

Cálculo da energia anual, potencial eólico e FC (fator de capacidade) com o software WindPRO

Rogério Rossi Machado¹, Prof. Dr. Jorge Alberto Almeida²

¹Mestrando do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS – igorm1@terra.com.br

²(Orientador) Departamento de Física FURG, Rio Grande, RS – dfsjaa@furg.br

RESUMO: Calcular a produção de energia em projeto de energia eólica é uma das mais importantes tarefas. A energia anual para uma turbina específica varia bastante, dependendo do local de implantação. O software WindPRO oferece várias opções para calcular a produção de energia. Com o módulo METEO, se pode calculá-la com base em dados de medição do vento, quando medidos no local da futura turbina (em terrenos planos e abertos os dados podem ser utilizados para áreas mais abrangentes). Se as medidas foram feitas a uma altura diferente da altura do cubo da turbina proposta, os dados podem ser extrapolados através de um expoente do gradiente do vento, mas isto deve ser feito com cuidado. Somente em terrenos planos e simples (baixa rugosidade) esta extrapolação segue regras simplificadas.

PALAVRAS CHAVES: energia, potencial, dados, aerogerador, cálculo.

ABSTRACT: Calculating the energy production for a wind energy project is one of the most important tasks. The annual energy production for a specific turbine can vary by several hundred percent depending on the micro-siting. WindPRO offers a range of options for calculating the energy production. With the METEO module, you can calculate energy production based on measured wind data, where you've measured exactly at the future WTG location (in flat, open terrain the data can usually be used for larger areas). If the measurements are taken at a height other than the proposed WTG hub height, the data can be extrapolated by giving in a wind gradient exponent, but this must be done carefully. Only in flat and simple terrain (low roughness) can the height conversion be expected to follow simple rules.

KEYWORDS: energy, power density, data, wind turbine, calculus.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é apresentar, divulgar e estimular, de uma maneira muito sucinta, uma ferramenta que está à disposição na Universidade (FURG) e precisa de bastante estudo e dedicação devido a sua complexidade e flexibilidade. O que é apresentado aqui é apenas uma pequena parte das possibilidades e da abrangência deste sistema.

O WindPRO é um programa de PC, para o planejamento de parques eólicos, que funciona com o sistema operacional Windows 98/ME, NT/ 2000/ XP ou Windows Vista. O programa consta de vários módulos, cada um com seu objetivo. O usuário pode comprar os módulos individuais em função de sua necessidade. WindPRO se dirige a todos os que trabalham no planejamento, aprovação e administração de projetos eólicos.

A filosofia do WindPRO é "o projeto orientado a objetos". Um projeto eólico consta de um número de "objetos", onde os aerogeradores (AGs) formam os objetos centrais. Os AGs

podem ser escolhidos de um amplo catálogo, onde se encontram todas as informações relevantes que correspondem ao seu tipo.

Outros objetos são, por exemplo: obstáculos locais, torre para medir a distribuição da velocidade do vento, câmaras e descrições do terreno. Alguns destes objetos influem na energia eólica, outros no impacto sobre o meio ambiente, por exemplo. Para poder fazer os cálculos é necessário conhecer as coordenadas de todos estes objetos.

Uma das principais facilidades do programa é que a introdução das coordenadas se realiza automaticamente, apoiando-se na informação do mapa de fundo utilizado. O usuário só tem que digitalizar os mapas necessários ou usar mapas digitais. Feito isso, é só escolher os objetos da lista de símbolos e colocá-los no mapa clicando com o mouse.

Depois, o programa WindPRO processa a informação com ajuda de uma base de dados que contém informação sobre quase todos os tipos de AGs existentes no mercado. Deste modo se facilita a comparação dos cálculos em vários projetos. Quando todos os objetos relevantes forem criados, o usuário escolhe os módulos de cálculo desejados.

A FURG tem licença para usar o software nos seguintes módulos: BASIS, METEO, PARK, DECIBEL, SHADOW E WINDBANK. O módulo BASIS é necessário para utilizar todos os outros módulos. É nele que são introduzidos os dados necessários para o cálculo, através da inclusão de objetos no mapa do projeto. DECIBEL é usado para calcular e documentar a emissão de ruídos gerada por uma instalação eólica ou parque eólico. SHADOW é usado para cálculo e documentação da projeção de sombra gerada pelos AGs. Calcula quantas horas no ano um ponto de emissão se verá afetado por sombras projetadas pelos AGs nas imediações. PARK é usado para calcular a energia produzida de um parque eólico incluindo a perda devida ao efeito de esteira. WINDBANK é usado para fazer o cálculo econômico de um empreendimento.

Usa-se METEO para fazer o cálculo energético quando temos dados da velocidade do vento em séries temporais ou mesmo de histogramas em forma de tabelas de frequência. O cálculo pode ser feito através de dois métodos: MEASURE e WEIBULL. Este artigo abrange o método MEASURE para o cálculo do potencial eólico, energia anual e do FC (fator de capacidade) usando um aerogerador da marca FURLANDER, com torre de 100m de altura do cubo, raio do rotor de 50m, potência nominal de 2500kW, velocidade de partida de 3m/s e velocidade de corte de 25m/s. Os dados utilizados foram coletados na região do Pontal do Abreu, no município de Viamão, a cada 10 min, durante um ano desde o dia 01 de abril de 2006 as 00:10 até o dia 31 de março de 2007 as 24:00, perfazendo um total de 52560 registros.

2. CÁLCULO ENERGÉTICO

O cálculo energético é uma das disciplinas mais importantes no planejamento de parques eólicos. O rendimento total anual de um AG pode variar, dependendo do local, em uma ampla porcentagem, inclusive em um país como a Dinamarca. Por exemplo, a produção de um AG de 500kW de potência nominal instalado em distintos lugares da Europa pode variar entre 600 e 2.600 MWh (ou o mesmo que de 1.200 a 5.200 horas de plena carga equivalentes). Dado que os preços dos AGs são independentes da existência de suficiente vento no sítio de implantação, a produção anual é a que determina a rentabilidade ou economia de um projeto de energia eólica.

Para determinar o potencial eólico da região estudada foi instalada na região do Pontal do Abreu, município de Viamão, uma torre de medição de vento de 50m de altura com dois anemômetros, um a 50m e outro a 30m, um wind vane (sensor de direção ou biruta), barômetro, termômetro e computador de vento (data logger). Com a medida da velocidade do vento em duas alturas (30 e 50m), podemos calcular o gradiente de velocidade do vento e

obter o perfil da velocidade em função da altura do solo. Com isso podemos extrapolar os valores da velocidade do vento para alturas maiores de 50m e determinar o potencial na altura do cubo do aerogerador. É usual que esta altura, nos dias de hoje, fique em torno de 100m.

Essa extrapolação de valores deve ser feita com cuidado, pois se for superior a 20% contém uma imprecisão considerável. Devido a este fato as torres de medição atuais já possuem em torno de 100m de altura, como é o caso da que foi instalada este ano (2008) na região da Querência, na praia do Cassino, para analisar a viabilidade de implantar um parque eólico no local.

Os dados foram baixados em intervalos de no máximo seis meses para que não houvesse perda dos mesmos, pois esta é a capacidade de armazenagem do computador de vento. Quando ela acaba, os dados são gravados em cima dos primeiros e assim sucessivamente.

Os registros de dados são divididos nos seguintes campos:

- Data no formato dd.mm.aa.
- Horário no formato hh:mm.
- Velocidade média no anemômetro a 50 m de altura (em m/s) no intervalo de 10 min.
- Velocidade máxima no anemômetro a 50 m de altura (em m/s) no intervalo de 10 min.
- Desvio padrão da velocidade no anemômetro a 50 m de altura no intervalo de 10 min.

Tabela 1: cabeçalho e primeiros dados da planilha “dados”.



Date	Time	V1med	V1max	V1std	V2med	V2std	WDmed	WDstd	Temp	Vext	Bar
01.03.07	00:10	5,3	5,5	0,1	4,1	0,2	187	2	24,6	9,5	970
01.03.07	00:20	4,4	4,8	0,2	3,3	0,1	189	4	24,7	9,5	971
01.03.07	00:30	4,2	4,4	0,2	3	0,1	177	4	24,6	9,5	971

- Velocidade máxima no anemômetro a 30 m de altura (em m/s) no intervalo de 10 min.
- Desvio padrão da velocidade no anemômetro a 30 m de altura no intervalo de 10 min.
- Direção média do vento em graus.
- Desvio padrão da direção média do vento.
- Temperatura em graus centígrados.
- Tensão na bateria do data logger em V.
- Pressão.

3. CÁLCULO COM O MÓDULO METEO

3.1 Criação de um novo projeto

Os dados do projeto devem ser introduzidos no programa através do módulo BASIS, obrigatório para utilizar qualquer outro. Ao executar WindPRO, a tela inicial é como a figura 1.

Para criar um novo projeto clique no ícone  ao lado de “New Project” e em seguida escolha um ponto do mapa onde o mesmo será localizado, clicando duas vezes. Abre-se uma janela, onde criamos uma pasta para o projeto e salvamos nosso arquivo escolhendo um nome para ele. A estrutura de arquivos recomendada é criar a pasta em WindPRO Data \ Projects. Além disso, duas sub pastas para os MAPAS (maps) e DADOS DO VENTO (windata). Depois de criado, o projeto aparece no mapa como mostra a figura 1. Para abrir um projeto, escolha Project-Open ou o ícone .

A tela de criação de um novo projeto é mostrada na figura 2.

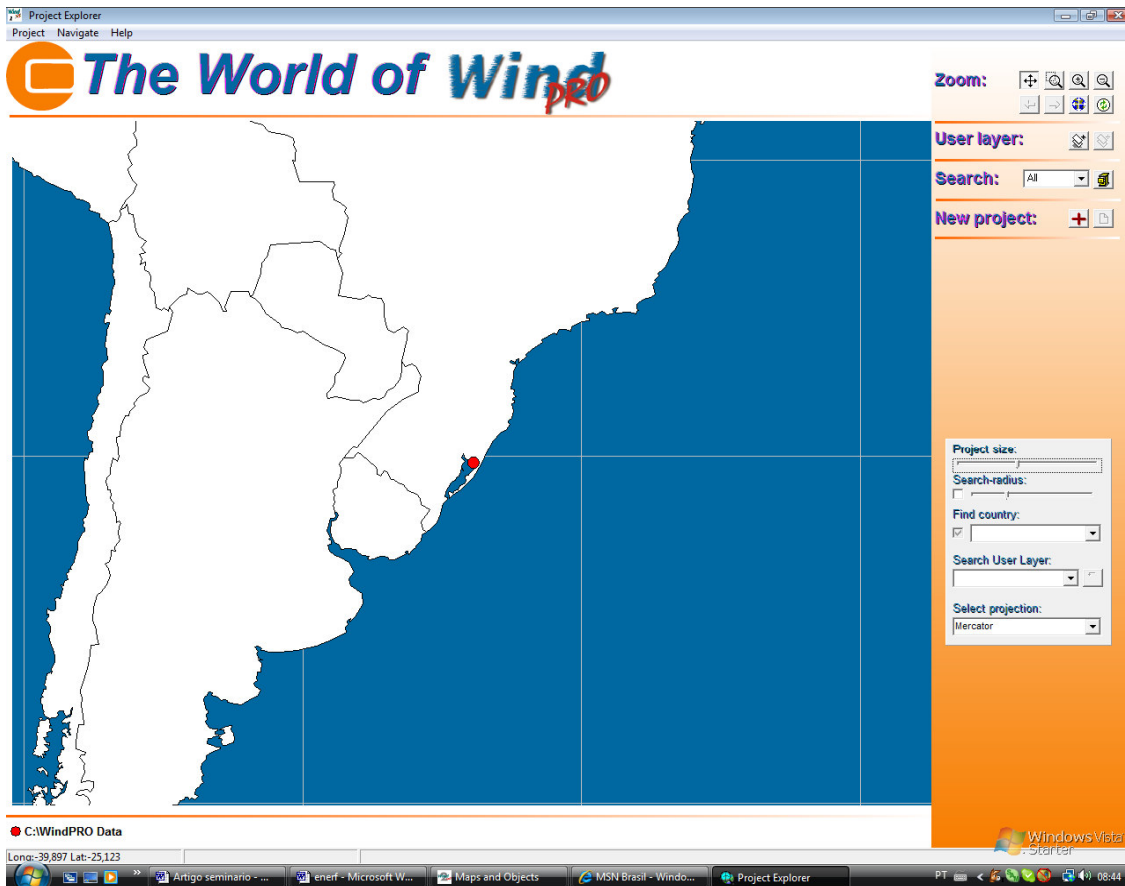



Figura 1 – Tela inicial do WindPRO

3.2 Propriedades do projeto e inserção de mapas digitais ou digitalizados

Ao salvar o arquivo, abre-se a janela Propriedades do projeto com quatro registros como na figura 3. Na janela “Project and Site”, coloque um nome para o projeto em “Project name”, por exemplo, Viamão. Em “Site” escolha o país, no caso Brasil. Em “Time Zone” escolha (GMT-03:00) Brasília.

Clique na aba “Coordinate system” e escolha UTM WGS 84 South e em “Zone” escolha 22. A seguir clique na aba “Background maps”. A possibilidade de trabalhar durante a realização e apresentação de projetos com mapas digitais é um dos pontos fortes do WindPRO (o programa também pode ser utilizado sem necessidade de mapas digitais).

WindPRO pode ler vários tipos correntes de formatos para mapas (veja as distintas opções na janela), ou também se pode, por meio da opção “Georeference new map” (Referenciar coordenadas em um mapa novo), ler um mapa digitalizado e prepará-lo para uma aplicação com o WindPRO. Após carregar os mapas necessários, estes são listados na parte de baixo do registro mapas. Clique o botão OK para voltar para a janela do menu principal do WindPRO, o organizador de projetos. Com o botão  pode voltar a qualquer instante à janela “Propriedades do projeto”.

3.3 A janela principal do WindPRO e a inserção de objetos no projeto

Na janela principal (figura 4) vêem-se à direita os módulos do WindPRO instalados no sistema. Os triângulos à direita dos nomes indicam, quando na cor amarela, que estão instalados, mas não possuem licença de uso. Neste caso, se podem ver os exemplos e os relatórios de resultados, mas não se podem fazer cálculos. Quando os triângulos têm a cor verde, estão licenciados. Para realizar um cálculo, clica-se duas vezes sobre o nome do módulo.

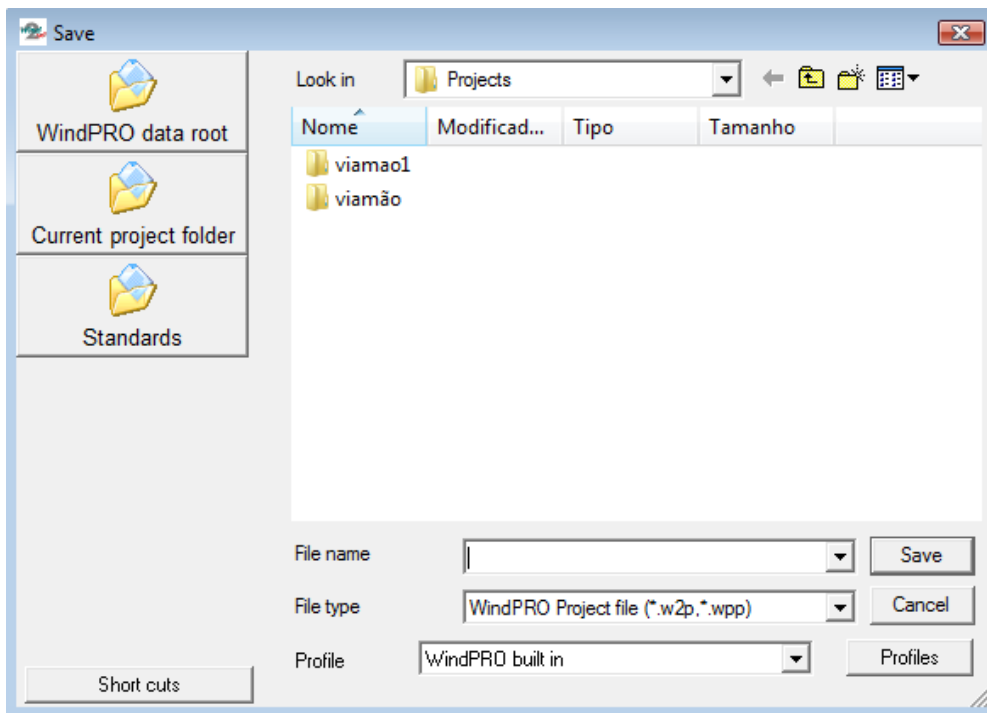




Figura 2 – Criando um projeto novo.

À esquerda da janela principal encontra-se o ícone  e clicando-se sobre ele, se os mapas necessários foram carregados, entra-se em outra janela onde se coloca, sobre o mapa, os objetos necessário para os cálculos. Na janela de mapas que aparece há mais cinco símbolos como este; com o segundo deles pode carregar o segundo mapa (pode fazer isso antes mesmo de que carregar o primeiro).

Dependendo da capacidade do computador, o procedimento de carga pode demorar um pouco. Mas depois disto, é possível trocar os mapas de forma cômoda e fácil clicando os dois símbolos do globo superiores da janela de mapas. Outros botões de mapas poderão ser utilizados para mapas adicionais.

3.4 Inserção do objeto METEO e dos arquivos de dados brutos

O mapa 1 (botão de mapa superior) é o mapa mais detalhado, por isso introduz-se sobre este os dados relevantes do projeto, como por exemplo, a posição dos aerogeradores. No caso do cálculo com o módulo METEO, é necessário inserir um objeto METEO. Selecione o Objeto-Meteo  da lista no lado direito da janela de mapas. Situe-o no ponto onde se fez a medição de vento. Em relação ao projeto de demonstração, supõe-se que a medição foi feita no centro do parque eólico em planejamento.

Aparecerá a janela (figura 5) com as propriedades do Objeto-Meteo. Escolha o número de setores no campo “Number of sectors”. Escolha como altura da medição de vento os valores de 30 m e 50m que são as alturas dos anemômetros na torre de medição do caso estudado (botão Inserir no bordo direito da janela) e vá então ao registro “Row data” (figura 6).

Aqui são introduzidos os arquivos de medição baixados do computador de vento instalado na torre de medição. Em “Source” assinala-se se os dados são “files” (arquivos) ou “clipboard” (área de transferência do Windows). Se forem arquivos, clica-se no botão “Add” para adicioná-los. Os arquivos de dados brutos baixados do computador de vento têm a extensão ROW.

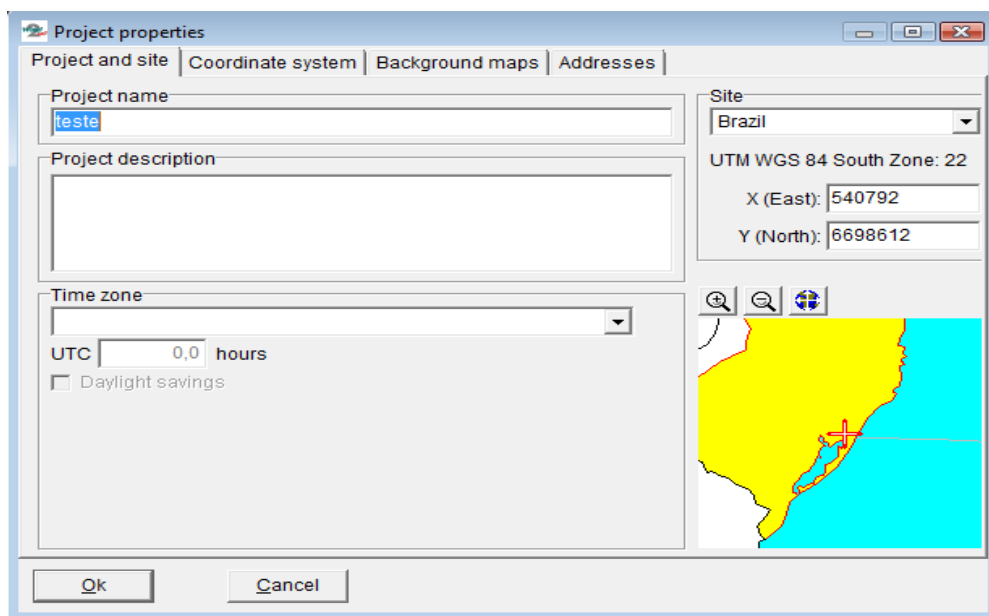


Figura 3 – a janela Propriedades do projeto.

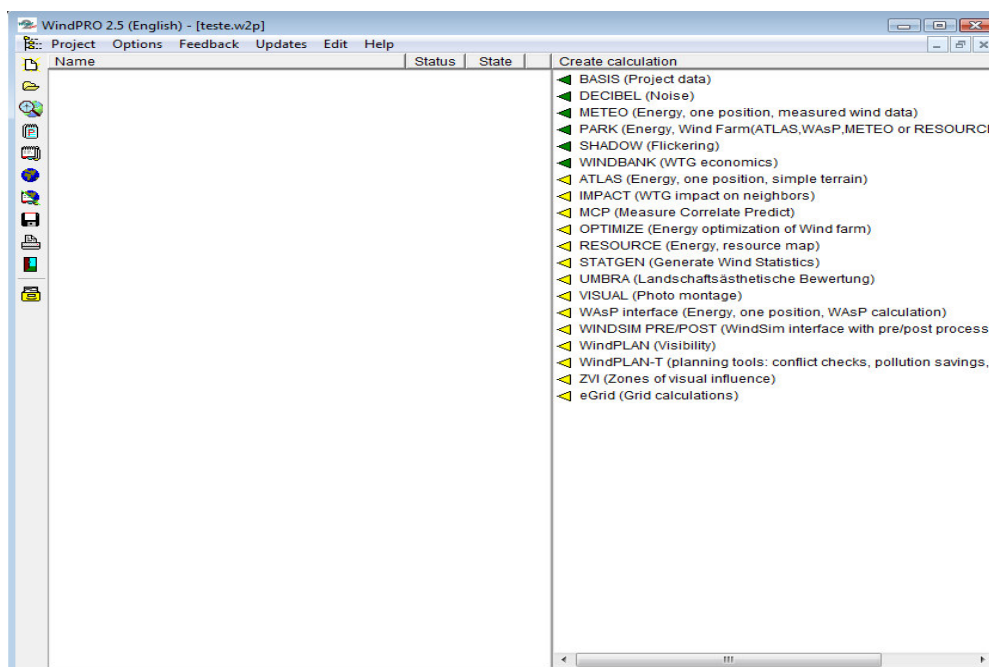
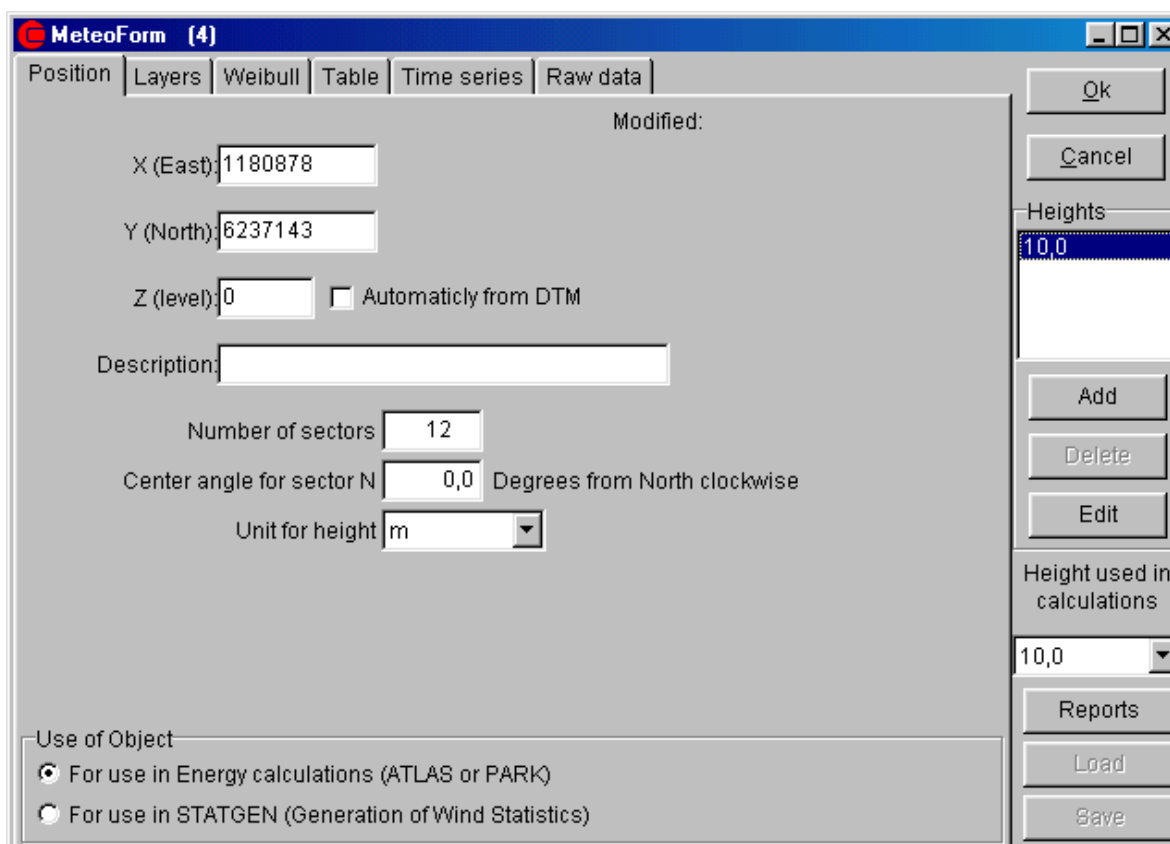


Figura 4 – janela principal (organizador de projetos).

É necessário escolher o tipo de registro em “Record type”, a primeira linha que contém os dados (First line with data), o separador de campos (Field separator) e o separador decimal (ponto ou vírgula). A seguir, as colunas correspondentes aos dados medidos devem ser indicadas bem como as unidades das mesmas. Marcando-se um arquivo e usando o botão “View” se podem ver as primeiras linhas do mesmo e verificar se os dados foram configurados corretamente, de forma que o programa os entenda. Marcando-se um ou mais arquivos e usando o botão “Statistics” é vista uma estatística dos dados introduzidos no objeto meteo, como data inicial, data final, dados observados totais e por dia.

3.5 Séries de dados temporais

Inseridos os dados, passa-se para “Time series”. Neste item os dados são transformados em séries temporais, uma série de informações compreensíveis ao WindPRO sobre o transcurso da velocidade e direção do vento em dependência do tempo. Os dados são representados em distintos registros; podem-se fazer diferentes análises gráficas sobre a tela (botão “Graphics”) ou também se podem imprimir-los mediante o botão “Reports” como se fossem do próprio WindPRO. Podem-se ordenar os valores, eliminar dados que sejam inconsistentes como velocidades do vento muito altas e usar filtros para separar dados, por exemplo, do dia e da noite. Carrega-se a tabela “Time series” usando o botão “(Re)load all”.



The screenshot shows the 'MeteoForm [4]' application window with the 'Time series' tab selected. The interface includes several input fields and buttons:

- Position:** X (East): 1180878, Y (North): 6237143, Z (level): 0. There is a checkbox for 'Automaticly from DTM' which is unchecked.
- Description:** An empty text input field.
- Number of sectors:** 12
- Center angle for sector N:** 0,0 Degrees from North clockwise
- Unit for height:** m (selected from a dropdown menu)
- Use of Object:** Two radio buttons: 'For use in Energy calculations (ATLAS or PARK)' (selected) and 'For use in STATGEN (Generation of Wind Statistics)'.
- Buttons:** Ok, Cancel, Add, Delete, Edit, Reports, Load, Save.
- Heights:** A list with '10,0' selected.
- Height used in calculations:** A dropdown menu with '10,0' selected.

Figura 5 – Os dados do objeto meteo

3.6 Tabelas de distribuição de frequências

Em seguida passamos para o registro “Table”. Nele a série temporal é transformada em uma tabela bidimensional de frequências que contém intervalos de velocidades do vento

divididas em setores. Carregam-se os dados do registro “Table” através do botão “Load from Time series”.

Para determinar a produção energética de um tipo determinado de aerogerador com ajuda de dados do vento medidos durante um prazo representativo de tempo, terá que multiplicar e integrar a distribuição das velocidades do vento com a curva de potência da turbina.

Para esta operação é necessário extrapolar os dados do vento da altura de medição a do cubo do AG. Esta extrapolação pode ser feita por meio do expoente do gradiente do vento, o qual descreve a mudança das velocidades do vento para distintos níveis sobre o terreno. Na literatura especializada é chamado expoente do gradiente do vento, expoente de Hellmann ou gradiente do vento. A extrapolação de uma velocidade do vento dada (u_1, h_1) a outra (u_2, h_2) é feita pela equação:

$$u_2 = u_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\gamma \quad (1)$$

Onde γ é o gradiente do vento e h é a altura.

O expoente do gradiente do vento γ depende da rugosidade do terreno (caracterizada pelo comprimento de rugosidade z_0), da estratificação térmica da atmosfera, da velocidade do vento e do nível sobre o solo. Além disso, é influenciado pelas mudanças sazonais durante o transcurso do ano. Por exemplo, a vegetação das imediações muda com as estações do ano (verão, inverno).

O expoente pode ser definido por valores empíricos (por exemplo, 0,14 para costa, 0,17 para terreno plano) ou calculados a partir de medições a distintas alturas. No "Atlas eólico para a Dinamarca" existem alguns valores de referência, os quais podem ser usados com relação a diferentes classes de rugosidade. Os valores não são aplicáveis a todas as situações por igual e sobre tudo em terrenos complexos deveriam ser utilizados somente para ajustes de alturas marginais:

Tabela 2. Gradiente do vento em função da rugosidade.

Classe de rugosidade	Comprimento de rugosidade	gradiente do vento
0	0,0002	0,1
1	0,03	0,15
2	0,1	0,2
3	0,4	0,3

A lei de Hellmann é válida para terrenos de uma estrutura relativamente simples. Em terreno complexo se sobrepõem os efeitos das rugosidades do terreno, relevo e obstáculos locais, de tal forma que é muito difícil, sem ter grande experiência, encontrar um expoente adequado.

Se os dados de medição constam em forma de tabelas, nas quais estão divididos em intervalos de velocidades de vento, podem ser diretamente multiplicados com as curvas de potência escolhidas (cálculo MEASURE), determinando-se a energia produzida.

3.7 Cálculo energético com o módulo METEO, opção MEASURE

Feito todo o procedimento descrito acima, clica-se em OK e volta-se a janela principal. É nela que se realizam os cálculos. Para fazer um cálculo METEO, clica-se duas vezes sobre o nome do módulo (METEO) ao lado do triângulo de cor verde.

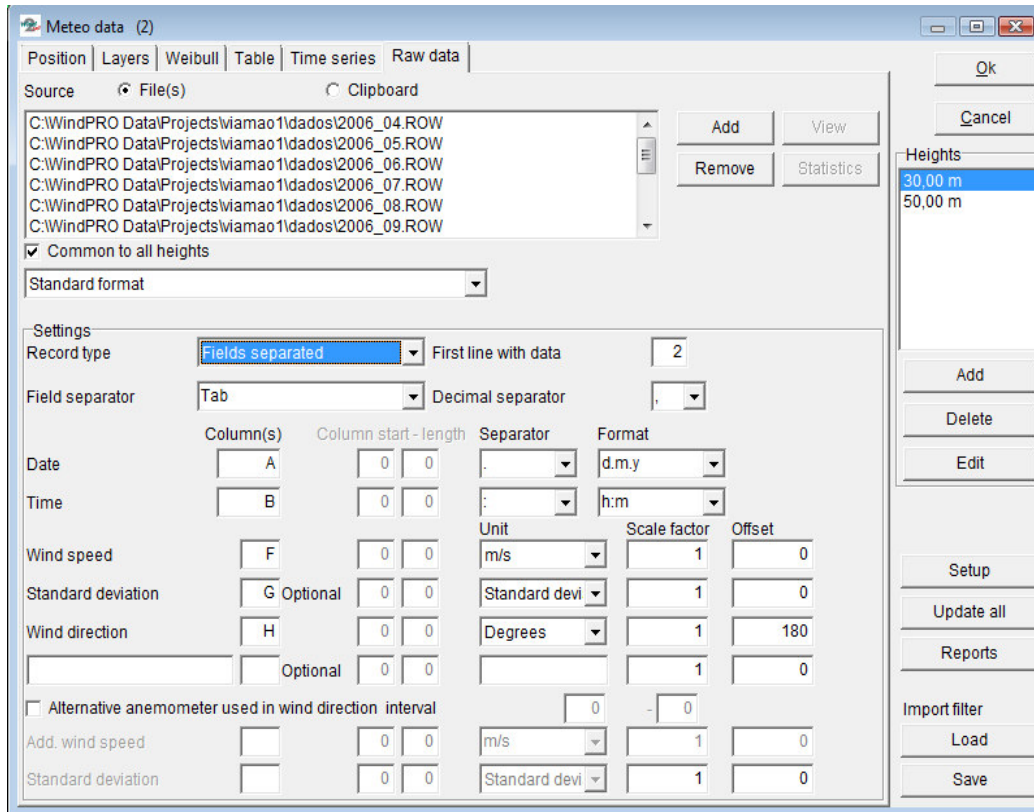


Figura 6- Inserção dos dados do computador de vento.

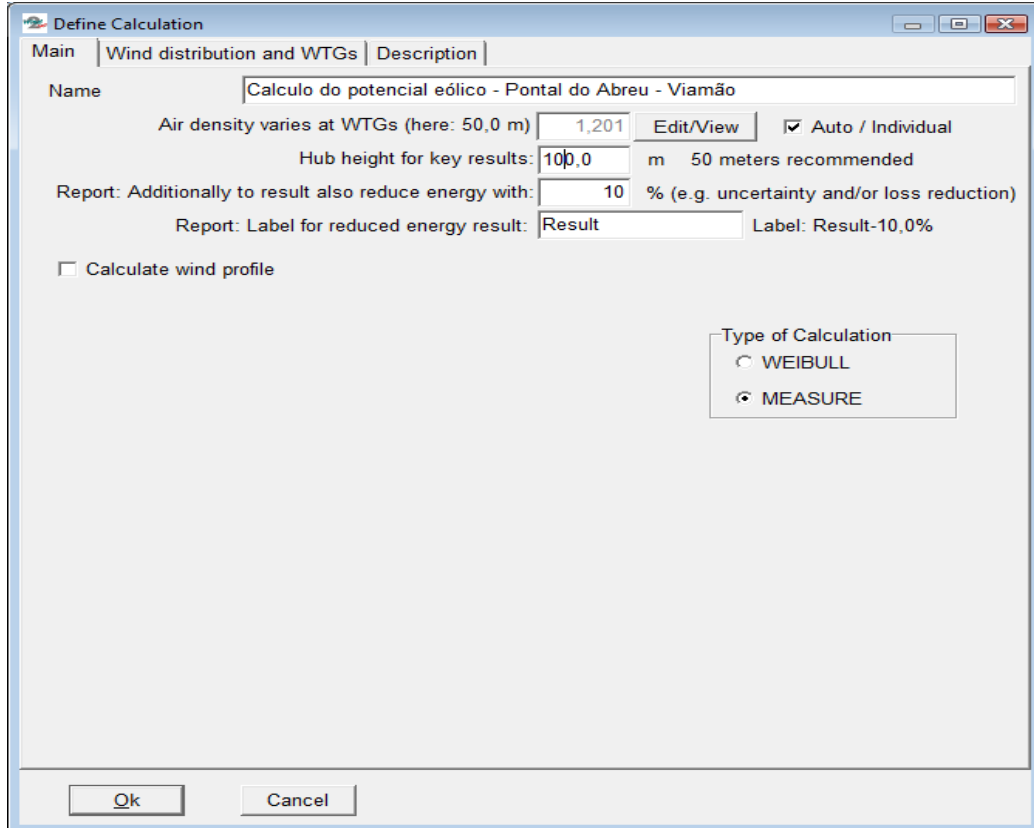


Figura 7 – Janela do cálculo METEO.

Abre-se uma janela (figura 7) onde, no registro “Main” se fornecem os dados para o cálculo como nome, densidade do ar, altura do cubo do aerogerador, um percentual de redução para o cálculo da energia e tipo de cálculo escolhido (WEIBULL ou MEASURE).

No registro “Wind distribution and WTGs” (figura 8) escolhe-se o aerogerador do catálogo de WindPRO clicando em “Select from WindCat”. Também a altura dos dados de referência deve ser selecionada nesta janela.

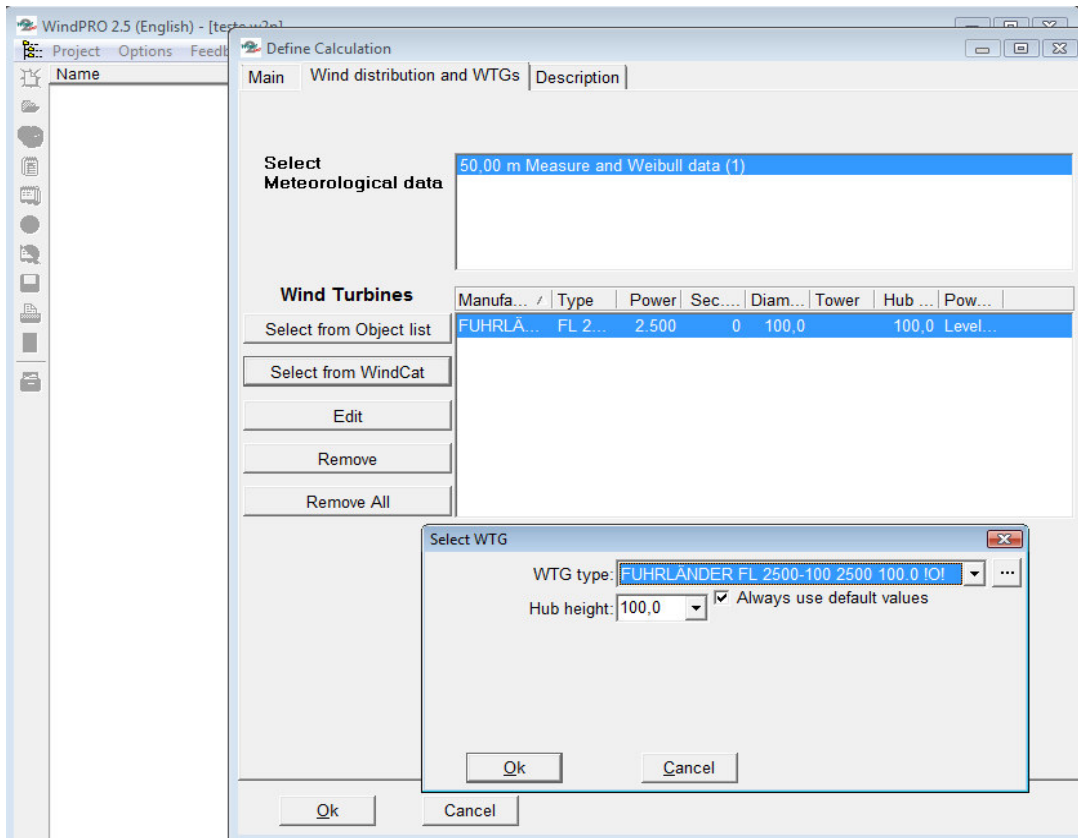


Figura 8 – Escolha do aerogerador e da altura de medição de referência.

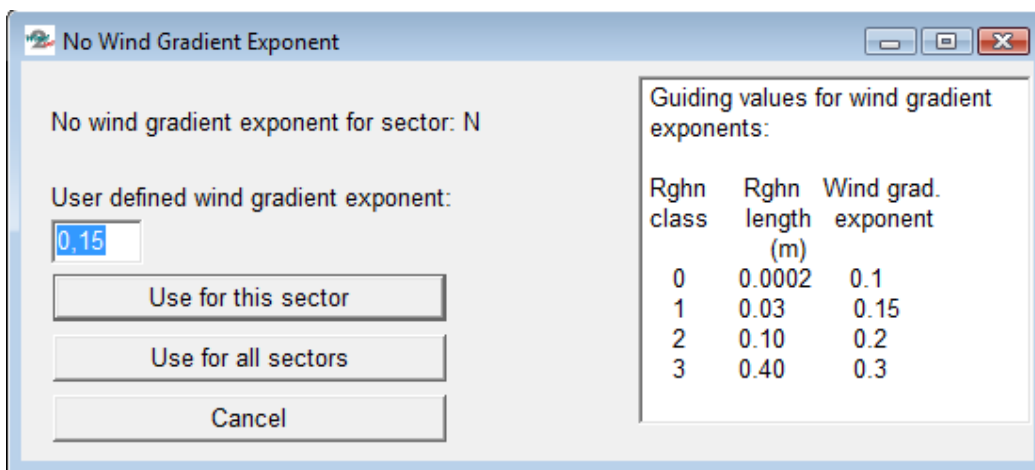


Figura 9 – Definindo o expoente do gradiente do vento

Clica-se em OK e aparece uma outra janela (figura 9) para a definição do valor do gradiente do vento, que pode ser por setor de direção ou um valor médio. Este valor pode ser

avaliado conforme o local do projeto de acordo com a rugosidade do terreno ou calculado a partir das velocidades do vento medidas em duas alturas diferentes.

Clica-se novamente em OK e o cálculo é realizado. Os resultados podem ser vistos nos relatórios que surgem automaticamente na janela principal, logo após a finalização dos cálculos.

4. RESULTADOS

Foram feitos cálculos com os dados de cada mês e um cálculo com todos os dados juntos, dos meses de abril de 2006 a março de 2007. A energia total gerada anual é de 9968,5 MWh, o potencial eólico a 100m de altura é de 507 W/m² e o Fator de Capacidade para esta máquina fica em 45,5%.

A tabela 3 mostra na primeira coluna os meses para os quais foram feitos os cálculos. Na segunda a energia anual em MWh; da terceira até a 10^a, a energia gerada por setor de direção; na 11^a o potencial eólico em W/m²; da 12^a a 15^a, o potencial eólico em MWh/m² para a altura de 50m, para 100m, o fator de capacidade para a máquina especificada e o número de dados utilizados, obtidos do computador de vento.

Tabela 3 – Resultados do cálculo para Energia, potencial eólico e FC.

RESULTADOS DE UM ANO - DE ABRIL DE 06 A MARÇO DE 07

Energia Total MWh	EN MWh	ENE MWh	EL MWh	ESE MWh	ES MWh	ESO MWh	EO MWh	ENO MWh	Pot eólico	Wind Energy	Wind Energy	Fator de		
									a 100m W/m ²	50m MWh/m ²	100m MWh/m ²	Capacidade % Dados		
Abr/06	7500,6	73,8	280,1	2381	494,4	401,5	1837	1079	954,1	287	1863	2518	34,2	4320
Mai/06	9162,9	116	234,5	1190	770,3	774,7	2555	1896	1627	384	2487	3363	41,8	4464
Jun/06	7675,7	674	525,7	2313	462,8	271,4	1575	933	921,2	392	2537	3435	35	4320
Jul/06	8180,2	807	968,8	1998	808,2	455	743,5	1615	785	367	2377	3212	37,3	4464
Ago/06	8886,6	626	653,6	1808	399,4	840,5	1986	1826	746,4	476	3073	4165	40,6	4464
Set/06	10944,7	245	388,6	4590	689,1	355,5	1810	1741	1127	694	4487	6076	49,9	4310
Out/06	14000,3	55,9	110	8900	2852	950,7	890,4	204	36,6	761	4923	6664	63,9	4464
Nov/06	14215,8	31,2	246,5	6657	3781	1336	1737	392	125,1	893	5779	7823	64,9	4314
Dez/06	11093,9	99,3	352,6	7305	1543	407,6	631,2	555	200,2	615	3981	5387	50,6	4464
Jan/07	10308,7	113	173,2	5813	2138	1323	626,2	76,6	45,8	477	3090	4182	47	4377
Fev/07	10023	546	497,7	5469	1791	873,2	402,7	277	167,9	417	2707	3657	45,7	4032
Mar/07	7664,5	362	261,6	2352	2129	1110	820,3	272	357,6	323	2094	2833	35	4464
TOTAL	9968,5	312	390,9	4214	1496	758,1	1305	911	593,3	507	3284	4443	45,5	52457

5. CONCLUSÕES

O cálculo da energia que será gerada em um parque eólico é o dado fundamental que define a viabilidade do empreendimento. A obtenção de dados confiáveis, através de instrumentação de qualidade, e o tratamento dos mesmos, através de ferramentas de cálculo precisas, darão segurança aos calculistas de que seus prognósticos serão confirmados, quando da implantação do projeto.

A região estudada do Pontal do Abreu, no município de Viamão, tem um excelente potencial como mostram os resultados obtidos e deverá, num futuro próximo, ser contemplada com algum empreendimento.

O que foi abordado neste artigo é apenas uma introdução aos métodos de cálculo e procedimentos necessários ao levantamento do potencial eólico de uma região.

WindPRO é uma ferramenta usada por inúmeras empresas dedicadas a projetos e implantação de parque eólicos no mundo, mas pouco divulgada e usada no nosso país. Para ter uma idéia, basta entrar no site www.windpro.com e verificar o grande número de empresas usuárias no mundo inteiro. Já no Brasil, são apenas três e entre elas a Petrobrás. A FURG tem a possibilidade de propiciar a seus alunos um contato com uma ferramenta de grande capacidade no planejamento e projeto de parques eólicos. Espera-se ter contribuído com alguma informação que desperte o interesse pelo seu uso e estudo na Universidade.

6. REFERÊNCIAS.

1. NIELSEN, PER. *WindPRO 2.5 User Guide*. EMD International A/S, 1st Edition, jan 2006.
2. ROSS, SHELDON M. *Introduction to Probability and Statistics For Engineers and Scientists*, John Wiley & Sons, 1987.
3. BURTON, T; SHARPE, D; JENKINS, N; BOSSANYI. *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons, 2001.