

Antenor Moreira de Barros Leal

**Aplicativo web de auxílio a
navegação aérea**

PROJETO FINAL

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
Programa de Graduação em Engenharia da
Computação

Rio de Janeiro
Abril de 2024



Antenor Moreira de Barros Leal

Aplicativo web de auxílio a navegação aérea

Relatório de Projeto Final II

Relatório de Projeto Final, apresentado ao Programa de Engenharia da Computação, do Departamento de Informática da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Adriano Francisco Branco

Rio de Janeiro
Abril de 2024

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial do trabalho, é proibida sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Antenor Moreira de Barros Leal

Graduando em Engenharia da Computação na PUC - Rio

Ficha Catalográfica

Leal, Antenor Moreira de Barros

Aplicativo web de auxílio a navegação aérea / Antenor Moreira de Barros Leal; orientador: Adriano Francisco Branco. – 2024.

30 f: il. color. ; 30 cm

Projeto Final - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2024.

Inclui bibliografia

1. Informática – Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). 2. Aviação. 3. Navegação. 4. Aplicativo. 5. Algoritmo. 6. Web. 7. Internet. I. Branco, Adriano Francisco. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx Dedicatória aqui xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Resumo

Leal, Antenor Moreira de Barros; Branco, Adriano Francisco. **Aplicativo web de auxílio a navegação aérea**. Rio de Janeiro, 2024. 30p. Projeto Final – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

É um aplicativo web de código aberto como objetivo de auxiliar usuários de simuladores de voo que não possuem acesso à ferramenta (Electronic Flight Bag) que um piloto de linha aérea teria. Ao acessar o aplicativo, o usuário se depara com a lista de aeroportos cadastrados e, após escolher um, são exibidas informações da pista, frequências do aeroporto (torre, solo, ATIS, etc.), e frequências de navegação (ILS, VOR, etc.). Também são apresentadas as informações das condições meteorológicas atuais do aeródromo (vento, visibilidade, temperatura, etc.), tanto no formato oficial (METAR), obtidas a cada hora de uma API externa, como em um texto em linguagem natural para melhor entendimento do jogador iniciante. Um usuário com permissão de administrador pode adicionar e editar aeroportos. A partir de informação atual vento, a pista em uso é calculada.

Palavras-chave

Aviação; Navegação; Aplicativo; Algoritmo; Web; Internet.

Abstract

Leal, Antenor Moreira de Barros; Branco, Adriano Francisco (Advisor).
Aerial navigation aid web application. Rio de Janeiro, 2024. 30p.
Projeto Final – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade
Católica do Rio de Janeiro.

It is an open source web application to auxialiate the flight simulator's users that doesn't have access to the tool (Electronic Flight Bag) that an airline pilot would have. When accessing the app, the users encounters the list of registered airports and, after choosing one, runway information, airport frequencies (tower, ground, ATIS etc) and navigation frequencies (ILS, VOR etc) are showed. Also provided are the current meteorological conditions of the aerodrome (wind, visibility, temperature, etc.), both in the official format (METAR), obtained hourly from an external API, and in natural language text for better understanding by novice players. An administrator user can add and edit airports. Based on the current wind information, the active runway is calculated.

Keywords

Aviation; Navigation; Application; Algoritm; Web; Internet.

Sumário

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | Introdução | 11 |
| 2 | Sistemas Similares | 12 |
| 3 | A Proposta | 15 |
| 4 | Cronograma | 16 |
| 5 | Modelo de Dados | 17 |
| 5.1 | Modelo Lógico | 17 |
| 5.2 | Tabelas | 18 |
| 6 | Arquitetura | 25 |
| 6.1 | Introdução | 25 |
| 6.2 | Docker Network | 25 |
| 6.3 | Docker Secrets | 26 |
| 6.4 | Serviços | 26 |
| 6.5 | Flask/Gunicorn | 26 |
| 6.6 | Produção | 27 |
| 6.7 | Diagrama de Tempo | 28 |
| 7 | Referências bibliográficas | 30 |

Lista de figuras

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 2.1 | Exemplo de um EFB no Flight Simulator 2020 na aeronave A320neo | 12 |
| Figura 2.2 | AISWEB com informações de pista, frequências de comunicação e navegação para o Santos Dumont | 13 |
| Figura 2.3 | METAR do Santos Dumont no AISWEB | 14 |
| Figura 2.4 | Interface gráfica do METAR-TAF | 14 |
| Figura 4.1 | Cronograma planejado | 16 |
| Figura 5.1 | Diagrama E/R | 17 |
| Figura 6.1 | Modelo de Arquitetura | 25 |
| Figura 6.2 | Uso do sistema em baixa demanda | 27 |
| Figura 6.3 | Containers Docker em execução | 28 |
| Figura 6.4 | Diagrama de tempo | 28 |

Lista de tabelas

| | | |
|------------|-------------------|----|
| Tabela 4.1 | Milestones | 16 |
| Tabela 5.1 | City | 18 |
| Tabela 5.2 | Aerodrome | 18 |
| Tabela 5.3 | PavementType | 19 |
| Tabela 5.4 | Runway | 20 |
| Tabela 5.5 | CommunicationType | 21 |
| Tabela 5.6 | Communication | 21 |
| Tabela 5.7 | ILSCategory | 22 |
| Tabela 5.8 | ILS | 22 |
| Tabela 5.9 | VOR | 24 |

Lista de Códigos

xxxxxxx epígrafe

epígrafe xxxxxxxxxxxxxxxxx, *epígrafe xxxxxxxxx.*

1

Introdução

Com o aumento da capacidade de passageiros e carga e a necessidade de uma maior segurança, começou a se fazer necessário trazer ao cockpit vários documentos como checklist de procedimentos; log book; cartas de navegação, de saída, de aproximação, do aeródromo; tabelas de performance da aeronave etc.

Para levar tudo isto costumava-se usar uma maleta (a Flight Bag), obviamente esta ficava muito pesada.

Com a miniaturização dos computadores e surgimentos dos tablets, começaram a ser desenvolvidos programas que substituíam partes ou todos estes documentos, é a chamada maleta de voo eletrônica, mais conhecida pela sigla em Inglês EFB (*Electronic Flight Bag*).

Atualmente existem hardware dedicados para esta função, mas é mais comum se usar um tablet com um aplicativo disponibilizado pela companhia aérea. Normalmente o tablet escolhido é um iPad da Apple, mas algumas companhias optaram pelo Microsoft Surface. [1]

O uso do EFB trouxe uma série de benefícios para os pilotos e para as companhias aéreas. Além de reduzir o peso e o volume de documentos físicos a serem transportados, o EFB permite uma rápida atualização das informações, garantindo que os pilotos tenham sempre acesso às versões mais recentes das cartas de navegação. [2]

Além disso, a capacidade de armazenamento do EFB possibilita o acesso a uma vasta quantidade de informações adicionais, como manuais de operação da aeronave, regulamentações atualizadas e até mesmo dados meteorológicos em tempo real, o que contribui para uma tomada de decisão mais informada e segura durante o voo.

2

Sistemas Similares

Os EFBs possuem funções variadas como cálculo de combustível, de performance. Para aeronaves mais novas como o Airbus A320 é difícil realizar cálculos de performance, porque não é disponibilizado ao público como este cálculo é feito. Ferramentas encontradas na Internet [3] normalmente fazem engenharia reversa, e portanto, podem apresentar resultados diferentes de um cálculo oficial.

Nos simuladores de voo para computador pessoal, algumas aeronaves simulam este equipamento como o Airbus A320neo desenvolvido pela *FlyByWire Simulations*. Apesar de ser uma aeronave *freeware*, ela é bem sofisticada chegando ao nível de realismo da *Fenix Simulations* ou da *ToLiss Simulations*, duas produtoras com modelos pagos do A320.

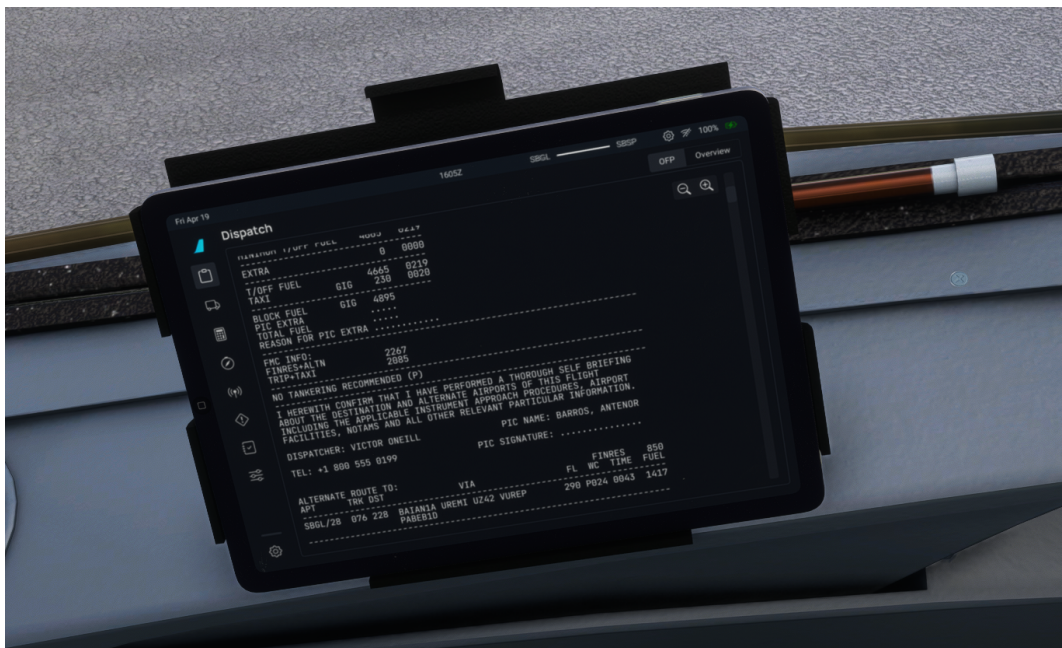


Figura 2.1: Exemplo de um EFB no Flight Simulator 2020 na aeronave A320neo

Contudo, o METAR do aeródromo não se encontra disponível no EFB. É possível usar o computador de bordo da aeronave (FMC) e conseguir esta informação. Também é possível sintonizar na frequência do ATIS, mas isto só funcionará se o avião já estiver perto do aeródromo.

O que muitos jogadores fazem é acessar o AISWEB (<https://aisweb.decea.mil.br/>), sistema oficial brasileiro de informações aeronáuticas.

É um site extremamente completo, podendo ser usado em operações reais, mas para o jogador iniciante seria de valia uma interface mais simples.



The screenshot shows the AISWEB website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Abreviaturas', 'Central de Ajuda', and a language selector set to 'Portuguê'. Below this is a header with the AISWEB logo and a menu with 'INÍCIO', 'AERÓDROMOS' (selected), 'ESPAÇO AÉREO', and 'NOTAM'. The main content area is titled 'Santos Dumont (SBRJ)' with the location 'Rio de Janeiro/RJ' and the CIAD 'RJ0002'. A horizontal menu below the title includes 'ROTAER', 'NOTAM', 'Suplementos AIP', 'Cartas', 'Metar/TAF', and 'Rotas Preferenciais'. The 'ROTAER' section is active, displaying airport details for Santos Dumont (SBRJ) in Rio de Janeiro, RJ, including coordinates (22 54 36S/043 09 45W), elevation (3 (10)), and runway information (02L, 02R, 20L, 20R). It also lists communication frequencies for COM (Tower, Solo, Traffic, ATIS) and other services (CMB, SER, RFFS).

ROTAER D-AMDT 9/24 [Ver mudanças](#)

Santos Dumont (SBRJ) / RIO DE JANEIRO, RJ 22 54 36S/043 09 45W
 AD PUB/MIL INFRAERO 2E UTC-3 VFR IFR L21 , L23 , L26 3 (10)

02L - L9(3.23) [1] [12] [14] , L12 - (1260x30 ASPH 39/F/B/X/T L14 , L15) - L9(3.12) SBCW (CRCEA-SE)
 [11] [14] , L12 - **20R**

02R - L9(3.23) [1] [2] [14] , L12 - (1323x42 ASPH 65/F/B/X/T L14 , L15) - L9(3.12)
 [4] [14] , L12 - **20L**

COM -TORRE RIO [9] [14] 118.700 [10] 121.500 [3]
 SOLO RIO [10] [14] 121.700
 TRÁFEGO RIO [10] [14] 121.050
 ATIS RIO [8] [10] [14] 132.650

CMB- TF [5] **SER** - S1 **RFFS** - CAT CIVIL - 7

Figura 2.2: AISWEB com informações de pista, frequências de comunicação e navegação para o Santos Dumont

O AISWEB exibe o METAR no aeroporto, mas não explica para o que cada campo serve.

O site METAR-TAF (<https://metar- taf.com/>) é o decoder mais conhecido, possui uma interface gráfica bem construída e muito fácil de entender, mas não possui a lista de frequência dos aeroportos e de radionavegação.

de ACFT da Aviação Comercial - Grupo 1, porto divulgada pela ANAC.

PONTOS DE VERIFICAÇÃO
dimento de verificação de segurança de a aviação geral após o pouso e parada nas nente de 0800 às 0100.

entrar em CTC FREQ 122.30MHZ (OPS III rdo e apoio de solo necessário. A solicitação de deverá ser informada com antecedência MNM or e pelo tel: (21) 99609-5236.
REGIONAL (III COMAR) AVBL somente para ACFT

ância máxima de uma hora.
s ACFT estacionadas nos canteiros 5 e 6 ADJ cal.
a, com envergadura máxima de até 20m e ecessidade de utilização do pátio do GEIV deverá

RCR REPORTE DE CONDIÇÃO DE PISTA (O QUE É ISSO?)

SBRJ 04190855 02R 6/6/6 NR/NR/NR 0/0/0 DRY/DRY/DRY

RwyCC **6 6 6** RBA **BOA**



METAR
192000Z 17006KT 9999 FEW030 BKN050 23/17 Q1018=

TAF
191500Z 1918/2006 23005KT 9999 FEW020 TX25/1918Z TN22/2006Z BECMG 2000/2002 27005KT FEW030 BECMG 2004/2006 32005KT SCT017 SCT025 RMK PGY=

Figura 2.3: METAR do Santos Dumont no AISWEB

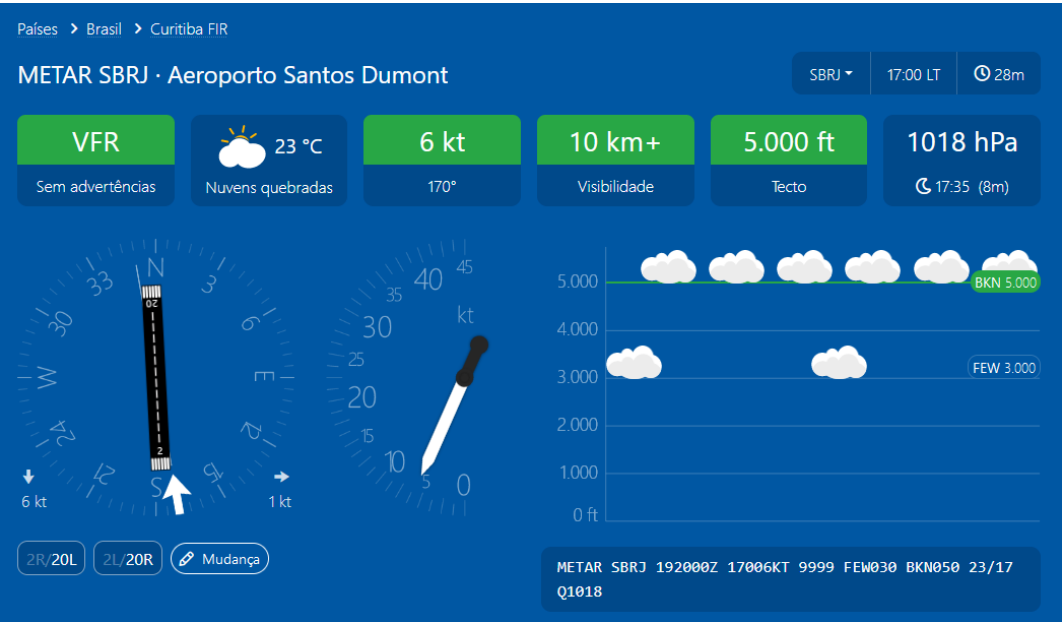


Figura 2.4: Interface gráfica do METAR-TAF

3

A Proposta

A ideia do trabalho seria unir as funcionalidades do METAR-TAF com o AISWEB em uma interface gráfica que o usuário iniciante consiga usar sem dificuldades.

Pelo fato de aviação necessitar ter um ambiente seguro e bastante regulado, considerando que meu projeto é apenas um protótipo, prefiro restringir o caso de uso apenas para jogadores de simuladores de voo que desejam que a simulação seja parecida com o real. Nas páginas do sistema conterà um aviso de que o sistema **não deve ser usado para um voo real**.

Dito isto, o sistema possui backend escrito na linguagem Python fazendo uso da biblioteca Flask. A renderização de página é server-side, usando a funcionalidades de templates do Flask junto com a biblioteca Jinja2.

No segundo semestre de 2023 comecei a fazer um projeto para uso próprio. O código está disponível em <https://github.com/antenor-z/aero>. Atualmente o projeto funciona, mas a arquitetura foi feita sem muito planejamento, as informações do aeroporto são hardcoded.

O usuário tem acesso a informações de frequência da torre, solo, tráfego, rampa e operações, bem como das frequências e dados para VOR (um sistema de radionavegação por antenas no solo), ILS (sistema de pouso por instrumentos) e informações de pista. Neste trabalho quero, armazenar estas em um banco de dados relacional com uma arquitetura bem planejada. Farei testes de desempenho simulando uma alta taxa de acesso e, dependendo dos resultados, fazer uso de um banco em memória como intermediário.

Os aerodromos podem ao longo do tempo mudarem alguma frequência e outras informações como o número da pista mudam a depender da variação do norte magnético, uma pista pode ser ampliada etc. Atualmente o código precisa ser alterado para atualizar as informações. Desejo implementar um sistema diretamente no site, com uma autenticação por senha e TOTP, para que seja possível mudar qualquer informação no banco.

Através de uma API do serviço americano National Weather Service, são coletadas as informações atuais de meteorologia. Estas informações (que vêm em um formato chamado METAR) são processadas pelo backend e mostradas ao usuário de uma forma fácil de entender. Esta parte em específico possui um código de difícil manutenção, desejo refatorar esta parte e adicionar suporte para a maior parte de códigos da especificação do METAR.

4

Cronograma

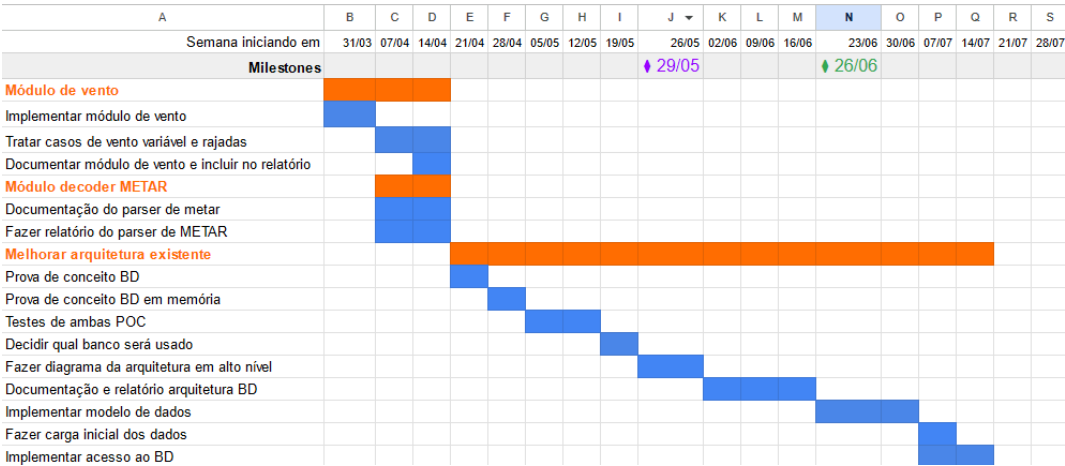


Figura 4.1: Cronograma planejado

Tabela 4.1: Milestones

| Data | Milestone |
|-------|---|
| 29/05 | Entrega da proposta de Projeto Final I |
| 26/06 | Entrega do relatório de Projeto Final I |

5 Modelo de Dados

5.1 Modelo Lógico

O modelo de dados foi feito para ser o mais simples possível para que futuras alterações possam ser feitas facilmente. Abaixo está o diagrama entidade-relacionamento no qual o nome no topo do retângulo identifica o nome da tabela. A lista abaixo mostra as colunas dessas tabelas, com um ícone de uma chave preta para a *chave primária* e uma chave verde para a *chave estrangeira*.

Uma relação é denotada pelas setas ligando duas tabelas. A cardinalidade da relação é indicada pelos números entre parênteses.

Para a relação **Aerodrome-ILS**, temos (1, 1) para (0, n), significando que um aeródromo pode ter zero ou mais frequências de ILS e esta só pode ser de um único aeródromo.

Já na relação **Aerodrome** com **Runway**, um aeródromo deve ter uma ou mais pistas.

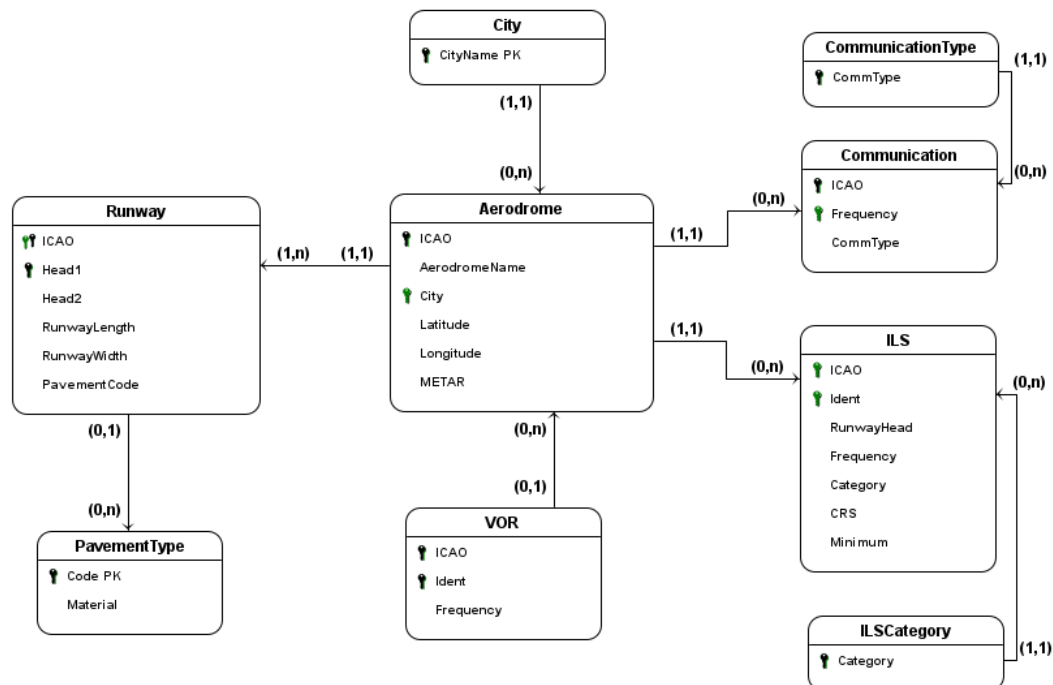


Figura 5.1: Diagrama E/R

Note que as tabelas "CommunicationType", "ILSCategory" e "PavementType" poderiam ser substituídas por colunas enum nas tabelas "Commu-

nication", "ILS" e "Runway", porém a manutenção seria difícil [4], pois teríamos que alterar a estrutura das tabelas (possivelmente tirando o sistema do ar) caso fosse necessário adicionar um tipo novo de comunicação, por exemplo. Fazendo com uma tabela externa é necessário apenas adicionar uma nova linha.

5.2

Tabelas

Tabela 5.1: City

| Nome | Descrição | Tipo |
|---------------|--|--------------|
| CityName (PK) | Nome da cidade escrito em Português com a primeira letra maiúscula | VARCHAR (50) |

Tabela 5.2: Aerodrome

| Nome | Descrição | Tipo |
|----------------------------|---|---------------|
| ICAO (PK) | O código ICAO do aeródromo emitido pela Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO). | VARCHAR(4) |
| AerodromeName | O nome do aeródromo conforme definido pelo AISWEB, sistema nacional de informações aeronáuticas. | VARCHAR(50) |
| City (FK) | Nome da cidade escrito em Português. A primeira letra é maiúscula. Chave estrangeira para a tabela City. | VARCHAR(30) |
| Latitude | A latitude do aeroporto em graus no formato de graus decimais (DD, Decimal Degrees). Três dígitos para representar a parte inteira e seis dígitos para a fracionária. | DECIMAL(9, 6) |
| Continua na próxima página | | |

Tabela 5.2 – Continuação da página anterior

| Nome | Descrição | Tipo |
|-----------|---|---------------|
| Longitude | A longitude do aeroporto, seguindo o mesmo formato da latitude. | DECIMAL(9, 6) |
| METAR | O METAR válido atualmente para este aeródromo. | VARCHAR(100) |

Considere colocar o METAR como tabela separada com chave estrangeira para o aerodromo para, deste modo, ter o METAR histórico. Mas, no contexto de planejamento de voo, os METARs anteriores não possuem muita serventia.

Tabela 5.3: PavementType

| Nome | Descrição | Tipo |
|-----------|--|-------------|
| Code (PK) | O código (em Inglês) do tipo de pavimento usado. É formado por três letras maiúsculas. | VARCHAR(3) |
| Material | O nome do pavimento em Português, com a primeira letra maiúscula. | VARCHAR(20) |

Exemplo de siglas:

| | |
|------|----------|
| Code | Material |
| ASP | Asfalto |
| CON | Concreto |
| GVL | Brita |

É importante conhecer as características dos tipos de pistas de pouso e decolagem, pois seu comprimento determinará a quantidade de freio necessária para parar uma determinada aeronave.

Se a pista for muito curta, determinados modelos de avião não poderão pousar. A largura da pista determina a envergadura máxima que uma aeronave pode ter para operar nessa pista. Se uma pista for muito estreita, uma aeronave quadrimotora como o Boeing 747 pode sofrer ingestão de materiais, já que os dois motores mais externos ficarão para fora da área da pista, sobre o gramado.

Tabela 5.4: Runway

| Nome | Descrição | Tipo |
|-------------------|--|------------|
| ICAO (FK e PK) | O código ICAO do aeródromo ao qual a pista está associada, utilizado como chave estrangeira fazendo a ligação com a tabela 'Aerodrome'. | VARCHAR(4) |
| Head1 (PK) | Número e possível letra que identifica uma das cabeceiras da pista. Um aeroporto nunca terá cabeceiras repetidas, então ICAO e Head1 formam uma chave primária mínima. | VARCHAR(3) |
| Head2 (PK) | O mesmo, mas para a outra cabeceira. | VARCHAR(3) |
| RunwayLength | Comprimento da pista em metros. | INTEGER |
| RunwayWidth | Largura da pista em metros. | INTEGER |
| PavementCode (FK) | O tipo de pavimento da pista, referenciando a tabela 'PavementType'. | VARCHAR(3) |

Para cabeceiras paralelas, ou seja, que apontam para a mesma direção, temos:

5.2.1

Pista única

A proa em que a pista aponta, com divisão por 10 arredondada. Por exemplo, em Fortaleza, temos uma cabeceira com curso de 126 graus, dividindo por 10 temos 12,6, arredondando temos o número 13 da cabeceira.

5.2.2

Pista dupla

Para duas pistas paralelas, usamos L para a cabeceira da esquerda e R para a da direita. Por exemplo, no Santos Dumont, de costas para o Pão de Açúcar, temos as cabeceiras 02L (na esquerda) e 02R (na direita).

5.2.3

Pista tripla

Não temos aeroportos com três pistas paralelas no Brasil, mas são usadas as letras L, C e R. C para a pista central.

Tabela 5.5: CommunicationType

| Nome | Descrição | Tipo |
|------------------|---|-------------|
| CommType (PK) | O tipo de comunicação, podendo ser "Torre", "Solo", "ATIS", "Tráfego" ou "Operação". Mais adiante outros tipos podem ser adicionados. | VARCHAR(10) |

Tabela 5.6: Communication

| Nome | Descrição | Tipo |
|----------------------------|--|------------|
| ICAO (PK e FK) | O código ICAO do aeródromo ao qual a frequência de comunicação está associada, utilizado como chave estrangeira referenciando a tabela 'Aerodrome'. | VARCHAR(4) |
| Frequency (PK) | A frequência em MHz multiplicada por 1000. Já que as frequências de comunicação possui três dígitos decimais, multiplicamos por mil para armazenar em inteiro de ponto fixo. ICAO e frequency formam chave primária e usar um DECIMAL para uma PK, não é muito eficiente. Note que uma frequência, não necessariamente é única em todo o país, para distâncias longas, onde não há risco de interferência, é possível haverem frequências repetidas. | INTEGER |
| Continua na próxima página | | |

Tabela 5.6 – Continuação da página anterior

| Nome | Descrição | Tipo |
|------------------|--|-------------|
| CommType (FK) | O tipo de comunicação, chave estrangeira para 'CommunicationType'. | VARCHAR(20) |

Esta tabela lista as diferentes categorias de Sistema de Pouso por Instrumentos (Instrument Landing System).

Tabela 5.7: ILSCategory

| Nome | Descrição | Tipo |
|---------------|--|-------------|
| Category (PK) | A categoria de ILS, sendo "CAT I", "CAT II", "CAT IIIA", "CAT IIIB" ou "CAT IIIC". Será explicado melhor em "Minimus" na tabela "ILS". | VARCHAR(10) |

Tabela 5.8: ILS

| Nome | Descrição | Tipo |
|----------------------------|--|------------|
| ICAO (PK e FK) | O código ICAO do aeródromo ao qual o sistema de pouso está associado, utilizado como chave estrangeira referenciando a tabela 'Aerodrome'. | VARCHAR(4) |
| Frequency (PK) | A frequência de operação do ILS em MHz, multiplicado por 10. Fazemos isso para poder usar o tipo INTEGER, já que um DECIMAL como chave primária não seria eficiente, como já explicado na tabela de comunicação. | INTEGER |
| Continua na próxima página | | |

Tabela 5.8 – Continuação da página anterior

| Nome | Descrição | Tipo |
|---------------|---|-------------|
| Ident | Identificação de três letras maiúsculas única do ILS para aquele aeródromo. Aparece na carta aérea do procedimento ILS. | VARCHAR(3) |
| RunwayHead | Para qual pista este ILS se refere. | VARCHAR(3) |
| Category (FK) | A categoria do ILS, referenciando a tabela 'ILSCategory'. | VARCHAR(10) |
| CRS | A referência do curso de aproximação do ILS. É a proa final que a aeronave deve manter para o correto alinhamento nesta cabeceira. | INTEGER |
| Minimum | A altura mínima de decisão em pés para operação do ILS. A partir desta altura, é desligado o piloto automático e o resto da aproximação é feita manualmente. Se a altitude da aeronave ficar abaixo deste valor e ainda não for possível ter visual da pista é obrigatória a arremetida. Quando maior a categoria do ILS, maior a precisão do sistema, portanto a Minimus será mais baixa. Uma "CAT IIIC"(pronuncia-se cat três charlie), possui Minimus zero, portanto a aeronave pode pousar de forma totalmente automática. | INTEGER |

Esta tabela registra os sistemas de navegação VOR/DME disponíveis em um aeródromo. Não foi incluída uma tabela para as frequências de NDB porque este sistema está caindo em desuso.

Tabela 5.9: VOR

| Nome | Descrição | Tipo |
|----------------|---|------------|
| ICAO (PK e FK) | O código ICAO do aeródromo ao qual o VOR/DME está associado, utilizado como chave estrangeira referenciando a tabela 'Aerodrome'. | VARCHAR(4) |
| Frequency (PK) | A frequência de operação do VOR/DME em MHz multiplicada por 10. | INTEGER |
| Ident | Identificação única do VOR/DME para aquele aeródromo. Forma chave primária junto com ICAO. | VARCHAR(3) |

6 Arquitetura

6.1 Introdução

A arquitetura foi pensada para ser implementada com o Docker e Docker Compose. Cada programa que precisa ser executado é rodado em um serviço separado. Exceto o Gunicorn, todos os outros serviços usaram imagens prontas do Docker Hub, o que oferece mais segurança com as atualizações constantes.

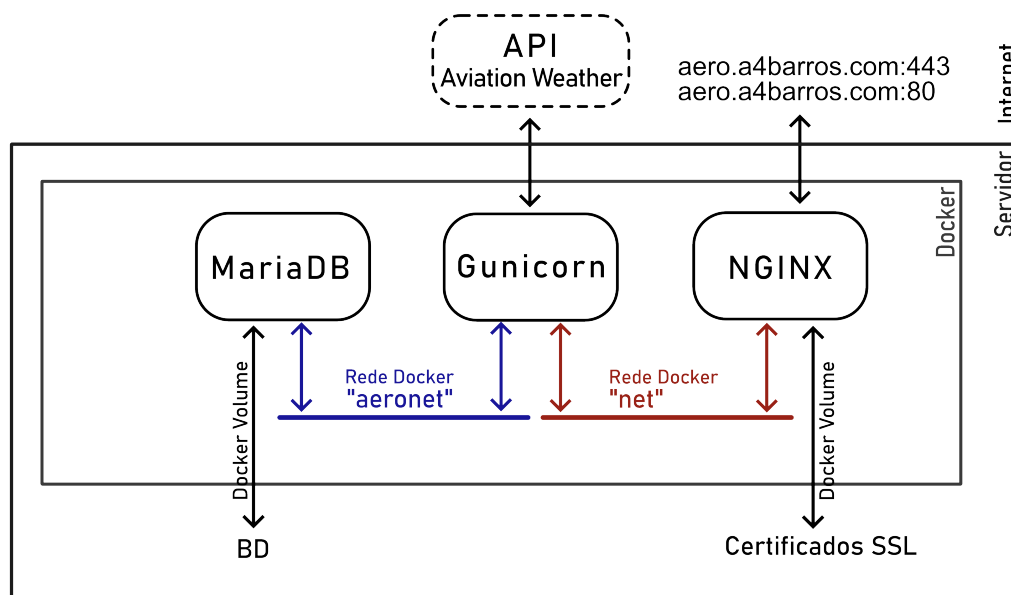


Figura 6.1: Modelo de Arquitetura

6.2 Docker Network

A porta 5000 do Gunicorn não estará disponível para todos os serviços. Por segurança, é usada a função de "network". Observe no diagrama que a proxy NGINX compartilha com o Gunicorn a rede "net", para o NGINX, o Gunicorn não pode ser acessado por `localhost:5000`, e sim por `http://aero:5000`, "aero" sendo o nome do serviço no Docker Compose.

6.3

Docker Secrets

Para aumentar a segurança de acesso ao banco, é usada a função "secrets". Nela, no Docker Compose, você informa um arquivo de texto no host onde estará uma senha, uma senha por arquivo. No mesmo Compose, você informa quais serviços têm acesso a cada senha. Na execução dos containers, as senhas são guardadas dentro de arquivos montados no caminho `"/run/secret/algum-nome.txt"`, em que `"algum-nome.txt"` é o mesmo nome do arquivo que estava no host. Tanto os bancos como o servidor Gunicorn usam este método para terem acesso às senhas dos bancos.

6.4

Serviços

6.4.1

MariaDB

Este banco de dados relacional guarda toda a informação mais ou menos fixa sobre os aeródromos, conforme explicado no capítulo de modelo de dados.

6.4.2

Proxy NGINX

Faz o HTTPS funcionar, dá suporte ao HTTP/2 e ao header HTTP keep-alive. O Gunicorn só tem suporte ao primeiro. De qualquer caso, a documentação do Gunicorn não recomenda que ele esteja diretamente ligado à Internet [5]. Já que tenho outros projetos na mesma máquina, uso subdomínios. Na configuração do NGINX, o server block com hostname `aero.a4barros.com` é redirecionado para o endereço interno `"https://aero:5000"`.

6.5

Flask/Gunicorn

Já que o Gunicorn é o serviço principal: o servidor onde o backend implementado em Flask roda, fiz um Dockerfile próprio iniciando a partir de uma imagem do Alpine, devido a ser lightweight. O Python e as dependências do projeto são instaladas automaticamente pelo Dockerfile e, por fim, o arquivo de entrada `server.py` é executado usando o servidor Gunicorn. As configurações dele ficam no arquivo `gunicorn_config.py` e apenas configura a porta para 5000 e usa três workers.

A documentação do Gunicorn informa a seguinte fórmula para determinar a quantidade de workers. [6]

$$N_{worker} = 2 * N_{cores} + 1$$

$$N_{worker} = 2 * 1 + 1 = 3$$
(6-1)

6.6 Produção

O site se encontra em produção no endereço <https://aero.a4barros.com>. Ele está hospedado em uma VPS com as seguintes características:

- **CPU:** AMD EPYC 7713 (1 core disponível) @ 2GHz
- **RAM:** 1GB
- **Armazenamento:** 25GB
- **SO:** Ubuntu 22.04.4 LTS

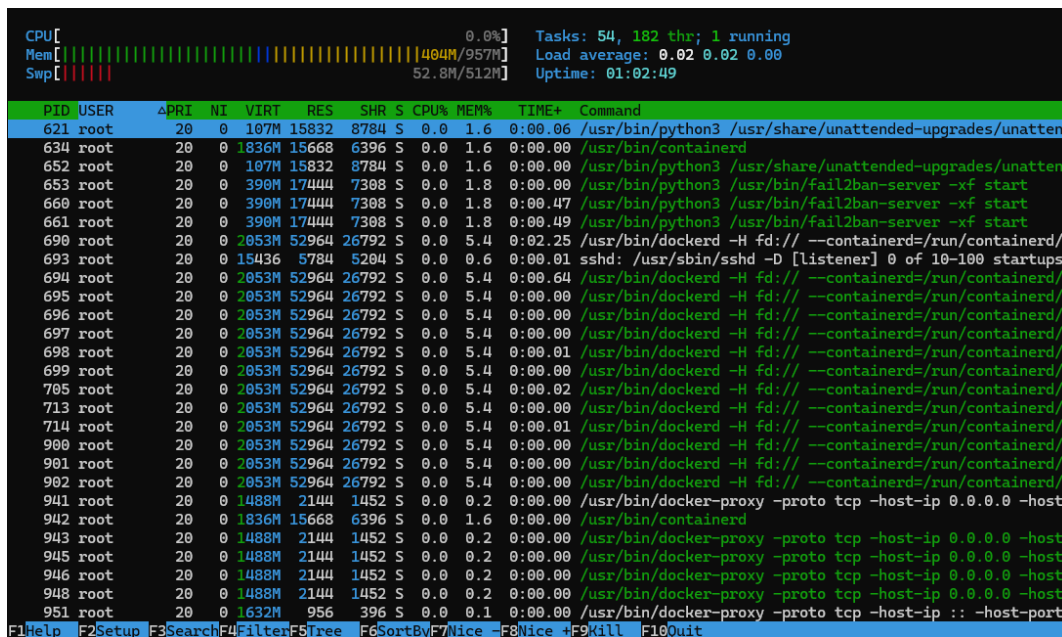


Figura 6.2: Uso do sistema em baixa demanda

Mesmo com uma configuração bastante modesta, o sistema roda sete containers Docker, usando aproximadamente metade da memória primária (RAM) em idle.

```

root@a4-server: ~/a4 $ docker ps

```

| CONTAINER ID | IMAGE | COMMAND | NAMES | CREATED | STATUS | PORTS |
|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-------------|------------------|---|
| 885861e72965 | a4-aero | "python3 -u -m gunic..." | a4-aero-1 | 3 hours ago | Up About an hour | 0.0.0.0:5000->5000/tcp, :::5000->5000/tcp |
| 8bc8d020f125 | nginx | "/docker-entrypoint..." | a4-a4-1 | 3 hours ago | Up About an hour | 0.0.0.0:80->80/tcp, :::80->80/tcp |
| 1e7763d35d44 | a4-axia | "gunicorn -c gunicor..." | a4-axia-1 | 3 hours ago | Up About an hour | 5002/tcp |
| 4434a160cee2 | a4-todo | "gunicorn -c gunicor..." | a4-todo-1 | 3 hours ago | Up About an hour | 5001/tcp |
| c4c10e0c261 | redis:alpine | "docker-entrypoint.s..." | a4-redis-1 | 3 hours ago | Up About an hour | 6379/tcp |
| 5ec6396a65b9 | mariadb | "docker-entrypoint.s..." | a4-aero-db-1 | 3 hours ago | Up About an hour | 0.0.0.0:3306->3306/tcp, :::3306->3306/tcp |
| 0e52641e9fda | a4-conv | "/docker-entrypoint..." | a4-conv-1 | 3 hours ago | Up About an hour | 80/tcp, 4001/tcp |

Figura 6.3: Containers Docker em execução

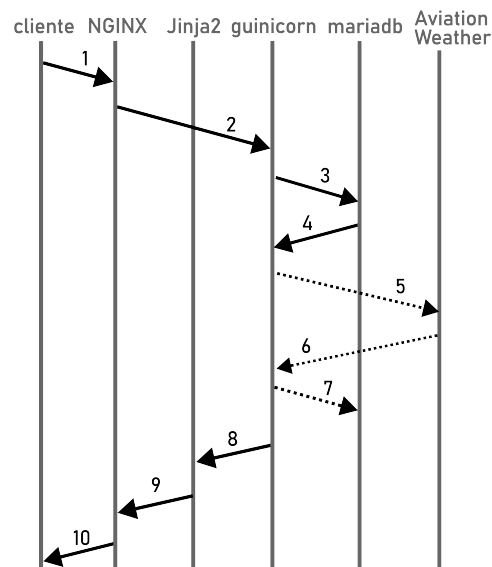


Figura 6.4: Diagrama de tempo

6.7

Diagrama de Tempo

1. O usuário realiza uma requisição para a rota raiz ou `"/info/{icao}"`.
2. Um servidor NGINX funcionando como proxy realiza o limite de requisições por segundo e bloqueia user-agents que aparentem ser robôs. Caso a requisição passe pelo filtro, é realizado um proxy-pass para o servidor Gunicorn.
3. Para a rota raiz, é feito um `SELECT` no banco para pegar informações de todos os aeroportos. Na rota `"/info/{icao}"`, é feito um `SELECT-WHERE` para buscar apenas um aeroporto. A ORM é usada para isto, portanto os comandos SQL não aparecem diretamente no código.
4. O banco de dados responde à requisição. Para a rota `"/info/{icao}"`, é verificado se o METAR existente no banco é válido para aquela hora. Se

for, o sistema vai para o passo 8; se não, continua para o passo 5.

5. É feita uma requisição para a API do Aviation Weather pedindo o METAR para o aeroporto em questão.
6. A API responde.
7. O METAR atualizado é gravado no banco.
8. O servidor envia as informações necessárias ao Jinja2 para a geração da página.
9. A página HTML é gerada.
10. O usuário recebe esta página.

7

Referências bibliográficas

- 1 BORT, J. *Here's The Microsoft Surface 2 Tablet Delta Bought 11,000 Pilots Instead Of iPads*. 2014. Disponível em: <<https://www.businessinsider.com/surface-2-tablet-delta-bought-pilots-2014-1>>. Acesso em: 01 maio 2024.
- 2 MOORMAN, R. *EFBs: More Than Paper Replacers*. 2018. Disponível em: <<https://interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/gca-link-april-2018/efbs-more-than-paper-replacers/>>. Acesso em: 01 maio 2024.
- 3 PRADZ. *Performance Calculation*. 2024. Disponível em: <<http://perfcalc.pradz.de/index.php>>. Acesso em: 25 abril 2024.
- 4 EMELYANOV, S. *The Pros and Cons of Enum Data Type in Database Design*. 2023. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/pros-cons-enum-data-type-database-design-sergey-emelyanov>>. Acesso em: 17 abril 2024.
- 5 CHESNEAU, B. *Deploying Gunicorn*. 2024. Disponível em: <<https://docs.gunicorn.org/en/latest/deploy.html>>. Acesso em: 24 abril 2024.
- 6 CHESNEAU, B. *How Many Workers*. 2024. Disponível em: <<https://docs.gunicorn.org/en/latest/design.html>>. Acesso em: 24 abril 2024.