

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.

21 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. 21p. 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. 21p.
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	Decodificação do METAR	11
1.1	Introdução	11
1.2	Exemplo	11
1.3	Algoritmo	13
2	Modelo de Dados	14
2.1	TABELA: City	15
2.2	TABELA: Aerodrome	15
2.3	TABELA: PavementType	16
2.4	TABELA: Runway	16
2.5	TABELA: CommunicationType	18
2.6	TABELA: Communication	18
2.7	TABELA: ILSCategory	19
2.8	TABELA: ILS	19
2.9	TABELA: VOR	20
3	Referências bibliográficas	21

Lista de figuras

Figura 2.1 Diagrama E/R

14

Lista de tabelas

Lista de Códigos

xxxxxxx epígrafe

epígrafe xxxxxxxxxxxxxxxxx, *epígrafe xxxxxxxxx.*

1

Decodificação do METAR

1.1

Introdução

O METAR é um protocolo de transmissão de dados meteorológicos de um aeroporto ou aeródromo. Não se trata de uma previsão do tempo, mas sim de uma visualização atual. O METAR é formado por itens separados por espaço. Cada item corresponde a uma unidade mínima de informação meteorológica. Com os dados de sensores instalados no aeródromo[1], a cada hora é publicado um novo METAR que é válido aquela hora. Em casos excepcionais quando as condições de tempo estiverem mudando repentinamente um METAR pode ser atualizado a cada meia hora [2]

1.2

Exemplo

O METAR no aeroporto de Fortaleza [3], no dia 17 de abril de 2024 às 10:54 foi 171300Z 15010KT 9999 BKN019 SCT025 FEW030TCU BKN100 30/25 Q1011

"SBFZ" se refere ao código ICAO (International Civil Aviation Organization) do aeroporto, não confundir com o código IATA (International Air Transport Association) que é formado por três letras. O aeroporto Pinto Martins possui o código IATA FOR, o Santos Dumont SDU e o Galeão GIG. O público geral parece conhecer mais este código, mas na aviação costuma-se usar mais o código ICAO, pois *todos* os aeródromos possuem um, enquanto o IATA só é presente em aeroportos onde há processamento de bagagem [4] [5].

O ICAO é formado por quatro letras em que a primeira é o prefixo da região. A América do Sul possui o prefixo "S", o Brasil possui o prefixo "SB", por isso que o Aeroporto de Fortaleza, Santos Dumont e Galeão possuem os códigos SBFZ, SBRJ e SBGL, respectivamente. Países com muitos aeroportos como os EUA, possuem como prefixo a letra K, logo as três letras ficam livres, podendo assim terem mais códigos para uso.

171300Z significa que este METAR se refere ao dia 17 às 13 horas e zero minuto zulu. Horário zulu é simplesmente no fuso horário da longitude de zero grau, chamado de hora UTC ou Coordinated Universal Time. [6] Para que não haja confusões com os horários, a aviação internacionalmente usa o horário

UTC. Este METAR, será válido até as 13:59, quando será substituído pelo METAR iniciando com "SBFZ 171400Z".

Note que a seguinte expressão regular com três grupos de captura conseguem extrair o dia a hora e o minuto.

`([0-9]{2})([0-9]{2})([0-9]{2})Z`

Com o METAR supracitado os grupos serão:

- Grupo 1 (dia): 17
- Grupo 2 (hora): 14
- Grupo 3 (minuto): 00

15010KT se refere a velocidade e direção do vento, os três primeiros algarismos a informam a direção, em graus, de onde o vento sopra e os últimos dois algarismos a velocidade do vento em nós (milhas náuticas por hora). Neste caso o vento vem da direção 150 graus com velocidade de dez nós. Com a expressão abaixo extraímos estas duas informações.

`([0-9]{3})([0-9]{2})KT`

A informação de vento pode também conter a letra G (gust) para rajadas e a letra V em um item separado para o caso de haver variação de direção. Por exemplo, um metar com os itens 10016G21KT 080V120 informa que há rajadas de até 21kt e a direção do vento podendo variar de 80 à 120 graus. Existem outros aeroportos que podem usar outras unidades para a velocidade do vento, mas no Brasil só é usado apenas nós (kt). Para obter estas informações usamos o regex `([0-9]{3}[0-9]{2}G[0-9]{2})` e `([0-9]{3})V([0-9]{3})`

9999 Significa visibilidade ilimitada (maior ou igual a 10km). Se fosse 6000 a visibilidade seria de 6km. Por ser sempre quatro algarismos o regex `([0-9]{4})` consegue capturar esta informação.

30/25 Temperatura 30°C e ponto de orvalho 25°C. Caso a temperatura seja negativa a letra M é adicionada antes do número. M2/M5 significa temperatura -2°C e ponto de orvalho -5°C. [7]

Q1012 O altímetro do avião deve ser referenciado para 1012 hecto pascal. Também pode ser usada a unidade polegadas de mercúrio (mmHg), mas no Brasil esta não é usada no METAR.

SCT025 Nuvens espalhadas (3/8 a 4/8 do céu com nuvens) em 2500 pés de altitude. 025 se refere ao nível de voo (Flight Level) que é a altitude acima do nível médio do mar com divisão exata por 100.

FEW030TCU Poucas nuvens (1/8 a 2/8 do céu com nuvens) em 3000 pés de altitude. O sufixo TCU significa que há nuvens convectivas significativas. [8]

BKN100 Nuvens broken (5/8 a 7/8 do céu com nuvens) em 10000 pés de altitude.

Existe também o tipo OVC (overcast) que se refere a totalmente encoberto.

1.3

Algoritmo

O objetivo do módulo de decoder é dar uma explicação semelhante a esta para qualquer tipo de METAR de aeroportos no Brasil. O módulo usa várias expressões regulares para decodificar uma grande quantidade de informações, porém não é exaustivo, foi dada a preferência a fenômenos que podem ocorrer no Brasil. Tirando o ICAO e a informação do dia e hora, os itens de informação não possuem uma ordem fixa.

O algoritmo deve separar a string do METAR pelo caractere de espaço. Para cada item separado, cada expressão regular é testada, caso uma combinação ocorra, os grupos de captura são interpolados em uma string que explica aquele item. Por exemplo, se o item "27008G16KT" é encontrado pela expressão $([0-9]\{3\})([0-9]\{2\})G([0-9]\{2\})KT$ e a string a ser interpolada é Vento \$1° com \$2 nós e rajadas de até \$3 nós, será gerada uma tupla (27008G16KT, Vento 270° com 8 nós e rajadas de até 16 nós). O retorno do algoritmo será uma lista de tuplas que serão enviar para o front-end.

2

Modelo de Dados

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.

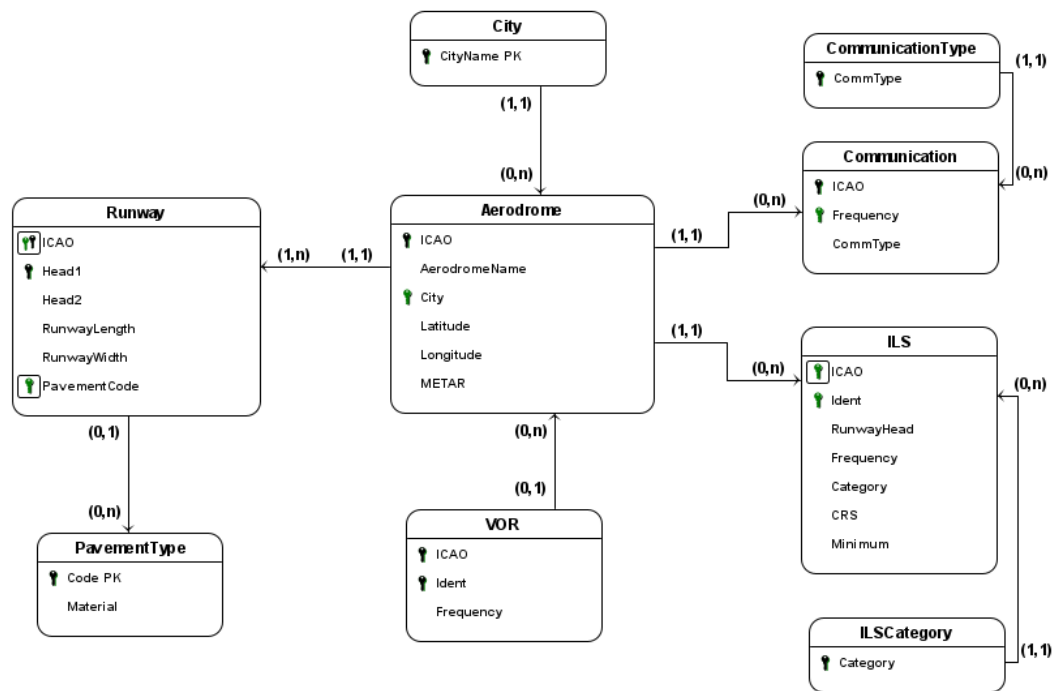


Figura 2.1: Diagrama E/R

Note que as tabelas "CommunicationType", "ILScategory" e "PavementType" poderiam ser substituídas por colunas enum nas tabelas "Communication", "ILS" e "Runway", porém a manutenção seria difícil [9], 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.

2.1

TABELA: City

2.1.1

CityName (PK)

Nome da cidade escrito em Português com a primeira letra maiúscula.

2.2

TABELA: Aerodrome

A tabela central para todas as outras, contém informações sobre o aeroporto ou aeródromo. Já que o segundo termo é mais geral que o primeiro, preferi usar este.

2.2.1

ICAO (PK)

O código ICAO do aeródromo emitido pela Organização Internacional de Aviação Civil (International Civil Aviation Organization). Por ser único, pode ser usado como chave primária.

2.2.2

AerodromeName

O nome do aeródromo conforme definido pelo AISWEB, sistema nacional de informações aeronáuticas.

2.2.3

City

Nome da cidade escrito em Português. A primeira letra é maiúscula. Chave estrangeira para a tabela **City**.

2.2.4

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.

2.2.5

Longitude

A longitude do aeroporto, seguindo o mesmo formato da latitude.

2.2.6

METAR

O METAR válido atualmente para este aeródromo. Considerei colocar o METAR como tabela separada com chave estrangeira para o aerodrómo para, deste modo, ter o METAR histórico. Mas, no contexto de planejamento de voo, os METARs anteriores não possuem muita serventia.

2.3

TABELA: PavementType

Material da superfície da pista, como asfalto, concreto, brita e outros.

2.3.1

Code

O código (em Inglês) do tipo de pavimento usado. É formado por três letras maiúsculas.

2.3.2

Material

O nome do pavimento em Português, com a primeira letra maiúscula.

Exemplo de tabela:

Code	Material
ASP	Asfalto
CON	Concreto
GVL	Brita

2.4

TABELA: Runway

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.

2.4.1

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'.

2.4.2

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.

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

2.4.2.1

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.

2.4.2.2

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).

2.4.2.3

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.

2.4.3

Head2

Número e possível letra que identifica a outra cabeceira da mesma pista.

2.4.4

RunwayLength

Comprimento da pista em metros.

2.4.5

RunwayWidth

Largura da pista em metros.

2.4.6

PavementCode (FK)

O tipo de pavimento da pista, referenciando a tabela 'PavementType'.

2.5

TABELA: CommunicationType

Esta tabela define os diferentes tipos de comunicação disponíveis em um aeródromo.

2.5.1

CommType

O tipo de comunicação, podendo ser "Torre", "Solo", "ATIS", "Tráfego" ou "Operação".

2.6

TABELA: Communication

Esta tabela guarda as frequências de comunicação utilizadas em um aeródromo. As frequências de radionavegação são colocadas nas tabelas "ILS" e "VOR".

2.6.1

ICAO (FK e PK)

O código ICAO do aeródromo ao qual a frequência de comunicação está associada, utilizado como chave estrangeira referenciando a tabela 'Aerodrome'.

2.6.2

Frequency (PK)

A frequência em MHz. ICAO e frequency formam chave primária. Note que uma frequência, não é única em todo o país, para distâncias longas, onde não há risco de interferência, é possível haverem frequências repetidas.

2.6.3

CommType (FK)

O tipo de comunicação, chave estrangeira para 'CommunicationType'.

2.7

TABELA: ILSCategory

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

2.7.1

Category

A categoria de ILS, sendo "CAT I", "CAT II", "CATIIIA", "CATIIIB" ou "CAT IIIC". Será explicado melhor em "Minimus" na tabela "ILS".

2.8

TABELA: ILS

Esta tabela descreve os Sistemas de Pouso por Instrumentos (Instrument Landing System) disponíveis no aeródromo.

2.8.1

ICAO (FK e PK)

O código ICAO do aeródromo ao qual o sistema de pouso está associado, utilizado como chave estrangeira referenciando a tabela 'Aerodrome'.

2.8.2

Ident (PK)

Identificação de três letras maiúsculas única do ILS para aquele aeródromo. Junto com ICAO formam a chave primária. Como no caso da comunicação, é possível haverem duas Ident iguais desde que não estejam próximas.

2.8.3

Frequency

A frequência de operação do ILS em MHz.

2.8.4

Category (FK)

A categoria do ILS, referenciando a tabela 'ILSCategory'.

2.8.5 CRS

A referência do curso de aproximação do ILS. É a proa final que a aeronave deve manter para o correto alinhamento nesta cabeceira.

2.8.6 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.

2.9 TABELA: VOR

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 caíndo em desuso.

2.9.1 Ident

Identificação única do VOR/DME para aquele aeródromo.

2.9.2 ICAO

O código ICAO do aeródromo ao qual o VOR/DME está associado, utilizado como chave estrangeira referenciando a tabela 'Aerodrome'.

2.9.3 Frequency

A frequência de operação do VOR/DME em MHz.

3

Referências bibliográficas

- 1 National Weather Service. *Information Reporting*. 2024. Disponível em: <<https://www.weather.gov/asos/InformationReporting.html>>. Acesso em: 17 abril 2024.
- 2 KOCH, S. *METAR / SPECI*. 2024. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/invacivil/meteorologia/metar>>. Acesso em: 08 abril 2024.
- 3 National Weather Service. *Aviation Weather Center*. 2024. Disponível em: <<https://aviationweather.gov/api/data/metar?ids=SBFZ>>. Acesso em: 17 abril 2024.
- 4 Airport Codes. *IATA codes*. 2024. Disponível em: <<https://airportcodes.io/en/iata-codes/>>. Acesso em: 16 abril 2024.
- 5 Airport Codes. *ICAO codes*. 2024. Disponível em: <<https://airportcodes.io/en/icao-codes/>>. Acesso em: 16 abril 2024.
- 6 NIST. *What are International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)?* 2023. Disponível em: <<https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/nist-time-frequently-asked-questions-faq>>. Acesso em: 17 abril 2024.
- 7 College of DuPage Weather Lab. *METAR HELP*. 2024. Disponível em: <<https://weather.cod.edu/notes/metar.html>>. Acesso em: 17 abril 2024.
- 8 Departamento de Controle do Espaço Aéreo. *Como decodificar o METAR e o SPECI?* 2024. Disponível em: <<https://ajuda.decea.mil.br/base-de-conhecimento/como-decodificar-o-metar-e-o-speci/>>. Acesso em: 17 abril 2024.
- 9 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.