



Instituto Superior Técnico

Desempenho

Professor: António José Nobre Martins Aguiar

Trabalho computacional

Conversão de unidades

Altimetria

Coordenadas

Autores

Francisco Alves, 95787

Pedro Farinha, 95838

Tomás Nunes, 95855

julho de 2021

Índice

1	Introdução	2
2	Instalação	2
3	Descrição do algoritmo e do programa	4
3.1	Menu principal	4
3.2	Conversor de unidades	5
3.3	Altimetria	6
3.4	Coordenadas	8
3.4.1	Distância & True Course	9
3.4.2	Determinar Coordenadas	10
4	Exemplos	11
5	Extras	16
5.1	Resistência de atrito	16
5.2	Propriedades da atmosfera	17
5.3	Planadores	18
6	Conclusão	19
7	Anexos	21

1 Introdução

Este trabalho computacional foi realizado no âmbito da cadeira de Desempenho e teve como foco a conversão de unidades, estudo da altimetria (estudo das relações entre QFE, QNH, altitude de pressão e altitude de pista) e a ilustração de distâncias ortodrómicas, rumos, pontos equidistantes, pontos a uma dada distância de outro, situados sobre uma determinada ortodrómica.

Também se procedeu à realização de três outros temas, que serão apenas abordados com a ilustração de exemplos do seu funcionamento.

Estes três temas extra são:

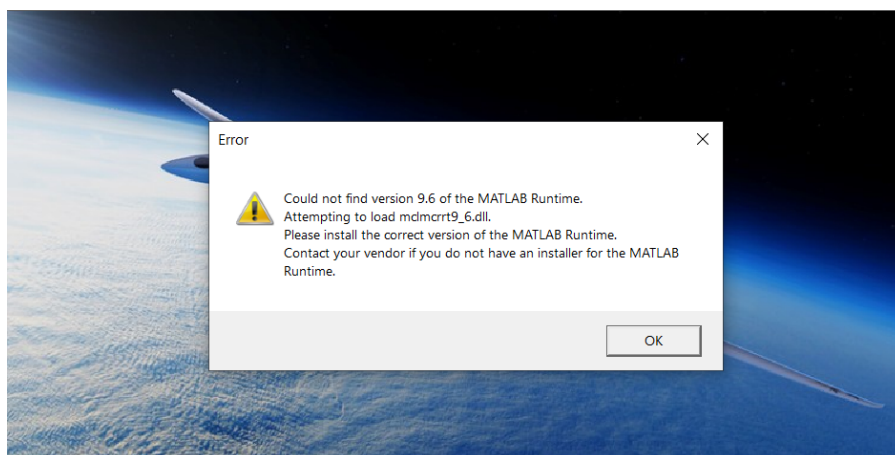
- Cálculo do gradiente mínimo de descida, da razão de descida mínima e tempos de descida e velocidades médias e iniciais correspondentes, para planadores, sendo dada a expressão da polar parabólica, a massa e a área das asas

- Cálculo da resistência total de atrito superficial numa placa rectangular

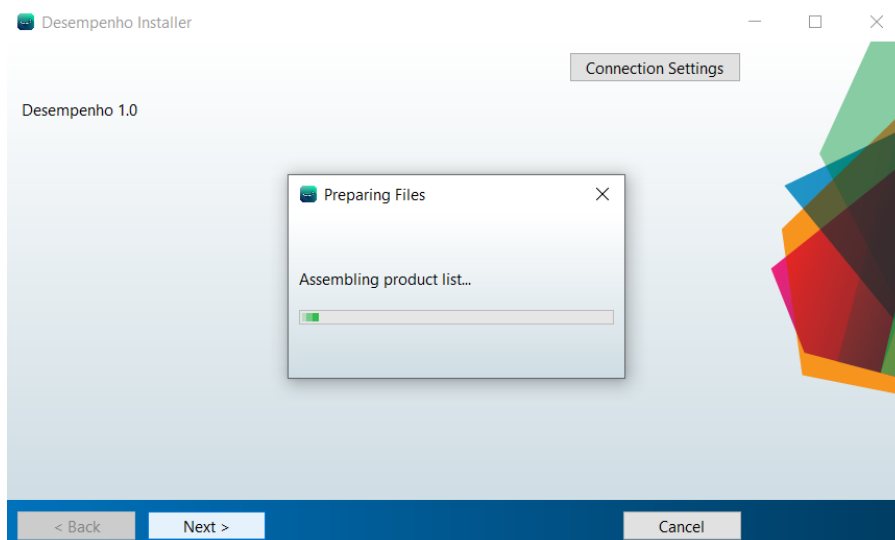
- Propriedades da atmosfera.

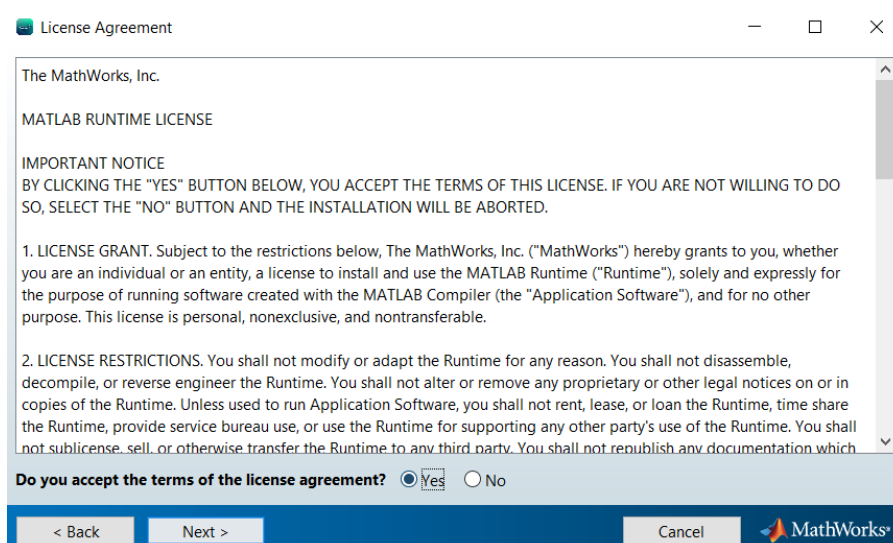
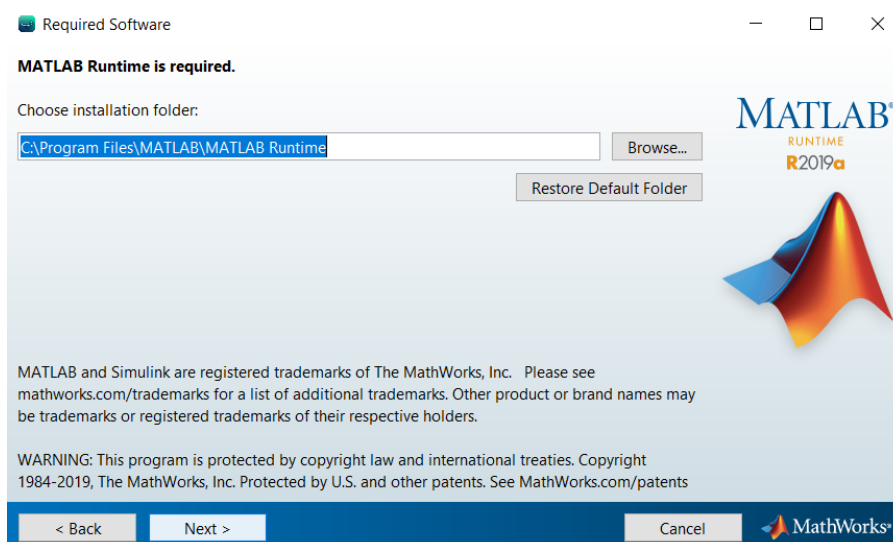
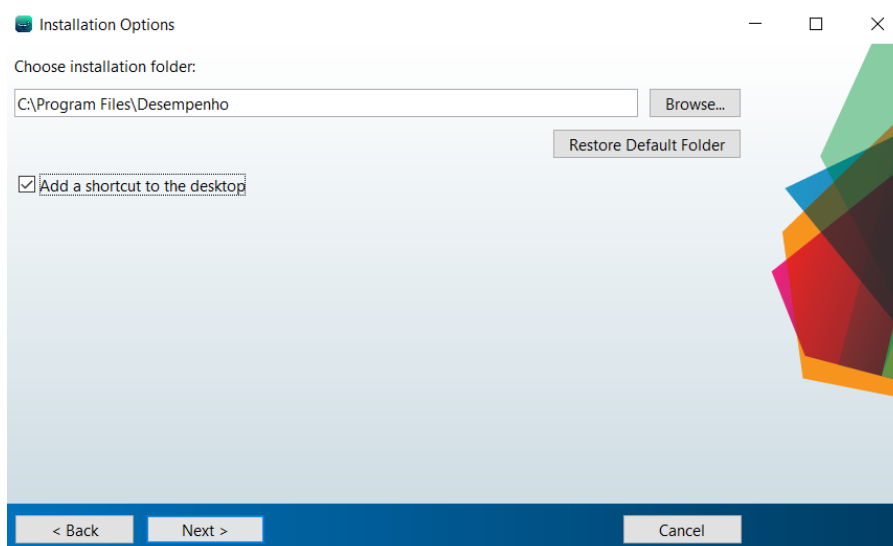
2 Instalação

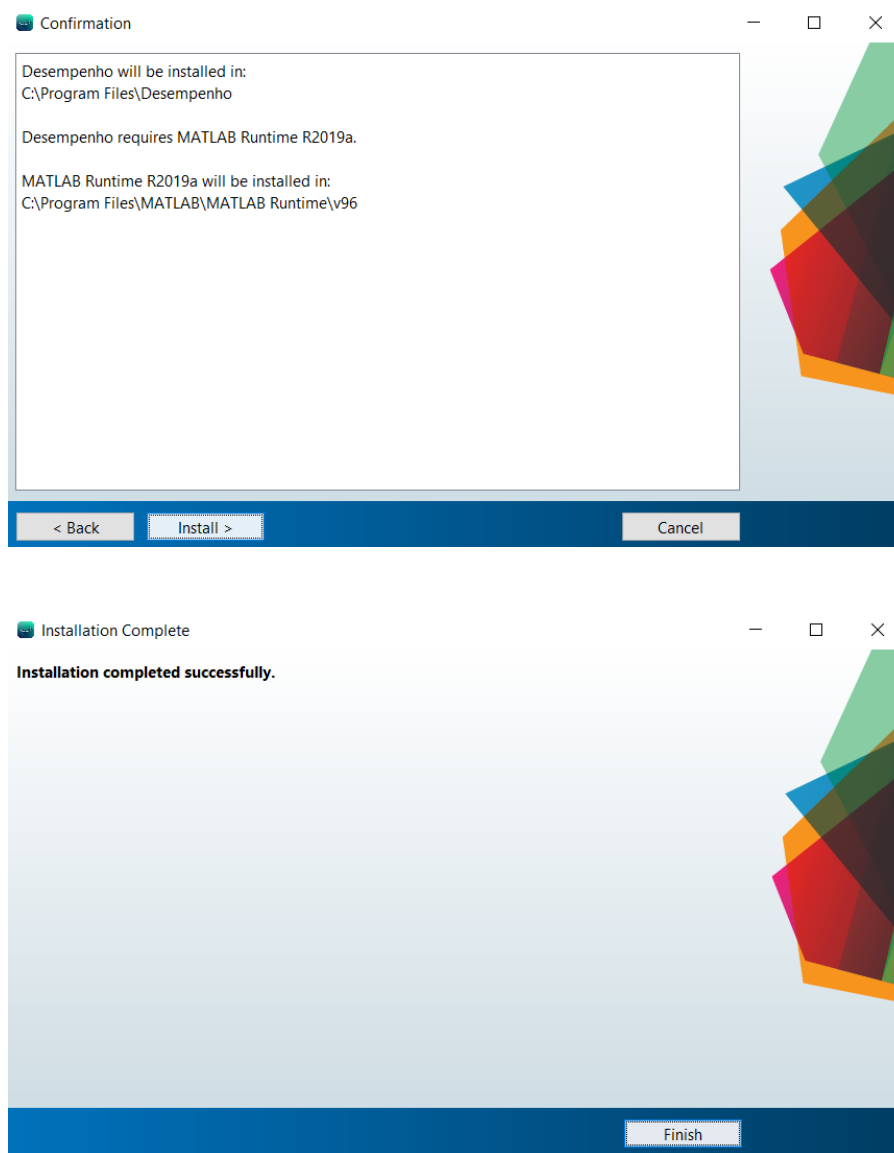
1. Na pasta "Trabalho de Desempenho", onde está este relatório também, o utilizador pode iniciar a aplicação caso tenha o mcr instalado. Caso não tenha aparecerá a seguinte mensagem ao tentar iniciar a aplicação.





2. Se surgir esta informação então o utilizador deve seguir os passos apresentados nas seguintes imagens, após clicar em "Desempenho&mcr_installer".







3. Após esta instalação, o utilizador pode iniciar a aplicação, tanto pelo ícone na pasta ou pelo ícone adicionado ao ambiente de trabalho
4. Se após a utilização for pretendida a desinstalação do programa ou o mcr, deve seleccionar as seguintes opções no painel de controlo (desinstalar um programa), respetivamente.

 Desempenho		17/07/2021	1.0
 MATLAB Runtime 9.6	MathWorks	17/07/2021	9.6

3 Descrição do algoritmo e do programa

3.1 Menu principal

Ao iniciar-se o programa, temos o menu principal que terá como única função apresentar as opções que o utilizador pode utilizar: "Conversor de unidades", "Resistência de atrito", "Propriedades da atmosfera", "Altimetria", "Planadores", "Coordenadas". Cada opção desencadeia a execução de uma função, que têm como objetivo correr o programa pretendido. Por exemplo, ao seleccionar-se a opção "Conversor de unidades", a função "menu_unit_conv" será executada.



Figura 1: Menu principal

3.2 Conversor de unidades

Após a seleção da opção de "Conversor de unidades", a função "menu_unit_conv" é executada, e é apresentado um novo menu ao utilizador onde se deverá introduzir o valor, a unidade de entrada e unidade para a qual se pretende converter.

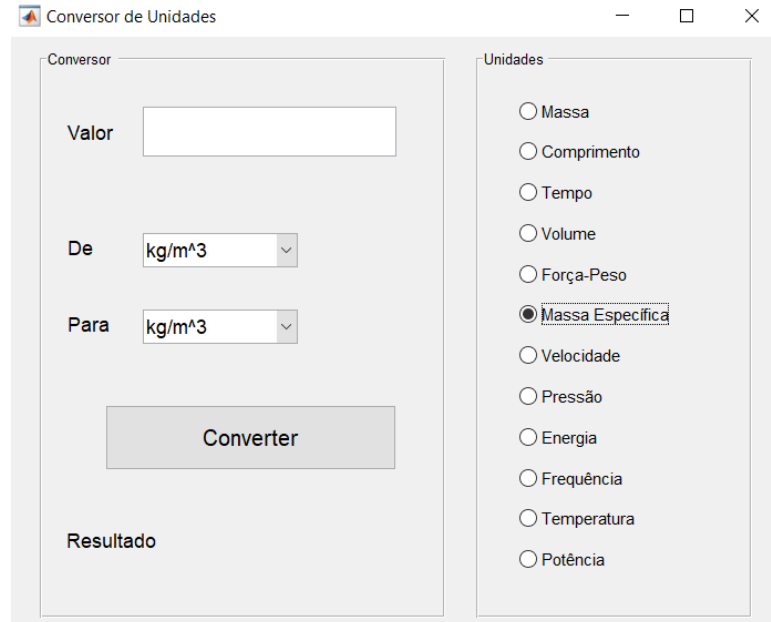


Figura 2: Menu de conversões

Através de uma função neste ficheiro, o programa lê a unidade que pretende ser analisada (massa, comprimento, tempo,...) e com a funcionalidade de "switch" serão alteradas as listas de unidades, respeitando a unidade escolhida. Por exemplo, caso seja escolhida a "massa", em "De" e em "Para" só aparecerão unidades de massa (kg, lb, slug, etc.). Pode-se ver dois exemplos do referido na seguinte figura.

Figura 3: Exemplo

De seguida, ao seleccionar-se "Converter", caso o valor seja inválido, por exemplo a introdução de letras, será apresentado um erro, caso contrário, será executada a função "convert", enviando para essa nova função, a unidade em estudo, as unidades de entrada e saída e o valor.

Nesta função, utiliza-se uma série de if's, lendo-se a string "unit", de modo a verificar-se que tipo de unidade está a ser analisada. Após ser encontrada a unidade converte-se o valor, primeiramente para unidade SI e depois converte-se para a unidade pretendida, que é devolvida para a função anterior e o resultado é apresentado no menu usando para isso a funcionalidade de "set".

Todas as conversões utilizadas são com base no ficheiro disponibilizado pelo professor responsável pela cadeira de Desempenho na página da cadeira, neste ano letivo, e encontra-se também em anexo neste relatório.

3.3 Altimetria

Para esta parte do programa, primeiramente serão apresentadas algumas definições e equações teóricas, para melhor compreensão do algoritmo e objetivo do projeto.

A altitude de pressão é a altitude na atmosfera padrão com a mesma pressão que está a ser medida na atmosfera em questão.

O QFE é a pressão ambiente ao nível da pista e é a pressão que numa atmosfera padrão corresponde à altitude de pressão quando o avião se encontra sobre a pista.

O QNH é a pressão que tem que se regular o altímetro de modo a que ele indique a altitude da pista quando o avião se encontra sobre ela, sendo a correção de altitude a altitude correspondente ao QNH.

Equações (unidades SI)

Troposfera:

$$p = 101325 \cdot \left(1 - \frac{0.0065 \cdot h}{288.15}\right)^{5.25588} \quad (3.1)$$

Estratosfera:

$$p = 22632 \cdot e^{-0000157688 \cdot (h-11000)} \quad (3.2)$$

E também se usou a seguinte relação:

$$h_{pista} = h_{QFE} - h_{QNH} \quad (3.3)$$

Seguindo o mesmo raciocínio do ponto anterior, caso seja do interesse do utilizador relacionar o QFE, QNH, altitude de pressão, altitude de correção e altitude de pista, ao se seleccionar a opção "altimetria" será executada a função "menu_altimetria".

Ao ser executado o programa referido anteriormente, surge um novo menu, onde ser possível seleccionar se queremos trabalhar com QFE ou altitude de pressão e QNH ou altitude de correção. Também permite que o utilizador indique que valores que utilizar para os dados já referidos e também para a altitude da pista, permitindo alterar as unidades.

Com o recurso à função presente na linha 123, também está presente neste menu a opção de fazer "reset", apagando todos os valores que já tinham sido colocados e repõe também as unidades predefinidas, unidades SI.

Figura 4: Menu da altimetria

Após se selecionar "Calcular", o programa irá ler a altitude da pista indicada, e caso não seja NaN (valor numérico indefinido ou irrepresentável), será convertido para a unidade SI, usando as funcionalidades já explicadas no programa de conversões de unidades.

De seguida, verifica-se se a opção selecionada é "QFE" ou "altitude de pressão" recorrendo à função de "switch". Caso seja a primeira opção, irá ler o valor introduzido, verificar se é NaN, e caso não seja converter para a unidade SI, tal como para o caso da altitude de pista, e irá definir a variável da altitude de pressão com NaN, lendo também a unidade que está escolhida para esta altitude. Caso a opção selecionada seja a segunda, o raciocínio é idêntico, trocando simplesmente QFE com a altitude de pressão.

O programa irá fazer o mesmo já explicado, agora para as opções "QNH" e "altitude de correção".

Figura 5: Escolha entre os dois casos possíveis

Depois do já referido, as variáveis serão enviadas para uma nova função chamada "altimetria", e essa mesma função irá devolver os valores de QFE, altitude de pressão, QNH, altitude de correção e altitude da pista.

De modo a ter as duas variáveis definidas (QFE e altitude de pressão), envia-se para uma outra função, "press_alt", os valores já existentes (que são os valores introduzidos pelo utilizador), e essa mesma função irá devolver as duas variáveis já calculadas, usando as equações 3.1 e 3.2. O mesmo raciocínio é aplicado para o QNH e a altitude de correção. De realçar que esta parte do programa só funciona caso haja valores definidos. Uma situação em que tanto o QFE como a altitude de pressão sejam NaN é abordada de maneira diferente.

Caso não tenha sido introduzida a altitude da pista, uma vez que já se tem a altitude de pressão e a altitude de correção obtém-se a altitude da pista, recorrendo à equação 3.3.

Caso a altitude da pista já tenha sido introduzida pelo utilizador, então compara-se com valor obtido através da equação 3.3 e se a diferença for menor que 2.5 %.

Ainda há mais duas possibilidades abordadas com este programa, que são as situações em que o utilizador não preenche todos os espaços disponíveis, sem contar com o espaço da altitude da pista. Caso não esteja definida a altitude de pressão e as outras duas altitudes estejam definidas, obtém-se a

altitude de pressão e depois, com a função "press_alt" também se obtém o QFE. Esta parte permite, que caso não tenha sido introduzido o QFE, mesmo assim se consiga obter o seu valor. E por fim temos o caso idêntico com a altitude de correção e o QNH. Em ambas as situações usa-se, mais uma vez, a equação 3.3.

Uma vez que todos os valores obtidos encontram-se em unidades SI e o programa permite que se escolha a unidade pretendida, recorre-se ao programa usado para conversões para colocar as variáveis com as unidades pretendidas.

Destaca-se também o uso de duas funções, que permitem trocar todas as informações do menu, consoante as escolhas QFE/altitude de pressão e QNH/altitude de correção, recorrendo à funcionalidade de "switch". Na figura seguinte pode-se ver esta função em trabalho, uma vez que se alterou entre QFE e a altitude de pressão e toda a apresentação alterou de modo a que o utilizador pudesse escrever o valor da variável pretendida e também seleccionasse as unidades pretendidas.

Figura 6: Exemplo

3.4 Coordenadas

Ao seleccionar a opção "Coordenadas" no menu será executada a função "menu_coord", que irá abrir um novo menu relativo a este tema. Este novo menu está dividido em dois painéis com funções distintas: "Distância & True Course" e "Determinar Coordenadas".

Figura 7: Menu de Coordenadas

3.4.1 Distância & True Course

O primeiro painel tem como objetivo calcular a distância ortodrômica e os quatro tipos de *True Course* relativos aos pontos P1 e P2 inseridos pelo utilizador.

Para tal, após se seleccionar "Calcular", a função referida anteriormente vai ler a seleção do ponto cardeal, o valor dos graus e minutos da latitude e longitude do P1 e P2, inseridos pelo utilizador. Caso o valor indicado seja inválido o programa irá indicar onde está o erro para facilitar a correção. Depois, estas variáveis serão enviadas para a função "dist_tc", que retorna a distância ortodrômica e os *True Course* relativos aos pontos P1 e P2.

Nesta função, obtém-se os valores das latitudes e longitudes em radianos, tendo em conta o sinal devido ao respetivo ponto cardeal. Com estes dados é possível obter a distância ortodrômica entre P1 e P2, usando a seguinte fórmula:

$$D_{P_1P_2} = 60 \cdot \arccos[\cos(Lat_{P_2} - Lat_{P_1}) + \cos(Lat_{P_2}) \cdot \cos(Lat_{P_1}) \cdot (-1 + \cos(Long_{P_2} - Long_{P_1}))] \quad (3.4)$$

Depois de obter esta distância é possível determinar os *True Course* desejados entre P1 e P2,

Se $Long_{P_1} < Long_{P_2}$:

$$TC_{P_1 \rightarrow P_2, P_1} = \arccos\left[\frac{\sin(Lat_{P_2})}{\sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60}) \cdot \cos(Lat_{P_1})} - \frac{\tan(Lat_{P_1})}{\tan(\frac{D_{P_1P_2}}{60})}\right] \quad (3.5)$$

$$TC_{P_2 \rightarrow P_1, P_2} = -\arccos\left[\frac{\sin(Lat_{P_1})}{\sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60}) \cdot \cos(Lat_{P_2})} - \frac{\tan(Lat_{P_2})}{\tan(\frac{D_{P_1P_2}}{60})}\right] \quad (3.6)$$

Se $Long_{P_1} = Long_{P_2}$ e $Lat_{P_1} < Lat_{P_2}$:

$$TC_{P_1 \rightarrow P_2, P_1} = 0 \quad (3.7)$$

$$TC_{P_2 \rightarrow P_1, P_2} = 180 \quad (3.8)$$

Se $Long_{P_1} = Long_{P_2}$ e $Lat_{P_1} > Lat_{P_2}$:

$$TC_{P_1 \rightarrow P_2, P_1} = 180 \quad (3.9)$$

$$TC_{P_2 \rightarrow P_1, P_2} = 0 \quad (3.10)$$

Se $Long_{P_1} > Long_{P_2}$:

$$TC_{P_1 \rightarrow P_2, P_1} = -\arccos\left[\frac{\sin(Lat_{P_2})}{\sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60}) \cdot \cos(Lat_{P_1})} - \frac{\tan(Lat_{P_1})}{\tan(\frac{D_{P_1P_2}}{60})}\right] \quad (3.11)$$

$$TC_{P_2 \rightarrow P_1, P_2} = \arccos\left[\frac{\sin(Lat_{P_1})}{\sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60}) \cdot \cos(Lat_{P_2})} - \frac{\tan(Lat_{P_2})}{\tan(\frac{D_{P_1P_2}}{60})}\right] \quad (3.12)$$

Com estes *True Course* determinados, é possível determinar os restantes,

$$TC_{P_2 \rightarrow P_1, P_1} = TC_{P_1 \rightarrow P_2, P_1} + 180 \quad (3.13)$$

$$TC_{P_1 \rightarrow P_2, P_2} = TC_{P_2 \rightarrow P_1, P_2} + 180 \quad (3.14)$$

Por fim, a distância ortodrômica é convertida para NM e os *True Courses* são convertidos para graus e colocados no intervalo de $[-180,180]$ antes de serem retornados para a função "menu_coord". Nesta função, a distância ortodrômica vai ser convertida para a unidade selecionada pelo utilizador, usando a função "convert", e usando a funcionalidade *set*, vai imprimir no ecrã a distância ortodrômica e os *True Courses* relativos a P1 e P2.

3.4.2 Determinar Coordenadas

O segundo painel tem como objetivo calcular a coordenada P2, usando a $D_{P_1P_2}$ e um dos quatro *True Courses* relativos a P1 e P2, inseridos pelo utilizador.

Para tal, após se seleccionar "Calcular", a função "menu_coord" vai ler a seleção do ponto cardeal, o valor dos graus e minutos da latitude e longitude do P1, a $D_{P_1P_2}$ e um dos quatro *True Courses* relativos a P1 e P2. Caso o valor indicado seja inválido o programa irá indicar onde está o erro para facilitar a correção. A função vai também ler a unidade da $D_{P_1P_2}$ inserida pelo utilizador e com a ajuda da função "convert" vai converter esta distância para a unidade SI. Depois, estas variáveis serão enviadas para a função "det_coord", que retorna duas strings que contêm as duas possíveis coordenadas de P2.

Nesta função, vai se obter os valores da latitude e longitude em radianos de P1, tendo em conta o sinal devido ao respetivo ponto cardeal e obter o *True Course* indicado pelo utilizador no intervalo de $[-180,180]$. Tendo estes valores e dependendo do *True Course* escolhido pelo utilizador é possível calcular as coordenadas de P2, para tal esta função utiliza a funcionalidade "switch" para separar os 4 casos,

Se *True Course* escolhido for "TC[P1-P2,P1]":

$$TC = TC[P1 - P2, P1] \quad (3.15)$$

$$Lat_{P_2} = \arcsin\left[\cos(TC) + \frac{\tan(Lat_{P_1})}{\tan(\frac{D_{P_1P_2}}{60})} \cdot \sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60}) \cdot \cos(Lat_{P_1})\right] \quad (3.16)$$

Se *True Course* escolhido for "TC[P2-P1,P1]":

$$TC = TC[P2 - P1, P1] - 180 \quad (3.17)$$

$$Lat_{P_2} = \arcsin\left[\cos(TC) + \frac{\tan(Lat_{P_1})}{\tan(\frac{D_{P_1P_2}}{60})} \cdot \sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60}) \cdot \cos(Lat_{P_1})\right] \quad (3.18)$$

Se *True Course* escolhido for "TC[P2-P1,P2]":

$$TC = TC[P2 - P1, P2] \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{\tan(\frac{D_{P_1P_2}}{60})} \\ B &= \cos(TC) \\ R &= \sqrt{A^2 + B^2} \\ \alpha &= \arctan\left(\frac{B}{A}\right) \\ Lat_{P_2} &= -\alpha + \arcsin\left[\frac{\sin(Lat_{P_1})}{R \cdot \sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60})}\right] \\ &\text{ou} \\ Lat_{P_2} &= -\alpha + \pi - \arcsin\left[\frac{\sin(Lat_{P_1})}{R \cdot \sin(\frac{D_{P_1P_2}}{60})}\right] \end{aligned} \quad (3.20)$$

Destas duas Lat_{P_2} escolhe-se a que estiver no intervalo $[-90,90]$.

Se *True Course* escolhido for "TC[P1-P2,P2]":

$$TC = TC[P1 - P2, P2] - 180 \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{\tan\left(\frac{D_{P_1P_2}}{60}\right)} \\ B &= \cos(TC) \\ R &= \sqrt{A^2 + B^2} \\ \alpha &= \arctan\left(\frac{B}{A}\right) \\ Lat_{P_2} &= -\alpha + \arcsin\left[\frac{\sin(Lat_{P_1})}{R \cdot \sin\left(\frac{D_{P_1P_2}}{60}\right)}\right] \\ &\text{ou} \\ Lat_{P_2} &= -\alpha + \pi - \arcsin\left[\frac{\sin(Lat_{P_1})}{R \cdot \sin\left(\frac{D_{P_1P_2}}{60}\right)}\right] \end{aligned} \quad (3.22)$$

Destas duas Lat_{P_2} escolhe-se a que estiver no intervalo $[-90,90]$.

Com estes valores pode-se obter as duas possíveis longitudes para P2,

$$Long_{P_2} = Long_{P_1} \pm \arccos\left[\frac{\cos\left(\frac{D_{P_1P_2}}{60}\right) - \cos(Lat_{P_2} - Lat_{P_1})}{\cos(Lat_{P_1}) \cdot \cos(Lat_{P_2})} + 1\right] \quad (3.23)$$

Por fim, esta função converte a latitude e longitudes de P2 para graus e minutos e determina os seus respetivos pontos cardeais dependendo do sinal. Com estes valores retorna-se duas strings com as coordenadas de P2 para a função "menu_coord", que as vai imprimir no ecrã.

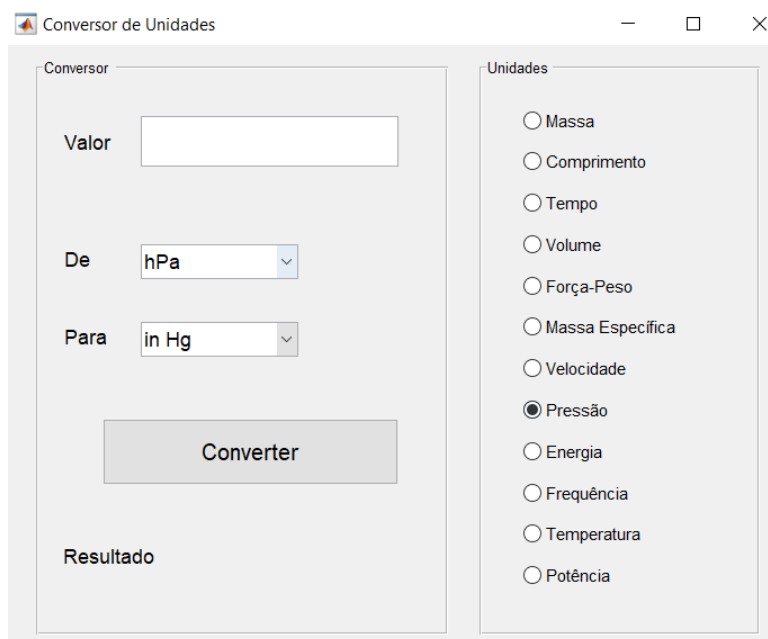
4 Exemplos

Nesta secção irá se exemplificar cada uma das opções já abordadas neste relatório. Primeiramente, exemplificamos a opção de conversão de unidades. Para isso recorreremos a um ex das aulas práticas em que é pedido a conversão de 1013.25 hPa para in_{Hg} . No anexo 7 está a resolução do exercício dada pelo professor.

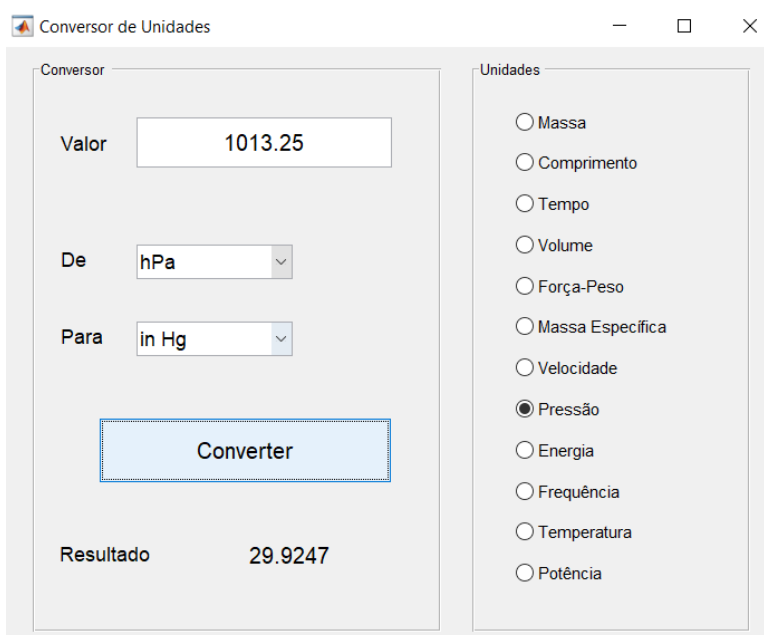
1. Selecionar a opção "Conversor de Unidades"



2. Selecionar a opção "pressão", no quadro da direita
3. Em "De" colocar a unidade hPa e em "Para" in Hg



4. Escrever o valor que se pretende converter e clicar em "Converter" e o resultado aparece, como se pode verificar



Como exemplo para o segundo tema deste projeto computacional escolheu-se o exemplo dado na aula teórica da segunda semana da cadeira de Desempenho de 2020/2021. Neste exemplo é nos pedido para calcular a altitude de pressão, a altitude de correção e o QNH. Os dados que se tem são: QFE=945.7 hPa e altitude da pista = 1318 ft. No anexo 7 está a imagem do exemplo dado em aula.

1. Selecionar a opção "Altimetria"



2. Selecionar "QFE" no primeiro quadro disponivel
3. Escrever os valores de QFE e da altitude da pista, nos respectivos espaços, e também escolher as unidades corretas. Neste caso não se preenche todos os espaços em branco, mas com as duas informações dadas será possível obter todos os valores, como foi explicado no algoritmo deste programa.

The screenshot shows the 'Altimetria' software window. It contains five rows of input fields, each with a label, a text box, and a unit dropdown menu. The first row is 'Altitude da Pista' with the value '1318' and unit 'ft'. The second row is 'QFE' with the value '945.7' and unit 'hPa'. The third row is 'Altitude de Pressão' with the value '-' and unit 'm'. The fourth row is 'QNH' with an empty text box and unit 'Pa'. The fifth row is 'Altitude de Correção' with the value '-' and unit 'm'. At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Reset'.

4. Escolher as unidades das variáveis de saída e clicar "Calcular"

The screenshot shows the 'Altimetria' software window after the calculation. The output values are displayed in the text boxes: 'Altitude da Pista' is '1318' (ft), 'QFE' is '945.7' (hPa), 'Altitude de Pressão' is '1896.7136' (ft), 'QNH' is '992.2384' (hPa), and 'Altitude de Correção' is '578.7136' (ft). The 'Calcular' button is highlighted with a blue border, indicating it was the last action performed.

Por fim, temos o programa de coordenadas. Neste exemplo usaremos o dados do exercício da semana 11, que segue em anexo em conjunto com a resolução do professor, que foi usada para verificar se os valores obtidos estavam corretos. 7.

1. Selecionar a opção "Coordenadas"



2. Introduzir de P e Q, nas entradas P1 e P2 e selecionar a opção "NM" , de modo a calcular a distância e o true course. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para Q e R.
3. Obtém o valor da distância entre os dois pontos e todos os true courses possíveis entre essas duas coordenadas. Verificamos, com a resolução, que os valores obtidos estão corretos.

Distância & True Course			
P1	N	39 24	E 4 42
P2	N	40 30	W 2 36
D[P1-P2]	342.0904	NM	
TC[P1-P2,P1]	-76.5488	deg	
TC[P2-P1,P1]	103.4512	deg	
TC[P2-P1,P2]	98.7598	deg	
TC[P1-P2,P2]	-81.2402	deg	

Buttons: Calcular, Reset

4. Para exemplificar a determinação de coordenadas, temos o caso em que já se sabe o true course entre Q e R, visto que de Q, a coordenada de Q e a distância entre Q e o ponto que se procura o valores das coordenadas. Portanto preenche-se os campos do lado direito do menu com as informações já referidas.

The screenshot shows a software window titled "Determinar Coordenadas". It contains several input fields and buttons. At the top, there are two rows of inputs for point P1: the first row has a dropdown menu set to "N", followed by text boxes containing "40" and "30"; the second row has a dropdown menu set to "W", followed by text boxes containing "2" and "36". Below these, there is a label "D[P1-P2]" followed by a text box containing "185.772" and a dropdown menu set to "NM". Further down, there is a label "TC[P1-P2,P1]" followed by a text box containing "-112.62" and the text "deg". At the bottom, there are two lines of text: "P2 N39 14.99 E001 5.49" and "P2 N39 14.99 W006 17.49". At the very bottom, there are two buttons: "Calcular" (highlighted with a blue border) and "Reset".

5 Extras

Nesta secção serão apresentados os temas extras, que não foram aprofundados na explicação do algoritmo, mas que se apresentam extremamente úteis na resolução de problemas da cadeira de Desempenho.

5.1 Resistência de atrito

Primeiro vamos apresentar a resolução do problema 2.8 Roskam, com recurso à opção de "Resistência de Atrito". O enunciado do problema segue em anexo 7.

1. Selecionar a opção "Resistência de Atrito"



2. Uma vez que nos é dado a informação que é para fazer os cálculos para o nível do mar, pode-se seleccionar a opção de "Altitude Densidade" e colocar 0 como valor, ou então seleccionar a opção "Densidade" e por 1.225 kg/m^3 . Devido à mesma informação a temperatura será 15°C . Depois preenche-se os restantes valores e as unidades corretas, de entrada e saída.
3. Depois clica-se em "Calcular" e obtém-se todos os valores intermédios, necessários caso fossem feitos os cálculos "à mão", e por fim apresenta-se o valor de resistência total, que tal como esperado é 11.7N .

5.2 Propriedades da atmosfera

Para este tema escolheu-se mais um exercício da coletânea de exercícios práticos, e que está em anexo 7

1. Seleccionar a opção "Propriedades da atmosfera".

2. Neste exemplo, basta preencher os valores do desvio de ISA e da temperatura dados no enunciado, escolher as unidades certas e calcular. Obtém-se então os valores de pressão (QFE), altitude de pressão, densidade, altitude de densidade e altitude de temperatura.

Propriedades da Atmosfera

Pressão 1069.9376 hPa

Altitude Pressão -1514.2338 ft

Densidade 1.2295 kg/m³

Altitude Densidade -126.1858 ft

Temperatura 30 °C

Altitude Temperatura -7571.169 ft

ΔISA 12 K

Calcular Reset

5.3 Planadores

De modo a exemplificar-se a opção de "Planadores" vai-se usar mais uma vez exercícios das aulas práticas, e que se apresentam em anexo 7. Primeiro, faremos o problema 8.7 da Roskam e depois o exercício 2.2 (último exercício desta coletânea de exercícios).

1. Selecionar a opção "Planadores".

Menu

DESEMPENHO

CONVERSOR DE UNIDADES

RESISTÊNCIA DE ATRITO

PROPRIEDADES DA ATMOSFERA

PLANADORES

ALTIMETRIA

COORDENADAS

2. Para resolver o problema 8.7, a densidade é constante, então seleciona-se essa opção e preenche-se na caixa que permite indicar a altitude ou densidade, o valor da densidade do mar (1.225 kg/m^3). Uma vez que todos os cálculos no programa o permitem, em vez de se pôr a valor real da massa e da área, pode-se pôr na massa 12 lb e na área 1 ft^2 . Os restantes valores são retirados do enunciado, com atenção às unidades.

3. Clicar em "Calcular". Obtém-se então os valores De CD, CL, velocidade, RD, alcance, tempo de descida e gradiente para as duas situações habitualmente estudadas, gradiente de descida mínimo e razão de descida mínima.

4. De modo a exemplificar a opção "Altura máxima e Altura mínima", temos o exercício 2.2. Neste preenche-se todos os valores segundo o enunciado, sendo apenas necessário calcular a área, usando para isso a expressão $A = b^2/S$, sendo S a área.

5. Os valores obtidos são para os mesmos dados do exemplo anterior, destacando-se o valor de velocidade média para a razão de descida mínima que deu muito perto da solução obtida com o cálculo "à mão", a diferença deve-se a arredondamentos nos cálculos manuais.

6 Conclusão

A realização deste trabalho permitiu melhorar vários aspetos para os integrantes deste grupo. Destaca-se o aprofundamento e melhor compreensão da matéria abordada ao longo deste semestre e também a percepção da importância dos vários temas abordados para qualquer engenheiro no ramo

aeronáutico. Também podemos referir uma maior aprendizagem do uso e praticidade do Matlab e de várias funcionalidades, em particular o GUI.

7 Anexos

$$1013.25 \text{ hPa} = 101325 \times \frac{1}{3386} \text{ in}_{\text{Hg}} = 29.92 \text{ in}_{\text{Hg}} =$$

Figura 8: Exemplo de conversão

Calculation example

Dados: QFE = 945.7 hPa, Altitude de pista = 1318 ft
 Determinar: Altitude de pressão, Correção de altitude, QNH.

$h_p = h_{[ISA]}(QFE) = ?$
 $Alt_{corr} = h_p - 1318 = ?$
 $QNH = p_{[ISA]}(\text{correção de altitude}) = ?$

Resultados:
 $h_p = 1896.7 \text{ ft}$
 $Alt_{corr} = 578.7 \text{ ft}$
 $QNH = 992.24 \text{ hPa}$

(hPa)	(ft)	
945.7		Pressure Altitude
		<div style="border-left: 1px solid black; height: 100px; margin: 0 auto; position: relative;"> <div style="position: absolute; top: 0; left: -5px;">945.7</div> <div style="position: absolute; bottom: 0; left: -5px;">QNH</div> <div style="position: absolute; top: 50%; left: -5px;">1318 ft</div> </div>
		Altitude Correction
		<div style="border-top: 1px solid black; width: 50px; margin: 0 auto; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: -5px; top: -5px;">ISA</div> </div>

15

Figura 9: Exemplo de altimetria

Problema 2.8 Roskam:

- 2.8 Consider the stabilizer on a light airplane as a flat plate for the purpose of determining its skin friction drag. If the transition Reynolds number is 750,000, what is the total friction drag of a rectangular stabilizer having a span of 6 ft and a chord of 3 ft at a speed of 100 mph? Assume standard sealevel conditions.

Sol: $D_{f_{tot}} = 11.7 \text{ N}$

Figura 10: Exemplo de Resistência de Atrito

Problema do 1º Teste de 2010.05.14

- | | |
|---|--|
| 0.5 Val
2.0 Val
0.5 Val
0.5 Val
1.5 Val | 1. Um avião pretende descolar de Lisboa (altitude de 374 ft). É conhecido o desvio de ISA, de +12°C, e a temperatura ambiente de 30°C.
Determine:
a) O QFE padrão.
b) O QFE nesse instante e a altitude de pressão.
c) A altitude de densidade.
d) A altitude de temperatura.
e) Qual o erro de indicação do altímetro se for regulado para 1013.25 hPa. |
|---|--|

Sol: a) $QFE_{std} = 999.63$ hPa; b) $QFE = 1069.94$ hPa, $h_p = -1514.2$ ft; c) $h_d = -126.2$ ft; d) $h_t = -7571.2$ ft; e) erro = -1888.2 ft

Figura 11: Exemplo das Propriedades da atmosfera

Problema 8.7 Roskam:

8.7 A glider weighs 800 lbs and has a wing loading of 12 lbs/ft². Its drag polar is:

$$C_D = 0.0100 + 0.0220 C_L^2$$

Assume that the glider is launched at 1,500 ft in still air and over level ground. Assume standard atmospheric conditions. Calculate the following:

- the greatest distance it can cover along the ground
- the speed for the greatest distance it can cover along the ground
- the longest duration it can stay airborne
- the speed for the longest duration it can stay airborne

Assume that the effect of changing density can be neglected.

Figura 12: Ex 8.7 Roskam. Exemplo de planadores

As soluções deste exercício são: a) 15412.2 b) 37.2929 c) 471.342 d) 28.3344.

- | | |
|--|---|
| 1.5 Val
1.0 Val
2.5 Val

1.0 Val | 2. A equação polar de resistência de um planador, com uma massa de 850 kg e um factor de eficiência de Oswald de 0.95 e uma envergadura de 20 m, é dada pela expressão: $C_D = 0.021 + 0.021 C_L^2$.
Em atmosfera padrão,
2.1 Determine para a altitude de 18 000 ft, os seguintes valores:
a) O gradiente de descida e a razão de descida para menor razão de descida (em % e ft/min).
b) A velocidade para gradiente de descida mínimo (em kt).
2.2 Determine a velocidade média de descida para tempo máximo no ar numa descida desde 33000 ft até ao solo situado a 3000 ft de altitude (Nota: não despreze a variação de densidade com a altitude).
2.3 Qual o erro cometido no cálculo do tempo de descida se se utilizar a razão de descida obtida em 2.1 a)? |
|--|---|

Sol: 2.1 a) $\sin \gamma = 4.84\%$, $RD = 1.1353$ m/s = 223.5 ft/min; 2.1 b) $v = 30.85$ m/s = 60.0 kt; 2.2 $v_{méd} = 23.27$ m/s = 45.2 kt; 2.3 erro = -57.0 s = -0.7%

Figura 13: Ex 2 (com destaque para o 2.2). Exemplo de planadores

4. Um avião A319 desloca-se a LRC, com o Total Anti-Ice "ON", em atmosfera padrão, a uma altitude de 39 000 ft, seguindo uma rota que passa pelos pontos P, Q e R de coordenadas N39 24.0 E004 42.0, N40 30.0 W002 36.0 e N38 30.0 W008 18.0 respectivamente. Quando passa pelo ponto P, tem uma massa de 49 000 kg. Admitindo que o vento sopra de 140 com 60 kt de intensidade, ao longo de todo o percurso, determine:

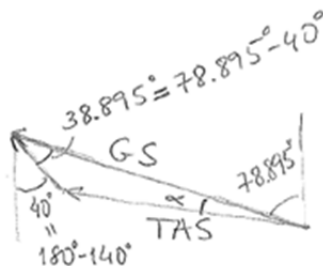
3.5 Val

- a) as coordenadas do ponto onde o avião se encontra 25 minutos após a passagem pelo ponto Q.

P N 39 24.0 E004 42.0 - GW = 49 000 kg
 Q N 40 30.0 W002 36.0
 R N 38 30.0 W008 18.0

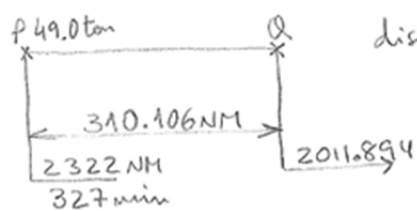
a) $TC_{P-Q} = \frac{-76.549 - 81.240}{-78.895} = -78.895^\circ$

$DPQ = 342.090 \text{ NM}$ $TC_{P-Q,P} = -76.549^\circ$
 $DQR = 289.821 \text{ NM}$ $TC_{Q-R,Q} = -112.620^\circ$
 $TC_{P-Q,Q} = 180 + TC_{Q-R,Q} = 180 - 112.620^\circ = 67.380^\circ$
 $TC_{P-Q,Q} = 180 + TC_{P-Q,P} = 180 - 76.549^\circ = 103.451^\circ$
 $TC_{P-Q,Q} = 180 + TC_{P-Q,Q} = 180 + 67.380^\circ = 247.380^\circ$
 $TC_{P-Q,Q} = 247.380^\circ - 180^\circ = 67.380^\circ$
 $TC_{P-Q,Q} = 67.380^\circ - 78.895^\circ = -11.515^\circ$



1ª iteração: arbitra-se $TAS = 437$
 $\frac{60}{\sin \alpha} = \frac{437}{\sin 38.895^\circ} = \frac{GS}{\sin (180 - 38.895 - \alpha)}$
 $\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{60 \sin 38.895^\circ}{437} \right) = 4.9456^\circ$
 $GS = 437 \times \frac{\sin (141.105^\circ - 4.9456^\circ)}{\sin 38.895^\circ}$
 $= 482.071 \text{ kt}$

$ADIST = 342.09 \times \frac{437}{482.071} = 310.106 \text{ NM}$



$dist_Q = 2322 - 310.106 = 2011.894 \text{ NM}$

Dist	GW	Time
1979	47.6	280
2029	47.8	287

Considerando a correspondência
 Interpolando para: 47.732 < 47.0 ton - TAS = 432
 49.0 ton - TAS = 439

Valor médio entre 49 ton e 47.732 ton: $\frac{439 + 434.562}{2} = 436.78 \text{ kt}$

Nova iteração: $TAS = 436.78 \text{ kt}$

$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{60 \sin 38.895^\circ}{436.78} \right) = 4.948^\circ$

$GS = 436.78 \frac{\sin (141.105^\circ - 4.948^\circ)}{\sin 38.895^\circ}$
 $= 481.849 \text{ kt}$

$ADIST = 342.09 \times \frac{436.78}{481.849} = 310.827 \text{ NM}$

$dist_Q = 2322 - 310.827 = 2011.173 \text{ NM}$

Nova TAS (para 47.729 ton): 434.552 kt Média: $\frac{439 + 434.552}{2} = 436.78 \text{ kt}$

idêntica à anterior, pelo que se interrompe o processo iterativo.

Com total Anti-Ice ON, o consumo aumenta 7%:

$49000 - 47729 = 1271 \text{ kg}$ $1271 \times 1.07 = 1359.97 \text{ kg} \approx 1360 \text{ kg}$

$GW_Q = 49000 - 1360 = 47640 \text{ kg}$

$\Delta t_{P-Q} = 327 - 284.5 = 42.5 \text{ min}$ da tabela

25 min após Q o tempo é de $281.4 - 25 = 256.4 \text{ min}$

Interpolando na tabela 256.4 < 253 GW Dist

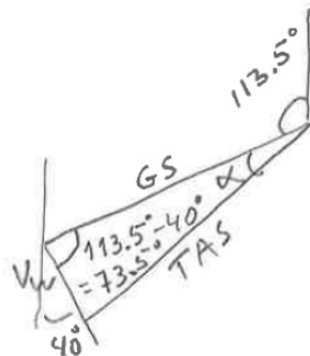
Interpolando no peso para obter a TAS: 46.897 < 45 426

Para 47640 kg $\rightarrow TAS = 434.24 \text{ kt}$ $TAS_{Q-25} = (431.69 + 434.24)/2 = 432.97 \text{ kt}$

A DIST a percorrer e' de $432.97 \times \frac{25}{60} = 180.404 \text{ NM}$

O $TC_{Q-R,R} = -116.248^\circ$, $\overline{TC}_{Q-R} = -114.434^\circ$

Arbitra-se $\overline{TC}_{Q-25} = -113.5^\circ$ uma vez que ainda não são conhecidas as coordenadas do ponto.



$$\frac{432.97}{\sin 73.5^\circ} = \frac{60}{\sin \alpha} = \frac{GS}{\sin(180^\circ - 73.5^\circ - \alpha)}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(60 \frac{\sin 73.5^\circ}{432.97}\right) = 7.635532^\circ$$

$$GS = 432.97 \frac{\sin(106.5^\circ - 7.635532^\circ)}{\sin 73.5^\circ} = 446.172 \text{ kt}$$

$$G-DIST = 446.172 \times \frac{25}{60} = 185.905 \text{ NM}$$

Com esta distância, podemos determinar as coordenadas do ponto 25' após Q.

$$TC_{Q-R,Q} = -112.62^\circ = TC_{Q-25,Q}$$

$$D_{Q-25} = 185.905 \text{ NM}$$

$$\overline{TC}_{Q-25} = \frac{-112.62^\circ - 114.989^\circ}{2} = -113.805^\circ$$

As equações passam a:

$$\frac{432.97}{\sin 73.805^\circ} = \frac{60}{\sin \alpha} = \frac{GS}{\sin(106.195^\circ - \alpha)}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(60 \frac{\sin 73.805^\circ}{432.97}\right) = 7.647535^\circ$$

$$GS = 432.97 \frac{\sin(106.195^\circ - 7.647535^\circ)}{\sin 73.805^\circ} = 445.85 \text{ kt}$$

$$G-DIST = 445.85 \times \frac{25}{60} = 185.772 \text{ NM}$$

Novas coordenadas:

$$25' \rightarrow N 39 15.0 \quad W 006 17.5$$

$$(14.99056)$$

$$(17.4852)$$

$$\overline{TC}_{Q-25} = \frac{-112.62 - 114.987}{2} = -113.804^\circ \quad (113.804 - 40 = 73.804^\circ)$$

As equações passam a:

$$\frac{432.97}{\sin 73.804^\circ} = \frac{60}{\sin \alpha} = \frac{GS}{\sin(106.196^\circ - \alpha)}$$

$$\alpha = 7.647496^\circ$$

$$GS = 445.85 \text{ kt}$$

G-DIST da' o mesmo valor, uma vez que a GS e' a mesma da iteração anterior.

$$\text{Coordenadas } 25' \rightarrow N 39 15.0 \quad W 006 17.5 //$$

Conversão de algumas unidades

Massa:

Dimensão: M Unidade SI: kg (quilograma)

1 lb = **0.45359237** kg 1 oz = 1/16 lb = **28.349523125** g (ounce – onça)
 1 slug = 14.593903 kg 1 c = 0.2 g (carat – quilate)
 1 st = 14 lb = **6.35029318** kg (stone)

Comprimento:

Dimensão: L Unidade SI: m (metro)

1 ft = **0.3048** m (foot – pé)
 1 mile = **1 609** m (statute mile - milha terrestre)
 1 NM \approx 1 852 m = 6 076.1 ft (nautical mile – milha náutica)
 1 in = **0.0254** m (inch - polegada) 1 yd = 3 ft = 36 in = **0.9144** m (yard – jarda)

Tempo:

Dimensão: T Unidade SI: s (segundo)

Volume: (L^3)

1 ℓ = 1 dm³ = 0.001 m³ 1 cup = 240 mL (cup – chávena)
 1 UK gal = **4.54609** ℓ 1/8 gal = 1 pint = 20 fl oz = **568.26125** mL (Imperial gallon, pint, ounce)
 1 US gal = **3.785411784** ℓ 1/8 gal = 1 pint = 16 fl oz = **473.176473** mL (US gallon, pint, ounce)

Força, Peso: (MLT^{-2}) N (newton)

1 lb-f = 4.448221615 N 1 dyne = **10⁻⁵** N
 1 kg-f = 9.80665 N

Massa específica: (ML^{-3})

1 lb/ft³ = **0.45359237** kg / **0.3048**³ m³ = **16.0184633739601** kg/m³
 1 slug/ft³ = 515.4 kg/m³

Velocidade: (LT^{-1})

1 ft/min = **0.00508** m/s
 1 km/h = 0.2778 m/s
 1 kt = 1 NM/h = 1.852 km/h = 0.514(4) m/s = 1.6878 ft/s (knot - nó)
 1 mph = 1.609 km/h = 0.4470 m/s (mile per hour – milha por hora)

Pressão: ($ML^{-1}T^{-2}$) Pa (pascal)

1 bar = **10⁵** N/m² = **10⁵** Pa 1 atm = **101 325** Pa = **1 013.25** hPa
 1 mbar = **100** Pa = **1** hPa 1 lb-f/in² = 6 895 N/m²
 1 in H₂O = 249.1 N/m² (polegada de água)
 1 in Hg = 3 386 N/m² (polegada de mercúrio)

Energia: (ML^2T^{-2}) J (joule)

1 ft-lb-f = 1.356 J 1 cal = 4.187 J (caloria) 1 W-h = **3 600** J
 1 Btu = 1055 J (British thermal unit)

Frequência: (T^{-1}) Hz (hertz)

1 Hz = 2 π rad/s
 1 rpm = 2 π rad/60s = 0.10471975512 rad/s

Potência: (ML^2T^{-3}) W (watt)

1 bhp = 745.7 W (brake horse power - cavalo)
 1 cv = 735 W (cavalo vapor)
 1 kcal/h = 0.8598 W

Temperatura: K (kelvin)

t (°C) = T (K) - 273.15 (grau Celsius)
 t (°F) = T (R) - 459.67 (grau Fahrenheit)
 t (°F) = 32 + 1.8 · t (°C)
 1 K = 1.8 R (rankyne)