATEC ZONA LESTE SILVA; JOÃO ALMEIDA SANTOS. **Estudo do Impacto Ambiental do Modal Rodoviário Brasileiro**. 2021.

PALHARES, Rafael Azevedo; PALHARES, Rodolfo Azevedo; ARAUJO, Maria Creuza Borges. ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS: APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE EM UMA DISTRIBUIDORA DE LATICÍNIOS. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 105–126, 2019. DOI: 10.4322/PODes.2019.008. Disponível em: https://podesenvolvimento.org.br/podesenvolvimento/article/view/583. Acesso em: 12 jun. 2024.

POSTGIS. **Documentação PostGIS.** 2012. Disponível em: https://postgis.net/documentation/. Acesso em: 17 ago. 2023.

RODRIGUES, Marco Antonio. **Armazenamento e manipulação de dados espaciais no PostgreSQL/PostGIS.** 2018. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SILVA, Viviane Rodrigues da; BARCELOS, Bráulio Frances. **Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante para Otimizar Rota de Entrega em uma Distribuidora.** 2019.

SOUZA, Leidiane dos Santos de**. Sistema de roteirização utilizando o problema do caixeiro viajante: um estudo de caso aplicado à otimização de rotas em um escritório de contabilidade**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) — Instituto Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2022.

ZIMÁNYI, Esteban *et al.* MobilityDB: A mobility database based on PostgreSQL and PostGIS. **ACM Transactions on Database Systems (TODS)**, 2020, v. 1, n. 1. Disponível em https://doi.org/10.1145/3406534. Acesso em 16 set. 2023.