



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102013004148-3 A2



(22) Data do Depósito: 22/02/2013

(43) Data da Publicação: 06/02/2018

(54) Título: MÉTODO PARA VOO DE UMA AERONAVE

(51) Int. Cl.: B64D 45/00; G01C 21/12

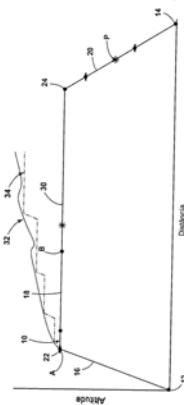
(30) Prioridade Unionista: 23/02/2012 US 13/402,986

(73) Titular(es): GE AVIATION SYSTEMS LLC

(72) Inventor(es): JOEL KENNETH KLOOSTER

(74) Procurador(es): CAROLINA NAKATA

(57) Resumo: Trata-se de um método para o voo de uma aeronave, em que a aeronave tem um desempenho de voo associado, ao longo de um curso de voo com base na determinação de um perfil de altitude para uma subida de cruzeiro ao longo de um curso de voo com base no desempenho de voo da aeronave e conduzir a aeronave ao longo de um curso de voo para que se aproxime do perfil de altitude. O método para voo de uma aeronave, o qual tem um desempenho de voo associado, ao longo de um curso de voo (10), o método sendo caracterizado pelo fato de compreender as etapas de: determinar um perfil de altitude para uma subida de cruzeiro (32) ao longo de um curso de voo (10) baseado no desempenho de voo da aeronave; determinar níveis legais de voo (46,48,50,52) ao longo de um curso de voo (10); e conduzir a aeronave ao longo de um curso de voo (10) de uma maneira em etapas (64) entre os níveis legais de voo (46,48,50,52) para que se aproxime do perfil de altitude (32) submetido a pelo menos uma restrição na variação entre os níveis legais de voo (46,48,50,52).



“MÉTODO PARA VOO DE UMA AERONAVE”

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

No voo de aeronaves contemporâneas, dados meteorológicos em pontos de rota ao longo de um curso de voo de aeronave podem ser considerados para determinar um tempo estimado de chegada e queima de combustível durante o voo de uma aeronave. Dados climáticos, em geral, e dados de vento (direção e velocidade em altitude) e dados de temperatura (temperatura em altitude), em particular, têm um impacto significativo em custos de voo. Especificamente, o combustível consumido e a duração do voo são significativamente impactados pelas velocidades de vento, direções do vento e temperaturas atmosféricas. Um sistema de gerenciamento de voo (FMS) pode considerar dados de velocidade de vento e de temperatura que são transferidos por upload para o FMS a partir de uma estação terrestre por meio de um sistema de comunicações enquanto a aeronave está em voo ou que são inseridos pelo piloto. Embora a quantidade de dados meteorológicos disponíveis seja grande e pode incluir múltiplos pontos ao longo ou perto do curso de voo de aeronave, existem limites práticos para o uso em tempo real dessa grande quantidade de dados. Por exemplo, o FMS pode estar limitado ao número de pontos de dados em que dados climáticos podem ser introduzidos.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

Em uma modalidade, um método para voo de uma aeronave, que tem um envelope de desempenho associado, ao longo de um curso de voo inclui determinar um perfil de altitude para uma subida progressiva ao longo do curso de voo baseada no envelope de desempenho da aeronave, determinar níveis legais de voo ao longo do curso de voo e conduzir a aeronave ao longo do curso de voo de uma maneira em etapas entre os níveis legais de voo para que se aproxime do perfil de altitude submetido a pelo menos uma restrição na

alternância entre os níveis legais de voo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Nos desenhos:

A Figura 1 é uma ilustração gráfica esquemática de diversos 5 cursos de voo para uma aeronave que inclui um curso de voo de acordo com uma modalidade da invenção;

A Figura 2 é uma ilustração esquemática gráfica de resultados de um método de acordo com uma modalidade da invenção; e

A Figura 3 é uma ilustração esquemática gráfica de resultados de 10 um método de acordo com uma modalidade da invenção.

Descrição de Modalidades da Invenção

Um curso de voo para uma aeronave geralmente inclui uma subida, um cruzeiro e uma descida. A maioria das aeronaves contemporâneas inclui um FMS para gerar uma trajetória de curso de voo 10 e conduzir a 15 aeronave ao longo de uma trajetória de curso de voo 10. O FMS pode gerar automaticamente a trajetória de curso de voo 10 para a aeronave com base em comandos, dados de pontos de rota e informações adicionais, tais como dados climáticos, sendo que todos podem ser recebidos a partir de um centro de operações de companhias aéreas ou do piloto. Tais informações podem ser 20 enviadas para uma aeronave com o uso de um enlace de comunicação. O enlace de comunicação pode ser qualquer variedade de mecanismos de comunicação que inclui, mas sem limitação, rádio de pacote e enlace ascendente de satélite. Com fins exemplificativos não limitantes, o Sistema de Relatório e Gerenciamento de Comunicações (ACARS) da aeronave é um 25 sistema de enlace de dados digital para transmissão de mensagens entre a aeronave e estações terrestres por meio de rádio ou satélite. As informações também podem ser inseridas pelo piloto.

A Figura 1 é uma ilustração esquemática de um curso de voo

para uma aeronave na forma de uma trajetória de aeronave 10. A trajetória inicia-se em um ponto de partida 12, tal como o aeroporto de partida, e termina em um ponto final 14, tal como o aeroporto de destino. Ao trajeto entre o ponto de partida 12 e o ponto final 14 inclui uma fase de subida 16, uma fase de 5 cruzeiro 18 e uma fase de descida 20, sendo que todos estão inclusos na trajetória 10.

As fases de subida, cruzeiro e descida 16, 18 e 20 são normalmente inseridas em um FMS como pontos de dados. Para propósitos da 10 presente descrição, o termo pontos de dados pode incluir qualquer tipo de pontos de dados que incluem pontos de rotas, pontos de passagem de rota e altitudes e não está limitado a uma posição geográfica específica. Por exemplo, os pontos de dados podem apenas ser uma altitude ou podem ser uma 15 localização geográfica específica, a qual pode ser representada por qualquer sistema de coordenadas, tal como longitude e latitude. Com fins exemplificativos não limitantes, um ponto de dado pode ser 3-D ou 4-D; uma descrição em quatro dimensões da trajetória da aeronave 10 define onde, no espaço em 3D, a aeronave está em qualquer ponto de tempo dado. Cada um dos pontos de dados pode incluir informações associadas, tais como dados 20 climáticos, que podem incluir dados de temperatura e dados de vento, com ou sem direção do vento.

Para a subida, pontos de dados correspondentes à altitude A no início da subida 22 podem ser inseridos, para a fase de cruzeiro 18, pontos de passagem de rota B podem ser inseridos; e para a fase de descida 20, várias altitudes podem ser inseridas. Após a decolagem, uma aeronave se mantém 25 tipicamente na fase de subida 16 até o início de subida 22 e, então, segue os pontos de passagem de rota durante a fase de cruzeiro 18 até o início da descida 24, em que inicia, então, a fase de descida 20. As altitudes A na fase de subida 16 e na fase de descida 20 são pontos de rota no sentido de que a

aeronave está alcançando sua trajetória 10 até tais altitudes durante essas fases. Os pontos de passagem de rota B podem ser selecionados com base na localização de terrenos de auxílio a cruzeiro (Navaids) ao longo da trajetória 10 da aeronave. Os pseudopontos de rota P também podem estar inclusos na 5 trajetória 10 e são pontos de referência artificiais criados para algum propósito relevante a um parâmetro da trajetória 10 e não estão limitados a terrenos de auxílio a cruzeiro. Podem ser definidos anteriormente a ou após pontos de dados estabelecidos para a trajetória terem sido definidos. Os pseudopontos de rota podem ser definidos de várias formas, tais como por latitude e longitude ou 10 por uma distância especificada ao longo da trajetória atual, tal como um ponto de rota ao longo do curso.

Dados climáticos tais como ventos e temperaturas no alto, podem ser inseridos para quaisquer dos pontos de dados. Tais dados climáticos melhoram FMS previsões de voo. Os dados climáticos podem ser obtidos a 15 partir de uma base dados climáticos que pode conter dados climáticos em tempo real ou dados climáticos previstos. Tal base de dados climáticos pode conter dados sobre certos fenômenos climáticos (por exemplo, velocidade de vento, direção do vento, temperatura, dentre outros) e dados relativos à visibilidade (por exemplo, enevoado, nublado, etc.), precipitação (chuva, 20 granizo, neve, chuva congelante, etc.) e outras informações meteorológicas. Devido ao fato de que a temperatura do ar e o vento devem ser considerados para cálculos de trajetória para garantir que a aeronave possa estar precisamente em conformidade com a trajetória desejada, a base dados climáticos pode incluir modelos de vento e temperatura em tempo real em 3-D 25 do espaço aéreo local, assim como dados de previsão em 4-D. A base dados climáticos pode armazenar tais dados climáticos em tempo real ou previstos em uma latitude, longitude e altitude específicas.

Dados climáticos precisos fornecem uma melhor representação

de perfis climáticos nas proximidades de uma trajetória da aeronave que produzirá previsões mais precisas do FMS, resultando, dessa forma, em estimativas aperfeiçoadas do uso de combustível da aeronave e do tempo de chegada. Quanto mais dados climáticos usados para preparar os perfis 5 climáticos resultam tipicamente, também, em um perfil climático mais preciso, mais atualizados são os dados climáticos. Entretanto, a capacidade de apresentar todos os dados climáticos relevantes da base de dados climáticos para o FMS de uma estação terrestre pode estar limitada pelo FMS em si, à medida que o FMS tipicamente limita o número de pontos de dados no curso 10 de voo para o qual dados climáticos podem ser inseridos e finalmente usados em uma previsão de trajetória. Em muitos FMS, o número total de pontos de dados permitidos é menor que 10, enquanto a base de dados climáticos pode ter centenas de pontos de dados relevantes para a trajetória.

Pode ser entendido que, durante a fase de cruzeiro 18, deve 15 haver algumas mudanças em altitude, especialmente para voos transcontinentais em que uma aeronave pode mudar sua elevação para tirar vantagem de ou minimizar o impacto dos ventos dominantes, tais como corrente de jato, para ascender a altitudes maiores à medida que o combustível é queimado, ou para evitar turbulência. As companhias aéreas, hoje em dia, 20 registram tipicamente um plano de voo que inclui apenas uma única altitude de cruzeiro. Entretanto, na maioria dos voos, é muito mais rentável mudar a altitude de cruzeiro à medida que o combustível é queimado e que condições de vento e temperatura mudam. Alguns FMSs mais avançados fornecem uma funcionalidade a bordo da aeronave para determinar quando é mais benéfico 25 passar para uma nova altitude de cruzeiro; entretanto, muitos FMS não têm essa funcionalidade e, mesmo aqueles que fornecem a funcionalidade, não são capazes de avaliar as restrições de espaço aéreo, tais como potenciais conflitos com outras aeronaves, ao realizar essas computações e tipicamente

computar apenas um local de etapa. Além do mais, mudanças na altitude de cruzeiro tipicamente exigem coordenação com o despachante de voo da companhia aérea, o qual não tem tais informações prontamente disponíveis.

A maioria dos FMS modernos permite que ventos de cruzeiro 5 sejam inseridos apenas por ponto de rota de cruzeiro. Além disso, um FMS contemporâneo pode apenas permitir um nível de vento no FMC, o qual impede cálculos de bordo de altitude ótima de vento de cruzeiro ou um ponto de subida ótima em etapas baseados em ventos e peso e resulta em uma altitude constante de cruzeiro 30. Algumas aeronaves de longo alcance podem 10 tomar ventos de até 5 níveis de voo em cada ponto de rota, permitindo uma computação de altitude ótima de cruzeiro com vento e uma única localização para otimizar uma etapa de cruzeiro para um nível mais elevado de cruzeiro. Entretanto, se ventos variarem significativamente através da porção de cruzeiro 15 de um voo, múltiplos pontos de rota teriam que ser definidos ao longo de um curso de voo para especificar ventos a serem usados no FMS. Além do mais, muitos FMSs podem usar vento apenas no nível de cruzeiro atualmente definido, tornando impossível determinar o nível ótimo de cruzeiro com vento a bordo de uma aeronave. Além disso, o benefício de qualquer otimização de 20 altitude de cruzeiro depende da precisão dos dados de vento previstos, o que varia significativamente dependendo do serviço de previsão do tempo usados para obter o mesmo.

Um perfil de cruzeiro teórico usaria uma definição de empuxo constante no acelerador automático, o que resultaria em um perfil de subida geralmente contínuo, assumindo condições climatéricas constantes, com uma 25 taxa decrescente de subida à medida que se aproxima da altitude máxima. Essa altitude máxima aumenta à medida que peso bruto da aeronave diminui, até que nível máximo absoluto de voo seja alcançado. The trajetória estável de cruzeiro, nesse momento, não estaria em uma altitude fixa, mas iria variar à

medida que condições ambientais de vento e temperatura mudam, afetando o empuxo real alcançado. Isso pode criar uma subida de cruzeiro, que é considerada a maneira mais eficiente para ascender. Tipicamente, a subida de cruzeiro é baseada em ajustando a empuxo do motor em sua posição mais eficiente, que é normalmente um nível máximo e contínuo de empuxo, e então, deixar a aeronave ascender naturalmente à medida que queima o combustível. Quando há uma força fixa na empuxo fixa, uma elevação fixa resultaria e à medida que a aeronave perde peso pelo combustível queimado, a elevação fixa fará com que a aeronave aumente de altitude (subida) em ar mais fino, que reduz a elevação. Assim, em uma subida de cruzeiro, a aeronave naturalmente busca uma altura de equilíbrio com base no ajuste do empuxo e o peso atual da aeronave. Tal perfil de subida de cruzeiro teórico 32 é ilustrado esquematicamente. O perfil de subida de cruzeiro teórico 32 não é possível atualmente devido às limitações em sistemas atuais de controle de voo de aeronaves, trafego de voo, e a atribuição de níveis de voo pelo Controle de Trafego Aéreo para separação. Deve ser notado que decolagem e descida são amplamente reguladas pelo Controle de Trafego Aéreo local.

Já que o perfil de subida de cruzeiro teórico é o mais eficiente, porém, impossível na prática, foi determinado que uma aproximação a esse perfil de subida de cruzeiro teórico 32 pode ser alcançado com o uso de uma abordagem de subida em etapas que estejam sujeitas a limitações. Modalidades da invenção computam múltiplos locais de etapa e altitudes de navegação para o perfil de subida de cruzeiro teórico 32 e levam em conta procedimentos e restrições do Controle de Trafego Aéreo e podem resultar em uma programação de subida em etapas 34, que aproxima a subida de cruzeiro com as restrições aplicáveis. As modalidades da invenção incluem um método para voo de uma aeronave, que tem um envelope de desempenho associado, ao longo de um curso de voo. Deve entender-se que o envelope de

desempenho pode incluir, entre outras coisas, um nível constante de empuxo para a aeronave. Isso pode incluir a empuxo máximo de subida e/ou a empuxo máximo constante da aeronave. O método inclui a determinação de um perfil de altitude para uma subida de cruzeiro baseada no envelope de desempenho 5 da aeronave, que determina níveis legais de voo ao longo de um curso de voo, e voo da aeronave ao longo de um curso de voo de uma maneira em etapas entre os níveis legais de voo para que se aproxime do perfil de subida de cruzeiro submetido a pelo menos uma restrição na variação entre os níveis legais de voo. O termo níveis legais de voo refere-se aos níveis de voo 10 permitidos pelo ATC para a dada trajetória. Para assegurar separação de aeronaves, é comum a permissão de voo de cruzeiro em certos níveis de voo predeterminados. Por exemplo, tráfego Leste-Oeste pode ter um conjunto de níveis legais de voo enquanto tráfego Norte-Sul pode ter um conjunto de níveis legais de voo diferentes, e os dois conjuntos não se sobrepõem, o que tende a 15 impedir colisões em pleno ar. Outros fatores podem também limitar os níveis legais de voo.

A determinação de um perfil de altitude para uma subida de cruzeiro ao longo de um curso de voo pode incluir o cálculo de um perfil de subida de cruzeiro teórico 32 ou outro perfil similar constante de subida de 20 cruzeiro. Com o uso de equações de movimento que são bem conhecidas para aqueles familiarizados com a técnica de computação de trajetória de aeronave, a trajetória vertical da aeronave para um dado ajuste de empuxo pode ser computada. Tal método seria o uso da equação geral de movimento da aeronave mostrada na Equação 1, a qual é baseada no princípio da 25 conservação da energia quando aplicada a dois pontos ao longo de uma trajetória de aeronave. É, por vezes, denominada como equação de troca de energia. Nessa equação, dV_T/dh representa a mudança na velocidade real sobre altitude.

$$VS = \frac{\left(\frac{T-D}{W}\right) * V_T}{C_{TMP} + \left(\frac{V_T}{g}\right) * \left(\frac{dV_T}{dh}\right)} \quad (1)$$

Em que:

VS = Velocidade Vertical em fps,

T = Empuxo em libras,

D = Arrasto em libras,

W = Peso em libras,

V_T = Velocidade Aerodinâmica em fps,

G = Aceleração Gravitacional

$\frac{dV_T}{dh}$ = Mudança na velocidade inercial com a altitude, computada

a partir mudança de velocidade em solo.

10 C_{TMP} = Coeficiente da Temperatura de Troca de Energia

A Equação 2 representa a equação de troca de energia que usa a mudança na velocidade aerodinâmica real ao longo do tempo, dV_T/dt , como alternativa.

$$VS = V_T * \frac{\left(\frac{T-D}{W}\right) - \left(\frac{1}{g}\right) * \left(\frac{dV_T}{dt}\right)}{C_{TMP}} \quad (2)$$

Qualquer equação pode ser usada para determinar um perfil de

15 altitude de subida de cruzeiro. O perfil de altitude para a subida de cruzeiro pode incluir a altitude da aeronave ao longo de um curso de voo durante o voo da aeronave a um nível constante de empuxo. Por exemplo, nessas equações, um empuxo (T) usado pode ser tanto o empuxo máximo de subida quanto o empuxo máximo constante baseado no envelope de desempenho da aeronave
 20 a ser colocada em voo. Potencialmente, uma combinação poderia ser usada em que o empuxo máximo de subida é usado abaixo de uma altitude dada tal como a altitude original de cruzeiro e o empuxo máximo constante é usado

acima dessa altitude. Um empuxo de um motor de aeronave assim como o arrasto da fuselagem varia com a temperatura, de forma que a velocidade vertical varie significativamente à medida que a temperatura varia. Isso pode levar a um perfil de altitude da subida de cruzeiro 40 que tem uma trajetória vertical demasiadamente não linear, como mostrado na Figura 2. O perfil de altitude da subida de cruzeiro 40 pode também estar limitado à altitude máxima nominal 42. Isto é, se o perfil de altitude da subida de cruzeiro 40 eventualmente alcança uma altitude máxima prescrita 42, o perfil de altitude da subida de cruzeiro 40 deve ser nivelado naquela altitude ao invés de continuar a ascender.

Com considerações dadas às restrições de tráfego aéreo, é contemplado que níveis legais de voo ao longo de um curso de voo podem ser determinados. Tais níveis legais de voo foram ilustrados esquematicamente como níveis legais de voo 46, 48, 50, e 52. Tais níveis legais de voo 46, 48, 50, e 52 definem altitudes em que a aeronave pode voar para propósitos de liberação do tráfego aéreo. A altitude máxima nominal 42 pode também ser um nível legal de voo para propósitos de liberação do tráfego aéreo. Embora quatro níveis intermediários legais de voo tenham sido ilustrados, é contemplado que qualquer número de níveis legais de voo pode ser determinado ao longo de um curso de voo. Além disso, tais níveis legais de voo podem mudar dependendo do curso de voo. A aeronave pode, então, voar ao longo de um curso de voo de uma maneira em etapas entre os níveis legais de voo 46, 48, 50, e 52 até uma altitude máxima nominal 42 para que se aproxime do perfil de altitude da subida de cruzeiro 40. Dessa maneira, os níveis legais de voo 46, 48, 50, e 52 definem as altitudes intermediárias possíveis de navegação para as quais a aeronave pode passar, ou ascendendo ou descendendo entre altitudes, à medida que peso, vento, e temperatura mudam durante todo o voo.

O voo da aeronave em etapas, conforme esquematicamente ilustrado como o curso de voo 54, deve ser submetido a pelo menos uma restrição na variação entre os níveis legais de voo. Por exemplo, uma restrição pode ser voar por uma distância predeterminada ao longo de um nível legal de 5 voo antes de passar para outro nível legal de voo. Por exemplo, pode ser desejado que cada altitude intermediária de cruzeiro seja mantida por pelo menos 92,6 km (50 milhas marítimas) antes de ascender ou descender para uma altitude nova para evitar desperdício de combustível. Isso pode ser feito 10 pela busca por um novo ponto de etapa em um ponto que é o mínimo predeterminado do começo altitude de cruzeiro anterior.

Outra restrição pode ser que o voo tenha que ocorrer em níveis legais de voo abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 40 enquanto voa-se ao longo de um curso de voo em forma de etapa. Isso pode ser feito 15 pela determinação de um próximo nível legal de voo que esteja completamente abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 40 por pelo menos o mínimo predeterminado de 92,6 km (50 milhas marítimas). Os níveis legais de voo podem ser alternados durante tal determinação para determinar se os mesmos se encaixam em tal restrição.

Ainda outra restrição pode ser que o curso de voo 54 deve ser 20 construída de tal forma que a aeronave de voar a um nível de voo legal mais alto que esteja abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 40. É contemplado que na determinação das etapas para o curso de voo 54 que os níveis legais de voo podem ser alternados durante tal determinação para determinar se os mesmos se encaixam em tal restrição. Se não houver 25 altitudes mais altas de navegação abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 40 e a aeronave puder voar em tal nível de voo legal mais alto por pelo menos 92,6 km (50 milhas marítimas), então uma determinação final pode ser feita para que o nível legal de voo seja um nível válido de voo para a próxima

etapa do curso de voo e a altitude pode ser usada como a nova altitude intermediária de cruzeiro.

Voo de uma aeronave ao longo de um curso de voo 54 de uma maneira em etapas pode estar sujeito ainda à outra restrição que coloca em 5 risco, tal como um risco 56, no curso de voo deve ser evitado. O risco 56 pode incluir coisas como conflitos com outra aeronave assim como quando a aeronave estaria a uma distância mínima definida de separação menor de outra aeronave, turbulência, ou outros riscos climáticos. É contemplado que tal risco 56 pode também ser baseado em probabilidade, que é a de que o risco 10 deve ser acima de alguma probabilidade ou chance de realmente ocorrer de merecer ser um risco real a ser considerado. Se tal risco 56 ocorre no nível legal de voo sendo avaliado para uma etapa do plano de voo, então a altitude legal de voo é invalida para a próxima etapa do plano de voo. Se o nível legal de voo sendo avaliado é o nível de voo legal mais alto, o próximo nível legal 15 mais baixo de voo pode ser avaliado. Se um risco ocorre no nível legal de voo e é mais que a quantidade mínima predeterminada de 92,6 km (50 milhas marítimas) do começo da etapa, então a altitude de teste pode ainda ser considerada válida para a próxima etapa do curso de voo e a altitude pode ser usada como a nova altitude intermediária de cruzeiro.

20 Quando estiver determinado que um nível legal de voo é válido para uma mudança de altitude de cruzeiro, tal etapa, que pode ser tanto uma subida ou descida, para a nova altitude como um ponto de etapa de cruzeiro, e gravar a nova altitude intermediária de cruzeiro. Tais determinações para novas altitudes para cada etapa do plano de voo podem ser determinadas para a 25 totalidade da porção de cruzeiro do plano de voo.

É contemplado que um perfil de descida 58 pode ser determinado ao longo de um curso de voo da aeronave. O perfil de descida 58 pode ser computado de trás pra frente a partir do aeroporto de destino/pista (não

mostrado) até que intercepte ou a altitude máxima predefinida 42 ou o perfil de altitude da subida de cruzeiro 40. Isso definirá o perfil ótimo real que pode voar na ausência de qualquer tipo de restrições de tráfego aéreo. A aeronave pode voar ao longo de um curso de voo 54 de uma maneira em etapas até que tal 5 interseção seja alcançada em um ponto em que a aeronave pode ser operada para descender de acordo com o perfil de descida 58.

Com referência continuada à Figura 2, pode ser entendido que, a altitude constante de cruzeiro 30 é igual ao nível legal de voo 46. Uma iteração inicial para a determinação de qual nível legal de voo no qual voar a aeronave 10 durante o plano de voo 54 pode determinar que uma subida em etapas pode ser executada para nível legal de voo 48 no ponto 60. A uma quantidade mínima predeterminada de 92,6 km (50 milhas marítimas) após o ponto 60, que foi ilustrada esquematicamente como no ponto 62, uma determinação pode ser feita com respeito à próxima etapa ao longo de um curso de voo 54. Nível legal 15 de voo 50 pode ser testado para ver se é válido; entretanto, o risco 56 existe ao longo do nível legal de voo 50, então tal segmento do nível legal de voo 50 é declarado não mais legal, e a determinação continua. Apesar de que o nível legal de voo 50 seria uma altitude válida e legal além do risco 56, o processo determina que o nível legal de voo 52 é também legal e válido além do ponto 20 62, e já que é uma altitude maior, o processo determina que o nível legal de voo 52 deveria ser usado como o nível legal de voo na etapa 64 ao longo de um curso de voo 54. Pode ser entendido que, se um risco também existisse em um nível legal de voo 52, então o nível legal de voo 50 poderia ter sido escolhido como a altitude de cruzeiro para uma etapa que começou além do 25 risco 56. No exemplo ilustrado, a partir do nível legal de voo 52, a altitude máxima 42 se torna a próxima altitude legal e válida escolhida e uma etapa em 66 a partir de 52 para uma altitude máxima 42 pode ser incluída no plano de voo. A esse ponto, não existem mais altitudes legais para avaliar e não existem

riscos ao longo da altitude final, então o processo de determinação de etapas termina. A aeronave pode voar ao longo de tal curso de voo na forma de etapa determinada para que se aproxime do perfil de altitude da subida de cruzeiro 40.

5 A Figura 3 ilustra uma segunda modalidade de um método para voo de uma aeronave de acordo com uma modalidade da invenção. A segunda modalidade é similar à primeira modalidade; portanto, partes semelhantes serão identificadas com números semelhantes aumentados em 100, sendo entendido que a descrição das partes semelhantes da primeira modalidade se 10 aplica à segunda modalidade, a menos que indicado em contrário. Como com a primeira modalidade, uma altitude original de cruzeiro é designada em 130, um perfil de altitude da subida de cruzeiro 140 foi determinado, níveis legais de voo 146, 148, 150, e 152 ao longo de um curso de voo foram determinados, e a altitude máxima foi designada em 142. Para o curso de voo 154, pode ser 15 determinado que o nível legal de voo 148 é uma altitude intermediária de cruzeiro válida e legal e uma etapa em 160 para esse cruzeiro intermediário pode ser incluído ao longo de um curso de voo 154 por ser a maior altitude abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 140. Apesar de o risco 156 existir nessa altitude, é mais que uma distância mínima predeterminada, tal 20 como 92,6 km (50 milhas marítimas), do começo em 160 do cruzeiro intermediário em nível legal de voo 148 assim, a aeronave pode voar no nível legal de voo 148 até que o risco 156 seja alcançado. Por não haver níveis legais de voo mais altos abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 140, uma altitude mais baixa, nível legal de voo 146, é exigida para evitar o risco 25 156. Assim, a descida em etapas em 164 até o nível legal de voo 146 pode ser incluído em um curso de voo 154 para evitar o risco 156. Após pelo menos a distância mínima predeterminada em nível legal de voo 146, níveis legais de voo alternativos podem ser novamente avaliados. Por não haver riscos em

nível legal de voo 148 além do ponto inicial de busca 166 e por ser o nível mais alto abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 140 para uma distância mínima predeterminada, uma subida de cruzeiro em etapas ao nível legal de voo 148 em 166 pode ser incluído no curso de voo 154. Por não haver mais riscos no nível legal de voo 148 e não haver mais altitudes legais maiores para avaliar abaixo do perfil de altitude da subida de cruzeiro 140, o processo termina e a aeronave pode voar em uma forma de etapa de acordo com o curso de voo 154.

Será entendido que planos de voo em etapas podem ser determinados da maneira acima e que uma aeronave pode então voar de tal forma de etapa. É contemplado que computar tais locais múltiplos de etapa e altitude de navegação para determinar uma programação de subida em etapas ou plano de voo em etapas pode ser determinado em terra por um computador adequado ou processador e fornecido à aeronave por meio de um sistema de comunicação, tal como um sistema de comunicação sem fio. Alternativamente, a determinação de tal plano de voo em etapas pode ser feito por um computador, processador, ou o FMS a bordo da aeronave em si, ou antes ou durante voo. Tal plano de voo em etapas pode também ser fornecido a um despachante de voo da linha aérea ou Controle de Trafego Aéreo. O efeito técnico das modalidades acima é que os múltiplos locais de etapa e altitudes de navegação para o perfil de cruzeiro teórico podem ser computados de tal modo que um plano de voo em etapas pode ser determinado e a aeronave pode voar em uma forma de etapa mais eficiente do que é atualmente capaz.

As modalidades acima fornecem uma variedade de benefícios que incluem um método de computar rapidamente a forma de etapa para voar uma aeronave entre níveis legais de voo em que o curso de voo resultante seja livre de conflitos. Tal voo por uma aeronave pode resultar em menos combustível queimado, o que pode reduzir significativamente custos

operacionais. Além disso, as modalidades descritas acima dos múltiplos conjuntos de altitudes de navegação não exigidos, que melhora significativamente a velocidade de processamento na determinação da forma de etapa em que a aeronave deve voar. Ademais, pela determinação do perfil 5 de altitude para uma subida de cruzeiro ao longo de um curso de voo baseada no envelope de desempenho da aeronave a forma de etapa que é determinada é melhor do que métodos FMS existentes. Finalmente, ao considerar restrições de Controle de Trafego Aéreo, tais como altitudes legais e restrições de espaço 10 aéreo, as modalidades descritas acima fornecem uma solução que é provavelmente permitida pelo Controle de Trafego Aéreo.

Esta descrição escrita usa exemplos para divulgar a invenção, incluindo o melhor modo, e também para habilitar qualquer pessoa com habilidade comum na técnica a praticar a invenção, inclusive produzir e usar quaisquer dispositivos ou sistemas e executar quaisquer métodos 15 incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações e pode incluir outros exemplos que ocorrem às pessoas com habilidade comum na técnica. Tais outros exemplos se destinam a estar dentro do escopo das reivindicações se tiverem elementos estruturais que não diferem da linguagem literal das reivindicações ou se incluírem elementos estruturais 20 equivalentes com diferenças insubstanciais das linguagens literais das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA VOO DE UMA AERONAVE, o qual tem um envelope de desempenho associado, ao longo de um curso de voo, em que o método compreende:

- 5 determinar um perfil de altitude para uma subida de cruzeiro ao longo de um curso de voo baseado no envelope de desempenho da aeronave;
- determinar níveis legais de voo ao longo de um curso de voo; e
- conduzir a aeronave ao longo de um curso de voo de uma maneira em etapas entre os níveis legais de voo para que se aproxime do perfil
- 10 de altitude submetido a pelo menos uma restrição na variação entre os níveis legais de voo.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, em que o desempenho de envelope compreende um nível constante de empuxo para a aeronave.

15 3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, em que o perfil de altitude para uma subida de cruzeiro compreende uma altitude da aeronave ao longo de um curso de voo durante o voo da aeronave no nível constante de empuxo.

20 4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, que compreende adicionalmente determinar um perfil de descida ao longo de um curso de voo.

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, que compreende adicionalmente determinar uma interseção do perfil de altitude e do perfil de descida.

25 6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, em que o voo da aeronave ao longo de um curso de voo de uma maneira em etapas é cessado com base na interseção determinada.

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, em que pelo

menos uma restrição compreende voar em níveis de voo abaixo do perfil de altitude ao longo de um curso de voo.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 7, em que a pelo menos uma restrição que compreende adicionalmente voar a pelo menos uma 5 distância predeterminada ao longo de um nível de voo.

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 8, em que a distância predeterminada é de 92,6 km (50 milhas marítimas).

10. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 8, em que a pelo menos uma restrição compreende adicionalmente evitar um risco no curso de 10 voo.

11. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 10, em que a pelo menos uma restrição compreende adicionalmente voar em um nível de voo legal mais alto.

12. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, em que a pelo 15 menos uma restrição compreende voar a pelo menos uma distância predeterminada ao longo de um nível de voo.

13. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 12, em que a distância predeterminada é de 92,6 km (50 milhas marítimas).

14. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 12, em que pelo 20 menos uma restrição compreende evitar um risco no curso de voo.

15. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 14, em que pelo menos uma restrição compreende adicionalmente voar em um nível de voo legal mais alto.

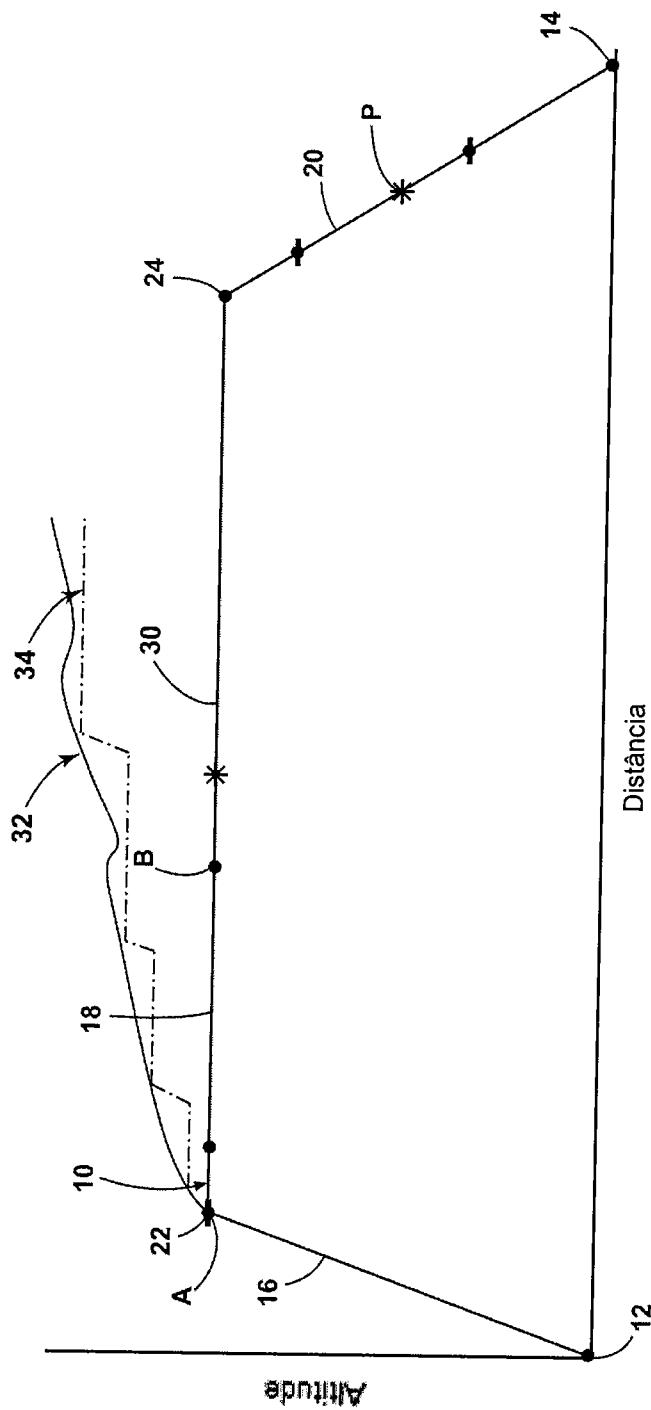


Fig. 1

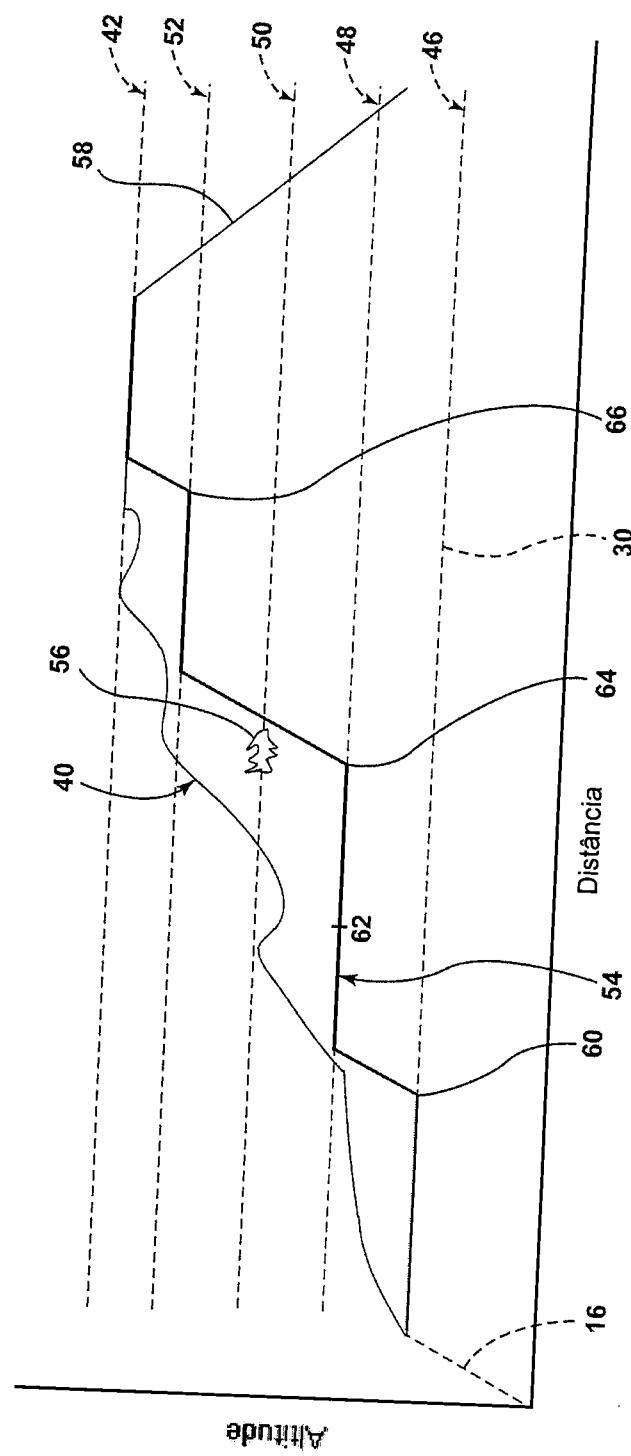


Fig. 2

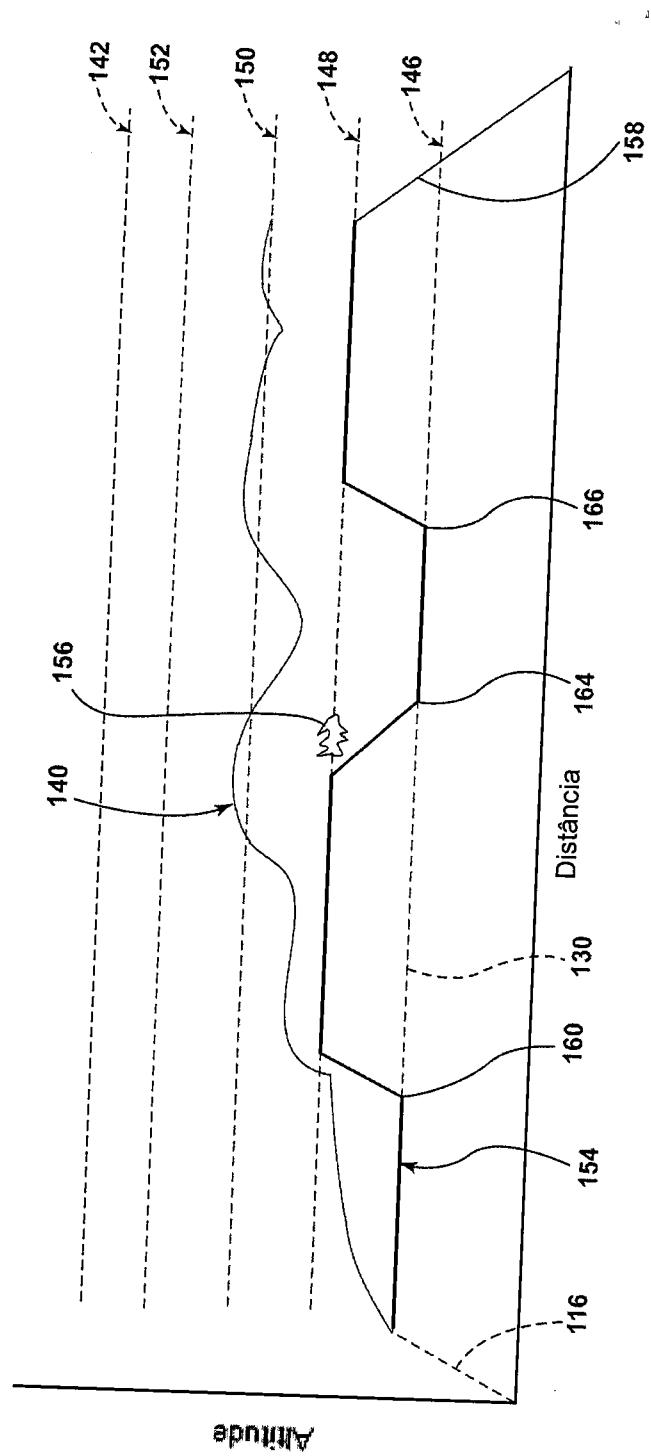


Fig. 3

RESUMO**“MÉTODO PARA VOO DE UMA AERONAVE”**

Trata-se de um método para o voo de uma aeronave, em que a aeronave tem um desempenho de envelope associado, ao longo de um curso de voo com base na determinação de um perfil de altitude para uma subida de cruzeiro ao longo de um curso de voo com base no envelope de desempenho da aeronave e conduzir a aeronave ao longo de um curso de voo para que se aproxime do perfil de altitude.