

Curso de Licenciatura em Ciências de Informação Geográfica

**Optimização do Atendimento Domiciliar aos Clientes da EDM: Uma Proposta
Baseada em *WebSIG***

Estudo de Caso: Bairro de Malhazine

Autor: Cardoso Elias Bahule

Maputo, Abril de 2026

Curso de Licenciatura em Ciências de Informação Geográfica

**Optimização do Atendimento Domiciliar aos Clientes da EDM: Uma Proposta
Baseada em *WebSIG***

Estudo de Caso: Bairro de Malhazine

Autor: Cardoso Elias Bahule

Supervisor: Mestre Mário Azarias Chelengo, UEM

Co-supervisor: Lic. Stélio Francisco Matsinhe, UEM

Maputo, Abril de 2026

Dedicatória

*Dedico este trabalho à minha família em especial a minha mãe
Sónia Maria Cardoso Zucula, pelo apoio incondicional, incentivo
constante e compreensão ao longo de toda a minha trajetória
académica.*

Declaração de Honra

Eu, Cardoso Elias Bahule, declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura é resultado da minha investigação e que o processo foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de Licenciado em Ciências de Informação Geográfica na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Abril de 2025

Cardoso Elias Bahule

Agradecimentos

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso simboliza a concretização de um sonho e o culminar de uma etapa marcada por muitos desafios, aprendizagens e conquistas. Expresso aqui a minha sincera gratidão a todos que, de diferentes formas, contribuíram para esta caminhada.

Agradeço primeiro a Deus, pela vida, saúde e pela força que nunca me deixou desistir diante das dificuldades. Aos meus familiares Sónia Maria Cardoso Zucula (Mãe), Emília Elias Bahule, Leopoldo Elias Bahule e Virgílio Elias Bahule (Irmãos), manifesto a minha eterna gratidão pelo amor, paciência e apoio incondicional, que foram fundamentais para que eu conseguisse ultrapassar cada obstáculo.

Ao meu orientador, Docente Mario Azarias Chelengo e ao meu Co-Supervisor Stélio Francisco Matsinhe agradeço pela orientação, disponibilidade e rigor académico que tanto enriqueceram este trabalho

Em especial, agradeço à minha parceira Inária Plácido Monjane, por ter acreditado em mim, por ter-me desafiado a embarcar no mundo da programação e por ser uma fonte constante de inspiração, apoio e motivação.

Aos meus amigos Jeff Quetxoio, Ivan Bule, Fernando Gomes, e José Mutheule agradeço pela amizade, pelo incentivo e pelas palavras de motivação.

Ao Senhor Eugénio Remígio Buque, pelas conversas contrutivas e pelas boleias durante dos meus primeiros anos de faculdade durante.

Por fim, deixo um sincero muito obrigado a todos os colegas e amigos que, directa ou indirectamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Epígrafe

*“Para uma mente brilhante,
1% de chance representa
uma grande possibilidade
de vencer.”*

Cardoso Bahule

Resumo

A Electricidade de Moçambique (EDM) desempenha um papel fundamental na provisão de energia eléctrica a nível nacional, sendo responsável por assegurar um serviço eficiente e contínuo aos seus clientes. Contudo, a EDM enfrenta dificuldades na identificação precisa da localização geográfica das residências dos seus clientes, o que resulta no aumento do tempo de espera no atendimento das avarias técnicas e consequentemente na insatisfação dos clientes. Deste modo, o presente trabalho tem como objectivo desenvolver um Sistema de Informação Geográfica *Web* (*WebSIG*) capaz de apoiar no processo de atendimento domiciliar das avarias técnicas. Para o efeito, foram usados dados simulados (nome dos clientes, número do contador dos clientes, número de celular e localização dos clientes) com base em padrões observados em campo para a criação da base de dados espacial em *PostgreSQL/PostGIS*. Implementou-se o algoritmo de *Dijkstra* para o cálculo de rotas optimizadas e desenvolveu-se uma página *Web*, utilizando *Node.js 18+* para o desenvolvimento do *backend* e a biblioteca *Leaflet.js*, para visualização do mapa, registo e gestão de clientes e geração automática de rotas. O sistema permite localizar os clientes domésticos, através do seu número de contador, de forma mais precisa, organizar intervenções de modo eficiente e seleccionar percursos mais curtos, o que reduz significativamente o tempo de resposta das equipas de piquete. Os resultados demonstram que a integração de um *WebSIG* com funcionalidades de roteamento constitui uma solução viável e vantajosa para a EDM, contribuindo para a melhoria no atendimento ao cliente.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, *WebSIG*, EDM.

Abstract

The Electricidade de Moçambique (EDM) plays a fundamental role in providing electricity at the national level and is responsible for ensuring an efficient and continuous service to its customers. However, EDM faces difficulties in accurately identifying the geographical location of customers' residences, which results in increased waiting times for the resolution of technical faults and, consequently, customer dissatisfaction. Thus, the present study aims to develop a Web Geographic Information System (WebGIS) capable of supporting the household service process for technical faults. For this purpose, simulated data (customer names, meter numbers, mobile phone numbers and customer locations) based on patterns observed in the field were used to create the spatial database in PostgreSQL/PostGIS. The Dijkstra algorithm was implemented for optimised route calculation, and a web page was developed using Node.js 18+ for backend development and the Leaflet.js library for map visualisation, customer registration and management, and automatic route generation. The system allows for more accurate localisation of domestic customers through their meter numbers, enables efficient organisation of interventions, and supports the selection of shorter routes, significantly reducing the response time of field teams. The results demonstrate that integrating a WebGIS with routing functionalities is a viable and advantageous solution for EDM, contributing to improved customer service.

Keywords: *Geographic Information System, WebGIS, EDM.*

Abreviaturas

AJAX – *Asynchronous JavaScript and XML*

API – *Application Programming Interface*

ARPA / ARPANET – *Advanced Research Projects Agency Network*

CD – Centro de Distribuição

DML – *Data Manipulation Language*

DIME – *Dual Independent Map Encoding*

EDM – Electricidade de Moçambique

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

FOSS – *Free and Open Source Software*

GIS/ SIG – *Geographic Information System* / Sistema de Informação Geográfica

GRASP – *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*

HTML – *Hypertext Markup Language*

OGC – *Open Geospatial Consortium*

PC – *Personal Computer*

PRV – Problema de Roteamento de Veículos

PRVJT – Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo

SGBD – Sistema de Gerenciamento de Base de Dados

SGBDE – Sistema de Gerenciamento de Base de Dados Espaciais

WebSIG / *WebSIG* – Sistema de Informação Geográfica para *Web*

SQL – *Structured Query Language*

TCP/IP – *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*

URL – *Uniform Resource Locator*

WCS – *Web Coverage Service*

WFS – *Web Feature Service*

WMS – *Web Map Service*

Glossário

API – Conjunto de rotinas e padrões que permitem a comunicação entre diferentes *Softwares* e módulos de um sistema (Fielding, 2000).

Avenue – Linguagem de programação orientada a objectos desenvolvida pela ESRI para personalizar, automatizar tarefas e criar aplicações no ArcView GIS (ESRI, 1996).

Backend – Camada lógica e estrutural de um sistema, responsável pelo processamento de dados, regras de negócio e comunicação com o servidor (Sommerville, 2016).

DML (*Data Manipulation Language*) – Parte do SQL utilizada para inserir, actualizar, remover e consultar dados numa base de dados (Date, 2019).

Framework – Estrutura de desenvolvimento composta por ferramentas, bibliotecas e padrões que facilitam a criação de aplicações (Gamma et al., 1994).

Frontend – Parte visível de um sistema ou aplicação, responsável pela apresentação e interacção directa com o utilizador (World Wide *Web* Consortium, 2023).

Geocodificação – Processo de transformar endereços ou descrições geográficas em coordenadas geográficas (Longley et al., 2015).

Interface – Meio através do qual o utilizador interage com um sistema, podendo ser gráfica, textual ou táctil (Norman, 2013).

IoT (*Internet of Things*) – Conjunto de dispositivos físicos conectados à Internet que recolhem e partilham dados em tempo real (Ashton, 2009).

JSON (*JavaScript Object Notation*) – Formato leve para intercâmbio de dados estruturados, legível por humanos e máquinas (Bray, 2014).

Leaflet.js – Biblioteca JavaScript de código aberto utilizada para criar mapas interactivos em aplicações *Web* (Agafonkin, 2011).

Open Source – *Software* cujo código-fonte é disponibilizado publicamente, permitindo modificações e redistribuição (Open Source Initiative, 2024).

Piquete – Equipa de resposta rápida destinada à resolução de avarias ou problemas emergenciais em infra-estruturas (Electricidade de Moçambique, 2022).

PostgreSQL/PostGIS – PostgreSQL é um sistema de gestão de bases de dados relacionais; PostGIS é a extensão espacial que permite armazenar e processar dados geográficos (PostgreSQL Global Development Group, 2024; Refrations Research, 2023).

SGBD (Sistema de Gestão de Bases de Dados) – Conjunto de programas que permitem definir, gerir, manipular e manter bases de dados (Connolly e Begg, 2015).

Tabu Search – Meta-heurística de optimização usada para evitar mínimos locais ao registar soluções recentemente exploradas (Glover e Laguna, 1997).

WCS (*Web Coverage Service*) – Padrão OGC para acesso e partilha de dados raster, como imagens de satélite e modelos digitais de terreno (Open Geospatial Consortium, 2023).

WFS (*Web Feature Service*) – Padrão OGC que permite aceder e manipular entidades geográficas vectoriais pela Internet (Open Geospatial Consortium, 2022).

WMS (*Web Map Service*) – Padrão OGC que possibilita publicar e visualizar mapas na *Web* (Open Geospatial Consortium, 2023).

WebSIG / WebGIS – Sistema de Informação Geográfica baseado na *Web*, permitindo acesso, análise e visualização de dados geográficos em navegadores (Peng e Tsou, 2003).

Índice

Dedicatória	i
Declaração de Honra	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	v
<i>Abstract</i>	vi
Abreviaturas	vii
Glossário	ix
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvi
Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Definição do Problema	3
1.3 Justificativa	4
1.4 Relevância do Estudo	4
1.5 Objectivos	5
1.5.1 Objectivo Geral	5
1.5.2 Objectivos Específicos	5
Localização Geográfica da Área de Estudo	6
2.2 Caracterização Físico-Geográfica	7
2.2.1 Clima	7
2.2.2 Solos	8
2.3 Caracterização Sócio-Económica	8
Revisão de Literatura	10
3.1 Clientes	10
3.1.1 Atendimento ao Cliente	11

3.1.2	Atendimento Domiciliar.....	11
3.2	Sistemas de Informação Geográfica	12
3.2.1	Evolução da Tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica no Contexto Mundial.....	14
3.3	<i>Internet</i>	15
3.4	Evolução da <i>Web</i>	15
3.5	SIG e <i>WEB</i>	16
3.5.1	Evolução dos <i>WebSIG</i>	17
3.5.2	Arquitetura do <i>WebSIG</i>	17
3.6	Estado Actual do <i>WebSIG</i>	18
3.7	<i>Software</i> SIG De Código Aberto.....	19
3.7.1	Apache Tomcat	19
3.7.2	WAM.....	19
3.7.3	GeoServe	20
3.7.4	<i>PostgreSQL/PostGI</i>	20
3.7.5	<i>MySQL</i>	21
3.8	Base de Dados.....	21
3.8.1	Base de Dados Espacial	22
3.8.2	Sistema de Gestão de Base de Dados Espaciais	22
3.8.3	Modelos de Dados para SGBD	25
3.8.4	O Modelo Relacional.....	25
3.8.5	Modelo Relacional Estendido.....	26
3.8.6	Modelo Orientado a Objectos	26
3.9	Roteirização de Veículos.....	26
3.9.1	Algoritmos de Roteamento.....	27
3.9.1.1	Algoritmo de <i>Dijkstra</i>	27
3.9.1.2	Algoritmo Branch and Bound.....	27
3.9.1.3	Algoritmo Savings	28
3.9.1.4	Desenho do Componente.....	28

3.9.1.5	Algoritmo de Nearest Neighbor	29
3.9.1.6	Algoritmo de Tabu Search.....	29
3.9.1.7	Algoritmo Greedy Randomized Adaptive Search Procedure	30
3.9.2	Problema de Roteamento de Veículos.....	31
3.9.2.1	Problema de Roteamento de Veículos com janelas temporais	32
3.10	Aplicação dos SIG no Roteamento de Veículos	33
3.11	Papel da Roteirização na Redução de Custos Logísticos e Melhoria do Nível de Serviço.....	35
3.12	Descrição da Empresa Electricidade de Moçambique	36
3.12.1	Equipa de Piquete em Empresas de Distribuição Eléctrica	36
Material e Métodos		37
3.13	Dados Usados.....	37
3.13.1	Descrição dos Dados Usados.....	37
3.13.2	Equipamentos Computacionais usados	38
3.13.3	Metodos.....	39
3.13.4	Procedimentos Computacionais	41
3.13.5	Criação e integração dos dados na Base de Dados <i>SQLite</i>	42
3.13.6	Modelação da Base de Dados Espacial	43
3.13.7	Normalização da Base de Dados Espacial	43
3.13.8	Entidades Envolvidas e Seus Relacionamentos	43
3.14	Integração do Algoritmo de Roteamento	45
3.15	Desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica <i>Web</i> Para o Apoio à Equipa da Piquete.....	45
3.15.1	Arquitetura do Sistema	46
3.15.2	Configuração da Biblioteca <i>Leaflet.js</i>	46
3.15.3	O Modelo V do Processo de Desenvolvimento de <i>WebSIG</i>	47
3.15.4	Fases da Construção da <i>WebSIG</i> segundo o Modelo V	48
3.15.4.2	Especificação do Sistema	48
3.15.4.3	Desenho do Sistema.....	48

3.15.4.4	Construção do Componente	48
3.15.4.5	Teste de Componente.....	48
3.15.4.6	Teste de <i>Interface</i>	49
3.15.4.7	Teste de Sistema.....	49
3.15.4.8	Teste de Aceitação	49
3.15.4.9	Teste de Versão.....	49
	Resultados	50
5.1	Sistema Proposto	50
5.2	Funcionalidades do Sistema	50
5.2.1	Página Inicial.....	51
5.2.2	Página Gestão de Clientes	51
5.2.3	Página Registo de Clientes	53
5.2.4	Página Gestão de Rotas	53
	Conclusão e Recomendações.....	56
6.1	Conclusão	56
6.2	Limitações.....	57
6.3	Recomendações.....	57
	Referências Bibliográficas.....	59
	Anexos	65
	Anexo 1: Manual do Utilizador.....	65

Lista de Figuras

Figura 1: Localização Geográfica do Bairro de Malhazine	7
Figura 2: Nível de Resposta da Piquete as Comunicações de Avarias pelos Clientes da Tarifa Doméstica.....	12
Figura 3: Componentes do SIG.....	13
Figura 4: Arquitetura do Sistema de Informação Georreferenciado.....	18
Figura 5: Apache Tomcat.....	19
Figura 6: WampServer.....	20
Figura 7: PostgreSQL	21
Figura 8: MyQSL.....	21
Figura 9: Comunicação entre os SIG-Web, Servidor WMS e o SGBDE	23
Figura 10: Sistema de Gerenciamento de Base de Dados.....	24
Figura 11: Algoritmo de Dijkstra	27
Figura 12: Algoritmo de Savings.....	28
Figura 13: Nearest Neighbor adaptado.....	29
Figura 14: Tabu Search.....	30
Figura 15: Algoritmo GRASP	31
Figura 16: Fluxograma Metodológico	40
Figura 17: Procedimentos Computacionais.....	41
Figura 18: Organização dos dados na base de dados SQLite	42
Figura 19: Armazenamento de Utilizadores.....	43
Figura 20: Diagrama Entidade-Relacionamento	44
Figura 21: Arquitetura do Sistema Desenvolvido	46
Figura 22: Representação do Modelo V	47
Figura 23: Tela Inicial da WebSIG.....	51
Figura 24: Tela de Gestão de Clientes	52
Figura 25: Tela de Registo de Clientes.....	53
Figura 26: Tela de Gestão de Rotas	54
Figura 27: Página Principal	65
Figura 28: Página Gestão de Clientes	67
Figura 29: Página Registo de Clientes.....	68
Figura 30: Página Gestão de Rotas.....	70

Lista de Tabelas

Tabela 1: Descrição dos Dados Usados	38
Tabela 2: Equipamentos Computacionais usados	38
Tabela 3: Algoritmo de Roteamento	45

Introdução

Este capítulo apresenta a contextualização do estudo, define o problema de investigação, expõe a justificativa, a relevância do trabalho e estabelece os objectivos gerais e específicos que orientaram a pesquisa.

1.1 Contextualização

A crescente complexidade dos serviços de atendimento domiciliar constitui um desafio a nível mundial, sobretudo em sectores onde o tempo de resposta é determinante para a qualidade e satisfação do cliente, como saúde, energia, telecomunicações e manutenção técnica (Revista Brasileira de Atenção Domiciliar, 2017).

Em muitos países, o aumento da densidade populacional, o crescimento das áreas urbanas e as exigências de consumidores cada vez mais informados têm levado as organizações a investir em tecnologias inovadoras para melhorar a eficiência dos serviços. A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de ferramentas de optimização de rotas tem vindo a ganhar destaque, uma vez que permitem a redução de custos operacionais, o planeamento mais racional das deslocações e a diminuição do impacto ambiental associado ao transporte (Ferreira e Raffo, 2012).

No continente africano, a realidade apresenta especificidades próprias que agravam os desafios do atendimento domiciliar. A urbanização acelerada, muitas vezes não acompanhada por uma adequada ao planeamento territorial, gera congestionamentos e desigualdades no acesso aos serviços básicos. Em diversas cidades africanas, a ausência de endereços formais e a dificuldade em mapear zonas informais tornam complexa a tarefa de localizar clientes de forma eficiente (AfDB, 2022). A escassez de recursos tecnológicos e humanos agrava as limitações operacionais, conduzindo a atrasos no atendimento, desperdício de recursos e insatisfação dos clientes.

Neste contexto, os SIG e as soluções *Web* emergem como ferramentas indispensáveis, pois permitem a integração de dados espaciais, a optimização de rotas e a gestão em tempo real das operações de campo,

o que favorece práticas mais sustentáveis e eficazes em sectores-chave como saúde, energia e saneamento (UNECA, 2021).

As mudanças tecnológicas têm levado os consumidores a exigir que as organizações possuam maior sofisticação em seus processos de atendimento. Com a globalização, as empresas precisam desenvolver diferenciais no atendimento no cliente, sendo que a otimização da qualidade, o foco no público-alvo e o conhecimento do mercado são elementos essenciais para garantir a satisfação dos clientes (Dos Santos et al., 2020).

Em Moçambique, os desafios do atendimento domiciliar tornam-se ainda mais evidentes devido a factores estruturais e contextuais. A inexistência de um sistema estruturado de endereçamento geográfico, associada à dispersão populacional em áreas urbanas e periurbanas, cria dificuldades significativas na localização de clientes (UN-Habitat, 2017).

A precariedade das infra-estruturas rodoviárias, os longos tempos de deslocação e a ausência de plataformas integradas de georreferenciação dificultam a resposta rápida das equipas de piquete. Na prática, estas limitações resultam em atrasos frequentes, insatisfação dos consumidores e aumento dos custos de operação, situação que afecta tanto empresas públicas como privadas. De acordo com Paulino (2024), sector de energia, representado pela Electricidade de Moçambique, desempenha um papel crucial na vida quotidiana dos cidadãos, sendo responsável por fornecer electricidade para residências, empresas e instituições.

Esta realidade demonstra a necessidade da implementação de soluções tecnológicas adaptadas ao contexto local, que combinem a inovação à resolução de problemas concretos de logística e mobilidade. Deste modo, a proposta de optimização do atendimento domiciliar dos clientes com recurso a um *WebSIG* apresenta-se como uma resposta viável e estratégica. Ao possibilitar o planeamento de rotas mais curtas, a redução dos custos operacionais e a melhoria da eficiência das equipas de piquete, esta abordagem não só aumenta a satisfação do cliente como também fortalece a sustentabilidade e competitividade das organizações. Ao conjugar o contexto mundial, africano e moçambicano, evidencia-se que a implementação de sistemas baseados em *WebSIG* não é apenas uma tendência global, mas uma necessidade premente para o desenvolvimento de serviços mais eficazes e inclusivos no país.

1.2 Definição do Problema

O atendimento ao cliente constitui um elemento essencial na determinação da qualidade dos serviços, uma vez que, a forma como os colaboradores se mostram disponíveis e competentes para auxiliar os clientes influencia directamente a percepção que estes têm da eficiência e do profissionalismo da organização (Paulino, 2024).

A EDM tem enfrentado dificuldades técnicas na identificação da localização geográfica precisa das residências dos clientes domésticos, o que condiciona o atendimento das avarias. O nível de uso de Sistemas de Informação Geográfica para este fim é bastante reduzido, cerca 61,34% dos clientes inqueridos afirmaram que sempre lhes é solicitado informação adicional sobre a sua localização quando comunicam problemas, evidenciando a inexistência de um sistema estruturado que permita localizar os clientes de forma automática (Chelengo, 2025).

Em zonas rurais ou remotas, a ausência de um sistema de endereços bem estruturado e de pontos de referência claros constitui um obstáculo significativo para a prestação eficaz de serviços públicos e privados. Essa limitação é especialmente notória quando se trata de serviços de emergência, distribuição de bens e assistência técnica (Moreri et al., 2024).

A falta de optimização de rotas leva a trajectos mais longos e menos eficientes, resultando em maiores gastos com combustível, desgaste dos veículos e aumento das horas de trabalho necessárias para concluir as tarefas. Estes custos adicionais não só comprometem a sustentabilidade financeira das operações de campo, como também dificultam a prestação de um serviço acessível e de qualidade aos clientes (MyRouteOnline, 2025).

A implementação de um *WebSIG* não só melhoraria a eficiência operacional, como também reduziria custos, aumentaria a satisfação do cliente e proporcionaria uma gestão mais eficaz dos recursos.

1.3 Justificativa

A presente pesquisa justifica-se pela necessidade de fortalecer o uso de Sistemas de Informação Geográfica que apoie as operações de campo da Electricidade de Moçambique, particularmente no atendimento domiciliar das avarias. Este estudo destaca-se pela sua originalidade, pois aborda as especificidades do território moçambicano e os desafios únicos enfrentados pela EDM. Embora existam estudos sobre SIG em contextos gerais, observa-se uma escassez de investigação aplicada no sector eléctrico, sobretudo no que respeita à localização geográfica dos clientes, à mobilidade das equipas de piquete e à redução do tempo de resposta. Assim, o estudo contribui para preencher esta lacuna, oferecendo uma abordagem orientada ao desenvolvimento e experimento de um Sistema de Informação Geográfica *Web*.

A necessidade de realizar esta pesquisa no contexto actual é clara, considerando o crescimento populacional e a expansão das redes de serviços públicos em Moçambique. Os desafios emergentes, como o aumento da procura por electricidade em áreas remotas e a necessidade de respostas rápidas a emergências, tornam a adopção de soluções tecnológicas uma prioridade.

1.4 Relevância do Estudo

O presente estudo é de grande importância, tanto no plano académico como no prático, por diversos motivos. A nível nacional a implementação de um Sistema de Informação Geográfica *Web* (*WebSIG*) para a EDM permitirá não apenas uma melhor organização e visualização das solicitações de atendimento, como também a optimização das rotas das equipas de piquete, contribuir para a redução do tempo de resposta e dos custos operacionais.

A nível social, a melhoria do atendimento domiciliar tem impacto directo na satisfação dos clientes e na credibilidade da EDM enquanto instituição prestadora de serviços essenciais. A capacidade de localizar rapidamente clientes e planear rotas eficientes representa um avanço significativo na qualidade do serviço público de fornecimento de energia eléctrica, sobretudo em contextos urbanos e periurbanos onde a dispersão populacional é elevada.

A nível económico, a criação de um Sistema de Informação Geográfica *Web* que optimize rotas traz benefícios directos para a gestão logística da EDM. A redução das distâncias percorridas pelas equipas de piquete diminui o consumo de combustível, o desgaste dos veículos e os custos de manutenção, permitindo uma utilização mais racional dos recursos financeiros.

A nível académico, a relevância deste estudo reside na aplicação prática de conceitos de Sistemas de Informação Geográfica, roteirização e gestão de dados espaciais, para promover a integração entre teoria e prática em Tecnologias de Informação e Comunicação no sector energético. Este trabalho poderá servir de referência para estudos futuros relacionados com optimização de serviços públicos e aplicações de *WebSIG* em contextos similares.

1.5 Objectivos

1.5.1 Objectivo Geral

Desenvolver um Sistema de Informação Geográfica *Web* que optimize a mobilidade das equipas de piquete da Electricidade de Moçambique no atendimento domiciliário aos clientes.

1.5.2 Objectivos Específicos

- Modelar a base de dados espacial em *PostgreSQL/PostGIS* integrando dados geográficos e alfanuméricos dos clientes;
- Desenvolver um protótipo funcional do Sistema de Informação Geográfica *Web* utilizando *Softwares* de código aberto;
- Avaliar a aplicabilidade da *WebSIG* através de testes com base em dados simulados.

Localização Geográfica da Área de Estudo

Neste capítulo pretende-se apresentar a caracterização da área de estudo, a caracterização Físico-Geográfica, a caracterização sócio-económica e localização geográfica da área de estudo.

2.1 Localização da Área de Estudo

O Bairro de Malhazine faz parte do Distrito Municipal de *KaMubukwana*, pertencente ao Município de Maputo. Geograficamente, está situado entre as latitudes 25°52'41" e 25°53'13" Sul, e as longitudes 32°34'52" e 32°35'42" Este. Em termos de limites, o bairro está localizado a norte pela Avenida Lurdes Matola, a sul pelo Aeroporto e pelo bairro George Dimitrov, a este pelo Aeroporto e a oeste pelo bairro George Dimitrov (Conselho Municipal de Maputo, 2017).

O bairro de Malhazine caracteriza-se por uma ocupação predominantemente residencial, marcada por uma mistura de construções formais e informais, reflectindo os processos de urbanização acelerada típicos da cidade de Maputo. Para além disso, apresenta uma forte densidade populacional e uma crescente procura por infra-estruturas básicas e serviços urbanos, factores que o tornam relevante para estudos relacionados com planeamento urbano, mobilidade, saneamento e gestão territorial. A sua proximidade ao Aeroporto Internacional de Maputo confere-lhe ainda uma importância estratégica, tanto do ponto de vista logístico como económico, influenciando as dinâmicas de circulação e acessibilidade na área (World Bank, 2021).

O Município de Maputo, no qual o bairro se insere, está situado na costa sudeste de África, no extremo sul de Moçambique. Encontra-se geograficamente posicionada a norte do estuário do rio Maputo, na zona de confluência dos rios *Umbeluzi*, *Tembe* e *Infulene*. Do ponto de vista astronómico, localiza-se entre os paralelos 25°49'00" e 26°05'41" de latitude sul, e entre os meridianos 32°26'31" e 32°59'45" de longitude este (INE, 2021). O Município abrange uma área de aproximadamente 347,69 km² e, segundo o Censo de 2017, conta com uma população de 1 101 170 habitantes (INE, 2017). A região metropolitana, que engloba os municípios da Matola, Boane e Marracuene, apresenta uma população total estimada em 3

158 465 habitantes, correspondendo a uma densidade populacional média de cerca de 3 628,2 habitantes por quilómetro quadrado.

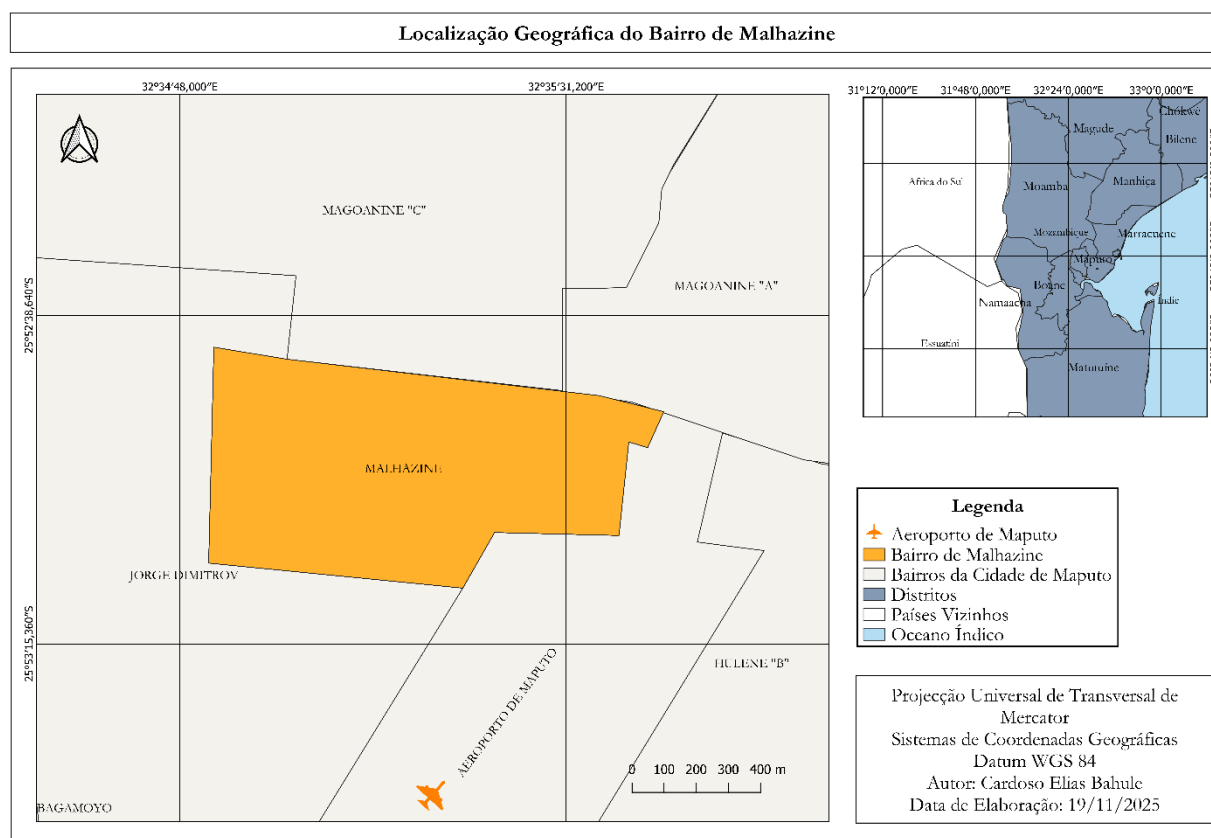


Figura 1: Localização Geográfica do Bairro de Malhazine

2.2 Caracterização Físico-Geográfica

2.2.1 Clima

De acordo com Siteo (2008), o clima da cidade de Maputo é classificado como tropical seco. O período mais quente ocorre entre os meses de Novembro e Abril, enquanto o período mais frio se estende de Maio a Outubro. As chuvas são mais intensas durante os meses quentes, principalmente entre Novembro e Março.

A temperatura média ronda os 19°C durante a estação seca e os 26°C na estação húmida e quente. A temperatura máxima média anual é de cerca de 31°C, e a mínima média anual situa-se em torno dos 13°C.

Na época húmida, as temperaturas podem ultrapassar os 40°C. A precipitação anual média é de aproximadamente 860 mm (CMM, 2007).

2.2.2 Solos

No Município de Maputo, observa-se o predomínio de solos arenosos. Os solos arenosos de coloração amarelada são característicos dos municípios de *KaMubukwana*, *KaMfumo*, *KaMavota*, *KaMaxaquene*, *Katembe* e predominam em toda a extensão do Município de *Nlhamankulu*. Já os solos arenosos alaranjados ocorrem com maior frequência nos municípios de *KaMavota*, *KaMaxaquene* e *KaMfumo*.

Os solos arenosos amarelados de fase dunar são comuns nos municípios de *KaMubukwana*, *KaMavota*, *KaMaxaquene* e *Katembe*, enquanto os solos de dunas costeiras predominam no Município de *KaNyaka*. Por sua vez, os solos formados a partir de sedimentos marinhos são típicos da região de *Katembe*. Finalmente, os solos derivados de grés vermelho encontram-se principalmente nos municípios de *KaMavota*, *KaMaxaquene* e *KaMfumo*.

2.3 Caracterização Sócio-Económica

De acordo com a CMCM (2019), a distribuição populacional no Município de Maputo apresenta-se bastante heterogénea: aproximadamente metade da população reside nos distritos municipais de *KaMubukwana* e *KaMavota*, que são os mais populosos, com 321 438 e 331 968 habitantes, respectivamente. Esta configuração populacional é resultado de alterações demográficas recentes. Os distritos de *Nlhamankulu* e *KaMaxaquene* apresentam as densidades populacionais mais elevadas do Município, próximas de 20 000 habitantes por quilómetro quadrado.

No que diz respeito à distribuição por distrito municipal, em 2017 registavam-se os seguintes dados: *KaMpfumo* com 80 550 habitantes, *Nlhamankulu* com 129 306 habitantes, *KaMaxaquene* com 199 565 habitantes, *KaMavota* com 331 968 habitantes, *KaMubukwana* com 321 438 habitantes, *KaTembe* com 32 248 habitantes e *KaNyaka* com 6 095 habitantes, perfazendo um total de 1 101 170 habitantes distribuídos por uma área de 346,485 km². A elevada densidade populacional nos distritos menos urbanizados, associada a condições habitacionais precárias e à falta de infra-estruturas básicas, contribui para que estes distritos apresentem maior vulnerabilidade a doenças infecciosas, concentrando, de facto, os dez bairros mais populosos do Município.

O distrito municipal de *KaMpfumo* é predominantemente ocupado por classes média e alta, com níveis de escolaridade mais elevados e um estilo de vida mais urbanizado. Araújo (2006), observa que as

construções neste distrito são quase na totalidade verticais, com baixa densidade populacional, e concentram a maior parte das actividades económicas, administrativas e sociais, dispondo ainda de áreas construídas para estacionamento, lazer e desporto. Por outro lado, os distritos de *Nlhamankulu*, *KaMaxaquene*, *KaMavota* e *KaMubukwana*, designados como Cidade de Caniço, acolhem maioritariamente uma população de menores recursos, com níveis de escolaridade mais baixos e fortes ligações às áreas rurais.

Segundo o INE (2017), a população do Município de Maputo é predominantemente jovem, e os dados do último censo indicam uma ligeira redução populacional, associada à migração de habitantes para a província de Maputo, onde estão a estabelecer as suas residências.

Revisão de Literatura

O presente capítulo reúne o referencial teórico que sustenta a pesquisa, abordando conceitos, modelos, algoritmos e estudos relacionados com Sistemas de Informação Geográfica, *WebSIG*, roteirização de veículos e serviços de atendimento domiciliar.

3.1 Clientes

De acordo com Duarte (2011), considera-se cliente toda pessoa, física ou jurídica, que adquire um produto ou recorre à prestação de um serviço em uma determinada empresa.

Cliente é entendido como o destinatário de valor que a empresa cria ou seja, a pessoa ou organização que recebe os benefícios de uma oferta de mercado, e com a qual se pretende estabelecer uma relação lucrativa e duradoura (Kotler e Armstrong, 2018).

A Electricidade de Moçambique (EDM) atende a uma ampla e diversificada base de clientes distribuídos por diversas regiões do país, abrangendo áreas urbanas, periurbanas e rurais. Em 2022, a empresa contabilizou aproximadamente 2.940.000 clientes, evidenciando não apenas um crescimento contínuo da cobertura eléctrica, mas também os esforços significativos de inclusão energética levados a cabo no país. Este crescimento reflecte o compromisso da EDM em expandir o acesso à electricidade, promovendo o desenvolvimento socioeconómico e contribui para a melhoria da qualidade de vida das populações em diferentes contextos geográficos e sociais (EDM, 2023)

A base de clientes da EDM é composta por diferentes categorias, o que inclui clientes residenciais, comerciais e industriais, cada uma com características e necessidades específicas em termos de consumo energético, faturação e suporte técnico. Os clientes residenciais, por exemplo, demandam um fornecimento contínuo e confiável para garantir o conforto e o funcionamento das actividades domésticas. Já os clientes comerciais e industriais necessitam de uma gestão mais complexa, devido ao volume elevado de consumo e à necessidade de manutenção de equipamentos críticos para o funcionamento das suas actividades económicas (EDM, 2023).

3.1.1 Atendimento ao Cliente

O atendimento ao cliente representa o conjunto de serviços oferecidos pelas empresas para garantir a satisfação dos consumidores, o que permite que apresentem reclamações, sugestões, dúvidas ou solicitem assistência técnica. Atender significa prestar atenção, servir e responder, sendo, portanto, uma prática essencial para assegurar que os clientes estejam satisfeitos com os produtos e serviços (Sebrae, 2020).

O atendimento ao cliente representa um elemento central para a sustentabilidade de qualquer negócio, uma vez que o cliente constitui o foco principal das organizações. Todo empreendimento deve orientar as suas estratégias para satisfazer o cliente, pois a permanência no mercado depende da sua disposição em continuar a adquirir os produtos ou serviços disponibilizados (Chiavenato, 2005).

O sucesso empresarial depende, em grande medida, da capacidade de satisfazer as necessidades e expectativas dos clientes, que são os principais protagonistas no mundo dos negócios (Sebrae, 2020).

3.1.2 Atendimento Domiciliar

O atendimento domiciliar compreende as actividades de assistências exercidas por profissionais e/ou equipas na residência do cliente, para executar procedimentos mais complexos, que exigem formação técnica para tal (Muniz e Figueira, 2010).

O atendimento domiciliar tem-se tornado cada vez mais relevante na prestação de serviços, o que permite que as intervenções realizadas no domicílio sejam articuladas com as acções desenvolvidas nas unidades centrais de atendimento. Esta coordenação não só amplia o alcance do serviço, como também garante que o atendimento seja mais eficiente, organizado e centrado nas necessidades do cliente. Assim, a visita ao domicílio constitui uma estratégia essencial para a optimização do atendimento, de modo a promover maior equidade e qualidade na prestação de serviços aos clientes (Abrahão, 2011).

A EDM disponibiliza serviços de atendimento domiciliar com o objectivo de resolver questões técnicas e comerciais directamente na residência ou local de instalação dos clientes. Este serviço revela-se particularmente relevante em situações que exigem intervenção presencial, como a instalação de novas ligações eléctricas, a reparação de avarias, a alteração da potência contratada, a actualização de dados cadastrais e a mudança de titularidade (EDM, 2025).

De acordo com Chelengo (2025), para os clientes da categoria tarifária doméstica, constatou-se que o atendimento das avarias não ocorre em tempo real e que a EDM enfrenta dificuldades para identificar com exactidão a localização geográfica das residências dos seus clientes, o que constitui um factor condicionante no atendimento das avarias. Verificou-se que 61,34% dos clientes referem que, ao

comunicarem uma avaria no seu domicílio, lhes é sempre solicitada informação adicional sobre a sua localização, e que o atendimento das avarias comunicadas é geralmente efectuado apenas 10 horas depois (33,82%). Um outro grupo, correspondente a 19,33% dos clientes da categoria tarifária doméstica, indica não possuir qualquer informação sobre os níveis de atendimento das avarias.

Deste modo, é possível constatar que o nível de atendimento de avarias ao domicílio dos clientes da categoria tarifária doméstica ainda se encontra bastante baixo, e que a utilização de SIG que permitam associar a localização geográfica dos clientes aos atributos dos seus contadores permanece reduzida (Chelengo, 2025).

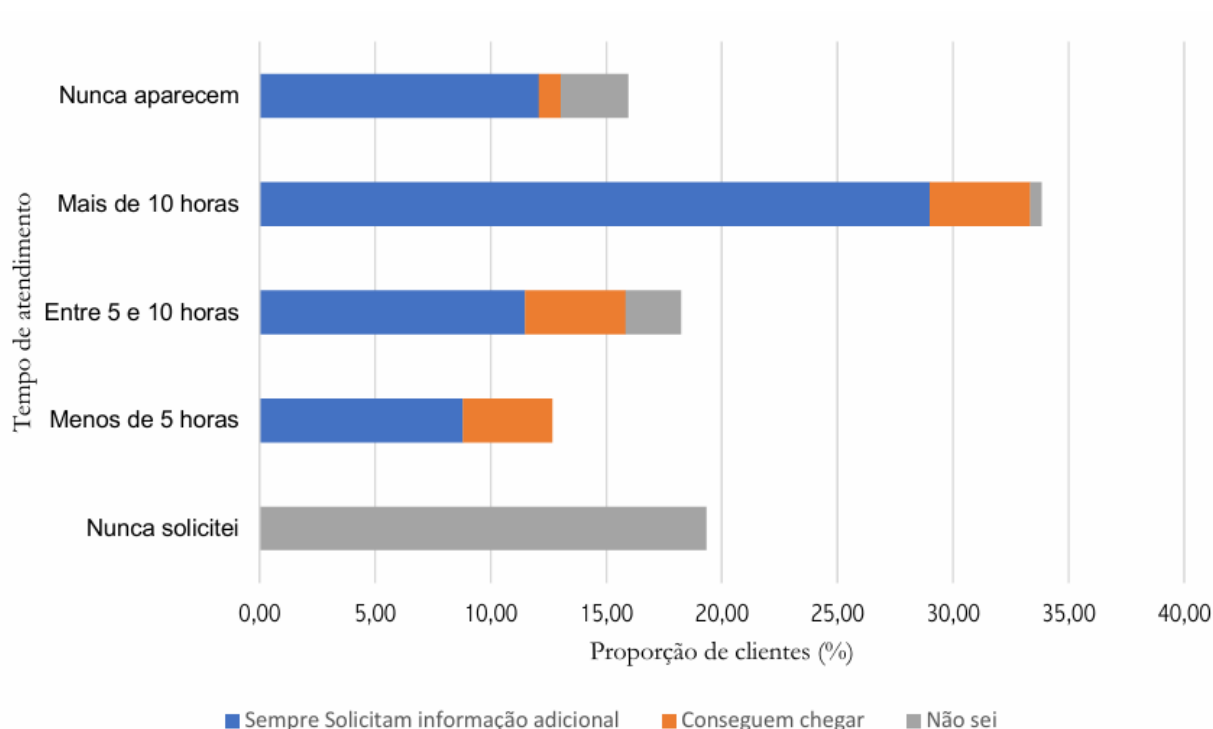


Figura 2: Nível de Resposta da Piquete às Comunicações de Avarias pelos Clientes da Tarifa Doméstica (Fonte: Chelengo, 2025)

3.2 Sistemas de Informação Geográfica

Os SIG podem definir-se como um sistema composto por *hardware*, *Software* e um ambiente institucional que permitem capturar, armazenar, verificar, integrar, sobrepor, manipular, analisar e visualizar dados referenciados geograficamente, funciona como uma ferramenta de apoio à resolução de problemas geográficos (Caciro, 2013).

Para Caeiro (2013), o SIG envolve uma base de dados espacialmente referenciada e um *Software* próprio. Desta forma um sistema SIG deve conter:



Figura 3: Componentes do SIG (Fonte: Adoptado de Caeiro 2013)

De acordo com Frozza e Gonçalves (2005), chamam-se Sistemas de Informações Geográficas aos sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos.

Para Nassel (2011), os SIG é um sistema informático capaz de reunir, armazenar, manipular, transformar, analisar e representar informação referenciada geograficamente, isto é, de acordo com a sua localização. A ferramenta dos SIG caracteriza-se por conjugar dois tipos de dados diferentes, mas que apenas em estreita relação fazem sentido:

- A representação física do território (mapas, cartas ou plantas) e
- A sua caracterização numérica ou descritiva que constitui a base de dados alfanumérica.

Os SIG possuem a capacidade de aliar a informação alfanumérica à informação gráfica, tendo por isso, uma capacidade analítica única, e uma melhor compreensão da realidade (Nassel, 2011).

3.2.1 Evolução da Tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica no Contexto Mundial

O primeiro Sistema de informação Geográfico (*Geographic Information System* - GIS) foi implementado no Canadá em 1962, denominado *Canadian Geographic Information System* (CGIS), com o objectivo de realizar um inventário de terras em âmbito nacional, envolve diferentes aspectos sócio-econômicos e ambientais. Constitui-se, neste ano, na *Urban and Regional Information System Association* (URISA) (Avelino, 2004).

Em 1964, o Serviço de Saúde Pública dos EUA automatizou a Divisão de Fornecimento de Água e Controle da Poluição, superpondo dados de diferentes órgãos como qualidade de água, cursos fluviais, processos e localização de tratamento. Ainda em 1964, desenvolveu-se o primeiro SGI para gerenciamento dos recursos naturais, no serviço florestal dos EUA. Nesta época é criado o *Havard Lab for Computer Graphic and Spatial Analysis*. Dois anos depois, em 1966, foi desenvolvida a primeira aplicação de cartografia computadorizada, concluída no *Havard Lab*: o SYMAP (*Synagraphic Mapping System*) (Avelino, 2004).

Em 1968, o Departamento de Censo dos EUA desenvolve o DIME (*Dual Independent Map Encoding*) para a representação digital das redes de estradas e zonas censitárias. Este sistema baseou-se na codificação de nós (intersecção de ruas) e de áreas (quarteirões). Ele, ainda, introduziu características para análise topológica, através da duplicidade da representação de cada segmento de rua, tanto como conexão entre nós, quanto como fronteira entre áreas. Os conceitos do DIME constituem a base da moderna estrutura vetorial adoptada em SIG como o *ARC/INFO*. Em 1969, foi fundado o *Environmental Systems Reserach Institute* (ESRI), na Califórnia, que se dedicou, na década de 70, ao desenvolvimento de um plano de reconstrução das cidades de Baltimore, Maryland, e à localização de um novo centro da *Móbil Oil* na Virginia (Avelino, 2004).

Em 1981, a ESRI lançou o primeiro produto comercial: o *ARC/INFO*, projetado para minicomputadores e, em 1986, desenvolveu a versão PC *ARC/INFO*. Em 1986, foi criada a *Map Info Corporation* no *Renssealer Polytechnic Institute*, em *NewYork*, sendo a primeira a desenvolver um *Software* de SGI para PC com aplicações em negócios. Em 1991, a ESRI lançou uma versão “desktop” SIG de custo mais acessível e de fácil manuseio: o *ARCVIEW GIS*, assim como o *ARCDATA Program*, para promover uma grande variedade de dados de alta qualidade e fáceis de usar, compatíveis com seus *Softwares*. Em 1992, criou o *ArcCad*, que permitiu integrar as tecnologias do SGI e do CAD. Em 1996 lançou o *ARC/INFO* para *Windows NT*, e criou o *Atlas GIS*, utilizado por usuários interessados, apenas, na análise e visualização dos dados geográficos (Lins e Ferreira citado por Avelino, 2004).

3.3 Internet

A *Internet* é uma rede global de redes interconectadas que permite a comunicação entre milhões de computadores em todo o mundo. Sua infraestrutura é baseada no protocolo URISA /IP, de modo a garantir que dados possam ser enviados de forma confiável entre diferentes dispositivos. A *Internet* possibilitou o surgimento de serviços como *e-mail*, troca de arquivos e, posteriormente, a *Web*, que se tornou o principal meio de navegação (Cerf et al., 2009).

A criação da *Internet* foi catalisada pelo lançamento do satélite Sputnik pela União Soviética em 1957. Esse evento levou o presidente dos EUA, *Dwight Eisenhower*, a criar a ARPA (*Advanced Research Projects Agency*), uma agência voltada para pesquisas de longo prazo em tecnologia, em resposta ao temor da inferioridade militar durante a Guerra Fria (Cerf et al., 2009).

A *Internet* começou como um projeto militar durante a Guerra Fria, em resposta às necessidades de comunicação confiável entre computadores distantes. A *ARPANET*, financiada pela ARPA, foi criada em 1969 com o objectivo de desenvolver tecnologias de comunicação seguras e eficientes. O lançamento do satélite soviético Sputnik intensificou a corrida tecnológica, levando os EUA a investir fortemente em pesquisa, culminando na criação da *ARPANET*, a primeira rede a usar comutação de pacotes. Um dos maiores desafios na época era garantir a integridade das mensagens enviadas entre computadores. As redes distribuídas e a comutação por pacotes, propostas por Paul Baran e Donald Davies, foram adoptadas. As mensagens eram divididas em pacotes menores que podiam seguir diferentes caminhos até o destino, onde seriam reagrupados (Hulme, 2006).

A *ARPANET* foi inicialmente conectada a quatro universidades nos EUA, com o primeiro nó estabelecido na Universidade da Califórnia, Los Angeles (UCLA). Em 1972, a *ARPANET* já contava com 30 nós e permitia a primeira forma de *e-mail*. Entre 1973 e 1978, Vinton Cerf e Robert Kahn desenvolveram o protocolo TCP/IP, que ainda é a base da comunicação na *internet*. Nos anos 1980, o controle da *ARPANET* foi transferido para a *Defense Communications Agency* (DCA), que criou a MILNET, voltada para uso militar, enquanto a *ARPANET* se manteve para fins de pesquisa. No final da década, outras redes públicas surgiram, como a *NSFNET*, que substituiu a *ARPANET* em 1990, dando origem à *internet* moderna (Hulme, 2006).

3.4 Evolução da Web

A *Web* surgiu em 1991 como um subconjunto da *internet*. Enquanto a *Internet* é a infraestrutura de rede, a *Web* é um ambiente de navegação que utiliza hipertextos para conectar documentos, permite uma navegação simples e interativa. Tim Berners-Lee introduziu os conceitos de HTML (*Hypertext Markup*

Language) e URL (*Uniform Resource Locator*), que facilitam o acesso e a visualização de conteúdos na *Internet* (Hulme, 2006)

- *Web 1.0* (1990): Esta primeira fase da *Web* consistia em páginas estáticas de texto e imagens, com pouca ou nenhuma interactividade. Os usuários eram, essencialmente, consumidores passivos de conteúdo. Não havia a possibilidade de interação directa com os *Websites*, como fóruns ou comentários. A *Web 1.0* era caracterizada pela leitura unidirecional e pela centralização do controle de conteúdo pelos *Webmasters* (Latorre, 2018).
- *Web 2.0* (2004): O termo *Web 2.0* foi cunhado por Tim O'Reilly e se refere a uma segunda geração da *Web*, onde o foco é a colaboração e a interação entre os usuários. Nesta fase, surgiram plataformas como blogs, wikis e, mais tarde, redes sociais como *Facebook* e *Twitter*, que permitiram que os usuários se tornassem também criadores de conteúdo. A *Web 2.0* trouxe uma dinâmica bidirecional, permite que os usuários interagissem com os sites e com outros usuários (Latorre, 2018).
- *Web 3.0* (2010): A *Web 3.0*, também conhecida como *Web Semântica*, marcou uma evolução no modo como os dados são processados na *Web*. Nesta fase, os sistemas começaram a utilizar inteligência artificial para entender o contexto e as necessidades dos usuários, o que oferece resultados mais personalizados. Ferramentas de busca semântica e o uso de metadados são características centrais da *Web 3.0* (Latorre, 2018).
- *Web 4.0* (2016): A fase mais recente, a *Web 4.0*, foca na automação, inteligência artificial e na comunicação máquina a máquina (M2M). A *Web 4.0* permite uma interação mais natural e preditiva entre os dispositivos e os usuários, utilizando tecnologias como *Deep Learning* e *Machine Learning* para antecipar necessidades e executar acções automaticamente com base em comandos simples, como os assistentes de voz *Siri* e *Google Now*. Nesta fase, a *Web* passa a ser não apenas um meio de fornecer informações, mas também de oferecer soluções e executar tarefas de forma autónoma (Cerf et al., 2009).

3.5 SIG e WEB

Dados cartográficos são primordiais para a implementação de *Softwares* de roteirização de veículos (Santos et al., citado por Póvoa et al., 2020). Normalmente uma base de arruamentos com dados de nome da rua, numeração, sentido da via, velocidade média e tempo de deslocamento são essenciais para aplicações de transporte. Destaca-se, também, a importância de localizar os pontos de clientes nessa base de dados utilizando recursos de *Geocode*, algoritmos que transformam um endereço do tipo rua x, nº y em um par de coordenadas geográficas. Os serviços de mapas *online* vêm sendo utilizados para desenvolver sistemas

de roteirização devido à facilidade de compartilhar os dados geográficos pela *internet* e por disponibilizarem *APIs* para usuários desenvolverem suas próprias aplicações (Santos et al., citado por Póvoa et al., 2020).

3.5.1 Evolução dos *WebSIG*

Em 1993 foi exibido primeiro mapa interactivo na *Web* no visualizador de mapas desenvolvido pelo *Xerox Palo Alto Research Center* (PARC). Este visualizador possibilitava a exibição de rios e fronteiras nacionais, com funcionalidades como ajuste de escala, alteração do sistema de projecção e a adição de marcadores (Alesheikh et al., 2002).

No ano seguinte, em 1994, foi lançado o primeiro repositório *online* de dados georreferenciados, vinculado ao projecto *Alexandria Digital Library* (Dragičević, 2004). Segundo Dragičević, a evolução destas tecnologias permitiu que os SIG, operados pela *internet*, se transformassem em plataformas que ofereciam mapas interactivos enriquecidos com ferramentas para visualização e manipulação de dados, abandonando o formato de imagens estáticas para responder melhor às necessidades dos utilizadores da *Web* (Dragičević, 2004).

A partir de 2004, estes *WebSIG* passaram a agregar conteúdos de outras naturezas, mesmo sem vínculo espacial, tirando partido da diversidade de informação disponível na Internet (Kraak, 2004).

Actualmente, estes *WebSIG* evoluíram para além das funções básicas de desenho e gestão de dados, incorporando capacidades de análise avançada e processamento de informação, sobretudo graças à compatibilidade com dispositivos de computação móvel (Curto, 2011).

3.5.2 Arquitetura do *WebSIG*

OS *WebSIG* proposto pode funcionar dentro de uma rede interna ou externa de computadores (*internet/intranet*) com a arquitetura Cliente-Servidor. A arquitetura Cliente-Servidor pode ser compreendida como aquela onde o processamento da informação é dividido em módulos ou processos distintos. Um processo é responsável pela manutenção da informação (Servidor), enquanto o outro é responsável pela obtenção dos dados (Cliente). O lado Cliente consiste na *interface* gráfica dos SIG que conta com rotinas para visualizar e interagir com mapas e realizar as requisições ao lado do Servidor (Silva, 2023).

As rotinas de requisições de um *WebSIG* normalmente são implementadas em linguagem *JavaScript* utilizando *Asynchronous JavaScript* e XML (AJAX), um conjunto de tecnologias do *JavaScript* que permite, dentre outras funcionalidades, actualizar partes de uma página *Web* sem recarregar a página inteira através

de requisições assíncronas ao lado Servidor. No lado do Servidor, constam funcionalidades para atender as requisições disparadas através de acções do usuário final dos *WebSIG* através de sua *User Interface* (UI) propostas, rotinas de acesso a Base de dados e de geração de dados, programadas em alguma linguagem de alto nível que suporte a criação de *Web Services* (Silva, 2023).

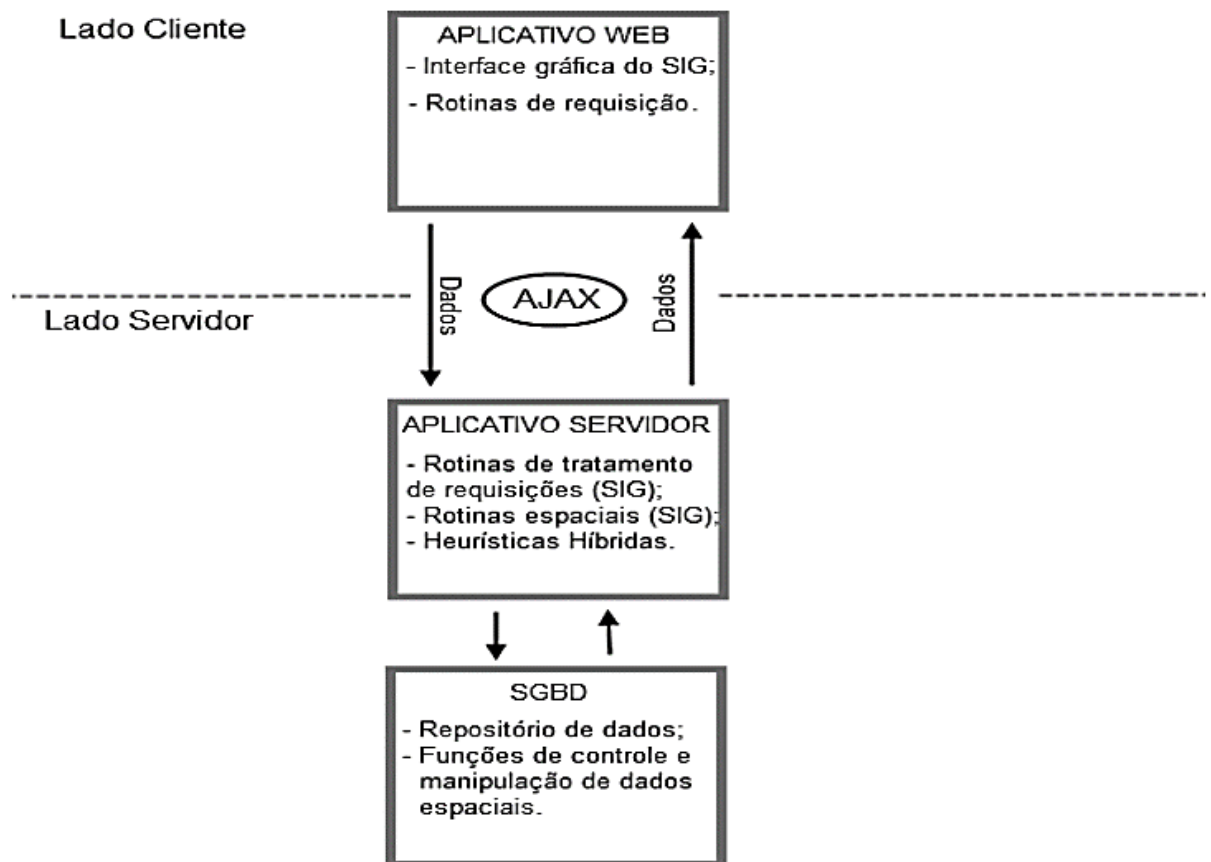


Figura 4: Arquitetura do Sistema de Informação Georreferenciado (Fonte: Silva 2023)

3.6 Estado Actual do *WebSIG*

O desenvolvimento de *WebSIG* com base em tecnologias *open-source* como *Leaflet.js*, *PostGIS* e *GeoServer* tem permitido a criação de soluções geoespaciais poderosas e acessíveis. A aplicação de algoritmos de optimização de rotas, como o *Nearest Neighbor*, juntamente com as tendências actuais em GIS, contribui para a evolução contínua dessas ferramentas, atendendo às necessidades de diversos sectores e promovendo a inovação na gestão de dados geoespaciais.

Existem várias ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica capazes de manipular dados espaciais, como o *ArcGIS*, *QGIS*, *GRASS GIS*, *PostGIS*, *Google Earth Engine*, *MapServer*, *Leaflet.js*, *GeoServer* e *MapInfo Professional*. No entanto, essas ferramentas podem apresentar dificuldades para utilizadores sem experiência prévia em SIG, exigindo conhecimentos técnicos para configuração e utilização adequada das

funcionalidades geoespaciais. Além disso, muitas dessas plataformas não oferecem integração directa entre a visualização interativa de mapas e a optimização automática de rotas, sendo necessário recorrer a complementos ou scripts adicionais para implementar estas funcionalidades, o que aumenta a complexidade e o tempo de processamento.

3.7 Software SIG De Código Aberto

De acordo com a *Free Software Foundation*, o *Software* livre concede quatro liberdades. Essas liberdades são executar o programa para qualquer propósito, estudar como o programa funciona e adaptá-lo às necessidades, redistribuir cópias e a quarta é melhorar o programa e lançar melhorias ao público. A segunda e a quarta liberdade exigem que o código-fonte seja entregue com o *Software*. No artigo (Steiniger e Bocher, 2009), quatro indicadores são usados para medir a popularidade do *Software* Livre e de Código Aberto (FOSS), a saber, número de projectos iniciados em alguns anos, suporte financeiro do governo no desenvolvimento de projectos FOSS GIS, taxa de *download* de *Software* e número de casos de uso. Existem várias opções disponíveis (Agrawal e Gupta, 2014).

3.7.1 Apache Tomcat

É um servidor *Web* de código aberto e *contêiner* de *servlet*. O *Tomcat* foi o projecto da *Sun Microsystems* que mais tarde foi entregue à *Apache Foundation*. É amplamente usado por aplicativos que são desenvolvidos usando JSP e *servlets*. O *Apache Tomcat* atende a um aplicativo *Web* implementado usando o design *Model-View-Controller*, por meio dos frameworks bem conhecidos Spring (para o modelo) e Apache Tapestry (para a View e o Controller) (Fustes et al., citado por Agrawal e Gupta, 2014).



Figura 5: Apache Tomcat (Fonte: <https://tomcat.apache.org/>. Acessado em 10 de Setembro de 2025)

3.7.2 WAMP

WAMP é uma sigla para *Windows / Apache / MySQL / PHP*. Esta pilha fornece ao desenvolvedor um sistema operacional, servidor *Web*, Base de dados e *Software* de script *Web*. As pilhas AMP também estão

disponíveis para sistemas operacionais *Linux* e *Macintosh*, conhecidos como LAMP e MAMP, respectivamente (Agrawal e Gupta, 2014).



Figura 6: WampServer (Fonte: <https://wampserver.aviatechno.net/>. Acessado em 10 de Setembro de 2025)

3.7.3 GeoServer

É uma plataforma de código aberto que suporta os padrões OGC como *Web Map Service* (WMS), *Web Coverage Service* (WCS), *Web Feature Service* (WFS) e protocolos *Web Feature Service Transactional*. Ele pode trabalhar com uma grande variedade de formatos de dados como *Shapefile*, *ArcSDE*, *Oracle Spatial*, *PostGIS* e outros formatos espaciais. Ele tem *Web* com todos os recursos *interface* de administração. Segurança baseada em função pode ser configurada nela. Para utilizar totalmente os recursos do *GeoServer*, *Software* cliente compatível deve ser usado. *OpenLayers* é um *Software* do lado do cliente que é amplamente usado com o *GeoServer*. É um pacote *JavaScript* de código aberto baseado na tecnologia AJAX (Agrawal e Gupta, 2014).

3.7.4 PostgreSQL/ PostGIS

A primeira versão do *PostGIS* foi lançada pela *Refractions Research* em 2001. O *PostGIS* é uma base de dados espacial que é construído sobre uma base de dados padrão *PostgreSQL*. *PostgreSQL* fornece gerenciamento de transações, rotinas de armazenamento em disco, SQL processamento e planejamento e outras tarefas de Base de dados padrão, enquanto o *PostGIS* fornece tipos espaciais, funções e índices (Ramsey, 2011). O *PostGIS* adiciona tipos de dados espaciais como pontos, *linestrings*, polígonos, multipontos, *multilinestrings*, *multipolígonos* e *geometrycollections*. Ele suporta tipos de geometria e geografia. Ele também adiciona funções espaciais como área, distância, união, diferença, buffer, toques, interseções, dentro, contém, sobreposições etc., (Agrawal e Gupta, 2014).



Figura 7: PostgreSQL (Fonte: <https://www.postgresql.org/> Acessado em 10 de Setembro de 2025)

3.7.5 *MySQL*

MySQL é um sistema de gerenciamento de Base de dados relacional. É uma base de Dados popular de código aberto que tem uma grande base de usuários. É muito rápido, confiável e fácil de usar, pode ser usado em aplicações de pequena e grande escala. Ele adicionou algum suporte espacial, mas pode executar processamento apenas na caixa delimitadora mínima em vez da geometria verdadeira das entidades espaciais (BostonGIS, 2009).



Figura 8: *MySQL* (Fonte: <https://www.mysql.com/> Acessado em 10 de Setembro de 2025)

3.8 Base de Dados

O termo “Base de dados” significa um conjunto de dados organizados de modo a atender uma determinada finalidade, ou um conjunto de finalidades integradas (Silva, 2002).

Segundo Duarte citado por Tanaka et al. (2012), Base de dados como é um conjunto de dados armazenados de forma a assegurar a sua persistência e a capacidade de serem manipulados. A persistência diz respeito à manutenção dos dados nos seus locais de armazenamento mesmo após a conclusão das operações que os utilizam e a desativação do computador.

Uma base de dados é um objecto mais complexo, é uma coleção de dados armazenados e inter-relacionados, que atende às necessidades de vários usuários dentro de uma ou mais organizações, ou seja, coleções inter-relacionadas de muitos tipos diferentes de tabelas (Marins e Guarienti, 2019).

3.8.1 Base de Dados Espacial

O termo “Base de dados espaciais” é utilizado quando os dados a serem armazenados possuem características espaciais, ou seja, possuem propriedades que descrevem a sua localização no espaço e a sua forma de representação (Silva, 2002).

A implementação de uma base de dados espacial constitui um elemento central para o desenvolvimento de sistemas de informação geográfica aplicados ao apoio à tomada de decisão, dado que possibilita a gestão integrada de dados alfanuméricos e geográficos (Longley et al., 2015).

Uma base de dados espacial distingue-se das bases de dados convencionais por permitir o armazenamento, a manipulação e a análise de dados que possuem referência espacial, possibilitando não apenas o registo de atributos descritivos, mas também a representação geográfica de fenómenos do mundo real sob a forma de pontos, linhas e polígonos (Rigaux, Scholl, e Voisard, 2002).

3.8.2 Sistema de Gestão de Base de Dados Espaciais

A organização da base de dados envolve, um mecanismo eficiente de armazenamento e manipulação de dados, cujo gerenciamento é controlado pelo Sistema Gerenciador de Base de Dados (SGBD). Um SGBD é um conjunto de *Softwares* que gerencia a estrutura da base de dados e controla o acesso aos dados armazenados no mesmo. A meta básica de um SGBD é proporcionar um ambiente conveniente e eficiente para armazenamento e recuperação da informação (Silva, 2002).

Para Silva (2023), o SGBD pode ser entendido como um conjunto de programas de computador (*Softwares*) responsáveis pelo gerenciamento de repositórios de dados. Seu principal objectivo é abstrair das aplicações, a responsabilidade de gerenciar o acesso, a manipulação e a organização dos dados. Enquanto, um SGBD trabalha com tipos de dados, numéricos e caracteres, uma extensão Espacial geralmente confere ao SGBD índices e tipos de variáveis espaciais, funções para realização de operações geométricas e geográficas e bibliotecas de projecções cartográficas associadas aos modelos matemáticos geodésicos (datum).

Um SGBDE serve não só como repositório de dados espaciais para os SIG, mas também viabiliza a manipulação e análise destes dados. *Microsoft SQL Server* e *Oracle Spatial* representam soluções proprietárias para servir como repositório de dados espaciais, porém, a utilização de arquiteturas proprietárias promove

a dependência de uma única empresa que acaba por impor valores elevados para manter e actualizar esta estrutura, e as restrições por elas impostas acabam por inviabilizar uma possível ampliação da estrutura para atender as necessidades que podem surgir no decorrer do desenvolvimento de um sistema (Silva, 2023).

De acordo com Silva (2023), os SIG é assistido por um SGBDE e um Servidor *Web Map Service* (WMS), normalmente recorre-se ao SGBDE o *PostgreSQL/PostGIS*. Neste SGBDE, é criado uma base de dados para persistir todos os dados dos *WebSIG* utilizando o datum planimétrico definido pela equipa do projecto. Já o Servidor WMS selecionado tende a ser o *GeoServer*, que é bastante utilizado para se trabalhar com o *PostgreSQL/PostGIS*. Além disso, ele utiliza o *GeoTools*, uma biblioteca Java de análise e processamento de componentes geoespaciais, e os padrões da *Open Geospatial Consortium* (OGC), possibilitando a interoperabilidade entre diversos Bases de dados espaciais, serviços e aplicações. Para executar o *GeoServer* é necessário primeiro instalar um servidor de aplicações *Web Java*. Normalmente opta-se pelo servidor *Web Tomcat*. Para facilitar a implementação da interface gráfica dos *WebSIG* e abstrair os processos de requisições ao Servidor WMS, normalmente opta-se pelo *OpenLayers*, um *framework JavaScript Open Source* concebido para tal fim e criado pela MetaCarta, uma organização americana do segmento de *ProGeocessamento* fundada por Jhon R. Frank e financiada por, dentre outras organizações, a também americana *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA).

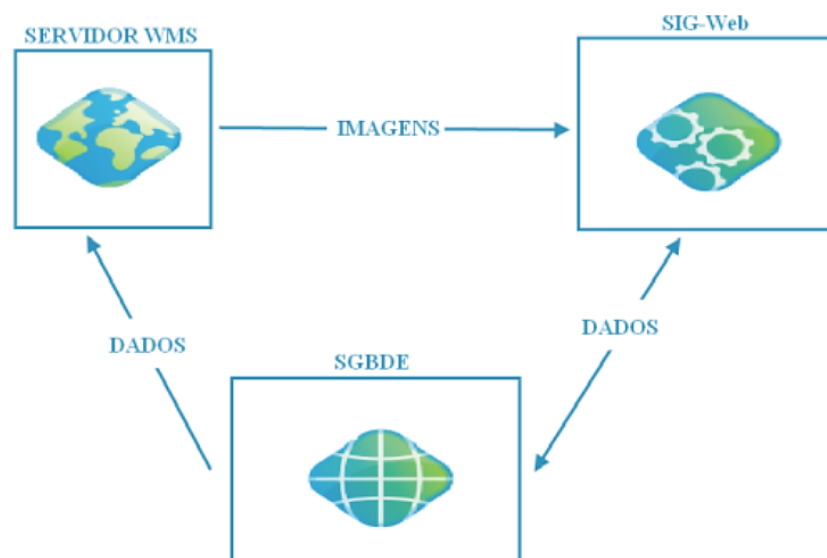


Figura 9: Comunicação entre os SIG-Web, Servidor WMS e o SGBDE (Fonte: Silva, 2023)

Um SGBD geralmente mantém índices para os dados, que são estruturas de métodos de acesso que optimizam a recuperação dos dados, diminuindo os acessos ao disco. No caso particular dos Bases de dados espaciais, questões referentes ao armazenamento da geometria dos dados espaciais, bem como dos

relacionamentos entre eles (especialmente os topológicos) são relevantes e carecem de estruturas de dados específicas. A geometria diz respeito à forma geométrica utilizada para representar o dado espacial e está intimamente ligada à escala de trabalho e ao objectivo da página *web* (Silva, 2002).

O acesso aa base de dados necessita de informações de quais dados são necessários e como obtê-los. Algumas *DMLs* são mais amigáveis ao usuário, exigindo apenas que se especifique quais são os dados necessários, deixando o “como obtê-los” sob responsabilidade dos SGBDs. Desse modo, esses tipos de SGBDs demandam técnicas de otimização para recuperar eficientemente as informações.

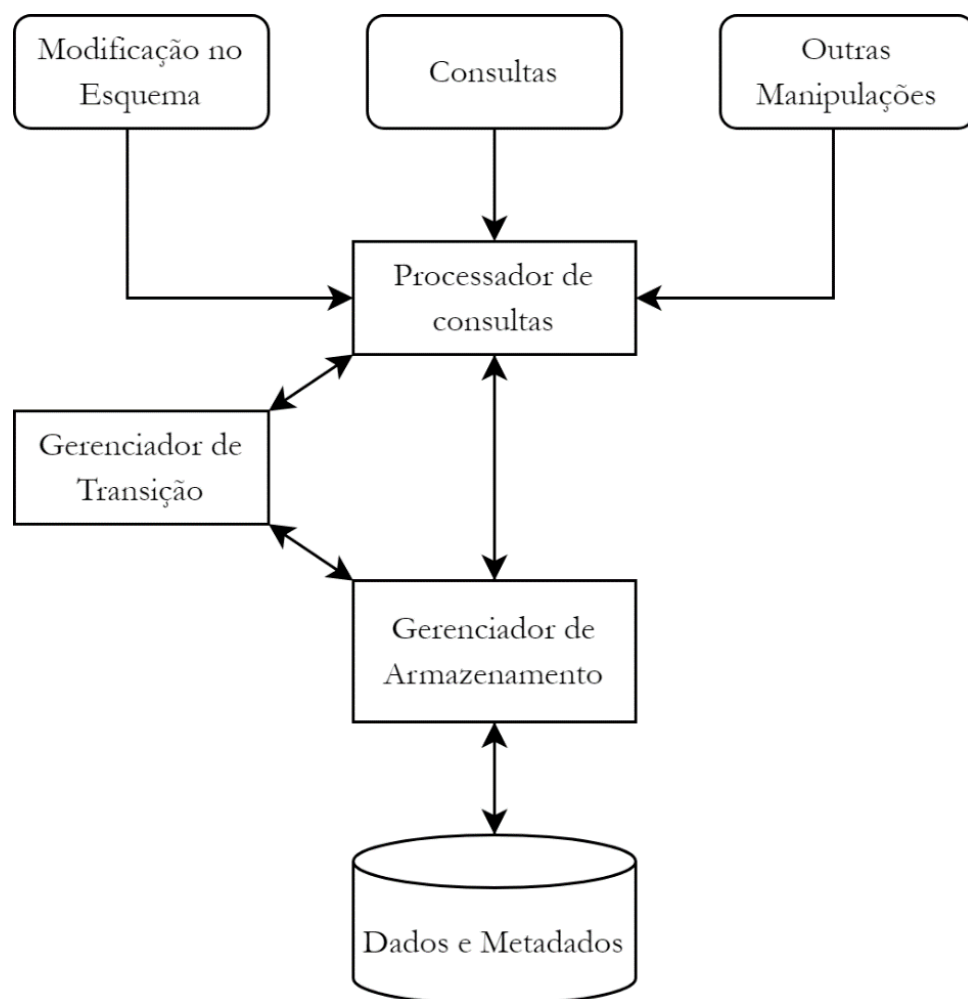


Figura 10: Sistema de Gerenciamento de Base de Dados. (Fonte: Adaptado de Silva, 2002)

Uma consulta é um caso especial de manipulação da base de dados e corresponde a uma solicitação de recuperação de informações. A parte da *DML* responsável pela recuperação de informações é chamada Linguagem de Consulta. Tradicionalmente a Linguagem SQL (*Structured Query Language*) foi adotada como Linguagem de Consulta padrão para os sistemas de Base de dados baseados no Modelo Relacional,

mas posteriormente, com o surgimento dos Modelos Orientado a Objectos e Relacional Extendido, a SQL vem recebendo alguns incrementos para tratar os novos tipos de dados, tais como os espaciais e os de multimídia (Silva, 2002).

O Processador de Consultas, é responsável por processar e otimizar consultas em linguagem de alto-nível. Uma consulta expressa em linguagem de alto-nível é interpretada em três passos pelo Processador de Consultas. No primeiro passo, as palavras-chaves, nomes de atributos e nome de relacionamentos são identificados no texto da consulta. No segundo passo, verifica-se a sintaxe da consulta para determinar se ela foi formulada de acordo com as regras de sintaxe (regras da gramática) da linguagem de consulta. Finalmente, no terceiro passo, a consulta deve ser validada, verificando-se se todos os nomes de atributos e relacionamentos e se os nomes têm significado semântico no esquema da base de dados em particular sendo consultado. Uma representação interna para a consulta deve então ser criada. O SGBD deve definir um plano estratégico de execução para recuperar o resultado da consulta e passar o controlo e as devidas instruções ao Gerenciador de Armazenamento. Uma consulta geralmente apresenta várias possibilidades estratégicas de execução e o processo de se escolher a mais adequada para executar uma consulta é conhecido como otimização de consulta, tarefa esta, considerada mais importante do Processador de Consultas (Silva, 2002).

3.8.3 Modelos de Dados para SGBD

Segundo Silva (2002), apesar dos SGBDs convencionais compartilharem a mesma arquitetura proposta pelo *Study Group on Data Base Management Systems* (ANSI/SPARC), há um número distinto de famílias de Base de dados, com abordagens diferentes para estruturação dos dados, baseadas nos seguintes modelos: Modelo Relacional e os modelos chamados pós-relacionais; tais como o Relacional Extendido e o Orientado a Objectos

3.8.4 O Modelo Relacional

De acordo Silva (2002), o modelo relacionado utiliza tabelas para representar dados e as relações entre eles, com cada linha numa tabela correspondendo a um conjunto de valores relacionados. Este modelo deve o seu nome à correspondência entre tabelas e o conceito matemático de relação. No entanto, a tecnologia relacional enfrenta desafios com dados espaciais, uma vez que os objectos espaciais precisam ser divididos em várias tabelas (por exemplo, um polígono em segmentos e pontos). Alterações em uma feição espacial exigem actualizações em várias tabelas, o que pode ser ineficiente. Além disso, o modelo relacional exige registros de tamanho fixo e não considera a ordem dos registros, o que não se adapta bem à variabilidade e ordem dos elementos geográficos.

3.8.5 Modelo Relacional Estendido

Também conhecido como Objecto-Relacional, combina o modelo relacional com conceitos do Modelo Orientado a Objectos. Desenvolvido para superar as limitações do modelo relacional tradicional, que só suportava tipos de dados simples, este modelo permite a criação e integração de novos tipos de dados, incluindo objectos complexos. A abordagem visa proporcionar uma solução universal para o gerenciamento de dados, mantendo a familiaridade com estruturas tabulares e linguagens de definição e manipulação de dados, mas oferece também a flexibilidade das tecnologias orientadas a objectos. O Modelo Relacional Estendido suporta campos de tamanho variável e objectos complexos, como dados espaciais e multimídia, através de sistemas abertos e armazenamento dinâmico, atendendo assim a uma gama mais ampla de necessidades de dados (Silva, 2002).

3.8.6 Modelo Orientado a Objectos

De acordo com Silva (2002), o modelo orientado a Objectos utiliza conceitos da orientação a objectos, como classes, objectos, herança e polimorfismo, para modelar dados e comportamentos. Em vez de usar tabelas, como no modelo relacional, ele agrupa dados e operações relacionados a uma entidade em uma única estrutura, chamada de classe. Cada objecto possui atributos, que definem suas características, e métodos, que definem seu comportamento. Por exemplo, um objecto “poste” pode ter um atributo “Localização” e um método “Determinar Posição” uma função que retorna a localização do poste, ou seja, os valores assumidos para X e Y. Observe que as características dos objectos somente são acessadas através dos métodos, desse modo, encapsulando os detalhes de implementação do objecto

Segundo Filgueiras citado por Silva (2002), os SGBDs orientados a objectos oferecem uma representação mais próxima da realidade, permitindo um alto nível de abstração e facilitando a manutenção do sistema ao armazenar processos e regras de negócio directamente na base de dados. Eles também oferecem uma identificação única para cada instância de objecto e permitem o mapeamento automático do modelo lógico para o modelo físico.

3.9 Roteirização de Veículos

O termo “roteirização de veículos” embora não registrado em dicionários da língua portuguesa, tem sido amplamente utilizado como tradução do termo inglês *routing*, para designar o processo de definição de um ou mais itinerários ou sequências de paragens a serem cumpridos por veículos de uma frota. Este processo visa a visitação de um conjunto de pontos geograficamente dispersos e previamente estabelecidos que necessitam de atendimento. Quando a definição das rotas envolve não apenas aspectos espaciais ou geográficos, mas também restrições temporais, como horários de atendimento nos pontos a

serem visitados, os problemas passam a ser denominados “roteirização e programação de veículos” (Cunha, 2000 citado por Gama, 2011).

3.9.1 Algoritmos de Roteamento

A resolução do problema da otimização de rotas sendo de elevada complexidade recorre a modelação matemática e uso tecnológico de modo a simplificar o problema através da teoria de grafos produzindo algoritmos cada vez mais eficazes (Cunha, 2000, citado por Gama, 2011).

3.9.1.1 Algoritmo de *Dijkstra*

O algoritmo de *Dijkstra* procura o caminho mais curto entre duas arestas do mesmo grafo, assim calcula o custo mínimo de um vértice para todos os outros vértices dentro do mesmo grafo (Misa, 2010, citado por).

Segundo Duarte et al.,(2019), este algoritmo é simples e rápido embora não garanta os melhores resultados sempre que existam arcos com valores negativos, a velocidade de execução pode diminuir muito nas situações mais complexas e mais amplas

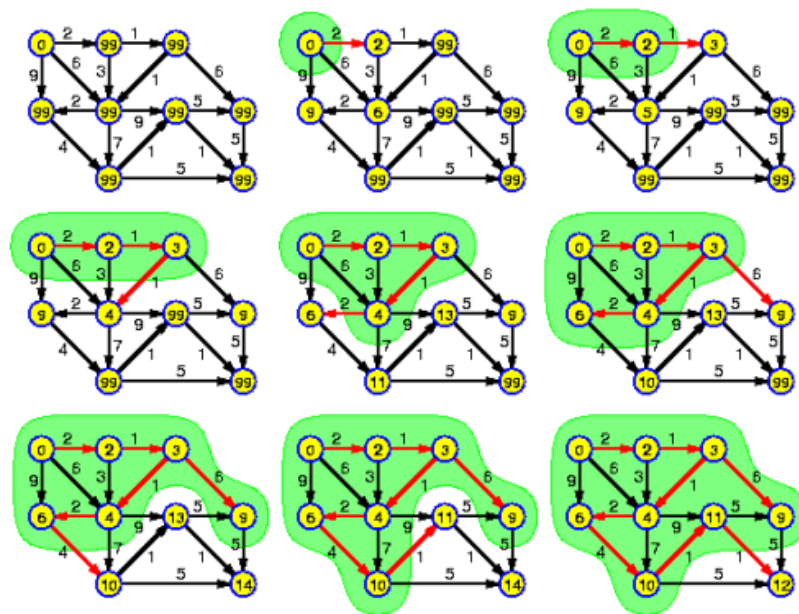


Figura 11: Algoritmo de Dijkstra. (Fonte: Jasika, et al., 2012 citado por Duatte et al.,2019)

3.9.1.2 Algoritmo Branch and Bound

De acordo com Duarte et al.,(2019), *Branch and Bound* baseia-se em três partes distintas. Como refere Guerreiro (2009 citado por Duarte et al, 2019), inicia-se com a construção de árvores de nós onde divide

o problema em conjuntos menores ou subproblemas menores. De seguida cria-se a estratégias a desenvolver o próximo subproblema e consequentemente realiza comparações com o seu limite superior e inferior (parâmetros a estabelecer), em que a solução tem que corresponder para que seja considerada viável. A segunda parte *Branching* dividir o problema principal em subproblemas menores de modo a facilitar a análise, eliminando soluções inviáveis, sem comprometer a integridade do campo de soluções. A terceira *Bounding* eliminar soluções de baixa qualidade através de comparações com limitantes (Guerreiro, et al., 2009 2009 citado por Duarte et al, 2019).

3.9.1.3 Algoritmo Savings

O algoritmo *Savings* tem duas visões de abordar o problema, uma delas é visitar os clientes i e j em rotas separadas (a), a outra é visitar os clientes i e j na mesma rota, ou seja, visitar os clientes sequencialmente (b). Visto que os custos das rotas são dados, o resultado pode ser calculado para saber qual a melhor rota. Ainda é possível dividir o algoritmo em duas versões, sequencial e paralela. Na versão sequencial apenas é formada uma rota de cada vez, enquanto na versão paralela é criada mais que uma rota de cada vez (Lysgaard, 1997).

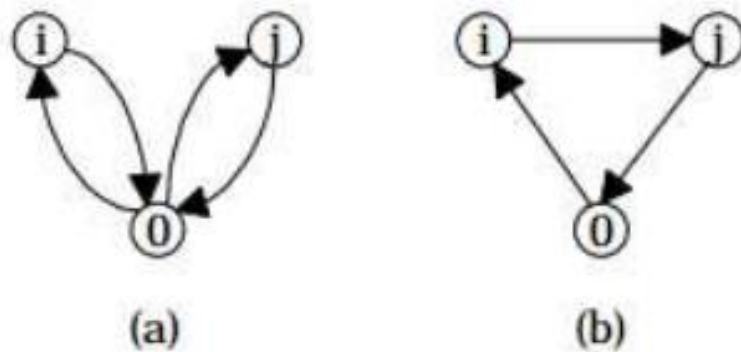


Figura 12: Algoritmo de Savings. (Fonte: Lysgaard, 1997 citado Duarte 2019)

3.9.1.4 Desenho do Componente

Neste passo cada componente do sistema recebe um desenho detalhado, descrevendo como irá executar a sua parte do processo (Coley Consulting, 2004). Para o *ProGeo*, isto incluiu o desenho do módulo de geocodificação, do módulo de consulta espacial e do serviço de cálculo de rotas.

3.9.1.5 Algoritmo de Nearest Neighbor

O principal objectivo deste algoritmo é procurar o cliente mais próximo a visitar com a finalidade de gerar poupanças de rotas, como não prevê os passos seguintes pode gerar problemas de eficácia (Galvão, 2017). Este algoritmo baseia-se numa metodologia que segundo Silva (2003), constrói uma solução passo a passo seguindo um conjunto de requisitos pré-estabelecidos. Este processo iterativo repete-se até que não exista mais nenhum cliente a ser visitado, ou seja, todos os elementos sejam percorridos e a rota seja concluída.

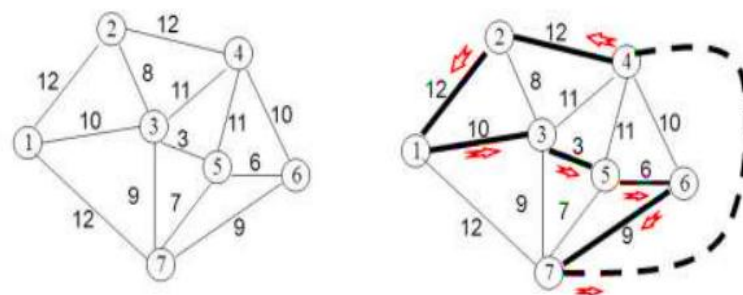


Figura 13: Nearest Neighbor adaptado. (Fonte: Walker, 2015)

3.9.1.6 Algoritmo de Tabu Search

O algoritmo de *Tabu Search* foi criado por Fed W. Glover em 1986 e é um método de busca local utilizado para otimizações. É uma adaptação do procedimento com a capacidade de fazer uso de muitos outros métodos, como algoritmos de programação linear e heurística especializada, que direciona para superar as limitações da optimização local (Glover, 1989).

Segundo Charbonneau e Vokkarane (2010), de início deve-se gerar uma solução aleatória ou com origem noutra algoritmo. Partindo da solução inicial serão produzidas novas soluções sendo a melhor será seleccionada como solução actual. Os algoritmos por vezes bloqueiam em óptimos locais, para solucionar o problema este algoritmo cria uma lista tabu. Guan, Cao e Shi (2010), referem que a lista *tabu* regista movimentos produzidos para formar as soluções seleccionadas que não geram repetições enquanto estiverem na lista. A lista tabu é um fator essencial e determinante na qualidade do algoritmo *Tabu Search*.

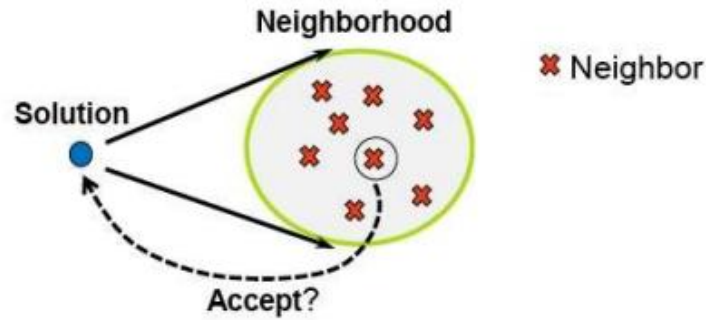


Figura 14: Tabu Search (Fonte: Paradiseo, s.d., citado por Duarte et al, 2019)

3.9.1.7 Algoritmo Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

O Algoritmo *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP), introduzido por Feo e Resende (1995), é um algoritmo meta-heurístico de processos iterativos que gera normalmente soluções perto do ótimo. A principal característica do algoritmo, apresentado na figura 15, é criar soluções novas independentes das anteriores. Na sua versão básica divide-se em duas fases em cada iteração, a fase de construção e a fase de procura local. Na fase de construção é pretendido encontrar uma solução para o problema e na fase de procura local melhorar a solução encontrada. Em cada passo do algoritmo é escolhida a melhor componente, identificado por um indicador de sensibilidade, que utiliza uma componente que tem características aleatória e adaptativa, controlado pelo parâmetro α para indicar as componentes de melhor qualidade para fazerem parte da solução do problema (Resende e FEO, 1989).

Na fase de melhoria local é utilizado um algoritmo de busca local com o objectivo de procurar na vizinhança da solução fornecida pela fase construtiva, uma melhor solução para o problema. O GRASP pode contar ainda com uma fase de pré-processamento na qual, as informações sobre o problema são pré-processadas e avaliadas com o objectivo de diminuir o espaço de busca do problema caso seja possível (Souza S. S., 2013).

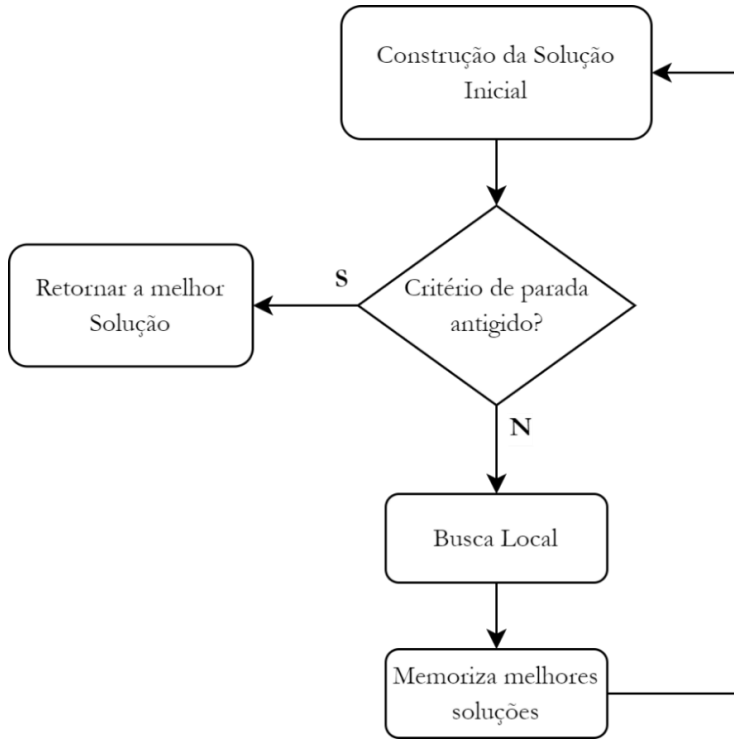


Figura 15: Algoritmo GRASP (Fonte: Souza, 2014 Citado por Duarte 2019)

3.9.2 Problema de Roteamento de Veículos

De acordo com (Vasconcelos e Gomes, 2022), O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) foi abordado pela primeira vez em *Dantzig e Ramser* (1959) e pode ser considerado como uma generalização do Problema do Caixeiro Viajante com a introdução de condições adicionais.

Cordeau et al. (2002, citado por Vasconcelos e Gomes 2022), define a versão clássica do PRV da seguinte maneira. Seja $G = (V, A)$ um grafo, onde $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ é um conjunto de vértices e $A = \{(v_i; v_j): v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ é um conjunto de arcos. O vértice v_0 representa o Centro de Distribuição (CD), enquanto os demais vértices representam os clientes a serem atendidos. Com A são associadas uma matriz custo c_{ij} e uma matriz de tempos de viagens t_{ij} . Se estas matrizes são simétricas, o que é o caso mais comum, então o padrão é definir o PRV em um grafo não direcionado $G = (V, E)$ onde $E = \{(v_i; v_j): v_i, v_j \in V, i < j\}$ é um conjunto de arestas. Cada cliente tem uma demanda não negativa q_n e um tempo de serviço t_s .

Uma frota de K veículos idênticos de capacidade Q é atribuída ao CD. O número de veículos é conhecido com antecedência ou tratado como uma variável de decisão. Nesse contexto, o PRV consiste em designar um conjunto de no máximo m rotas de entrega e/ou coleta de forma que: (i) cada rota inicia e termina

no CD; (ii) cada cliente é visitado exatamente uma vez por exatamente um veículo; (iii) a demanda total de cada rota não exceda Q ; (iv) a duração total de cada rota (incluindo os tempos de viagem e atendimento) não exceda um limite pré-definido D ; (v) o custo total da rota é minimizado (Cordeau et al. 2002, citado por Vasconcelos e Gomes 2022).

As equações que representam a formulação matemática do problema, adaptadas de Aquino (2015 citado por Vasconcelos 2022), podem ser observadas logo em seguida. O modelo utiliza uma variável binária x_{ijk} que assume valor 1 quando o veículo k utiliza o arco (i, j) para integrar a solução final e 0 quando contrário.

$$\text{Minimizar } \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ijk} = 1 \quad j \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1 \quad k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ijk} - \sum_{i \in V} x_{jik} = 0 \quad j \in V, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} x_{j0k} = 1 \quad k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} q_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq Q \quad k \in K \quad (6)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad i, j \in V, k \in K \quad (7)$$

3.9.2.1 Problema de Roteamento de Veículos com janelas temporais

De acordo com Cordeau et al. (2002, citado por Vasconcelos e Gomes 2022), uma das extensões mais relevantes do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) tradicional é o Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo (PRVJT). Nesse contexto, cada cliente a ser atendido possui um intervalo de tempo $[a_i, b_i]$ que determina quando o serviço pode ser iniciado nunca antes de a_i nem após o tempo b_i .

Solomon (1987, citado por Vasconcelos e Gomes 2022), foi pioneiro na abordagem do PRVJT e apontou que, com a introdução dessas janelas de tempo, os custos de roteamento e de programação englobam não apenas as distâncias totais e os custos de transporte, mas também os custos adicionais associados a eventuais tempos de espera causados por chegadas antecipadas aos clientes, ou ainda aqueles relacionados

às operações de carga e descarga. O autor enfatiza que o PRVJT representa um avanço importante para lidar com desafios práticos que surgem em contextos reais, pois as janelas de tempo são características comuns em operações empresariais que seguem horários fixos. Exemplos típicos incluem serviços de entrega bancária, correspondências postais, recolha de resíduos industriais e transporte escolar.

Por sua vez, Miranda (2011, citado por Vasconcelos e Gomes 2022), descreve o PRVJT como uma generalização do PRV, em que cada cliente tem um período específico para ser atendido por um veículo período este denominado janela de tempo. O foco principal do problema consiste em minimizar o número de veículos necessários, sendo o objectivo secundário reduzir a distância total percorrida, refletindo o tempo total de deslocamento. Miranda (2011, citado por Vasconcelos e Gomes 2022), também observa que, em algumas situações, as janelas de tempo podem ser violadas mediante o pagamento de penalidades, caracterizando os chamados *Soft Time Windows*. Quando essa violação não é permitida de forma alguma, a situação é classificada como *Hard Time Windows*.

A formulação matemática do Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo (PRVJT) parte das mesmas expressões utilizadas para o modelo clássico do PRV, conforme discutido no tópico anterior. No entanto, com a inclusão das janelas de tempo, são necessárias duas restrições adicionais para adequar o modelo à nova realidade. Essas restrições suplementares, adaptadas de Arenales et al. (2007 citado por Vasconcelos e Gomes, 2022), estão representadas nas equações:

$$s_{ik} + t_{ij} + t_{sk} \leq s_{jk} + (1 - x_{ijk})M_{ij}, i, j \in V, k \in K \quad (8)$$

$$a_i \leq s_{ik} \leq b_i \quad i \in V, k \in K \quad (9)$$

Onde:

s_{ik} Indica o instante em que o veículo k começa a atender o cliente i ;

t_{ij} Representa o tempo de viagem entre o cliente i e o cliente j ;

O tempo de serviço do cliente i é representado por t_{si} ;

$$M_{ij} = \max\{b_i + s_{ik} + t_{ij} + t_{si}, 0\} \quad (10)$$

3.10 Aplicação dos SIG no Roteamento de Veículos

O uso de sistemas de roteirização garante uma melhora significativa nas operações de transporte das empresas (Faulin et al., 2005). Sua utilização resulta em optimização de tempo, economia de combustível

e satisfação do cliente, elemento essencial para que essas possam atuar de forma competitiva no mercado contemporâneo. A solução de problemas de roteirização de veículos e suas variantes vêm sendo amplamente estudados na literatura, principalmente as soluções utilizando algoritmos heurísticos. Entretanto, apenas alguns estudos utilizam esses algoritmos aliados a sistemas de apoio a decisão baseados em dados geográficos (Keenan citado por (Póvoa et al., 2020)).

De acordo com Póvoa et al. (2020), os estudos de Angerhrn e Lüthi (1991) e de Lapalme e Rosseau (1992) destacam-se como os primeiros a explorar o uso de mapas e algoritmos em rede fora dos *Softwares* tradicionais de SIG. Estes sistemas ofereciam aos utilizadores a liberdade de criar e editar redes, tendo os mapas como base visual. Por sua vez, Wunderlich et al. (1992), desenvolveram um sistema de apoio à decisão destinado à roteirização de leitores de gás para uma empresa localizada na Califórnia. Já o trabalho de Basnet et al. (1996), foca-se numa aplicação para solucionar o problema da recolha de leite de fazendeiros na Nova Zelândia. Este problema, que envolve múltiplos depósitos, foi resolvido com o uso do algoritmo da varredura.

Segundo Póvoa et al. (2020), o estudo de Weigel e Cao (1999) demonstra a integração de um algoritmo de roteirização com um SIG comercial. Por outro lado, o sistema desenvolvido por Nussbaum et al. (1997), foi aplicado para solucionar o problema de distribuição de combustível de uma empresa no Chile. Neste caso, as rotas são determinadas com base em restrições como a capacidade do tanque, o tempo de viagem e as janelas de tempo disponíveis. Em vez de se basear em técnicas de optimização, a resolução deste problema apoiou-se no conhecimento acumulado a partir do histórico das rotas previamente traçadas.

Faulin et al. Citado por Póvoa et al. (2020), desenvolveram o *Software LogDis*, um sistema de apoio a decisão projetado para resolver o problema de roteirização de veículos numa empresa de produtos congelados na Espanha. Gayialis e Tatsiopoulos (2004), usaram apenas *Softwares* comerciais para desenvolver o sistema, ao invés de desenvolver módulos específicos de roteirização. A mesma estratégia foi utilizada no trabalho de Mendoza et al. (2009), que desenvolveram um sistema para roteirizar a medição de hidrômetros em uma companhia de água e esgoto da Colômbia. Tarantilis e Kiranoudis (2002) usaram uma estratégia similar com o SIG *Arcview* da ESRI. Santos et al. (2008), desenvolveram um sistema de apoio a decisão para otimizar a coleta de lixo (C-CARP) utilizando a linguagem orientada a objectos *Avenue*, incluída no GIS *Arcview*.

3.11 Papel da Roteirização na Redução de Custos Logísticos e Melhoria do Nível de Serviço

A roteirização permite simular e analisar custos em tempo real, possibilitando a escolha do roteiro mais adequado durante o planeamento. Ao organizar a rota, é possível ter em conta o tempo estimado de atendimento aos clientes, evitando atrasos, as janelas de atendimento, garantindo que a visita ocorra em horários apropriados; e eventuais restrições de vias, prevenindo atrasos e retornos desnecessários, de forma a contribuir para manter um bom nível de serviço (Matos Júnior et al., 2013).

A aplicação da roteirização também permite otimizar a utilização dos veículos, realizar um maior número de entregas com menos recursos, reduzir o custo por unidade transportada, adequar o volume de entregas à capacidade da rota ou jornada e diminuir despesas com combustível, manutenção, pneus e horas extraordinárias. Para além disso, contribui para evitar sobreposição de rotas e melhora a alocação de recursos como mão-de-obra e veículos, influenciando directamente os custos e o nível de serviço operacional (Matos Júnior et al., 2013).

Araújo (2003), define roteirização como o processo de determinar a sequência ou os caminhos mais eficientes que os veículos devem percorrer para atender às demandas, buscando reduzir custos operacionais, melhorar o serviço prestado, reduzir distâncias e tempos de trajeto.

Segundo Melo (2001), as empresas que adoptam análise de transportes, seja em nível tático ou estratégico, conseguem reduzir custos na ordem dos 10% a 15%. Com o aumento de pedidos de menor dimensão exigidos pelos clientes, a análise logística torna-se ainda mais essencial para a tomada de decisões relativas à roteirização, programação e consolidação das entregas. Segundo a Revista Br (2002), as organizações que implementam soluções de roteirização verificam uma redução mínima de 10% nos custos totais, podendo chegar até 25% em operações críticas.

Com múltiplos pontos de entrega e produtos em quantidades reduzidas, surgem desafios como definir a prioridade de atendimento e escolher as rotas mais adequadas. Ballou (2001), salienta que, quando existem diversas fontes e destinos, o desafio consiste em determinar de forma eficiente quais destinos serão atendidos por cada origem, bem como identificar as rotas mais eficientes. Novaes (2007), refere que o principal objectivo da roteirização é proporcionar um serviço de elevada qualidade, mantendo os custos operacionais e de capital o mais baixos possível.

Bowersox, Closs e Cooper (2002), destacam que as análises de transporte se concentram na roteirização e na programação de veículos e motoristas, com o objectivo de maximizar a utilização dos recursos e responder de forma mais eficaz às exigências dos clientes. Esta abordagem resulta numa maior satisfação

do consumidor, redução do consumo de combustível e menor desgaste de pneus e amortecedores, devido à optimização do tempo.

3.12 Descrição da Empresa Electricidade de Moçambique

A Electricidade de Moçambique, E.E. (EDM), foi criada pelo Decreto nº 38/77, de 27 de Agosto, dois anos depois da Independência de Moçambique, como a entidade responsável pelo estabelecimento e exploração do serviço público de produção, transporte, distribuição e comercialização da energia eléctrica no País, tendo herdado um património constituído por equipamento das mais variadas origens, modelos e tipos então existentes no país. Na prossecução do objectivo político do Estado Moçambicano de disponibilização de electricidade para todo o povo, e dentro do contexto da reforma em curso no sector, a EDM foi transformada em Empresa Pública através de Decreto nº 28/95, de 17 de Julho, passando a designar-se por Electricidade de Moçambique, E.P.

A Estrutura da EDM organiza-se em quatro funções de comando em que há responsabilidade funcional e controlo directo entre os Administradores e os seus Pelouros. Com esta estrutura pretende-se assegurar a autonomia e descentralização operacionais necessárias a um funcionamento dinâmico, permitindo, por outro lado, reduzir o peso operacional da função dos Administradores fazendo com que estes se ocupem com assuntos estratégicos dos negócios da Empresa.

3.12.1 Equipa de Piquete em Empresas de Distribuição Eléctrica

As equipas de piquete são constituídas por técnicos devidamente formados e com experiência no terreno, garantindo respostas rápidas a avarias e outras emergências. A sua principal função é minimizar o impacto das falhas no fornecimento de energia eléctrica (Gomes e Marques, 2019).

As equipas de piquete são essenciais para garantir a continuidade e a segurança no fornecimento de energia eléctrica. Estas equipas são responsáveis por responder rapidamente a avarias, interrupções no fornecimento e outras emergências que possam comprometer o serviço (Rodrigues, 2022).

A EDM lançou a campanha Piquete 24 horas com o objectivo de prestar atendimento e reparação de avarias durante 24 horas por dia. Segundo o Director de Distribuição e Porta-voz da EDM, Luís Amado, a iniciativa visa reduzir o tempo de espera desde a participação até a reparação de avarias, em qualquer período do dia (EDM).

O presente capítulo apresenta a descrição detalhada do material usado e a estrutura metodológica empregada para elaboração o presente trabalho afim de atingir os objectivos propostos

3.13 Dados Usados

3.13.1 Descrição dos Dados Usados

Para o desenvolvimento da proposta de um Sistema de Informação Geográfica *Web* voltado ao apoio da equipa de piquete da EDM, optou-se pela utilização de dados simulados para a construção e teste do sistema proposto. Contudo, importa salientar que estes dados não foram gerados de forma aleatória, mas sim estruturados com base em padrões reais observados no contexto urbano, nomeadamente no que se refere à distribuição geográfica dos clientes, à tipologia dos atributos (nome, Endereço, número de contador, contacto telefónico e localização do cliente).

De acordo com Silva (2024), a utilização de dados simulados permite a realização de análises e treinamentos de modelos sem expor informações pessoais reais, assegurando a Protecção de dados e respeitando as normas de privacidade. Neste estudo, adoptou-se a estratégia de geração de dados artificiais baseados em padrões e estruturas observados em redes urbanas, permitindo simular cenários próximos da realidade enfrentada pela EDM.

No contexto moçambicano, a Lei n.º 3/2017, de 9 de janeiro, Lei de Protecção de Dados Pessoais, estabelece que qualquer tratamento de dados deve observar princípios fundamentais como a legalidade, transparência, proporcionalidade e finalidade específica. Esta legislação visa garantir que informações de carácter pessoal sejam tratadas de forma ética e segura, prevenindo abusos e assegurando a privacidade dos cidadãos. Assim, a utilização de dados simulados neste trabalho justifica-se como medida de conformidade legal e metodológica, permitindo a experimentação científica sem comprometer a confidencialidade dos clientes da EDM.

Os dados foram estruturados com base em estruturas reais observadas em redes urbanas, e modelados para permitir a construção de um ambiente de testes funcional e representativo. Esses dados foram organizados em quatro conjuntos principais:

Tabela 1: Descrição dos Dados Usados

Categoria	Atributos Colectados	Extensão	Utilidade
Localização	- Latitude - Longitude	<i>GeoJSON</i> ou CSV	Localização dos pontos de entrega de energia.
Clientes	- Nome_cliente -Endereço -Contacto - Email	Tabela (CSV)	Identificação e associação do cliente ao poste correspondente.
Contador	-Numero_Contador	<i>GeoJSON</i> ou CSV	Números dos contadores dos clientes

3.13.2 Equipamentos Computacionais usados

Para a elaboração deste trabalho, foram utilizados diferentes *Softwares* de modo a manipular os dados adquiridos em diferentes fontes, dentre estes *Softwares* e *hardwares*, figuram diferentes equipamentos, incluindo um computador portátil e um conjunto de *Software* livres e de código aberto, ilustrados na tabela abaixo:

Tabela 2: Equipamentos Computacionais usados

Categoria	Versão / Modelo	Função / Descrição
<i>Softwares</i>		
Desenho Gráfico	<i>Draw.io 24.7.8</i>	Criação de fluxogramas e diagramas
SIG Desktop	QGIS 3.40.13 (Bratislava)	Elaboração e análise de mapas
SGBD	<i>PostgreSQL 17</i>	Armazenamento, gestão e manipulação de dados
Servidor de Mapas	<i>GeoServer</i>	Publicação e disponibilização da base de dados espacial

Desenvolvimento da <i>WebSIG</i>		
<i>Runtime JavaScript</i>	<i>Node.js 18+</i>	Execução de scripts <i>JavaScript</i> e gestão de dependências (<i>npm</i>) para o desenvolvimento do <i>WebSIG</i>
IDE	<i>VS Code 1.92.2</i>	Desenvolvimento da página <i>WebSIG</i>
Biblioteca de Mapas	<i>Leaflet.js 1.9.4</i>	Integração e visualização de mapas interativos no <i>WebSIG</i>
Navegador Web	<i>Google Chrome</i>	Pesquisa bibliográfica e testes da página <i>WebSIG</i>
<i>Hardware</i>		
Computador	<i>Lenovo ThinkPad</i>	Equipamento utilizado no desenvolvimento da pesquisa e do Sistema
Processador	<i>Intel® Core™ i5-6300M 2.40GHz / 2.50GHz</i>	Execução geral das tarefas e dos <i>Softwares</i> instalados
Sistema Operativo	<i>Windows 10 Pro</i>	Ambiente de trabalho para todos os <i>Softwares</i>
Arquitectura do Sistema	64 bits, processador x64	Suporte para execução de aplicações como <i>Node.js</i> , <i>PostgreSQL</i> e <i>QGIS</i>

3.13.3 Metodos

Esta secção tem por objectivo apresentar e descrever os procedimentos considerados para o desenvolvimento do *WebSIG* para o apoio a equipa do piquete. Um procedimento primordial para a concretização deste trabalho consistiu numa exaustiva revisão de literatura referente ao uso de SIG, *WebSIG* e algoritmos de roteirização de veículos, de modo a compreender as suas potencialidades e seleccionar os métodos mais adequados para o desenvolvimento do sistema *WebSIG* proposto em apoio às equipas de piquete da EDM. De forma resumida, a concretização deste trabalho, foi baseada nos procedimentos ilustrados abaixo:

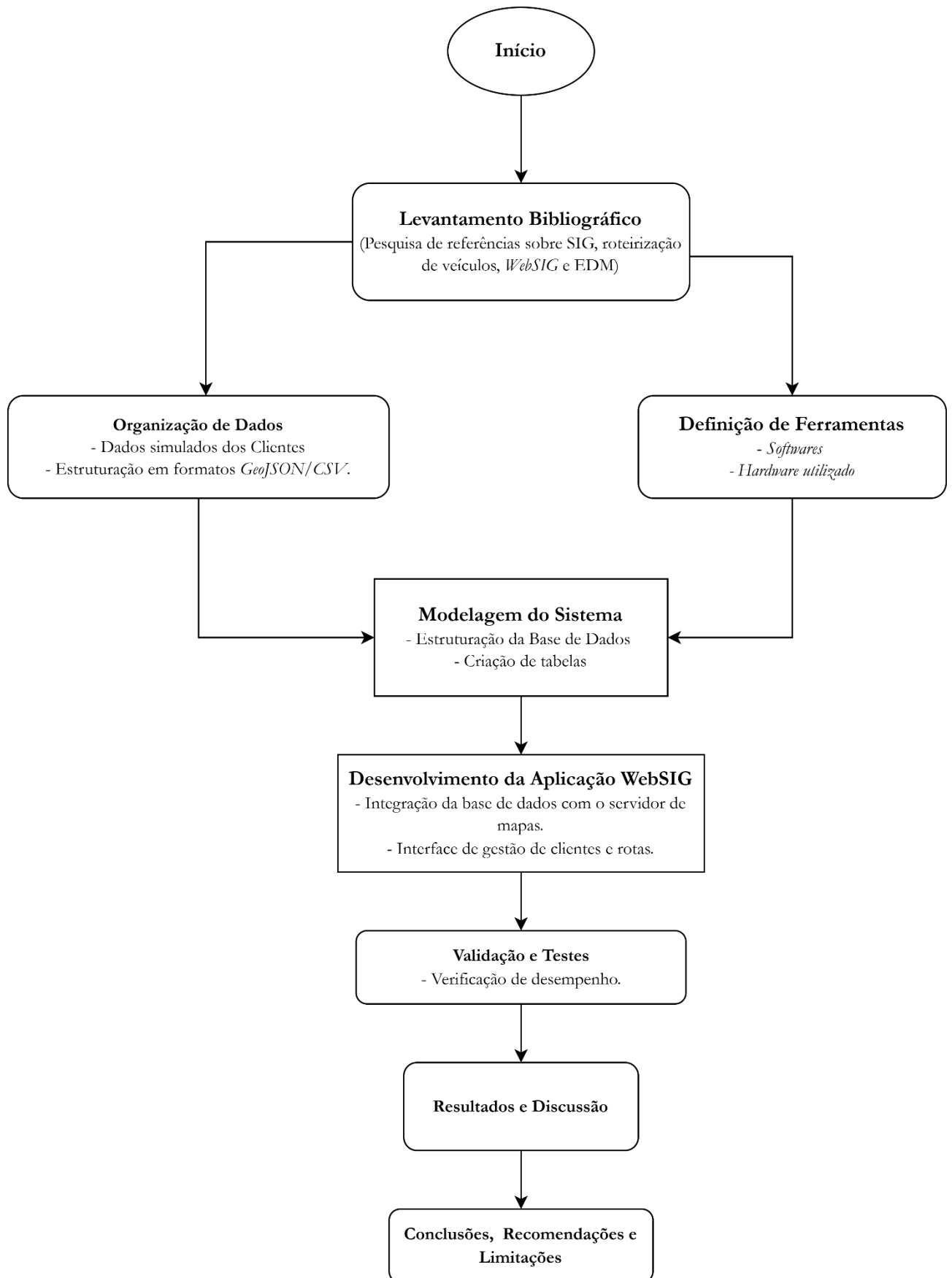


Figura 16: Fluxograma Metodológico

3.13.4 Procedimentos Computacionais

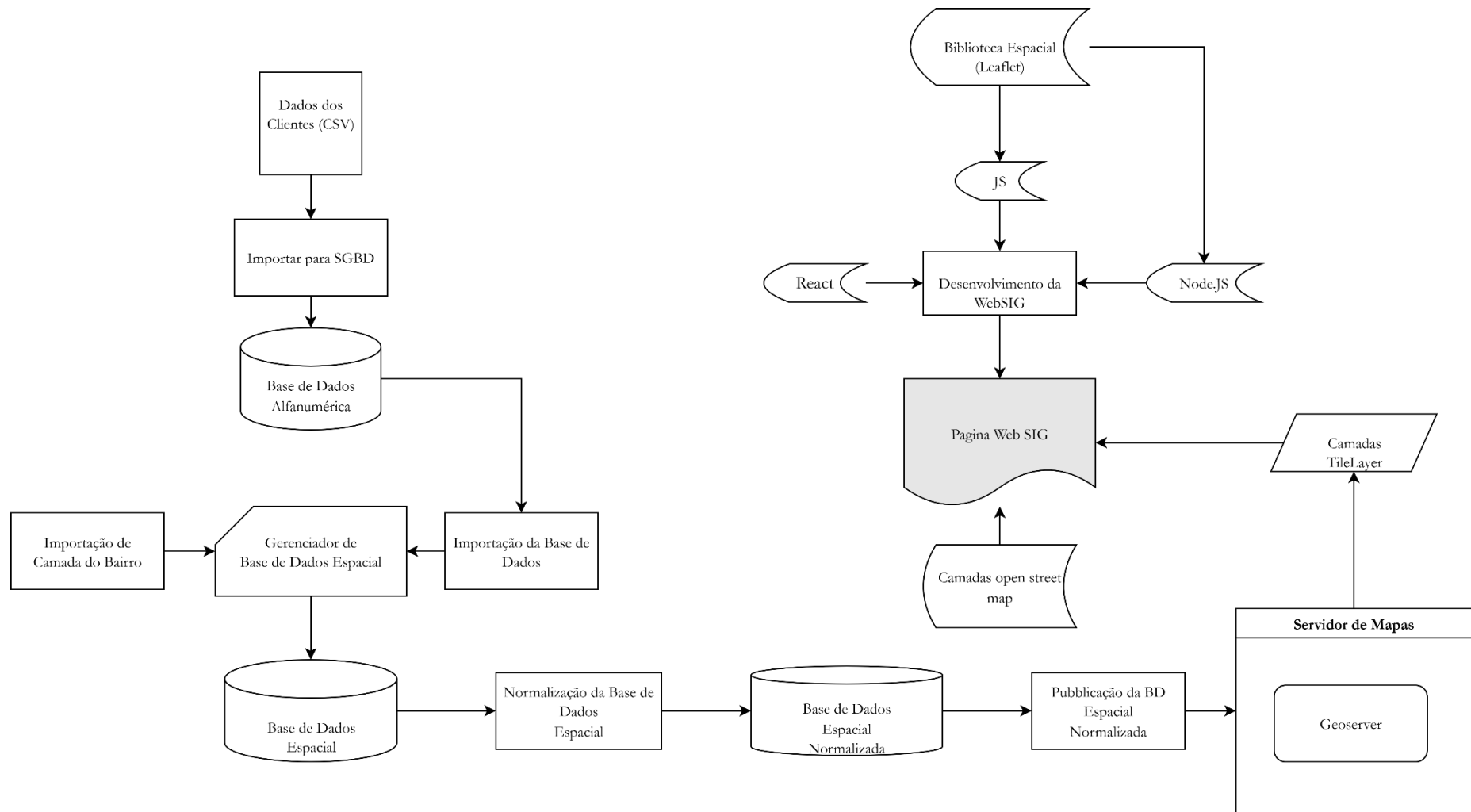


Figura 17:Procedimentos Computacionais

3.13.5 Criação e integração dos dados na Base de Dados *SQLite*

SQLite é uma biblioteca em processo que implementa um mecanismo de Base de dados SQL transacional, independente, sem servidor e sem configuração. O código do *SQLite* é de domínio público e, portanto, livre para uso para qualquer finalidade, comercial ou privada. A base de código do *SQLite* conta com o suporte de uma equipa internacional de desenvolvedores que trabalham no *SQLite* em tempo integral. Os desenvolvedores continuam a expandir os recursos do *SQLite* e a aprimorar sua confiabilidade e desempenho, mantendo a compatibilidade com versões anteriores da especificação de *interface* publicada, da sintaxe SQL e do formato de arquivo da base de dados. O código-fonte é totalmente gratuito para quem quiser, mas também oferecemos suporte profissional (*SQLite*, 2025).

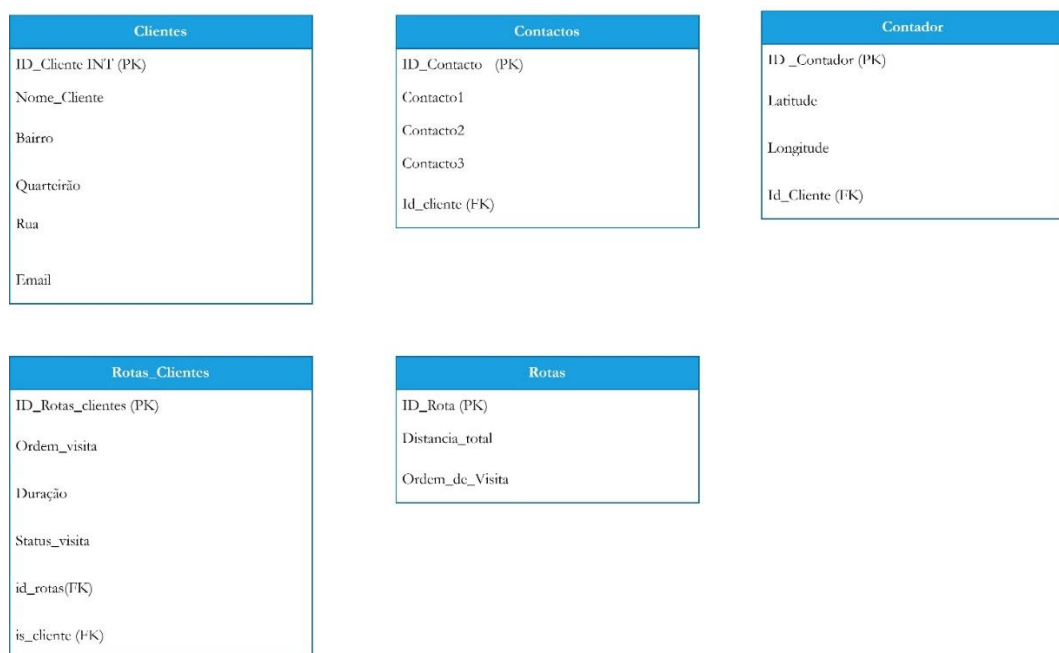


Figura 18: Organização dos dados na base de dados *SQLite*

Para além das tabelas previamente definidas no modelo de dados do sistema, foi criada uma tabela independente especificamente destinada ao armazenamento dos dados dos utilizadores. Esta tabela assegura a integridade e a confidencialidade da informação pessoal, permitindo o registo, a gestão e a consulta eficiente dos dados dos utilizadores sem interferir nas demais tabelas do sistema. A sua estrutura foi concebida de forma a suportar futuras ampliações do sistema, garantindo flexibilidade e escalabilidade no tratamento da informação.

Usuários
ID_Usario (PK)
username
email
password_hash
nível_acesso

Figura 19: Armazenamento de Utilizadores

3.13.6 Modelação da Base de Dados Espacial

A modelação da base de dados espacial consiste no processo de estruturação e organização de dados geográficos e não geográficos de forma integrada, permitindo o armazenamento, manipulação e análise espacial eficiente (Santanchè, 2013, citado por Inguane, 2019).

A modelação associa as principais entidades envolvidas no processo, nomeadamente os clientes, contactos, contadores, rotas e visitas, de modo a permitir a gestão integrada de informações geográficas e alfanuméricas.

3.13.7 Normalização da Base de Dados Espacial

A normalização das bases de dados foi introduzida como parte do modelo relacional desenvolvido por Edgar Codd em 1970, com o propósito de reduzir a redundância de dados e prevenir anomalias associadas às operações de inserção, actualização e eliminação de registos. Segundo Ávila (2007, citado por Inguane, 2019).

A normalização é uma técnica formal que examina os dados e os agrupa na melhor forma que facilite futuras alterações e minimize o impacto dessas mudanças no funcionamento do sistema. Este processo que consiste na criação de uma forma normal, faz-se através da subdivisão das relações existentes noutras de menor grau e baseia-se na análise das dependências funcionais entre os atributos de todas as relações envolvidas num diagrama de modelo de dados relacional (Caldeira, 2003).

3.13.8 Entidades Envolvidas e Seus Relacionamentos

A eficácia dos sistemas de informação espacial depende da abrangência, consistência e integridade de sua BDE (Base de Dados Espacial) (Taiwo et al., 2016 citado por Inguane, 2019).

A base de dados foi estruturada com base num Diagrama Entidade-Relacionamento (DER), o qual serviu de guia para o desenho e implementação do sistema relacional espacial. O diagrama apresenta de forma clara a interligação entre as principais entidades do sistema.

A entidade Clientes representa o núcleo central do modelo, armazenando informações pessoais e de localização dos clientes, tais como nome, telefone, endereço, endereço electrónico.

A entidade Contador está associada a cada cliente através da chave estrangeira Id_Cliente e armazena as coordenadas geográficas correspondentes ao local onde o contador está instalado. Estas informações permitem georreferenciar os pontos de atendimento e representar a posição dos clientes no mapa digital do sistema *WebSIG*.

Por sua vez, a entidade Rotas armazena as informações relacionadas aos percursos percorridos pelas equipas de piquete, incluindo a distância total e a ordem das visitas planeadas. A entidade Rotas_Clientes estabelece o relacionamento entre as rotas e os clientes, especificando a ordem de visita, a duração estimada e o estado de cada atendimento. A modelação garante, assim, a integridade referencial entre as tabelas e uma representação fiel do processo de atendimento domiciliário, assegurando a eficiência da análise espacial e operacional do sistema.

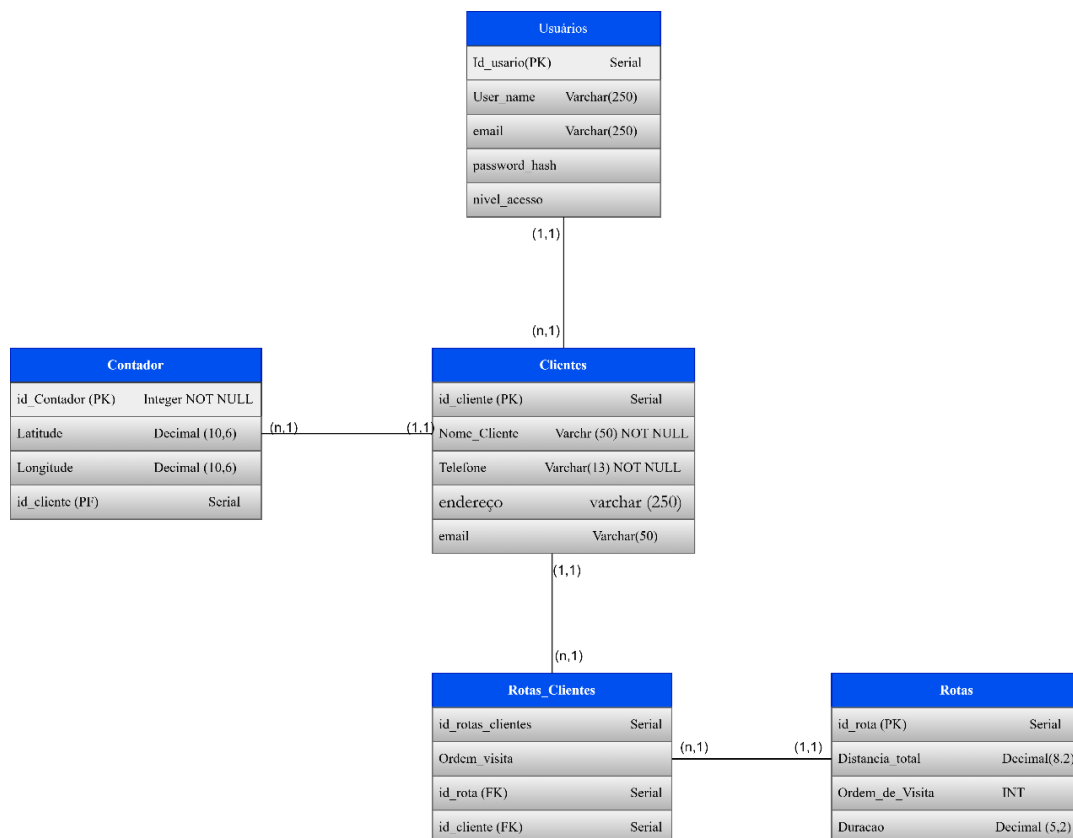


Figura 20: Diagrama Entidade-Relacionamento

3.14 Integração do Algoritmo de Roteamento

A integração do algoritmo de roteamento é feita considerando métodos clássicos de procura em grafos, com destaque para o Dijkstra (1959) e o A* (Hart et al., 1968). Estes algoritmos foram implementados no sistema através do *PostgreSQL/PostGIS* com suporte à extensão *pgRouting*, podendo também ser utilizados os serviços da *Google Maps* API, que internamente recorrem a heurísticas semelhantes.

O grafo viário é representado por um conjunto de arestas (estradas) e nós (interseções), sendo cada aresta associada a um custo (distância, tempo de viagem, ou outro critério). O algoritmo percorre este grafo até encontrar o caminho de menor custo entre origem e destino.

No caso do Dijkstra, o princípio baseia-se em expandir todos os nós vizinhos de forma incremental até que o destino seja alcançado, garantindo assim o caminho óptimo. O algoritmo A*, por sua vez, utiliza uma função heurística adicional (normalmente a distância em linha reta até ao destino) para acelerar a procura, mantendo a garantia de óptimo.

Tabela 3: Algoritmo de Roteamento

Algoritmo	Definição	Vantagem	Limitação
<i>Dijkstra</i>	Procura o caminho mais curto em grafos ponderados, explorando todos os nós até encontrar o destino.	Garante sempre a rota óptima.	Pode ser mais lento em grafos grandes.
A*	Extensão do <i>Dijkstra</i> com função heurística (distância estimada até ao destino).	Mais rápido em redes viárias extensas.	Depende da qualidade da heurística.

3.15 Desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica *Web* Para o Apoio à Equipa da Piquete

O Desenvolvimento da *WebSIG* para o apoio às equipas de piquete foi feito com o objectivo de permitir a localização imediata das ocorrências reportadas no território, a visualização em mapa interactivo com rotas optimizadas entre a equipa de piquete e o ponto de intervenção, bem como o cálculo automático do tempo estimado de chegada, considerando a distância e a velocidade média. Além disso, oferece apoio à tomada de decisão através da integração de algoritmos de roteamento, como Dijkstra e A*, assegurando

maior eficiência no encaminhamento das equipas. A gestão centralizada dos dados geoespaciais é garantida pela utilização do *PostgreSQL* com a extensão *PostGIS*, permitindo actualizações em tempo real, enquanto a integração com *APIs* externas, como *Google Maps* e *Leaflet.js*, enriquece as funcionalidades de navegação e geocodificação. Desta forma, o sistema contribui para que as equipas de piquete recebam informação precisa e actualizada, reduzindo o tempo de resposta às ocorrências, optimizando os recursos disponíveis e promovendo uma actuação mais eficaz.

3.15.1 Arquitetura do Sistema

O *ProGeo* foi concebido com uma arquitetura em componentes principais, a *interface (frontend)*, a *lógica (backend)* e os dados, garantindo escalabilidade e fácil manutenção. Os três componentes comunicam-se da seguinte forma: o *frontend* envia pedidos ao *backend*, que por sua vez consulta e manipula dados na base de dados. Os resultados retornam ao *frontend* para serem exibidos ao utilizador em tempo real no mapa.

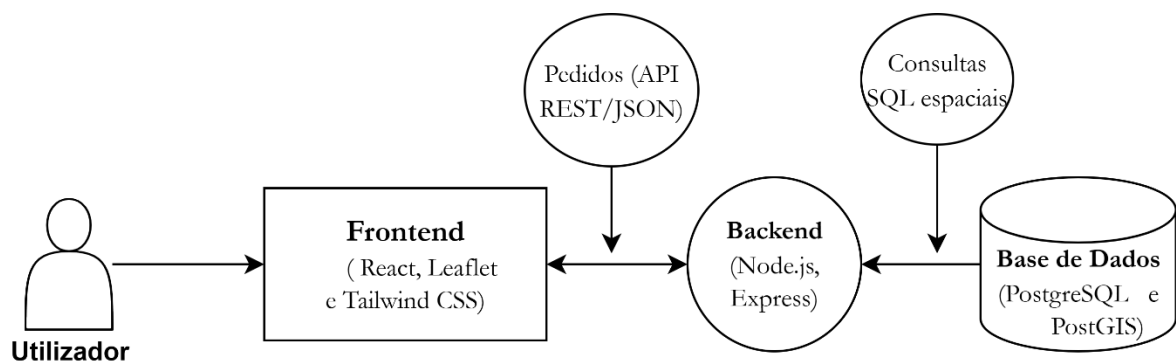


Figura 21: Arquitetura do Sistema Desenvolvido

3.15.2 Configuração da Biblioteca *Leaflet.js*

No desenvolvimento do *ProGeo*, a biblioteca *Leaflet.js* foi utilizada para implementar mapas interativos, permitindo a visualização da localização dos clientes, a posição actual do utilizador e a exibição das rotas optimizadas. O *Leaflet.js* é uma biblioteca JavaScript leve e de código aberto, amplamente utilizada para aplicações geoespaciais na *Web* devido à sua simplicidade e à compatibilidade com diferentes fontes de mapas, incluindo *OpenStreetMap* e *Google Maps*.

Para integrar o *Leaflet.js* no projecto *React*, foi necessário instalar os pacotes *Leaflet.js* e *react-Leaflet.js*, permitindo a utilização dos componentes de mapa directamente nos componentes *React*. A instalação foi realizada através do comando `npm install Leaflet.js react-Leaflet.js`, garantindo que tanto a biblioteca base quanto a integração com *React* estivessem disponíveis. No componente de mapa, importa-se os módulos essenciais, como *MapContainer*, *TileLayer*, *Marker*, *Popup* e *Polyline*, bem como o módulo principal do

Leaflet.js. A folha de estilos padrão do *Leaflet.js* (*Leaflet.js.css*) foi incluída para garantir a correta renderização dos mapas e dos marcadores.

A camada base do mapa é adicionada com o componente *TileLayer*, que permite utilizar *tiles* de *OpenStreetMap* ou outras fontes. Para representar os clientes, foram adicionados *Markers* com *Popups* que exibem informações detalhadas, enquanto as rotas otimizadas foram desenhadas com *Polylines*, conectando os pontos na sequência definida pelo algoritmo de roteamento. Essa configuração possibilita que o mapa seja interativo e dinâmico, permitindo actualizações em tempo real conforme os dados são carregados do *backend* e do *PostGIS*, bem como a aplicação de filtros, buscas e optimização de rotas. Dessa forma, o *Leaflet.js* se torna a camada de visualização geoespacial central do *ProGeo*, integrando dados vetoriais com uma *interface* intuitiva para o utilizador.

3.15.3 O Modelo V do Processo de Desenvolvimento de *WebSIG*

O Modelo V foi criado com o objectivo de melhorar a eficiência e a efectividade do desenvolvimento de *Software*. O modelo é uma representação gráfica do ciclo de vida de desenvolvimento de um sistema, o modelo V é útil para a visualização de como cada passo se relaciona com outros (Rodrigues, 2006).

No contexto do desenvolvimento de um *WebSIG*, esta abordagem torna-se particularmente relevante, pois a construção de sistemas geoespaciais envolve vários módulos interdependentes, desde a gestão de dados espaciais até à interface interactiva de visualização de mapas.

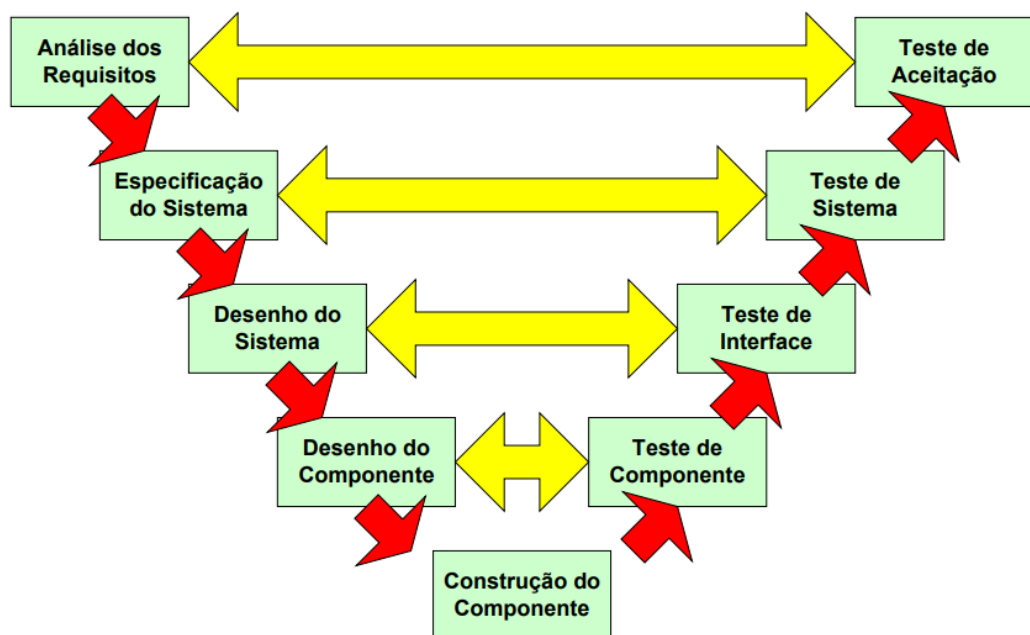


Figura 22: Representação do Modelo V (fonte: Rodrigues, 2006)

3.15.4 Fases da Construção da WebSIG segundo o Modelo V

O desenvolvimento de um sistema é tradicionalmente apresentado como um modelo em cascata, onde cada passo segue o seguinte, mas permite visitar etapas anteriores sempre que necessário (Rodrigues, 2006). No caso do *WebSIG ProGeo*, o Modelo V foi útil para associar cada fase de desenvolvimento a actividades de teste específicas, garantindo que os requisitos, desenho, construção e funcionalidades do sistema sejam correctamente implementados e validados.

3.15.4.1 Análise dos Requisitos

Neste passo é definido um conjunto de requisitos, que constituem a lista de “o que” o sistema deve realizar para satisfazer as suas necessidades (Coley Consulting, 2004). Para o sistema *ProGeo* isto incluiu requisitos como visualização de mapas, localização de clientes, cálculo de rotas, gestão de ocorrências, desempenho do sistema e segurança dos dados espaciais.

3.15.4.2 Especificação do Sistema

Neste passo os requisitos são transformados numa especificação do sistema, mudando o foco de “o que” o sistema deve fazer para “como” ele irá executar essas funções (Coley Consulting, 2004). Para o *ProGeo*, isto incluiu a definição de arquitecturas de servidor, *APIs*, formatos de dados espaciais e fluxos de comunicação entre *frontend* e *backend*.

3.15.4.3 Desenho do Sistema

Neste passo é produzido o desenho do sistema, detalhando como as funcionalidades requeridas serão implementadas e como os componentes interagem entre si (Coley Consulting, 2004). Para o *ProGeo*, isto incluiu o desenho dos módulos de gestão de coordenadas, motor de rotas, *interface Web* e integração com bases de dados geoespaciais.

3.15.4.4 Construção do Componente

Neste passo cada componente é construído e preparado para testes (Coley Consulting, 2004). Para o *ProGeo*, isto incluiu programação de *scripts* de manipulação de dados espaciais, integração com servidores cartográficos e desenvolvimento da *interface Web*.

3.15.4.5 Teste de Componente

Neste passo cada componente é testado individualmente para assegurar que foi implementado correctamente (Coley Consulting, 2004). Para o *ProGeo*, isto incluiu testar funções de geocodificação, carregamento de camadas e consulta de dados espaciais.

3.15.4.6 Teste de *Interface*

Neste passo é testada a interação entre componentes, garantindo que comunicam correctamente conforme especificado (Coley Consulting, 2004). Para o *ProGeo*, isto incluiu verificar a comunicação entre o *frontend* do mapa, a API e o servidor geoespacial.

3.15.4.7 Teste de Sistema

Neste passo o sistema completo é testado para assegurar que todas as funcionalidades funcionam conforme a especificação (Myers, 1979). Para o *ProGeo*, isto incluiu testar visualização de mapas, cálculo de rotas, desempenho sob carga de dados e robustez do sistema.

3.15.4.8 Teste de Aceitação

Neste passo o cliente ou utilizador final testa o sistema para confirmar que cumpre o que foi requisitado (Rodrigues, 2006). Para o *ProGeo*, isto incluiu verificar se a equipa de piquete consegue localizar clientes, visualizar ocorrências e obter rotas optimizadas no sistema.

3.15.4.9 Teste de Versão

Neste passo o sistema é testado no ambiente real de negócio para verificar compatibilidade, desempenho e impacto em sistemas existentes (Rodrigues, 2006). Para o *ProGeo*, isto incluiu avaliar a integração com outros sistemas da EDM e o desempenho do *WebSIG* sob carga elevada de informações.

Resultados

O presente capítulo tem como objectivo apresentar e analisar os resultados obtidos ao longo da pesquisa. A partir dos dados colectados e das metodologias aplicadas.

5.1 Sistema Proposto

O desenvolvimento do *ProGeo* surge como uma solução integrada para a gestão de clientes e optimização de rotas. O sistema permite que as equipas de campo visualizem a localização dos clientes em mapas interativos, seleccionem múltiplos destinos e obtenham rotas optimizadas automaticamente, utilizando algoritmos de cálculo de distância e heurísticas de roteamento. Esta abordagem contribui para a redução do tempo de deslocamento, aumento da eficiência operacional e facilidade de gestão de visitas.

O *ProGeo* integra tecnologias como *React*, *Leaflet.js*, *Node.js*, *Express* e *PostGIS*, oferece uma *interface* intuitiva e responsiva, adequada a utilizadores sem experiência em SIG, permitindo-lhes gerir clientes e calcular rotas de forma prática e eficiente. Ao combinar visualização geoespacial com processamento automatizado de dados, o sistema representa uma solução inovadora para a gestão logística e operacional em contexto de campo.

5.2 Funcionalidades do Sistema

O sistema apresenta funcionalidades que permitem o registo e a gestão eficiente na assistência técnica aos clientes, bem como a geração de rotas de deslocação para as equipas de piquete. No processo de registo, é possível introduzir dados como o nome completo, número do contador, morada, telefone, e-mail e observações adicionais, associando ainda cada cliente à sua localização geográfica, que pode ser capturada automaticamente através do dispositivo utilizado ou seleccionada manualmente no mapa interativo. Esta funcionalidade assegura que cada cliente esteja devidamente georreferenciado, o que facilita a sua localização pelas equipas de piquete durante as operações de campo.

Para além do registo, o sistema integra uma funcionalidade de gestão de rotas que permite configurar a posição da equipa de piquete e, a partir da selecção dos clientes a serem atendidos, gerar trajectos de

deslocação até ao destino. O percurso é apresentado num mapa interativo com a distância total, o tempo estimado de deslocação e a ordem de visita, podendo ainda ser exportado em formato digital ou enviado directamente para navegação no *Google Maps*.

Ao combinar estas funcionalidades, o sistema garante não apenas ajuda na organização e georreferenciação dos clientes, mas também a geração de rotas claras até ao local da ocorrência, o que contribui para a redução do tempo de resposta, a diminuição de custos operacionais e a melhoria da qualidade do serviço prestado.

5.2.1 Página Inicial

O *ProGeo* contém na sua totalidade 4 telas, sendo que na primeira tela é apresentado o Mapa de Clientes. O centro da página é ocupado por um mapa interativo que ilustra a distribuição espacial dos clientes representados pelos marcadores à vermelho.

A informação representada neste painel inicial é fundamental para as equipas de campo e para os gestores, uma vez que permite tomar decisões mais informadas sobre a gestão de clientes e de rotas, contribui assim para uma maior eficiência operacional e planeamento estratégico.

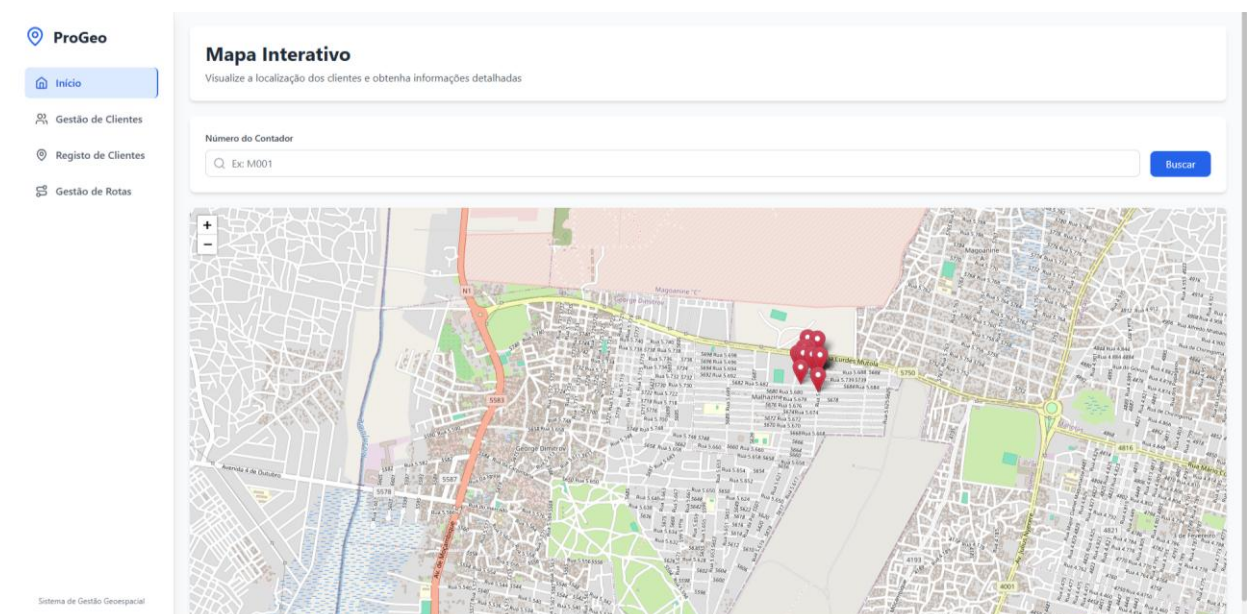


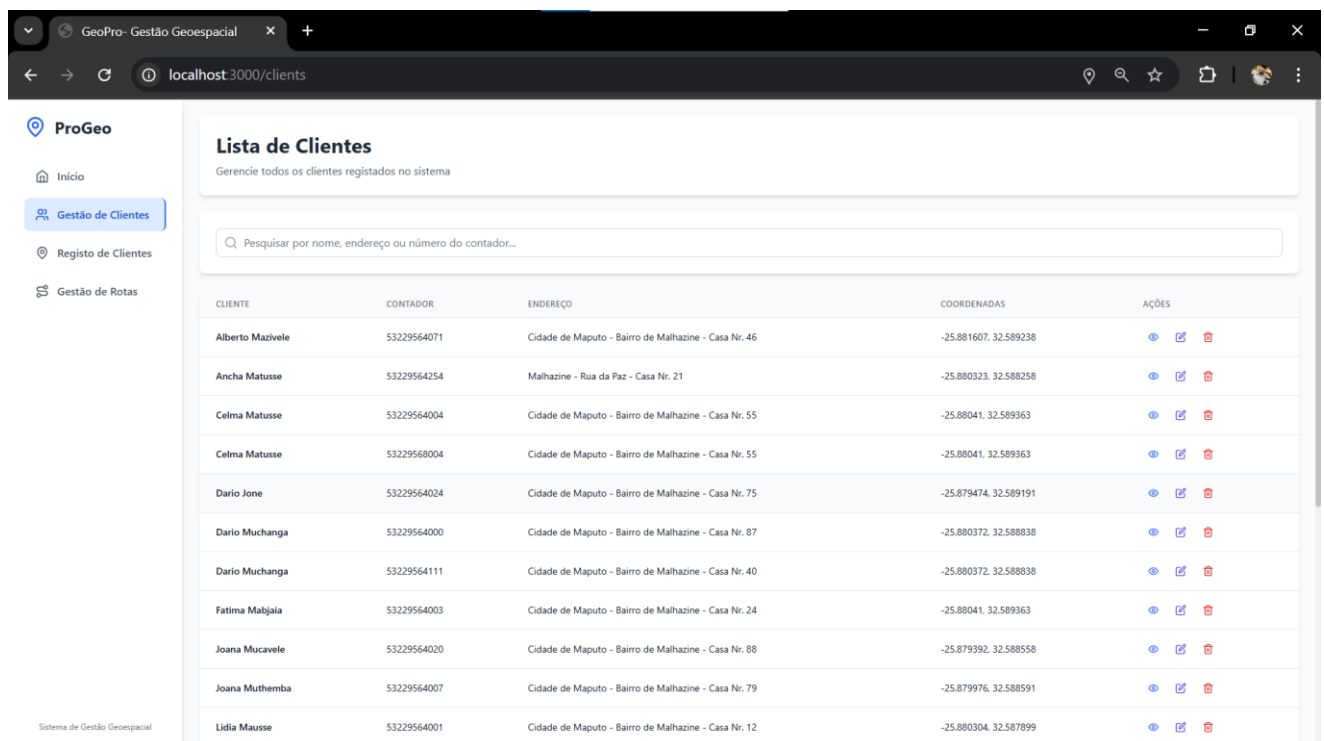
Figura 23: Tela Inicial da *WebSIG*

5.2.2 Página Gestão de Clientes

Na página de Gestão de Clientes, o sistema apresenta uma *interface* centralizada para a visualização, filtragem e administração dos clientes previamente registados. Esta secção tem como objectivo facilitar

o acesso rápido às informações essenciais de cada cliente, organizando os dados de forma clara e funcional. São exibidos campos como o nome do cliente, o número do contador, a morada e as respetivas coordenadas geográficas. A coluna de acções disponibiliza ícones intuitivos para consulta, edição ou eliminação de registos funcionalidades que estão restritas exclusivamente aos utilizadores com perfil de gestor. O campo de pesquisa dinâmica no topo da tabela permite localizar rapidamente clientes específicos através de critérios como nome, morada ou número do contador, tornando o processo de filtragem mais ágil. Na parte inferior da tela, são apresentadas estatísticas em tempo real, incluindo o total de clientes registados, o número de clientes filtrados pela pesquisa actual, e a taxa de preenchimento, que reflecte a integridade dos dados armazenados no sistema.

Esta tela desempenha um papel fundamental na manutenção da base de dados dos clientes, assegurando que a informação esteja sempre actualizada e acessível apenas por quem tem as devidas permissões. Ao limitar as operações críticas (como editar e remover registos) aos gestores, o sistema reforça a segurança e a integridade das informações. Assim, a tela de Gestão de Clientes contribui para uma administração eficaz e controlada, apoiando decisões e acções operacionais com base em dados fiáveis e bem estruturados.



CLIENTE	CONTADOR	ENDEREÇO	COORDENADAS	AÇÕES
Alberto Mazivele	53229564071	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 46	-25.881607, 32.589238	  
Ancha Matusse	53229564254	Malhazine - Rua da Paz - Casa Nr. 21	-25.880323, 32.588258	  
Celma Matusse	53229564004	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 55	-25.88041, 32.589363	  
Celma Matusse	53229568004	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 55	-25.88041, 32.589363	  
Dario Jone	53229564024	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 75	-25.879474, 32.589191	  
Dario Muchanga	53229564000	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 87	-25.880372, 32.588838	  
Dario Muchanga	53229564111	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 40	-25.880372, 32.588838	  
Fatima Maljaia	53229564003	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 24	-25.88041, 32.589363	  
Joana Mucavele	53229564020	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 88	-25.879392, 32.588558	  
Joana Muthemba	53229564007	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 79	-25.879976, 32.588591	  
Lidia Mausee	53229564001	Cidade de Maputo - Bairro de Malhazine - Casa Nr. 12	-25.880304, 32.587899	  

Figura 24: Tela de Gestão de Clientes

5.2.3 Página Registo de Clientes

Na página de registo de clientes, o sistema disponibiliza um conjunto de funcionalidades que asseguram a recolha e organização estruturada das informações essenciais de cada consumidor. O utilizador pode introduzir dados do cliente como o nome completo, o número do contador, a morada detalhada, o contacto telefónico, o endereço de e-mail e a localização do cliente, havendo ainda um campo destinado a observações adicionais que permite registar informações complementares sobre o cliente ou a sua localização. Uma das funcionalidades mais relevantes desta tela é a possibilidade de associar cada cliente a uma localização geográfica, o que pode ser feito de duas formas: através da captura automática da posição actual do dispositivo, clicando em “Localização Actual”, ou pela seleção manual de um ponto directamente no mapa interativo. O mapa, construído com recurso ao *Leaflet.js* e *OpenStreetMap*, oferece ferramentas de navegação que permitem ampliar, reduzir e ajustar o posicionamento, garantindo maior precisão na georreferenciação. Esta tela, portanto, não só centraliza os dados administrativos e de contacto, como também integra a componente espacial indispensável para que as equipas de piquete consigam localizar os clientes de forma rápida e precisa durante as intervenções em campo.

ProGeo

Início

Gestão de Clientes

Registo de Clientes

Gestão de Rotas

Adicionar Novo Cliente

Registe as informações do cliente incluindo localização geográfica

Nome do Cliente *

Nome completo do cliente

Endereço *

Endereço completo

Clique no botão verde para obter coordenadas automaticamente

Número do Contador *

Ex: M001, 12345

Telefone *

Ex: +25884xxxxxx

Email (opcional)

exemplo@dominio.com

Coordenadas Geográficas *

Latitude *

Ex: 38.7223

Longitude *

Ex: -9.1393

Localização Actual

Limpar

Guardar Cliente

Sistema de Gestão Geoespacial

Figura 25: Tela de Registo de Clientes

5.2.4 Página Gestão de Rotas

Na tela de gestão de rotas, o sistema disponibiliza funcionalidades que permitem configurar a localização da equipa de piquete e gerar o trajecto de deslocação até aos clientes. O utilizador pesquisa pelo número de contador do cliente que atendimento, uma vez seleccionados os clientes, o sistema calcula e apresenta

no mapa o percurso até ao cliente, exibindo informações complementares como a distância total do trajecto, o tempo estimado de deslocação e a sequência de visita. O mapa interativo, suportado por *Leaflet.js* e *OpenStreetMap*, permite visualizar em detalhe o trajecto traçado, oferece maior clareza sobre o caminho a seguir. Para além disso, o sistema integra opções práticas como a exportação do trajecto em formato digital, por exemplo *JSON*, e a possibilidade de enviar a rota directamente para o *Google Maps*, facilitando a navegação em campo pelos técnicos. Esta tela garante que a deslocação das equipas de piquete seja organizada e direccionada, reduzindo atrasos e contribui para uma resposta mais célere e eficaz às ocorrências reportadas pelos clientes. Na parte inferior da página são apresentadas as seguintes informações: a distância total, que indica a extensão da rota em quilómetros, a duração, correspondente ao tempo estimado de deslocação e a ordem de visita, que define a sequência em que os clientes devem ser atendidos.

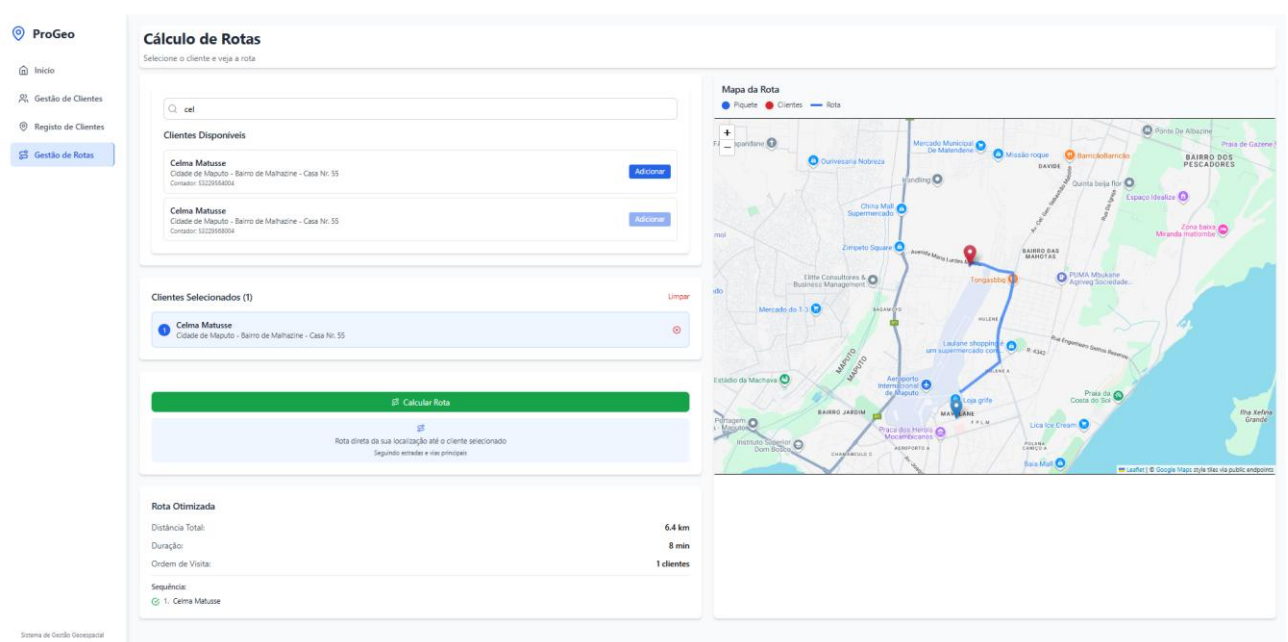


Figura 26: Tela de Gestão de Rotas

Com a página *WebSIG*, o intervalo de tempo entre o registo da ocorrência e a chegada da equipa técnica ao local pode ser consideravelmente reduzido, devido à capacidade do sistema em calcular automaticamente a rota mais curta, com base na localização exacta do cliente e nas vias de acesso disponíveis. Actualmente as equipas de piquete dependiam, muitas vezes, de orientações verbais dos clientes ou de referências imprecisas, o que causava atrasos, especialmente em zonas sem sinalização adequada ou de difícil acesso. Com sistema *ProGeo* esses constrangimentos podem ser minimizados, permitindo que as equipas respondam mais rapidamente às solicitações, garantindo um atendimento mais célere.

Ao evitar deslocações desnecessárias e erros de localização, as equipas conseguirão realizar um maior número de atendimentos num mesmo período, o que aumenta a produtividade e reduz os custos operacionais. Este factor é particularmente relevante para a EDM, uma empresa com uma rede extensa de clientes, onde a rapidez no atendimento é fundamental para a satisfação do consumidor e para a fiabilidade do serviço prestado. As equipas podem priorizar as ocorrências de acordo com a proximidade geográfica, o que contribui para uma gestão mais racional e eficiente das actividades em campo.

Conclusão e Recomendações

O presente capítulo tem como objectivo apresentar a conclusão, as limitações e recomendações resultantes do desenvolvimento do *WebSIG*.

6.1 Conclusão

O presente trabalho permitiu demonstrar a viabilidade técnica e a relevância da implementação de um *WebSIG* como ferramenta de apoio às equipas de piquete da EDM. Através da integração de bases de dados geográficas, algoritmos de roteirização e tecnologias de código aberto, foi possível desenvolver uma página *web* capaz de registar, visualizar e gerir clientes, bem como gerar rotas optimizadas para o atendimento em campo.

Procedeu-se à modelação da base de dados espacial em *PostgreSQL/PostGIS*, onde foram integrados os dados geográficos e alfanuméricos associados aos clientes. Esta estruturação possibilitou a criação de um repositório robusto, normalizado e adequado às exigências de manipulação de informação espacial, garantindo consistência, escalabilidade e precisão nas operações subsequentes.

A implementação do *backend* em *Node.js*, aliada à utilização da biblioteca *Leaflet.js* para visualização cartográfica interactiva, resultou num sistema capaz de efectuar o registo, gestão, localização e consulta de clientes, bem como de integrar algoritmos de cálculo de rotas optimizadas. Esta arquitectura demonstrou ser eficiente, flexível e compatível com os princípios modernos de construção de aplicações *Web* baseadas em dados geoespaciais.

A avaliação da aplicabilidade do *WebSIG*, realizada através de testes com base em dados simulados de clientes, evidenciou que o sistema desenvolvido possui capacidade efectiva para apoiar as equipas de piquete. Os resultados obtidos confirmaram que a solução proposta melhora significativamente a precisão na identificação da localização dos clientes. Estes resultados reforçam que a utilização de ferramentas SIG em ambiente *Web* constitui uma estratégia tecnicamente sólida e operacionalmente vantajosa para enfrentar as limitações actualmente observadas nos processos de atendimento da EDM.

Importa sublinhar que o presente estudo não se limita à EDM. A proposta desenvolvida pode ser replicada para outros serviços públicos (como abastecimento de água, transporte e telecomunicações), constituindo-se como uma contribuição estratégica para a modernização e transformação digital da administração pública em Moçambique. No desenrolar desta pesquisa foram encontradas algumas limitações.

6.2 Limitações

O presente estudo e o protótipo do *WebSIG* apresentam algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Estas limitações relacionam-se com a disponibilidade de dados, a abrangência geográfica, a tecnologia utilizada, a integração com sistemas existentes e factores humanos. A seguir, apresentam-se os principais pontos que condicionam a aplicação e generalização do sistema:

- Dados simulados, o sistema foi testado com dados simulados, que podem não refletir integralmente a complexidade das operações reais.
- Limitações tecnológicas, a página *web* foi desenvolvida com base em *Software* livre e em equipamentos de uso pessoal, podendo não corresponder ao nível de desempenho necessário para suportar operações em larga escala da EDM.

Integração com sistemas corporativos, o protótipo não foi integrado aos sistemas internos da EDM (como gestão de clientes, faturação ou manutenção), restringindo a sua aplicação prática imediata

6.3 Recomendações

O desenvolvimento desta proposta fundamentou-se na integração das tecnologias *WebSIG* com as tendências mais recentes das tecnologias de informação e da revolução digital que caracteriza o mundo contemporâneo. Para além de apresentar uma solução inovadora para os problemas de localização de clientes e optimização das rotas das equipas de piquete da EDM, este trabalho contribuiu para a compreensão das limitações actuais e do potencial de aplicação de tecnologias geoespaciais no contexto moçambicano.

Contudo, importa reconhecer que o sistema proposto constitui uma prova de conceito, estando sujeito a melhorias contínuas, sobretudo no que diz respeito à fiabilidade dos dados, à escalabilidade da aplicação e à integração na empresa em estudo. Assim, e com vista a fortalecer os resultados alcançados e orientar desenvolvimentos futuros, apresentam-se a seguir as seguintes recomendações:

- Integração com dispositivos móveis em formato adaptado para *smartphones* e *tablets*, permitindo que os técnicos de piquete acedam às informações em tempo real durante as operações de campo.
- Aplicação da *WebSIG* com dados reais e a expansão para outros bairros da cidade de Maputo e Moçambique em geral.
- Introdução do módulo de registo de ocorrências, recomenda-se a criação e implementação de um módulo específico para registar as ocorrências reportadas (como avarias, quedas de energia e manutenções realizadas). Esse registo permitirá:
 - ✓ Monitorizar em tempo real o número e tipo de avarias;
 - ✓ Gerar relatórios estatísticos para apoiar a tomada de decisão;
 - ✓ Melhorar o planeamento preventivo da manutenção da rede eléctrica;
 - ✓ Criar um histórico digital centralizado, acessível às diferentes áreas da EDM.

Referências Bibliográficas

- Abrahão, A. (2011). Assistência domiciliar: expansão e desafios na atenção à saúde. *Revista de Pesquisa: Cuidado é Fundamental Online*, 2(2), 817-825. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.
- Agrawal, S., e Gupta, R. D. (2014). Development and Comparison of Open Source based *Web GIS* Frameworks on WAMP and Apache Tomcat *Web Servers*. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4, 1–5. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-1-2014>
- Alesheikh, A., Helali, H., e Behroz, H. (2002). *Web GIS: Technologies and Its Applications*.
- Andrade, R. S., e Pepece Jr, A. R. (s.d.). A importância da excelência no atendimento ao cliente. Faculdade de Tecnologia de Assis – FATEC.
- Avelino, P. H. M. (2004). *A Trajetória Da Tecnologia De Sistemas De Informação Geográfica (Sig) Na Pesquisa Geográfica*.
- Araújo, F. (2006). Urbanização e distribuição espacial na cidade de Maputo. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.
- Ashton, K. (2009). *That 'Internet of Things' thing*. RFID Journal. PDF disponível em: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
- Bray, T. (2014). The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format (RFC 7159). Internet Engineering Task Force.
- PDF: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7159.pdf>
- Caldeira, C. P. (2003). Normalização de base de dados [Material didático]. Departamento de Informática, Universidade de Évora.
- Cerf, V. G., Leiner, B., Clark, D., Kahn, R., Kleinrock, L., Lynch, D., Poste, J., Roberts, L., e Wolff, S. (2009). *A Brief History of the Internet*. 5.

- Chelengo, M. A. (2025). Desafios sócio-económicos no acesso à energia eléctrica na periferia das grandes cidades moçambicanas: Estudo de caso: Periferia das cidades de Maputo e Matola (Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências, Programa de Mestrado em Gestão de Sistemas de Energias Renováveis, Maputo, Moçambique).
- Coley Consulting. (2004). Business System Advice. Disponível em: <http://www.coleyconsulting.co.uk/article.htm>. Acessado em: 03/04/2025.
- Connolly, T., & Begg, C. (2015). Database systems: A practical approach to design, implementation and management (6th ed.)
- Conselho Municipal da Cidade de Maputo. (2019). Relatório sobre a população e distribuição urbana do Município de Maputo. Maputo: CMM.
- Conselho Municipal de Maputo. (2007). Clima e precipitação da Cidade de Maputo. Maputo: CMM.
- Date, C. J. (2019). *Database design and relational theory* (2nd ed.). O'Reilly.
- Duarte, Geraldo. Dicionário de Administração e Negócios. Edição digital. São Paulo: Kindle Book BR, 2011.
- Electricidade de Moçambique, S.A. (2023). Relatório e contas 2023. Maputo: EDM. Disponível em: https://www.edm-co-mz.flexibihost.com/sites/default/files/documents/Reports/Relato%CC%81rio%20e%20Contas%202023_comprimido.pdf
- Electricidade de Moçambique, S.A. (2025). Atendimento ao cliente: serviços e canais de contacto. Maputo: EDM. Disponível em: <https://www.edm.co.mz/portal-cliente>
- Environmental Systems Research Institute. (1996). *ArcView GIS: The GIS for everyone*. ESRI Press. disponível em: <https://www.esri.com>
- Fielding, R. T. (2000). *Architectural styles and the design of network-based Software architectures* (Doctoral dissertation, University of California). PDF: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf

- de Lima, E. C., e Guedes, D. A. I-1255–Utilização De Ferramentas Sig Gratuitas Para Resposta Em Tempo Real No Atendimento Ao Cliente.
- dos Santos, M., Torres, K. A., Almeida e Silva, L. H., e Borba, E. L. (2020). Satisfação de clientes: Análise do atendimento prestado pelas empresas no comércio de São João Del Rei-MG. IPTAN/UFSJ.
- Dragićević, S. (2004). The potential of *Web*-based GIS. *Journal of Geographical Systems*, 6(2), 79–81. <https://doi.org/10.1007/s10109-004-0133-4>
- Frozza, A. A., e Gonçalves, R. (2005). *Uma introdução à Web Semântica no domínio dos Sistemas de Informações Geográficas*. Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1994). *Design patterns: Elements of reusable object-oriented Software*. Addison-Wesley.
- Gama, Mateus Brito. (2011). Roteirização de veículos: implementação e melhoria do método de Clarke e Wright. Juazeir.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1994). *Design patterns: Elements of reusable object-oriented Software*. Addison-Wesley.
- Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu search*. Springer.
- Hulme, P. M. K. (2006). *Internet Based Social Lending: Past, Present and Future*.
- Inguane, E. H. (2019). Proposta de um sistema de informação geográfica na Internet como suporte ao cadastro técnico multifinalitário: Caso de estudo do município da Vila de Boane [Trabalho de licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Matemática e Informática].
- Instituto Nacional de Estatística. (2017). *IV Recenseamento Geral da População e Habitação 2017*. Maputo: INE.
- Kotler, P., e Armstrong, G. (2018). Principles of Marketing (17th ed.). Pearson Education.
- Latorre, M. (2018). *História da Web*. Universidad Marcelino Champagnat.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., e Rhind, D. W. (2015). Geographic Information Science and Systems. Hoboken, NJ: Wiley..
- Mabunda, A., Langa, T., e Mandlate, F. (2020). *Eficiência Operacional nas Empresas de Distribuição Eléctrica: Desafios e Perspectivas*. Maputo: Editora Moçambicana de Energia.

- Matsinhe, P., Manguene, A., e Nhambiu, A. (2021). *Gestão de Operações de Campo em Moçambique: Um Estudo de Caso da EDM*. Revista Moçambicana de Engenharia e Tecnologia, 15(2), 45-60.
- Matos Júnior, C. A., Nunes, R. V., Costa de Assis, C. W., Fonseca, R. C., Adriano, N. A., e Passos dos Santos, G. (2013). O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. XX Congresso Brasileiro de Custos, Uberlândia, MG, Brasil.
- Marins, J. A. de O., e Guarienti, G. S. S. (2019). *Introducao_Base_Dados_30_08*.
- Muniz, F. J., e Figueira, C. M. (2010). Assistência domiciliar: um estudo reflexivo. Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental Online, 2(2), 817–825. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.
- Myers, G. J. (1979). *The art of Software Testing*; 1ª ed., John Wiley & Sons, Inc.
- MyRouteOnline. (2025). Otimização de rotas – o custo de não otimizar. Recuperado em 3 de Novembro de 2025, de <https://www.myrouteonline.com/blog/route-optimization-the-cost-of-not-optimizingneiro>.
- Nassel, C. W. (2011). *Título: Princípios Básicos de Cartografia e Sistemas de Informação Geográfica (SIG): 201*.
- Neto, J., e Oliveira, R. (2019). *Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Empresas de Serviços Públicos*. Revista de Geociências, 8(1), 30-42.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised ed.). Basic Books.
- Open Geospatial Consortium. (2022). *OGC Web Feature Service Standard*. Disponível em: <https://docs.ogc.org/is/09-025r2/09-025r2.pdf>
- Open Geospatial Consortium. (2023a). *OGC Web Map Service (WMS) Standard*. Disponível em: <https://docs.ogc.org/is/06-042r1/06-042r1.pdf>.
- Open Geospatial Consortium. (2023b). *OGC Web Coverage Service (WCS) Standard*. PDF: <https://docs.ogc.org/is/09-110r4/09-110r4.pdf>
- Open Source Initiative. (2024). *The Open Source Definition (OSD).PDF/HTML*: <https://opensource.org/osd>

- Peng, Z. R., & Tsou, M. H. (2003). *Internet GIS: Distributed geographic information Services for the Internet and wireless networks*. Wiley.
- Piloto, A. J. B. (2024). *Impacto do cadastro de clientes e dos activos da rede de distribuição no controlo de perdas comerciais na Electricidade de Moçambique* (Dissertação de mestrado). Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Matemática e Informática, Maputo.
- PostgreSQL Global Development Group. (2024). *PostgreSQL documentation*. PDF: <https://www.postgresql.org/docs/current/postgresql-documentation.pdf>
- Póvoa, C. L. R., Paes, F. G., e Velasco, A. S. (2020). Geo-Rota—Sistema *Web* de Suporte a Decisão para o Problema de Roteirização de Veículos com Multi-Compartimentos. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, 15(3), 133. <https://doi.org/10.15675/gepros.v15i3.2553>.
- Refractions Research. (2023). *PostGIS User Documentation*. PDF: <https://postgis.net/stuff/postgis-3.3.pdf>
- Rigaux, P., Scholl, M., e Voisard, A. (2002). *Spatial Databases: With Application to GIS*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- Revista Brasileira de Atenção Domiciliar. (2017). Congresso Brasileiro Interdisciplinar de Assistência Domiciliar. Núcleo de Assistência Domiciliar Interdisciplinar – NADI. Holambra: Editora Setembro, SP, 3(III), jan./jun. 2017.
- Rodrigues, L. G. M. (2006). *Um modelo de avaliação dos requisitos no processo de desenvolvimento de Software* (Trabalho final de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação). Campinas, Brasil.
- Silva, F. C. (2024). *Protecção de dados pessoais na era da inteligência artificial*. Universidade de São Paulo. <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/7274f87b-0f7a-48f1-a070-05e2b5898f06/Felipe%20Casali%20Silva.pdf>
- Santos, M. (2023). *Transformação Digital em Empresas de Distribuição de Energia: O Papel dos SIGs*. Lisboa: Edições Técnicas.
- Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas [SEBRAE]. (2020). Marketing: atendimento ao cliente. SEBRAE/BA. <https://sebraeatende.com.br/system/files/marketing-atendimento-ao-cliente.pdf>

- Silva, R. (2002). *Bases de dados geográficos: Uma análise das arquiteturas dual (Spring) e integrada (Oracle Spatial)*. [Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo]. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-31102002-103811/>
- Silva, L., e Carvalho, D. (2022). *Desafios na Localização de Clientes em Áreas Rurais: O Caso de Moçambique*. Revista de Planeamento Urbano, 9(3), 12-25.
- Silva, Bruno. (2023). Fundamentação teórica sobre Base de Dados Espaciais e Sistema de Informação Geográfico para Web. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-31102002-103811/>
- Sitoe, F. (2008). *Caracterização climática de Maputo: temperatura e precipitação*. Maputo: Instituto Nacional de Meteorologia.
- Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (10th ed.). Pearson.
- UN-Habitat. (2021). COVID-19, water, sanitation and hygiene (WASH) in Mozambique: Vulnerability and response assessment. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme. https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/05/covid19_wash_mz_Web.pdf
- Vasconcelos, L. F., e Gomes, D. H. C. (2022). *Resolução Do Problema De Roteamento De Veículos Com Janelas De Tempo E Incerteza Nos Tempos De Viagem E Serviço Por Meio De Um Algoritmo Simheurístico*.
- Whiteley, R. C. (1992). A empresa totalmente voltada para o cliente. Rio de Janeiro: Campus.
- World Bank. (2021). Maputo Urban Transformation Project: Resettlement framework. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/457251613622131314/pdf/Resettlement-Framework-Maputo-Urban-Transformation-Project-P171449.pdf>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2023). *Web design and applications*. Disponível em: <https://www.w3.org/standards/Webdesign/>

Anexos

Anexo 1: Manual do Utilizador

Este manual tem como objectivo principal guiar o utilizador no uso eficiente e eficaz do *WebSIG*, fornecendo instruções claras e práticas para a correcta operação da plataforma. Destina-se a apoiar as equipas de piquete da Empresa Electricidade de Moçambique, permitindo-lhes gerir informações de clientes, planear rotas de intervenção e otimizar o processo de atendimento, garantindo maior produtividade, organização e qualidade no serviço prestado.

Acesso a *WebSIG*

Para acessar o sistema *ProGeo* o usuário deve usar um navegador *Web* (Chrome, Firefox, Edge, etc) e deve estar conectado a internet. Neste Manual de Utilizador o navegador que está a ser usado para as ilustrações é o Google Chrome. Para Aceder ao sistema há necessidade de se autenticar, o sistema é fechado, permitindo que apenas usuários previamente registrados possam usar.

Página Principal

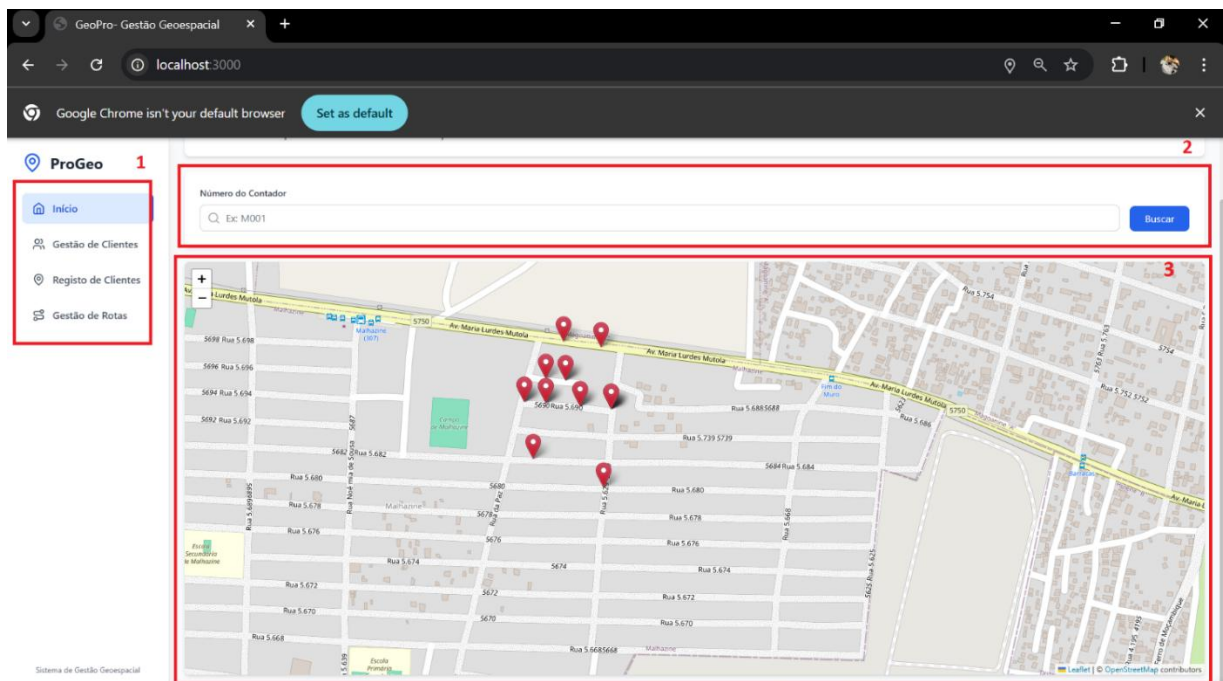


Figura 27: Página Principal

Navegação Principal

Esta área permite o acesso rápido às principais funcionalidades:

- Início: Visualização geral dos clientes no mapa.
- Clientes: Permite a visualização de clientes registrados e a edição (para o administrador)
- Adicionar Clientes: Formulário para adicionar um novo cliente.
- Gestão de Rotas: Planeamento e gestão de rotas de visita aos clientes.

Barra de Pesquisa

Permite pesquisar clientes através do número do contador:

- Insira o número do contador.
- Clique no botão “Buscar” (ícone da lupa).

Mapa Interativo

Visualiza a localização dos clientes no mapa:

- O mapa mostra a cidade de Maputo - Moçambique.
- Os clientes aparecem marcados com pinos.
- Pode aplicar zoom e navegar pelo mapa.

Página Gestão de Clientes

A página Gestão de Clientes é destinado exclusivamente aos administradores do sistema. A sua função principal é permitir a consulta, edição e, quando necessário, a eliminação de dados dos clientes registados. Este módulo garante que a informação disponível no sistema esteja sempre actualizada e correcta, servindo de suporte às demais funcionalidades, como o planeamento de rotas e a gestão das equipas de piquete.

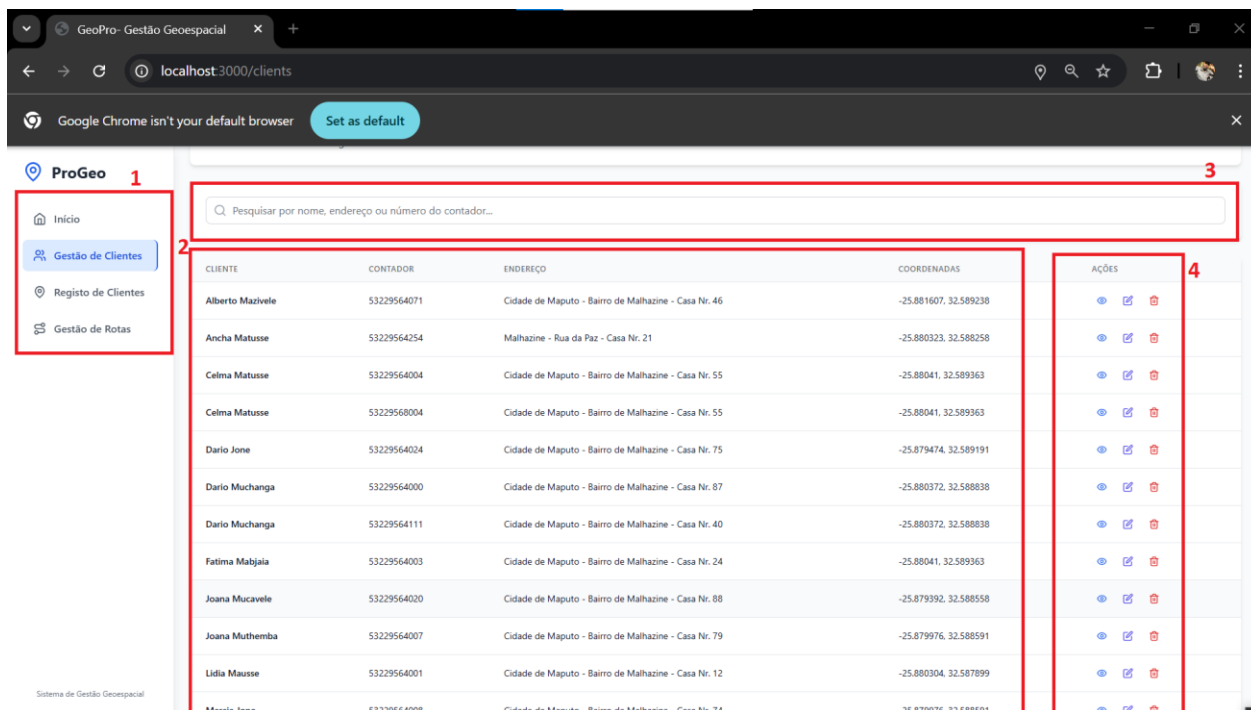


Figura 28: Página Gestão de Clientes

1. Acesso ao Página

Na barra lateral esquerda, clique em Gestão de Clientes para abrir a lista de todos os clientes registrados no sistema.

2. Lista de Clientes

A página exibe uma tabela com as seguintes colunas:

- **Cliente:** Nome do cliente registrado.
- **Contador:** Número de contador associado ao cliente.
- **Endereço:** Localização do cliente (cidade, bairro, rua, casa).
- **Coordenadas:** Latitude e longitude da residência do cliente.

3. Pesquisa de Clientes

Utilize a barra de pesquisa no topo da página para encontrar clientes por:

- **Nome** (ex.: Alberto Mazivele)

- **Endereço** (ex.: Bairro de Malhazine, Casa Nr. 46)
- **Número do Contador** (ex.: 53229564071)

4. acções Disponíveis

Na coluna **Ações**, cada cliente possui três botões:

- **Visualizar** – Abre os detalhes completos do cliente.
- **Editar** – Permite alterar dados como nome, endereço ou número de contador.
- **Eliminar** – Remove o cliente da base de dados.

Nota: A eliminação é irreversível. Confirme antes de apagar.

Página Registo de Clientes

Na página principal, o utilizador clica em “Registar Cliente”, e o sistema abre o formulário de registo, que se encontra dividido em duas áreas principais: do lado esquerdo surge a secção Dados do Cliente, onde são inseridas as informações pessoais e técnicas do cliente, e do lado direito apresenta-se a secção Selecionar Localização no Mapa, que permite definir a posição geográfica do cliente directamente num mapa interativo.

The screenshot shows a web browser window with the URL 'localhost:3000/add-client'. The page title is 'Adicionar Novo Cliente' with a subtitle 'Registre as informações do cliente incluindo localização geográfica'. On the left, a sidebar menu includes 'Início', 'Gestão de Clientes', 'Registo de Clientes' (highlighted), and 'Gestão de Rotas'. The main form area is divided into two sections. Section 1, on the left, contains the following fields: 'Nome do Cliente *' (text input), 'Endereço *' (text input with a location pin icon and a note 'Clique no botão verde para obter coordenadas automaticamente'), 'Número do Contador *' (text input with example 'Ex: M001, 12345'), 'Telefone *' (text input with example 'Ex: +25884xxxxxxx'), 'Email (opcional)' (text input with example 'exemplo@dominio.com'), 'Coordenadas Geográficas *' (text input), 'Latitude *' (text input with example 'Ex: 38.7223'), and 'Longitude *' (text input with example 'Ex: -9.1393'). Section 2, on the right, contains a green button 'Localização Atual' and two buttons at the bottom: 'Limpar' and 'Guardar Cliente'.

Figura 29: Página Registo de Clientes

1. Dados do Cliente

Nesta área o utilizador insere as informações obrigatórias e opcionais do cliente:

Nome Completo (*)

Campo de texto onde deve ser digitado o nome completo do cliente.

Número do Contador (*)

Identificador único do contador do cliente (exemplo: *M001, 12345*).

Morada Completa (*)

Endereço detalhado do cliente (endereço completo).

Telefone (*)

Número de contacto do cliente no formato nacional (+25884xxxxxxx).

E-mail

Endereço de correio eletrónico do cliente (opcional).

Localização Geográfica

Opção Localização Actual: o sistema captura automaticamente a posição GPS do dispositivo.

Alternativa: inserir manualmente as coordenadas geográficas, caso sejam conhecidas

2. Finalização do Registo

Depois de preencher todos os campos obrigatórios, clique no botão “Guardar Cliente” (canto inferior direito).

O sistema valida os dados introduzidos.

Se tudo estiver correto:

- O cliente é adicionado à base de dados.
- A localização é marcada no mapa principal.

Caso haja erros (ex.: campo em branco ou número de contador inválido), o sistema mostra uma mensagem de alerta solicitando a correção.

Caso queira eliminar todos os dados inseridos, deve clicar o botão “Limpar” e o sistema irá eliminar todos os dados inseridos.

Página Gestão de Rotas

No menu principal, o utilizador deve clicar em Gestão de Rotas, sendo automaticamente direcionado para o módulo que apresenta quatro áreas principais: a configuração do piquete, localizada na parte superior; a lista de clientes e adição de clientes, posicionada no lado esquerdo; o mapa interativo com o trajecto da rota, situado no centro; e o resumo do trajecto com as acções rápidas, apresentado no lado direito.

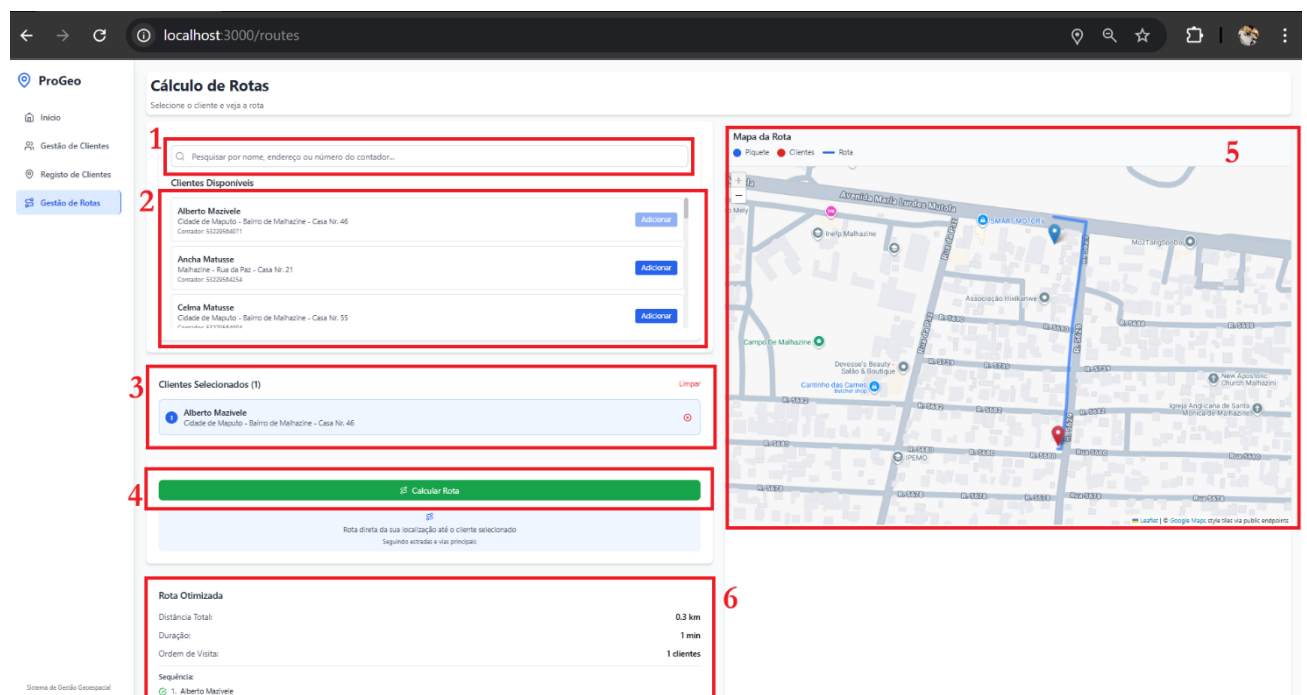


Figura 30: Página Gestão de Rotas

1. Pesquisa de Clientes

Utilize a barra de pesquisa para procurar clientes por:

- Nome
- Endereço
- Número de contador

2. Seleção de Clientes

Na lista Clientes Disponíveis, clique em Adicionar para incluir um cliente na rota.

3. Visualizar os Clientes Seleccionados

Os clientes seleccionados aparecem na secção Clientes Seleccionados.

Caso pretenda remover um cliente da lista, clique no botão vermelho (x) correspondente.

Para remover todos os clientes, clique em Limpar.

4.Cálculo da Rota

Após seleccionar os clientes, clique no botão Calcular Rota.

7 Mapa com a Rota

O sistema gera automaticamente uma rota optimizada, exibida no Mapa da Rota.

A rota é representada por:

- Azul: caminho a ser percorrido
- Vermelho: localização do cliente.
- Azul (círculo): localização do piquete.

6. Informação da Rota

Na parte inferior da página são apresentadas as seguintes informações:

- Distância Total: distância em quilómetros da rota.
- Duração: tempo estimado de deslocação.
- Ordem de Visita: sequência em que os clientes devem ser visitados.

Exemplo de Utilização

- Cliente seleccionado: Alberto Mazivele.
- Distância Total: 0.3 km.
- Duração: 1 minuto.
- Ordem de Visita: 1 cliente.