



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 102014006348-0 B1



(22) Data do Depósito: 17/03/2014

(45) Data de Concessão: 08/02/2022

(54) Título: MÉTODO PARA ATUAR DISPOSITIVOS DE GERENCIAMENTO DE CARGA

(51) Int.Cl.: F03D 7/02.

(52) CPC: F03D 7/022; F03D 7/0232; F03D 7/024; F05D 2240/31.

(30) Prioridade Unionista: 15/03/2013 US 13/837,220.

(73) Titular(es): GE INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY, LLC.

(72) Inventor(es): JONATHON PAUL BAKER; JEFFREY AUSTIN BUTTERWORTH; JEHAN ZEB KHAN; GUOJIAN LIN; EDWARD ANTHONY MAYDA; ERICK JAMES RICKARDS; TOBIAS GUENTHER WEHRHAN.

(57) Resumo: ATUAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE GERENCIAMENTO DE CARGA DISTRIBUÍDA EM PÁS AERODINÂMICAS. A presente invenção refere-se a sistemas, aparelhos e métodos para atuar menos do que toda uma pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga em uma turbina eólica e/ou uma pá de turbina eólica. Em algumas modalidades, as sequências de atuação pode ser uma sequência de atuação de raiz à ponta, de ponta à raiz, de carga distribuída máxima, aleatória e/ou de contagem por ciclo. Adicionalmente, uma combinação de duas ou mais sequências de atuação pode ser utilizada a fim de alcançar um resultado desejado. O sistema pode escolher uma sequência de atuação apropriada com base em pá e/ou com base em rotor de acordo com condições de operação, pode alternar sequências de atuação e/ou pode empregar diferentes sequências de atuação dentre a pluralidade de pás de uma turbina eólica. Os dispositivos de gerenciamento de carga podem ser atuados para diferentes alturas máximas e/ou podem ser configurados para ser atuados para alturas variáveis. Os dispositivos de gerenciamento de carga podem ser incluídos como parte de um sistema de gerenciamento distribuído que fornece um controlador e/ou sensor correspondente em cada dispositivo de gerenciamento de (...).

“MÉTODO PARA ATUAR DISPOSITIVOS DE GERENCIAMENTO DE CARGA”

CAMPO TÉCNICO

[0001] Este pedido refere-se em geral ao projeto e controle de uma turbina eólica. Mais particularmente, aspectos da invenção referem-se à modificação da aerodinâmica de uma turbina eólica.

ANTECEDENTES

[0002] Com disponibilidade diminuída e impacto adverso ao ambiente, os combustíveis fósseis e outras fontes de energia convencionais estão declinando continuamente em popularidade enquanto fontes de energia renovável limpa têm visto crescimento rápido. Nos anos vindouros, como esses combustíveis fósseis continuam a se tornar escassos e a consciência em relação ao impacto ambiental de tais fontes de energia torna-se disponível, a demanda por energia renovável limpa continuará a crescer. Uma de tais fontes de energia renovável limpa é energia eólica. Por exemplo, a energia cinética do vento pode ser transmitida em eletricidade com o uso de, por exemplo, uma turbina eólica. Dessa forma, eletricidade pode ser produzida sem queima de qualquer um desses combustíveis fósseis prejudiciais ao meio ambiente e custosos.

[0003] As turbinas eólicas criam potência proporcional à área varrida de suas pás. Assim, aumentando-se o comprimento (por exemplo, amplitude) das pás da turbina eólica, mais energia pode ser produzida. No entanto, a escolha de atributos de rotor para uma turbina eólica, tal como seu diâmetro, é uma troca de projeto entre pás mais longas para a produção de mais energia em ventos fracos e pás mais curtas para limitação de carga em ventos fortes. Uma turbina eólica que tem pás mais longas aumentará a área varrida, que, por sua vez, produz mais potência. Mas em velocidades altas de vento, uma turbina eólica que tem pás mais longas estabelece demandas

maiores sobre os componentes e cria mais situações em que a turbina deve ser desligada para evitar danos aos componentes. Mesmo em situações em que a velocidade média do vento não é alta o suficiente para causar dano, rajadas de vento periódicas podem alterar tanto a velocidade quanto a direção do vento e aplicar forças que podem ser fortes o suficiente para danificar o equipamento.

[0004] As abordagens, com níveis variáveis de sucesso, têm tentado atingir potência mais alta e menos desligamentos e menos casos de danos aos componentes. Por exemplo, controle de afastamento tem sido usado para variar o afastamento da pá (isto é, o ângulo da pá). Em uma turbina eólica com afastamento controlado, um controlador eletrônico na turbina verifica a saída de potência da turbina. Quando a saída de potência excede um certo limite, o mecanismo de afastamento de pá gira as pás de rotor para reduzir as cargas nas pás de rotor. As pás são depois giradas de volta quando o vento diminui novamente. No entanto, o controle de afastamento pode ser bastante lento para responder às mudanças no vento e é relativamente ineficaz para cargas conferidas por rajadas de vento repentinas.

[0005] O controle de estol é outra abordagem que tem sido usada em uma tentativa de atingir potência mais alta e reduzir os desligamentos e danos aos componentes. Em turbinas eólicas controladas por estol do tipo passivo, as pás de rotor são montadas ao cubo em uma orientação angular fixa. O controle de estol é atingido passivamente pelo formato da pá existente de modo que a pá passe por estol aerodinâmico (extinguindo a sustentação) quando a velocidade do vento excede um certo limite. Existem turbinas eólicas controladas por estol do tipo ativo. Em tais sistemas, as pás de rotor são ajustadas a fim de criar estol ao longo da pá. No entanto, ambos os tipos de sistemas de controle de estol podem ser difíceis de otimizar e de resposta lenta e podem sofrer de previsibilidade de resultados mais baixa do que o desejado.

Essas desvantagens são magnificadas em condições com ventos irregulares e rajadas de vento.

[0006] Sistemas de pá de rotor com comprimento variável têm sido também usados como uma tentativa de atingir potência maior e sofrer menos desligamentos e menos danos aos componentes. Em tais sistemas, as pás de rotor da turbina eólica são telescópicas de modo que seu comprimento possa ser ajustado com base na velocidade do vento. Isso fornece vantagens pelo fato de que as pás de rotor podem ser estendidas para fornecer saída mais alta em condições de vento fraco e retraída em cargas mais baixas em condições de vento forte. A Patente nº U.S. 6.902.370, intitulada “Telescoping Wind Turbine Blade” e que é incorporada ao presente a título de referência em sua totalidade, revela um sistema de turbina eólica que tem pás de rotor de turbina eólica telescópicas. Apesar de sistemas de pá de rotor com comprimento variável terem certas vantagens, os mesmos podem sofrer desvantagens em condições de vento irregular ou podem ter resposta muito lenta quando passam por uma rajada de vento.

[0007] Mais recentemente, defletores têm sido usados para controlar cargas em componentes de uma turbina eólica. Por exemplo, defletores têm sido usados para interromper o fluxo de ar em uma lâmina da turbina eólica assim reduzindo a sustentação e a carga correspondente colocada nos componentes da turbina eólica. Por exemplo, a Patente nº U.S. 8.267.654, intitulada “Wind Turbine with Deployable Air Deflectors”, e que é incorporada ao presente a título de referência em sua totalidade, descreve o uso de defletores em uma pá de turbina eólica para controlar as cargas. Esses defletores são acionados quando um sensor ou outro componente detecta que a produção de potência, velocidade, aceleração, cargas ou similares excederam um valor limite e os defletores são assim acionados para colocar a produção de potência, velocidade, aceleração, cargas, etc. de volta dentro do

limite.

[0008] Em alguns casos, múltiplos defletores são usados em uma turbina eólica e/ou uma pá de turbina eólica para controlar as cargas. Por exemplo, em algumas modalidades, múltiplos defletores são dispostos ao longo do comprimento de uma pá da turbina eólica. Dessa forma, um ou mais dos múltiplos defletores podem ser acionados para controlar a carga conforme discutido acima. No entanto, em tais modalidades, alguns defletores podem ser acionados mais do que outros, levando à hiperatividade de alguns (e assim falha precoce) e baixo uso de outros. Ademais, dependendo de uma localização por amplitude de cada defletor de ar acionado, para certas condições, alguns defletores podem ser menos eficazes que outros, levando a que mais defletores do que o necessário sejam acionados (e assim, em último caso, aumentando o total de ciclo de serviço para o sistema como um todo).

[0009] Como a eletricidade continua a se tornar um produto muito valioso e como as turbinas eólicas representam uma solução ecológica para solucionar os problemas de escassez de eletricidade, um projeto de turbina eólica supere as desvantagens mencionadas anteriormente e forneça mais potência, menos desligamentos de turbina e menos danos aos componentes é assim desejável.

BREVE SUMÁRIO

[0010] O seguinte apresenta um sumário simplificado da invenção a fim de fornecer um entendimento básico de alguns aspectos da invenção. O sumário não é uma vista geral extensiva da invenção. Não se pretende identificar os elementos principais ou essenciais da invenção ou delinear o escopo da invenção. O seguinte sumário meramente apresenta alguns conceitos da invenção de uma forma simplificada como um prefácio à descrição mais detalhada fornecida abaixo.

[0011] Um ou mais aspectos da invenção superam as limitações

na técnica anterior fornecendo sequências de atuação para atuar um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga em um aerofólio. Por exemplo, em algumas modalidades, as sequências de atuação são fornecidas para atuar menos do que todos de uma pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga em uma turbina eólica e/ou uma pá de turbina eólica. As sequências de atuação podem ser empregadas em resposta às condições de operação detectadas, de modo que um resultado desejado (por exemplo, cargas reduzidas, tais como cargas nas pás, torre, trem de acionamento, etc.; potência aumentada; reduzir ciclos de serviço de dispositivos de gerenciamento de carga; etc.) pode ser atingido.

[0012] De acordo com alguns aspectos, uma sequência de atuação de raiz a ponta pode ser empregada. Em tais modalidades, um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga mais internos de uma turbina eólica e/ou uma pá da turbina eólica podem ser atuados a fim de atingir um resultado desejado.

[0013] De acordo com outros aspectos, uma sequência de atuação de raiz a ponta pode ser empregada. Em tais modalidades, um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga mais externos de uma turbina eólica e/ou uma pá da turbina eólica podem ser atuados a fim de atingir um resultado desejado.

[0014] De acordo com outros aspectos, uma sequência de atuação de carga máxima distribuída pode ser empregada. Em tais modalidades, um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga de uma turbina eólica e/ou um pá de turbina eólica podem ser atuados próximos a uma localização de uma carga aerodinâmica máxima detectada.

[0015] De acordo com outros aspectos, uma sequência de atuação aleatória pode ser empregada. Em tais modalidades, um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga aleatórios de uma turbina eólica e/ou

um pá de turbina eólica podem ser atuados.

[0016] De acordo com outros aspectos, uma sequência de atuação de contagem de ciclo pode ser empregada. Em tais modalidades, um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga aleatórios de uma turbina eólica e/ou um pá de turbina eólica podem ser atuados, que têm os ciclos de acionamento cumulativo total mais baixos.

[0017] De acordo com outros aspectos, uma combinação de duas ou mais sequências pode ser empregada em uma turbina eólica e/ou em uma pá da turbina eólica. Por exemplo, em algumas modalidades, as sequências de atuação de raiz a ponta podem ser empregadas para certas condições de operação detectadas, enquanto as sequências de atuação de ponta a raiz podem ser empregadas para outras condições de operação detectadas. Em algumas modalidades, uma sequência de atuação aleatória ou uma sequência de atuação por contagem de ciclo pode ser empregada em menos do que todas as pás de uma turbina eólica com uma sequência de atuação diferente (por exemplo, raiz para ponta, ponta para raiz, carga máxima distribuída, etc.) empregada nas pás remanescentes da turbina eólica. Em outras modalidades, uma ou mais sequências de atuação podem ser alternadas em uma turbina eólica e/ou uma pá de uma turbina eólica com uma ou mais outras sequências de atuação.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0018] Um entendimento mais completo da presente invenção e as vantagens da mesma podem ser adquiridos por referência à seguinte descrição em consideração aos desenhos anexos, em que números de referência similares indicam recursos similares.

[0019] A FIG. 1 é uma vista em perspectiva de uma turbina eólica de acordo com uma primeira modalidade da invenção.

[0020] A FIG. 2 é uma vista seccional esquemática de uma pá de

rotor que representa o fluxo de ar sob condições de vento normais.

[0021] A FIG. 3 é uma vista seccional esquemática da pá de rotor da FIG. 2 que representa o fluxo de ar com um dispositivo de gerenciamento de carga em uma posição estendida.

[0022] A FIG. 4 é um corte transversal através de uma pá de rotor que representa um defletor de ar de acordo com um aspecto da invenção.

[0023] A FIG. 5 é uma vista seccional isométrica através da pá de rotor que representa o defletor de ar da FIG. 4 em uma posição retraída;

[0024] A FIG. 6 é uma vista seccional isométrica através da pá de rotor que representa o defletor de ar da FIG. 4 em uma posição estendida.

[0025] A FIG. 7 é um esquema de uma pá de rotor que compreende múltiplos defletores de ar dispostos por amplitude ao longo da pá de rotor.

[0026] A FIG. 8 é um esquema de uma curva de potência ilustrativa para uma turbina eólica.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0027] Na seguinte descrição das várias modalidades, é feita referência aos desenhos anexos, que formam uma parte das mesmas e em que são mostradas, a título de ilustração, várias modalidades em que a invenção pode ser praticada. Deve-se entender que outras modalidades podem ser utilizadas e modificações estruturais e funcionais podem ser feitas sem afastamento do escopo da presente invenção.

[0028] Os aspectos da presente invenção são direcionados a múltiplos dispositivos de gerenciamento de carga dispostos em uma turbina eólica e métodos para atuar um ou mais dos dispositivos de gerenciamento de carga em resposta às condições de operação detectadas. Adicionalmente, os aspectos da invenção são direcionados à atuação de menos que todos os dispositivos de gerenciamento de carga em uma pá da turbina eólica e às

sequências de atuação usadas para determinar quais dispositivos de gerenciamento de carga atuar.

[0029] A FIG. 1 mostra uma turbina eólica 2 em uma fundação 4 com uma torre 6 que sustenta uma nacela 8. Uma ou mais pás 10 são fixadas a um cubo 12 por meio de um flange de cavilha 14. Na modalidade representada, a turbina eólica inclui três pás 10. O cubo 12 é conectado a uma caixa de engrenagens, um gerador e outros componentes dentro da nacela 8. As pás 10 podem ter um comprimento fixo ou podem ser do tipo com comprimento variável, isto é, telescópicas, tal como mostrado na FIG. 1. Conforme mostrado na FIG. 1, cada pá com comprimento variável 10 inclui uma porção de raiz ou base 16 e uma porção de ponta 18. A porção de ponta 18 é móvel em relação à porção de raiz 16 de modo que aumente e diminua de modo controlado o comprimento da pá de rotor 10 e, por sua vez, respectivamente aumente e diminua a área varrida das pás de rotor 10. Qualquer sistema de acionamento desejável, tal como um acionamento por parafuso, um pistão/cilindro ou uma disposição de polia/manivela, pode ser usado para mover a porção de ponta 18 em relação à porção de raiz 16. Tais sistemas de acionamento são descritos na Patente nº U.S. 6.902.370 intitulada "Telescoping Wind Turbine Blade", que é incorporada ao presente a título de referência em sua totalidade. A turbina eólica 2 inclui, ainda, um mecanismo de orientação e um motor de guinada, não mostrados.

[0030] Cada pá de rotor 10 pode incluir um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga 28 conforme representado esquematicamente na FIG. 3. A pá 10 representada nas figuras é meramente um projeto em corte transversal ilustrativo e reconhece-se que infinitas variações de corte transversal podem ser usadas como parte da presente invenção. A pá de rotor 10 pode ser feita de quaisquer materiais e construções adequados, tais como fibra de vidro e/ou fibra de carbono. Os dispositivos de gerenciamento de carga

28 localizados na pá 10 podem interromper o fluxo de ar ao longo da pá de rotor 10 a fim de, por exemplo, extinguir a sustentação na pá de rotor 10 (e assim reduzir as cargas correspondentes em componentes da turbina eólica 2). A funcionalidade dos dispositivos de gerenciamento de carga 28 é ilustrada de modo geral nas FIGURAS 2 e 3. Por exemplo, a FIG. 2 mostra uma pá de rotor 10 sendo submetida ao fluxo de ar sob condições normais de vento. A pá de rotor 10 tem um bordo de ataque 20, um bordo de fuga 22, um lado de alta pressão 24 e um lado de baixa pressão 26. Uma linha de corda *c* pode ser definida como uma linha entre o bordo de ataque 20 e o bordo de fuga 22 da pá 10. Reconhece-se que o lado anterior da pá de rotor 10 corresponde à metade anterior da pá de rotor 10 e o lado posterior da pá de rotor 10 na metade posterior da pá de rotor 10.

[0031] Sem qualquer dispositivo de gerenciamento de carga 28 atuado (conforme mostrado, por exemplo, na FIG. 2), uma força de sustentação criada por uma diferença em pressão entre o lado de baixa pressão 26 e o lado de alta pressão 24 aumentará conforme a velocidade do vento aumenta. Por exemplo, a superfície mais curvada 26a e a superfície menos curvada oposta 24a criam a dinâmica do lado de baixa pressão 26 e o lado de alta pressão 24 devido aos princípios bem conhecidos de aerodinâmica. Isso, em combinação com o fluxo de ar sobre a pá de rotor 10, cria um efeito conhecido como “sustentação” que auxilia na rotação do rotor. Se os dispositivos de gerenciamento de carga 28, em velocidades altas de vento, uma turbina eólica 2 poderia sofrer cargas danosas a um ou mais componentes. Por exemplo, devido ao fato de que as cargas sobre os vários componentes aumentam conforme a velocidade do rotor da turbina eólica 2 aumenta e devido ao fato de que a sustentação criada entre uma diferença de pressão no lado de baixa pressão 26 e no lado de alta pressão 24 continuará com a velocidade de vento, assim aumentando a velocidade de rotor da turbina

eólica 2, se as velocidades do vento tornarem-se muito altas, a turbina eólica 2 pode sofrer cargas danosas.

[0032] Assim, alguns aspectos da invenção utilizam um ou mais dispositivos de gerenciamento de carga 28 para interromper o fluxo de ar ao longo da pá de rotor 10 quando, por exemplo, a velocidade do vento se torna muito alta, assim diminuindo a sustentação e velocidade do rotor e reduzindo a carga na turbina eólica 2 e seus vários componentes. A FIG. 3 ilustra a pá de rotor 10 que utiliza o dispositivo de gerenciamento de carga 28. O dispositivo de gerenciamento de carga 28 pode ser qualquer dispositivo de gerenciamento de carga adequado para interromper o fluxo de ar. De acordo com alguns aspectos da invenção, o dispositivo de gerenciamento de carga 28 pode ser, por exemplo, um defletor de ar conforme será discutido de modo mais completo. O dispositivo de gerenciamento de carga 28 é atuado quando um sensor determina que a pá de rotor 10 está excedendo um valor classificado como máximo da turbina eólica 2 e/ou quando um sensor detecta cargas em vários componentes da turbina eólica 2 que excedem os valores limite. O dispositivo de gerenciamento de carga 28 inclui separação de fluxo ao longo do lado da pá de rotor 10 (na modalidade representada, ao longo do lado de baixa pressão 26). Dessa forma, quando atuado, o dispositivo de gerenciamento de carga 28 pode ajudar a diminuir as cargas sofridas pelos vários componentes da turbina eólica 2 em, por exemplo, condições de vento forte.

[0033] A FIG. 4 ilustra um corte transversal de uma pá de rotor 10 que emprega um defletor de ar 32 como um exemplo de um dispositivo de gerenciamento de carga 28 de acordo com um ou mais aspectos da invenção. Conforme pode ser visto na FIG. 4, a pá de rotor 10 inclui, ainda, pelo menos um atuador 30. O defletor de ar 32 é móvel entre uma posição estendida em que o defletor de ar 32 se estende a partir de uma superfície externa da pá de rotor 10 e uma posição retraída em que o defletor de ar 32 está

substancialmente nivelado com, rebaixado a partir de, ou de outro modo não se estende materialmente a partir da superfície externa da pá de rotor 10. Por exemplo, o atuador 30 pode estender e retrainr o defletor de ar 32 de acordo com as condições de operação detectadas quando direcionado por, por exemplo, um controlador (não mostrado).

[0034] A FIG. 4 representa um posicionamento do atuador 30 e do defletor de ar 32 para afetar o fluxo de ar no lado de baixa pressão 26 da pá de rotor 10. No entanto, na prática, o atuador 30 e o defletor de ar 32 podem ser posicionados para afetar o fluxo de ar no lado de alta pressão 24 da pá de rotor 10. Ademais, o atuador 30 e o defletor de ar 32 podem ser posicionados em qualquer posição por corda ao longo da pá de rotor, de modo que, em algumas modalidades, o defletor de ar 32 seja disposto na metade posterior da pá de rotor 10 ao invés da metade anterior, conforme representado. Ademais e conforme será discutida de modo mais completo, a pá de rotor 10 pode compreender mais de um atuador 30 e/ou um defletor de ar 32.

[0035] O defletor de ar 32 pode ser dimensionado com base no parâmetro de condição de turbina eólica desejado e ainda em vista do número de dispositivos de gerenciamento de carga 28 usados. O defletor de ar 32 pode ser feito de qualquer material adequado, tal como fibra de vidro, fibra de carbono, aço inoxidável, plástico, policarbonato e/ou alumínio, etc.. O defletor de ar 32 pode ser de qualquer largura desejada, por exemplo, de alguns centímetros a diversos metros. Adicionalmente, o defletor de ar 32 pode se estender a partir da superfície de aerofólio até qualquer altura desejada, por exemplo, de menos que um por cento a algum percentual da corda c e o defletor de ar 32 pode ter qualquer espessura adequada com base no material escolhido, tipicamente menos que 2,54 centímetros (uma polegada).

[0036] As Figuras 5 e 6 são vistas seccionais isométricas através da pá de rotor 10 que representa o atuador 30 com o defletor de ar 32 em uma

posição retraída (FIG. 5) e em uma posição estendida (FIG. 6). O atuador 30 é adequadamente montado por uma interface para manter substancialmente o contorno superficial da pá de rotor 10. Em outra disposição, a face anterior do atuador 30 pode ser montada ao lado de baixo da pá de rotor 10. Disposições de preensão adequadas tais como hardware e adesivos podem ser usadas.

[0037] De acordo com alguns aspectos da invenção, múltiplos dispositivos de gerenciamento de carga 28 podem ser fornecidos em uma pá de rotor 10. Por exemplo, em algumas modalidades, múltiplos atuadores 30 e/ou defletores de ar 32 podem ser dispostos e espaçados por amplitude ao longo do comprimento da pá de rotor 10. Conforme ilustrado na FIG. 7, múltiplos defletores de ar 32a a 32i podem ser dispostos ao longo da pá de rotor 10. Na FIG. 7, os componentes remanescentes da turbina eólica 2 (por exemplo, outras pás de rotor 10, torre 6, fundação 4, etc.) foram truncados e/ou não representados para simplicidade. No entanto, um versado na técnica, dado o benefício desta revelação, perceberá que as duas pás de rotor adicionais 10 podem compreender múltiplos defletores de ar 32 dispostos de uma forma similar àquela representada na FIG. 7. Em tais modalidades que compreendem múltiplos dispositivos de gerenciamento de carga 28 (por exemplo, múltiplos atuadores 30 e/ou defletores de ar 32) o número de dispositivos de gerenciamento de carga 28 atuados (por exemplo, estendidos) em qualquer dado tempo pode depender das condições de operação detectadas da pá de rotor 10 e/ou da turbina eólica 2. Por exemplo, em alguns casos, um sensor (por exemplo, acelerômetro, sensor de pressão por diferencial, sensor de velocidade, sensor de potência, etc.) pode determinar que a velocidade de rotor da turbina eólica 2 está em ou acima de uma velocidade classificada como máxima para a turbina eólica 2. Dessa forma, um controlador ou outro dispositivo adequado (não mostrado) pode instruir um ou mais atuadores 30 a atuar um ou mais defletores de ar 32 a fim de colocar a velocidade do rotor

e/ou cargas dentro de uma faixa aceitável.

[0038] Retornando à FIG. 7, em algumas modalidades, todos os dispositivos de gerenciamento de carga disponíveis 28 (por exemplo, defletores de ar 32a a 32i) podem ser atuados a fim de colocar a velocidade do rotor e/ou cargas nas faixas aceitáveis. Por exemplo, se a turbina eólica 2 estiver passando por ventos muito fortes, todos os dispositivos de gerenciamento de carga disponíveis 28 (por exemplo, defletores de ar 32a a 32i) podem ser atuados a fim de evitar, por exemplo, desligamento da turbina eólica. Em outras modalidades, no entanto, um controlador ou outro dispositivo pode determinar que menos que todos os dispositivos de gerenciamento de carga 28 (por exemplo, defletores de ar 32a a 32i) fornecidos em uma pá de rotor 10 precisam ser atuados a fim de colocar a velocidade do rotor e/ou cargas detectadas dentro de uma faixa aceitável. Em tais modalidades, o controlador ou dispositivo similar instruirá um ou mais atuadores 30 a atuar menos que todos os defletores de ar disponíveis 32a a 32i de acordo com uma sequência de ativação determinada, conforme será discutido de modo mais completo.

[0039] Em algumas modalidades, devido ao fato de que o controlador não atuará sempre todos os defletores de ar disponíveis 32a a 32i, alguns defletores de ar 32 podem ser atuados mais que outros durante a vida útil do sistema (por exemplo, a pá 10 e/ou a turbina eólica 2). Por exemplo, cada defletor de ar 32 pode afetar cargas de modo diferente dependendo, por exemplo, de uma localização por amplitude ao longo da pá 10 do defletor de ar 32. Por exemplo, o defletor de ar 32a (por exemplo, um defletor mais interno dos defletores de ar 32 localizado próximo à raiz 35 da pá 10) pode afetar as cargas de modo bem diferente do defletor de ar 32i (por exemplo, um defletor mais externo dos defletores de ar 32 localizado próximo à ponta 37 da pá 10). Assim, em algumas modalidades, um controlador pode atuar o defletor de ar 32a com mais frequência que o 32i para controlar as cargas. Em tais

modalidades, o defletor de ar 32a pode se tornar hiperativo (por exemplo, usado com mais frequência que os outros defletores de ar 32 ao longo da pá 10). O uso excessivo de um defletor de ar pode levar à falha do defletor hiperativo bem antes que os outros, causando, por exemplo, desligamento da turbina eólica 2 para reparo, por exemplo, do defletor hiperativo.

[0040] De acordo com algumas modalidades da invenção, o sistema de turbina eólica 2 geral pode ser preservado (por exemplo, sofrer menos desligamentos, etc.) variando-se quais defletores de ar 32 são atuados de modo que, por exemplo, o ciclo de serviço (por exemplo, diversos ciclos acionados/retraídos submetidos a) de cada um dos defletores de ar 32 seja comparável. Isso pode levar a, por exemplo, menos desligamentos da turbina eólica 2. Por exemplo, se o ciclo de serviço de cada defletor de ar 32 for aproximadamente igual, a turbina eólica 2 pode precisar apenas ser desligada para manutenção (por exemplo, substituição de defletores de ar 32, etc.) próximo a um tempo em que cada defletor de ar 32 alcançou sua vida útil.

[0041] Ademais, devido ao fato de que cada defletor de ar 32 pode afetar cargas e/ou geração de potência da turbina eólica 2 de modo diferente dependendo, por exemplo, das condições de operação, etc., atuar um defletor de ar 32 menos eficaz para as condições particulares pode levar a um aumento de ciclos de serviço para o sistema como um todo. A título de exemplo, em algumas condições de operação (por exemplo, velocidades de vento, velocidades de rotor da turbina eólica 2, afastamento de pás 10, etc.), o defletor de ar 32i (por exemplo, um defletor de ar 32 mais externo) pode ser mais eficaz na redução de cargas que, por exemplo, o defletor de ar 32a (por exemplo, um defletor de ar 32 mais interno). Dessa forma, se um controlador determinar que um ou mais defletores de ar 32 precisam ser atuados a fim de, por exemplo, reduzir as cargas na turbina eólica 2 para as dadas condições de operação, atuar o defletor de ar 32a será menos eficaz que atuar o defletor de

ar 32i. Assim, se o controlador atuar o defletor de ar 32a, o mesmo pode precisar, em último caso, atuar mais defletores de ar 32 a fim de atingir a redução de carga desejada do que se tivesse atuado o defletor de ar 32i. Em outros termos, nessa modalidade, podem ser necessários dois ou mais defletores de ar internos 32 (por exemplo, defletores de ar 32 próximos à raiz 35) para realizar os mesmos benefícios de redução de carga que um defletor de ar externo 32 (por exemplo, defletores de ar 32 próximos à ponta 37). Assim, os ciclos de serviço dos defletores de ar 32 para esse sistema como um topo podem aumentar devido ao fato de que mais defletores de ar 32 são atuados (no exemplo, dois) do que pode ser necessário (por exemplo, um).

[0042] De acordo com alguns aspectos da invenção, um controlador, etc., pode usar diferentes sequências de atuação para atuar um ou mais defletores de ar 32a a 32i (mas, por exemplo, menos que todos os defletores de ar 32a a 32i) ao longo da pá 10 a fim de, por exemplo, reduzir os ciclos de serviço para cada defletor de ar 32 e/ou do sistema como um todo enquanto ainda atinge os benefícios desejados de redução de carga e/ou potência aumentada. Para cada sequência, o controlador pode primeiramente determinar condições de operação (por exemplo, velocidade de vento, velocidade de rotor da turbina eólica 2, afastamento de pás 10, etc.) e determinar qual sequência de atuação usar de modo correspondente.

[0043] Por exemplo, em algumas modalidades, um ou mais defletores de ar 32 podem ser atuados com o uso de uma sequência de raiz a ponta. Conforme ilustrado na FIG. 7, uma pluralidade de defletores de ar 32a a 32i pode ser disposta ao longo da pá 10 a partir de uma raiz 35 da pá 10 até uma ponta 37 da pá 10. Para algumas condições de operação, um controlador pode determinar que os defletores de ar internos 32 (por exemplo, aqueles localizados mais próximos à raiz 35) podem ser mais eficazes para atingir um resultado desejado (por exemplo, reduzir uma carga na turbina eólica 2,

atingindo uma saída de potência máxima, por exemplo) do que os defletores de ar externos 32 (por exemplo, aqueles localizados mais próximos à ponta 37). Dessa forma, para tais condições de operação, o controlador pode atuar mais de um defletor de ar 32 com o uso de uma sequência de raiz para ponta. Para tal sequência de atuação, o controlador pode atuar um número desejado de defletores de ar 32 localizados mais próximos à raiz 35 (por exemplo, os defletores de ar mais internos 32). Por exemplo, se o controlador determinar que as condições de operação são tais que os defletores de ar mais internos 32 atingirão de modo eficaz um resultado desejado e se o controlador determinar que precisará atuar um defletor de ar interno 32 para atingir esse resultado, o controlador pode, por exemplo, seguir uma sequência de atuação de raiz a ponta e assim atuar o defletor de ar 32a. Em outras modalidades, se o controlador determinar que as condições de operação são tais que os defletores de ar mais internos 32 atingirão de modo mais eficaz um resultado desejado e se o controlador determinar que será necessário atuar quatro defletores de ar internos 32 para atingir esse resultado, o controlador pode, por exemplo, seguir uma sequência de atuação de raiz a ponta e assim começar com um defletor de ar mais interno 32a e atuar os três defletores de ar mais internos seguintes 32b a 32d. Tal sequência de atuação pode, em último caso, reduzir os ciclos de serviço totais para o sistema como um todo, devido ao fato de que menos (porém, mais eficazes) defletores de ar 32 podem ser atuados para atingir o resultado desejado.

[0044] Em outras modalidades, um ou mais defletores de ar podem ser atuados com o uso de uma sequência de ponta a raiz. Ou seja, para algumas condições de operação, um controlador pode determinar que os defletores de ar externos 32 podem ser mais eficazes para atingir um resultado desejado (por exemplo, reduzindo a carga na turbina eólica 2, atingindo uma saída de potência máxima, etc.) que os defletores de ar internos 32. Dessa

forma, para tais condições de operação, o controlador pode atuar mais de um defletor de ar 32 com o uso de uma sequência de ponta a raiz. Para tal sequência de atuação, o controlador pode atuar um número desejado de defletores de ar 32 localizados mais próximos à ponta 37 (por exemplo, os defletores de ar mais externos 32). Por exemplo, se o controlador determinar que as condições de operação são tais que os defletores de ar mais externos 32 atingirão de modo mais eficaz um resultado desejado e se o controlador determinar que será necessário atuar um defletor de ar externo 32 para atingir esse resultado, o controlador pode, por exemplo, seguir uma sequência de atuação de ponta a raiz e assim atuar o defletor de ar 32i. Em outras modalidades, se o controlador determinar que as condições de operação são tais que os defletores de ar mais externos 32 atingirão de modo mais eficaz um resultado desejado e se o controlador determinar que será necessário atuar quatro defletores de ar externos 32 para atingir esse resultado, o controlador pode, por exemplo, seguir uma sequência de atuação de raiz a ponta e assim começar com um defletor de ar mais externo 32i e atuar os três defletores de ar mais internos seguintes 32f a 32h. Tal sequência de atuação pode, em último caso, reduzir os ciclos de serviço totais para o sistema como um todo, devido ao fato de que menos (porém, mais eficazes) defletores de ar 32 podem ser atuados para atingir o resultado desejado.

[0045] Em outras modalidades, um ou mais defletores de ar 32 podem ser atuados com o uso de uma sequência de atuação de carga máxima distribuída. Por exemplo, em algumas modalidades, um ou mais sensores (por exemplo, sensores de pressão por diferencial, acelerômetros, sensores de velocidade, etc.) podem ser fornecidos ao longo do comprimento da pá 10 para medir e/ou aproximar, por exemplo, uma ou mais cargas aerodinâmicas. Em algumas modalidades, uma pluralidade de sensores será fornecida, um na localização aproximada de cada defletor de ar 32a a 32i. Por exemplo, na

modalidade representada na FIG. 7, a pá 10 pode compreender nove sensores, cada um em uma localização aproximada de um defletor de ar correspondente 32a a 32i. Em algumas modalidades, um ou mais controladores podem determinar que sensores estão sofrendo as maiores cargas aerodinâmicas e atuar um defletor de ar correspondente 32 na localização aproximada do sensor que está sofrendo as maiores cargas aerodinâmicas. Por exemplo, um ou mais controladores podem determinar que, por exemplo, três defletores de ar 32 precisam ser atuados a fim de, por exemplo, reduzir a carga que atua na turbina eólica 2. Ademais, o um ou mais controladores podem determinar que um sensor localizado aproximadamente na mesma localização que o defletor de ar 32e está sofrendo a carga aerodinâmica máxima entre uma localização em cada um dos defletores de ar 32a a 32i. Dessa forma, o um ou mais controladores, com o uso de uma sequência de atuação de carga máxima distribuída, podem atuar, de modo correspondente, o defletor de ar 32e e então atuar proporcionalmente os defletores de ar circundantes 32 para alcançar o número total de defletores de ar necessários 32 (por exemplo, defletor de ar 32f e defletor de ar 32d). Em tal modalidade, os ciclos de serviço do sistema geral (por exemplo, pá 10 e/ou turbina eólica 2) podem ser reduzidos. Por exemplo, um número menor de defletores de ar totais 32 pode, em último caso, ser atuado devido ao fato de que os defletores de ar 32 localizados na localização de carga aerodinâmica máxima podem ser mais eficazes para atingir o resultado desejado (por exemplo, reduzindo as cargas que atuam na turbina eólica 2).

[0046] Em outras modalidades, um ou mais defletores de ar 32 podem ser atuados com o uso de uma sequência de atuação aleatória. Por exemplo, se (conforme discutido) um ou mais defletores de ar 32 forem atuados de modo rotineiro, o um ou mais defletores de ar 32 atuados de modo rotineiro podem passar por muito mais ciclos de serviço que outros defletores

de ar menos atuados de modo rotineiro durante a vida útil do sistema. Assim, em algumas modalidades, um ou mais controladores podem distribuir ciclos de serviço entre os defletores de ar 32 com o uso de uma sequência de atuação aleatória. Em tais modalidades, uma vez que o controlador determine que um ou mais defletores de ar 32 precisam ser atuados, o mesmo pode escolher aleatoriamente (com o uso de, por exemplo, um gerador de número aleatório ou outro método bem conhecido) um ou mais defletores de ar 32 serem atuados. A título de exemplo, se um ou mais controladores determinarem, por exemplo, que três defletores de ar 32 precisam ser atuados a fim de reduzir as cargas na turbina eólica 2 para as condições de operação atuais, o um ou mais controladores podem escolher três defletores de ar 32 aleatoriamente para atuar (por exemplo, o defletor de ar 32c, o defletor de ar 32e e o defletor de ar 32h). Em tais modalidades, a vida útil do sistema geral (por exemplo, pá 10 e/ou turbina eólica 2) pode ser estendida devido ao fato de que todos os defletores de ar 32 podem estar em uma base aproximadamente igual. Dessa forma, nenhum defletor de ar 32 sofrerá, por exemplo, falha precoce devido à hiperatividade.

[0047] Em outras modalidades, um ou mais defletores de ar 32 podem ser atuados com o uso de uma sequência de atuação por contagem de ciclo. Em tais modalidades, um ou mais controladores podem registrar ciclos de serviço cumulativos para cada defletor de ar 32. Nessa modalidade, quando o um ou mais controladores determinam que um ou mais defletores de ar 32 precisam ser atuados, o um ou mais controladores podem consultar os ciclos de acionamento cumulativo para cada defletor de ar 32 e atuar um ou mais defletores de ar 32 que têm menos ciclos de acionamento cumulativo totais. Em tal modalidade, os defletores de ar menos usados 32 são assim selecionados e a vida útil do sistema geral (por exemplo, pá 10 e/ou turbina eólica 2) pode ser estendida.

[0048] Em algumas modalidades, mais de uma das sequências de atuação acima (por exemplo, raiz a ponta, ponta a raiz, carga máxima distribuída, aleatória e/ou contagem por ciclo) podem ser combinadas em uma pá 10 e/ou entre múltiplas pás 10 da turbina eólica 2 para atingir um resultado desejado (por exemplo, produção de potência máxima enquanto elimina cargas excessivas, etc.). Por exemplo, em algumas modalidades, uma combinação de sequências de atuação de raiz a ponta e ponta a raiz pode ser usada. Isso pode ser mais facilmente entendido com referência a uma curva de potência 36 de turbina eólica 2 típica conforme representada na FIG. 8. Conforme discutido, devido aos princípios bem conhecidos da aerodinâmica, uma força de suspensão em cada pá 10 da turbina eólica 2 aumentará conforme a velocidade do vento através da pá 10 aumenta. Assim, com velocidades de vento maiores, um rotor da turbina eólica 2 girará mais rápido e produzirá mais potência. No entanto, se as velocidades do vento tornarem-se muito altas, uma velocidade de rotor classificada como máxima da turbina eólica 2 pode ser excedida se um ou mais atributos da turbina eólica 2 não forem ajustados para, por exemplo, controlar a velocidade do rotor. Dessa forma, para velocidades altas de vento, as características das pás 10 e/ou da turbina eólica 2 são ajustadas de modo a manter a velocidade do rotor da turbina eólica 2 constante (por exemplo, em ou abaixo de uma velocidade classificada como máxima) conforme será discutido de modo mais completo.

[0049] Conforme representado na FIG. 8, a curva de potência 36 pode ser entendida mais facilmente como uma série de regiões 38 a 46. Na região de partida 38, as velocidades de vento são relativamente baixas. Nessa região, as pás 10 podem não estar girando muito rápido de modo que pouca potência é realmente produzida. No entanto, conforme as velocidades do vento sobre as pás de rotor 10 aumentam, a turbina eólica 2 entra na região de velocidade variável 40. Em tal região, a velocidade de um rotor da turbina

eólica 2 variará com a velocidade do vento. Ou seja, conforme a velocidade do vento aumenta, a força de sustentação em cada pá 10 aumenta, fazendo com que o rotor gire mais rápido e assim produza mais potência. Conforme as velocidades do vento sobre as pás 10 diminuem, a força de sustentação em cada pá 10 diminui de modo correspondente, resultando no rotor da turbina eólica 2 girar mais devagar e assim produzir menos potência. Quando a turbina eólica 2 está operando na região de velocidade variável 40, as características da turbina eólica 2 e/ou pás 10 (por exemplo, afastamento, atuação dos defletores de ar 32, etc.) podem ser configuradas para maximizar a produção de potência. Ou seja, devido ao fato de que a turbina eólica 2 não está operando em uma velocidade classificada como máxima, as características das pás 10/turbina eólica 2 não são ajustadas para, por exemplo, intencionalmente reduzir a velocidade da turbina eólica 2.

[0050] No entanto, conforme a turbina eólica 2 entra na região de transição/jelho 42, as velocidades do vento são altas o suficiente para que a turbina eólica 2 se aproxime de uma velocidade classificada como máxima (por exemplo, uma velocidade em que os componentes da turbina eólica 2 podem começar a falhar se a mesma for excedida). Como tal, na região de transição/jelho 42, uma ou mais características da pá 10 e/ou da turbina eólica 2 podem ser alteradas de modo que a velocidade da turbina eólica 2 (e assim, de modo correspondente, a produção de potência) seja limitada. Por exemplo, conforme mostrado na FIG. 8, o segundo derivado da curva de potência 36 é negativo na região de transição/jelho 42. Assim, embora a velocidade da turbina eólica 2 (e, dessa forma, a produção de potência) continue a aumentar com a velocidade do vento na região de transição/jelho 42, a mesma o fará a uma taxa decrescente. Isso pode ser devido a, por exemplo, um ou mais controladores alterando uma ou mais características da pá 10 e/ou da turbina eólica 2 (por exemplo, alterando o afastamento da pá 10, estendendo ou

retraindo a porção de ponta 18, atuando um ou mais defletores de ar 32, etc.) para extinguir a sustentação em uma ou mais pás 10.

[0051] Após a região de transição/joelho 42, a turbina eólica 2 pode entrar em uma região de velocidade constante 44. Na região de velocidade constante 44, as velocidades do vento que passam sobre as pás 10 podem ser altas o suficiente para que as características da pá 10/turbina eólica 2 sejam alteradas a fim de manter a velocidade do rotor (e assim a produção de potência) constante mesmo se a velocidade do vento continuar a aumentar. Por exemplo, a turbina eólica 2 pode ser mantida em ou abaixo de uma velocidade de rotor classificada como máxima. Isso pode ser realizado por, por exemplo, alteração de uma ou mais características da turbina eólica 2 e/ou pás 10 a fim de, por exemplo, extinguir a sustentação que atua nas pás 10. Por exemplo, um afastamento de uma ou mais pás 10 pode ser alterado, a porção de ponta 18 pode ser acionada ou retraída e/ou um ou mais defletores de ar 32 podem ser atuados.

[0052] Finalmente, a turbina eólica 2 pode entrar na região de desligamento 46 após a região de velocidade constante 44. A região de desligamento 46 pode ser uma região em que, por exemplo, as velocidades de vento são tão altas que uma velocidade do rotor da turbina eólica 2 podem não ser controladas de modo apropriado (por exemplo, mantidas em ou abaixo de uma velocidade classificada como máxima) e assim a turbina eólica 2 é desligada para evitar, por exemplo, danos à turbina eólica 2 e/ou seus componentes. Por exemplo, alterar o afastamento das pás 10, estender ou retraindo a porção de ponta 18 e/ou atuar um ou mais defletores de ar 32 na região de desligamento 46 pode ser ineficaz para manter a velocidade do rotor em ou abaixo de uma velocidade classificada como máxima. Dessa forma, na região de desligamento 46, a turbina eólica 2 pode ser desligada e/ou travada em uma posição de não giro para evitar danos a seus componentes.

[0053] Em algumas modalidades, uma sequência de atuação particular (conforme discutido) pode ser implantada por um ou mais controladores dependendo de qual região da curva de potência 36 turbina eólica 2 está operando. Por exemplo, se uma turbina eólica 2 estiver operando na região de velocidade constante 44, os defletores de ar externos 32 (por exemplo, o defletor de ar 32i e outros próximos à ponta 37) podem não ser eficazes para, por exemplo, controle de afastamento das pás 10. Dessa forma, uma sequência de atuação de ponta a raiz em tal região pode ser inapropriada, como mais defletores de ar 32 podem, em último caso, precisar ser acionados para atingir um resultado desejado (por exemplo, redução de carga) sob uma sequência de atuação de ponta a raiz que sob uma, por exemplo, uma sequência de atuação de raiz a ponta. Ou seja, o controle de afastamento das pás 10 pode afetar a eficácia dos defletores de ar 32 localizados na raiz 35 menos do que afeta a eficácia dos defletores de ar 32 localizados na planta 37. Dessa forma, para uma turbina eólica 2 que opera na região de velocidade constante 44, um ou mais controladores podem atuar defletores de ar com o uso de, por exemplo, uma sequência de atuação de raiz a ponta, conforme discutido.

[0054] No entanto, esses defletores de ar externos 32 localizados próximos à ponta 37 (por exemplo, defletor 32i e similares) podem ser mais eficazes, por exemplo, na região de transição/jelho 42 devido, por exemplo, ao afastamento das pás 10 ou outras características da turbina eólica 2 nessa região. Dessa forma, quando a turbina eólica 2 está operando na região de transição/jelho 42, um ou mais controladores podem atuar defletores de ar 32 com o uso de uma sequência de atuação de ponta a raiz, conforme discutido.

[0055] Ademais, a fim de preservar o sistema, reduzir os ciclos de serviço gerais dos defletores de ar 32, etc., uma ou mais das sequências de atuação descritas podem ser usadas em combinação. Por exemplo, um

controlador pode, por exemplo, empregar uma combinação sequências de atuação de raiz a ponta e de ponta a raiz. Em tal modalidade, o controlador pode primeiramente determinar condições de operação (por exemplo, velocidade do vento, velocidade do rotor, cargas que atuam nas pás 10 e/ou componentes da turbina eólica 2, etc.) e determinar uma sequência de ativação apropriada para empregar de modo correspondente. Por exemplo, em resposta à determinação de que a turbina eólica está operando, por exemplo, na região de velocidade variável 40, um ou mais controladores podem não atuar quaisquer defletores de ar 32 (a fim de, por exemplo, atingir uma saída de potência máxima para a dada velocidade do vento). No entanto, se os ventos aumentarem e a turbina eólica começar a operar, por exemplo, na região de joelho/transição 42 da curva de potência 36, o controlador pode atuar os defletores de ar 32 de acordo com uma sequência de atuação de ponta a raiz. Conforme descrito acima, devido, por exemplo, ao controle de afastamento das pás 10 e outras características da turbina eólica 2 nessa região, os defletores de ar mais externos 32 podem ser mais eficazes nessa região, tornando uma sequência de atuação de ponta a raiz apropriada. No entanto, se as velocidades do vento devem aumentar, assim fazendo com que a turbina eólica 2 opere na região de velocidade constante 44 da curva de potência 36, o um ou mais controladores podem comutar para o uso de uma sequência de atuação de ponta a raiz. Novamente, devido, por exemplo, ao controle de afastamento das pás 10 e/ou outras características da turbina eólica 2 que opera na região de velocidade constante 44, os defletores de ar externos 32 podem ser menos eficazes nessa região, tornando uma sequência de atuação de raiz a ponta mais apropriada. Em tal modalidade, o ciclo de serviço para cada um dos defletores de ar 32 pode ser relativamente igual durante a vida útil do sistema devido ao fato de que, por exemplo, os defletores de ar internos 32 podem ser usados em certas condições de operação e os defletores de ar externos 32

podem ser usadas em outras.

[0056] Qualquer uma das outras sequências de atuação descritas acima pode ser usada em combinação para atingir benefícios similares. Por exemplo, em algumas modalidades, uma sequência de atuação aleatória pode ser combinada com uma sequência de atuação de raiz a ponta e/ou uma sequência de atuação de ponta a raiz. Por exemplo, nas modalidades da turbina eólica 2 em que cada uma das pás 10 compreende uma pluralidade de defletores de ar 32, uma sequência de atuação aleatória pode ser empregada em menos que todas as pás 10, com uma sequência de atuação diferente (por exemplo, raiz a ponta, ponta a raiz, carga máxima distribuída, etc.) empregada nas pás remanescentes 10.

[0057] Por exemplo, e conforme descrito acima, com o uso de uma sequência de atuação aleatória, os ciclos de serviço podem ser aproximadamente iguais entre cada defletor de ar 32 durante a vida útil do sistema. No entanto, para algumas condições de operação, a atuação aleatória dos defletores de ar 32 em todas as pás 10 de uma vez pode ser, por exemplo, muito caótica e/ou levar a resultados insatisfatórios (por exemplo, menos que a redução de carga desejada, potência insatisfatória realizada, ciclos de serviço aumentados para o sistema geral, etc.). Em tais modalidades, empregar, por exemplo, uma sequência de atuação de raiz a ponta, ponta a raiz ou carga máxima distribuída em uma ou mais pás 10 do sistema pode estabilizar o sistema e assim, em último caso, levar aos resultados desejados (por exemplo, cargas diminuídas, ciclos de serviço diminuídos, produção de potência aumentada, etc.). Dessa forma, em algumas modalidades, menos que todas as pás 10 podem empregar uma sequência de atuação aleatória, com a(s) pá(s) remanescente(s) 10 empregando, por exemplo, uma das outras sequências de atuação descritas (por exemplo, raiz a ponta, ponta a raiz, carga máxima distribuída, etc.). Ademais, o controlador pode girar tal pá 10 que emprega

cada sequência (por exemplo, girar tal pá 10 da pluralidade de pás 10 que utiliza uma sequência de atuação outra que atuação aleatória) de modo que os benefícios da atuação aleatória (por exemplo, ciclos de serviço aproximadamente iguais entre cada defletor de ar 32) possam ser ainda atingidos por todo o sistema.

[0058] Em algumas modalidades, uma sequência de atuação por contagem de ciclo pode ser combinada com, por exemplo, sequências de atuação de raiz a ponta, ponta a raiz e/ou carga máxima distribuída de uma maneira similar. Por exemplo, para menos que todas as pás 10, uma sequência de atuação por contagem de ciclo pode ser empregada (a fim de, por exemplo, distribuir aproximadamente ciclos de serviço entre cada defletor de ar 32) enquanto para a(s) pá(s) remanescente(s) 10, qualquer uma das outras sequências de atuação descritas pode ser empregada a fim de, por exemplo, estabilizar o sistema. Como com a combinação de um ou mais pás 10 que empregam uma sequência de atuação aleatória e as pás remanescentes que empregam uma sequência de atuação diferente, a sequência de atuação empregada em cada pá 10 nessa modalidade (por exemplo, sequência de atuação por contagem de ciclo versus outra sequência de atuação) pode ser girada a fim de, por exemplo, atingir benefício pelo sistema com o uso de métodos de atuação por contagem de ciclo, conforme descrito.

[0059] Em outras modalidades, uma sequência de atuação por contagem de ciclo e/ou aleatória pode ser alternada em uma dada pá 10 com uma ou mais sequências de atuação diferentes (por exemplo, raiz a ponta, ponta a raiz, carga máxima distribuída, etc.) a fim de, por exemplo, distribuir ciclos de serviço entre cada defletor de ar incluído 32. Por exemplo, em algumas modalidades, uma sequência de atuação de raiz a ponta pode ser empregada em uma pá 10 e, uma vez estabilizada, a pá 10 pode comutar para uma, por exemplo, uma sequência de atuação por contagem de ciclo. Em

outras modalidades, uma sequência de atuação de carga máxima distribuída pode ser empregada em uma pá 10 e, uma vez estabilizada, a pá 10 pode comutar para, por exemplo, uma sequência de atuação aleatória. Dessa forma, os ciclos de serviço relativos de cada defletor de ar 32 podem permanecer aproximadamente iguais.

[0060] As combinações acima de sequências de atuação específicas são fornecidas para propósitos ilustrativos apenas. Um versado na técnica, dado o benefício desta revelação, reconhecerá que qualquer uma das sequências de atuação descritas acima pode ser combinada para atingir resultados benéficos similares.

[0061] Embora cada uma das sequências de atuação descritas acima seja discutida em relação a uma sequência de atuação a base de pá (por exemplo, um ou mais defletores de ar 32 atuados em uma dada pá 10), qualquer um dos sistemas de atuação descritos pode ser empregado como uma sequência de atuação com base em rotor. Por exemplo, ao invés de determinar quantos defletores de ar 32 devem ser atuados em uma única pá 10 em resposta a condições de operação determinadas e então empregar uma sequência de atuação em particular na mesma pá 10 conforme discutido, em algumas modalidades um número total de defletores de ar 32 necessário para ser atuado em um rotor como um todo pode ser determinado e então uma ou mais dentre as sequências de atuação acima podem ser empregadas em relação ao mesmo rotor como um todo.

[0062] A título de exemplo, um ou mais controladores podem determinar a partir de condições operacionais captadas (por exemplo, por um acelerômetro, sensor de diferencial de pressão, sensor de velocidade, etc.) que um ou mais defletores de ar 32 necessários para ser atuado a fim de trazer cargas que agem na turbina de vento 2 e/ou uma velocidade de rotor da turbina de vento 2 dentro de um nível aceitável. Consequentemente, os um ou mais

controladores podem determinar um número total de defletores de ar para ser atuado para o rotor de turbina eólica 2 como um todo. Por exemplo, os um ou mais controladores podem determinar que sete defletores de ar 32 no total precisam ser atuados a fim de alcançar um resultado desejado (por exemplo, levar um rotor a uma velocidade aceitável). Consequentemente, os um ou mais controladores podem atuar sete defletores de ar 32 com o uso de qualquer um dentre os métodos de atuação descritos em uma maneira com base em rotor.

[0063] Por exemplo, se os um ou mais controladores atuarem os sete defletores de ar 32 com o uso de uma sequência de atuação de raiz à ponta, os mesmos podem atuar os sete defletores de ar mais internos 32 em relação ao rotor como um todo. Desse modo, os um ou mais controladores podem atuar, por exemplo, os defletores de ar 32a, 32b e 32c na pá retratada 10 na FIG. 7, juntamente com os dois defletores de ar mais internos 32 em cada uma dentre as duas pás 10 (parcialmente mostradas na FIG. 7). Em outro exemplo, se os um ou mais controladores atuarem os sete defletores de ar 32 com o uso de uma sequência de atuação de ponta à raiz, os mesmos podem atuar os sete defletores de ar mais externos 32 em relação ao rotor como um todo. Desse modo, os um ou mais controladores podem atuar, por exemplo, os defletores de ar 32g, 32h e 32i na pá retratada 10 na FIG. 7, juntamente com os dois defletores de ar mais externos 32 em cada uma dentre as duas pás 10 (parcialmente mostrados na FIG. 7).

[0064] Em outro exemplo, se os um ou mais controladores atuarem os sete defletores de ar 32 com o uso de uma sequência de atuação aleatória, os mesmos podem atuar sete defletores de ar aleatórios 32 por todo o sistema de rotor. Desse modo, uma das pás 10 pode ter, por exemplo, um defletor de ar 32 atuado em qualquer local aleatório ao longo de seu comprimento, outra dentre as pás 10 pode ter, por exemplo, dois defletores de ar 32 atuados em qualquer local aleatório ao longo de seu comprimento e outra

dentre as pás 10 pode ter, por exemplo, quatro defletores de ar 32 atuados em qualquer local aleatório ao longo de seu comprimento.

[0065] De modo similar, em algumas modalidades os um ou mais controladores podem atuar os sete defletores de ar 32 com o uso de uma sequência de atuação por contagem de ciclo. Em tais modalidades, os um ou mais controladores podem, por exemplo, determinar os sete defletores de ar 32 a partir de todos os defletores de ar 32 incluídos na turbina eólica 2 que foram menos atuados de modo cumulativo. Por exemplo, na FIG. 7, se cada uma dentre as duas pás parcialmente mostradas 10 compreende de modo similar nove defletores de ar 32 como com a pá completamente mostrada 10, então os um ou mais controladores nessa modalidade podem determinar os sete defletores de ar 32 a partir dos vinte e sete defletores de ar 32 no total que foram menos atuados e consequentemente atuam cada um dentre os mesmos sete a fim de alcançar o resultado desejado.

[0066] Para cada uma dentre as sequências de atuação descritas (por exemplo, raiz à ponta, ponta à raiz, carga distribuída máxima, aleatória, contagem de ciclo, etc.), e seja para sistemas de atuação com base em pá, seja com base em rotor, cada defletor de ar 32 atuado pode ter uma altura máxima diferente (por exemplo, uma altura de um dentre o lado de pressão baixa 26 ou o lado de pressão alta 24 para a borda do defletor de ar 32 atuado conforme indicado por “h” na FIG. 4) do que outros defletores de ar 32 fornecidos em qualquer uma das pás 10. Por exemplo, retornando para a FIG. 7, o defletor de ar 31a pode ter uma altura máxima diferente do que, por exemplo, o defletor de ar 32e. Em algumas modalidades, cada defletor de ar pode ter uma altura máxima equivalente a, por exemplo, um certo percentual de um comprimento de linha imaginária correspondente (“c” na FIG. 4) no local de sentido de envergadura da pá 10 no qual o defletor de ar 32 está localizado. Consequentemente, pelo fato de que um comprimento de linha imaginária pode

variar ao longo do comprimento de pá 10 (por exemplo, pode ser maior em um local do defletor de ar 32a do que em um local do defletor de ar 32e), então uma altura máxima de cada defletor de ar 32 pode também variar ao longo do comprimento de pá 10 (por exemplo, o defletor de ar 32a pode ter uma altura máxima maior do que, por exemplo, o defletor de ar 32e).

[0067] Adicionalmente, em qualquer dentre as sequências de atuação descritas (por exemplo, raiz à ponta, ponta à raiz, carga distribuída máxima, aleatória, contagem de ciclo, etc.) e seja para sistemas de atuação com base em pá, seja com base em rotor, cada defletor de ar 32 atuado pode ser configurado para ser atuado para uma altura variável. Por exemplo, o atuador 30 de cada defletor de ar 32 pode ser de modo que cada defletor de ar 32 pode ser atuado para uma altura máxima ou qualquer fração da mesma. Consequentemente, dependendo, por exemplo, de um local no sentido de envergadura de um defletor de ar em particular 32, das condições de operação determinadas da turbina eólica 2 e/ou de um resultado desejado atuando-se um ou mais defletores de ar 32, os um ou mais controladores podem atuar cada defletor de ar para uma altura variável. Em tais modalidades, essa atuação mais precisa (por exemplo, uma altura variável) pode resultar, por exemplo, em um desempenho de controle melhor. Por exemplo, através de uma ativação de altura variável, os um ou mais controladores podem poder alcançar, por exemplo, mais redução de carga com menos perda de potência.

[0068] Em algumas modalidades, os defletores de ar 32 podem ser atuados de acordo com um sistema de atuação distribuído. Por exemplo, em algumas modalidades cada pá 10 pode compreender múltiplos defletores de ar (por exemplo, defletores de ar 32a-32i conforme retratado na FIG. 7) sendo que cada defletor de ar 32 compreende um sensor correspondente (por exemplo, de diferencial de pressão, de acelerômetro, de velocidade, etc.) e/ou controlador (não mostrado). Em tais modalidades, o controlador

correspondente de um defletor de ar em particular 32 pode ler uma medição de sensor correspondente e conseqüentemente determinar uma fração de atuação para o defletor em ar em particular (por exemplo, atuação de 0 a 100%). Por exemplo, cada controlador pode determinar condições de operação (por exemplo, velocidade de vento, aceleração, carga aerodinâmica, etc.) no local de um defletor de ar correspondente 32 (de acordo, por exemplo, com uma leitura do sensor fornecida no mesmo local) e atuar o mesmo defletor de ar 32 se necessário para, por exemplo, reduzir uma carga.

[0069] Adicionalmente e conforme discutido, o defletor de ar 32 pode ser capaz de ser atuado para uma altura variável. Desse modo, um controlador que corresponde a um defletor de ar específico 32 podem determinar para algumas condições de operação que o defletor de ar 32 não precisa ser atuado, e desse modo o defletor de ar 32 será atuado para 0% de sua altura máxima. Para outras condições de operação, o controlador que corresponde a um defletor de ar específico 32 pode determinar que o defletor de ar 32 precisa ser atuado, mas não completamente, e desse modo o controlador pode atuar o defletor de ar 32 para, por exemplo, uma fração de sua altura máxima (por exemplo, 50%). Para ainda outras condições de operação, o controlador que corresponde a um defletor de ar específico 32 pode determinar que o defletor de ar 32 precisa ser atuado até uma altura máxima, e desse modo o controlador pode atuar o defletor de ar 32 para sua altura máxima (por exemplo, 100%). Os sistemas que empregam tal atuação distribuída, em algumas modalidades, podem ter uma confiabilidade maior do que outros sistemas (por exemplo, os sistemas que não utilizam um sensor e/ou um controlador em cada defletor de ar 32) pelo fato de que se uma combinação controlador/defletor de ar 32 falha, outras combinações de controlador/sensor/defletor de ar 32 podem ainda operar.

[0070] Os métodos e os recursos citados no presente documento

podem ainda ser implantados através de qualquer quantidade de mídia legível por computador que podem armazenar instruções legíveis por computador. Exemplos de meios legíveis por computador que podem ser usados incluem RAM, ROM, EEPROM, memória flash ou outra tecnologia de memória, CD-ROM, DVD ou outro armazenamento de disco óptico, cassetes magnéticos, fita magnética, armazenamento magnético e similares.

[0071] Embora os sistemas e métodos ilustrativos conforme descrito no presente documento que incorporam vários aspectos da presente invenção sejam mostrados, será entendido por aqueles versados na técnica que a invenção não é limitada a essas modalidades. As modificações podem ser feitas por aqueles versados na técnica, particularmente em luz dos ensinamentos supracitados. Por exemplo, cada um dos elementos das modalidades mencionadas acima pode ser utilizado sozinho ou em combinação ou subcombinação com elementos das outras modalidades. Será também apreciado e entendido que modificações podem ser feitas sem fugir do verdadeiro espírito e escopo da presente invenção. A descrição deve, então, ser considerada como ilustrativa ao invés de restritiva na presente invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA ATUAR DISPOSITIVOS DE GERENCIAMENTO DE CARGA em um aerofólio (10), sendo que o método compreende:

determinar, através de um dispositivo de controle de aerofólio, condições de operação no aerofólio (10);

determinar, através do dispositivo de controle de aerofólio, uma quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) para ser atuados de acordo com as condições de operação, em que a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) para ser atuado é menor do que todos dentre uma pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) no aerofólio (10);

determinar, através do dispositivo de controle de aerofólio, uma sequência de atuação para atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28);

atuar, através do dispositivo de controle de aerofólio, a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) de acordo com a sequência de atuação determinada para atuar na quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28);

o método sendo caracterizado por:

determinar, através do dispositivo de controle de aerofólio, uma contagem de ciclo que indica quantas vezes cada um dentre a pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) foi previamente atuada,

em que a sequência de atuação é uma sequência de atuação por contagem de ciclo de modo que atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) compreende atuar um dispositivo de gerenciamento de carga (28) que tem uma contagem de ciclo mínima dentre as contagens de ciclo determinadas.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) ser configurada para ser atuada para alturas variáveis, e em que atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) compreende atuar um primeiro dispositivo de gerenciamento de carga para uma diferente altura do que um segundo dispositivo de gerenciamento de carga.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por determinar as condições de operação no aerofólio (10) compreende determinar uma carga aerodinâmica que atua no aerofólio (10) em um local de cada um dentre a pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28).

4. MÉTODO PARA ATUAR DISPOSITIVOS DE GERENCIAMENTO DE CARGA (28) em pás (10) de uma turbina eólica (2), em que os dispositivos de gerenciamento de carga (28) são preferencialmente defletores (32), sendo que o método compreende:

determinar, através de um dispositivo de controle de pá, condições de operação da turbina eólica (2); e

para cada pá (10) dentre uma pluralidade de pás (10) da turbina eólica (2):

determinar, através do dispositivo de controle de pá, uma quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) para ser atuada na pá (10) de acordo com as condições de operação, em que a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) para ser atuada é menor do que todos dentre uma pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) na pá (10);

determinar, através do dispositivo de controle de pá, uma sequência de atuação para atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) na pá (10); e

atuar, através do dispositivo de controle de pá, a quantidade de

dispositivos de gerenciamento de carga (28) de acordo com a sequência de atuação determinada;

o método sendo caracterizado por:

para uma primeira pá (10) dentre a pluralidade de pás da turbina eólica (2), a determinação de uma sequência de atuação compreender determinar, através do dispositivo de controle de pá, uma contagem de ciclo que indica quantas vezes cada uma dentre a pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) foi previamente atuada,

em que a sequência de atuação para a primeira pá (10) é uma sequência de atuação de contagem de ciclo, de modo que atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) compreende atuar um dispositivo de gerenciamento de carga (28) que tem uma contagem de ciclo mínima dentre as contagens de ciclo determinadas.

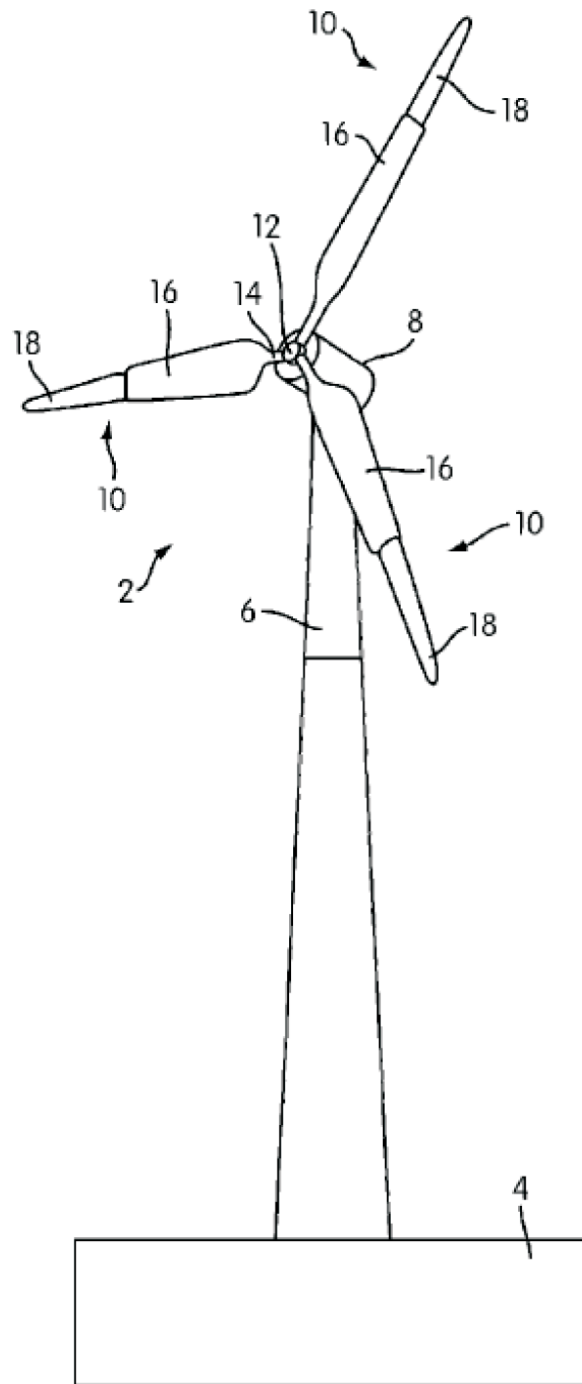
5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pela sequência de atuação para uma primeira pá (10) dentre a pluralidade de pás (10) diferir da sequência de atuação para uma segunda pá dentre a pluralidade de pás (10).

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pela sequência de atuação para a primeira pá (10) ser a sequência de atuação de contagem de ciclo que é empregada em menos do que todas as pás (10) e a sequência de atuação para a segunda pá (10) é uma sequência de raiz à ponta em que atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga para a segunda pá (10) compreende atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga mais internos (32a, 32b, 32c, 32d).

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pela sequência de atuação para a primeira pá (10) ser a sequência de atuação de contagem de ciclo que é empregada em menos do que todas as pás (10) e a sequência de atuação para a segunda pá (10) é uma sequência de ponta à

raiz de modo que atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga para a segunda pá (10) compreende atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga mais internos (32a, 32b, 32c, 32d).

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pela pluralidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) ser configurada para ser atuada em alturas variáveis, e em que atuar a quantidade de dispositivos de gerenciamento de carga (28) compreende atuar um primeiro dispositivo de gerenciamento de carga para uma altura diferente do que a de um segundo dispositivo de gerenciamento de carga.

**FIG. 1**

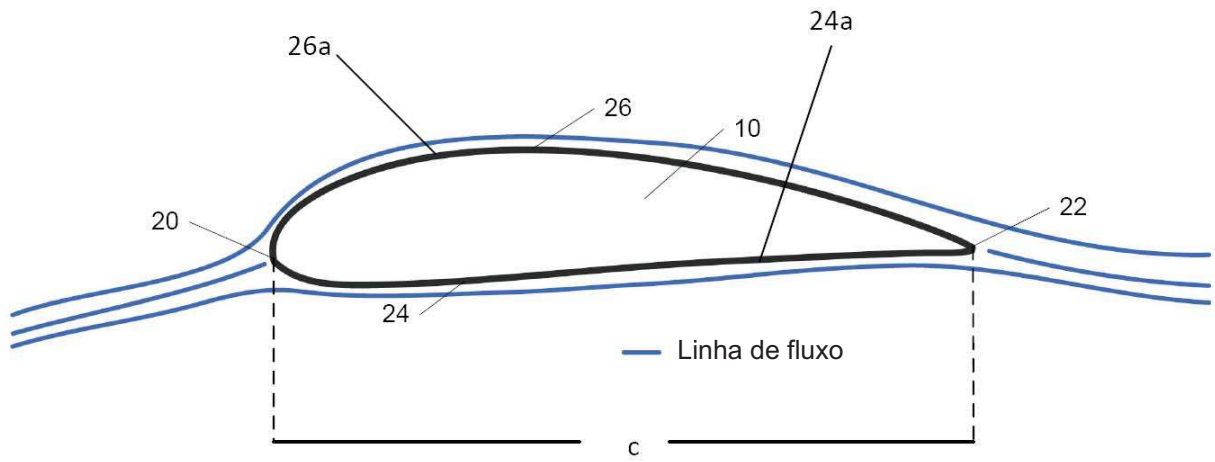


FIG. 2

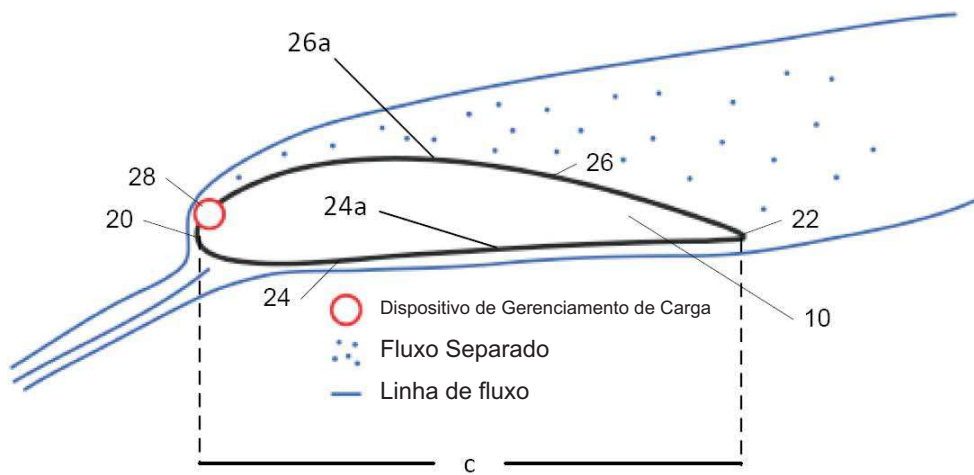


FIG. 3

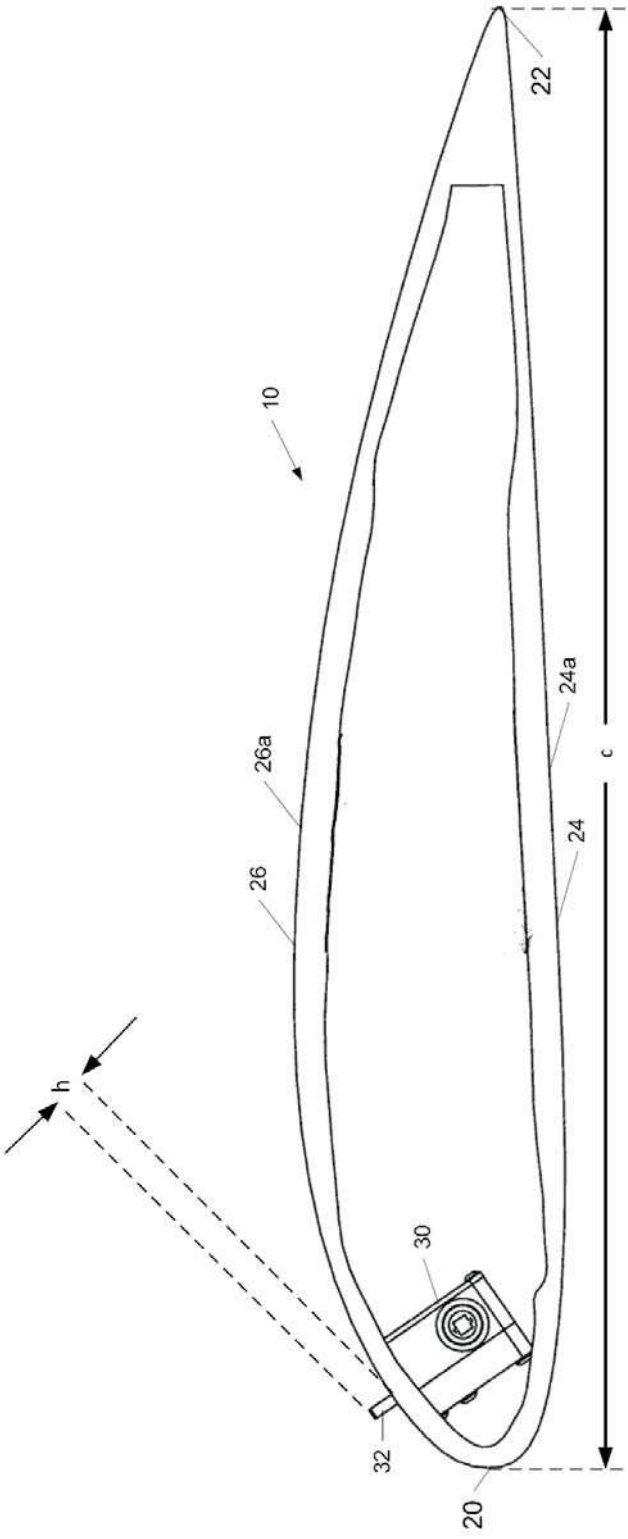


FIG. 4

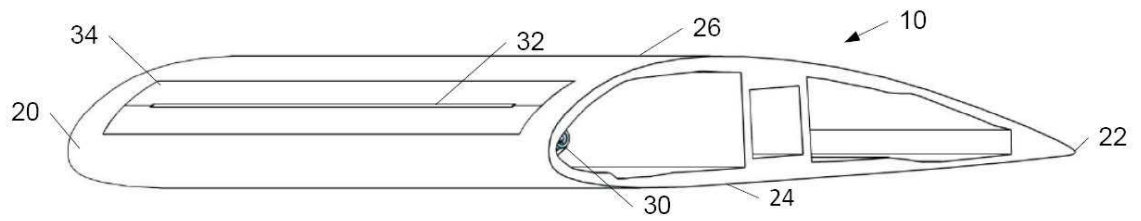


FIG. 5

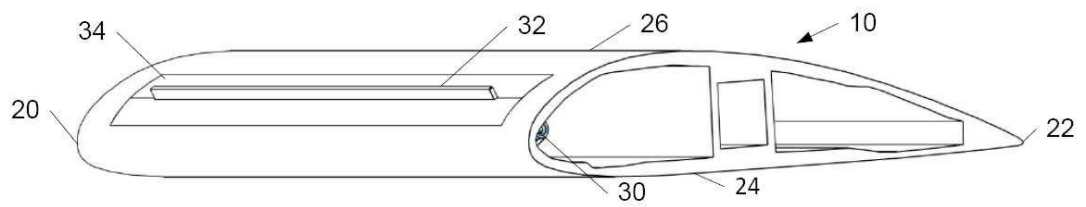


FIG. 6

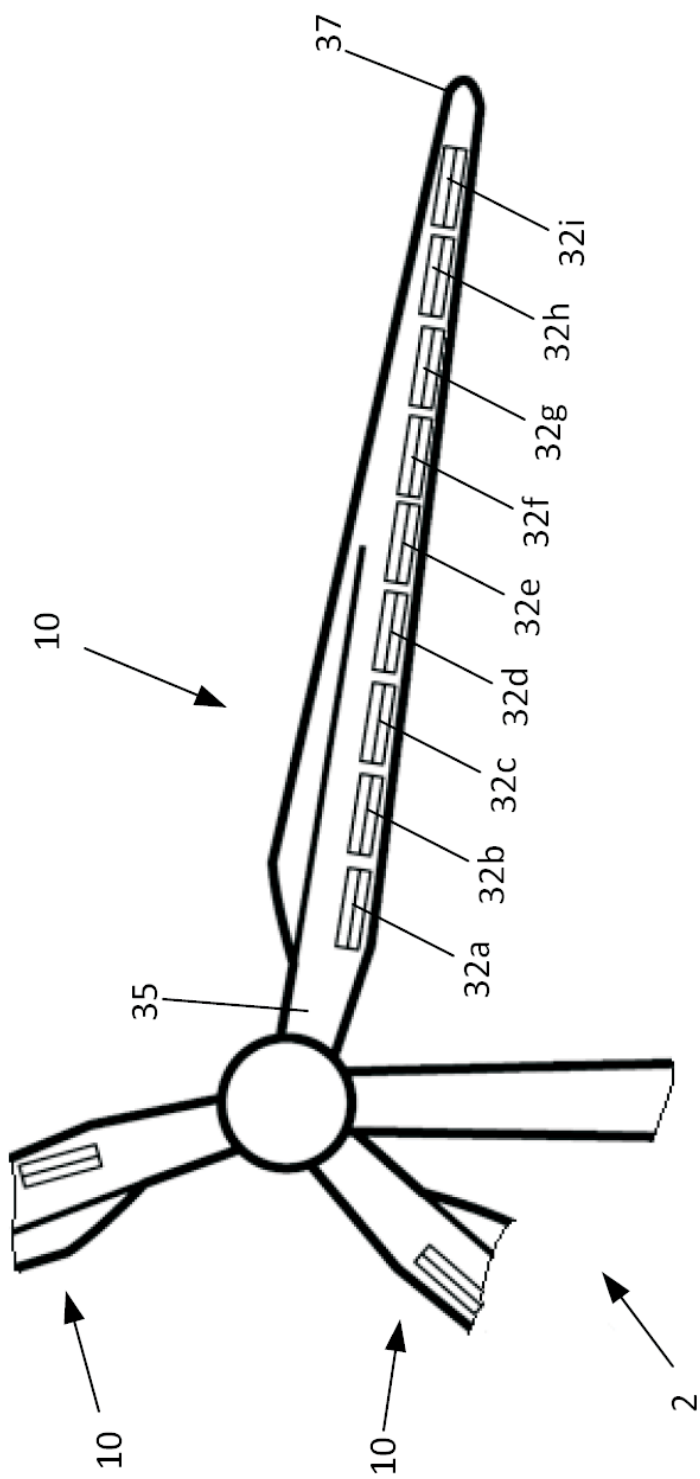


FIG. 7

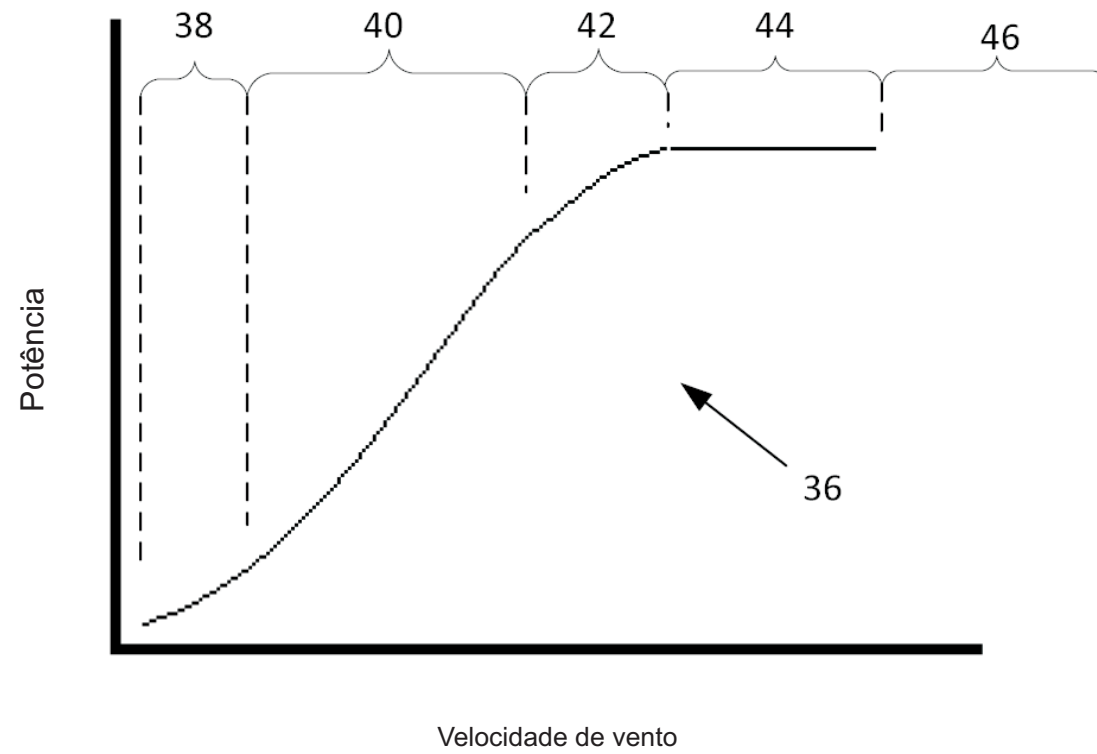


FIG. 8