





"SISTEMA DE CÉLULA DE COMBUSTÍVEL PARA O SUPRIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL E OXIGÊNIO"

Esse pedido reivindica os benefícios da data de depósito dos pedidos de patente provisórios U.S. No. 5 60/715.277, depositado em 8 de setembro de 2005, e No. 60/759.888, depositado em 18 de janeiro de 2006 e dos pedidos de patente alemães No. 10 2005 042 749.9, depositado em 8 de setembro de 2005 e No. 10 2006 002 470.2, depositado em 18 de janeiro de 2006, a descrição dos quais é incorporada 10 aqui por referência.

A presente invenção se refere a um sistema de célula de combustível para o suprimento de água potável e oxigênio. Em particular, a presente invenção se refere a um sistema de célula de combustível para o suprimento de água 15 potável e oxigênio para uma aeronave ou aeródino, uma aeronave compreendendo um sistema de célula de combustível para o suprimento de água potável e oxigênio, e o uso de um sistema de célula de combustível correspondente para o suprimento de água potável e oxigênio em uma aeronave.

20 Na aeronave civil convencional, a água potável para fornecimento para os passageiros é armazenada em tanques de armazenamento a bordo, e é distribuída a partir desses tanques de armazenamento para os passageiros durante o voo. Isso significa que todo o volume de água necessário deve ser 25 abastecido em tanques antes do voo e erguido pela força dos motores até a altitude de voo.

Adicionalmente, na altitude de voo os passageiros necessitam de ar adequado para respirar, que é suprido pelo

sistema de condicionamento de ar da aeronave. O sistema de condicionamento de ar por sua vez retira seu ar comprimido de um estágio de compressor dos motores, como resultado do que a energia dos motores é necessária para se obter o ar comprimido.

A fim de que os passageiros sejam capazes de se mover livremente dentro da cabine, a aeronave é fornecida com o que é referido como uma cabine pressurizada, o que mantém a pressão do ar a um nível que seja tolerável para o organismo humano. Como uma regra, tal cabine pressurizada é operada a um nível de pressão de cerca de 750 hPa. Esse nível de pressão corresponde aproximadamente à pressão do ar a uma altitude de 2.450 metros acima do nível do mar. Com uma pressão externa média a 10.000 metros de altitude de cerca de 260 hPa, isso significa um diferencial de pressão de cerca de 490 hPa entre a pressão externa e a pressão mantida na cabine. O diferencial de pressão deve ser acomodado ou absorvido estruturalmente pela cabine.

Para aeronaves civis modernas, uma altitude de vôo média de cerca de 12.000 metros é almejada. Nessa altitude, a pressão de ar externo média é de cerca de 190 hPa. A partir daí, com um desenho convencional uma pressão diferencial entre a pressão da cabine e a pressão de ar externo de cerca de 560 hPa pode ser derivada. Esse diferencial de pressão exige medidas adicionais para o reforço da estrutura da cabine, que, por sua vez, significa peso adicional e, portanto, um aumento no consumo total de combustível.

Pode haver uma necessidade na invenção de se for-

necer um sistema eficiente para o suprimento de água potável e oxigênio para um veículo.

Essa necessidade pode ser correspondida por um sistema de célula de combustível para suprimento de água potável e oxigênio para uma aeronave, uma aeronave compreendendo um sistema de célula de combustível para o suprimento de água potável e oxigênio, e o uso de um sistema de célula de combustível correspondente para o suprimento de água potável e oxigênio em uma aeronave de acordo com as características das reivindicações independentes.

De acordo com uma modalidade da presente invenção, a necessidade indicada acima pode ser correspondida por um sistema de celular de combustível para o suprimento de água potável e oxigênio para uma aeronave, o dito sistema de célula de combustível compreendendo uma célula de combustível e uma célula de eletrólise. A célula de eletrólise compreende adicionalmente um catodo de ar e é acoplada à célula de combustível. A célula de combustível e a célula de eletrólise são projetadas de tal forma que uma necessidade de energia da célula de eletrólise é coberta por uma distribuição de energia da célula de combustível.

Uma idéia básica de uma modalidade ilustrativa da invenção pode ser que uma célula de combustível e uma célula de eletrólise, que compreendem um catodo de ar, isso é, formam uma célula de eletrólise com o catodo de ar, sejam conectadas juntas para formar um sistema de célula de combustível, onde a célula de combustível pode ser utilizada como um suprimento de energia da célula de eletrólise. Preferi-

velmente, a célula de combustível pode ser projetada com relação à célula de eletrólise de tal forma que a célula de combustível cubra toda a necessidade de energia da célula de eletrólise.

5 O sistema de célula de combustível de acordo com uma modalidade ilustrativa da invenção pode criar um sistema no qual diferentes demandas no suprimento de cabine de uma aeronave possam ser integradas. Por um lado, tal sistema de alta capacidade de integração pode ser utilizado para gerar  
10 oxigênio puro. Isso é produzido pela célula de eletrólise, e pode servir para aumentar a pressão parcial de oxigênio, isso é, a distribuição percentual do oxigênio e nitrogênio é alterada em favor do oxigênio, no ar de respiração dos passageiros e tripulação de um veículo, tal como uma aeronave.  
15 Assim, a possibilidade pode ser criada de redução da pressão da cabine, que, por sua vez, pode reagir às tendências descritas no possível evento de um aumento na altitude de vôo, visto que menos tensões mecânicas são impostas na cabine, como resultado do que pode ser possível se alcançar uma economia de peso com relação aos componentes estruturais. Por  
20 exemplo, pelo aumento da pressão parcial do oxigênio para uma pressão de ar de cabine, um valor de cerca de 600 hPa pode ser alcançado, o que pode significar que, com o diferencial de pressão convencional descrito acima, de cerca de  
25 490 hPa, uma altitude de vôo de cerca de 15.500 metros pode ser alcançada sem qualquer reforço estrutural adicional e aumento de peso associado. Ademais, enquanto se retém as altitudes de vôo normais hoje, a estrutura da cabine pode ser

mais leve. Ambos podem contribuir para economias substanciais de combustível.

Alternativamente, pode ser possível também se aumentar o conforto dos passageiros enquanto se retém uma  
5 pressão de cabine convencional de 750 hPa, visto que a pressão parcial do oxigênio é aumentada e, simultaneamente, a pressão parcial do dióxido de carbono (pressão parcial de CO<sub>2</sub>) é reduzida. Os valores CO<sub>2</sub> aumentados no ar de respiração são considerados do ponto de vista médico como uma das  
10 possíveis causas da ocorrência de dores de cabeça e mal estar, além de pelo surgimento de um potencial ligeiramente aumentado de agressividade entre os passageiros.

Também pode ser possível que, a fim de se economizar no peso, a água potável possa não precisar ser armazenada em tanques de armazenamento e ser levada a altitudes de  
15 vôo, mas pode ser constituída de hidrogênio e oxigênio em uma célula de combustível, e disponibilizado para consumo pelos passageiros, isso é, apenas o hidrogênio teria que ser armazenado. De acordo, uma vantagem da invenção pode ser que  
20 o sistema de célula de combustível pode possibilitar a produção de água fresca para suprimento de consumidores encontrados a bordo dos veículos de hoje, em particular, uma aeronave. Tais consumidores de água são, por exemplo, áreas de lavagem, banheiros e cozinhas. Possíveis futuros consumidores de água também, no entanto, tal como chuveiros e sistemas de umectação do ar, e bebedouros automáticos, podem ser  
25 fornecidos com água fresca por um sistema de célula de combustível de acordo com a invenção. O sistema de célula de

combustível pode, em particular, resultar em uma redução da carga de água durante a decolagem da aeronave e durante a subida.

Isso pode resultar em uma economia de peso substancial, e, portanto, em uma exigência reduzida de energia, em particular durante a subida, mas em outras fases do vôo também, como resultado do que a necessidade de combustível pode ser substancialmente reduzida. Pode ser possível também que uma qualidade de água consistente definida seja fornecida.

Objetivos, modalidades e vantagens adicionais da invenção podem ser derivados a partir das reivindicações independentes adicionais e das reivindicações dependentes.

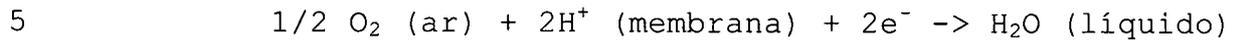
Exemplos de modalidades do sistema de célula de combustível são descritos em maiores detalhes doravante.

Em uma modalidade ilustrativa, a célula de combustível compreende um lado de anodo e um lado de catodo, e a célula de eletrólise compreende um lado de anodo e um lado de catodo. Ademais, o lado de catodo do lado de eletrólise é acoplado ao lado de catodo da célula de combustível.

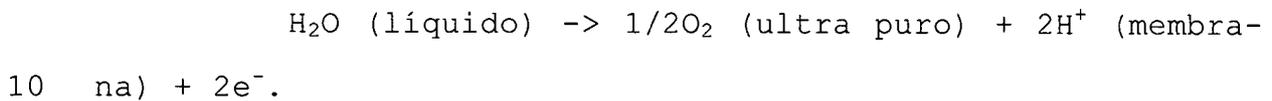
Com tal acoplamento, pode ser possível se umectar o ar a ser conduzido para o lado de catodo da célula de combustível diretamente a partir do lado de catodo da célula de eletrólise como gás educt, ou a ser misturado no fluxo de ar necessário para a reação de catodo. Pode ser possível também que o ar de despejo do catodo da célula de eletrólise seja condensado, e a água resultante formada a partir da reação do catodo seja conduzida para o fluxo de ar de catodo da cé-

lula de combustível.

No lado do catodo da célula de eletrólise, nessa situação, preferivelmente uma reação ocorre de acordo com a equação de reação



enquanto no lado do anodo da célula de eletrólise uma reação ocorre preferivelmente de acordo com a equação de reação



Em uma modalidade ilustrativa alternativa do sistema de célula de combustível, a célula de combustível compreende um lado de anodo e um lado de catodo, e a célula de eletrolise compreende um lado de anodo e um lado de catodo. Ademais, o lado de catodo da célula de eletrolise é acoplada ao lado de anodo da célula de combustível.

Por tal conexão da célula de eletrólise com a célula de combustível, pode ser possível se reduzir a exigência de hidrogênio externo da célula de eletrólise, visto que o hidrogênio que passa através da membrana da célula de eletrólise no lado do catodo pode ser conduzido para o lado de anodo da célula de combustível.

Em outra modalidade ilustrativa a célula de combustível é disposta de tal forma que o hidrogênio ou um gás reformado possa ser conduzido no lado de anodo.

Com tal disposição pode ser possível que o hidrogênio ou gás reformado constituído de hidrogênio e dióxido de carbono como um gás de combustão seja conduzido no lado

de anodo.

Em uma modalidade ilustrativa adicional do sistema de célula de combustível, a célula de eletrólise é disposta de forma que o ar de uma cabine do veículo seja conduzido  
5 para o lado do catodo.

Com essa disposição pode ser possível que o hidrogênio do processo de eletrólise penetrando através de uma membrana da célula de eletrólise no lado de catodo combine com o oxigênio presente no ar da cabine e, portanto, umedeça  
10 o ar da cabine, que pode ser conduzido como um gás educt para a célula de combustível.

Em outra modalidade ilustrativa, o sistema de célula de combustível também compreende um permutador de calor. O permutador de calor é disposto de tal forma que res-  
15 frie o ar conduzido a partir do lado de catodo da célula de combustível.

Isso possibilita que o ar de despejo do lado de catodo da célula de combustível seja resfriado, como resultado do que a água produzida na célula de combustível pode  
20 ser condensada. Essa água pode ser armazenada em um tanque de água e pode subsequentemente ser utilizada como água fresca para os consumidores de água na aeronave.

Em uma modalidade ilustrativa adicional, o sistema de célula de combustível compreende adicionalmente um permutador de calor adicional, no qual o permutador de calor adicional é disposto de tal forma que resfrie o ar conduzido a  
25 partir do lado de anodo da célula de eletrólise.

Como resultado disso, pode ser possível se reali-

zar uma primeira separação oxigênio/água com o ar derivado do lado de anodo da célula de eletrólise, isso é, se realizar uma primeira secagem desse ar derivado ou descarregado. A água que é coletada nesse processo pode ser conduzida de volta para dentro do lado de anodo da célula de eletrólise.

Em outra modalidade ilustrativa, o sistema de célula de combustível compreende adicionalmente um circuito de resfriamento, que é acoplado à célula de combustível de tal forma que resfrie a célula de combustível.

Tal circuito de resfriamento pode ser operado e utilizado em uma aeronave, por exemplo, com o ar externo ou de ambiente como o meio de resfriamento, a fim de realizar qualquer resfriamento da célula de combustível que possa ser necessário.

Em outra modalidade ilustrativa do sistema de célula de combustível, a célula de combustível é uma célula de combustível de baixa temperatura, preferivelmente uma célula de combustível de membrana de permuta de próton (PEMFC). De acordo com a invenção, a célula de combustível também pode alternativamente ser projetada como qualquer outro tipo conhecido de célula de combustível. Tal célula de combustível de baixa temperatura pode ser projetada de tal forma que possa ser operada, por exemplo, em uma faixa de temperatura entre 60 C e 80 C.

Em outra modalidade ilustrativa do sistema de célula combustível, a célula de combustível é a célula de combustível de uma célula de combustível PEM de alta temperatura. De acordo com a invenção, como uma alternativa a célula

de combustível também pode ser projetada como qualquer outro tipo conhecido de célula de combustível. Tal célula de combustível PEM de alta temperatura pode ser projetada de tal forma que possa ser operada, por exemplo, em uma faixa de  
5 temperatura de entre 120 C e 300 C.

Em outra modalidade ilustrativa do sistema de célula de combustível, a célula de eletrólise é projetada como uma célula de eletrólise de membrana polimérica com um catalisador. Como uma alternativa, a célula de eletrólise pode  
10 ser projetada como outro tipo de célula de eletrólise que é adaptada ao nível de temperatura da célula de combustível a jusante.

Em outra modalidade ilustrativa, o sistema de célula de combustível compreende adicionalmente uma pluralidade de células de combustível e uma pluralidade de células de  
15 eletrólise. Devido ao fornecimento de uma pluralidade de células de combustível e células de eletrólise, pode ser possível se fornecer qualquer desempenho desejado com relação a energia ou oxigênio.

Em outra modalidade ilustrativa do sistema de célula de combustível, a célula de combustível e a célula de eletrólise são conectadas para formar uma pilha, e a célula de eletrólise é suprida com energia diretamente da célula de  
20 combustível.

Nessa situação, as células de eletrólise e as células de combustível podem se tornar uma única pilha, isso é, são combinadas a uma associação mecânica de componentes  
25 individuais, que pode resultar em uma economia de material

de cabo.

Em outra modalidade ilustrativa do sistema de célula de combustível, uma razão de energia entre a célula de combustível e a célula de eletrólise é selecionada de tal forma que uma emissão de energia da célula de combustível corresponda precisamente a uma exigência de energia da célula de eletrólise. De outra forma, a saída de energia da célula de combustível é selecionada de tal forma que a célula de combustível possa suprir apenas a célula de eletrólise e não produza qualquer energia em excesso, isso é, a saída elétrica da célula de combustível combina com precisão com a necessidade de energia elétrica da célula de eletrólise e a produção de oxigênio puro e água ocorre. O controle do sistema é realizado nesse caso preferivelmente apenas através da mídia introduzida, isso é, água, hidrogênio, e ar de cabine como resultado do que pode ser possível se economizar em reguladores e transformadores elétricos para ajustar a energia distribuída a partir da célula de combustível para a rede a bordo. Se tal sistema de célula de combustível for compilado ou integrado para formar uma única pilha, dessa forma, todas as conexões externas são salvas, o que possibilita a economia de material de cabo.

De acordo com outra modalidade ilustrativa do sistema de célula de combustível, uma razão de saída de energia entre a célula de combustível e a célula de eletrólise é selecionada de forma que uma emissão de energia da célula de combustível corresponda precisamente a uma exigência de energia da célula de eletrólise e todos os aparelhos auxilia-

res necessários do sistema de célula de combustível. De outra forma, a célula de combustível produz um excesso com relação ao consumo de energia da célula de eletrólise, que é grande o suficiente para operar todos os consumidores externos do sistema de célula de combustível, tal como bombas ou compressores, isso é, o sistema de célula de combustível pode cobrir a exigência de energia inerente. Pode ser possível também se suprir seu reformador com água a fim de produzir gás de combustão para as células de combustível. Esse projeto também pode possibilitar a eliminação de reguladores e transformadores elétricos para o ajuste da energia distribuída a partir da célula de combustível para a rede a bordo.

De acordo com outra modalidade ilustrativa do sistema de célula de combustível, uma razão de energia entre a célula de combustível e a célula de eletrólise é selecionada de tal forma que uma saída de energia da célula de combustível seja maior do que uma necessidade de energia da célula de eletrólise e todos os dispositivos auxiliares necessários do sistema de célula de combustível. Preferivelmente, o sistema de célula de combustível compreende um inversor de energia e um conversor ou transformador de voltagem, onde o inversor e transformador são projetados de forma que a energia da célula de combustível seja alimentada para uma rede a bordo do veículo.

Isso pode possibilitar que a energia seja conduzida para uma rede a bordo do veículo. Um parâmetro limitador nesse contexto pode se encontrar na exigência de umidade da célula de combustível, exigência de umidade essa que pode

ser coberta pela célula de eletrólise. Um primeiro aspecto ilustrativo da invenção pode ser observado no fato de uma disposição ser criada para a produção de oxigênio e água fresca para a exigência a bordo da aeronave, onde a disposição  
5 ção consiste de ou compreende uma célula de eletrólise e uma célula de combustível, onde a razão de energia de uma para outra é selecionada de forma que a necessidade de energia elétrica da célula de eletrólise seja coberta pelo fornecimento da energia elétrica pela célula de combustível, e, a-  
10 dicionalmente, a necessidade de energia de todos os dispositivos auxiliares necessários seja completamente coberta, e nenhuma energia seja alimentada para dentro da rede a bordo da aeronave. Nessa situação, a célula de eletrólise serve para produzir o oxigênio por divisão eletrolítica no anodo  
15 da água em hidrogênio e oxigênio e para umectar a célula de combustível a jusante pela recombinação do hidrogênio com o oxigênio contido no ar introduzido no lado do catodo a partir da cabine da aeronave para produzir água. Preferivelmente, a célula de combustível é uma célula de combustível de  
20 temperatura baixa do tipo PEMFC e/ou célula de eletrólise é uma célula de eletrólise na base de uma membrana polimérica com o catalisador. A célula de eletrólise compreende adicionalmente um catodo de ar, isso é, é projetada como uma célula de eletrólise com o catodo de ar.

25 Em uma modalidade ilustrativa desse segundo aspecto, as células de eletrólise e as células de combustível podem ser combinadas em uma pilha, onde as células de eletrólise são supridas com energia diretamente das células de

combustível, e as células de combustível são supridas diretamente com o gás educt "ar úmido" no lado do catodo das células de eletrólise, e o gás de combustão conduzido para as células de combustível no lado do anodo consiste de hidrogênio ou um gás reformado formado a partir de hidrogênio e di-  
5 óxido de carbono.

Em uma modalidade ilustrativa adicional desse segundo aspecto, um inversor e transformador de voltagem podem ser fornecidos para a alimentação de entrada de energia para dentro da rede a bordo, que são conectados entre a célula de  
10 combustível e o ponto de alimentação de entrada e realiza um ajuste de energia elétrica a partir da célula de combustível para a voltagem, corrente e frequência da rede a bordo.

Um aspecto ilustrativo adicional da invenção pode ser observado visto que a invenção cria um sistema de célula  
15 de combustível que consiste de duas partes com modos de efeito. Nessa situação, a primeira parte é uma célula de combustível operada com ar e hidrogênio, preferivelmente uma célula de combustível de baixa temperatura, tal como uma célula de combustível de membrana de permuta de próton (célula  
20 de combustível PEM), enquanto a segunda parte é uma célula de eletrólise, preferivelmente da mesma forma que uma célula de eletrólise de baixa temperatura, tal como uma célula de eletrólise de membrana de permuta de próton. A princípio a  
25 célula de combustível e a célula de eletrólise são similares. A diferença principal se encontra apenas no tipo de catalisador. A razão de tamanho, ou, em outras palavras, a razão de saída de energia, entre a célula de eletrólise e a

célula de combustível é determinada nessa situação a partir do tipo de aplicação pretendida, isso é, se a célula de combustível é destinada ao suprimento apenas da célula de eletrólise ou também aos dispositivos auxiliares adicionais do sistema de célula de combustível com energia elétrica, ou se a célula de combustível é destinada adicionalmente à alimentação de uma rede a bordo. A célula de eletrólise compreende adicionalmente um catodo de ar, isso é, é projetada como uma célula de eletrólise com o catodo de ar.

Um aspecto ilustrativo adicional da invenção pode ser observado no fato de uma disposição para a produção de oxigênio e água fresca ser fornecida para corresponder à necessidade a bordo da aeronave, onde a disposição consiste de ou constitui uma célula de eletrólise e uma célula de combustível, onde a razão de energia de uma para a outra é selecionada de tal forma que a exigência de energia elétrica da célula de eletrólise, e adicionalmente de todos os aparelhos auxiliares necessários, é totalmente coberta pela célula de combustível e nenhuma energia é alimentada para a rede a bordo da aeronave. Nesse contexto, a célula de eletrólise pode servir para produzir o oxigênio pela divisão eletrolítica no anodo de água em hidrogênio e oxigênio, onde o hidrogênio produzido é conduzido para o lado de anodo da célula de combustível a jusante. Preferivelmente, a célula de combustível é uma célula de combustível de baixa temperatura do tipo PEMFC, que opera em uma faixa de temperatura de entre cerca de 60 C e 80 C ou uma célula de combustível de alta temperatura do tipo PEMFC, que opera a uma faixa de tem-

peratura entre cerca de 120 C e 300 C. Adicionalmente, a célula de eletrólise pode ser uma célula de eletrólise com base em uma membrana polimérica com o catalisador.

Em uma modalidade ilustrativa desse aspecto, as células de eletrólise e as células de combustível podem ser combinadas para formar uma pilha, onde a célula de eletrólise é suprida com energia diretamente a partir das células de combustível, e o gás de combustível conduzido no lado de anodo para as células de combustível consiste de hidrogênio ou um gás reformado de hidrogênio e dióxido de carbono.

Um aspecto ilustrativo adicional da invenção pode ser observado no fato de uma disposição ser fornecida para a produção de oxigênio e água fresca para as necessidades a bordo da aeronave, onde a disposição consiste de ou compreende uma célula de eletrolise e uma célula de combustível, onde a razão de energia de uma para outra é selecionada de tal forma que a exigência de energia elétrica da célula de eletrólise seja coberta pelo fornecimento de energia elétrica pela célula de combustível e, adicionalmente, um excesso de energia seja alimentado para dentro da rede a bordo da aeronave. Uma divisão em dois sistemas diferentes é possível: um com umectação de ar para a célula de combustível pela recombinação do hidrogênio criado com o oxigênio de ar a partir da cabine, e uma com permutador de calor de umidade para a umectação de ar da célula de combustível, mas para isso com a condução de hidrogênio produzido para o anodo da célula de combustível. Esses casos podem ser considerados separadamente. Como uma alternativa, a célula de combustível

pode ser uma célula de combustível de outro tipo além de PEMFC, onde esse outro tipo de célula de combustível pode ser operado no lado do anodo com o hidrogênio de combustível ou gás reformado. Adicionalmente, a célula de eletrólise pode ser uma célula de eletrólise com base em uma membrana polimérica com catalisador, ou outro tipo de célula de eletrólise que é ajustado em termos de nível de temperatura da célula de combustível a jusante.

Em uma modalidade ilustrativa desse aspecto adicional, as células de eletrólise e as células de combustível podem ser combinadas para formar uma pilha, onde as células de eletrólise são supridas com energia diretamente a partir das células de combustível, e o gás de combustão conduzido para as células de combustível no lado do anodo consiste de hidrogênio ou um gás reformado formado de hidrogênio e dióxido de carbono. Adicionalmente, um inversor e um transformador de voltagem são preferivelmente fornecidos para a alimentação de entrada de energia para dentro da rede a bordo, isso sendo conectado entre a célula de combustão e o ponto de alimentação de entrada, e sofrem um ajuste da energia elétrica a partir da célula de combustível para a voltagem, corrente e frequência da rede de bordo.

Referência pode ser feita ao fato de as características ou etapas que foram descritas com relação a uma das modalidades ilustrativas acima ou com relação a um dos aspectos ilustrativos acima também pode ser utilizada em combinação com outras características ou etapas de outra modalidade ilustrativa ou aspectos ilustrativos descritos até

agora.

A invenção é descrita doravante em maiores detalhes com base nos exemplos da modalidade, fazendo referência aos desenhos.

5 A figura 1 ilustra uma representação esquemática do sistema de célula de combustível de acordo com uma modalidade ilustrativa da invenção.

A figura 2 ilustra uma representação diagramática do sistema de célula de combustível de acordo com uma moda-  
10 lidade ilustrativa adicional da invenção.

Na descrição a seguir das figuras, sinais de referência iguais ou similares são utilizados para elementos iguais ou similares.

A figura 1 ilustra uma representação diagramática  
15 de um sistema de célula de combustível para suprimento de uma aeronave com água potável e oxigênio de acordo com uma modalidade ilustrativa da presente invenção. Como pode ser observado a partir da figura 1, o sistema de combustível 100  
20 compreende uma célula de combustível 101 com um lado de anodo 102 e um lado de catodo 103. A célula de combustível 101 é projetada como uma célula de combustível de membrana de permuta de próton (PEMFC). Representada de forma diagramática entre o lado de anodo 102 e o lado de catodo 103 encontra-se uma membrana 104. O lado de anodo 102 da célula de  
25 combustível 101 representa uma linha de alimentação 105 com uma válvula 106 e uma linha de descarga 107 com uma válvula 108. O lado de catodo 103 da célula de combustível 101 compreende uma linha de alimentação 109 e uma linha de descarga

110 com uma válvula 111. Preferencialmente, a linha de alimentação 109 pode ser acoplada de forma adicional a uma linha de distribuição de ar adicional, não representada na figura 1. A linha de descarga 110 é acoplada a um primeiro  
5 permutador de calor 112 do sistema de célula de combustível 100. O primeiro permutador de calor 112 também é acoplado a um descarregador de condensação 113, que por um lado é conectado a um tanque de armazenamento 114 para o armazenamento de água que é condensada no primeiro permutador de calor  
10 112. O tanque de armazenamento 114 é fornecido com uma linha de descarga 115, que, por meio de uma válvula 116, serve como um fluxo de saída no caso de haver muita água no tanque de armazenamento 114. Adicionalmente, o descarregador de condensação 113 é conectado através de um filtro 117 a uma  
15 saída 118, através da qual o ar de saída pode deixar a aeronave, isso é, uma cabine pressurizada da aeronave.

Adicionalmente, o sistema de célula de combustível 100 compreende uma célula de eletrólise 119 com um lado de anodo 120 e um lado de catodo 121. O lado de catodo 121 da  
20 célula de eletrólise 119 é projetada como o que é referido como um catodo de ar, e compreende uma linha de alimentação 122, que é acoplada através de uma válvula 123 e um filtro 124 a uma entrada 125, por meio da qual o ar pode ser introduzido a partir da cabine pressurizada para dentro do lado  
25 de catodo 121 da célula de eletrólise 119. Uma linha de descarga 126 do lado de catodo 121 da célula de eletrólise 119 é acoplada à linha de alimentação 109 do lado do catodo 103 da célula de combustível 101. Uma linha de descarga 127 do

lado do anodo 120 da célula de eletrólise 119 é acoplada a um segundo permutador de calor 128, que compreende uma linha de descarga de gás 129, que é acoplada através de um terceiro permutador de calor 130 e uma bomba 131 a uma saída, pela qual oxigênio pode ser introduzido na cabine pressurizada. O segundo permutador de calor 128 serve para fornecer uma separação de oxigênio/água da mistura água/oxigênio no lado do anodo 120 da célula de eletrólise 119. Uma linha de descarga de água 132 do segundo permutador de calor 128 é acoplada através de uma bomba de circulação 133 e uma válvula 134 a uma entrada no lado do anodo 120 da célula de eletrólise 119. Adicionalmente, o segundo permutador de calor 128 compreende uma entrada de água 135, que é acoplada através de uma válvula 136, uma bomba 137, e uma válvula adicional 138 a uma saída do tanque de armazenamento 114. A saída do tanque de armazenamento 114 é adicionalmente conectada através de uma válvula 139 e uma bomba 140 a um sistema de água potável da aeronave.

Adicionalmente, o sistema de célula de combustível 100 compreende um circuito de resfriamento 141, que é conectado ao ar fora da aeronave. O circuito de resfriamento 141 serve para resfriar o primeiro permutador de calor 112, segundo permutador de calor 128, terceiro permutador de calor 130, e célula de combustível 101.

A função do sistema de célula de combustível representada na figura 1 é descrita em maiores detalhes posteriormente.

A água é conduzida para a célula de eletrólise 119

a partir do tanque de armazenamento 114, que serve como um retentor de armazenamento de água, e/ou de um circuito de água através do segundo permutador de calor 128, pela bomba 133. Por uma voltagem imposta na célula de eletrólise 119, 5 essa água é dividida em  $2H$  e  $O$ , isso é, hidrogênio e oxigênio. Os átomos de oxigênio adquiridos dessa forma formam moléculas de oxigênio  $O_2$  e são transportadas através do segundo permutador de calor 128 e conduzidas através de uma disposição de ventilação do sistema de condicionamento de ar da 10 aeronave, que então fornece ar respirável com uma proporção aumentada de oxigênio para a cabine e os passageiros.

No lado do catodo, a célula de eletrólise 119 é fornecida com ar de descarga a partir da cabine. O ar de cabine é transportado devido à pressão diferencial presente no 15 sistema como um todo entre a cabine e o ar externo. No catodo 121 da célula de eletrólise 119, o hidrogênio do processo de eletrólise, que passou através da membrana da célula de eletrólise 119 a partir do anodo 120 para o catodo 121, combina com o oxigênio contido no ar de cabine para formar 20 água, o que resulta em uma umectação do ar de cabine fluindo através da célula de eletrólise. O ar úmido da célula de eletrólise 119, que contém essencialmente  $N_2$ ,  $O_2$  e  $H_2O$ , é agora conduzido para o catodo 103 da célula de combustível 101. Adicionalmente, se uma linha de entrada de ar adicional for 25 acoplada à linha 109, o ar adicional pode ser conduzido para o lado do catodo da célula de combustível 101. Com a imposição simultânea de hidrogênio no anodo 102, com a imposição de uma carga elétrica, isso é, um consumidor de energia elé-

trica, que é fornecido, por exemplo, pela célula de eletrólise, água adicional é formada. Subsequentemente, toda a parte de água do ar de descarga de célula de combustível é condensada no primeiro permutador de calor 112. Parte da água que é condensada é conduzida para o lado de anodo da célula de eletrólise através do tanque 114 e da bomba 137, a fim de compensar a perda de água novamente, que ocorre de acordo com a equação de reação

$$\text{H}_2\text{O}(\text{líquido}) \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{ultra pura}) + 2\text{H}^+(\text{membrana}) + 2\text{e}^-$$

10 A perda de água anódica é igual à produção de água catódica.

Para se resfriar o sistema descrito, um circuito de resfriamento é utilizado, que utiliza o ar externo como o meio de resfriamento primário, e como um meio de resfriamento secundário bombeia um fluido de resfriamento através do sistema de tubulação representado na figura 1 para os permutadores de calor correspondentes. Os permutadores de calor principalmente exigidos são por um lado um resfriador, que descarrega o calor do circuito de resfriamento para o ar externo, o terceiro permutador de calor 130, que assume uma secagem do oxigênio, até um teor de umidade residual que pode ser possivelmente necessário, para o sistema de condicionamento de ar, o segundo permutador de calor 128, que possui o efeito de resfriamento do circuito de água de anodo, e o primeiro permutador de calor 112, que tem o efeito de condensação da umidade do ar presente no ar de descarga de catodo da célula de combustível 101. A condensação que ocorre no primeiro permutador de calor 112 é conduzida para longe

através da linha de descarga de condensação 113 e conduzida para o tanque de armazenamento 114, que serve como um tanque de armazenamento para o consumo por partes dos passageiros ou serve como uma fonte de água para a célula de eletrólise 5 119.

Em adição a isso, o circuito de resfriamento também pode ser fornecido com permutadores de calor adicionais, que realizam as funções de aquecimento para várias partes do sistema na aeronave, tal como proteção dos tanques de água 10 contra o congelamento.

Como uma alternativa para o meio de resfriamento de fluido descrito acima, um meio de resfriamento gasoso pode ser utilizado, uma combinação de um meio de resfriamento fluido e um gasoso, ou um meio de resfriamento que mude seu 15 estado agregado sob aquecimento de fluido para gasoso e sob resfriamento de gasoso para fluido. No caso do meio de resfriamento que muda seu estado agregado, a temperatura de condensação e a temperatura de fusão são selecionadas de tal forma que se encontrem entre as temperaturas do lado de alta 20 temperatura e o lado de baixa temperatura do permutador de calor, isso é, esse estado agregado do meio de resfriamento muda no permutador de calor.

A figura 2 ilustra uma representação diagramática de uma célula de combustível para o suprimento de uma aeronave com água potável e oxigênio de acordo com uma modalidade 25 ilustrativa adicional da presente invenção. Diferentemente da modalidade ilustrativa da figura 1, no entanto, na modalidade ilustrativa da figura 2, um lado de catodo de uma

célula de eletrólise é acoplada a um lado de anodo de uma célula de combustível. Como pode ser observado a partir da figura 2, o sistema de célula de combustível 200 exibe uma célula de combustível 201 com um lado de anodo 202 e um lado de catodo 203. A célula de combustível 201 é projetada como uma célula de combustível de membrana de permuta de próton (PEMFC). Representada de forma diagramática entre o lado de anodo 202 e o lado de catodo 203 encontra-se uma membrana 204. O lado de anodo 202 da célula de combustível 201 compreende uma primeira linha de distribuição 205 com uma válvula 206 e uma segunda linha de distribuição 207 com uma válvula 208.

O lado de catodo 203 da célula de combustível 201 compreende uma linha de distribuição 209 e uma linha de descarga 210, que são ambas acopladas a um permutador de calor de umidade 250 de tal forma que uma permuta de umidade e/ou calor ocorra entre uma entrada de ar no lado do catodo 203 e uma descarga de ar no lado de catodo 203. Para essa finalidade, a linha de distribuição 209 do lado do catodo é acoplada a um primeiro lado 251 do permutador de calor e umidade 250, e ao mesmo tempo representa uma primeira linha de descarga para o permutador de calor e umidade 250. Uma primeira linha de distribuição 252 do permutador de calor e umidade 250 no primeiro lado do permutador de calor e umidade 250 é acoplada através de uma válvula 253 à cabine de passageiros de tal forma que o ar de cabine possa ser conduzido para o permutador de calor e umidade 250. Adicionalmente, para a permuta de umidade e/ou calor do ar de entrada do la-

do de catodo 203 e o ar de descarga do lado de catodo 203, a linha de descarga 210 do lado do catodo 203 é acoplada a um segundo lado 254 do permutador de calor de umidade 250. Uma segunda linha de descarga 255 do segundo lado 254 do permutador de calor e umidade 250 é acoplada a um primeiro permutador de calor 212 do sistema de célula de combustível 200.

O primeiro permutador de calor 212 é acoplado a uma linha de descarga de condensação 213, que por um lado é conectada a um tanque de armazenamento 214 para o armazenamento de água que é condensada no primeiro permutador de calor 212. O tanque de armazenamento 214 é fornecido com uma linha de descarga 215, que, por uma válvula 216, serve como um fluxo de saída no caso de haver muita água no tanque de armazenamento 214. Adicionalmente, a linha de descarga de condensação 213 é conectada através de um filtro 217 para uma saída 218, através da qual o ar de saída pode deixar a aeronave, isso é, uma cabine pressurizada da aeronave.

Adicionalmente, o sistema de célula de combustível 200 compreende uma célula de eletrólise 219 com um lado de anodo 220 e um lado de catodo 221. O lado de catodo 221 da célula de eletrólise 219 é projetada como o que é conhecido como um catodo de ar, e compreende uma primeira linha de descarga 222, que é necessária para servir como uma descarga de hidrogênio através de uma válvula 223. Uma segunda linha de descarga do lado do catodo 221 da célula de eletrólise 219 é acoplada à segunda linha de distribuição 207 do lado do anodo 202 da célula de combustível 201, e serve para conduzir o hidrogeno, que é produzido na célula de eletrólise

219, para a célula de combustível 201 como combustível. Uma linha de descarga 227 do lado de anodo 220 da célula de eletrólise 219 é acoplada a um segundo permutador de calor 228, que exibe uma linha de descarga de gás 229, que é acoplada  
5 através de um terceiro permutador de calor 230 e uma bomba 231 a uma saída, através da qual o oxigênio pode ser conduzido para a cabine pressurizada. O segundo permutador de calor 228 serve para fornecer uma separação de oxigênio e água da mistura de água e oxigênio no lado do anodo 220 da célula  
10 de eletrólise 219. Uma linha de descarga de água 232 do segundo permutador de calor 228 é acoplada através de uma bomba de circulação 233 e uma válvula 234 para uma entrada no lado de anodo 220 da célula de eletrólise 219. Adicionalmente, o segundo permutador de calor 228 exibe uma entrada de  
15 água 235, que é acoplada através de uma válvula 236, uma bomba 237, e uma válvula adicional 238, a uma saída do tanque de armazenamento 214. A saída do tanque de armazenamento 214 é adicionalmente conectada através de uma válvula 239 e uma bomba 240 a um sistema de água potável da aeronave.

20           Adicionalmente, o sistema de célula de combustível 200 compreende um circuito de resfriamento 241 com um resfriador 242, que está em conexão com o ar fora da aeronave. O circuito de resfriamento 241 serve para resfriar o primeiro permutador de calor 212, o segundo permutador de calor  
25 228, o terceiro permutador de calor 230, e a célula de combustível 201.

Representado na figura 2 encontra-se um número de linhas de distribuição e descarga para o sistema de célula

de combustível 200, ilustrado de forma diagramática como setas. A linha de descarga 260 representa uma descarga de água e a linha de distribuição 261 representa uma entrada de ar de cabine para o lado de catodo da célula de combustível, enquanto a linha de distribuição 262 caracteriza uma alimentação de entrada de hidrogênio para o lado do anodo da célula de combustível. Adicionalmente, a linha de descarga 263 representa de forma diagramática uma descarga de hidrogênio, pela qual, se necessário, o hidrogênio pode ser conduzido a partir do lado de catodo da célula de eletrolise. A linha de descarga 264 representa uma saída de água potável pela qual a água pode ser conduzida a partir do tanque de armazenamento 214 para o sistema de água potável da aeronave. A linha de descarga 265 representa de forma diagramática uma saída, pela qual o oxigênio, que é produzido na célula de eletrólise, pode ser conduzido para o sistema de condicionamento de ar da aeronave. As linhas de descarga 266 representam as linhas de descarga pelas quais, se necessário, o ar de descarga pode ser conduzido a partir do lado de catodo da célula de combustível da aeronave. Finalmente, as linhas de distribuição 267 representam de forma diagramática linhas de distribuição pelas quais o ar ambiente pode ser conduzido para o circuito de resfriamento 241.

A função do sistema de célula de combustível a partir da figura 2 é similar ao do sistema de célula de combustível da figura 1. De acordo, doravante será considerado apenas de forma breve as diferenças no sistema de célula de combustível 200.

Uma diferença substancial entre o sistema de célula de combustível 200 na figura 2 em comparação com o sistema de célula de combustível 100 na figura 1 se encontra no fato de o lado de catodo da célula de eletrólise ser acoplado ao lado de anodo da célula de combustível. Como resultado disso, é possível que o hidrogênio produzido na célula de eletrólise possa ser conduzido à célula de combustível para a produção de energia, como resultado do que a exigência externa de hidrogênio da célula de combustível pode ser reduzida. A fim de se ser capaz de garantir adicionalmente que o ar de umidade adequada esteja disponível para o lado de catodo da célula de combustível, o sistema de célula de combustível 200 da figura 2 exibe o permutador de calor e umidade adicional 250, pelo qual uma parte da água produzida na célula de combustível é novamente conduzida para o ar de entrada do lado do catodo da célula de combustível. A parte restante de água é condensada como no exemplo da modalidade da figura 1. Adicionalmente, no exemplo da modalidade da figura 2, o ar de cabine não é fornecido para o lado de catodo do lado de eletrólise, como é o caso no exemplo da modalidade da figura 1, mas o ar de cabine é conduzido através do permutador de calor e umidade para o lado de catodo da célula de combustível. O lado de catodo da célula de eletrólise no exemplo da modalidade da figura 2, no entanto, não compreende quaisquer linhas de distribuição, mas duas linhas de descarga, onde uma é utilizada para conduzir hidrogênio para o lado de anodo da célula de combustível, enquanto, por contraste, a segunda linha de descarga serve, se necessário,

para conduzir para longe qualquer excesso de hidrogênio.

Por meio de suplemento, deve-se fazer referência ao fato de que "compreendendo" não exclui quaisquer outros elementos ou etapas e "um", "uma" não excluem o plural. Será  
5 feita também referência ao fato de que as características ou etapas que foram descritas com referência a uma das modalidades ilustrativas acima também podem ser utilizadas em combinação com outras características ou etapas de outra modalidade ilustrativa descrita acima. Sinais de referência  
10 nas reivindicações não devem ser considerados como restritivos.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de célula de combustível (100, 200) para o suprimento de um veículo com água potável e oxigênio, o dito sistema de célula de combustível (100, 200),

5 **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender:

uma célula de combustível (101, 201); e

uma célula de eletrólise (119, 219),

onde a célula de eletrólise (119, 219) compreende um catodo de ar e é acoplada à célula de combustível (101,

10 201), e

onde a célula de combustível (101, 201) e a célula de eletrólise (119, 219) são projetadas de tal forma que uma necessidade de energia da célula de eletrólise (119, 219) seja coberta por uma energia distribuída a partir da célula de combustível (101, 201).

15

2. Sistema de célula de combustível (100), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível (101) compreender um lado de anodo (102) e um lado de catodo (103);

20

onde a célula de eletrólise (119) compreende um lado de anodo (120) e um lado de catodo (121); e

onde o lado de catodo (121) da célula de eletrólise (119) é acoplado ao lado de catodo (102) da célula de combustível (101).

25

3. Sistema de célula de combustível (100) de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de eletrólise (119) ser projetada de tal forma que o ar de uma cabine da aeronave pode ser conduzido para o lado de

catodo (121).

4. Sistema de célula de combustível (200) de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível (201) compreender um lado de anodo (202) e  
5 um lado de catodo (203);

onde a célula de eletrólise (219) compreende um lado de anodo (220) e um lado de catodo (221); e

onde o lado de catodo (221) da célula de eletrólise (219) é acoplado ao lado de anodo (202) da célula de com-  
10 bustível (201).

5. Sistema de célula de combustível (200), de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível (201) ser projetada de tal forma que o ar de uma cabine da aeronave seja conduzido para seu lado de  
15 catodo.

6. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 2 a 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível (101, 201) ser projetada de tal forma que o hidrogênio ou o gás reformado seja  
20 conduzido para o mesmo no lado de anodo.

7. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 2 a 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender adicionalmente:

um permutador de calor (113, 213);

25 onde o permutador de calor (113, 213) é projetado de tal forma que resfria o ar descarregado a partir do lado de catodo (103, 203) da célula de combustível (101, 201).

8. Sistema de célula de combustível (100, 200), de

acordo com uma das reivindicações de 2 a 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender adicionalmente:

um permutador de calor adicional (128, 228);

5 onde o permutador de calor adicional (128, 228) é projetado de tal forma que resfria a mistura de água e oxigênio descarregada a partir do lado de anodo (120, 220) da célula de eletrólise (119, 219).

9. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 1 a 8, **CARACTERIZADO** 10 pelo fato de compreender adicionalmente:

um circuito de resfriamento (141, 241);

onde o circuito de resfriamento (141, 241) é acoplado à célula de combustível (101, 201) de tal forma que resfria a célula de combustível (101, 201).

15 10. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 1 a 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível (101, 201) ser uma célula de combustível de baixa temperatura.

20 11. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível de baixa temperatura (101, 201) ser uma célula de combustível de membrana de permuta de próton.

25 12. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 1 a 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível (101, 201) ser uma célula de combustível PEM de alta temperatura.

13. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de

a célula de combustível PEM de alta temperatura (101, 201) ser uma célula de combustível de membrana de permuta de próton.

14. Sistema de célula de combustível (100, 200),  
5 de acordo com uma das reivindicações de 1 a 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de eletrólise (119, 219) ser uma célula de eletrólise de membrana polimérica com catalisador.

15. Sistema de célula de combustível (100, 200),  
10 de acordo com uma das reivindicações de 1 a 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de eletrólise (119, 219) não ser uma célula de eletrólise de membrana polimérica com catalisador; e

15 onde a célula de eletrólise (119, 219) é disposta de tal forma que seja ajustada em uma faixa de temperatura para a célula de combustível.

16. Sistema de célula de combustível (100, 200),  
de acordo com uma das reivindicações de 1 a 15, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender adicionalmente uma  
20 pluralidade de células de combustível e uma pluralidade de células de eletrólise.

17. Sistema de célula de combustível (100, 200),  
de acordo com uma das reivindicações de 1 a 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de a célula de combustível (101,  
25 201) e a célula de eletrólise (119, 219) serem conectadas para formar uma pilha; e

onde a célula de eletrólise (119, 219) é suprida com energia diretamente a partir da célula de combustível

(101, 201).

18. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 1 a 17, **CARACTERIZADO** pelo fato de uma razão de energia entre a célula de combustível (101, 201) e a célula de eletrólise (119, 219) ser selecionada de tal forma que uma distribuição de energia da célula de combustível (101, 201) corresponda precisamente a uma necessidade de energia da célula de eletrólise (119, 219).

10 19. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 1 a 17, **CARACTERIZADO** pelo fato de uma razão de energia entre a célula de combustível (101, 201) e a célula de eletrólise (119, 219) ser selecionada de tal forma que uma distribuição  
15 de energia da célula de combustível (101, 201) corresponda precisamente a uma exigência de energia da célula de eletrólise (119, 219) e de todos os dispositivos auxiliares necessários do sistema de célula de combustível (100, 200).

20 20. Sistema de célula de combustível (100, 200), de acordo com uma das reivindicações de 1 a 17, **CARACTERIZADO** pelo fato de uma razão de energia entre a célula de combustível (101, 201) e a célula de eletrólise (119, 219) ser selecionada de tal forma que uma distribuição  
25 de energia da célula de combustível (101, 201) seja maior do que uma exigência de energia da célula de eletrólise (119, 219) e de todos os dispositivos auxiliares necessários do sistema de célula de combustível (100, 200).

21. Sistema de célula de combustível (100, 200),

de acordo com a reivindicação 20, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender adicionalmente:

um inversor, e  
um conversor de voltagem;

5 onde o inversor e o conversor de voltagem são projetados de tal forma que a energia da célula de combustível (101, 201) possa ser alimentada para dentro de uma rede a bordo do veículo.

22. Aeronave, **CARACTERIZADO** por compreender um  
10 sistema de célula de combustível (100, 200), do tipo definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 21.

23. Uso em uma aeronave, **CARACTERIZADO** por ser de um sistema de combustível (100, 200), do tipo definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 21.

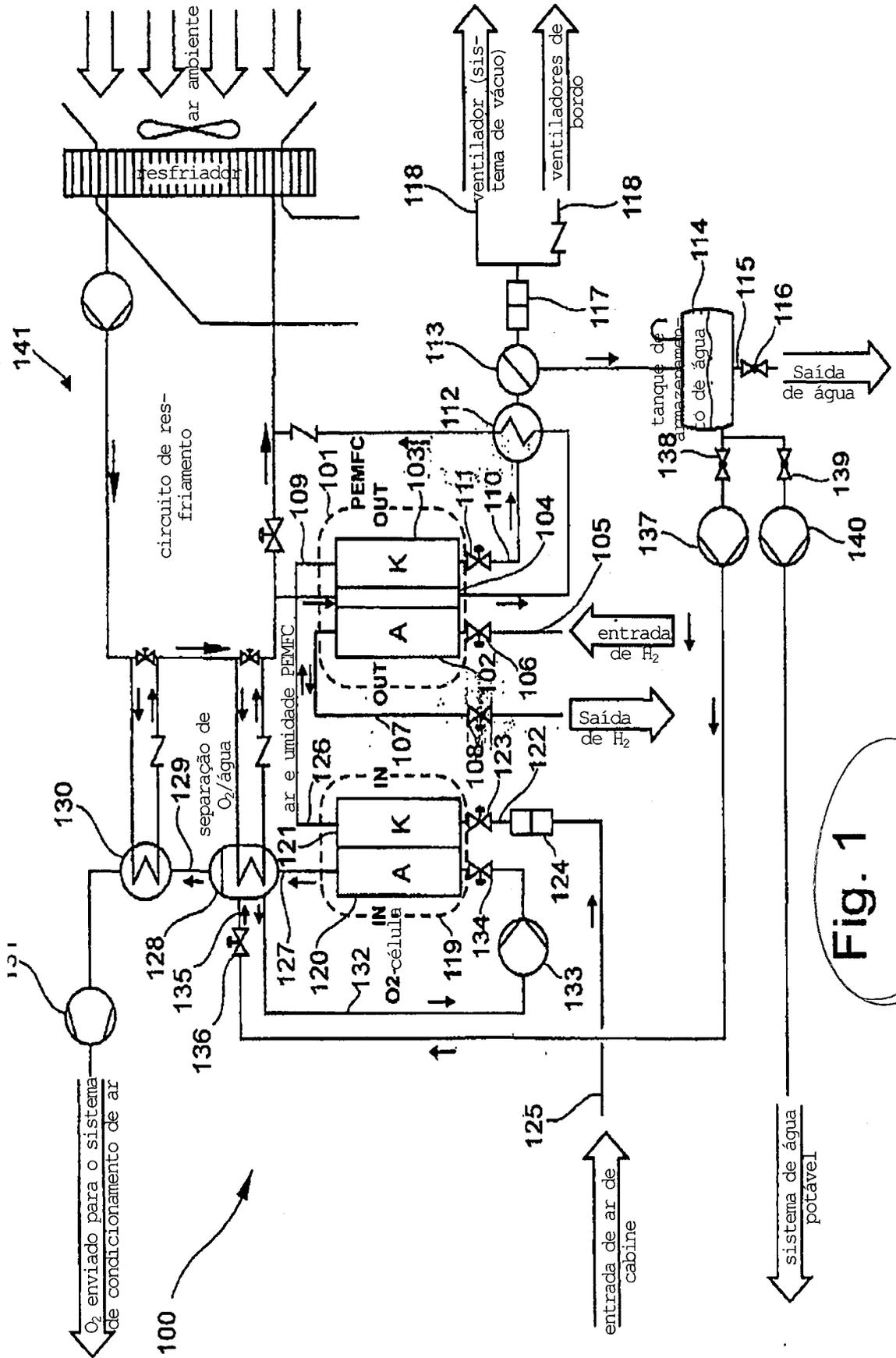


Fig. 1



RESUMO

"SISTEMA DE CÉLULA DE COMBUSTÍVEL PARA O SUPRIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL E OXIGÊNIO"

A presente invenção fornece um sistema de célula  
5 de combustível para o suprimento de um veículo com água potável e oxigênio, o dito sistema de célula de combustível compreendendo uma célula de combustível e uma célula de eletrólise com o catodo de ar. Adicionalmente, a célula de eletrólise é acoplada à célula de combustível, e a célula de  
10 combustível e a célula de eletrólise são projetadas de tal forma que uma necessidade de energia da célula de eletrólise seja completamente coberta por uma distribuição de energia da célula de combustível.