

## Proposta de planejamento para arranjo físico de fábrica de aerogeradores

Agustin Aduriz Vesga (UDESC) agusadur@gmail.com  
Evandro Bittencourt (UDESC) dcb2eb@joinville.udesc.br  
Valdésio Benevenuto (UDESC) dep2vb@joinville.udesc.br

### Resumo:

A sociedade depende cada vez mais do consumo de energia para sua sobrevivência. Em função da previsão do esgotamento das energias baseadas em combustíveis fósseis é necessário o desenvolvimento de fontes alternativas. Uma delas é a energia eólica que pode ser produzida pelos aerogeradores, máquinas de grande envergadura, de alta tecnologia, que necessitam de um alto investimento de capital. É indispensável realizar estudo para definir o melhor processo da produção e planejamento do arranjo físico de fábrica. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é desenvolver proposta de planejamento para arranjo físico de uma fábrica de aerogeradores. Primeiro se realizou um estudo da estrutura do produto e se definiram as principais operações, atividades e espaço necessário. O processo de produção foi representado mediante fluxogramas e foi estudada a relação entre as atividades. Como resultado, foi proposto um arranjo físico para a fabricação de aerogeradores com uma potência de até 5MW. As atividades foram divididas nos principais componentes dos aerogerador: gôndola, torre e pás.

**Palavras chave:** Arranjo físico, Energia eólica, Aerogeradores.

## Plant design of the wind turbine factory

### Abstract:

Society increasingly depends on the consumption of energy for their survival. Depending on the forecast depletion of energy based on fossil fuels is necessary to develop alternative sources. One is wind power that can be produced by wind turbines, large-scale machines, high-tech, requiring a high capital investment. It is essential to carry out studies to define the best process of production planning and plant design of the factory. Thus, the aim of this work is to develop a proposal for plant design of a wind turbine factory. First conducted a study of the structure of the product is defined and the main operations, activities and space needed. The production process was represented by flowcharts and studied the relationship between activities. As a result, a study of the plant design for the manufacture of wind turbines with a capacity of up to 5 MW. The activities were divided into the major components of the wind turbine: gondola, tower and blades.

**Key-words:** Plant design, Wind energy. Wind turbines.

## **1. Introdução**

A sociedade depende cada vez mais do consumo de energia para sua sobrevivência. Entre outras atividades, a iluminação interior e exterior, o aquecimento e refrigeração de nossas casas, o transporte de pessoas e mercadorias, a obtenção e a preparação dos alimentos e o funcionamento das fábricas necessitam da energia.

As fontes tradicionais de energia baseadas em combustíveis fósseis estão se esgotando, assim as energias de fontes renováveis se apresentam como uma alternativa.

As energias renováveis são aquelas obtidas das seguintes fontes: solar, eólica, hidráulica, biomassa, geotérmica entre outras. De uma maneira geral, as energias renováveis respeitam o meio ambiente, não emitem gases contaminantes e não geram resíduos perigosos.

Durante os últimos anos a energia eólica se desenvolveu rapidamente. Uma das vantagens da energia eólica frente às outras energias renováveis é que a implantação dos parques eólicos não restringe a utilização do terreno para outros fins como agricultura e pecuária.

O problema é que a produção de aerogeradores necessita de um alto investimento de capital envolvendo grande movimentação e quantidade de matéria-prima. O objetivo deste artigo é a realização de um estudo para se encontrar o melhor planejamento de arranjo físico da fábrica. Nesse sentido não apenas se minimiza os investimentos em equipamentos, mas também se pode reduzir o tempo da produção, o espaço necessário e o custo do manuseio do material. Este trabalho surgiu da necessidade de uma empresa do norte Catarinense.

## **2. Fundamentação teórica**

### **2.1 Arranjo físico industrial**

O arranjo físico consiste em decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção.

Segundo Gurgel (2000), o arranjo físico da indústria é uma técnica de converter os elementos complexos e inter-relacionados da manufatura e das facilidades físicas em uma estrutura capaz de atingir os objetivos da empresa pela otimização no uso de recursos e geração de lucros.

O espaço físico do lugar do trabalho tem uma grande influência na competitividade da empresa. Para conseguir isso é necessário melhorar a utilização do espaço disponível, redução de manuseio, redução do tempo de manufatura, aumentar a moral e a satisfação dos trabalhadores, incrementar a produção e redução dos custos indiretos (BORBA, 1998).

### **2.2 Tipos de arranjo físico**

A classificação dos tipos de arranjo físico depende das exigências da quantidade e variedade de determinado tipo de produto ou serviço, se utilizando a configuração mais apropriada para cada caso. Segundo Borba (1998) existe quatro tipos de arranjo físico dos quais a maioria de arranjos se derivam: arranjo por produto ou por linha, arranjo por processo ou funcional, arranjo celular e arranjo por posição fixa.

No arranjo por produto, as máquinas, equipamentos e as estações de trabalho são colocados de acordo com a sequência de montagem e o material percorre um caminho previamente determinado. Segundo Slack et al. (2008), o arranjo físico por produto envolve localizar os recursos produtivos transformadores segundo a melhor conveniência do que esta sendo transformado.

Por sua vez, o arranjo físico por processo agrupa, em uma mesma área, todos os processos e equipamentos do mesmo tipo e função. Para Slack et al. (2008), no arranjo físico por

processo, processos similares são localizados juntos um do outro. Diferentes produtos ou clientes terão diferentes necessidades e, portanto, percorrerão diferentes roteiros na operação.

Segundo Slack et al. (2008), a decisão de qual tipo de arranjo físico adotar raramente envolve uma escolha entre os quatro tipos básicos. As características de volume e variedade de uma operação vão reduzir a escolha a uma ou duas opções.

### **2.3 Ferramentas utilizadas para o projeto de arranjo físico**

Existem ferramentas e técnicas que facilitam desenhar um arranjo físico. Para a realização do projeto serão utilizadas as seguintes ferramentas: diagrama de processo, matriz de relação entre atividades e diagrama de relação entre atividades.

Um diagrama de fluxo para a organização industrial é basicamente uma representação gráfica do processo da produção. Esses diagramas usam símbolos e linhas que representam as atividades e fluxo de execução.

Para Barnes (1977), o gráfico do fluxo do processo é uma técnica para se registrar um processo de maneira compacta, a fim de tornar possível sua melhor compreensão e posterior melhoria.

Uma vez que o fluxo de materiais é definido, é importante conhecer as relações entre as diferentes atividades, processos auxiliares e outros serviços. Para representar essas relações de maneira clara e lógica se usa a matriz de relação entre atividades.

Segundo Monks (1987), o planejamento do arranjo físico utiliza uma matriz para expor os pesos da importância relativa da distância entre os departamentos. Os pesos relativos são indicados por letras de código na matriz (a, e, i, o, u e x) na matriz, e vão do absolutamente necessário (a), até o indesejável (x). O diagrama de relação entre atividades é uma representação gráfica da matriz de relação entre atividades.

### **2.4 Energia eólica**

É basicamente o aproveitamento da energia cinética do vento. O vento transmite a sua energia cinética ao um aerogerador através das pás. Estas giram um gerador elétrico que transforma a energia mecânica em energia elétrica.

Segundo Palz (1981), a energia eólica pode ser convertida em energia útil por dois tipos de sistemas bem distintos; um, de construção simples, o “moinho de vento”, que a humanidade utiliza já há 3.000 anos pra produzir energia mecânica, e outro, o “aerogerador”, que serve a produção de eletricidade.

A energia do vento pode ser considerada como a primeira fonte de energia utilizada pelo homem depois de seu próprio corpo e a força dos animais. Durante milhares de anos ela foi utilizada para o transporte marítimo gerar energia mecânica, nos moinhos para moagem de grãos e bombeamento de água.

No século XX os pequenos moinhos de vento foram utilizados para bombeamento de água e geração de energia elétrica. Nos anos 70, com o choque do petróleo, a geração de energia elétrica via sistemas eólicos se torna economicamente viável para muitas nações (TOLMASQUIM, 2003).

Somado a falta do petróleo, o acidente de Chernobyl no ano 1986 e mais recentemente o acidente na central nuclear de Fukushima, se reafirma o interesse pela energia eólica com crescentes avanços na tecnologia dos aerogeradores.

Os aerogeradores de eixo horizontal são compostos por diversos componentes que podem variar dependendo do tamanho e funções do equipamento.

Segundo Tolmasquim (2003), um sistema eólico é constituído por vários componentes que devem trabalhar em harmonia de forma a propiciar um maior rendimento final.

**Gôndola:** A gôndola é a carcaça que protege o conjunto formado pelo multiplicador, o sistema de controle e de medição do vento, o gerador e os motores para posicionamento em relação ao vento.

**Pás:** As pás transformam a energia cinética do vento em trabalho mecânico. São fabricadas geralmente por materiais compósitos, como fibra de vidro em matriz epóxi.

**Cubo:** O cubo une todas as pás mediante flanges e é fabricado em aço de alta resistência.

**Eixo:** O eixo transmite a energia mecânica ao gerador. Também é fabricado em aço de alta resistência.

**Caixa multiplicadora:** Colocada entre o eixo e o gerador, por meio de engrenagens multiplica a velocidade de rotação para ser compatível a necessidade dos geradores elétricos.

**Gerador:** O gerador é responsável pela transformação de energia mecânica de rotação em energia elétrica.

**Torre:** A torre é o elemento estrutural que posiciona o rotor a uma altura adequada para o pleno funcionamento. Geralmente é fabricada em metal tubular ou concreto.

### 3. Desenvolvimento do projeto de fábrica de aerogeradores

Para o desenvolvimento do trabalho se definiram as principais operações e atividades, o processo de fabricação com diagramas de fluxo de processo, a matriz de relação entre atividades e o diagrama de relação entre atividades. Também foram analisadas as necessidades de espaço e a descrição gráfica de arranjo físico da fábrica de aerogeradores.

#### 3.1 Estrutura do produto

Antes de definir as operações e atividades é recomendável analisar a estrutura do produto que será fabricado. Nesta fábrica não será realizada a montagem do aerogerador, mais serão fabricados os seus componentes.

A Figura 1 representa a estrutura do produto das pás e da torre. A pá é composta por três subcomponentes: uma viga, uma concha extradorso e uma concha intradorso. O três subcomponentes são fabricados a partir de materiais compósitos.

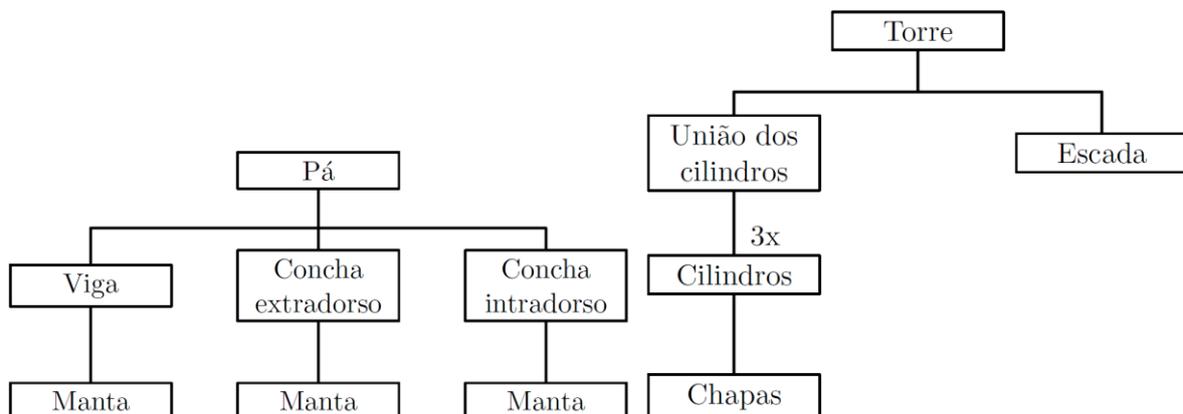


Figura 1 - Estrutura do produto das pás e da torre

A torre esta composta por dois subcomponentes, uma união de cilindros e uma escada. As escadas serão compradas de fornecedores. A torre será fabricada a partir da união de três cilindros feitos de chapas de aço.

A estrutura da gôndola é representada na Figura 2.

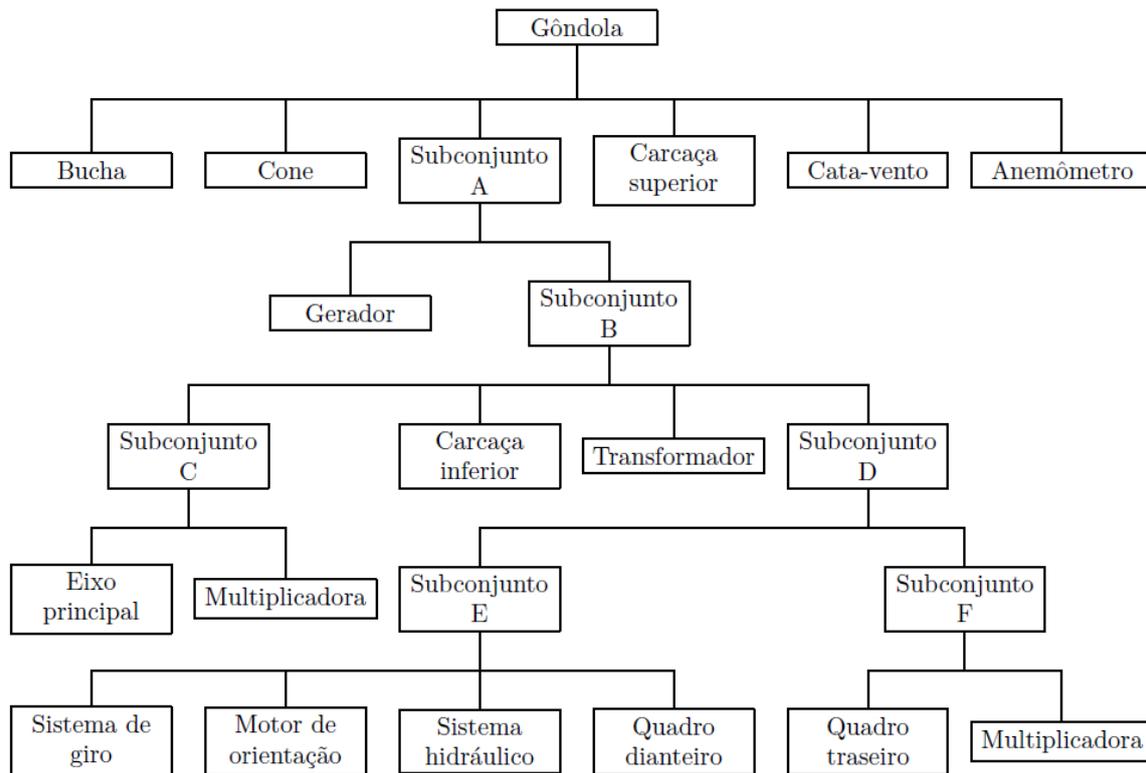


Figura 2 - Estrutura do produto da gôndola

A gôndola é composta por 6 subcomponentes: bucha, cone, carcaça superior, cata-vento, anemômetro e o subconjunto A. O subconjunto A é composto pelo subconjunto B e por um gerador elétrico. Para fabricar o subconjunto B é necessário um subconjunto C, um subconjunto D, uma carcaça inferior e um transformador. O subconjunto C é a união do eixo principal com uma multiplicadora e o subconjunto D é a união dos subconjuntos E e F. O subconjunto F é elaborado a partir de um quadro elétrico traseiro e uma multiplicadora. O subconjunto E se compõe de sistema de giro, motor de orientação, sistema hidráulico e quadro elétrico dianteiro.

### 3.2 Definição das principais operações, atividades e áreas necessárias

Uma das variáveis mais importantes para a realização do arranjo físico e o espaço necessário para cada operação. Para a fabricação dos aerogeradores são necessárias operações realizadas na gôndola, torre, pás e serviços auxiliares. Para isso, se considerará o espaço necessário para o equipamento, movimentação do material e estoques. As dimensões do prédio são 160 x 60 metros. A Tabela 1 traz as operações, atividades principais e áreas necessárias.

Nas áreas necessárias (terceira coluna da Tabela 1) para as atividades 2.2 a 2.6 está prevista uma área adicional para armazenagem. As operações 1.3, 1.4 e 1.5 serão realizadas no mesmo espaço. A 4.2 comportará um torno mecânico CNC, uma fresadora universal de 5 eixos e ferramentas de manutenção elétrica e mecânica.

Operações	Atividades	Área necessária
1. Gôndola	1.0 Porta da entrada do material	uso de 2.0
	1.1 Recepção e armazenagem do material	10 x 16 m
	1.2 Montagem do quadro	10 x 10 m
	1.3 Montagem da multiplicadora	10 x 14 m
	1.4 Montagem do gerador	
	1.5 Montagem da carcaça	
	1.6 Porta da saída e armazenagem das gôndolas	6 x 3 m
2. Torre	2.0 Porta da entrada do material	4 x 26 m
	2.1 Recepção e armazenagem do material	10 x 30 m
	2.2 Corte	16 x 60 m + 25 x 16 m
	2.3 Calandragem das peças	10 x 8 m + 10 x 8 m
	2.4 Soldagem das peças	6 x 10 m + 25 x 16 m
	2.5 Jateamento de granalha de aço.	16 x 16 m + 25 x 16 m
	2.6 Pintura e secagem	16 x 16 m + 25 x 16 m
	2.7 Montagem dos elementos auxiliares	16 x 12 m
	2.8 Porta da saída e armazenagem das torres	16 x 8 m
3. Pás	3.0 Porta da entrada do material	12 x 3 m
	3.1 Recepção e armazenagem do material	10 x 16 m
	3.2 Fabricação da viga	8 x 75 m
	3.3 Fabricação das conchas	8 x 75 m
	3.4 Montagem e cura	8 x 75 m
	3.5 Acabamento	8 x 75 m
	3.6 Porta da saída e armazenagem das pás	3 x 3 m
4. Serviços auxiliares	4.1 Armazenagem dos elementos auxiliares	7 x 12 m
	4.2 Laboratório	6 x 10 m
	4.3 Oficina de manutenção elétrica e mecânica	3 x 8 m
	4.4 Banheiros	5 x 8 m
	4.5 Sala de jantar	7 x 8 m
	4.6 Escritório do chefe da oficina	3 x 4 m

Tabela 1 – Operações, atividades principais e áreas necessárias

### 3.3 Fluxograma do processo

Em razão da complexidade do produto e para facilitar a compreensão do processo foram realizados três fluxogramas, um para cada sub-elemento do aerogerador. Ou seja, um para a gôndola, outro para a torre e um para as pás. As Figuras 3 e 4 representam estes fluxogramas.

Na Figura 4 a codificação usada é: Armazéns: 1 - bastidores dianteiros; 3 - sistemas de giro; 5 - motores de orientação; 7 - grupos hidráulicos; 11 - quadros traseiros; 13 - quadros dianteiros; 18 - armários de controle; 22 - carcaça inferior; 25 - transformadores; 27 - multiplicadoras; 32 - eixos principais; 36 - gerador; 39 - carcaça superior; 41 - buchas. Transporte: 2; 4; 6; 8; 12; 14; 16; 19; 20; 23; 26; 28; 30; 33; 37; 40; 42; 44. 9 - Montagem do sistema de giro, motores de orientação e grupos hidráulicos sobre o bastidor dianteiro; 10 - Teste de giro; 15 - Montagem dos painéis de controle sobre o quadro elétrico traseiro; 17 - União dos bastidores; 21 - Montagem dos quadros elétricos sobre carcaça inferior; 24 - Montagem do transportador; 29 - Montagem do subconjunto eixo principal/multiplicadora; 30 - Montagem do subconjunto eixo principal/multiplicadora com subconjunto gôndola; 31 - Montagem do gerador e conexão elétrica de todos os componentes ao painel do controle; 35 - Verificação final da gôndola simulando as condições dum parque eólico; 38 - Montagem da carcaça superior; 43 - União do cubo e bucha à gôndola; 45 - Armazenagem de gôndolas acabadas.

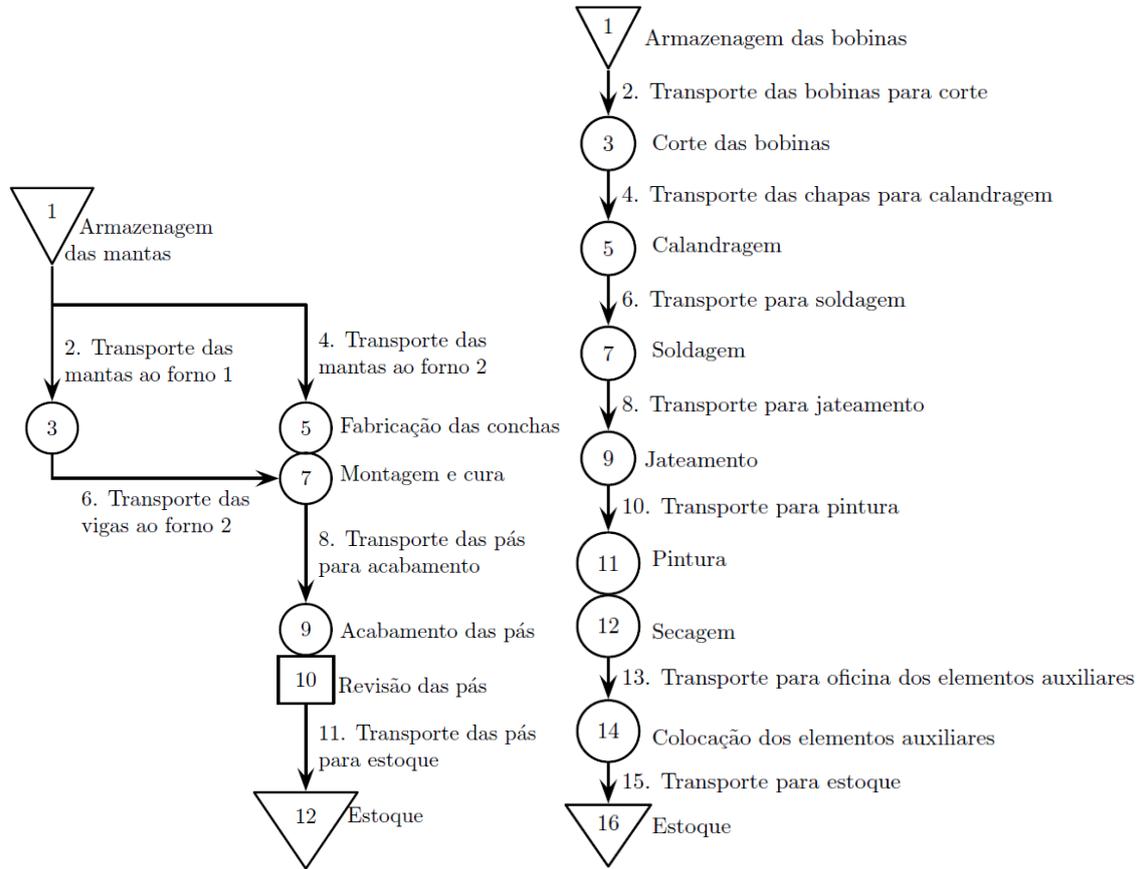


Figura 3 - Fluxograma das pás e da torre

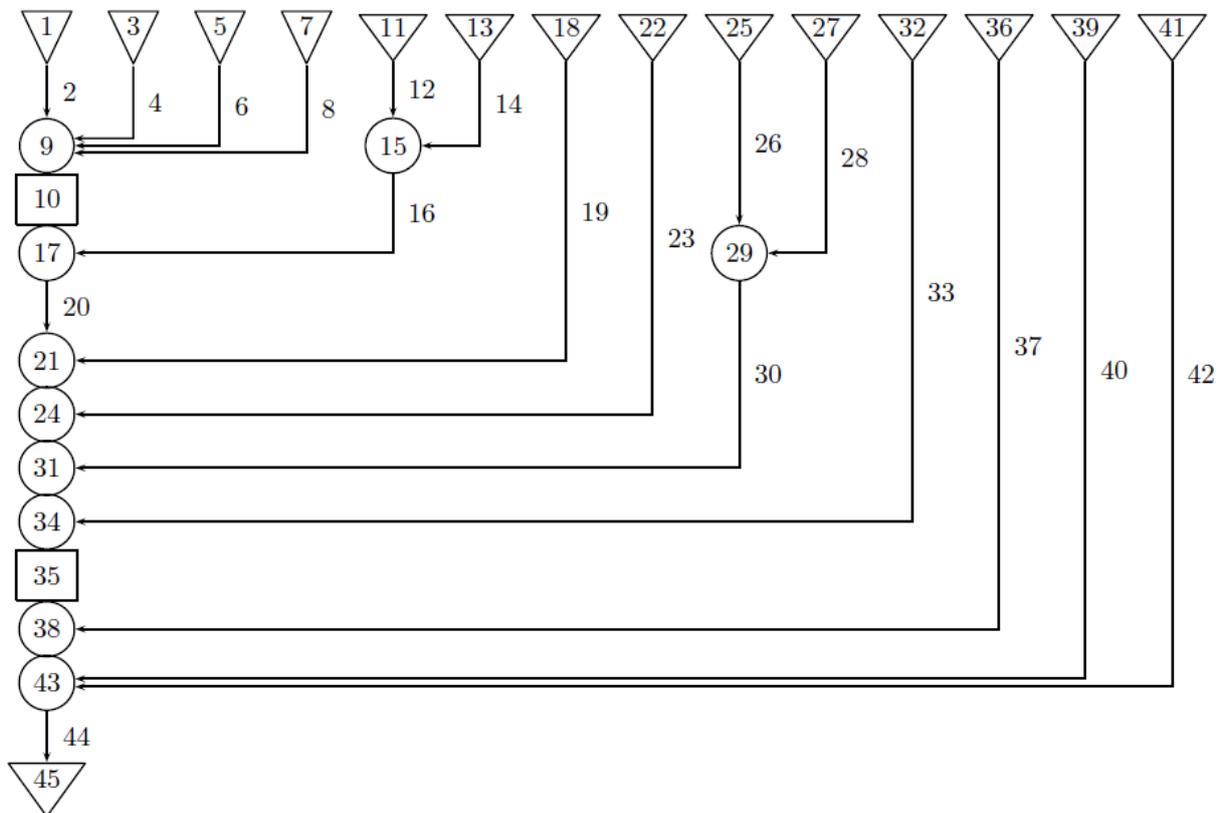


Figura 4 - Fluxograma da gôndola

### 3.4 Relação entre atividades

A Figura 5 representa o diagrama de relação entre as atividades necessárias para a produção de um aerogerador, incluindo os serviços auxiliares.

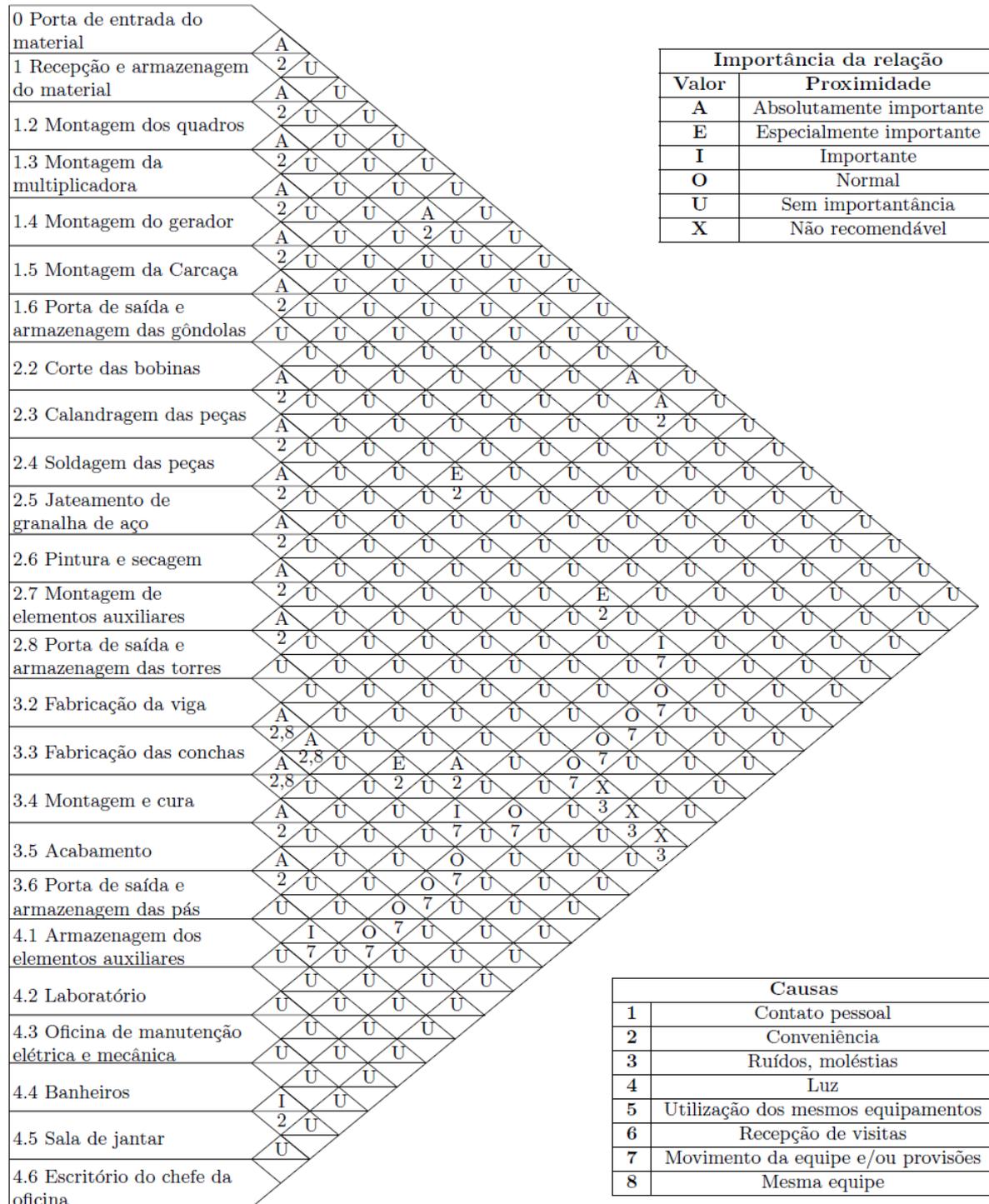


Figura 5 - Matriz de relação entre atividades

O diagrama de relação entre atividades é uma representação gráfica da matriz de relação entre atividades (Figura 6), feito conforme Lee (1998).

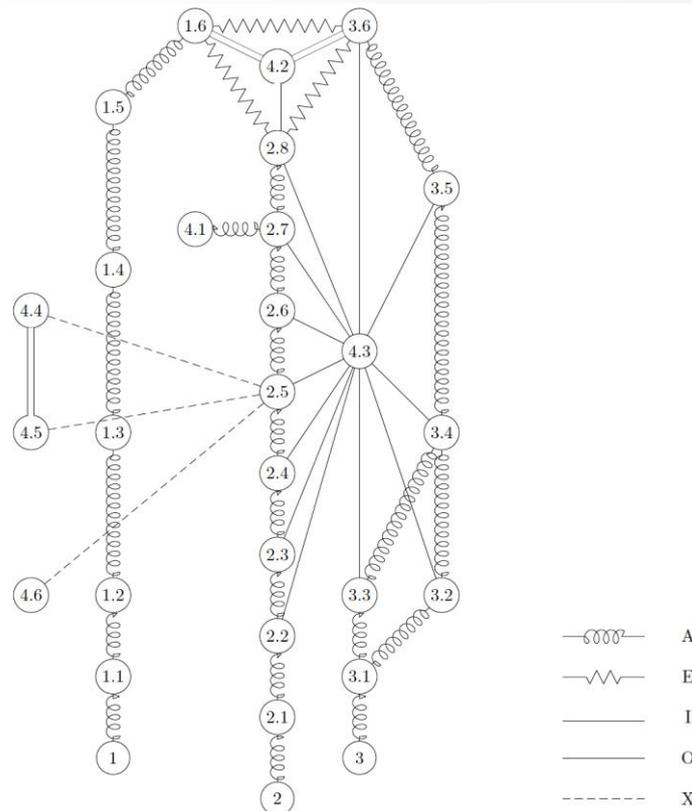


Figura 6 - Diagrama de relação entre atividades

### 3.5 Proposta de arranjo físico

O resultado final deste trabalho é o arranjo físico representado na Figura 7. A solução proposta nesse projeto, resultado de análise qualitativa a partir do diagrama de relação entre atividades, foi escolhida entre uma série de soluções válidas, não apresentadas nesse trabalho em função do espaço limitado. A matéria-prima para a fabricação das pás entrará pela porta P2 e será armazenada em 3.1. A matéria-prima será transportada as áreas 3.2 e 3.3 para fabricar as vigas e as conchas respectivamente. Essas serão transportadas na área 3.4 para realizar a montagem e cura das pás. O acabamento será realizado na área 3.5 e as pás sairão pela porta P7 para ser armazenadas no exterior.

Pela porta P3 entra a matéria-prima necessária para fabricar as torres e as gôndolas. Os materiais para fabricar as gôndolas serão armazenados no espaço 3.1 e a matéria-prima necessária para fabricar torres será armazenada na área 2.1. As chapas de aço serão cortadas na área 2.2 e irão para à área de calandragem, o espaço 2.3. A primeira fase da solda será realizada na área 2.4. As cabinas de jateamento estarão na área 2.5. Serão pintadas no espaço 2.6. Depois serão transportadas para a oficina 2.7 para a montagem das peças auxiliares. Os fragmentos de torre sairão pela porta P6 e serão armazenados no exterior.

O bastidor da gôndola será montado na área 1.2. Depois este será trasladado para a área 1.3, onde serão instalados a multiplicadora e o gerador e se realizará a montagem da carcaça.

O pessoal entrará na fábrica pela porta P1. O espaço 4.4 será utilizado para os vestiários e os banheiros e o espaço 4.5 para a sala de jantar dos trabalhadores. O espaço 4.1 é um armazém onde se armazenaram os elementos auxiliares da torre. Esses serão introduzidos ao armazém pela porta P5. O escritório do chefe da oficina estará situado na área 4.6.

Dessa maneira define-se o arranjo físico da Figura 7. Uma possível solução ao problema apresentado no início do artigo.

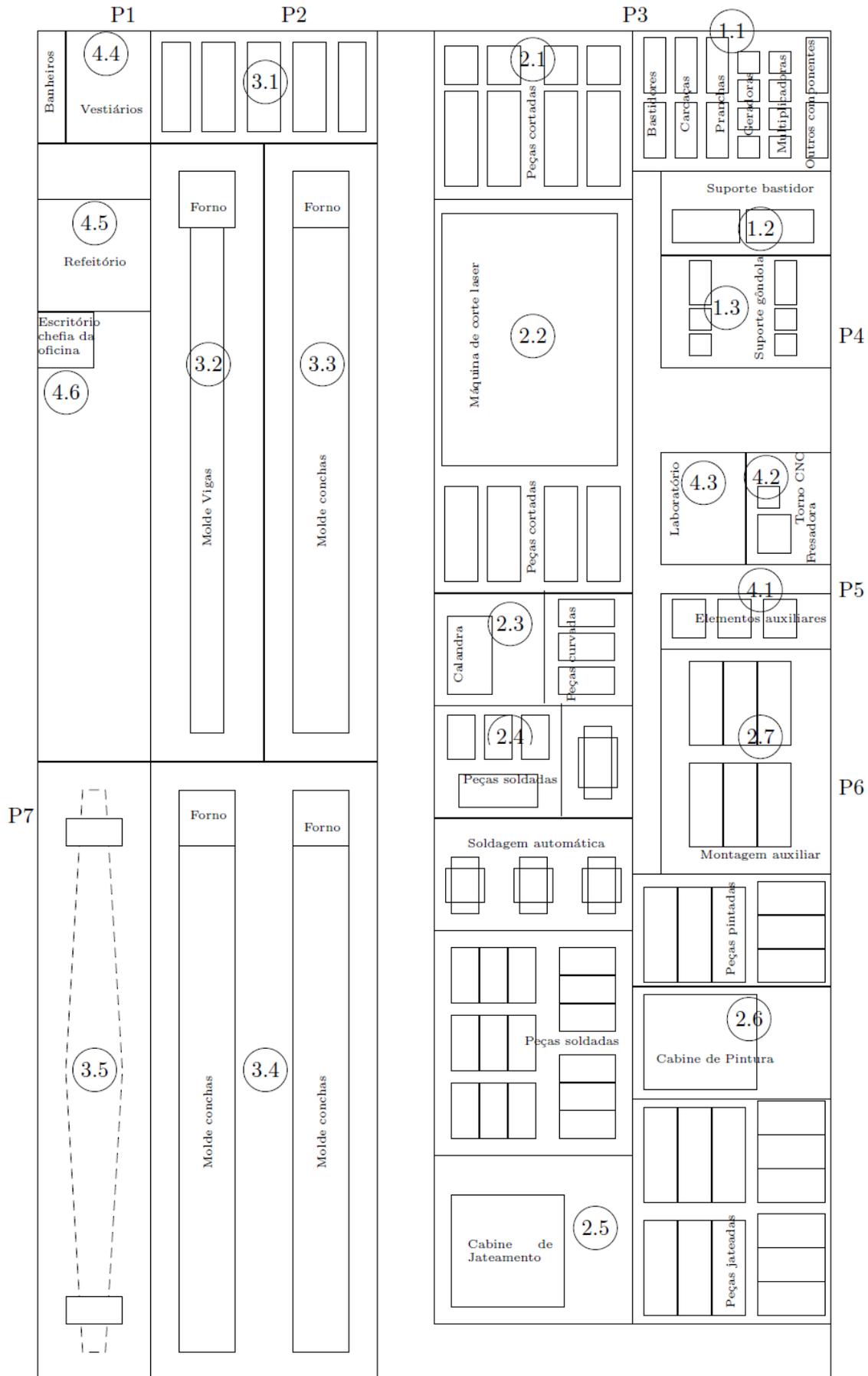


Figura 7 – Proposta para arranjo físico

#### **4. Considerações finais**

A solução proposta nesse projeto foi escolhida entre uma série de soluções válidas, não apresentadas nesse trabalho em função do espaço limitado. Não é garantido que a solução proposta seja ótima, mas é a melhor entre aquelas analisadas como válidas. Considerou-se para definir o arranjo físico a minimização das distâncias entre os processos, portanto, o tempo e o custo de transporte também serão menores. Isso contribui positivamente para competitividade da empresa. Para definição da proposta de arranjo físico também foi levado em conta o melhor aproveitamento da área industrial.

O estudo do arranjo físico é complexo, para um determinado problema existem diversas soluções factíveis. O projeto de arranjo físico proposto foi escolhido baseado em critério qualitativo, principalmente no tocante ao relacionamento entre as diversas atividades. Técnicas de otimização qualitativas ainda podem ser aplicadas para o desenvolvimento de outras soluções.

#### **Referências**

- BARNES, R.M.** Estudo de movimentos e de tempos. São Paulo: E. Blücher, 1977.
- BORBA, M.** Arranjo físico – material de suporte. UFSC, Florianópolis, 1998. Disponível na Internet; <http://es.scribd.com/doc/8862194/Apostila-Arranjo-Fisico>.
- GURGEL, F.A.** Logística Industrial. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 2000. 3. Reimpressão 2008.
- LEE, Q.** Projeto de Instalações e do Local de Trabalho. São Paulo: Iman, 1998.
- MONKS, J.G.** Administração da produção. São Paulo: McGraw-Hil, 1987.
- SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R.** Administração da Produção. 2. Ed. São Paulo: Atlas. 2008.
- TOLMASQUIM, M.T.** Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência. 2003.