

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL CARRICO GUERRERO

LUCAS FELIPE RIBEIRO

**TRANSPORTE AEROMÉDICO PARA ASSISTIR VÍTIMAS
DE ACIDENTE - UM PROTÓTIPO**

CURITIBA

2023

GABRIEL CARRICO GUERRERO

LUCAS FELIPE RIBEIRO

**TRANSPORTE AEROMÉDICO PARA ASSISTIR VÍTIMAS
DE ACIDENTE - UM PROTÓTIPO**

Air medical transport to assist accident victims - a prototype

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Computação,
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Nádia Puchalski Kozievitch

CURITIBA

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GABRIEL CARRICO GUERRERO
LUCAS FELIPE RIBEIRO**

**TRANSPORTE AEROMÉDICO PARA ASSISTIR VÍTIMAS DE ACIDENTE - UM
PROTÓTIPO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Ciência da Computação
do Curso de Bacharelado em Ciência da
Computação da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Data de aprovação: 07/agosto/2023

Nadia Puchalski Kozievitch
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Juliana de Santi
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ricardo Dutra da Silva
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA
2023**

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Jeferson Costa, aluno egresso do Mestrado do PPGCA ao qual esse projeto dá suporte, e aos voluntários do Aeroporto do Bacacheri que testaram a nossa aplicação e deram sugestões de melhorias. Agradecemos também a todo o corpo de professores da UTFPR pelo trabalho de ensino para que pudéssemos chegar ao ponto de nos tormarmos profissionais. Nossas famílias e amigos por nos dar o suporte nas noites mal dormidas para entregar este trabalho.

E, principalmente, agradecemos a Profa. Dra. Nádia Puchalski Kozievitch por ter aceitado ser nossa orientadora e ter nos auxiliado durante todo o desenvolvimento do trabalho, a finalização não seria possível sem a sua orientação.

RESUMO

GUERRERO, Gabriel; RIBEIRO, Lucas. Transporte Aeromédico para Assistir Vítimas de Acidente - Um protótipo. 2023. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2023.

Todos os dias acontecem uma quantidade considerável de acidentes em rodovias federais brasileiras. Uma parcela desses acidentes necessitam de Ambulâncias Aéreas, com planos de voo pré-determinados e hospitais destino para chegarem em um curto período de tempo. No entanto, não existe no Brasil hoje uma aplicação que facilite e integre essas informações. Neste sentido, o projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma interface visual na qual o usuário pode checar todos os dados em um único ambiente, seja o plano de voo, localização do acidente, mapa e outros dados pertinentes. O projeto também busca tirar proveito de algoritmos do tipo *kNN-Select* para apresentar sugestões de melhor ambulância aérea e melhor hospital para efetuar o resgate das vítimas. Para isso são usados conceitos de banco de dados, interação humano-computador, cidades inteligentes e aprendizado de máquina. O objetivo deste projeto é desenvolver um algoritmo de sugestão de rotas, bem como uma interface *web* para que usuários não especialistas em computação possam fazer uso destes recursos.

Palavras-chave: Cidades Inteligentes, Interface Humano-Computador, *kNN-Select*, Banco de Dados, SIG

ABSTRACT

GUERRERO, Gabriel; RIBEIRO, Lucas. Aeromedical Transportation for Support of Accident Victims - A Prototype. 2023. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2023. Everyday a considerable amount of accidents happen on Brazilian federal highways. Part of these accidents needs Aerial Ambulances, with pre-determined flight plans and hospitals to arrive in a short period of time. However, an application that aggregates and simplifies this information does not exist in Brazil. Hence, the project has as objective the development of a visual interface in which the user can check all data in a single environment, be it the flight plan, the accident location, maps and other important data. The project also takes advantage of kNN-Select algorithms to display suggestions for the most suited aerial ambulance for the rescue, as well as define the most suitable destination hospital. For that, it uses concepts of databases, human-computer interaction, smart cities and machine learning. The objective of this project is to develop a route suggestion algorithm, as well as a web interface where non-computer specialists users can take advantage of this resource.

Keywords: Smart Cities. Human-Computer Interaction. Shortest Path Algorithm. Database. SIG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Áreas de Abrangência do Projeto.	12
Figura 2 – Aplicação de Visualização de dados da Área da Saúde.	15
Figura 3 – Diagrama de Voronoi.	17
Figura 4 – Intersecção da experiência do usuário com diversas áreas do conhecimento.	18
Figura 5 – Interface <i>web</i> para visualização de dados de acidentes em rodovias federais.	19
Figura 6 – Safetrip: escolha de caminho mais seguro.	20
Figura 7 – Aplicativo CliqueMed.	22
Figura 8 – a - Análise anual; b - Análise mensal comparativa; c - Mapa dos acidentes com mortes.	22
Figura 9 – Fases da Metodologia.	23
Figura 10 – Casos de Uso.	24
Figura 11 – Diagrama de Sequência de Caso de Uso - Visualizar Ocorrência.	25
Figura 12 – Diagrama de Sequência Caso de Uso - Cadastrar Ocorrência.	26
Figura 13 – Arquitetura do Protótipo.	28
Figura 14 – Diagrama do Banco de Dados Relacional.	29
Figura 15 – Algoritmo utilizado para a criação de ocorrência de ambulância aérea.	30
Figura 16 – <i>Ranking</i> das 6 ambulâncias aéreas mais próximas do acidente.	31
Figura 17 – <i>Ranking</i> dos 6 hospitais mais próximos do acidente.	31
Figura 18 – Verificação das Aeronaves disponíveis.	32
Figura 19 – Cria Usuário Operacional.	33
Figura 20 – Tela de Cadastro.	33
Figura 21 – a. Tela de <i>Login</i> ; b. Usuário Conectado.	33
Figura 22 – a. Tela de Inicial de Visualizar Ocorrência; b. Ocorrência Desenhada.	34
Figura 23 – a. Tela Inicial de Registrar Ocorrência; b. Seleciona Acidente; c. Seleciona Ambulância Aérea; d. Seleciona Hospital Destino; e) Adiciona ID Médico e número da Aeronave; e f) Registra a ocorrência no banco de dados.	35

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos Gerais	11
1.2 Objetivos Específicos	12
1.3 Justificativa	12
1.4 Estrutura do Trabalho	13
2 – REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Banco de Dados	14
2.1.1 Geoprocessamento	14
2.1.2 Segurança de Dados	15
2.1.3 <i>kNN-Select</i>	16
2.2 Interface Humano-Computador	17
2.2.1 Visualização de Dados	18
2.2.2 Dashboards	19
2.3 Cidades Inteligentes	20
2.3.1 Dados Abertos	21
2.4 Trabalhos Relacionados	21
3 – METODOLOGIA	23
3.1 Casos de Uso	24
4 – DESENVOLVIMENTO	27
4.1 Tecnologias Utilizadas	27
4.2 Arquitetura do Projeto	27
4.2.1 Descrição dos dados	28
4.2.2 <i>Data Analytics</i>	29
4.2.2.1 <i>kNN_SelectAmbulancia</i>	30
4.2.2.2 <i>kNN_SelectHospital</i>	31
4.2.2.3 <i>Calculate_Flight</i>	31
4.2.3 <i>Service Delivery</i>	32
4.2.3.1 Cadastrar Usuários e Fazer Login	32
4.2.3.2 Visualizar Ocorrência	32
4.2.3.3 Registrar Ocorrência	34
5 – RESULTADOS	36
5.1 Testes Preliminares	36

5.2	Limitações do Protótipo	37
5.3	Dificuldades Encontradas	38
6	– CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	Referências	40

1 INTRODUÇÃO

Uma série de acidentes automobilísticos ocorrem diariamente nas estradas federais, de acordo com a pesquisa feita em 2018 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT). Na pesquisa, é citado que, em média, ocorrem 14 mortes e 190 acidentes diariamente. Dessa média, ainda temos que as regiões Sudeste e Sul concentram a maior média de acidentes por 100 km do país. Dentre as 5 rodovias federais com mais acidentes em 2018, 3 passam pelo estado do Paraná, sendo elas em primeiro lugar a BR-101 com 8896 acidentes, em segundo lugar a BR-116 com 7524 acidentes e em quinto lugar a BR-153 com 2176. Já dentre as 5 que mais mataram no ano de 2018, as três primeiras passam pelo estado do Paraná, sendo elas a BR-116, com 649 mortes, a BR-101 com 615 e a BR-153 com 257 mortes. Ainda segundo o estudo, vemos que o Paraná é o segundo estado com maior número de acidentes com vítimas do país, sendo responsável por 11,4% do total, atrás apenas de Santa Catarina, com 14,5% (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2018).

Quando falamos sobre o resgate de vítimas de acidentes, o tempo é um dos recursos mais vitais. Alljet, em seu artigo, “Ambulância aérea: rapidez em momentos críticos” afirma que: “no caso de pacientes que se encontram muito debilitados para serem submetidos ao transporte terrestre ou mesmo aqueles que precisam ser transportados com urgência para outro hospital, o transporte aéreo é a solução que pode ajudar a salvar vidas” (ALLJET, 2021). Pensando nesse aspecto, vítimas de acidentes em rodovias federais se apresentam como o tipo de paciente indicado para o uso deste recurso, uma vez que em casos de acidente, temos engarrafamentos e, em alguns casos, até mesmo o fechamento das vias. No caso das rodovias federais, não é raro a ausência ou inconsistência de um acostamento, via pela qual uma ambulância terrestre poderia trafegar, escapando do trânsito congestionado e alcançando o paciente com velocidade. Também dependendo da região da estrada na qual o acidente ocorre, a distância entre um hospital e o acidente se mostra bastante prolongada, e nestes casos, mesmo com ausência de congestionamento, o trajeto levaria muito mais tempo de forma terrestre, quando comparado ao aéreo.

No entanto, ambulâncias aéreas são um recurso crítico, seja por sua menor quantidade disponível, quando comparada ao seu equivalente terrestre, seja por uma necessidade de maior preparação na operação. Afinal, é necessário o treinamento de toda a equipe para que estejam aptos ao resgate (ALLJET, 2021), bem como infraestrutura nos centros de tratamento, com heliportos disponíveis para o pouso. Outro aspecto sensível para as ambulâncias aéreas é que seu custo de compra e manutenção é bastante elevado, especialmente se comparado com ambulâncias terrestres. Esse custo maior vai desde o preço das peças e equipamentos, do treinamento da equipe, o combustível e o custo operacional para que um voo possa ser bem sucedido. Por esta razão se faz necessário um uso assertivo e inteligente das ambulâncias aéreas.

Um outro aspecto que deve ser levado em consideração quanto ao uso inteligente e coordenado das ambulâncias aéreas é o aumento do tráfego aéreo nas últimas décadas (MINISTÉRIO DA DEFESA COMANDO DA AERONÁUTICA, 2022). Com este aumento, uma série de novas tecnologias de gerência e controle aéreo estão sendo desenvolvidas, para garantir que todos os voos sejam feitos de forma eficiente e segura. Com isto em mente, este projeto se apresenta como mais uma destas tecnologias que busca um melhor e mais sustentável uso deste recurso crítico que são as ambulâncias aéreas.

Para lidar com esses recursos limitados e as dificuldades de coordenação, se faz necessário lançar mão de ferramentas mais modernas. Este é exatamente o conceito por trás das *Smart Cities*, um método de se pensar os centros urbanos que busca uma forma mais sustentável de utilizar seus recursos em prol do cidadão, tendo auxílio de dados e demais tecnologias para este fim (HALL, 2000). Para isso, bases de dados são necessárias, e sua viabilidade só é possível graças à abertura de dados promovida pela Lei nº 12.527 de Acesso à Informação de 2011 (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2020) de âmbito nacional. Esta lei busca uma maior transparência do governo com o povo e, por consequência, permite um cruzamento de dados para um avanço social. Com base nesta lei, a Polícia Rodoviária Federal disponibiliza seus dados de acidentes nas Rodovias Federais (DEPARTAMENTO DA POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL, 2019).

Este projeto tem como objetivo dar suporte ao trabalho “Transporte Aeromédico no Atendimento a Vítimas de Acidentes - Desafios e Estudo de Caso” (COSTA, 2023) ao desenvolver o algoritmo de busca, bem como um protótipo de *dashboard* para a visualização dos dados.

A Figura 1 apresenta as áreas de pesquisa do projeto. O projeto foi subdividido em 3 grandes áreas:

- Em laranja temos a área de Interface Humano-Computador e suas subáreas de *Dashboards* e Visualização de Dados;
- Em verde temos a área de Banco de Dados, com suas subáreas de *kNN-Select*, Geoprocessamento e Segurança de Dados;
- Em azul, temos a área de Cidades Inteligentes, com a subárea de Dados Abertos.

1.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste projeto é o desenvolvimento de um sistema de auxílio no resgate de vítimas de acidentes em rodovias federais. Para tal, podemos subdividir o sistema em duas camadas principais, a camada de *Data Analytics* na qual desenvolvemos um algoritmo para a sugestão de rotas de resgate para ambulâncias aéreas. A segunda camada é a de *Service Delivery*, com o desenvolvimento de uma interface *web* para que usuários especializados possam fazer uso do algoritmo de sugestão de rotas.

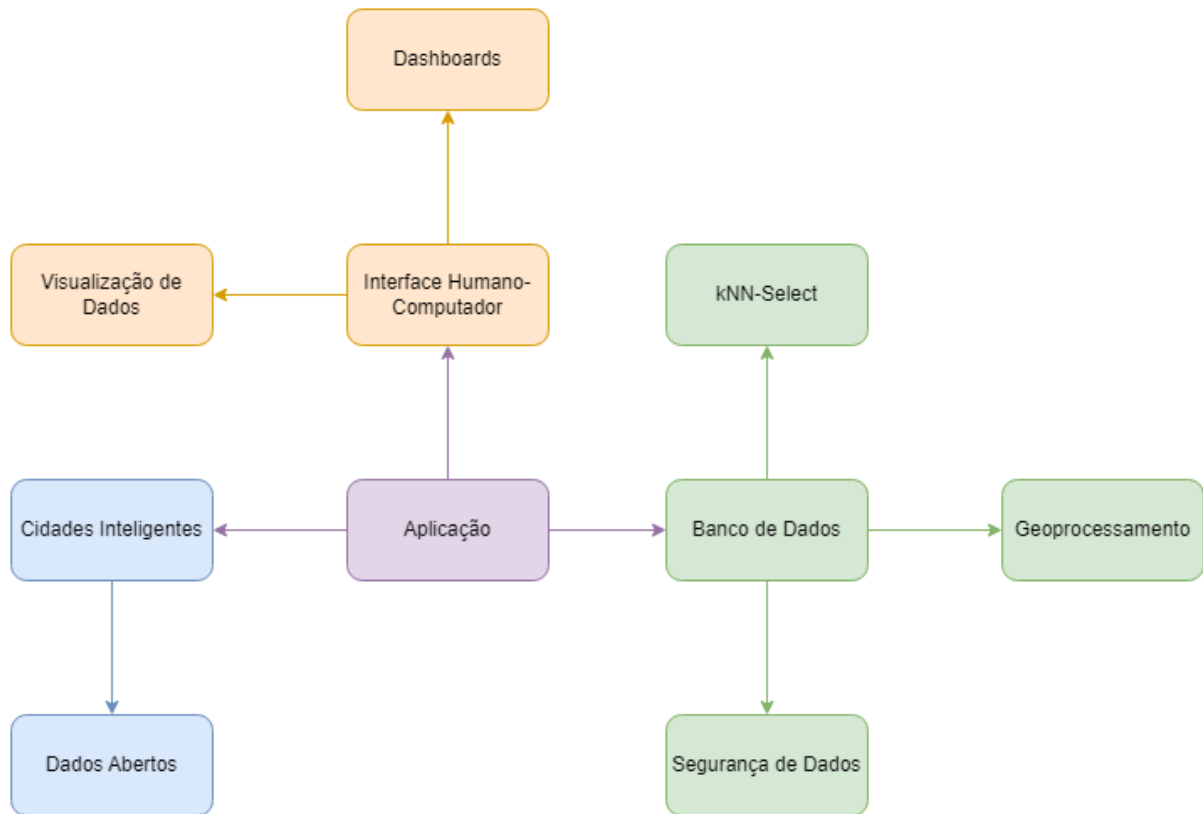


Figura 1 – Áreas de pesquisa abrangentes do projeto.

Fonte: Autoria Própria.

1.2 Objetivos Específicos

- Projetar e desenvolver o algoritmo de sugestão de rotas;
- Projetar e desenvolver uma solução de visualização dos dados, como plano de voo, local do aeródromo, local do acidente e local do hospital escolhido para auxiliar em sua utilização por partes interessadas;
- Apresentar protótipo criado a um grupo de voluntários técnicos para testes de funcionamento da aplicação e usabilidade;
- Analisar e apresentar os resultados obtidos.

1.3 Justificativa

O trabalho de mestrado (COSTA, 2023) se apoia no levantamento de requisitos feito nos principais prestadores de serviço de ambulâncias de resgate aéreo . Ao finalizar o levantamento de requisitos, que utilizou o algoritmo *kNN-Select* para escolha dos *k*-Hospitais e *k*-Aeródromos mais próximos. Este trabalho apresenta a camada de *Data Analytics* e a de *Service Delivery*, utilizando o *kNN-Select* como base para o algoritmo de recomendação de rota, complementando o trabalho de (COSTA, 2023).

Desta forma, o trabalho desenvolvido neste projeto visa criar uma ponte entre

as análises construídas pelo trabalho de (COSTA, 2023) e o usuário final, por meio da construção de uma primeira versão de um algoritmo de recomendação de rota e um protótipo de visualização. Isso se mostra relevante, pois uma interface de visualização de dados permite que usuários que não possuem um conhecimento técnico em algoritmos e linguagens de consulta, tais como médicos, socorristas e tripulantes das ambulâncias aéreas, possam usufruir de seus ganhos. A visualização é o uso de suporte computacional, interativo, de representações visuais de dados para amplificar a cognição (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999). Parte deste trabalho foi apresentado no IEEE ICS2 2023(COSTA et al., 2023).

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco seções. Nesta primeira Seção, introduzimos o tema estudado. Na Seção 2, faremos uma revisão da literatura, trazendo trabalhos similares e definindo conceitos. A Seção 3 apresenta a metodologia para o projeto. A quarta Seção descreve desenvolvimento do trabalho. A quinta Seção tem como base uma apresentação dos resultados e testes realizados, enquanto a última se concentra nas considerações finais acerca do projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta a revisão das principais áreas abrangidas pelo projeto, bem como uma apresentação de alguns trabalhos que serviram de inspiração para o projeto.

2.1 Banco de Dados

Um sistema de banco de dados é um sistema de arquivos computadorizados. Em outras palavras, é um sistema computacional cuja principal função é salvar dados e permitir ao usuário o acesso e atualização dos mesmos (DATE, 2004). No contexto do projeto, o uso de banco de dados é vital, tanto para mantermos um histórico dos acidentes e planos de voo realizados, bem como também para termos acesso à localização das ambulâncias aéreas e dos hospitais com possibilidade de recebê-los. Sem esses dados, os cálculos de rota seriam impraticáveis.

Dentre os tipos de bancos de dados mais utilizados, temos o Banco de Dados Relacional (RAMAKRISHNAN; GEHRKE, 2002). A *Oracle* define um Banco de Dados Relacional como sendo baseado em um modelo relacional, que representa os dados em tabelas onde cada linha possui um registro de ID exclusivo denominado chave, que são utilizados para relacionar diferentes tabelas dentro de um mesmo esquema (ORACLE, 2023).

Dentro dos Banco de Dados Relacionais, a linguagem de consulta utilizada é o SQL (*Structured Query Language*). SQL é uma linguagem de busca utilizada na gerência e leitura dos dados presentes em um Banco de Dados Relacional. O SQL foi definido como um padrão da indústria em 1986 pela ANSI (*American National Standards Institute*)¹ e após isso, foram construídas extensões sobre o mesmo, dentre elas o *PostgreSQL*, que este trabalho faz uso.

As vantagens do *PostGIS* se dão pela adição de capacidades de cálculos geométricos e geográficos ao banco de dados (POSTGIS, 2023), algo bastante relevante para a nossa aplicação, que busca o desenvolvimento de algoritmos de menor trajeto. Para isso, além do *PostGIS*, também lançamos mão de outra sub-área do Banco de Dados, o geoprocessamento.

2.1.1 Geoprocessamento

Uma sub-área de extrema relevância para o projeto é a de geoprocessamento. Esta área utiliza o conceito de GIS (*Geographic Information System*), um tipo especial de sistema de informação que permite a captura, modelagem, arquivamento, resgate, distribuição, manipulação, análise e apresentação de dados geográficos (DUCKMAN; WORBOYS, 2004).

¹fonte:<<https://blog.ansi.org/2018/10/sql-standard-iso-iec-9075-2016-ansi-x3-135/>>

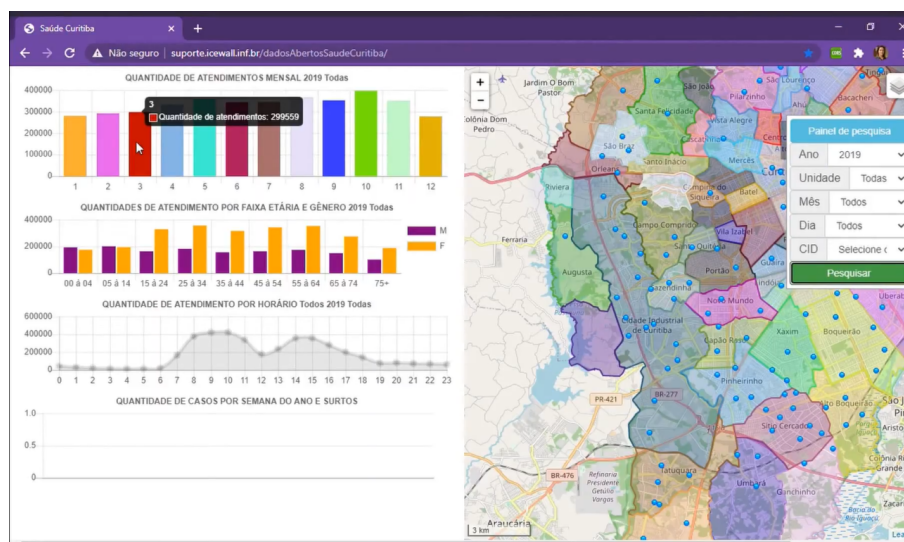


Figura 2 – Aplicação de Visualização de dados da Área da Saúde.

Fonte: (LAUTERT, 2020).

Para o trabalho desenvolvido, o uso do GIS se deu com ambas as bases de dados, sendo imprescindível em todos os pontos do desenvolvimento.

Com um mundo cada vez mais conectado à internet, temos mais dados disponíveis do que nunca na história da humanidade. Este montante de dados gerados pode ser usado para a construção de soluções que auxiliem no processo da urbanização e melhorem a qualidade dos seus cidadãos. Neste sentido, um trabalho feito com muito enfoque no geoprocessamento que se mostrou importante durante o desenvolvimento deste protótipo foi o trabalho (LAUTERT, 2020) que pode ser visto na Figura 2. O trabalho em questão tem como base a criação de um *dashboard* a partir de um estudo e análise de dados socioambientais, socioeconômicos, geográficos, de transporte e de saúde com objetivo de analisar a necessidade de pacientes e apontar áreas que precisam de uma maior atenção em Curitiba. Uma contribuição relevante feita por este trabalho se deu pela unificação dos dados de hospitais públicos e privados em um único *dataset*. Sendo essa base unificada uma das bases utilizadas no nosso projeto, como será abordado na Seção 4.2.1.

2.1.2 Segurança de Dados

Durante as últimas décadas, houve um aumento significativo no uso de redes de computador e da internet para a comunicação de informações sigilosas. Com isso, se faz cada vez mais necessário ter em mente um cuidado com a segurança dos dados para que informações sigilosas não sejam acessadas por pessoas desautorizadas. E é neste meandro que temos a criptografia. Para Routo Terada², “um algoritmo criptográfico da Alice com chave K criptografa um texto legível x obtendo-se um outro texto ilegível $f_k(x) = y$. O

²<<http://lattes.cnpq.br/8775077428017258>>

texto y é transmitido para o computador-destino do Beto onde y é decriptografado pelo algoritmo inverso $f_k^{-1}(y)$ obtendo-se x se e somente se o destinatário Beto conhece a chave K .” (TERADA, 2008).

Um dos protocolos de comunicação que faz uso da criptografia é o SSH (*Secure Shell*). O SSH é um protocolo aberto para comunicação segura que utiliza chaves público/privadas para autenticação de identidade (IYAPPAN et al., 2009).

Em particular, este trabalho utiliza o tunelamento. Ele permite que o SSH crie uma nova rota para os dados do cliente e os envie por um túnel encriptado, enviando-o para o servidor de forma segura (IYAPPAN et al., 2009). Com o uso do Tunelamento-SSH, a aplicação em execução se conecta a uma porta no *localhost* que está tunelada com o servidor remoto. Assim, para o Servidor, o C3SL³ é visto como um Banco de Dados local.

2.1.3 *kNN-Select*

O *kNN-Select* é um algoritmo normalmente baseado na distância euclidiana entre um elemento de teste e um elemento de treino (SCHOLARPEDIA, 2013). Uma explicação possível pode ser feita através do Diagrama de Voronoi (VORONOI, 1908), onde um determinado espaço é decomposto em sub-espacos baseado na proximidade com uma subfamília de objetos.

Um exemplo do Diagrama de Voronoi pode ser vista na Figura 3. Nesta Figura, temos um plano 2D subdividido em k -áreas com k -objetos representados por pontos vermelhos dentro das áreas. Toda k -área tem como objeto mais próximo aquele interno de seu recorte.

Neste projeto, os pontos marcados na Figura 3 poderiam representar os diversos aeródromos para os quais a ambulância aérea pode levar as vítimas, enquanto outro conjunto de pontos em outro diagrama representaria as próprias ambulâncias. As áreas demarcadas então são as áreas de cobertura de cada aeródromo, no qual ele seria o mais próximo do destino. Desta forma podemos garantir um melhor uso dos recursos, como pregam as diretrizes das cidades inteligentes (HALL, 2000).

Considerando esse algoritmo, o valor do K é dependente de um equilíbrio entre a variância e o viés, quanto menor o valor do K , mais flexível o encaixe, o que faz com que a variância aumente e o viés diminua.

Utilizando este algoritmo em um protótipo de ambulância terrestre, temos o caso de uso desenvolvido em Seoul (LI et al., 2015). O trabalho apresenta uma aplicação que utiliza como fonte de dados para o algoritmo informações de tráfego reais, buscando minimizar o tempo de viagem com ambulâncias terrestres. Durante os testes experimentais realizados com a aplicação, foi percebida uma redução no tempo de traslado de quase 30%. No entanto, o trabalho apresenta que, mesmo com a redução, o tempo de traslado terrestre

³Servidor PostGIS da UTFPR que contém as tabelas utilizadas durante este trabalho.

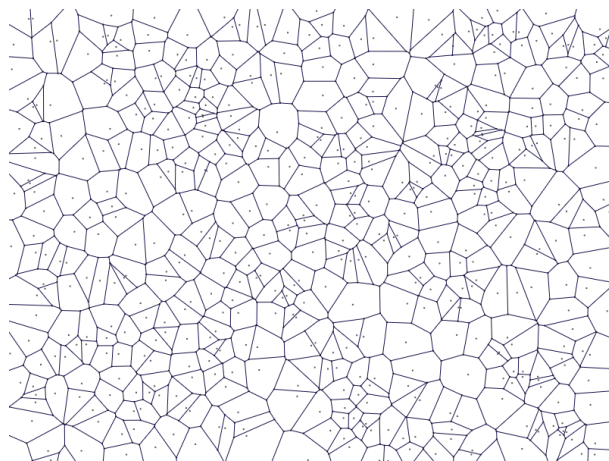


Figura 3 – Diagrama de Voronoi.

Fonte: (BELMONTE, 2010).

ainda é muito dependente da condição do tráfego, o que abre espaço para o desenvolvimento deste trabalho focado no meio aéreo como um complemento às ambulâncias terrestres.

Ainda abordando o *kNN-Select*, temos o uso deste algoritmo para a detecção e correção de *outliers* (BELHADI et al., 2021), com um trabalho focado em uma análise de dados feita em cima de trajetórias grupais e individuais com diversos algoritmos, dentre eles o *kNN-Select* (DJENOURI; DJENOURI; LIN, 2021). Quando consideramos o olhar das Cidades Inteligentes, o uso da detecção do *outlier* pode nos auxiliar no controle do espaço aéreo, um recurso crítico como já mencionado anteriormente e bastante importante para termos um uso eficiente do recurso ambulância aérea.

2.2 Interface Humano-Computador

A área de Interação Humano-Computador veio com a noção de que computadores eram ferramentas muito difíceis de se operar, limitando-se a especialistas. O estudo de como o humano se relaciona com as máquinas proporcionou que aplicações fossem feitas também pensando no usuário final e a facilidade com que ele poderia operá-las (CARROLL,).

O *Design* de Interação é uma área muito importante de Interação Humano-Computador onde é estudado a interação do usuário com o artefato a ser desenvolvido e como atender aos requisitos necessários. Considerando um trabalho que terá foco direto de usuários especializados, o aspecto do *Design* de Interação precisa ser entendido para que o usuário consiga de fato realizar suas tarefas dentro da interface *web* sem que a mesma se torne um empecílio (PREECE; ROGERS; SHARP, 2019).

Como podemos ver na Figura 4, a usabilidade e experiência de usuário tem intersecção com diversas áreas, desde *Design de Software* até áreas distantes das apresentadas neste trabalho como Antropologia e Artes Gráficas. Uma experiência de usuário satisfatória



Figura 4 – Intersecção da experiência do usuário com diversas áreas do conhecimento.

Fonte: (CARROLL,).

define se o mesmo fará ou não uso da ferramenta proposta.

2.2.1 Visualização de Dados

Dentro da área de IHC, temos a subárea de Visualização de Dados. Como já abordado, a visualização de dados permite um enriquecimento da interpretação e análise dos dados pelo cérebro humano (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999). Com base nisso, temos a construção de *dashboards* que consomem dados de diferentes fontes reais para processar e construir rotas de resgate mais eficientes, como por exemplo o desenvolvido para ambulâncias de resgate em Tianjin (LI et al., 2015). Ainda dentro desse aspecto de visualização de dados, temos trabalhos relacionados a interface de usuário dentro das ambulâncias para uma melhor triagem dos pacientes (SOUZA-JÚNIOR et al., 2020).

No âmbito da Visualização de Dados, um trabalho que se utiliza da base de dados de acidentes em rodovias federais e foi bastante relevante e inspirador para o nosso projeto é o “Visualização dos dados abertos da Polícia Rodoviária Federal sobre acidentes nas rodovias brasileiras” (VASCONCELOS; MATTOS, 2019). O foco deste trabalho se dá na exploração e visualização dos dados sobre acidentes em rodovias federais. O trabalho apresenta uma interface com informações geolocalizadas que podem ser filtradas por idade, gênero, presença de vítimas fatais, entre outras informações. A Figura 5 apresenta a interface carregada com os dados totais de acidente, podemos observar que é possível fazer uma discriminação dos dados por estado no mapa do Brasil, bem como a geração de *dashboards* e relatórios de tendência de acidentes na série histórica.

Nossa inspiração com o trabalho se deu em 2 frentes. Primeiramente na experiência de usuário, na qual o mesmo tem acesso simultâneo aos dados na forma de *dashboards* e ao mapa do país. O segundo aspecto inspirador se dá na visualização limpa dos dados,

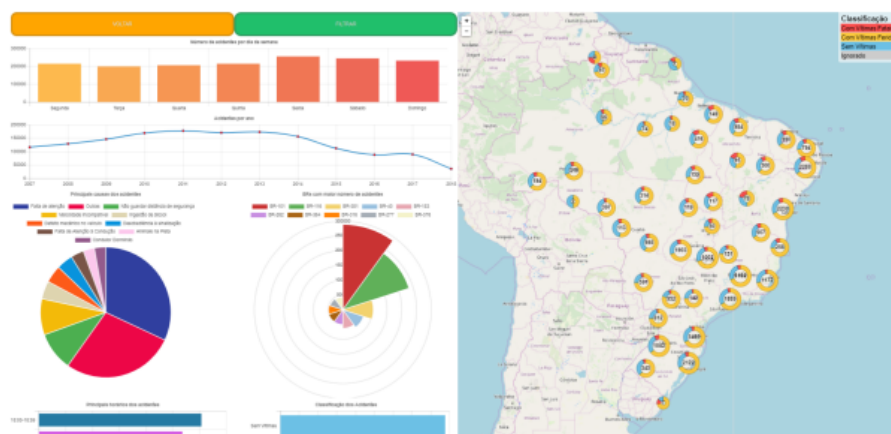


Figura 5 – Interface *web* para visualização de dados de acidentes em rodovias federais.

Fonte: (VASCONCELOS; MATTOS, 2019).

concentrando informação em uma mesma tela para facilitar o manuseio das informações sem a necessidade de navegar por páginas e páginas da interface.

2.2.2 Dashboards

Outra sub-área importante para a apresentação dos dados é a sub-área dos *dashboards*. Segundo o Tableau, “um *dashboard* é uma forma de mostrar vários tipos de dados visuais em um único lugar. Usualmente, um *dashboard* é pensado para comunicar informações diferentes, porém correlatas, de forma a ser facilmente entendido” (TABLEAU SOFTWARE, 2003).

Ainda segundo o Tableau, temos como benefícios do uso dos *dashboards* as seguintes características:

1. Clareza dos dados;
2. Análises em tempo real;
3. Previsões mais acuradas;
4. Apresentações mais intuitivas;
5. Aumento na acessibilidade e transparência;
6. Melhor tomada de decisão.

Quando alinhamos isso a afirmação de que existem diversas formas visuais de exibir informações, cada uma sendo aplicada a um tipo de dado e contexto diferente (KNAFLIC, 2015), percebemos que o uso de *dashboards* auxiliaria, e muito, na compreensão das informações dentro do nosso projeto.

Considerando a construção de *dashboard*, podemos mencionar o *Safetrip* (AGNER; MORALES, 2021). O foco do *Safetrip* é oferecer uma visualização de dados que mostra o caminho mais seguro de um ponto A para um ponto B. Para isso, o *Safetrip* também faz uso dos dados de acidentes em rodovias federais. A Figura 6 apresenta a criação de

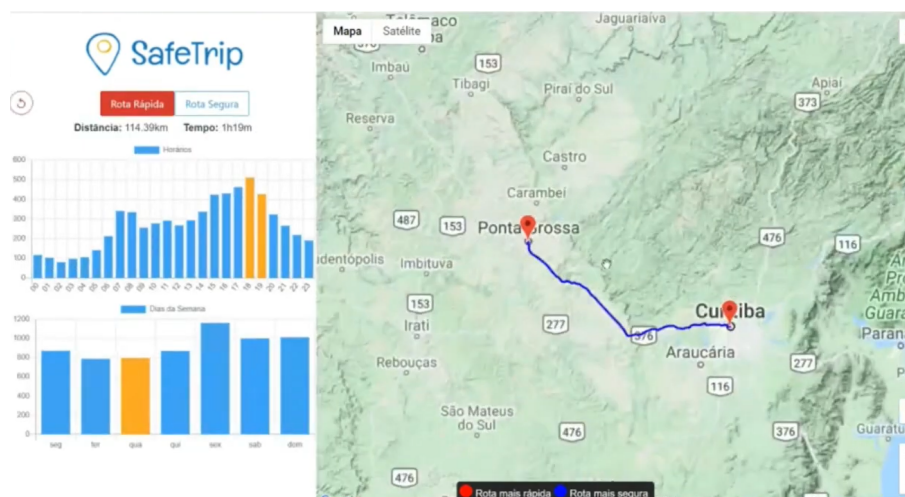


Figura 6 – Safetrip: escolha de caminho mais seguro.

Fonte: (AGNER; MORALES, 2021).

uma rota utilizando a interface do *Safetrip*, com o caminho traçado no mapa da rota mais segura, bem como gráficos de apoio apontando a hora e o dia com menor número de acidentes, bem como distância e tempo de percurso.

As semelhanças e inspirações do *Safetrip* para o nosso projeto então se mostram de maneira óbvia ao ser uma interface que traça rotas. A diferença se dá por meio do veículo, no caso deste trabalho sendo a ambulância aérea, ao passo que o *Safetrip* apresenta rotas rodoviárias, e o caso de uso focal. O *Safetrip* busca o caminho mais seguro, enquanto nosso projeto tem como base efetuar o resgate de um acidente que já ocorreu.

2.3 Cidades Inteligentes

Smart City é uma cidade que monitora e integra condições de todas as suas infraestruturas críticas, incluindo vias, meios de transporte, comunicações, água, luz, até mesmo edificações principais, e pode otimizar os recursos, planejar as manutenções e monitorar aspectos de segurança enquanto maximiza os serviços para seus cidadãos (HALL, 2000).

Outra definição (CARAGLIU; BO; NIJKAMP, 2009) afirma que uma cidade é inteligente quando investimentos em capital humano, capital social, infraestrutura de transportes e comunicações modernas alimentam um crescimento econômico e uma maior qualidade de vida com um manejo sábio dos recursos naturais através de um governo participativo. Em ambos os casos, vemos que os objetivos base de uma cidade inteligente são: qualidade de vida e melhor uso de recursos. Percebemos então que um trabalho focado em um uso eficiente das ambulâncias aéreas está amplamente relacionado com o tema.

2.3.1 Dados Abertos

Uma subárea das Cidades Inteligentes sem a qual esse projeto não seria possível são os dados abertos. O conhecimento só é aberto se qualquer um é livre para acessar, usar, modificar e distribuir - sujeitos, no máximo, a medidas que preservem a procedência e a abertura. No caso deste trabalho, dos cinco motivos para abertura dos dados, o principal a ser utilizado é o de contribuição da sociedade com serviços inovadores ao cidadão (OPEN KNOWLEDGE FOUNDATION, 2015).

Além disso, outra questão importante que pode ser abordada dentro das Cidades Inteligentes é o Transporte Urbano. Esse tema está intimamente ligado ao nosso trabalho, uma vez que estamos abordando transporte aéreo de resgate em acidentes para uma diminuição do tempo de traslado. Considerando isso, temos exemplos na literatura que demonstram um uso efetivo de descoberta de padrões, análise estatística e aprendizado de máquina nas questões referentes ao transporte urbano (KOZIEVITCH et al., 2016).

2.4 Trabalhos Relacionados

Além dos trabalhos acima citados, outros trabalhos contribuíram muito para o desenvolvimento deste projeto.

Em um aspecto mais amplo de visualização de dados, podemos citar o “*Big Urban Data Visualization Approaches Within The Smart City: Gis-Based Open-Source Dashboard Example*”, um artigo que agrupa conceitos como *dashboard*, visualização, cidades-inteligentes e GIS (BOVKIR; AYDINOGLU, 2021), todos importantes para nosso projeto. Nele, o objetivo é de fornecer uma visualização gráfica utilizando a *big data* gerada por dispositivos IoT (*Internet of Things*), utilizando o GI* para geograficamente mapeá-los e fazendo a relação entre qualidade do ar e densidade do tráfego de veículos.

Outra inspiração vem de (LAUTERT, 2020)(Figura 2), onde foi criado um *dashbo-ard* a partir de um estudo e análise de dados socioambientais, socioeconômicos, geográficos, de transporte e de saúde com objetivo de analisar a necessidade de pacientes e apontar áreas que precisam de uma maior atenção em Curitiba.

Ainda abordando dados de posicionamento das unidades de saúde, podemos citar o trabalho que agrupou uma das bases deste projeto, o “Utilização e estudo de dados georreferenciados para desenvolvimento de aplicação móvel” (CAVALCANTE; NETO; KOZIEVITCH, 2018)(Figura 7). Este artigo tem como enfoque principal uma forma de centralizar informações de centros de atendimento público e privado, bem como a criação de um aplicativo contendo essas informações. A base de dados do artigo, com informações do CRM-PR (Conselho Regional de Medicina do Estado do Paraná) (CAVALCANTE; NETO; KOZIEVITCH, 2018) será usada neste projeto. O protótipo de aplicativo proposto, chamado de CliqueMed, apresentava a possibilidade de busca de centro de atendimento mais próximo, ou de busca por especialidade.



Figura 7 – Aplicativo CliqueMed.

Fonte: (CAVALCANTE; NETO; KOZIEVITCH, 2018).

Outro exemplo de visualização de dados de acidentes pode ser visto no Painel CNT, Confederação Nacional do Transporte, de Acidentes Rodoviários (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2018). A Figura 8-a apresenta uma visualização de dados na perspectiva de análise anual, com informações de acidentes, mortes e feridos divididas mês a mês; Já a Figura 8-b apresenta uma visualização mensal comparativa, com índices de tendência sobre os dados; por fim, a Figura 8-c apresenta um mapeamento geográfico dos acidentes, com *ranking* de acidentes por estado. O aspecto mais importante do Painel CNT é a quantidade de filtros e visualizações diferentes. A desvantagem do painel, pelo menos no que tange o foco do nosso projeto, é ele ser pouco responsivo. Outro problema do Painel CNT é a limitação do único mapa disponibilizado, com um enfoque muito mais nacional do que regional.

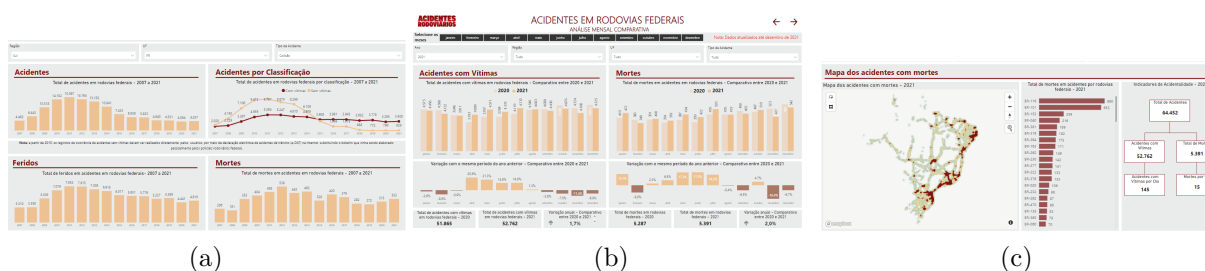


Figura 8 – a - Análise anual; b - Análise mensal comparativa; c - Mapa dos acidentes com mortes.

Fonte: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2018).

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta as cinco etapas que compõem a metodologia dos casos de uso, ilustradas na Figura 9.

A primeira etapa consiste no levantamento da bibliografia necessária, com a busca por *softwares* semelhantes e estudo teórico das principais ferramentas que serão utilizadas no decorrer do desenvolvimento. Foram identificadas diversas áreas de estudo, sendo as principais: Banco de Dados, Interface Humano Computador e Cidades Inteligentes.

A segunda etapa consiste em uma análise preliminar das bases de dados reunidas, e a comparação dos sistemas de dados semelhantes levantados pela equipe. Após isso, é realizada uma modelagem do sistema, definindo seus principais componentes e técnicas.

A terceira etapa é o desenvolvimento. Ela se inicia com a implementação visual das telas para a navegação usuários. Após isso, o segundo passo é o desenvolvimento do algoritmo *kNN-Select*.

A quarta etapa pode ser resumida como uma etapa de teste, no qual a solução será disponibilizada para usuários, junto a um questionário. O objetivo desta etapa é verificar se a solução desenvolvida tem uma usabilidade adequada.

A quinta etapa se dá pela análise do questionário para levantamento de melhorias e posterior construção do relatório final. Essas melhorias serão levadas em consideração na elaboração de trabalhos futuros.

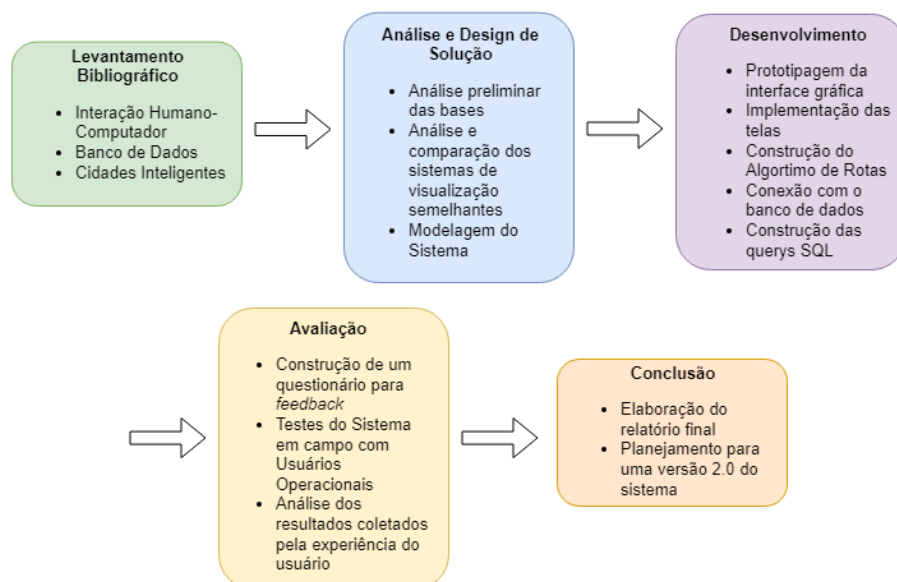


Figura 9 – Fases da Metodologia.

Fonte: Autoria Própria.

3.1 Casos de Uso

Considerando a camada de *Service Delivery*, foram propostos 5 casos de uso para o projeto (COSTA, 2023)(Figura 10).

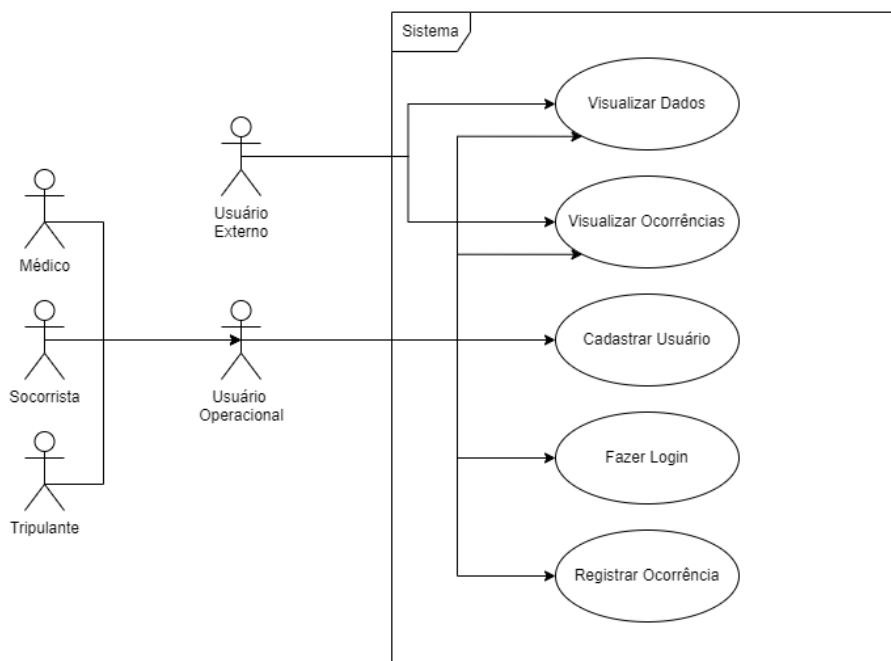


Figura 10 – Casos de Uso.

Fonte: (COSTA, 2023)

O protótipo propõe dois tipos de usuários: o Usuário Externo e o Usuário Operacional. O Usuário Externo pode ser caracterizado como aquele tipo de usuário não técnico, como profissionais fazendo uma auditoria dos dados, um eventual acidentado buscando informações sobre o próprio acidente ou mesmo uma pessoa comum com interesse em levantar dados de acidentes ocorridos nas rodovias federais do estado do Paraná.

Já os Usuários Operacionais são todos aqueles que precisam fazer uso da aplicação para operarem em suas funções. Esses Usuários portanto se subdividem em Médico, Socorrista e Tripulante. Para os três tipos de usuários é necessário realizar o login no sistema.

Os três casos de uso que modificam o sistema são exclusivos aos Usuários Operacionais: Cadastrar Usuário, Fazer *Login* e Registrar Ocorrência. O Cadastro de Usuário permite que um novo Usuário Operacional seja registrado no Banco de Dados. Uma vez feito este cadastro, o Fazer *Login* permite que o Usuário acesse as funcionalidades disponíveis apenas para os Usuário Operacionais. O Registrar Ocorrência acaba sendo o nosso Caso de Uso mais complexo, fazendo uso de todas as tabelas presentes no sistema para construir uma nova ocorrência.

Para o caso de uso de Visualizar Ocorrência, por exemplo, o usuário precisa dispor

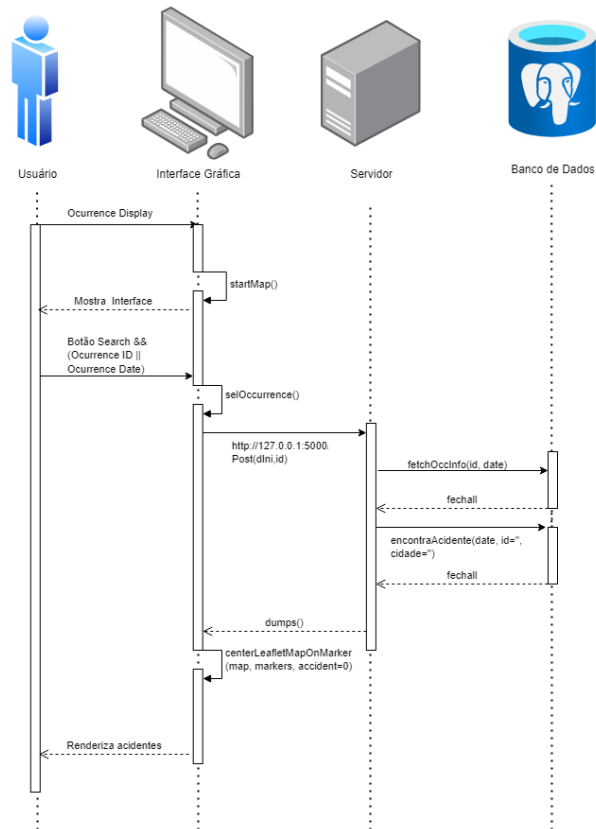


Figura 11 – Diagrama de Sequência de Caso de Uso - Visualizar Ocorrência.

Fonte: fonte: Autoria Própria.

do ID da ocorrência, ou de uma data específica na qual o acidente ocorreu. O diagrama de sequência deste caso de uso é apresentado na Figura 11 e, por meio dele, podemos visualizar o processo sequencial envolvido na visualização de uma nova ocorrência. O diagrama apresenta as 3 partes do sistema (interface gráfica, servidor e banco de dados) e seus pontos de comunicação entre si, bem como com o usuário.

A ideia por trás do caso de uso Registrar Ocorrência é a inserção de uma nova ocorrência para efetuar o resgate. Também é através deste caso que é utilizado o algoritmo *kNN-Select*.

A Figura 12 apresenta o diagrama de sequência do caso de uso Cadastrar Ocorrência. De forma semelhante a Figura 11, este diagrama também apresenta a coordenação entre partes da aplicação para que uma nova ocorrência seja cadastrada. É possível acompanhar o fluxo de execução deste caso de uso desde o acesso do usuário a tela de registro até a confirmação de uma nova ocorrência.

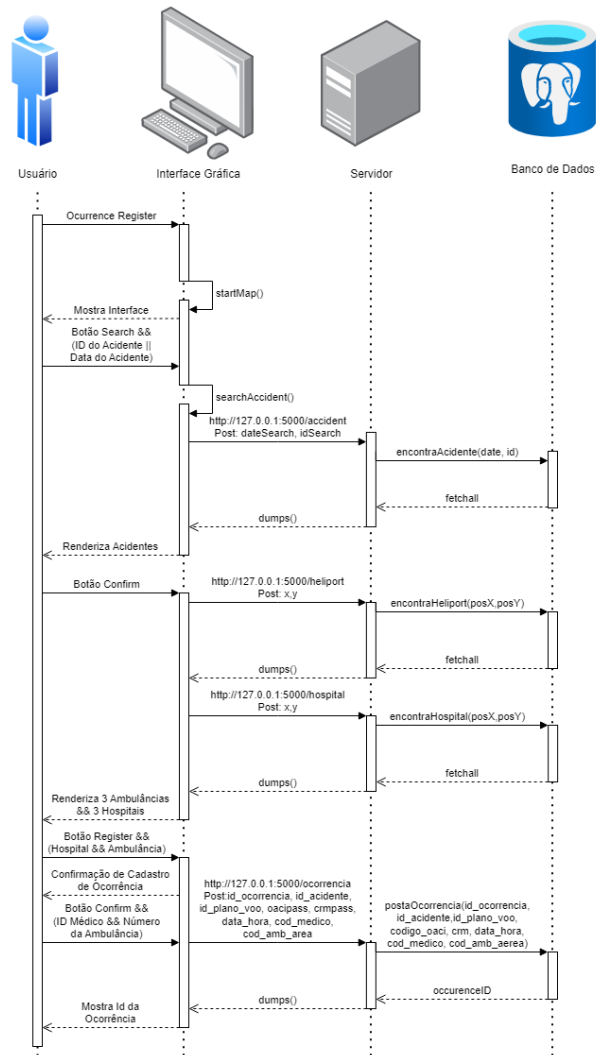


Figura 12 – Diagrama de Sequência Caso de Uso - Cadastrar Ocorrência.

Fonte: fonte: Autoria Própria.

4 DESENVOLVIMENTO

Inicialmente foi realizada uma análise de requisitos, utilizando um questionário e entrevistas semi-estruturadas (detalhes adicionais podem ser verificados em (COSTA, 2023)). O desenvolvimento apresentado nesta seção é baseado nas informações adquiridas na análise de requisitos mencionada.

4.1 Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento do trabalho, as seguintes tecnologias foram utilizadas:

1. **PostgreSQL (9.6.13)** - SGBD usado para armazenar as tabelas do sistema;
2. **PostGIS (2.3.1)** - Extensão do *PostgreSQL* para lidar com dados geográficos;
3. **GitHub** - Utilizado para versionamento de código;
4. **Python (3.11.2)** - Linguagem de programação utilizada para escrever o servidor da aplicação;
5. **Flask (2.1.0)** - *Microframework* em *Python* para funcionalidades de servidor;
6. **psycopg2 (2.9.3)** - Conector SQL escrito em *Python* utilizado na comunicação entre o servidor e o banco de dados da aplicação;
7. **Django (4.1.3)** - *Framework* escrito em *Python* para utilização de funcionalidades JSON;
8. **bcrypt (4.0.1)** - Biblioteca em *Python* para *hashing* de senhas;
9. **HTML5** - Linguagem de *Markdown* utilizada para construir o esqueleto das telas da aplicação;
10. **CSS3** - Linguagem baseada em regras utilizada para definir o estilo das telas de aplicação;
11. **ECMAScript 13** - Linguagem de programação baseada em *script*, utilizada para construir a lógica da interface gráfica da aplicação;
12. **OpenStreetMaps (0.7)** - API REST para construção dos mapas da interface gráfica da aplicação;
13. **Leaflet (1.1.0)** - API de código aberto para a criação de mapas interativos.

4.2 Arquitetura do Projeto

Como dito anteriormente, o projeto é uma extensão de (COSTA, 2023; COSTA et al., 2023) e por esta razão, seu desenvolvimento se deu a partir da arquitetura proposta pelo mesmo que pode ser vista na Figura 13.

Em particular, este projeto implementa a camada de *Data analytics* e *Service delivery*. A camada de *Data analytics* é a camada na qual se dá o desenvolvimento do

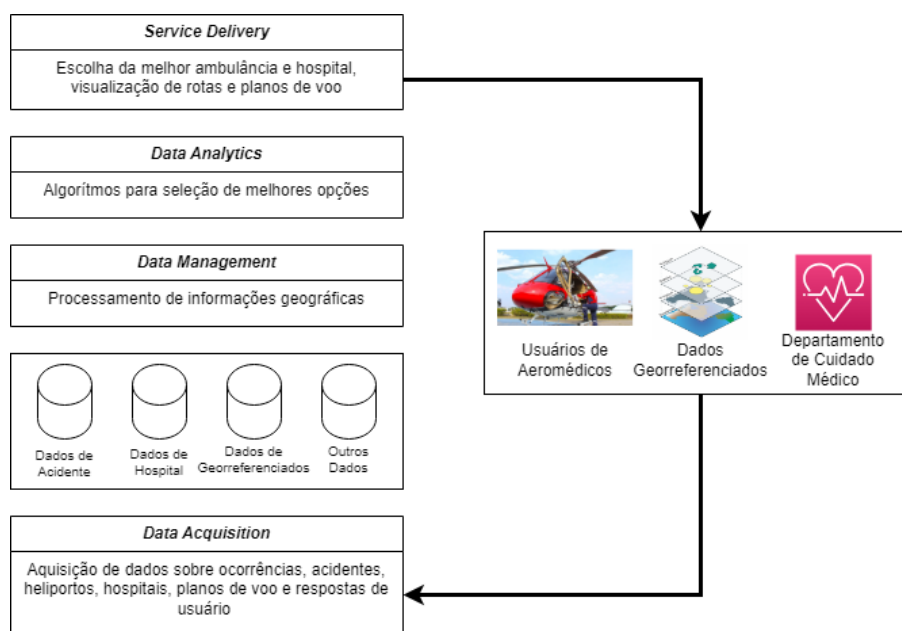


Figura 13 – Arquitetura do Protótipo.

Fonte: (COSTA et al., 2023).

algoritmo *kNN-Select* para a seleção das rotas de resgate. Já a camada de *Service delivery* é a camada responsável pela implementação da interface *web* a qual os Usuários Operacionais e Usuários Externos têm acesso.

4.2.1 Descrição dos dados

O projeto possui informações de diferentes bases de dados formando um único Banco de Dados composto por 6 tabelas, sendo elas: acidentes, plano_voo, hospitais, ocorrências, meio_aereo e usuarios_operacionais (Figura 14). A coleta dos dados e construção de 5 dessas 6 tabelas do banco de dados foram atribuições de trabalho de mestrado de (COSTA, 2023). A tabela de usuarios_operacionais utilizada para controle de acesso é atribuição deste trabalho.

A tabela de acidentes contém todos os dados de acidentes utilizados no projeto. Esses dados são geo-localizados, com diversas informações, incluindo o tipo da pista em que o acidente aconteceu até o número de feridos distinguidos entre feridos leves e graves. Os dados presentes nessa tabela compreendem informações de acidentes ocorridos em rodovias federais entre os anos de 2007 e 2018, com um total de 171.869 registros. Esta tabela foi construída com a base de dados da Polícia Rodoviária Federal (DEPARTAMENTO DA POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL, 2019).

A tabela de plano de voo apresenta os planos de voo registrados. Planos de voo são obrigatórios para que uma aeronave tenha permissão de decolar e, neles, estão registradas todas as informações como a identificação da aeronave, o tipo da aeronave, a hora de decolagem e aterrissagem. Os dados desta tabela foram simulados e inseridos através do

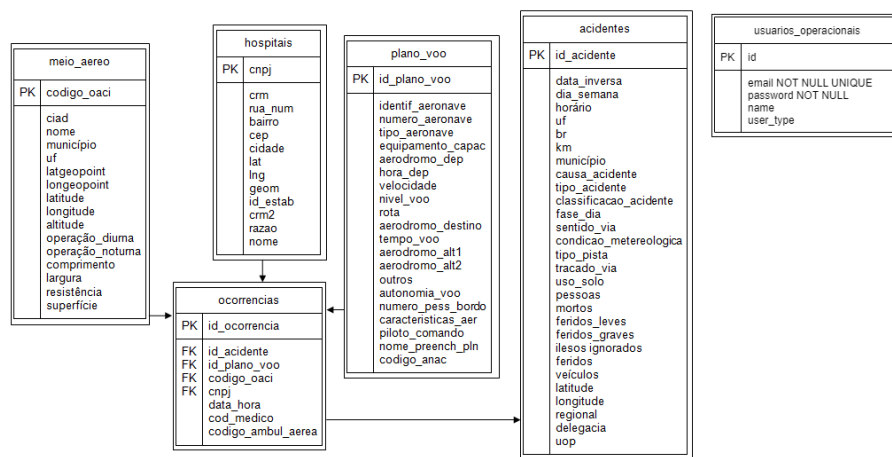


Figura 14 – Diagrama do Banco de Dados Relacional.

Fonte: (COSTA et al., 2023).

conhecimento prévio em piloto de aeronaves do aluno de mestrado (COSTA, 2023).

A tabela de hospitais compreende as informações de todos os hospitais da rede pública e privada do estado do Paraná. Nela encontramos a geolocalização dos hospitais, bem como o nome dos mesmos. A tabela contempla 9.219 registros de hospitais. Esta tabela é oriunda de um trabalho progresso feito na UTFPR (CAVALCANTE; NETO; KOZIEVITCH, 2018).

A tabela de meio aéreo apresenta todos os aeródromo do estado do Paraná. Como as outras tabelas, os dados são geolocalizados, além disso, possuímos informações de altitude do aeródromo bem como seus horários de operação. A tabela possui o registro de 160 aeródromos do Paraná. Esta tabela foi construída a partir da base de dados da ANAC (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2018).

Dentre as tabelas alimentadas por este trabalho, temos primeiramente a tabela de ocorrências. Os dados desta tabela são construídos aglutinando os dados das 4 tabelas citadas anteriormente durante o caso de uso de Registro de Ocorrência. Além disso, a tabela registra a data da ocorrência bem como os códigos do médico e da ambulância aérea utilizados.

A outra tabela alimentada pelo sistema é a tabela de usuarios_operacionais. Nesta tabela, armazenamos as informações de *login* e senha dos usuários, bem como o seu nome e o tipo de usuário, dentre os três disponíveis: Médico, Socorrista ou Tripulante. Os dados de senha dos usuários são encriptados.

4.2.2 Data Analytics

Do aspecto rodoviário, existem 5 Rodovias Federais importantes que cruzam o estado do Paraná, sendo elas: BR-476, BR-376, BR-277, BR-116 e BR-369. Como dito durante na sessão introdutória deste trabalho, algumas das estradas com mais acidentes do

Algoritmo 1: Calcular_Ocorrência(Acidente, Hospital_Ocorrencia, Ambulancia_Ocorrencia, Plano_de_Voo)
<pre> /* Seleciona a melhor ambulância disponível para o acidente considerando fatores como localização, tráfego e condições meteorológicas */ If(tráfego obstruído and condições meteorológicas){ /* 1. Seleciona a melhor localização para origem da ambulância e a melhor ambulância para fazer o atendimento da ocorrência */ Ambulancia_Ocorrencia ← kNN_SelectAmbulancia(Acidente); /* 2. Considerando a origem da ambulância e o acidente, calcula o melhor hospital destino */ Hospital_Ocorrencia ← kNN_SelectHospital(Acidente, Ambulancia_Ocorrencia); /* 3. Com os dados da origem da ambulância, do acidente, e do hospital destino, calcula o melhor plano de voo */ Plano_de_Voo_Ocorrencia ← Calculate_Flight(Hospital_Ocorrencia,Acidente,Ambulancia_Ocorrencia);} </pre>

Figura 15 – Algoritmo utilizado para a criação de ocorrência de ambulância aérea.

Fonte: (COSTA, 2023)

país estão entre as que atravessam o estado. Como parte do artigo (COSTA et al., 2023) foi feita uma análise geográfica dos acidentes ocorridos nestas rodovias. Esta análise inicial foi feita para que uma série de premissas fossem levadas em conta no desenvolvimento de um algoritmo do tipo *kNN-Select*, sendo elas:

1. A área de cobertura de uma ambulância aérea é calculada através da comparação entre os dados iniciais do acidente e as localizações das ambulâncias aéreas nas proximidades (LI et al., 2015);
2. O *kNN-Select* é um algoritmo baseado na distância Euclidiana entre um elemento de teste e um elemento de treino (ALI; NEAGU; TRUNDLE, 2019);
3. A entrada do algoritmo é a localização inicial do acidente;
4. A saída do algoritmo são os dados dos hospitais e heliportos mais bem posicionados, que posteriormente serão integrados em um plano de voo que será armazenado como uma ocorrência;
5. Como forma de simplificação, informações referentes a especialidade e infraestruturas dos hospitais, número de acidentados, médicos disponíveis e assistências híbridas não foram consideradas durante o desenvolvimento do protótipo.

Com essas premissas estabelecidas, o algoritmo proposto por (COSTA, 2023) e implementado neste projeto é apresentado na Figura 15. O algoritmo possui três partes: *kNN_SelectAmbulancia*, *kNN_SelectHospital* e *Calculate_Flight*.

4.2.2.1 *kNN_SelectAmbulancia*

A primeira etapa do algoritmo de resgate se dá logo após recebermos os dados da localização do acidente.

Com os dados de latitude e longitude do acidente, uma primeira busca utilizando o *kNN-Select* é feita. Nela, é realizado um *ranking* das 6 ambulâncias aéreas melhor localizadas para atender ao acidente (Figura 16). O número em questão foi selecionado

```
SELECT codigo_oaci,nome, latgeopoint,longeopoint, altitude,largura, superficie,  
A.the_geom <-> 'SRID=29193;POINT(accidentX accidentY)::geometry AS dist, st_AsEWKT(the_geom)  
FROM trabalhos.jeferson_meio_aereo A  
ORDER BY dist  
LIMIT 6;
```

Figura 16 – *Ranking* das 6 ambulâncias aéreas mais próximas do acidente.

Fonte: Autoria Própria.

```
SELECT crm ,nome, lat, lng, A.geom <-> 'SRID=29193;POINT(accidentX accidentY)::geometry as dist, st_AsEWKT(geom)  
FROM trabalhos.jeferson_hospitais A  
ORDER BY dist  
LIMIT 6
```

Figura 17 – *Ranking* dos 6 hospitais mais próximos do acidente.

Fonte: Autoria Própria.

para lidar com flutuações vindoras do dia a dia da operação de resgate, uma vez que não possuímos um fluxo em tempo real de dados. Também é importante ressaltar que por motivos de responsabilidade, a decisão final deve ser dada aos Usuários Operacionais em campo. O resultado á apresentado na camada de *Service Delivery* para que o usuário operacional decida dentre as seis qual será utilizada durante a operação de resgate.

4.2.2.2 *kNN_SelectHospital*

Esta etapa busca o hospital mais adequado para levar a vítima do acidente. Com a busca, são encontrados os 6 hospitais melhor localizados para atender ao acidente (Figura 17). Este cálculo, tal como o primeiro, é feito com base na distância euclidiana entre o acidente e o hospital. Como definido nas premissas iniciais desta seção, informações sobre infraestrutura e disponibilidade médica não foram levadas em conta durante o desenvolvimento deste projeto.

O resultado á apresentado na camada de *Service Delivery* para que o usuário operacional decida qual dos seis será o hospital destino.

4.2.2.3 *Calculate_Flight*

Considerando os resultados dos passos anteriores, a sugestão de plano de voo é calculada com o somatório dos passos de *kNN_SelectAmbulancia*, *kNN_SelectHospital* e o ponto inicial do acidente para ser apresentado ao controle de tráfego aéreo. Além disso, são verificados os dados de plano_voo, para verificar as aeronaves disponíveis no determinado instante (Figura 18).

```
select * from trabalhos.jeferson_plano_voo where aerodromo_dep='SBBI'
```

Figura 18 – Verificação das Aeronaves disponíveis.

Fonte: Autoria Própria.

Com esta informação é então construído o plano de voo que será utilizado pela ambulância aérea, sendo composto por:

1. O ponto inicial, que é o heliporto do qual a ambulância aérea vai decolar;
2. O ponto do acidente, no qual a ambulância aérea terá de fazer o resgate;
3. O hospital, para o qual a ambulância aérea deve levar as vítimas resgatadas;
4. O ponto final, que é o mesmo heliporto do qual a ambulância aérea decolou.

Da junção destes 4 pontos, é construído o plano do voo que é então armazenado no Banco de Dados dentro da tabela ocorrências.

4.2.3 *Service Delivery*

Esta camada é responsável pelas implementações gráficas, incluindo desde as etapas do algoritmo, até o acesso à aplicação.

4.2.3.1 Cadastrar Usuários e Fazer Login

Os Casos de Uso de “Cadastrar Usuários” (código apresentado na Figura 19) e “Fazer *Login*” são dois Casos de Uso de controle de acesso ao protótipo.

O código para o cadastro recebe as informações do usuário, encripta a senha para que esta possa ser armazenada no banco de dados e tenta fazer uma inserção. Caso o usuário já tenha inserido suas informações no banco de dados, um alerta é gerado (Figura 20). A diferença nas funcionalidades quando o usuário efetuou ou não *login* pode ser verificada na Figura 21.

4.2.3.2 Visualizar Ocorrência

A visualização de ocorrência é um Caso de Uso disponível para qualquer tipo de usuário, tanto o operacional, quanto o externo. A ideia por trás da Visualização de Ocorrência é permitir que o usuário veja uma ocorrência que já aconteceu, tendo informações sobre tempo de voo, distância, o CRM do médico dentre outros.

Para Visualizar Ocorrência os seguintes passos são seguidos:

1. O usuário acessa a página de visualizar ocorrência na interface gráfica do protótipo e insere os dados de ID da Ocorrência ou data da Ocorrência.

```

try:
    hashedPass = bcrypt.hashpw(passw.encode('utf-8'), bcrypt.gensalt(9))

    sqlQuery = "INSERT INTO public.jeferson_usuarios_operacionais(email,password,name,user_type)" + \
              "VALUES (%s, %s, %s, %s)"
    val = (str(mail), str(hashedPass), str(name), str(utype))

    cursor.execute(sqlQuery, val)
    conn.commit()

except Exception as err:
    print ("Oops! An exception has occurred:",err)
    if "duplicar valor da chave viola" in str(err):
        return 0
    return err

```

Figura 19 – Cria Usuário Operacional.

Fonte: fonte: Autoria Própria.

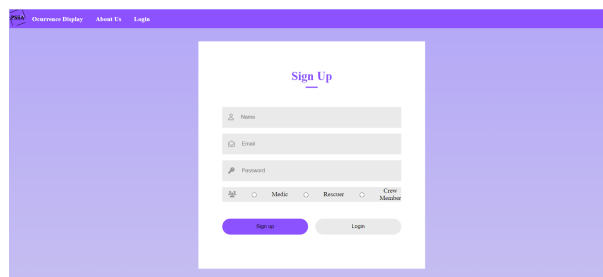


Figura 20 – Tela de Cadastro.

Fonte: fonte: Autoria Própria.

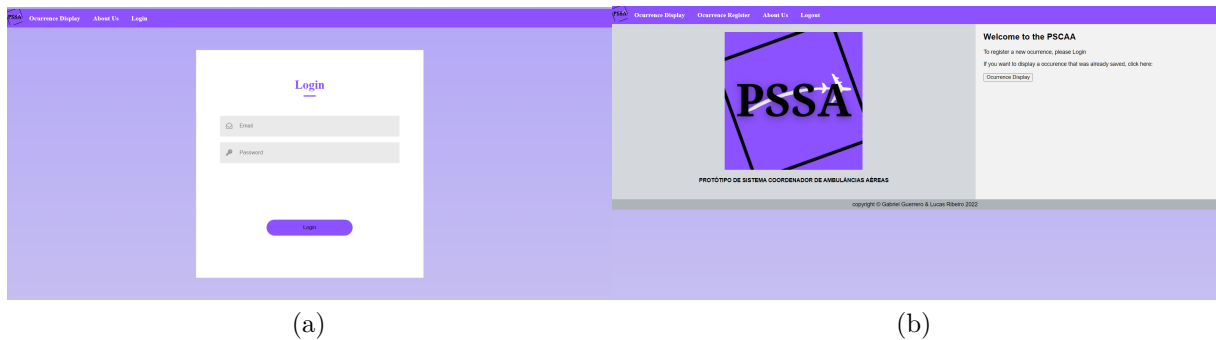


Figura 21 – a. Tela de *Login*; b. Usuário Conectado.

Fonte: Autoria Própria.

2. A interface gráfica envia uma requisição ao servidor informando os valores digitados pelo usuário, que por sua vez executa uma busca SQL para encontrar as informações da ocorrência.
3. Com as informações da ocorrência, o servidor faz uma segunda busca SQL no servidor, desta vez para buscar as informações geográficas do Heliporto, Hospital e Acidente.
4. A interface gráfica recebe as informações geográficas e renderiza as mesmas no mapa.
5. A interface gráfica traça as rotas do plano de voo e recentraliza o mapa para que o usuário possa visualizar a ocorrência completa.

A Figura 22 mostra os passos envolvidos na visualização da ocorrência, sendo (a) a tela inicial e (b) a tela com a ocorrência renderizada. Na tela (b) temos na direita os dados de viagem, com a opção para o Usuário selecionar se gostaria de visualizar os dados de ida, volta ou rota completa. Além disso, informações correlatas como o tempo de voo, altitude do hospital, distância de voo são também exibidos. No mapa as linhas são renderizadas de forma que a linha azul representa o caminho do heliporto ao acidente, a linha vermelha representa o caminho do acidente ao hospital e a linha verde apresenta o caminho de retorno.

A linha verde é exibida em forma de arco para evitar a sobreposição indesejada com a linha de ida, mas o plano de voo é pensado como uma linha reta.

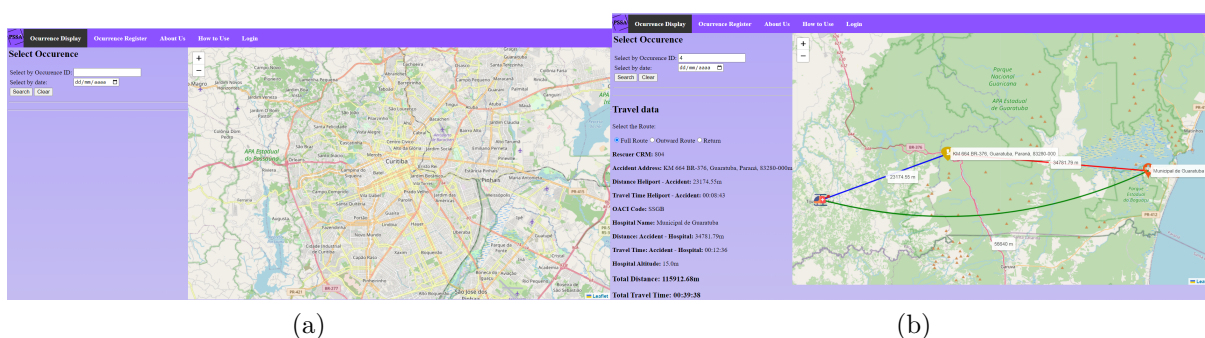


Figura 22 – a. Tela de Inicial de Visualizar Ocorrência; b. Ocorrência Desenhada.

Fonte: Autoria Própria.

4.2.3.3 Registrar Ocorrência

O algoritmo do registro de ocorrência ocorre com as seguintes etapas:

1. O usuário acessa na interface gráfica a tela específica para registrar ocorrência (Figura 23 -a).
2. Uma vez lá, o usuário insere uma data ou o ID do acidente que ela planeja fazer o resgate.
3. Essas informações são enviadas ao servidor, que por sua vez constrói uma consulta SQL para resgatar as informações do acidente que são exibidas para o usuário através do mapa e uma lista de seleção.
 - a) Caso o usuário tenha buscado por dia, uma lista com todos os acidentes daquele dia, é mostrada na interface gráfica, com seu posicionamento geográfico apresentado no mapa. O usuário precisa então selecionar o acidente correto (Figura 23 -b).
 - b) Caso o usuário tenha selecionado por ID, ainda assim precisa confirmar que de fato se trata do acidente correto que deseja realizar o resgate, criando assim uma nova ocorrência no sistema.

- Com essas informações, são executados os algoritmos *kNN_SelectAmbulancia* e *kNN_SelectHospital*.
- O usuário então seleciona dentre as 6 opções de Ambulância Aérea e Hospital, aquela que é mais adequada para o resgate (Figura 23 - c).
- É executado o algoritmo *Calculate_Flight* (Figura 23 -d).
- O usuário confirma a criação de uma nova ocorrência inserindo o ID Médico e o Número da Ambulância Aérea que será utilizada para resgate (Figura 23 - e).
- Uma nova ocorrência é criada no Banco de Dados contendo todas as informações e gera um ID de ocorrência novo que é exibido na interface gráfica (Figura 23 - f).



Figura 23 – a. Tela Inicial de Registrar Ocorrência; b. Seleciona Acidente; c. Seleciona Ambulância Aérea; d. Seleciona Hospital Destino; e) Adiciona ID Médico e número da Aeronave; e f) Registra a ocorrência no banco de dados.

Fonte: Autoria Própria.

5 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos e os testes preliminares realizados no Aeroporto do Bacacheri em dezembro de 2022.

Os resultados alcançados durante o desenvolvimento deste trabalho podem ser sumarizados em:

1. Desenvolvimento de um algoritmo *kNN-Select* para inserção de ocorrências de resgate;
2. Implementação dos Casos de Uso por meio de uma interface *web* cujo código pode ser encontrado como código aberto em <<https://github.com/gaguehero/PSSA>>.
3. Publicação na forma de coautoria em um artigo internacional na IEEE (COSTA et al., 2023).

5.1 Testes Preliminares

No dia 17 de dezembro de 2022, um teste deste protótipo foi feito em campo, no Aeroporto do Bacacheri, em Curitiba. O teste envolveu 4 participantes, sendo eles: 2 membros de tripulação, um médico e uma enfermeira. O teste foi feito por meio de um laptop provido pela nossa equipe.

O teste foi desenvolvido da seguinte forma: inicialmente foi feita uma apresentação breve do protótipo, com todas as suas funcionalidades. Após esse momento introdutório, foi requisitado que os 4 participantes realizassem duas tarefas para checar a usabilidade do protótipo. A primeira tarefa foi o registro de uma ocorrência e a segunda foi a visualização de uma ocorrência. Por fim, foi feito um questionário para colher as impressões e sugestões dos participantes sobre a usabilidade e funcionalidade do protótipo.

As perguntas feitas aos participantes foram as seguintes:

1. Inserção - Suponha que você tenha um acidente no id 10308, no dia 08/02/2017. Qual o melhor aeroporto/aeródromo para atender a ocorrência?
2. Visualização - Suponha que você tenha um acidente com o id 72201, com uma ambulância saindo do Luiz Dalcamale Filho, e será atendido pelo Vitalife Clínica Médica. Qual a distância do Heliponto até o acidente?
 - a) 1133 metros;
 - b) 8443 metros;
 - c) 777 metros;
 - d) A distância não está listada acima;
3. Numa escala de 1 a 5 (pouca compreensão - 1 a muita compreensão - 5), qual foi seu entendimento sobre o protótipo e seu funcionamento?
4. No que podemos melhorar?

A primeira questão (discursiva) obteve 2 respostas apontando o Aeroporto da

Polícia Federal de Curitiba, 1 resposta apontando tanto o Aeroporto da Polícia Federal quanto o Aeroporto do Bacacheri, e 1 resposta apontando apenas o Aeroporto do Bacacheri. Considerando a distância apenas, o mais indicado seria realmente o Aeroporto da Polícia Federal.

A segunda questão (com alternativas) teve como resultado 3 participantes selecionando corretamente os 1133 metros e um participante marcando a alternativa em que a distância não está listada.

A terceira questão (múltipla escolha), teve uma marcação em 5, duas marcações em 4 e uma marcação em 1. Num geral, considerando o número reduzido de participantes, temos que o entendimento do grupo foi bastante satisfatório.

A última questão também é aberta e da qual pudemos desprender uma série de sugestões. Essas sugestões são importantes para a melhoria do protótipo, uma vez que foram feitas por usuários especializados nesta área de atuação. Dentre as respostas dos participantes, podemos destacar:

1. A adição de campos de futebol como opções de pouso das ambulâncias aéreas;
2. A indicação de heliportos disponíveis próximo aos hospitais, mesmo que estes não sejam propriamente do hospital em si;
3. A seleção do hospital poder ser feita com base na complexidade das vítimas, disponibilidade de vagas e especialidade dos médicos;
4. Heliportos presentes em prédios precisam levar em conta que elevadores nem sempre tem espaço para comportar macas;
5. Indicar o peso máximo que o heliporto consegue suportar;
6. Conexão da aplicação com centros de regulação, atualmente responsáveis para organizar o resgate de acidentes, para uma integração das ocorrências; e
7. Prover apenas os dados locais e não regionais.

De maneira geral, os participantes apresentaram reações positivas aos testes. Quando perguntados sobre as funcionalidades, os voluntários afirmaram que a aplicação do protótipo em um ambiente real seria de considerável ajuda em seu trabalho diário.

5.2 Limitações do Protótipo

Uma limitação importante a ser apontada pelo projeto foi a ausência de um dos Casos de Uso planejados, neste caso, a Visualização de Dados. Como explicado anteriormente, essa limitação se deu por falta de tempo hábil de desenvolvimento, considerando que o dia do teste em campo já estava definido.

Outra limitação importante foi apontada durante os testes preliminares. Essa limitação é a falta de informações mais específicas dos hospitais. Os dados podem ser classificados em dois tipos: dados estáticos e dados dinâmicos. Como dados estáticos, podemos considerar a especialidade dos médicos, uma vez que não são informações que

mudam constantemente. Como dados dinâmicos, temos as informações de disponibilidade de vagas, números que estão em constante mudança. Considerando isso, uma decisão mais embasada dependeria de uma integração dos sistemas dos hospitais ao deste protótipo, algo que demandaria um trabalho mais minucioso focado nessa questão, mas não deixa de ser uma limitação do trabalho.

5.3 Dificuldades Encontradas

Durante o desenvolvimento do projeto, algumas dificuldades foram encontradas pela equipe, dentre as quais podemos destacar:

1. Desenvolvimento de uma aplicação de nicho, com termos e dificuldades específicos do mesmo. Como exemplo, podemos destacar o plano de voo, algo sem o qual aeronave nenhuma pode decolar e que era algo que a equipe desconhecia até começar o projeto;
2. A implementação de uma aplicação de ponta a ponta com controle de mapas e desenvolvimento de múltiplas rotas também se apresentou como um desafio importante;
3. Por fim, foi necessário um estudo do zero sobre criptografia e criação de sistemas de controle de usuários, uma vez que nenhum dos membros da equipe tinha trabalhado com o tema até a realização deste trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os acidentes automobilísticos em rodovias federais são uma realidade e um problema atual importante. Diante deste fato, a abordagem do resgate feito através de ambulâncias aéreas se mostra como uma solução inovadora e que poderia ser implementada com os recursos disponíveis. Por se tratar de um recurso crítico, o manejo do mesmo, da melhor forma possível, se faz necessário.

O objetivo geral deste projeto foi prestar suporte a (COSTA, 2023) por meio da implementação de duas camadas do sistema, *Data Analytics* e *Service Delivery*, bem como planejamento e aplicação dos testes preliminares.

Partindo deste objetivo geral, foram traçados alguns objetivos específicos. O primeiro deles foi uma revisão teórica das principais sub-áreas de pesquisa. Esse primeiro objetivo foi imprescindível para a equipe ter um ganho de conhecimento, em especial conhecimentos de *kNN-Select* e criptografia, dois campos que não haviam sido estudados pela equipe de maneira prévia ao desenvolvimento deste trabalho.

Outro objetivo específico apresentado é o projeto e desenvolvimento do algoritmo de busca *kNN-Select*. Como apresentado em seções anteriores, o algoritmo *kNN-Select* desenvolvido (camada de *Data Analytics*) trouxe resultados preliminares satisfatórios.

Considerando os testes preliminares, nota-se que embora o protótipo tenha pontos importantes para serem melhorados em uma segunda versão, os voluntários indicaram que o protótipo trouxe uma série de benefícios no dia a dia de atendimentos e resgates. Os últimos dois objetivos específicos dizem respeito ao teste de campo, que se desenvolveu com uma resposta positiva por parte dos voluntários e análise e apresentação dos resultados, que pode ser sumarizado na construção deste relatório.

Como trabalhos futuros, em uma segunda versão do protótipo, temos, primeiramente, os já elencados ajustes apresentados pelos Usuários Operacionais. Além disso, é importante um controle mais robusto de cadastro e *login* dos usuários, permitindo que os mesmos insiram mais informações sobre si (como a Identificação de Médico, necessária para o registro de ocorrência) e permissão de mudar senha. Um levantamento maior de dados ou uma setorização também pode se apresentar como um caminho viável. Dividir o Estado em Setores e esses Setores terem seus dados separados para resgate pode facilitar a análise e implementação da aplicação em um cenário real. Uma aplicação complementar que receba em tempo real as vagas disponíveis nos hospitais também se torna necessária para a aplicação mais eficaz em campo deste protótipo, uma vez que, saber essa informação, se mostra vital no momento de escolha de hospital destino. Por último, um desdobramento interessante seria uma visualização das ocorrências mais robusta, com filtros por ID médico ou número de ambulância aérea. Essa visualização seria interessante para usuários externos poderem auditar os resgates de forma mais fácil e rápida dentro da própria interface.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Dados abertos**. 2018. Acessado em 10 de maio de 2022. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/acesso-a-informacao/dados-abertos>>. Citado na página 29.

AGNER, L. R. d. N.; MORALES, C. H. G. **Safetrip: protótipo para sugestão de itinerários a fim de reduzir fatores de risco de acidentes em rodovias federais**. Dissertação (Dissertacao de bacharelado) — UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28989>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

ALI, N.; NEAGU, D.; TRUNDLE, P. Evaluation of k-nearest neighbour classifier performance for heterogeneous data sets. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 12, p. 1559, Nov 2019. ISSN 2523-3971. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42452-019-1356-9>>. Citado na página 30.

ALLJET. **Ambulância Aérea: Rapidez em Momentos Críticos**. 2021. Acessado em 27 de abril de 2022. Disponível em: <<https://www.voealljet.com.br/ambulancia-aerea-rapidez-em-momentos-criticos-3/>>. Citado na página 10.

BELHADI, A. et al. Machine learning for identifying group trajectory outliers. **ACM Trans. Manage. Inf. Syst.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 12, n. 2, jan 2021. ISSN 2158-656X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3430195>>. Citado na página 17.

BELMONTE, N. **Voronoi Tessellation**. 2010. Acessado em 05 de maio de 2022. Disponível em: <<http://philogb.github.io/blog/2010/02/12/voronoi-tessellation/>>. Citado na página 17.

BOVKIR, R.; AYDINOGLU, A. C. Big urban data visualization approaches within the smart city: Gis-based open-source dashboard example. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XLVI-4/W5-2021, p. 125–130, 2021. Disponível em: <<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVI-4-W5-2021/125/2021/>>. Citado na página 21.

CARAGLIU, A.; BO, C. D.; NIJKAMP, P. Smart cities in europe. **VU University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics, Serie Research Memoranda**, v. 18, 01 2009. Citado na página 20.

CARD, S. K.; MACKINLAY, J. D.; SHNEIDERMAN, B. **Readings in Information Visualization: Using Vision to Think**. 1. ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999. ISBN 1558605339. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 18.

CARROLL, J. M. **Human Computer Interaction - brief intro**. Disponível em: <<https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/human-computer-interaction-brief-intro>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

- CAVALCANTE, J. L. S. B.; NETO, M. S.; KOZIEVITCH, N. P. Utilização e Estudo de Dados de Saúde Georreferenciados Para Desenvolvimento de Aplicação Móvel. In: VINHAS, L.; CAMPELO, C. E. C. (Ed.). **XIX Brazilian Symposium on Geoinformatics - GEOINFO 2018, Campina Grande, PB, Brazil, December 5-7, 2018**. MCTIC/INPE, 2018. p. 170–175. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGPDW34P/3SG4FHP>>. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22 e 29.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários**. 2018. Acessado em 27 de abril de 2022. Disponível em: <<https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/81fc279a-4edc-4e10-ac0f-feafe66e5ac7.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 22.
- COSTA, J. et al. Assisting victims of road accidents: a case study of aeromedical transport improvements. **IEEE ICS2 2023**, 2023. Citado 6 vezes nas páginas 13, 27, 28, 29, 30 e 36.
- COSTA, J. G. **Transporte Aeromédico no Atendimento a Vítimas de Acidentes - Desafios e Estudo de Caso**. Dissertação (Dissertacao de mestrado) — UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023. Citado 9 vezes nas páginas 11, 12, 13, 24, 27, 28, 29, 30 e 39.
- DATE, C. **An Introduction to Database Systems**. 8. ed. United Kingdom: Pearson Education Inc, 2004. ISBN 0-321-18956-6. Citado na página 14.
- DEPARTAMENTO DA POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Dados abertos de acidentes nas rodovias federais até 2018**. 2019. Acessado em 10 de maio de 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-da-prf>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 28.
- DJENOURI, Y.; DJENOURI, D.; LIN, J. C.-W. Trajectory outlier detection: New problems and solutions for smart cities. **ACM Trans. Knowl. Discov. Data**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 15, n. 2, feb 2021. ISSN 1556-4681. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3425867>>. Citado na página 17.
- DUCKMAN, M.; WORBOYS, M. **GIS: A Computing Perspective, Second Edition**. 2. ed. USA: CRC Press, 2004. ISBN 9780203481554. Citado na página 14.
- HALL, P. Creative cities and economic development. **Urban Studies**, v. 37, n. 4, p. 639–649, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00420980050003946>>. Citado 3 vezes nas páginas 11, 16 e 20.
- IYAPPAN, P. et al. Pluggable encryption algorithm in secure shell(ssh) protocol. In: **2009 Second International Conference on Emerging Trends in Engineering Technology**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 808–813. Citado na página 16.
- KNAFLIC, C. **Storytelling with Data: A Data Visualization Guide for Business Professionals**. 1. ed. USA: Wiley, 2015. ISBN 1119002257. Citado na página 19.
- KOZIEVITCH, N. et al. Exploratory analysis of public transportation data in curitiba. In: **Anais do XLIII Seminário Integrado de Software e Hardware**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2016. p. 1656–1667. ISSN 2595-6205. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/semish/article/view/9516>>. Citado na página 21.

LAUTERT, T. A. M. **Unidades de saúde pública em Curitiba: uma análise exploratória e um protótipo de dashboard de saúde para apoio à decisão no domínio da gestão em saúde**. Dissertação (Dissertacao de mestrado) — UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 21.

LI, Y. et al. Location selection for ambulance stations: A data-driven approach. In: **Proceedings of the 23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. (SIGSPATIAL '15). ISBN 9781450339674. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2820783.2820876>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 18 e 30.

MINISTÉRIO DA DEFESA COMANDO DA AERONÁUTICA. **Portaria DECEA Nº 14 / DGCEA_SEC**. 2022. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/nasca-351-1>>. Citado na página 11.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Sobre a Lei de Acesso à Informação**. 2020. Acessado em 27 de abril de 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br/acesso-a-informacao/servico-de-informacao-ao-cidadao/sobre-a-lei-de-acesso-a-informacao>>. Citado na página 11.

OPEN KNOWLEDGE FOUNDATION. **Open Definition - Defining Open in Open data, Open Content and Open Knowledge**. 2015. Acessado em 19 de abril de 2022. Disponível em: <<http://opendefinition.org/od/2.1/en/>>. Citado na página 21.

ORACLE. **O que é um banco de dados relacional (RDBMS)?** 2023. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/database/what-is-a-relational-database/>>. Citado na página 14.

POSTGIS. **PostGIS 3.3.4dev Manual**. 2023. Disponível em: <<https://postgis.net/docs/>>. Citado na página 14.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Interaction Design - Beyond Human Interaction**. 5. ed. EUA: Wiley, 2019. ISBN 9781119547259. Citado na página 17.

RAMAKRISHNAN, R.; GEHRKE, J. **Database Management Systems**. 3. ed. USA: McGraw-Hill, Inc., 2002. ISBN 0072465638. Citado na página 14.

SCHOLARPEDIA. **K-nearest neighbor**. 2013. Acessado em 27 de abril de 2022. Disponível em: <http://www.scholarpedia.org/article/K-nearest_neighbor>. Citado na página 16.

SOUZA-JÚNIOR, M. F. et al. Improvement of user interfaces in prehospital healthcare information systems in the perspective of situational awareness. **iSys - Brazilian Journal of Information Systems**, v. 12, n. 4, p. 98–116, Apr. 2020. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/journals/index.php/isys/article/view/782>>. Citado na página 18.

TABLEAU SOFTWARE. **What is a dashboard? A complete overview**. 2003. Disponível em: <<https://www.tableau.com/learn/articles/dashboards/what-is>>. Citado na página 19.

TERADA, R. **Segurança de dados : criptografia em rede de computador**. 2. ed. São Paulo, SP, Brasil: Blucher, 2008. ISBN 9788521204398. Citado na página 16.

VASCONCELOS, P. H. d. V.; MATTOS, V. G. P. d. **Visualização dos dados abertos da Polícia Rodoviária Federal sobre acidentes nas rodovias brasileiras**. Dissertação (Dissertacao de bacharelado) — UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/23718>>. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

VORONOI, G. Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques. deuxième mémoire. recherches sur les paralléloèdres primitifs. **Journal für die reine und angewandte Mathematik (Crelles Journal)**, v. 1908, n. 134, p. 198–287, 1908. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/crll.1908.134.198>>. Citado na página 16.