

## Wind / Hydro Complementary Seasonal Regimes in Brazil

### Complementaridade Sazonal dos Regimes Hidrológico e Eólico no Brasil

Odilon A. C. do Amarante, Dario J. Schultz \*, Rogério M. Bittencourt\*\* and Nelson A. Rocha\*\*\*CAMARGO SCHUBERT Engenharia Eólica, Curitiba PR, Brazil;\*COPEL - Companhia Paranaense de Energia, Curitiba PR, Brazil\*\*CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, Recife PE, Brazil\*\*\*PROMON Engenharia Ltda, Rio de Janeiro RJ, Brazil

Brazilian electric power generation is dominated by hydro - more than 90% of capacity and production. One important historical challenge to the operation planning of the Brazilian interconnected electrical system has been the seasonal stabilization of the energy supply, due to the stochastic nature of hydro resources. Most of the significant Brazilian hydro power stations rely on the hydrological regimes of the Southeast, which have a remarkable tendency for seasonal fluctuations of significant amplitude. The risk of depleted storage capacity on critical dry seasons has been increased in the last years, as investments in new power capacity have been delayed during the process of restructuring electricity market and privatization.

In the last decades, wind power generation has proven its suitability to the Gigawatt scale, necessary to an effective contribution to electric systems. This paper demonstrates, from existing data, the wind / hydro seasonal complementarity in the relevant areas of Brazil, and discusses its possible effect on the feasibility of seasonal stabilization of the energy supply in the Brazilian interconnected grid, taking advantage of the country's large natural resources available. Case studies for the southern/southeastern and the northeastern regions of Brazil are presented.

A brief analysis is included regarding the geographic location of the interconnected grid, main hydro power plants, and estimated promising wind farm areas in Brazil.

#### 1. Electricity Generation in Brazil

More than 90% of the Brazilian electric capacity is generated from hydro resources (Table 1) [1].

This relevant participation from hydro is dominated by large power plants, especially those bigger than 250 MW (Table 2) [1,2].

SOURCE	GW	%
<b>HYDRO</b>	<b>56.0</b>	<b>91.4</b>
<b>THERMO</b>	<b>5.3</b>	<b>8.6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>61.3</b>	<b>100</b>

Tab. 1: 1999' shares of electricity sources in Brazil  
Tabela 1: Participação das fontes de energia elétrica no Brasil em 1999.

Fonte: Eletrobrás - Plano Decenal de Expansão 1999/2008 - Ref. 1

*Com o predomínio da geração hidrelétrica no Brasil, superior a 90%, a estabilização sazonal da oferta de energia tem sido um desafio histórico ao planejamento da operação dos sistemas interligados, pois os regimes hidrológicos têm caráter estocástico com flutuações sazonais de amplitude significativa. A grande maioria das usinas hidrelétricas do Brasil depende do regime hidrológico do Sudeste, o qual é caracterizado por flutuações sazonais de amplitude significativa. O risco de déficit da capacidade de armazenamento nas estações secas críticas vem crescendo nos últimos anos, como consequência da postergação de investimentos em novas usinas de geração devido à reestruturação do setor elétrico e à privatização das concessionárias de energia.*

*Nas últimas décadas, o aproveitamento eólico-elétrico mundial demonstrou aptidão às escalas de gigawatts, necessárias a uma contribuição efetiva a sistemas elétricos. Este trabalho demonstra, a partir de dados existentes, a complementaridade entre os regimes naturais eólico e hidrológico em relevantes regiões do Brasil e abre a discussão sobre os seus possíveis efeitos na estabilização sazonal da oferta de energia no sistema elétrico interligado, aproveitando-se os amplos recursos naturais disponíveis no país. São apresentados estudos de caso para as regiões Sul/Sudeste e Nordeste.*

*Aborda-se brevemente também a situação geográfica do sistema elétrico interligado, das principais usinas hidrelétricas e dos recursos eólicos mais conhecidos no Brasil.*

#### 1. Geração de Energia Elétrica no Brasil

*As usinas hidrelétricas correspondem a mais de 90% da capacidade instalada para a geração de energia elétrica. (Tabela 1) [1].*

*Esta participação expressiva das hidrelétricas é caracterizada por grandes usinas, especialmente*

Plant Capacity MW	Total Capacity GW	Relative Capacity %
<b>&gt; 1 MW</b>	<b>56.0</b>	<b>91.4</b>
<b>&gt; 250 MW</b>	<b>51.1</b>	<b>83.4</b>
<b>&gt; 500 MW</b>	<b>45.1</b>	<b>73.6</b>
<b>&gt; 1000 MW</b>	<b>41.3</b>	<b>67.4</b>

Tab. 2: Relative share of electricity generation  
Tabela 2: Participação por classe de potência na geração de energia elétrica.

Geographically, the majority of hydroelectric power plants in Brazil are located in river basins originated in the mountain ranges in the Southeast region (Fig. 1). This fact leads to the assumption that most of the electricity generation capacity in Brazil relies on the pluvial climatological regimes of the Southeast: rainy summer (December-March), dry winter-spring (July-October).

Independent studies [3] conducted at utilities in Northeast and South Brazil, have shown that hydroelectric power plants located in Southeast and Northeast Brazil have almost a similar hydrological seasonal regimes: higher natural water flow during summer-autumn (Dec-Apr), while critical reservoir levels are sometimes reached during winter-spring (Jul-Oct). This fact has posed an important historical challenge to the operation planning of the Brazilian interconnected electrical system, and it is also reflected in tariffs for large industrial consumers in the whole country. Moreover, in [3] it is shown that both South and Northeast Brazilian wind regimes are complementary to the seasonal hydro regime, and discusses the possible benefits of a high wind energy penetration to the National Grid. This paper reviews the essential results of [3] while focusing on further updates to this issue.

## 2. Wind/Hydro Seasonal Complementarity in Brazil

### 2.1 Northeast Brazil

Northeastern utility CHESF performed simulations for a total wind capacity of 3GW, based on wind data measured during 1993-1995 at five different sites along the coast of State of Ceará [3, 4]. The hypothetical wind farms were considered to occupy 10% of the Ceará coast, with 500-600kW wind turbines spaced 5x7 diameters, wind farm performance 90%, availability factor 95%. The resulting accumulated monthly energy predicted (Fig. 2) shows a strong seasonal trend.

Fig 3 shows the average monthly natural inflow [5] at the site of the CHESF Sobradinho hydro power plant reservoir, based on long-term measurements.



Fig. 1: Position of hydro power plants bigger than 250 MW in Brazil [2].

Fig. 1: Localização das usinas hidrelétricas de potência superior a 250 MW [2].

aquelas com potência instalada superior a 250 MW (Tabela 2). [1, 2]

Com relação à localização geográfica, a maioria das usinas hidrelétricas do Brasil estão situadas nas bacias hidrográficas com nascentes nas montanhas das regiões Sudeste e Sul (Fig. 1). Este fato leva a crer que a maioria da geração de energia elétrica do Brasil depende dos regimes hidrológicos destas regiões.

Estudos de caso independentes [3] elaborados em concessionárias de energia do Nordeste e do Sul do Brasil, mostraram que as usinas hidrelétricas do Sudeste e do Nordeste têm regimes hidrológicos sazonais semelhantes: maiores vazões naturais dos rios durante o período verão-outono (dezembro a abril), enquanto que algumas vezes foram verificados níveis críticos dos reservatórios durante o período de inverno-primavera (maio a novembro). Este fato tem se tornado um desafio permanente para o planejamento da operação do sistema interligado brasileiro e também tem influenciado as tarifas dos grandes consumidores industriais no país. Além disso no artigo da referência [3] foi demonstrado que os regimes eólicos do Sul e do Nordeste são complementares ao regime hidrológico sazonal e discute-se os possíveis benefícios de uma maior participação da energia eólica na geração de energia elétrica no Brasil. Este artigo apresenta uma revisão dos principais resultados de artigo da referência [3] e aborda outras questões.

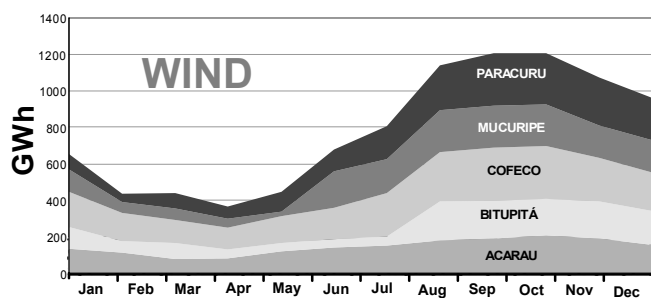


Fig. 2: Simulated production of hypothetical 3GW wind farms in Northeast Brazil.

Fig. 2: Geração mensal de energia produzida por 3GW instalados em usinas eólicas hipotéticas no Nordeste.

The large hydroelectric power plants (>250MW) in the Northeast region are all located in the São Francisco River. In Fig. 1, Sobradinho hydroelectric power plant is numbered 22. Data for Sobradinho can be assumed to be representative

## 2. Complementaridade Sazonal Hidro-Eólica no Brasil

### 2.1 Região Nordeste

A CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, realizou simulações com uma potência eólica instalada de 3 GW, baseada nas medições anemométricas referentes a 5 locais da costa do estado do Ceará durante o período de 1993-1995 [3, 4]. Nesta hipótese, as usinas eólicas seriam instaladas em 10% do litoral do estado do Ceará, contariam com aerogeradores da classe de 500-600 kW, instalados com arranjo de 5x7 diâmetros de espaçamento, eficiência global de usina de 90% e disponibilidade dos aerogeradores de 95%. A geração mensal acumulada resultante (Fig. 2) apresenta uma forte sazonalidade.

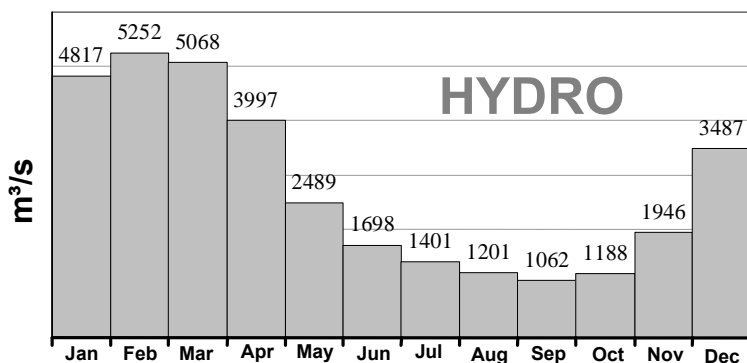


Fig. 3: Natural water inflow at the CHESF Sobradinho powerplant reservoir (1931-1992)

Fig. 3: Vazão média mensal afluyente no reservatório de Sobradinho - CHESF (1931-1992)

A Fig. 3 apresenta o comportamento anual da vazão média mensal afluyente no reservatório de Sobradinho [5], relativo ao período de 1931-1992. Todas as grandes usinas hidrelétricas (>250 MW) do Nordeste estão instaladas no rio São Francisco. A usina hidrelétrica de Sobradinho tem o número 22 no mapa da Fig. 1. Os dados de Sobradinho podem ser considerados representativos para as outras usinas com potência superior a 250 MW da região Nordeste.

for all power plants bigger than 250MW in the Northeast.

Studies in [3, 4] evaluated the increase in hydro reservoirs regularization at all CHESF hydro power plants in the São Francisco river basin (9.974 MW installed capacity), within several cases of wind penetration and related water savings. Main assumptions were based on State of Ceará wind data, and water flow data from Sobradinho. The hypothetical increase in water flow (or water savings) due to wind power penetrations of 14%, 30% and 60% are presented in Fig. 4 and Table 3.

One characteristic of Sobradinho reservoir is that the water rarely spills, even during the humid periods in the long-term operational experience.

Northeast Brazil is known for the strong, constant trade winds along the coast. Also noticeable is the large occurrence of sand dunes along the Northeast coast: sand dunes close to the sea

Os estudos realizados nas referências [3, 4] também avaliaram o aumento da regularização dos reservatórios de todas as usinas hidrelétricas da CHESF no rio São Francisco (capacidade instalada de 9.974 MW), em diversos cenários de participação da energia eólica e respectivas economias de água. Os cenários baseiam-se principalmente nos dados anemométricos do estado do Ceará e nos dados de vazão afluyente do reservatório de Sobradinho no rio São Francisco. O acréscimo hipotético de vazão (ou água poupada) devido à

Wind Penetration %	Average Wind Power MWh/h	Water Savings during Dry Period Billions of m <sup>3</sup>
14.3	1090.0	7.4
30	2286.7	15.5
60	4573.4	31.0

Tab. 3: Water savings at all CHESF reservoirs during the dry period (May-October) with increasing wind energy penetration.

Tabela 3: Inserção de energia eólica e volume de água poupado correspondente nos períodos secos.

have the lowest roughness length, second only to offshore. State of Ceará, for example, has more than 400 km<sup>2</sup> of sand dune area along the coast.

A traditional argument against wind energy regards a supposed lack of firm power capacity. Hydro power plants store potential energy in water reservoirs, while wind relies on the variable kinetic energy from atmosphere. As demonstrated by CHESF [3, 4], the integrated operation of wind and hydro will add seasonal stability to the system, while increasing the possible system capacity factor when compared the current pure hydro system.

Water savings are also of interest for other reasons, as the Northeast Brazil is vulnerable to long droughts; waters of the São Francisco River have been considered for other uses, mainly irrigation, by the Brazilian Government. One of the plans is to divert part of the river flow, through pumping and channels, to another basin that is seasonally dry.

**2.2 South/Southeast Brazil**

COPEL, the utility in State of Paraná, Southern Brazil, performed simulations for the feasibility studies of 50- and 200 MW wind farms integrated to the local grid [6]. Wind data was provided by micro-siting measurements at the proposed site (Palmas), climatologically adjusted by wind data series for the period 1972-1993 from the 50 km-distant Clevelândia meteorological station. Long-term hydro natural water flow data were taken from the most significant power producing South-Southeast river basins. The wind/hydro integration cases were computed using COPEL's

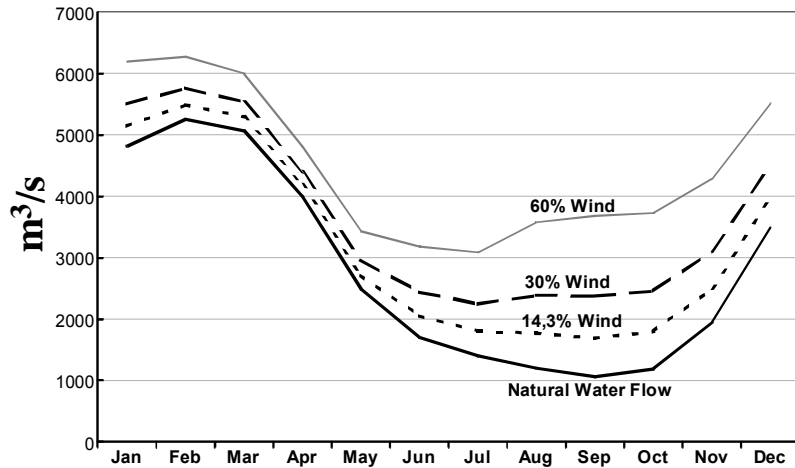


Fig. 4: Equivalent water inflow at Sobradinho with increasing wind energy penetration.

Fig. 4: Vazão afluyente equivalente (m3/s) no reservatório de Sobradinho correspondente à inserção de energia eólica.

inserção de energia eólica de 14%, 30% e 60% da capacidade instalada, está apresentado na Fig. 4 e na Tabela 3.

O Nordeste do Brasil é conhecido pelos fortes ventos ao longo de toda a sua costa. Ressalta-se também a ocorrência de dunas de areias nesta faixa: as dunas próximas ao mar apresentam uma das mais baixas rugosidades ao deslocamento do vento, superior apenas àquela no mar (offshore). O estado do Ceará, por exemplo, tem mais de 400 km<sup>2</sup> de dunas em seu litoral.

A desvantagem mais usualmente atribuída à energia eólica seria a falta de energia firme. As usinas hidrelétricas têm armazenamento de energia intrínseco na forma de energia potencial em seus reservatórios, as usinas termelétricas têm reservatórios de combustível, ao passo que as usinas eólicas dependem somente da energia cinética da atmosfera. Como foi demonstrado pelos estudos da CHESF [3, 4], a operação integrada de usinas eólicas e hidrelétricas adicionará uma estabilidade sazonal ao sistema, através do aumento do fator de capacidade das usinas hidrelétricas existentes.

A água poupada na geração de energia elétrica tem outras importantes finalidades. Considerando-se que a região Nordeste sofre freqüentes períodos de secas; já estão ocorrendo conflitos do uso da água do São Francisco, envolvendo principalmente a irrigação de lavouras. O Governo brasileiro vem analisando a utilização da energia eólica nos planos de desenvolvimento da região.

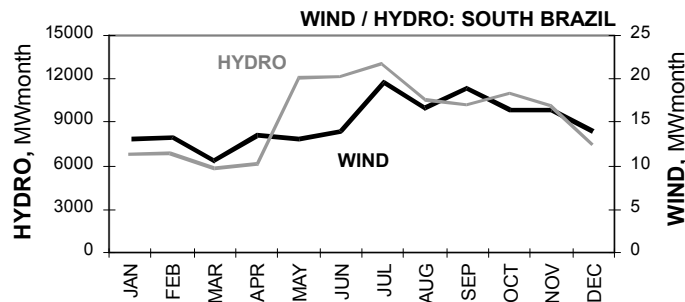


Fig. 5: Integration of a hypothetical Palmas 50 MW wind farm into the Southern Brazilian electrical sub-system.

Fig. 5: Integração de usina eólica hipotética de 50 MW em Palmas no subsistema elétrico Sul.

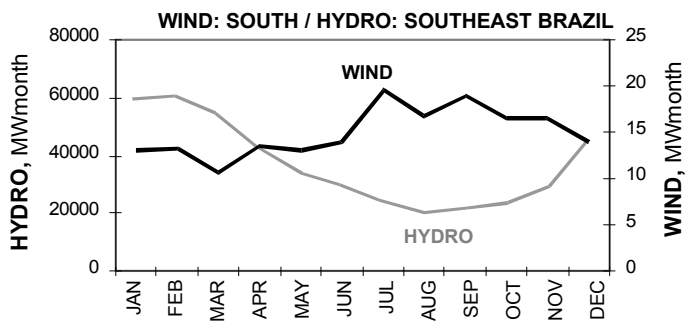


Fig. 6: Integration of a hypothetical Palmas 50 MW windfarm into the Southeastern Brazilian electrical sub-system.

Fig. 6: Integração de uma usina eólica hipotética de 50 MW em Palmas nos subsistemas elétrico Sul/Sudeste.

Equivalent Subsystems Simulation Model - MSSSE.

Analysis of a 50 MW wind farm integrated into the Southern electric sub-system (Fig. 5) showed no seasonal complementarity, due to pluvial climatological characteristics of the Southern region. Resulting correlation coefficient was 0.226.

Since the interconnected South/Southeast is predominant in the Brazilian electricity production and consumption, a simulation case was run for the 50 MW wind farm integrated into that sub-system (Fig.6). Seasonal complementarity became evident: resulting correlation coefficient was -0.480. Note the nearly 5 times higher order of magnitude in hydropower production from Southeastern (Fig. 6), as compared to Southern sub-system (Fig. 5).

From 1994 to 1999, COPEL conducted a wind resource assessment project [7] through wind

2.2 Sul/Sudeste do Brasil

A COPEL, empresa de geração, transmissão e distribuição de energia do estado do Paraná, no sul do Brasil, também realizou estudos e simulações da inserção de uma usina eólica de 50/200 MW no sistema interligado (Ref. [6]). Os dados anemométricos foram obtidos de medições no próprio local da usina (Palmas) e de ajuste de correlação com as medições da estação meteorológica de Clevelandia a 50 km, referentes ao período de 1972-1993. Os dados de vazão foram obtidos das mais importantes bacias hidrográficas das regiões Sul/Sudeste. As simulações da integração hidro-eólica foram executadas pela COPEL através do Modelo de Simulação de Sub-Sistemas Equivalentes - MSSSE.

As análises da integração de uma usina eólica de 50 MW no subsistema Sul (Fig. 5), não demonstraram complementaridade sazonal, devido às características climatológicas pluviais da região Sul. O coeficiente de correlação obtido foi de 0,226.

Considerando-se que o subsistema Sudeste é o mais pesado na geração e consumo de energia elétrica, foi também simulada a integração de uma usina eólica em Palmas nos subsistemas Sul/Sudeste (Fig. 6). A complementaridade sazonal tornou-se então evidente: o coeficiente de correlação correspondente foi de -0,480. Deve-se também observar que a geração hidrelétrica conjunta dos subsistemas Sul/Sudeste (Fig. 6) é de 5 vezes aquela só do Sul (Fig. 5).

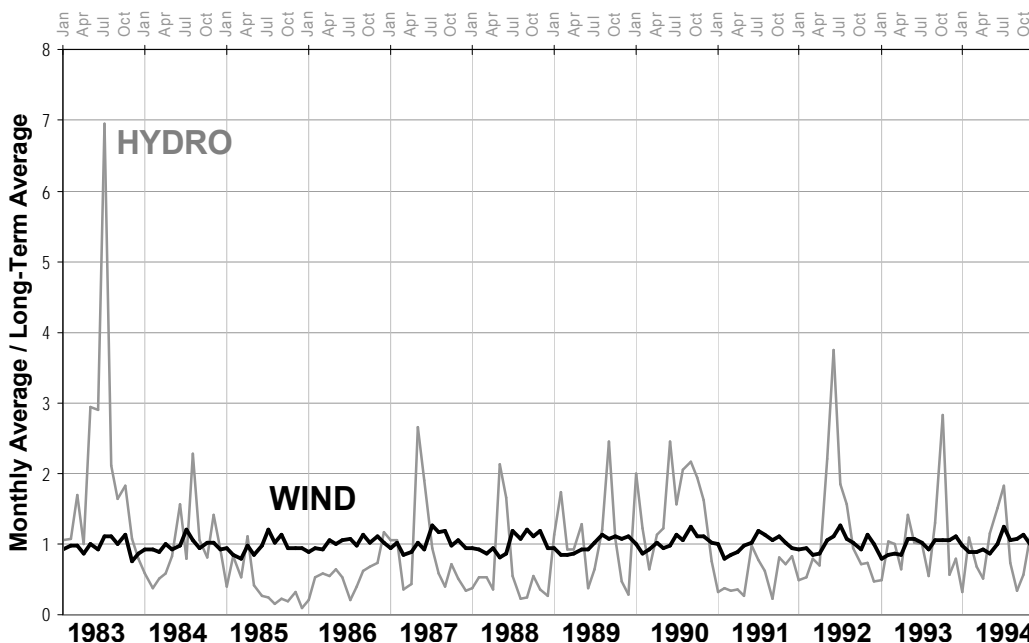


Fig. 7: Interannual monthly fluctuations: Wind (Clevelandia) and Hydro (natural water inflow at the COPEL Segredo reservoir).

Fig. 7: Médias mensais da velocidade do vento em Clevelandia e da vazão em Segredo.

measurements in 25 sites in State of Paraná. Similar seasonal wind regimes were found at all stations. The resulting Map, calculated for the State at a resolution of 2km, using mass-consistent models and GIS tools, was integrated for the evaluation of the electrical power and energy resource available from wind in Paraná, under the assumption of wind farms occupying 2.0 MW/km<sup>2</sup> of area (Tab. 4):

As a reference for comparison to Table 4, present energy consumption in State of Paraná is of the order of 20 TWh/year.

Although wind speeds fluctuate in the time scale of hours and days, its climatological constancy in Southern Brazil is remarkable if compared to the Hydro resource in the time scale of monthly and yearly average (Fig.7). The Clevelândia PR monthly wind speed for the period 1983-1994 showed a standard deviation/long-term average ratio of 0.113, while for the same period the monthly natural water inflow at the COPEL Segredo reservoir presented a 0.840 ratio.

**2.3 North Brazil**

Although the Amazon River has by far the largest water flow in Brazil, topographic characteristics of its flat basin make hydroelectric power plant projects unfeasible, not to mention the resulting area of rainforest to be flooded by a reservoir.

The most important hydroelectric power plant in Northern Brazilian region is Tucuruí, with 4 GW capacity presently installed, to be expanded to 8 MW in a few years. In Fig. 1, Tucuruí is numbered 2 for being the second largest hydroelectric power plant in Brazil.

No período de 1994 a 1999, a COPEL executou um inventário do potencial eólico paranaense [7], através de medições anemométricas em 25 locais do Estado. O comportamento sazonal eólico foi semelhante entre todos os locais. Foi então elaborado um mapa eólico do Estado com uma resolução de 2 km, utilizando modelos consistentes de massa e de geoprocessamento. A integração deste mapa forneceu uma estimativa da potência instalável e da energia a ser gerada por meio de usinas eólicas, considerando-se a taxa de ocupação de 2 MW/km<sup>2</sup>, como pode-se verificar na Tabela 4:

Using winds higher than	6.0	6.5
Capacity installable (GW)	11.0	2.7
Production achievable (TWh/year)	20.5	5.8

Tab. 4: Estimated available wind resource in State of Paraná, Brazil [8]

Tabela 4: Potencial eólico estimado do estado do Paraná [8]

Apesar de que a velocidade do vento ser muito mais variável na escala de minutos ou horas, na escala de médias mensais e anuais a sua constância é muito maior quando comparada com as vazões do rio Iguaçu no Sul do Brasil (Fig. 7). As velocidades médias mensais de Clevelândia PR do período de 1983-1994 apresentam uma relação desvio padrão / média de 0,113, enquanto que esta relação para as vazões afluentes no reservatório de Segredo da COPEL é de 0,840 para o mesmo período.

**2.3 Região Norte**

Apesar do rio Amazonas ser o rio de maior vazão no Brasil, as características topográficas de sua bacia, muito plana, tornam inviáveis muitos aproveitamentos hidrelétricos, sem mencionar as grandes áreas que seriam alagadas pelos reservatórios.

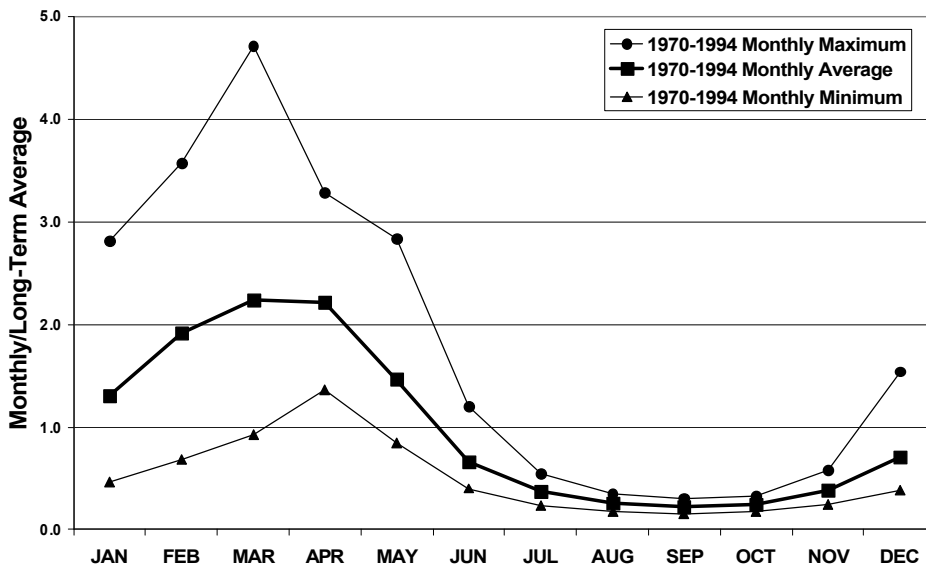


Fig. 8: Natural water inflow at the Tucuruí reservoir in Northern Brazil, period 1970-1993 [10].  
 Fig. 8: Vazões médias mensais afluentes no reservatório de Tucuruí, 1970-1993 [10].

Natural water inflow data measured at the Tucuruí reservoir, available for the period 1970-1993 [10], presents similar seasonal behavior (Fig. 8) as to those from Northeastern- and Southeastern Brazil. Tucuruí hydroelectric power plant (Fig.1) is situated in the Tocantins basin, originated in Midwest Brazil (Fig.1), a region that may thus be assumed to have similar pluvial climatological regimes as those of Southeast and Northeast Brazil, as can be shown by comparison of Figs. 4, 6 and 8.

A usina hidrelétrica mais importante na região Norte é Tucuruí, com 4 GW de potência instalada na bacia dos rios Tocantins/Araguaia. Os dados de vazão afluente no reservatório de Tucuruí referentes ao período de 1970-1993 [10] apresentam comportamento sazonal (Fig. 8) semelhante aos das regiões Nordeste e Sudeste do Brasil. Fica evidenciado também que a usina de Tucuruí, com o número 2 no mapa da Fig. 1, está situada numa bacia hidrográfica que tem suas nascentes no Centro-oeste do Brasil, que por sua vez tem condições climatológicas semelhantes às do Sudeste.

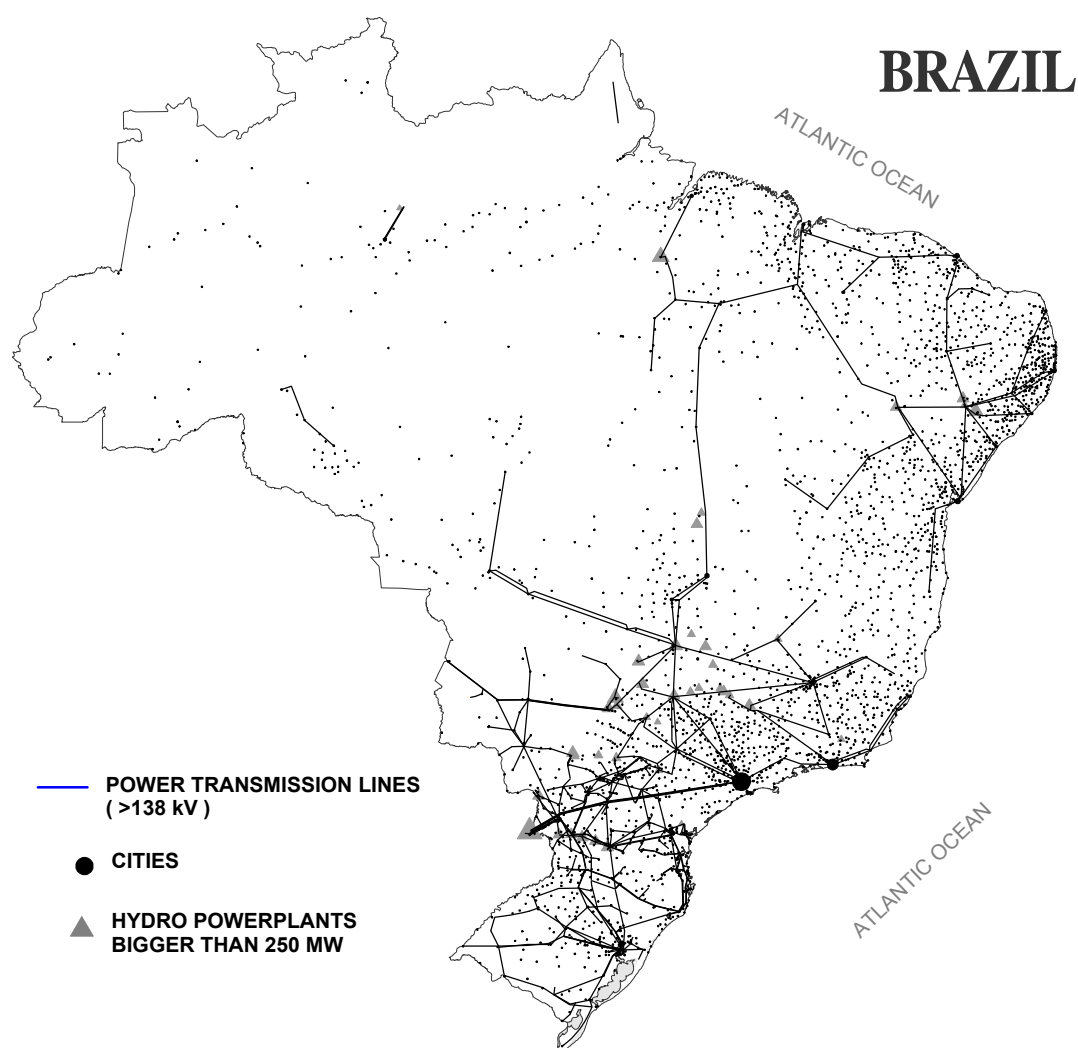


Fig. 9: Brazilian main power transmission lines (>138kV), urban centers of consumption, and estimated promising windfarm areas.

Fig. 9: Sistema brasileiro de transmissão de energia elétrica (>138kV), centros urbanos consumidores e estimativa preliminar das áreas potenciais para usinas eólicas.

### 3. Power System Analysis

In previous analysis it has been shown the occurrence of wind/hydro seasonal complementarity between the climatological regimes of Northeast-Northeast-North and South-Southeast-North regions in Brazil. Further modeling should be performed to investigate in more detail the role wind

### 3. Informações Adicionais

Nas análises anteriores foi demonstrado a complementaridade sazonal hidro-eólica entre os regimes climatológicos do Norte, Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil. Simulações e modelagens adicionais devem ainda ser executadas para se avaliar mais detalhadamente a contribuição da energia



can play in the Hydro-dominated electrical system in Brazil, as done in [9] for Danish wind power integrated to the Scandinavian power pool system. This task is beyond the scope of the present paper. Instead, additional geographic information can enlarge the view on other contributions wind can bring to the Brazilian national grid.

The Brazilian transmission grid is shown in Fig. 9, where it is shown that all regions are now interconnected - and almost the whole system is subject to similar seasonal variations in available hydro resources, as shown previously. Fig.9 also includes urban centers of electricity consumption.

Favorable wind farm areas are estimated to exist almost all along the Brazilian coast, closer to densely populated areas. That is the power consumption end of transmission lines (Fig.7), distant to the hydroelectric plants in the inner country. Wind energy, besides contributing to seasonal stabilization of the hydro-dominated Brazilian electrical system, can also play a valuable role in reinforcing the grid ends, and reducing power transmission losses to the coastline. This approach could be an alternative to current government policy to incentive to thermal power plants burning imported natural gas.

#### 4. Conclusions

A complete evaluation of the magnitude and geographical distribution of wind resources in Brazil is being performed by ELETROBRAS, through Camargo Schubert and CEPEL. Meanwhile, the available rough and preliminary analysis allows a strong affirmation that this integration would bring a big benefit to the system. Currently (June 2000), low water levels on hydro power plant reservoirs in Brazil indicates that this wind/hydro integration should be started immediately.

*eólica no sistema elétrico brasileiro, como foi feito na análise da integração das usinas eólicas dinamarquesas no sistema elétrico interligado da Escandinávia [9]. Esta análise não foi contemplada neste artigo. Entretanto, acrescenta-se mais algumas informações geográficas para um melhor posicionamento da contribuição que a energia eólica pode ter para o sistema elétrico brasileiro.*

*O sistema brasileiro de transmissão de energia elétrica está mostrado na Fig. 9, que também inclui os centros urbanos/consumidores e uma estimativa preliminar da localização das áreas mais promissoras ( $v > 5,5\text{m/s}$ ) para a instalação de aproveitamentos eólico-elétricos (baseada em dados de rugosidade do solo / cobertura vegetal, relevo e nos dados anemográficos disponíveis).*

*Pode-se verificar na Fig. 9 que há grandes áreas promissoras no interior do país que não são servidas por grandes linhas de transmissão ou subestações. Usinas eólicas instaladas nesta região poderiam contribuir para o reforço e a redução de perdas de energia em redes longas e fracas.*

*Outras áreas favoráveis para empreendimentos eólicos estariam situadas ao longo da extensa costa brasileira, coincidindo com os locais de maior consumo no extremo das linhas de transmissão. Mas, por outro lado, a maioria das usinas hidrelétricas está situada mais no interior do Brasil. Desta forma, os aproveitamentos eólico-elétricos, além de melhorar o fator de capacidade do parque de geração de energia predominantemente hidrelétrico pela complementaridade sazonal hidro-eólica, podem também contribuir para o reforço e redução das perdas das redes elétricas.*

#### References: / Referências Bibliográficas:

- [1] Plano Decenal de Expansão - 1999-2008. GCPS-Eletrabras, 1999.
- [2] Plano 2015 - Estudo de Oferta e Demanda Estratégica de Expansão do Sistema. ELETROBRAS, Rio, 1992.
- [3] ROCHA, N., SCHULTZ, D., SUGAI, M., do AMARANTE, O. e BITTENCOURT, R. - Estabilização Sazonal da Oferta de Energia Através da Complementaridade entre os Regimes Hidrológico e Eólico. XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, Out. 1999.
- [4] BITTENCOURT, R. et al - Potencial Eólico no Litoral do Ceará e Rio Grande do Norte para Geração de Energia Elétrica. Relatório CHESF - DEFA-EO-RT-002/96. Brasil
- [5] Relatório de Vazões do Posto 169 - Sobradinho. CHESF.
- [6] Estudos Energéticos para a Usina Eólica de Palmas. COPEL, Relatório CNPG 22/97
- [7] do AMARANTE, O. and SCHULTZ, D. - Wind Energy Resource Map of the State of Paraná, Brazil. DEWI Magazin nr. 15, Agosto 1999.
- [8] Estado do Paraná: Mapa do Potencial Eólico - 1999. COPEL/Camargo Schubert.
- [9] Trading Wind in a Hydro-Dominated Power Pool System. Roskilde University, Denmark.
- [10] ANEEL / DNAEE Banco de Dados Hidrológicos
- [11] BOLETIM HIDROMETEOROLÓGICO N° 9 - 1978. Departamento de Águas e Energia Elétrica, Centro Tecnológico de Hidráulica. São Paulo.