



XXXENSINANDO A MODELAR AEROGERADORES COM AUTOCAD

Ailson Pereira de Moura – ailson@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará – Laboratório de Energia Eólica

Rua Francisco Farias Filho, 230/602 – Edson Queiroz

60810-110 – Fortaleza - CE

Adriano Aron Freitas de Moura

Universidade Federal do Ceará – Laboratório de Energia Eólica

Rua Francisco Farias Filho, 230/602 – Edson Queiroz

60810-110 – Fortaleza - CE

Resumo: A utilização de aerogeradores consiste em uma moderna técnica de conversão da energia eólica em energia elétrica. Tendo em vista o uso cada vez mais intenso dessas máquinas, inclusive no estado do Ceará, o presente trabalho descreve como é possível utilizar recursos simples do AutoCAD para desenhar o moderno aerogerador Enercon E40. Inicialmente o gerador eólico Enercon E40 foi dividido em subunidades que o compõem: As pás do rotor, a nacele, os cilindros que unem a nacele com as pás do rotor, a caixa do gerador, a caixa do estator do gerador, a caixa da turbina, os dois cilindros suportes da torre e a torre. A segunda etapa envolveu a introdução de um modelo matemático para cada parte: Para as pás e para a caixa da turbina utilizou-se uma aproximação de uma superfície de Coons, para a nacele utilizou-se um parabolóide, a caixa do gerador e a caixa do estator do gerador foram modeladas com cilindros e para a torre utilizou-se um tronco de cone. A terceira etapa consistiu no ajuste das proporções do desenho. A última etapa consistiu na geração de um efeito realístico para o desenho, através da introdução de cores, fontes de luz e uma tela de fundo (background) da praia de Jericoacoara. O aerogerador foi reproduzido em número de quatro e montados sobre as dunas de Jericoacoara. Todo o procedimento de desenho está exposto de uma forma didática no trabalho; e através do presente estudo, pode-se concluir que um procedimento análogo pode ser realizado para o desenvolvimento de desenhos de outros tipos de aerogeradores síncronos e assíncronos.

Palavras-chave: Energia Eólica, Geração, Sistemas de Potência, Engenharia.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de aerogeradores para “captar” a energia dos ventos consiste em uma moderna técnica de conversão da energia eólica em energia elétrica.

Os modernos sistemas de energia eólica consistem de três componentes básicos: Uma torre na qual se monta a turbina, um rotor movido pelo vento; e a nacele, abrigo para o equipamento, inclusive o gerador, que converte a energia mecânica de um rotor giratório em eletricidade. As pás do rotor precisam ser leves e fortes, a fim de se mostrarem eficientes em termos aerodinâmicos e resistirem ao uso prolongado sob ventos intensos.

Este trabalho mostra de forma didática como o AUTOCAD pode ser utilizado de forma simples para o modelamento externo do moderno aerogerador Enercon E40 instalado na Prainha (Ceará).

2. DESENHANDO O AEROGERADOR ENERCON - 40

2.1 Técnica de modelamento

Antes de iniciar qualquer desenho é conveniente pensar uma maneira de modelá-lo. Neste trabalho foi utilizada a seguinte metodologia para desenhar um aerogerador :

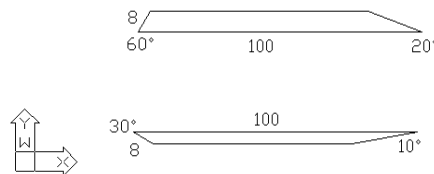
- Inicialmente o aerogerador Enercon E40 é dividido em subunidades que o compõem: As pás do rotor, a nacelle, os cilindros que unem a nacelle com as pás do rotor, a caixa do gerador, a caixa do estator do gerador, a caixa da turbina, os dois cilindros suportes da torre e a torre.
- Depois utiliza-se um modelo matemático para cada parte: Para as pás e para a caixa da turbina usa-se uma aproximação de uma superfície de Coons, a nacelle é representada por uma parabolóide, a caixa do gerador e a caixa do estator do gerador foram modeladas com cilindros e para a torre utilizou-se um tronco de cone.
 - Ajustam-se as proporções do desenho visando criar um efeito realístico.
 - Por fim iluminação e cores são colocadas no referido desenho.

2.2 Observações preliminares

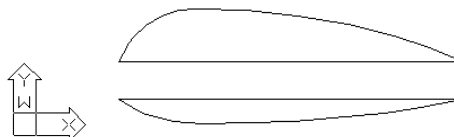
- Os limites da tela devem ser mudados para 20000, 20000.
- Digita-se zoom e depois all.
- Acessa-se o menu do programa Autocad → Format → Point style → a opção que apresenta uma circunferência com um ponto interno a ela deve ser escolhida. → Set size in absolute units. → OK, BALDAM (1997).

2.3 Etapa 1: Desenhando uma pá do rotor

Desenha-se os trapézios abaixo na tela:

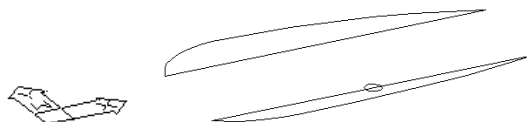


Os comandos pedit, join, fit são usados para desenhar as curvas mostradas a seguir:

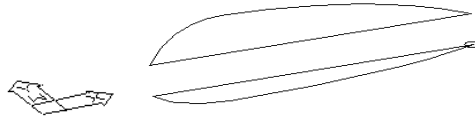


Digita-se vpoint -1,-2,1.

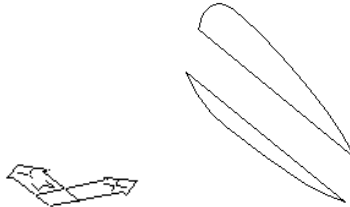
Digita-se rotate3d, all, x, selecionando o ponto marcado (midpoint), 90.



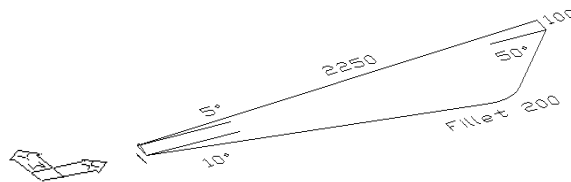
Digita-se rotate3d, all, z, selecionando o ponto marcado, -90.



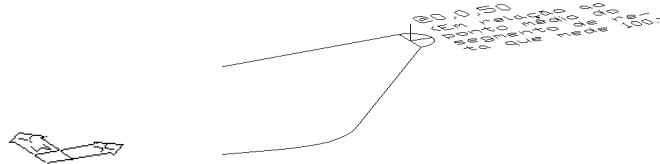
Após os passos descritos o desenho fica conforme mostrado abaixo:



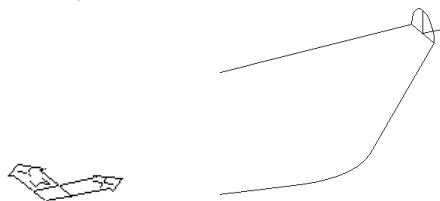
A seguinte figura deve ser desenhada:



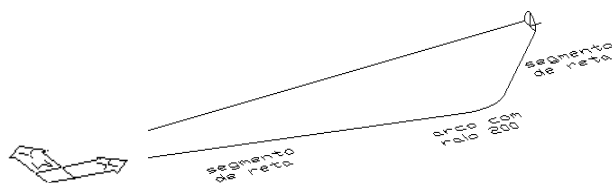
Desenha-se o arco (3 points) e os segmentos de reta mostrados abaixo:



Agora digita-se rotate3d, selecionando o arco desenhado, y e seleciona-se o ponto médio do segmento de reta que mede 100, -90. O arco fica assim:

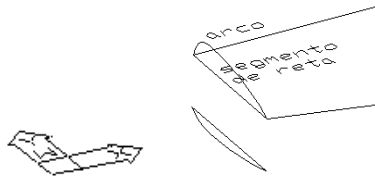


Digita-se peditt, selecionando os objetos indicados abaixo, join, esc.

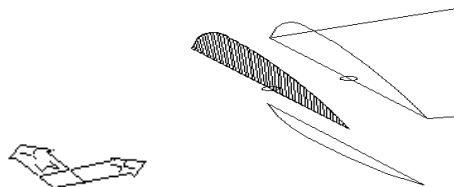


Nesse momento um método artificialoso deve ser usado!

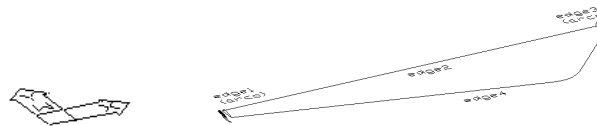
O arco e o segmento de reta que mede 100 (indicados abaixo) são copiados, utilizando o midpoint do segmento de reta que mede 100; e digitando @-25,0,0.



Marcam-se os pontos do desenho abaixo. Depois digita-se `surftab1,50;surftab2,50`. Desenha-se a malha abaixo com o comando `rulesurf`.



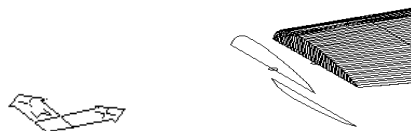
Usa-se `edgesurf` para desenhar uma malha a partir da interpolação bicúbica dos 4 objetos abaixo:



O desenho fica conforme a seguir:



A malha desenhada com o comando `rulesurf` é movida. Para isso, os dois nodes marcados são utilizados. O desenho fica assim:



Digita-se `explode`, selecionando a malha desenhada com o comando `edgesurf`, PEDRO et al. (2001).

Agora contam-se 4 arcos (arcos da malha; na direção do eixo y) e muda-se a cor para red de todos os segmentos de reta da malha que estão entre a extremidade da pá do rotor e o 4º arco. O desenho renderizado com o uso de uma fonte de luz distante D1 aparece abaixo:

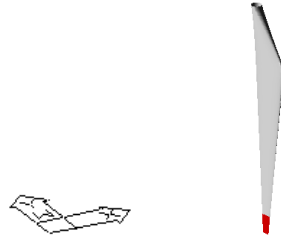


Tudo que foi feito com a curva de cima da pá do rotor, deve ser feito de modo análogo para a curva de baixo. Depois juntam-se as duas “metades” da pá do rotor. O modelo renderizado obtido com o uso da fonte de luz D1(uma fonte) fica assim:



2.4 Etapa 2: Levantando a pá do rotor e desenhado o cilindro que une a nacele com a pá do rotor

Digita-se rotate3d, all, y, seleciona-se o centro da circunferência na extremidade da pá do rotor, -90. O modelo renderizado é apresentado na figura abaixo:

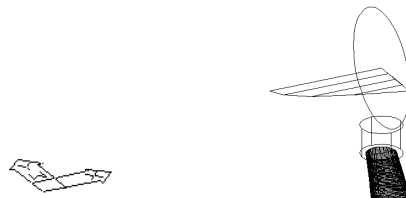


Desenha-se o cilindro (raio 70 e altura 100) que une a nacele com a pá do rotor. O desenho fica conforme mostrado abaixo:



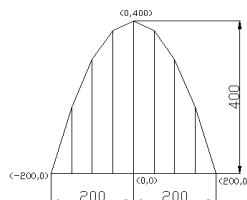
2.5 Etapa 3: Desenhando a nacele, rotacionando a pá do rotor e copiando o desenho.

Desenha-se o “esqueleto” de um parabolóide que representará a “nacele” do aerogerador. Obs: A circunferência da base do parabolóide possui raio 200 e a “altura do parabolóide” mede 400.



Explicações sobre a figura acima:

Sabe-se que o raio da circunferência da base do parabolóide mede 200 e que a “altura do parabolóide” mede 400. Tem-se então três pontos da parábola, os pontos (-200,0);(200,0) e (0,400). Observa-se a figura abaixo:



Pode-se achar a equação da parábola ($y = ax^2 + bx + c$) através do seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned} 0 &= 200^2 a + 200b + c \\ 0 &= 200^2 a - 200b + c \end{aligned}$$

$$400 = c$$

Resolvendo-o encontra-se $a = -0,01$, $b = 0$ e $c = 400$. Logo, a equação da parábola é: $y = -0,01x^2 + 400$. Marcam-se então pontos que pertencem à parábola:

$$\text{Se } x = 50 \Rightarrow y = 375 \Rightarrow (50,375)$$

$$\text{Se } x = 100 \Rightarrow y = 300 \Rightarrow (100,300)$$

$$\text{Se } x = 150 \Rightarrow y = 175 \Rightarrow (150,175)$$

Usam-se `pedit`, `join`, `fit unindo(join)` os segmentos de reta que passam por pontos pertencentes à parábola, para em seguida a curva geradora do parabolóide ser traçada. Aparece o desenho que segue:



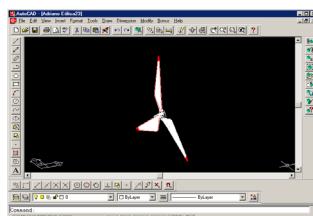
Agora seleciona-se o centro da circunferência da base do parabolóide, movendo o esqueleto do parabolóide 100 unidades de medida na direção e sentido do eixo x. Em seguida sobe-se a pá do rotor 100 unidades na direção do eixo z e sentido para cima (100 unidades contadas a partir do centro da circunferência superior do cilindro que une as pás do rotor com a nacele). O desenho fica conforme mostrado a seguir:



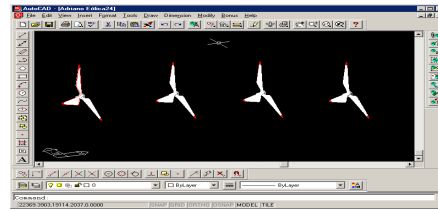
Digita-se `rotate3d`, `all`, `x`, selecionando o centro da circunferência da base do parabolóide, `-60`. O desenho obtido é mostrado abaixo:



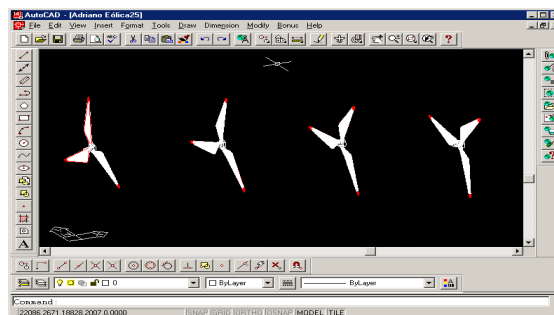
Digita-se `3darray`, `all`, `p`, `3`, `angle to fill 360`, `y`, `center point of array` → centro da circunferência da base da parábola 3D, `second point on axis of rotation` → extremo da altura da parábola 3D. O desenho aparece como a seguir:



O desenho da figura anterior é copiado 4 vezes. Após isto o desenho fica assim:



Seleciona-se o 2º desenho, digita-se rotate3d, x, selecionando o centro da circunferência da base da parábola 3D, 15; Seleciona-se o 3º desenho, digitando rotate3d, x, selecionando o centro da circunferência da base do parabolóide, 30; Seleciona-se o 4º desenho, digita-se rotate3d, x, selecionando o centro da circunferência da base do parabolóide, 45. Observa-se o desenho:



2.6 Etapa 4: Desenhando o cilindro do gerador, o cilindro do estator do gerador, a caixa da turbina, os dois cilindros da torre e a torre.

Retorna-se para o primeiro desenho da figura anterior. Digita-se surfTAB1, 200; surfTAB2, 200. Agora digita-se revsurf, selecionando a curva geradora do parabolóide e depois o eixo de revolução da curva (altura do parabolóide), enter, enter. Observa-se o desenho renderizado com a fonte de luz distante D1 (uma fonte):



Desenha-se um cilindro de raio 300 com centro no centro da circunferência da base do parabolóide e altura 100. Digita-se rotate3d, selecionando o cilindro, y e seleciona-se o centro da circunferência da base do parabolóide, 90. Observa-se o desenho renderizado com a fonte de luz D1 (uma fonte):



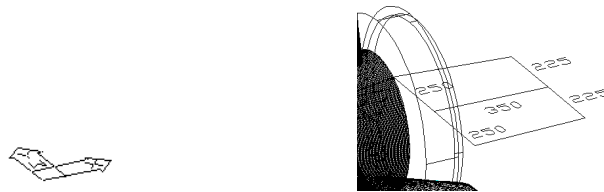
Desenha-se outro cilindro (atrás do anterior) de raio 275 e altura 25 utilizando o mesmo procedimento. Seleciona-se o 1º desenho, digitando dview, ca, posiciona-se o seu desenho

como mostrado abaixo (desse modo o 2º cilindro que foi construído será visualizado). Digita-se hide. Observa-se como o desenho ficou:

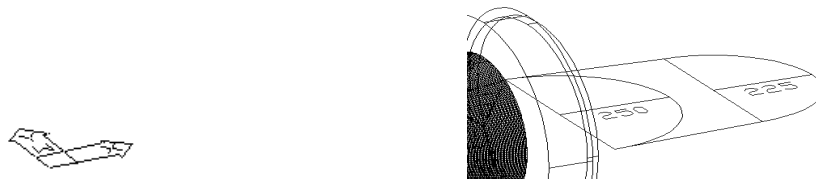


Agora a caixa da turbina será desenhada.

Desenha-se a figura abaixo com a opção line. Obs: Move-se um pouco a figura na direção e sentido do eixo x em relação ao centro da 2ª circunferência do 2º cilindro.



Desenha-se os dois arcos (3 points) da figura abaixo:



Digita-se rotate3d, selecionando o arco de raio 225, y e seleciona-se o ponto médio de sua base, -90. Idem para o arco de raio 250. A figura aparece como a seguir:



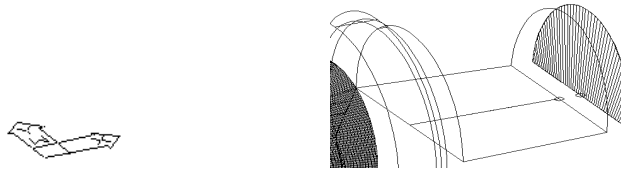
Digita-se rotate3d, selecionando o arco de raio 225, y e seleciona-se o ponto médio de sua base, 5. A figura é fica como mostrada:



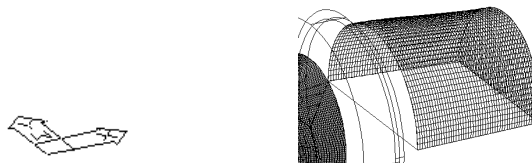
Copia-se a semicircunferência de raio 225 e sua base em relação ao ponto médio de sua base, digitando @50,0,0. O desenho aparece abaixo:



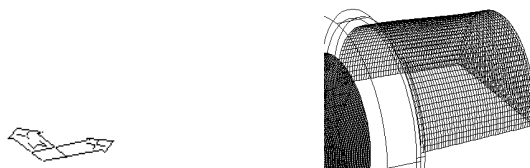
Marcam-se os dois pontos da figura abaixo (midpoints; 20 units of size) e desenha-se a malha abaixo com o comando rulesurf (surftab1 →50, surftab2 →50).



Desenha-se a malha abaixo com o comando edgesurf (surftab1→50; surftab2→50) e em seguida, move-se a malha anterior visando preencher a parte traseira superior da caixa da turbina. A figura abaixo apresenta os passos descritos:



Agora movem-se as duas malhas criadas (uma com o comando edgesurf e a outra com o comando rulesurf) tomando como ponto de deslocamento o centro da semicircunferência de raio 250, para o centro da 2ª semicircunferência do 2º cilindro. Deletam-se as figuras que sobraram.



Repete-se o procedimento descrito para a parte inferior da caixa da turbina.

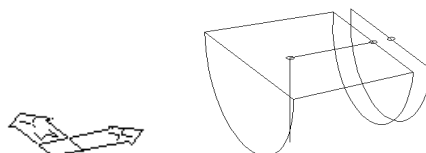
OBS1: Marca-se um node no centro da malha (semicircunferência) da parte de detrás inferior do “tambor”.

OBS2: Marca-se outro node à uma distância de 235 em relação ao centro da circunferência (inclinada de 5° com a vertical) de detrás da caixa da turbina.

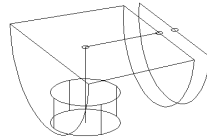
OBS3: As observações 1 e 2 devem ser feitas quando a malha inferior da caixa da turbina estiver sendo desenhada.

Desenham-se a seguir os dois cilindros da torre e a torre.

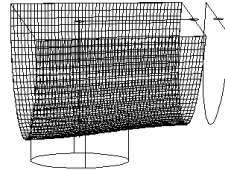
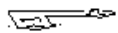
Desenha-se o segmento de reta abaixo de comprimento 250 na direção do eixo z e sentido para baixo em relação ao node marcado.



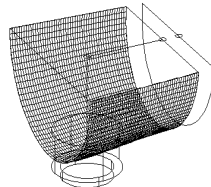
Desenha-se o cilindro abaixo de raio 100 e altura 100. A base inferior do cilindro está na extremidade do segmento de reta que mede 250.



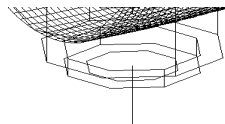
Move-se o centro da circunferência superior do cilindro, 50 unidades no sentido para baixo e na direção do eixo z. O desenho fica conforme mostrado abaixo:



Desenha-se o cilindro abaixo de raio 75 e altura 25. (Move-se este cilindro para baixo 25 unidades em relação ao centro de uma das 2 circunferências (base e topo) que o compõem. O desenho obtido é o seguinte:



Desenham-se a circunferência e o segmento de reta mostrados abaixo. A circunferência possui raio 50 e o segmento de reta possui comprimento 6500 na direção do eixo z e sentido para baixo. Nota-se que a figura mostra apenas parte do segmento de reta.



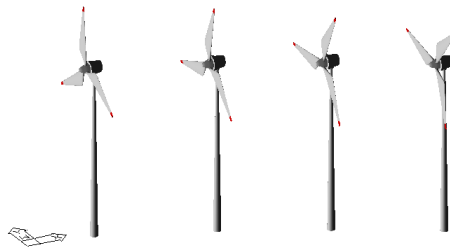
Desenha-se outra circunferência de raio 150 na outra extremidade do segmento de reta que mede 6500. Com o comando `rulesurf` a malha da torre (`surftab1→50; surftab2→50`) é feita. O desenho fica assim (1 fonte de luz distante D1):



Juntando-se as 2 partes do 1º desenho (movendo a malha inferior da caixa da turbina, os dois cilindros da torre, a malha da torre, um node marcado na circunferência-base da torre). Depois copia-se a circunferência-base da torre (utilizando o centro da circunferência-base da torre e o node marcado que foi movido). Deletam-se as partes que sobraram (menos a circunferência-base da torre). O desenho renderizado com 1 fonte de luz distante D1 aparece abaixo:



Copiam-se as partes que faltam nos outros aerogeradores deste aerogerador; copiam-se estas partes para os outros, menos a malha da nacelle. Em seguida, os dois cilindros atrás da nacelle são copiados. A malha da caixa da turbina, os dois cilindros da torre, a malha da torre, o node e a circunferência-base da torre (para copiar esta utiliza-se a circunferência não deletada da figura anterior). Desenham-se os parabolóides nos outros aerogeradores. O desenho renderizado com uma fonte de luz distante D2 é mostrado a seguir:



O desenho completo com os aerogeradores em cima de dunas (foto de Jericoacoara) está apresentado abaixo. OBS: Neste desenho foram utilizadas 12 fontes de luz distantes D1.



Complemento: Explicando o uso das fontes de luz D1 e D2.

O uso das fontes de luz D1 e D2 foi feito através do comando light com o uso da opção fonte distante de luz. A intensidade da luz ambiente foi escolhida com o valor igual a 1, o azimuth (controla o ângulo de inclinação da fonte de luz em relação à direção norte; neste trabalho a direção norte possui direção do eixo y e sentido oposto à ele) -90 e a altitude (controla o ângulo de inclinação da fonte de luz em relação ao plano XY) 0 . Os demais parâmetros foram mantidos na opção default. A diferença entre D1 e D2 está no fato de que D1 possui a opção shadow on acionada, enquanto que D2 não, BOONEY (2001).

3. CONCLUSÃO

Pode-se modelar e desenhar externamente o moderno aerogerador Enercon E40 utilizando-se recursos simples do AUTOCAD e um modelo matemático adequado.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDAM, R. L. **Utilizando Totalmente o AutoCAD R14 2D 3D e Avançado**. 11ª ed. São Paulo: Editora Érica, 1997.

BOONEY, S. **3ds Max 4 Efeitos Mágicos**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2001.

PEDRO, A.H., MARTINS, A.G., ARAKAKI, R. H. e ARAKAKI, R. Y. **Soluções e Aplicações em AutoCAD 2000 & Automação em Projetos Elétricos com Cadproj**. 7ª ed. São Paulo: Editora Érica, 2001.

TEACHING TO MODEL WIND TURBINE WITH AUTOCAD

Abstract: *The wind turbine use consists of a modern technique of conversion of the wind energy in electric power. Tends more and more in view the use intense of those machines, besides in the state of Ceará, the present paper describes how it is possible to use simple resources of AutoCAD to draw the modern wind turbine Enercon E40. Initially the wind turbine Enercon E40 was divided in small units: The rotor blades, the nacelle, the cylinders that unite the nacelle with the rotor blades, the box of the generator, the box of the stator of the generator, the box of the turbine, the two cylinders supports of the tower and the tower. The second stage involved the introduction of a mathematical model for each part: on the blades and for the box of the turbine an approach of a surface of Coons was used, for the nacelle it was used a paraboloid, the box of the generator and the box of the stator of the generator they were modeled with cylinders and for the tower a cone log was used. The third stage consisted of the adjustment of the proportions of the drawing. The last stage consisted of the generation of a realistic effect for the drawing, through the introduction of colors, light sources and a bottom screen (background) of the beach of Jericoacoara. The wind turbine was reproduced in number of four and mounted on the dunes of Jericoacoara. The whole drawing procedure is exposed in a didactic way in the paper; and through the present study, it can be concluded that a similar procedure can be accomplished for the development of drawings of other types of wind turbines machines synchronous and asynchronous.*

Key-words: *Wind power, generation, power systems, engineering.*