# The Case Study of High-Resolution Numerical Simulation over the Taiwan Area for Wind Potential Energy

陳美蘭,鄭孟寧 Mei-Lan Chen, Meng-Ning Cheng

#### 工研院能環所

Energy & Resource Laboratories,

Industrial Technology Research Institute

## 摘要

風力發電最大的問題之一就是風的不穩定性,一 個好的場址必須具備的首要開發條件就是風能良好且 風能穩定,為了提高台灣地區風速資料的空間解析 度,作為篩選風力發電開發場址與單一場址風力潛能 評估依據之參考,本項研究內容將以氣象數值模式預 測台灣地區高解析度的風場資料為目標,利用 Weather Research and Forecast Modeling System 進行 2006 年風 場模擬個案分析研究,並校驗模擬結果與實際觀測資 料以進一步探討台灣地區風力潛能分布情形。

關鍵字:中尺度、風能評估、多重網巢、診斷分析

#### Abstract

Key words : Meso-scale \vee Wind Resource Assessment \vee Nesting \vee Diagnose Analysis

## I. 前言

目前最普遍被使用於風力資源評估的中尺度模式 或是軟體有 KAMM (Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model; Landberg, 2001)、MM5 (The Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model)、WRF (Weather Research and Forecasting Modeling; William, 2005)、 MesoMAP (Brazil Mining and Energy Ministry, 2001),將現成的全球氣象網格資料針對特定地區利 用上述中尺度模式進行風場模擬,可以提高空間資料 的解析度,彌補觀測資料的不足。此類中尺度模式可 以模擬出受地形影響所造成某些中尺度的現象,或近 地表面因大氣輻射引發局部環流,透過數值模擬皆可 探討陸海域風場分佈狀況。其中 KAMM 可以進行時間 序列的模擬也可以先利用長時間的大尺度網格資料分 類出特定地區的風力等級,採用 Statistical-Dynamical Downscaling 的方式進行每個風力等級模擬(利用特定 風速與位溫垂直剖面進行狀態分析),再將模擬結果 個別進行統計分析,以構成特屬於每個風力等級的風 能特性,包含風速及風向的分佈等。

中尺度模式結合小尺度模式進行風場模擬分析是 目前評估大區域風力潛能的主要做法,例如丹麥 RISØ 國家實驗室利用 KAMM/WAsP Method,目前已完成許 多國家政府所委託之風能評估研究案(例如歐盟、美 國、中國、日本以及最近完成的埃及等等),另外還 有 WindSCAPE 也是結合中小尺度模式所所設計而成的 軟體。

所以為了提高台灣地區風速資料的空間解析度, 作為提供風力發電場開發時之參考依據,本研究利用 中尺度數值模式 Weather Research and Forecasting Model System (以下簡稱 WRF) 作為模擬工具,以台灣 地區 2kmx2km 高解析度的風場資料為目標,模擬真實 個案的風場分佈情形,考量受地形影響會造成某些中 尺度現象,或近地表面因大氣輻射引發局部環流,透 過數值模擬可分析模式模擬的水平解析度(尤其是模 式解析地形能力對風場模擬之影響)和雲微物理過程 等,進一步探討台灣地區陸海域風場分佈狀況。

## II.初始化與模式設計

首先介紹 WRF 基本概念,WRF 數值模式是可壓縮、非靜力歐拉方程的動力積分解,方程式的變數具 有動量守恆的特性(Ooyama, 1990);WRF 模式的垂 直座標是採用追隨地勢的座標(Laprise, 1992),並且具 有多重巢狀網格的功能,對於不同尺度間之交互作用 可以有較好的解析及模擬;WRF 模式對於不同的大氣 物理過程也提供許多不同的參數化選項,包括降水的 物理過程、地表能量收支、地表邊界層的處理和大氣 輻射過程。因此使用此模式時,對於不同的天氣現象 可以採用適當之物理參數化過程加以探討;WRF 模式 是由許多輔助系統所構成,其系統架構可以分為前處 理系統(pre-processing,模式初始場之建立),系統 模擬中心(WRF model),及後處理系統(postprocessing,模式之輸出繪圖,診斷分析),其中在前 處理系統的部分,是由 gridden,grib\_prep,hinterp 及 vinterp 四個主要獨立的方程所組成。

WRF 模式方程式中已知變數有乾空氣質量 (mu)、速度(u、v、w)、位溫(potential temperature)、重力位(geopotential),而非保守變數 (例如溫度、氣壓、密度)由已知保守之變數來診 斷。以下說明 WRF 模式非靜力的控制方程。各變數定 義如下:

垂直座標:

 $\eta = (p_h - p_{ht})/\mu \quad , \quad \mu = p_{hs} - p_{ht} \tag{1}$ 

其中 p 是氣壓, p<sub>hs</sub> 是地面氣壓, p<sub>ht</sub> 是模式邊界上 邊界的氣壓值,為一常數,常定為 100hpa (如圖 1)。



通量形式變數:

$$V = \mu v = (U, V, W), \Omega = \mu \dot{\eta}, \Theta = \mu \theta \qquad (2)$$

協變速度:v = (u, v, w)

垂直速度: $\omega = \dot{\eta}$ 

位温:heta

控制方程非保守變數: $\phi = gz$ (重力位), p(氣 壓),  $\alpha = 1/\rho$ (密度)

通量形式歐拉方程表示如下:

$$\partial_t U + (\nabla \cdot V_u) - \partial_x (p\phi_\eta) + \partial_x (p\phi_x) = F_U$$
(3)

$$\partial_t V + (\nabla \cdot V_v) - \partial_v (p\phi_n) + \partial_v (p\phi_x) = F_v$$
(4)

 $\partial_t W + (\nabla \cdot V_w) - g(\partial_n p - \mu) = F_w \tag{5}$ 

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot V \theta) = F_{\Theta} \tag{6}$$

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot V) = 0 \tag{7}$$

$$\partial_t \phi + \mu^{-1} [(V \cdot \nabla \phi) - gW] = 0$$
(8)

$$\partial_n \phi = -\alpha \mu \tag{9}$$

$$p = p_0 \left( \frac{R_d \theta}{p_0 \alpha} \right)^{\gamma} \tag{10}$$

(3)-(10)  $\nabla \cdot V_a = \partial_x (U_a) + \partial_y (V_a) + \partial_\eta (\Omega_a)$   $V \cdot \nabla_a = U \partial_x a + V \partial_y a + \Omega \partial_\eta a$ 依據上述定義參考狀態及下面擾動值定義:  $P = \overline{P}(z) + P'$   $\phi = \overline{\phi}(z) + \phi'$   $\alpha = \overline{\alpha}(z) + \alpha'$   $\mu_d = \overline{\mu}_d(z) + \mu'_d$ 擾動形式的基本控制方程可寫成:

г

$$\frac{\partial_{t}U + m[\partial_{x}(Uu) + \partial_{y}(Vu)] + \partial_{\eta}(\Omega u) + (\mu_{d}\alpha\partial_{x}p' + \mu_{d}\alpha'\partial_{x}\overline{p}) }{+ (\alpha/\alpha_{d})(\mu_{d}\partial_{x}\phi' + \mu_{d}p'\partial_{x}\phi - \mu_{d}'\partial_{x}\phi) = F_{U} }$$
(11)

$$\partial_{\tau}V + m \left[\partial_{x}(Uv) + \partial_{y}(Vv)\right] + \partial_{\eta}(\Omega v) + (\mu_{d}\alpha\partial_{y}p' + \mu_{d}\alpha'\partial_{y}\overline{p}) + (\alpha / \alpha_{d})(\mu_{d}\partial_{y}\phi' + \mu_{d}p'\partial_{y}\phi - \mu'_{d}\partial_{y}\phi) = F_{v}$$
(12)

$$\partial_{t}W + m \left[\partial_{x}(Uw) + \partial_{y}(Vw)\right] + \partial_{\eta}(\Omega w) - m^{-1}g(\alpha/\alpha_{d})\left[\partial_{\eta}p' - \overline{\mu}_{d}(q_{v} + q_{c} + q_{r})\right] + m^{-1}\mu_{d}'g = F_{w}$$
(13)

本研究利用 WRF 數值模式的動力積分解模擬台灣 地區風場分佈情況,首先說明本研究所使用的初始條 件與側邊界條件,初始場之建立也就是產生模式所需 的初始場與模式的側邊界值,接著分別說明本模擬研 究初始場採用的資料與方式,以及模式設計的方法。

第一初始化的部分,首先處理模擬的地圖投影部 所以隨著緯度的不同,網格大小應隨地球表面的直徑 而調整,考量台灣位於中緯度地區,故選用藍伯特保 角投影法(Williams, 1980), 隨後將地形與地表之特 徵建立且內差至模式之網格中,本研究中所使用的網 格地形資料主要是以東亞地區為主,包含USGS 地形地 貌資料(30-second)、16種土壤分類資料、綠色植被 資料(0.15 degree)、地表年平均溫度(1 degree)、 反射率(0.15 degree) 以及斜率資料(1 degree),透 過此資料的輸入,可以讓模式得以解析地形地貌的差 異,接著輸入美國NCEP Final Analysis之全球氣象觀測 分析資料(水平空間解析度:1°×1°;垂直空間解析 度:27 層;時間解析度:6 小時),產生模式中網格 的初始場,最後將資料內差至模式所使用的 η 座標系 統上(參見圖2)。



圖 2:網格初始場  $\Delta x \cdot \Delta y$  與  $\Delta \eta$  的定義

第二模式設計的部分,在水平方向使用三層巢狀 網格,內差方式採Arakawa-C grid staggering (3:1 grid size ratio)。三層巢狀網格設計方式如圖 4所示,第一 層為涵跨東亞地區,網格間距是 18 km,x方向有 120 個格點,y方向有 100 個格點;第二層為包含台灣地區 及海峽,網格間距是 6 km,x方向有 151 個格點,y方 向有 166 個格點;第三層為僅有台灣地區及部分離 岸,網格間距是 2 km,x方向有 196 個格點,y方向有 271 個格點,所以在 2 km的解析度上,台灣地區及離 岸部分可有 53116 個格點。垂直空間解析度:採 $\eta$ 座 標,由模式頂 ( $\eta$ =1.0)至模式底 ( $\eta$ =0) 共 15 層。



圖 3: Arakawa-C grid staggering (3:1 grid size ratio)



圖 4: 三層巢狀網格設計

第三參數設定的部分,時間積分採用積分時間分 割法(The time-split RK3 scheme; Skamarock, 2002)、物理過程中微物理採用 Purdue Lin scheme (Lin et al., 1983)、積雲參數選用 Lin et al.scheme、地 面層採用 Monin-Obukhov scheme、Land-Surface 採用 Noah land-surface model、邊界層參數化選用 Yonsei University (YSU) PBL、大氣輻射中長波輻射選用 option-rrtm scheme、短波輻射選用 option-Dudhia scheme;邊界條件採用特殊側邊界條件進行真實個案 的模擬;多重網巢採用 two-way,可將尺度較小的擾動 回饋至粗網格中。模擬作法是進行 2006年1月至 2006 年12月真實個案的模擬,每次模擬時間為48小時,6 小時積分後結果,取代前6小時的初始場,每隔6小時 更新一次大尺度邊界條件,模式每小時有一筆輸出。

#### III. 模擬驗證

蒐集 26 個中央氣象局局屬測站以及 3 座工研院專 為評估風力發電場所設置 60 m 高風速塔之 2006 年逐時 風速風向觀測資料 (10 m),來驗證本模式每小時 10 m 風場 (U10、V10)輸出結果。有關模擬準確性可由 平均誤差 (ME)、均方根誤差 (RMSE)、均方根向 量誤差 (RMSVE)等指標來量化模擬結果的優劣,各 指標定義如下:

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (O_i - F_i)$$
(14)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (O_i - F_i)^2}$$
(15)

$$RMSVE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (u_i^O - u_i^F)^2 + (v_i^O - v_i^F)^2}$$
(16)

其中O代表觀測值; F代表模擬值。



圖 5:中央氣象局局屬測站(代號:46xxxx)與工研院 專為評估風力發電場所設置風速塔(代號:10xxxx) 其代號與位置

將觀測值與模擬值針對風向、風速、u分量與v分 量依照上述指標進行統計,其結果如表 1所示,在風速 的部分,平均誤差大約介於-4.35 m/s~0.67 m/s、均方 根誤差介於 0.24 m/s~4.5 m/s,除了少數幾個測站誤差 值小於 1 m/s之外,其餘大部分的模擬值顯著比觀測值 高。在風向的部分,由於是純量統計平均加上遺失的 資料較高,就誤差值而言是遠大於風速的部分,其平 均誤差介於-47.56°~142.45°、均方根誤差介於 8.97°~ 171.20°,但是若從均方根向量誤差來判斷其準確性, 0.48 m/s~4.23 m/s的誤差區間也是相近於風速的誤差。 此外,考量中央氣象局局屬測站多位於市區容易受周 遭建築物影響,特別針對嘉義新塭(100011)與高雄 興達港(100012)10 m高的觀測資料進行風花圖與風 速機率分佈統計,來說明此兩地區的風能特性並與模 擬值進行比較,而宜蘭利澤(100013)因為在本研究 期間觀測資料不足,故不作特性分析比對。首先由風 花圖來說明風向的特性(參見 圖 6),其中嘉義新塭 (100011) 最頻風向觀測值為 360°、模擬值為 6°; 而 高雄興達港(100012)最頻風向觀測值為 33°、模擬值 為 346°,且模擬值顯著東風偏少。由圖 7顯示嘉義新 塭(100011) 風速觀測值介於 0 m/s~4 m/s比重大於 50%,風速模擬值分布特性與觀測值相近,風速介於 0 m/s~4 m/s比重亦大於 50%;高雄興達港(100012)其 觀測值與模擬值所表現出來的風能特性亦同,風速介 於 0 m/s~4 m/s的比重大於 50%。由於風力發電機的啟 動風速介於 2~4 m/s,所以一個好的風場其風速分佈統 計圖大於4m/s的風速占比越大越佳。

測站	風向 (°)				風速 (m/s)				
代號	AVE	ME	RMSE	Miss	AVE	ME	RMSE	RMSVE	Miss
466880	92.96	-47.56	58.01	0.06%	2.17	-1.97	2.02	1.72	0.00%
466900	133.99	-1.03	18.90	0.02%	1.95	-2.46	2.71	2.42	0.00%
466910	184.13	51.20	72.11	3.93%	2.96	-2.23	2.41	3.72	0.00%
466920	129.61	-7.88	27.26	0.13%	2.58	-0.29	0.40	0.85	0.00%
466930	110.17	-14.06	18.46	1.44%	2.09	-2.83	2.95	2.67	0.00%
466940	118.03	-8.14	17.94	0.30%	3.02	-0.81	0.86	1.38	0.10%
466950	127.06	11.09	19.05	0.01%	7.47	-0.10	0.68	1.62	0.00%
466990	177.32	78.76	83.24	0.03%	3.16	-1.87	2.30	3.01	0.00%
467060	200.61	63.78	77.69	0.77%	2.73	-3.30	3.41	3.85	0.00%
467080	172.67	46.36	56.27	0.16%	2.00	-0.49	0.70	1.54	0.00%
467300	104.58	0.50	8.97	0.00%	7.90	0.84	1.15	1.64	0.00%
467350	95.88	-0.32	13.84	0.00%	3.95	-3.68	3.84	3.67	0.00%
467410	148.89	-4.11	21.64	0.05%	2.99	0.13	0.48	0.70	0.00%
467440	211.70	-27.40	31.70	0.03%	2.27	-0.16	0.50	0.67	0.00%
467480	165.86	18.42	38.50	0.21%	1.84	-0.81	1.01	0.98	0.08%
467490	189.48	39.47	66.11	0.31%	1.58	-1.50	1.70	1.54	0.00%
467530	185.77	16.40	25.15	2.33%	1.20	-1.30	1.50	1.85	0.00%
467540	148.63	57.45	62.58	0.83%	2.39	-4.35	4.50	4.23	0.00%
467571	108.46	-24.41	27.12	0.25%	1.94	-3.13	3.36	3.01	0.00%
467590	124.34	3.71	13.63	0.23%	3.60	-1.17	1.39	1.52	0.00%
467610	139.01	59.27	62.56	0.10%	3.39	-0.04	0.39	0.81	0.01%
467620	222.30	113.21	145.54	0.05%	7.61	-0.51	1.62	4.41	0.00%
467650	188.59	12.42	16.83	0.34%	1.26	0.16	0.24	0.47	0.00%
467660	209.12	125.21	131.79	0.09%	1.85	-3.54	4.05	3.77	0.00%
467770	253.16	142.45	171.20	0.02%	4.63	-2.05	2.57	3.64	0.00%
467780	120.31	-14.65	19.36	0.78%	4.40	0.67	0.84	1.45	0.75%
100011	137.18	10.39	20.58	1.85%	3.27	0.06	0.55	0.48	1.46%
100012	138.69	-36.39	47.12	2.18%	3.01	0.14	0.30	2.05	2.17%
100013	204.75	70.44	83.72	11.14%	1.97	-3.88	3.98	3.44	10.81%

## 表1:風速風向模擬結果統計分析表



圖 6: 嘉義新塭(100011)與高雄興達港(100012) 觀測值(OBS)與模擬值(WRF)之風花圖



圖 7:嘉義新塭 (100011) 與高雄興達港 (100012) 觀 測值 (OBS) 與模擬值 (WRF) 之風速機率分佈圖

#### IV. 風力潛能診斷分析

由於近地表面的風場變化受地形地貌的影響很 大,加上局部風場發生紊流的變化並不是本研究所最 關切的現象,分析台灣地區風場長期特性與潛能才是 本研究所需的,故針對台灣地區上述測站觀測資料 (1990~2006 年)進行平均風速與平均風能密度分 析,以及利用本模式高解析度風場模擬值進一步探討 台灣地區風力潛能分布情形。就風力潛能而言,大區 域風能初步鑑定是依據風速資料、地形地貌、周遭環 境等關鍵因子,評估出大區域範圍的風力資源,其中 有關風速資料的部分一定要先瞭解鄰近地區長期的觀 測資料或是氣象資料。由於風能大小與風速的三次方 成正比,風速的大小是最直接影響風力電場電力輸出 的一個因子,即可快速地瞭解所評估場址其風力潛能 的優劣,風能與風速的關係式可如下式表示:

$$WPD = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{n} \rho \cdot v_i^3 \tag{17}$$

其中WPD是風能密度( $W/m^2$ ); n是觀測個數;  $\rho$ 代表空氣密度( $kg/m^3$ ),本研究假設在海平面高度與 氣溫 15°C 的狀態下,  $\rho = 1.225 kg/m^3$ ;  $v_i$ 是風速大小 (m/s)。

利用上述測站觀測資料,透過(17)式計算出風能密 度,並進行平均風速與平均風能密度之統計。結果發 現以離島地區的風速最佳,彭佳嶼(466950)、東吉 島(467300)、澎湖(467350)、蘭嶼(467620)之 平均風速分別為為 7.37 m/s、7.92 m/s、4.28 m/s、7.31 m/s,平均風能密度值分別為 427 W/m<sup>2</sup>、624 W/m<sup>2</sup>、92 W/m<sup>2</sup>、294 W/m<sup>2</sup>,屬風力潛能特優地區;而玉山 (467550)、梧棲(467770)、七股(467780)之平 均風速分別為為 6 m/s、4.93 m/s、4.49 m/s, 平均風能 密度值分别為 294 W/m<sup>2</sup>、175 W/m<sup>2</sup>、136 W/m<sup>2</sup>,由於 分別是在山區高處以及靠近沿海,所以風力潛能屬於 次佳;其他测站由於位於市區或內陸地區,風速條件 明顯沒有上述兩者好。以中央山脈為中線,我們將測 站分為西部地區、東部地區以及離島地區來說明,西 部地區測站的盛行風向主要是北風或東北風,幾個比 較靠近山區之測站除外;東部地區測站的盛行風向由 北而南分別是蘇澳(467060)-西風、宜蘭(467080)-東風、花蓮(466990)-東北風/西南西風、大武 (467540)-北東北風、台東(467660)-西北風、成功 (467610)-北東北風、恆春(467590)-東北風,離島 地區的澎湖(467350)、東吉島(467300)以及蘭嶼 (467620)皆是以北東北風為盛行風向,彭佳嶼 (466950)則是以東風分量為主。此外,將所有測站 之 Weibull k值以及平均風速與平均風能密度做成一關 係圖 (參見圖 8),圖中之曲線為代表k=1.5 時平均風 速與平均風能密度的關係曲線,除了彭佳嶼 (466950)、澎湖(467350)、台南(467410)、蘭 嶼(467620)、高雄興達港(100012)的k值個別大於 2 或小於 1.5,大部分測站皆落在k=1.5 與k=2 之間。藉 由上述测站風速風向資料的分析結果,可大致得知台 灣地區風力潛能的優劣地區,除了離島之外,靠近西 部沿海的测站風速明顯稍大,其餘只要是在內陸地區 其平均風速皆偏低。



圖 8:所有測站之平均風速與平均風能密度關係圖

基於上章節模式模擬值與觀測值誤差在一定範圍 內,透過本模式Domain 3 輸出結果進行年平均風速與 風能密度統計,即可瞭解整個台灣地區風能分布情 形。圖 9顯示中央山脈高海拔地區風速約 4 m/s~5 m/s,靠近山區之內陸地區風速最小約 0 m/s~1 m/s, 屏東地區平均風速為 6 m/s~7 m/s,是 2006 年模擬結 果風速最佳的地區,台中沿海地區以及台東沿海地區 為風速次佳的地區約 4 m/s~5 m/s;由流場分佈顯示台 灣地區年平均風向以東北風為主,由於受中央山脈影 響,鄰近的風場變化較為複雜。圖 10為平均風能密度 分佈圖,顯著看出中央山脈、屏東地區與離島風能密 度均大 600 W/m<sup>2</sup>。本研究模擬結果就定量而言,誤差 大約介於 0.48 m/s~4.23 m/s且是高估的現象;就定性 而言,其模擬的分佈狀況跟實際觀測資料是一致的, 對於大範圍地形引發風場的變化,其掌握性佳。



圖 9、WRF Domain 3 2006 年平均風速 (m/s) 與平均 流場分佈圖



400

圖 10、WRF Domain 3 2006 年平均風能密度(W/m<sup>2</sup>) 分佈圖

## V.結論與討論

風能評估首重風力觀測,設置風速塔進行長期風 速觀測,至少需觀測滿一年以上的時間,才能進行年 季分析、韋伯機率分佈以及風花圖等,且資料的可用 率需達 95%,否則此觀測資料則不具代表性。若發生 觀測資料遺漏的現象,則必須利用鄰近觀測資料以高 定相關性加以彌補資料不足之處,以提升資料的可靠 度,才能再進一步作為評估之用。而本研究雖可以真 實模擬大氣近地表面風場變化情形,提供高解析度 (2km×2km)的網格資料,對於鄰近地區無觀測資料 的開發場址可作為篩選場址的主要依據,但由於可驗 證的測站資料太少,此模擬研究未來應與其他觀測資 料做結合,以提高模擬之可信度。

由於典型的風能評估是以非常平坦的地形或有些 微斜坡的地區為主,近地表風場流動被假設為跟隨地 形而變化,但是在複雜地形其風場流動的變化會受陡 斜坡度的影響,流場可能會有繞山運動或是越山運 動,若以近地表流場跟隨地形而變化為假設條件,那 在靠近斜坡地區的流場與實際情況相比會有加速度的 現象,因為流場受到陡峭斜坡阻隔時,流場強度事實 上應該是要被減弱的,而不是反而加速。此外,流場 受陡峭斜坡阻隔時,在背風處會有平均流速等於 0 的 地區,仍是會被此地區所引發的渦流所影響,而商業 化的風能預測技術卻無法準確的評估出此現象,導致 有風場高估的可能性。這樣的情況可以透過本模擬方 法來解決,但缺點是非常消耗資源與時間,此法亦可 配合著重於其他研究重點,例如加強複雜地形所引發 的流場或颱風路徑影響等分析,針對有需要之個案進 行流場模擬,以彌補目前商業化風能評估軟體所無法 解析的現象,或許更具意義。

本論文為經濟部能源局委辦「風能整體開發推動計畫」(契約編號:96-D0135)研究成果。

## 參考文獻

- Brazil Mining and Energy Ministry. Mapas do Potencial Eólico Anual [cdrom]. In: Atlas Do Potencial Eólico Brasileiro. [Brasilia, Federative Republic of Brazil], e-dea Technologies/ Christianne Steil, 2001.
- [2] Frank, H. P., O. Rathmann, N. G. Mortensen, and L. Landberg. The Numericalal Wind Atlas: The KAMM/WasP Method. [Roskilde, Denmark]: Information Service Department, RisØ National Laboratory, June 2001.
- [3] Haltiner, G. J., and R. T. Williams, 1980: Numerical prediction and dynamic meteorology. John Wiley & Sons, Inc., 477pp.
- [4] Laprise R., 1992: The Euler Equations of motion with hydrostatic pressure as as independent/variable, Mon. Wea. Rev., 120, 197– 207.
- [5] Lin, Y.-L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. J. Climate Appl. Meteor., 22, 1065–1092.
- [6] Ooyama K. V., 1990: A thermodynamic foundation for modeling the moist atmosphere, J.Atmos. Sci., 47, 2580–2593.
- [7] Wicker, L. J. and W. C. Skamarock, 2002: Time splitting methods for elastic models using forward time schemes, Mon. Wea. Rev., 130, 2088–2097.
- [8] WindSCAPE, <<u>http://www.windlabsystems.com/index.htm</u>>
- [9] William C. Skamarock, Joseph B. Klemp, Jimy Dudhia, David O. Gill, Dale M. Barker, Wei Wang, Jordan G. Powers, "A Description of the Advanced Research WRF Version 2", NCAR/TN-468+STR, NCAR TECHNICAL NOTE, June 2005.