



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**Marcos Bagatini**

Estudo da Complementaridade no Tempo entre as Energias Hídrica,  
Eólica e Solar Fotovoltaica no Estado do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

Julho 2015

**Marcos Bagatini**

**Estudo da Complementaridade no Tempo entre as Energias Hídrica,  
Eólica e Solar Fotovoltaica no Estado do Rio Grande do Sul**

TRABALHO DE CONCLUSÃO  
APRESENTADO AO CURSO DE  
ENGENHARIA AMBIENTAL DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Alexandre Beluco

Porto Alegre

Julho 2015

**Marcos Bagatini**

Estudo da Complementaridade no Tempo entre as Energias Hídrica, Eólica e  
Solar Fotovoltaica no Estado do Rio Grande do Sul

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 03 de julho de 2015 pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca examinadora:

.....  
Prof. Dr. Alexandre Beluco – Orientador – IPH - UFRGS

.....  
Prof. Elton Rossini - UERGS

.....  
Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira – IPH-UFRGS

Conceito.....

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me ajudaram e acreditaram em mim nessa conquista ao longo desses anos de estudo. Agradeço aos meus pais que me apoiaram, Nelson Bagatini e Laura Terezinha Bagatini, aos meus irmãos Gustavo Bagatini e Adriana Bagatini e minha sobrinha Sofia Bagatini. Aos meus amigos próximos, aos meus colegas e amigos da Engenharia Ambiental que me ajudaram na minha formação durante as aulas. Também agradeço aos professores da UFRGS, em especial ao Professor Alexandre Beluco que me ajudou muito na construção desse trabalho e a contribuição do Professor Alfonso Risso.

*“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho.”*

Abraham Lincoln

## RESUMO

BAGATINI, M. (2015). **Estudo da Complementaridade no Tempo entre as Energias Hídrica, Eólica e Solar Fotovoltaica no Estado do Rio Grande do Sul**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre. 100f.

Este trabalho consiste no estudo de complementaridade entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica no Rio Grande do Sul. A pesquisa introduz uma revisão bibliográfica sobre o tema a fim de informar o leitor sobre o cenário hídrico, eólico e solar fotovoltaico a nível nacional e internacional e o histórico sobre este tipo de complementaridade. A discussão sobre a diversificação de um sistema centralizado em fontes hidrelétricas aponta para uma crescente incorporação de fontes alternativas de energia na matriz energética nacional, visto que temos uma demanda crescente e a importância do planejamento integrado dos recursos energéticos. Nesse contexto, o Rio Grande do Sul adquire importância, pois apresenta pontos de alto potencial eólico e solar fotovoltaico, assim possui complementaridade entre os regimes hídrico, eólico e solar fotovoltaico quando reservatórios de usinas hidrelétricas estiverem em seus períodos mais baixos explorando os potenciais de ventos e radiação solar. O estudo visa o levantamento da complementaridade de diversos pontos do Rio Grande do Sul através da proposição de índices matemáticos adimensionais, com foco no período intra-anual a fim de realizar um mapeamento de todo o estado. Foi analisada a capacidade de proporcionar o suprimento de energia o ano todo, através da estabilização da oferta energética, a qual depende de uma escala adequada para aproveitamento hidrelétrico eólico fotovoltaico. As regiões que apresentam os melhores índices de complementaridade para implantação de um sistema híbrido em relação as energias hídrica e eólica foi a região Metropolitana de Porto Alegre e a região Sudeste. Em relação às energias, hídrica e solar fotovoltaica tivemos novamente as regiões, Metropolitana de Porto Alegre e região Sudeste. Em relação às energias, eólica e solar fotovoltaica tivemos a região Nordeste do estado. Em relação às três energias, hídrica, eólica e solar fotovoltaica tivemos também a região Nordeste como região propícia para implantação desse sistema.

Palavras chave: complementaridade; mapas de complementaridade; energia hídrica; energia eólica; energia solar fotovoltaica; sistema híbrido; Rio Grande do Sul.

## **ABSTRACT**

### **Study of Complementarity in Time between Hydro Energy, Wind and Solar Photovoltaic in the State of Rio Grande do Sul**

This work is the study of complementarity between hydro, wind and solar photovoltaic in Rio Grande do Sul. The research introduces a literature review on the topic in order to inform the reader about the water scenario, photovoltaic and solar wind at national level and international and historical about this kind of complementarity. The discussion on the diversification of a centralized system on hydroelectric sources points to a growing incorporation of alternative energy sources in the national energy matrix, as have a growing demand and the importance of integrated planning of energy resources. In this context, the Rio Grande do Sul becomes important because it presents points of high potential wind and solar photovoltaic, and has complementarity between water, wind and solar photovoltaic schemes when hydroelectric reservoirs are at their lowest periods exploring the potential of wind and solar radiation. The study aims to survey the complementarity of various parts of Rio Grande do Sul by proposing mathematical dimensionless ratios, focusing on intra-annual period in order to carry out a mapping of the entire state. It analyzed the ability to provide the power supply throughout the year, through the stabilization of the energy supply, which depends on an adequate scale for photovoltaic wind power hydroelectric. The regions with the best complementarity indices for deployment of a hybrid system in relation to water and wind power was the metropolitan region of Porto Alegre and the Southeast. Regarding energy, hydro and solar photovoltaic again had the regions, metropolitan Porto Alegre and Southeast. Regarding energy, wind and solar photovoltaic had the state's northeast region. For the three energies, hydro, wind and solar photovoltaic also had the Northeast as favorable region for implementation of this system.

**Keywords:** complementarity; complementarity maps; hydropower; wind energy; solar photovoltaics; hybrid system; Rio Grande do Sul.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vento médio anual a 50 m de altura (m/s) (SEMC, 2002).....	25
Figura 2. Mapa de radiação solar horizontal média diária para o Rio Grande do Sul (Martinazzo, 2004) .....	26
Figura 3. Complementaridade no tempo entre as disponibilidades hídrica e solar (Beluco, 2001).....	28
Figura 4. Radiação diária para os 12 meses do ano.....	32
Figura 5. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica. ....	36
Figura 6. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica com diferentes distâncias de isolinhas.....	37
Figura 7. Localização da área de estudo.....	40
Figura 8. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica e eólica. ....	46
Figura 9. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica e solar fotovoltaica. ....	48
Figura 10. Mapa de complementaridade temporal entre as energias eólica e solar fotovoltaica. ....	50
Figura 11. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica. ....	52



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Oferta interna de energia elétrica por fonte. Balanço Energético Nacional 2014 (EPE, 2014). .....	16
Gráfico 2. Evolução da capacidade instalada hidrotérmica do SIN (EPE, 2014). .....	18
Gráfico 3. Curvas senóides que caracterizam as disponibilidades energéticas de duas fontes perfeitamente complementares ao longo do ano (Beluco, 2001). .....	21
Gráfico 4. Comparação das vazões afluentes de Sobradinho com média mensal da geração eólica (Marinho, 2009). .....	29
Gráfico 5. Complementaridade na cidade de Porto Alegre. ....	41
Gráfico 6. Complementaridade na cidade de Rio Grande. ....	42
Gráfico 7. Complementaridade na cidade de Bento Gonçalves. ....	42
Gráfico 8. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha. ....	43
Gráfico 9. Complementaridade na cidade de Porto Alegre. ....	43
Gráfico 10. Complementaridade na cidade de Rio Grande. ....	44
Gráfico 11. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha. ....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Resumo da evolução da matriz de energia elétrica (MW) - 31/dez. Plano de Operação Energética 2014/2018 (EPE, 2014). .....	17
Tabela 2. Evolução da oferta interna de energia no horizonte decenal (EPE, 2014). .....	19

## **LISTA DE SIGLAS**

ANA: Agência Nacional de Águas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CVU: Custo Variável Unitário

EPE: Empresa Pesquisa Energética

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico

PEN: Plano de Operação Energética

PDE: Plano Decenal de Expansão de Energia

PCH: Pequena Central Hidrelétrica

SEMC: Secretaria de Energia, Minas e Comunicações.

SIN: Sistema Interligado Nacional

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UHE: Usina Hidrelétrica

## LISTA DE SÍMBOLOS

$I_n$  = índice normalizado

$X$  = valor médio mensal

$X_{mín}$  = valor médio mensal mínimo

$X_{máx}$  = valor médio mensal máximo

$I$  = Índice de complementaridade total

$I_t$  = Índice de complementaridade no tempo

$I_e$  = Índice de complementaridade entre os valores médios de disponibilidade

$I_a$  = Índice de complementaridade entre as amplitudes de variação

$D_h$  = Dia correspondente ao valor máximo de disponibilidade hídrica

$d_h$  = Dia correspondente ao valor mínimo de disponibilidade hídrica

$D_e$  = Dia correspondente ao valor máximo de disponibilidade eólica

$d_e$  = Dia correspondente ao valor mínimo de disponibilidade eólica

$k_t$  = Índice de complementaridade no tempo

SUMÁRIO	
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	15
1.1. PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO	15
1.1.1. Sistema Interligado Nacional (SIN)	16
1.1.2. O Plano Decenal de Energia 2023	17
1.1.3. Oferta Energética Futura	19
1.2. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS HÍDRICA, EÓLICA E SOLAR FOTOVOLTAICA	20
1.2.1. O Conceito de Complementaridade	20
1.3. JUSTIFICATIVA	22
1.4. OBJETIVOS	22
1.4.1. Objetivo Geral	22
1.4.2. Objetivos Específicos	23
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	24
2.1. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA ELÉTRICA	24
2.2. A COMPLEMENTARIDADE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	25
2.3. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS HÍDRICA E SOLAR FOTOVOLTAICA	26
2.4. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS HÍDRICA E EÓLICA	28
2.5. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS EÓLICA E SOLAR FOTOVOLTAICA	30
2.6. UM ÍNDICE COMPLEMENTAR DO TEMPO PARA DIVERSAS FONTES DE ENERGIA	31
<b>3. METODOLOGIA</b>	32
3.1. TRATAMENTO DE DADOS	32
3.2. CÁLCULO DO ÍNDICE DE COMPLEMENTARIDADE PARA DUAS FONTES DE ENERGIA	33
3.2.1. Índice de Complementaridade no Tempo	34

3.3. CÁLCULO PARA O ÍNDICE DE COMPLEMENTARIDADE PARA TRÊS FONTES DE ENERGIA .....	35
3.4. MAPEAMENTO DA COMPLEMENTARIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL .....	38
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
4.1. ANÁLISE DO MAPEAMENTO DE COMPLEMENTARIDADE .....	39
4.1.1. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Hídrica e Eólica ....	44
4.1.2. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Hídrica e Solar Fotovoltaica .....	46
4.1.3. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Eólica e Solar Fotovoltaica .....	48
4.1.4. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Hídrica, Eólica e Solar Fotovoltaica.....	51
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE A – Gráficos de Complementaridade entre as Energias .....</b>	<b>57</b>
1. Complementaridade entre as Energias Hídrica e Eólica .....	58
2. Complementaridade entre as Energias Hídrica e Solar Fotovoltaica .....	65
3. Complementaridade entre as Energias Eólica e Solar Fotovoltaica .....	72
4. Complementaridade entre as Energias Hídrica, Eólica e Solar Fotovoltaica .....	79
<b>APÊNDICE B – Dados de Vazão e Velocidade do Vento.....</b>	<b>86</b>
1. Dados de Vazão .....	87
2. Dados de Velocidade do Vento .....	92

# 1. INTRODUÇÃO

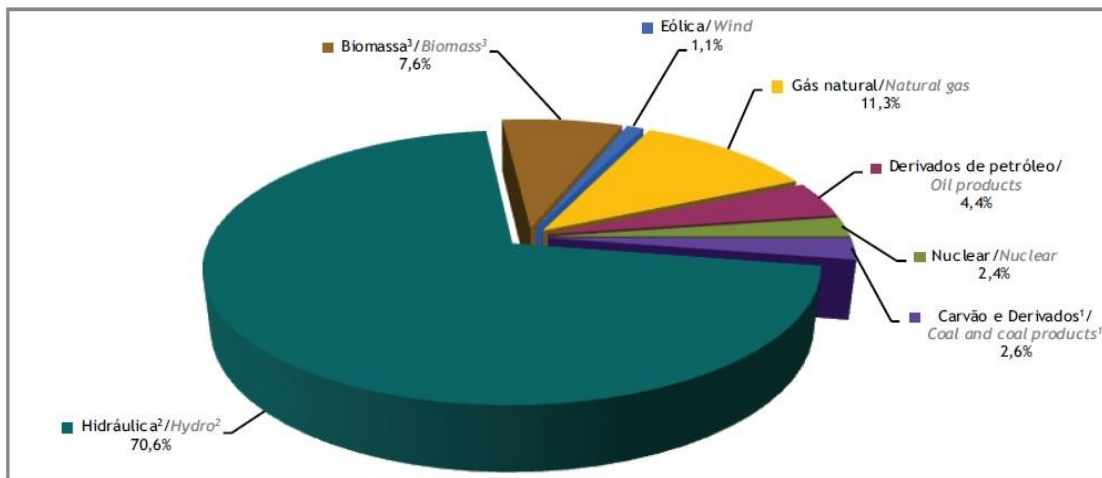
## 1.1. PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO

As usinas hidrelétricas são responsáveis por cerca de 20% da produção de energia elétrica mundial na atualidade. No Brasil, a energia hídrica corresponde a 74,8% da matriz de energia elétrica segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), através do Plano de Operação Energética 2014/1018. A energia hidrelétrica tem se mostrado eficiente, mas não suficiente pra cobrir a demanda nacional de energia nos últimos anos. Devido às secas causadas pela falta de chuvas no final de 2014 e início de 2015 o fornecimento e distribuição de energia foi afetado principalmente na região sudeste do país no Sistema Cantareira. A falta de chuvas naquela região instalou uma crise energética no Brasil todo ocasionando um aumento na tarifa de consumo de energia elétrica pelo Governo Federal. Essa mesma crise energética o Brasil já havia passado em 2001, que fez com que se revissem a necessidade do modelo energético nacional encontrando alternativas para a matriz energética.

Com esse cenário se torna necessário à busca por novas alternativas de energia, visto que as usinas hidrelétricas não estão suportando a demanda. Segundo o Plano Decenal de Expansão e Energia (PDE), documento que orienta o país a garantir o suprimento energético com adequados custos e base técnica, dentre as medidas incorporadas a esse plano podem ser citadas o aumento da eficiência energética, o incremento do parque instalado de hidroeletricidade e de outras fontes renováveis de energia elétrica como eólica, biomassa, PCHs e a inserção da fonte solar na expansão. Desta forma, no presente estudo trabalha-se com uma taxa média de crescimento mundial de 3,8% ao ano, enquanto o Brasil se expande a uma taxa média de 4,3% ao ano.

Segundo Marinho (2009), a estrutura de geração do sistema elétrico brasileiro é caracterizada essencialmente pela presença de grandes centros de geração, nos quais predominam sobremaneira unidades hidroelétricas. A estabilização sazonal da oferta de energia em sistemas interligados com essa estrutura de geração se configura em um grande desafio aos seus operadores. Isto ocorre porque os regimes hidrológicos têm caráter randômico com flutuações marcadamente sazonais.

No Gráfico 1 temos uma oferta de energia elétrica por fonte feita pelo Balanço Energético Nacional 2014 (EPE, 2014).



Notas/ Notes:

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria/ Includes coke oven gas

<sup>2</sup> Inclui importação de eletricidade/ Includes electricity imports

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Gráfico 1. Oferta interna de energia elétrica por fonte. Balanço Energético Nacional 2014 (EPE, 2014).

### 1.1.1. Sistema Interligado Nacional (SIN)

O SIN é um sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil com um sistema hidrotérmico de grande escala, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O sistema é formado pelas empresas da região Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país se encontram fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica.

A oferta de geração na Tabela 1, apresenta a evolução da capacidade instalada contratada no SIN, bem como a participação de cada fonte na Matriz de Energia Elétrica, entre 31/12/2012 e 31/12/2018, destacando-se o crescimento percentual para a expansão das usinas eólicas (497%), além da redução da participação da hidroeletricidade (de 74,8% para 70,9%).



Em 2013 a potência instalada no SIN era de 123.098 MW, dos quais 92.098 MW (74,8%) em usinas hidroelétricas, incluindo as PCHs e a parcela de Itaipu disponível para o Brasil, 21.940 MW (17,8%) em usinas termoeleétricas convencionais e nucleares e 9.069 MW (7,3%) em usinas de Biomassa e Eólicas.

O programa de expansão da oferta de geração prevê para 31/12/2018 uma total de 159.420 MW – aumento de 36.322 MW, aproximadamente 30% em 5 anos.

Tabela 1. Resumo da evolução da matriz de energia elétrica (MW) - 31/dez. Plano de Operação Energética 2014/2018 (EPE, 2014).

TIPO	2013		2018		Crescimento 2013-2018	
	MW	%	MW	%	MW	%
Hidráulica (1)	92.089	74,8	113.078	70,9	20.989	22,8
Nuclear	1.990	1,6	1.990	1,2	-	-
Gás/GNL	11.297	9,2	12.996	8,2	1.699	15,0
Carvão	3.210	2,6	3.210	2,0	-	-
Biomassa	6.684	5,4	7.852	4,9	1.168	17,5
Outros (2)	749	0,6	1.321	0,8	572	76,4
Óleo Combustível/Diesel	4.694	3,8	4.736	3,0	42	0,9
Eólica	2.385	1,9	14.237	8,9	11.852	496,9
<b>Total</b>	<b>123.098</b>	<b>100,0</b>	<b>159.420</b>	<b>100,0</b>	<b>36.322</b>	<b>29,5</b>

OBS: (1) A contribuição das PCHs e da Compra da UHE Itaipu está considerada na parcela "Hidráulica". (2) A parcela "Outros" se refere a outras usinas térmicas com CVU.

### 1.1.2. O Plano Decenal de Energia 2023

O plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2023 incorpora uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de diversos energéticos do período de 2014 a 2023. Cumpre ressaltar sua importância como instrumento de planejamento para o setor energético nacional, contribuindo para o delineamento das estratégias de desenvolvimento do país a serem traçadas pelo Governo Federal.

No que concerne ao setor elétrico, o presente plano incorpora os resultados de leilões de energia nova realizados até 2013. A potência total dos projetos que comercializam energia

neste ano foi de, aproximadamente, 7.200 MW, correspondendo a uma energia de aproximadamente 3.600 MW médios para o Sistema Interligado Nacional – SIN. Está incluída nesse total, a geração de energia eólica com uma potência total de cerca de 4.700 MW.

De acordo com dados do Banco de Geração da ANEEL a capacidade instalada total do sistema elétrico brasileiro no final de 2013 era de cerca de 126 mil MW. Esse total engloba não só as unidades geradoras do SIN, mas conta àquelas instaladas nos sistemas isolados de autoprodução clássica.

O Gráfico 2 ilustra a evolução da capacidade instalada hidrotérmica por tipo de fonte, partindo de aproximadamente 125 GW em dezembro de 2013 para cerca de 196 GW no final de 2023, com destaque para manutenção do perfil fortemente renovável da matriz elétrica brasileira (EPE 2014).

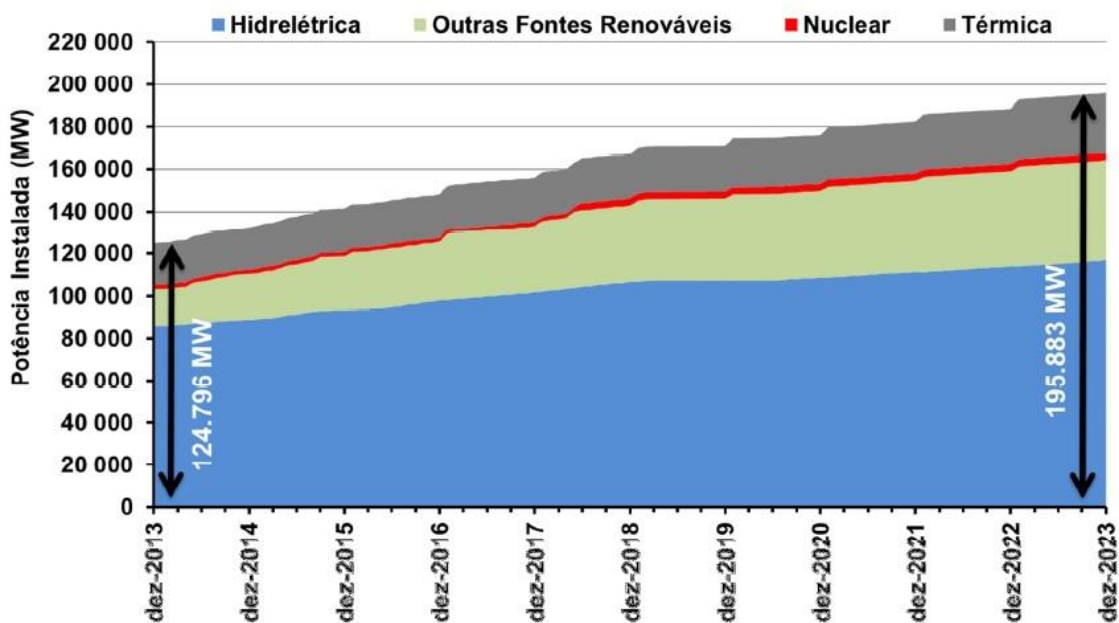


Gráfico 2. Evolução da capacidade instalada hidrotérmica do SIN (EPE, 2014).

### 1.1.3. Oferta Energética Futura

Considerando-se a premissa de crescimento do PIB de 3,5% no período de 2014/2018, a carga de energia do SIN deverá evoluir de 64.710 MWmed em 2014 para 75.711 MWmed em 2018, o que representa o equivalente a um aumento médio de 4,0% a.a. (ONS, 2014).

A capacidade instalada do SIN deverá elevar-se de 123.098 MW, existentes em 31/12/2013, para 159.420 MW, em 31/12/2018. A hidroeletricidade continuará como a principal fonte de geração de energia, embora sua participação sofra uma redução nos próximos cinco anos, passando de 92.089 MW (74,8% do SIN) para 113.078 MW (70,9% do SIN) (ONS, 2014).

Destaca-se o significativo incremento da capacidade instalada das usinas eólicas, que passará de 1,9% da Matriz de Energia Elétrica (2.385 MW em dezembro de 2013) para 8,9%, equivalente a 11.852 MW instalados ao final de 2018, sem considerar os próximos leilões de energia nova que ainda deverão ocorrer em 2014 e 2015 (ONS, 2014).

A Tabela 2 apresenta a consolidação da evolução da oferta de energia interna nos dois quinquênios do período decenal. As energias renováveis exibem um crescimento médio anual de 4,1%, destacando-se o crescimento de 8,0% na oferta de outras renováveis, que inclui energia eólica, solar e biodiesel.

Tabela 2. Evolução da oferta interna de energia no horizonte decenal (EPE, 2014).

	2014		2018		2023		2013-2023
	mil tep	%	mil tep	%	mil tep	%	Variação (% a.a.)
<b>Energia Não Renovável</b>	<b>180.648</b>	<b>57,9</b>	<b>208.702</b>	<b>57,2</b>	<b>244.818</b>	<b>57,5</b>	<b>3,4</b>
Petróleo e Derivados	120.292	38,6	136.325	37,3	156.350	36,7	3,0
Gás Natural	36.477	11,7	46.617	12,8	60.492	14,2	4,8
Carvão Mineral e Derivados	19.941	6,4	20.162	5,5	21.102	5,0	2,5
Urânio (U308) e Derivados	3.938	1,3	5.597	1,5	6.875	1,6	5,8
<b>Energia Renovável</b>	<b>131.329</b>	<b>42,1</b>	<b>156.380</b>	<b>42,8</b>	<b>180.961</b>	<b>42,5</b>	<b>4,1</b>
Hidráulica e Eletricidade	42.340	13,6	48.584	13,3	55.695	13,1	4,2
Lenha e Carvão Vegetal	26.887	8,6	26.787	7,3	26.056	6,1	0,6
Derivados da Cana-de-Açúcar	48.164	15,4	59.189	16,2	72.626	17,1	4,3
Outras Renováveis	13.939	4,5	21.821	6,0	26.583	6,2	8,0
<b>Total</b>	<b>311.977</b>	<b>100,0</b>	<b>365.081</b>	<b>100,0</b>	<b>425.779</b>	<b>100,0</b>	<b>3,7</b>

Em termos de evolução da Matriz de Energia Elétrica, ao se manter a atual tendência de expansão da hidroeletricidade com baixa ou nenhuma regularização plurianual e a crescente entrada de fontes intermitentes, como as usinas eólicas, o papel das termoelétricas flexíveis ou de baixa inflexibilidade com custos de operação moderados e com menores incertezas de suprimento de combustível (GN/GNL/Carvão) e com maior rapidez de tomada e retomada de carga, passa a ser fundamental na estação de projetos a serem ofertados nos próximos leilões de energia nova. Não obstante, pequenas centrais e as fontes alternativas complementares no período seco, como eólicas e biomassa, embora com perfis de ofertas intermitentes e de baixa previsibilidade, também apresentam papel importante na segurança operativa do SIN, na medida em que funcional como “reservatórios virtuais”, complementando a geração hidráulica nas estações secas do ano (ONS, 2014).

## 1.2. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS HÍDRICA, EÓLICA E SOLAR FOTOVOLTAICA

### 1.2.1. O Conceito de Complementaridade

Segundo Beluco (2001), o termo complementaridade pode ser interpretado como capacidade de servir de complemento. A expressão complementaridade entre fontes de energia refere-se então à capacidade de duas ou mais fontes em apresentarem disponibilidades energéticas complementares entre si. A complementaridade pode ocorrer no tempo, no espaço ou em ambos. E pode também ocorrer considerando-se uma mesma fonte ou entre fontes diferentes.

A complementaridade no espaço pode existir quando as disponibilidades energéticas de duas ou mais fontes se complementam ao longo de uma região. O livro de McVEIGH (1997) identifica a complementaridade entre a energia solar e eólica ao longo do território da Grã Bretanha.

A complementaridade no tempo pode existir quando as disponibilidades energéticas de duas ou mais fontes apresentam períodos que se complementam ao longo do tempo em uma mesma região.

A complementaridade também pode existir se for considerada a disponibilidade energética de apenas uma fonte ao longo de uma extensa região e ao longo do tempo. Como exemplo, pode ser citada a disponibilidade de energia hidráulica ao longo do território brasileiro, comentada como um dos argumentos do interligar os sistemas energéticos Sul-sudeste e Norte-nordeste. É uma complementaridade no tempo e no espaço.

As disponibilidades energéticas de duas fontes, em determinado local, podem ser consideradas complementares no tempo se apresentarem períodos iguais e os seus respectivos valores mínimos (ou máximos) distantes entre si de um intervalo correspondente à metade desse período. Além disso, ainda devem apresentar valores médios iguais e relações iguais entre os respectivos valores máximos e mínimos.

O Gráfico 3 apresenta duas curvas senóides para exemplificar um caso de complementaridade. Essas duas curvas apresentam períodos iguais a 1 ano, valores médios iguais a 1, valores mínimos iguais a 0,8 e valores máximos iguais a 1,2. O valor mínimo da primeira curva está situado em 0,75ano e o valor mínimo da segunda em 0,25ano.

A complementaridade entre essas duas curvas pode ser caracterizada como perfeita, na medida em que os valores mínimos estão defasados entre si de um intervalo igual há 0,5ano (assim como os valores máximos), a diferença entre os valores máximos e mínimos é igual a 0,4, em ambos os casos, e os respectivos valores médios são iguais entre si.

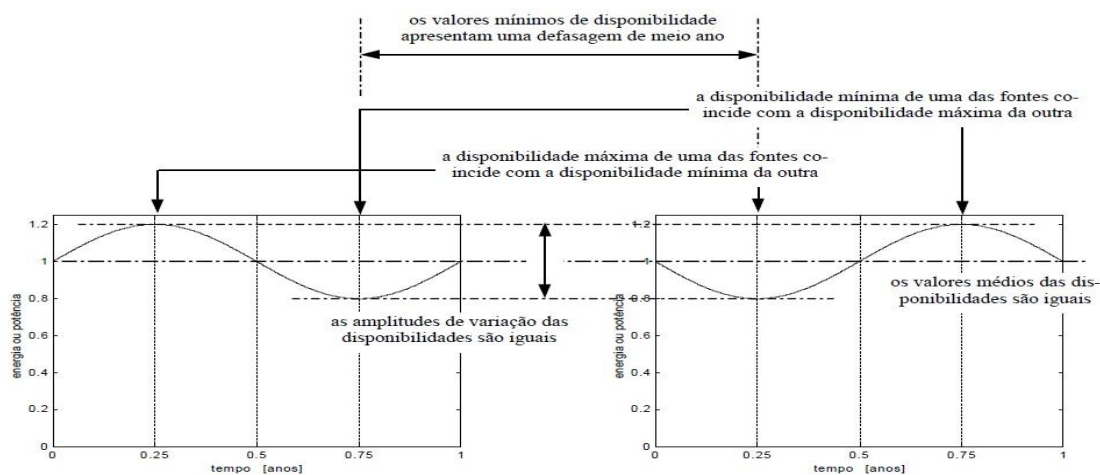


Gráfico 3. Curvas senóides que caracterizam as disponibilidades energéticas de duas fontes perfeitamente complementares ao longo do ano (Beluco, 2001).

### 1.3. JUSTIFICATIVA

O Rio Grande do Sul apresenta algumas estações com dados concomitantes de vazão, velocidade do vento e também radiação solar o que facilita uma análise específica para uso de um sistema híbrido hídrico-eólico, hídrico-solar fotovoltaico e híbrido eólico-solar fotovoltaico ou um sistema híbrido com os três sistemas.

O trabalho fez um estudo da complementaridade entre as fontes de energia hídrica, eólica e solar fotovoltaica para fazer um mapeamento do Rio Grande do Sul para identificação de locais geográficos viáveis para uso do sistema híbrido neste estado. Foram estimadas regiões ótimas para implantação de sistemas híbridos propondo a integralização dessas fontes no que adquire importância em projetos e pesquisas que queiram realizar esse tipo de sistema.

Esse tipo de sistema de complementariedade com mapas que apresentam as regiões potenciais e facilita a análise da implantação de sistemas de pequeno e grande porte o que traz benefícios econômicos para esses sistemas.

### 1.4. OBJETIVOS

#### 1.4.1. Objetivo Geral

Esta dissertação tem como objetivo buscar a complementaridade entre fontes de energia, abordando a disponibilidade de energia hídrica, eólica e solar fotovoltaica no Rio Grande do Sul. Através de um mapeamento temos a complementariedade entre as fontes com gradativas mudanças entre as regiões em termos temporais.

#### 1.4.2. Objetivos Específicos

- (1) Estudar a complementaridade entre as energias hidrelétrica e solar fotovoltaica para atualizar os levantamentos com mapas já efetuados e somar com outras complementaridades relacionadas à energia eólica.
- (2) Realizar um mapeamento das regiões do Rio Grande do Sul, através de isolinhas verificaram as diferenças gradativas e os locais com alto potencial de complementaridade entre os recursos hídrico, eólico e solar fotovoltaico.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA ELÉTRICA**

Sistemas híbridos de geração de energia elétrica são sistemas formados por duas ou mais fontes de geração de energia. As fontes de energia renováveis mais comumente utilizadas nesse tipo de sistema são a solar e a eólica (HAUSCHILD, 2006).

Geralmente, um sistema híbrido conta com a utilização de um grupo gerador diesel para garantir a regularidade e estabilidade no fornecimento de energia elétrica (BOLAÑOS, 2007).

Na maioria dos casos, os sistemas híbridos são moldados utilizando fontes de energia renováveis como eólica, fotovoltaica, biomassa e hidrelétricas associadas à utilização de geradores a diesel, acoplados a geradores de carga, conversores de potência, acumuladores de energia (baterias) entre outros acessórios de controle e supervisão.

Enslin (1991), realizou um estudo de comparação entre sistemas híbridos e não-híbridos, estabelecendo valores de custo conforme demanda. Para sistemas baseados em geradores eólicos e fotovoltaicos, os custos apresentam-se menores para demandas de até 7,5KWh/dia e, para sistemas com base em geradores eólicos e a diesel, foram mais baratos para demandas maiores, a melhor alternativa foi o estabelecimento de uma conexão com rede de distribuição, situada a uma distância de 3 km (Eifler Neto, 2012).

Um bom dimensionamento do sistema híbrido eólico-fotovoltaico, no funcionamento autônomo para suprimento de energia elétrica em locais isolados, pode proporcionar um fornecimento confiável de energia elétrica, diminuindo a necessidade de suprimento complementar de combustível para geradores a diesel. Para Gabriel Filho (2007), o objetivo deles é produzir o máximo de energia possível das fontes renováveis (sol e vento), enquanto mantidas a qualidade da energia e a confiabilidade especificadas para cada projeto.



## 2.2. A COMPLEMENTARIDADE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

O estado do Rio Grande do Sul apresenta um potencial solar e um potencial eólico alto para complementaridade com a energia hídrica. Devido às usinas hidroelétricas apresentarem regimes sazonais, a complementaridade se torna indispensável na busca de um equilíbrio energético.

O governo do estado por intermédio da Secretaria de Energia, Minas e Comunicações (SEMC, 2002), apresentou o Atlas Eólico do Estado do Rio Grande do Sul. Na Figura 1, segundo a (SEMC), temos um mapa de Vento Médio Anual a 50 m de altura (m/s) com o Fluxo de Potência Eólica ( $W/m^2$ ).

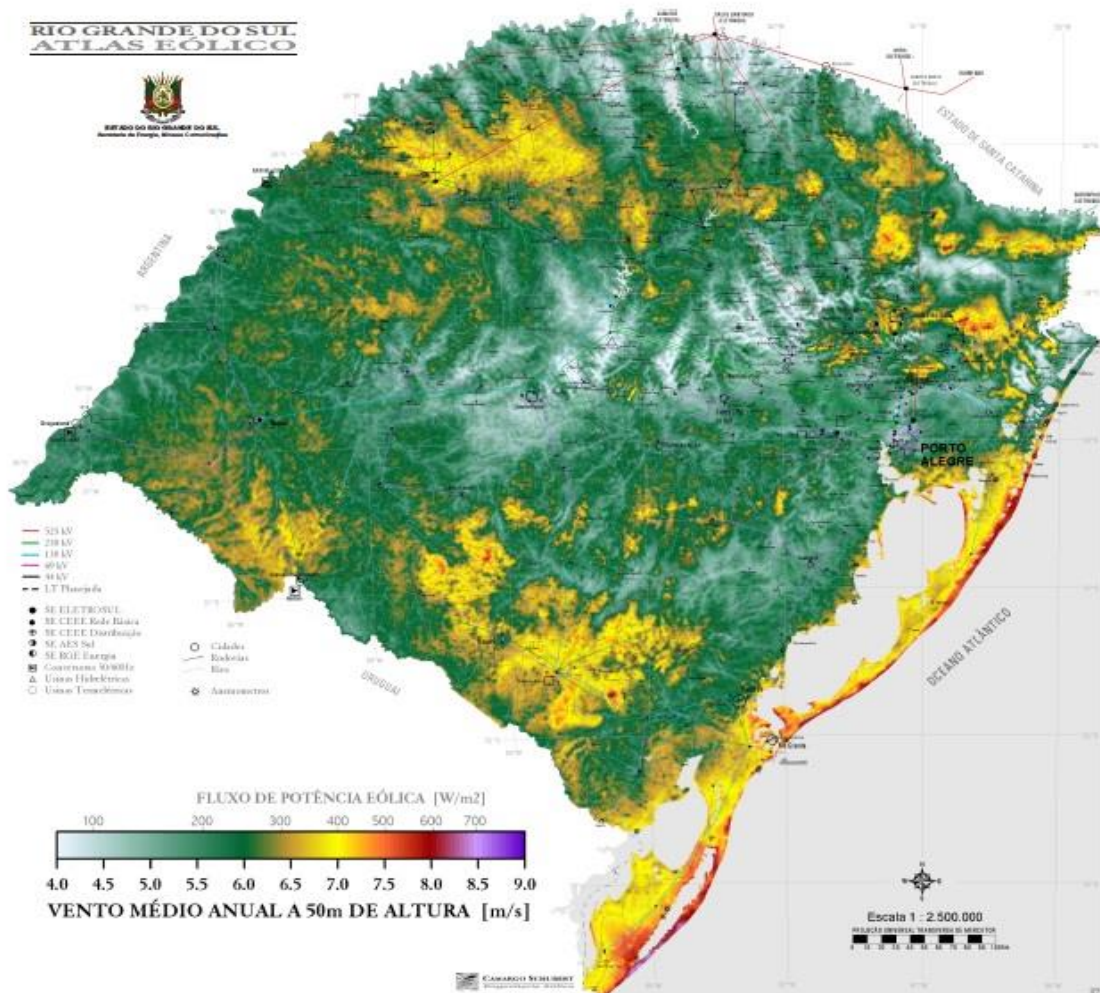


Figura 1. Vento médio anual a 50 m de altura (m/s) (SEMC, 2002).

Na Figura 2, segundo Martinazzo (2004), foi apresentado o Mapa de Radiação Solar Horizontal Média Anual Diária para o Rio Grande do Sul onde se destacam as linhas de iso-radiação.

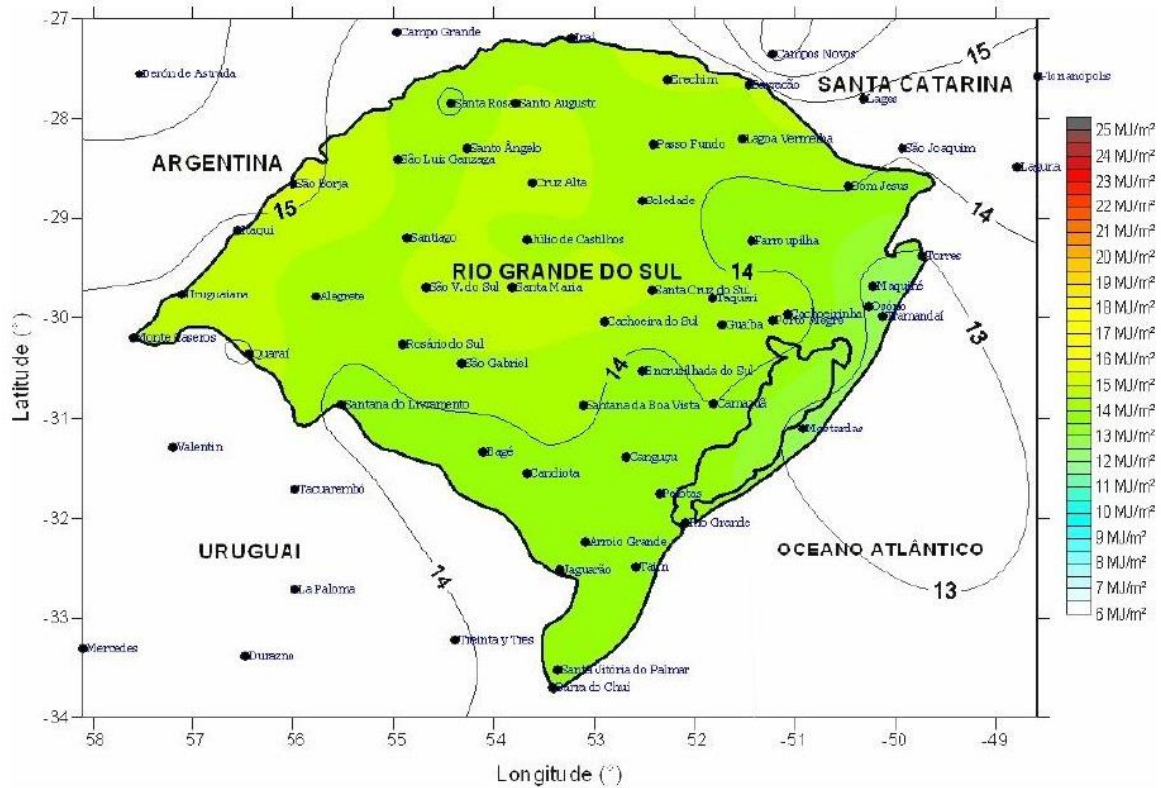


Figura 2. Mapa de radiação solar horizontal média diária para o Rio Grande do Sul (Martinazzo, 2004)

### 2.3. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS HÍDRICA E SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo Beluco (2001), sistema híbrido hidrelétrico fotovoltaico refere-se a um sistema de geração baseado em um aproveitamento hidrelétrico e em um aproveitamento fotovoltaico operando em conjunto, mas não necessariamente em paralelo, para atender as demandas de um conjunto de cargas consumidoras. Uma complementaridade entre as fontes de energia pode então beneficiar o dimensionamento e a operação desse tipo de sistema.

Os aproveitamentos hidrelétricos são usualmente idealizados para fornecer energia elétrica sob a forma de corrente alternada (ca), enquanto os aproveitamentos fotovoltaicos para fornecer energia sob a forma de corrente contínua (cc). Eventualmente uma usina

hidrelétrica pode atender cargas diretamente em corrente contínua, mas isso envolve custos mais elevados, pela adoção de geradores de cc ou pela retificação da corrente disponibilizada. Da mesma forma, sistemas fotovoltaicos podem atender cargas em corrente alternada se estiverem equipados com um conversor cc/ca.

A intenção da tese de Beluco (2001) é elucidar o funcionamento e a viabilidade técnica de aproveitamentos híbridos hidrelétricos fotovoltaicos de pequeno porte, no que diz respeito aos efeitos de diferentes fatores, tais como contribuições de cada uma das fontes de energia, capacidades de bancos de baterias e reservatórios e perfis de demanda, entre outros, sobre o desempenho do sistema.

E também é intenção trazer à tona a questão de complementaridade entre fontes de energia, e particularmente entre energias hídrica e solar, avaliando a influência de diferentes graduações de complementação energética sobre o desempenho desse tipo de aproveitamento e caracterizando a complementaridade entre essas fontes ao longo do estado do Rio Grande do Sul.

Na Figura 3 temos a complementaridade no tempo entre as disponibilidades hídrica e solar, calculando com base em dados de precipitação mensal e radiação solar incidente sobre um plano horizontal no Rio Grande do Sul. As diferentes proporções de complementaridade aparecem em tons de cinza, correspondendo o branco à complementaridade nula e o preto à total. (Beluco, 2001).

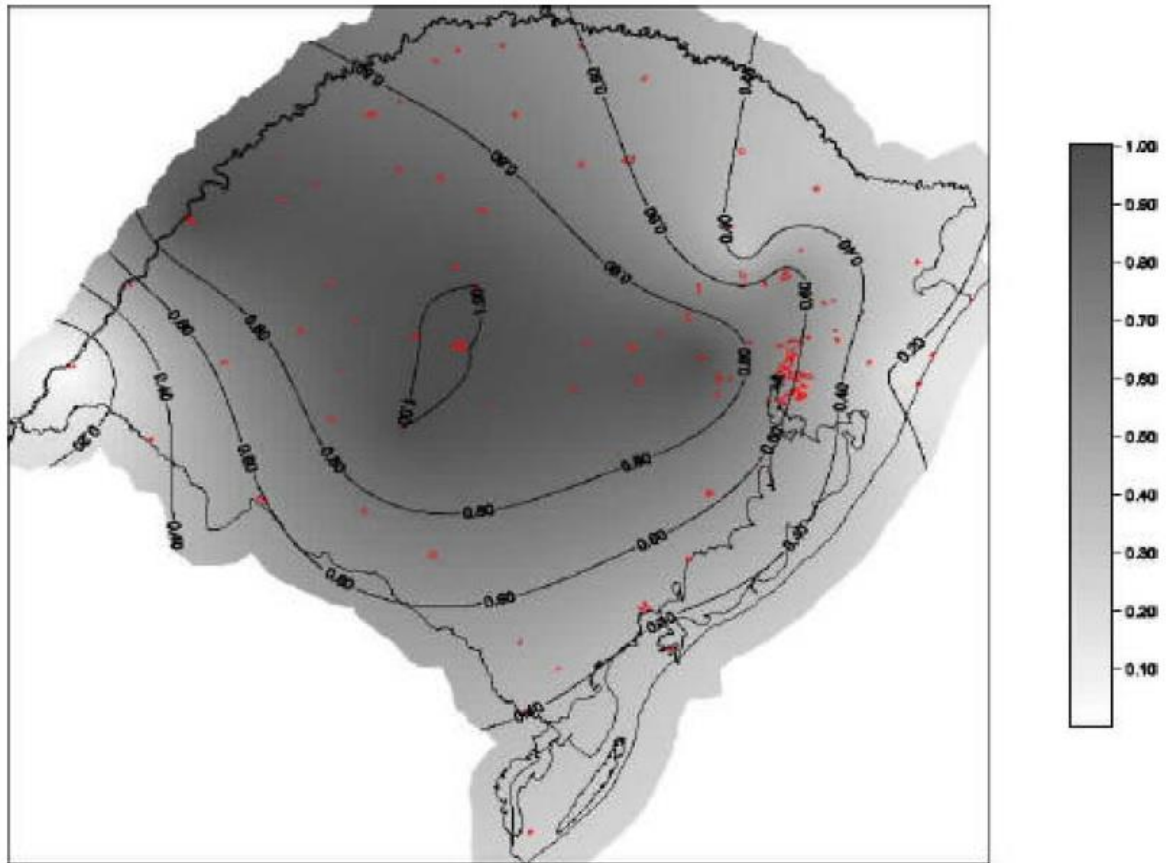


Figura 3. Complementaridade no tempo entre as disponibilidades hídrica e solar (Beluco, 2001).

## 2.4. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS HÍDRICA E EÓLICA

Segundo Marinho (2009), o Gráfico 4 apresenta uma comparação das vazões naturais afluentes no rio São Francisco com a média mensal da geração eólica de energia esperada nas estações anemométricas instaladas no Nordeste. Observa-se que o elevado potencial eólico da região Nordeste pode-se induzir que a contribuição da energia eólica a estabilização sazonal da oferta de energia elétrica pode advir de vários estados da região, principalmente no segundo semestre do ano, período em que o potencial eólico na região é mais elevado e registram-se as menores vazões no rio São Francisco.

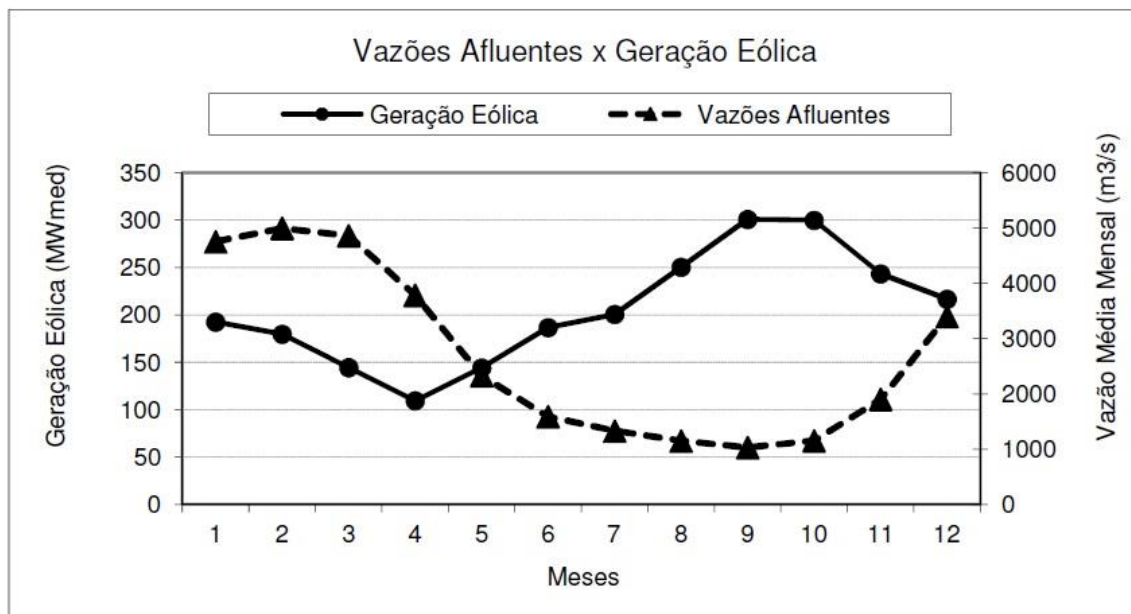


Gráfico 4. Comparação das vazões afluentes de Sobradinho com média mensal da geração eólica (Marinho, 2009).

Segundo Eifler Neto (2012), a consolidação de um sistema elétrico integrado, operando com as duas fontes em conjunto, direciona o gerenciamento nacional de energia e otimização do uso de reservatórios, proporcionando estabilidade sazonal do fornecimento de energia.

Considerando o fato de a região nordeste brasileiro apresentar regimes eólicos com potencial para o auxílio na estabilização da geração de energia, tema que já foi abordado em alguns estudos (Marinho, 2009), o presente trabalho faz um levantamento da complementaridade entre as fontes de energia hídrica e eólica, a fim de realizar um mapeamento da região Nordeste, útil para futuras pesquisas que vislumbrem a possibilidade de realização de sistemas híbridos com as duas fontes operando em conjunto.

A tese propõe uma metodologia para caracterizar a complementaridade entre as disponibilidades de energia das fontes hídricas e eólicas do Nordeste do Brasil e realiza um mapeamento desse parâmetro com locais com alto potencial de complementaridade.

## 2.5. A COMPLEMENTARIDADE ENTRE AS ENERGIAS EÓLICA E SOLAR FOTOVOLTAICA

Uma combinação da energia solar e eólica em um sistema de geração híbrido pode atenuar as flutuações individuais destas formas de energia, aumentando a produção de energia global e reduzindo significativamente a necessidade de armazenamento de energia (Siqueira, 2005).

Segundo Pianezzola (2006), a utilização somente de energia solar ou de energia eólica apresentaria uma irregularidade temporal e de uma amplitude que exigiria o dimensionamento de seus componentes com elevados custos iniciais. Uma alternativa viável é a utilização de equipamentos fotovoltaicos e eólicos unificados num único sistema, denominado híbrido, o que permitiria uma complementaridade. Esta complementaridade poderia ser obtida da diferença entre os períodos de disponibilidade das fontes de energia solar e eólica, de modo a satisfazer a demanda, obtendo-se dessa forma um aumento de confiabilidade e economia do sistema como um todo.

O conhecimento da disponibilidade de energia solar e eólica auxiliaria na identificação de potenciais locais geográficos para a utilização de um sistema híbrido fotovoltaico-eólico.

Sua tese teve como objetivo elaborar mapas para o Estado do Rio Grande do Sul de: Radiação solar média sobre um plano inclinado a 45° orientação norte, para os meses centrais das 4 estações climáticas do ano e anual e velocidade média do vento a 10 metros de altura para as 4 estações climáticas do ano e anual. Foram feitos mapas com índice de complementaridade de amplitude, índice de complementaridade de tempo e energia e índice de complementaridade total utilizando o índice de complementaridade de amplitude anual e o índice de complementaridade do tempo e energia entre as estações de inverno e verão para o Rio Grande do Sul.

Para Debastiani (2013), as integrações dos recursos eólico e solar fotovoltaico são feitas pela eletricidade por eles gerada, podendo ser armazenada em baterias eletroquímicas, em sistemas isolados. Esta energia pode ser usada diretamente na forma DC, ou com um auxílio de um sistema de condicionamento de potência, na forma AC. Assim, a complementaridade deste tipo de arranjo pode ser caráter sazonal, já que ocorreria toda vez

que, em certos períodos, existissem ótimas condições de radiação solar e fraca intensidade de velocidade do vento, ou vice-versa.

## 2.6. UM ÍNDICE COMPLEMENTAR DO TEMPO PARA DIVERSAS FONTES DE ENERGIA

Segundo Borba e Brito (2015), a manutenção de um suprimento adequado de energia de uma região depende de como sua matriz energética é composta, tendo em conta a existência e disponibilidade de um conjunto de fontes de energia. A saída de cada fonte individual durante um período de tempo varia, devido à sazonalidade das fontes naturais (hidráulica, eólica e solar) ou ativando ou desativando os geradores térmicos (a partir de combustíveis fósseis ou biocombustíveis) que tornam o sistema.

Para uma dada demanda de energia, verificando como as fontes naturais disponíveis complementam um ao outro é um ponto de interesse, porque esta forma complementar é possível avaliar a necessidade de complementação térmica do sistema, uma opção que é sempre mais caro e gera mais poluição.

O artigo de Borba e Brito (2015) tem como objetivo criar uma metodologia pra a complementaridade das três fontes de energias, hídrica, eólica e solar fotovoltaica.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. TRATAMENTO DE DADOS

As análises feitas nesse trabalho foram adquiridas a partir da obtenção de dados públicos de vento e vazão. Os dados hidrológicos de vazão foram adquiridos no site da Agência Nacional de Águas (ANA) pelo portal WidroWeb, onde foram obtidos a partir de séries históricas. Os dados de vento foram adquiridos no site do INMET através da interface Estações e Dados – BDMEP –Dados Históricos.

A pesquisa envolveu dados de vazão de 14 estações fluviométricas no estado do Rio Grande do Sul, que se encontram nos municípios de Bagé, Bento Gonçalves, Bom Jesus, Caxias do Sul, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Iraí, Lagoa Vermelha, Pelotas, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Maria, São Luiz Gonzaga e Uruguaiana, com obtenção de séries diárias para todos os municípios.

Os dados de radiação solar foram obtidos através do programa HOMER Pro, onde através da latitude e longitude das estações de vento e vazão inseridas no programa, resulta em uma tabela e um gráfico de radiação diária dos 12 meses do ano apresentado na Figura 4.

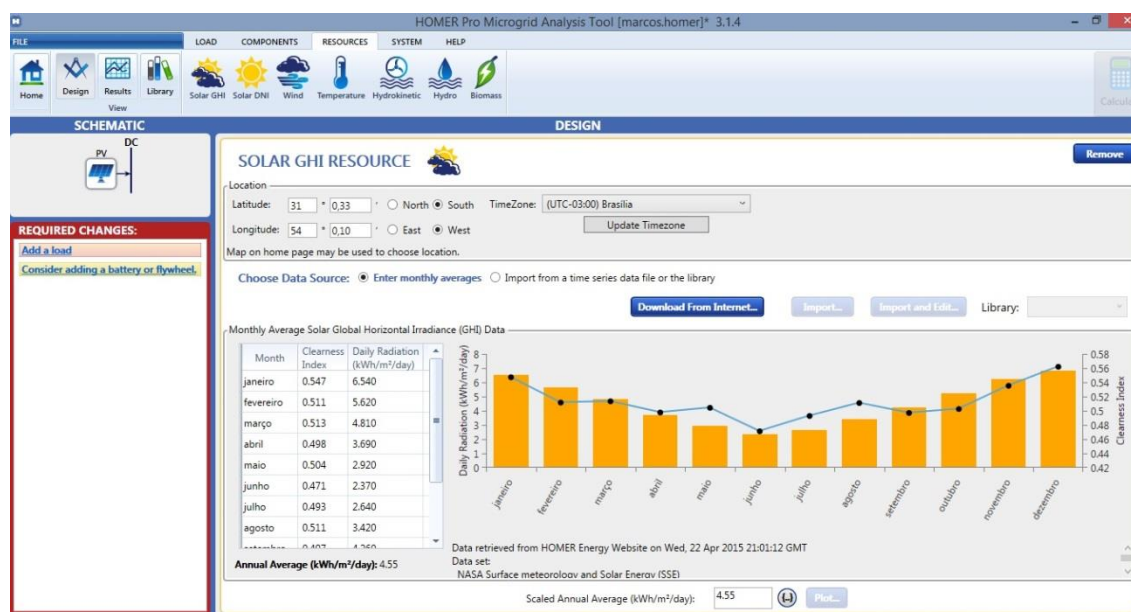


Figura 4. Radiação diária para os 12 meses do ano.



Os dados de velocidade do vento foram obtidos em séries horários, da mesma forma que os dados de vazão onde as séries foram convertidas para uma média mensal do ano. Os dados de radiação solar já foram obtidos em média mensais o que facilitou a normalização dos dados para ambas as fontes de energia.

O procedimento de normalização é fundamental para análise de complementaridade ao longo do tempo entre as fontes de energia que apresentam unidades distintas. Neste trabalho, foram realizadas médias mensais para os doze meses do ano, para o mesmo ano de ambas as fontes, com o cálculo de normalização realizado conforme a Equação 3.1.

$$In = (X - X_{mín}) / (X_{máx} - X_{mín}) \quad (3.1)$$

Onde:

$In$  = índice normalizado para cada um dos doze meses;

$X$  = média do mês em questão;

$X_{mín}$  = valores médios mensais mínimos;

$X_{máx}$  = valores médios mensais máximos.

Com os dados normalizados para ambas as fontes ao longo dos doze meses do ano podem realizar uma análise gráfica adequada das mesmas ao longo do ano.

### 3.2. CÁLCULO DO ÍNDICE DE COMPLEMENTARIDADE PARA DUAS FONTES DE ENERGIA

Segundo Beluco (2001), a necessidade de avaliar o quanto as funções que não são perfeitamente complementares se aproximam da situação mostrada no Gráfico 3 naturalmente sugere a criação de índices matemáticos adimensionais, com valores de zero e um, que considerem as características discutidas.

O índice de complementariedade no tempo, denominado como índice de complementariedade total  $I$ , é então um índice elaborado para expressar o grau de complementariedade entre as disponibilidades de duas fontes de energia. Ele é definido de

acordo com a Equação 3.2 e inclui a avaliação de defasagem no tempo (índice de complementaridade no tempo), da relação entre as médias e entre as amplitudes.

$$I = I_t I_e I_a \quad (3.2)$$

Onde:

$I_t$  = índice de complementaridade no tempo;

$I_e$  = índice de complementaridade entre os valores médios de disponibilidade;

$I_a$  = índice de complementaridade entre as amplitudes de variação das disponibilidades energéticas.

Neste trabalho vamos levar em conta apenas o índice de complementaridade no tempo  $I_t$ , assim o índice de complementaridade total  $I$  depende apenas desse índice.

### 3.2.1. Índice de Complementaridade no Tempo

O índice de complementaridade no tempo,  $I_t$ , é definido conforme a Equação 3.2.1 e avalia o intervalo de tempo entre os valores mínimos das disponibilidades das duas fontes de energia. Se esse intervalo corresponde à metade do período, o índice resultará na unidade. Se corresponder à zero, ou seja, se os valores mínimos coincidirem no tempo, o índice resultará nulo. Os valores intermediários guardam uma relação linear entre si.

$$I_t = \frac{|dh - de|}{\sqrt{|Dh - dh| |De - de|}} \quad (3.2.1)$$

Onde:

$D_h$  = dia correspondente ao valor máximo de disponibilidade hídrica;

$d_h$  = dia correspondente ao valor mínimo de disponibilidade hídrica;

$D_e$  = dia correspondente ao valor máximo de disponibilidade eólica;

$d_e$  = dia correspondente ao valor mínimo de disponibilidade eólica.

Essa equação (3.2.1) pode variar as três energias utilizadas nesse trabalho, energia hídrica, eólica e solar fotovoltaica, duas a duas conforme disponibilizamos.

### 3.3. CÁLCULO PARA O ÍNDICE DE COMPLEMENTARIDADE PARA TRÊS FONTES DE ENERGIA

Segundo Borba e Brito (2015), a manutenção de um suprimento adequado de energia de uma região depende de como a sua matriz energética é composta, tendo em conta a existência e disponibilidade de um conjunto de fontes de energia. A saída de cada fonte individual durante um período de tempo varia, devido à sazonalidade das fontes naturais (hidráulica, eólica e solar) ou ativando ou desativando geradores térmicos (a partir de combustíveis fósseis ou biocombustíveis) que tornam o sistema.

Suponha-se que  $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,...,  $f_n(x)$  são funções não negativas definidas em  $x \in [0,1]$  descrevendo que a taxa de disponibilidade de energia numa região ao longo de um certo intervalo de tempo de modo que  $p(x) = f_1(x)+f_2(x)+...f_n(x)$  é o total de energia produzida.

Se  $0 \leq \int_0^1 p(x)dx \leq 1$ .

Todos os valores envolvidos são não negativos, porque a integral é limitada acima por 1, nós temos  $0 \leq k_t \leq 1$ . Esta formulação do índice como uma integral definida permite a série de dados de discreto uso do sistema operacional, sem a necessidade de regressão. Por exemplo, se considerarmos uma série de  $n$  pontos de  $m$  dados cada, sendo  $f_{ij}$  a entrada  $j$ -th do  $i$ -th da série, podemos definir a versão discreta seguinte do índice:

$$k_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \min \{ 1, \sum_{j=1}^m f_{ij}(x) \} \quad (3.3)$$

Onde:

$k_t$  = índice de complementaridade no tempo.

Na Figura 5 temos o mapa da complementaridade entre as três energias para 11 cidades no estado do Rio Grande do Sul que Borba e Brito publicaram com minha ajuda. Observamos que cerca de 90% das cidades apresentam um índice de complementaridade  $I$  acima de 0,9.

A cidade de Passo Fundo apresentou o maior índice com  $I$  (0,967). Na Figura 6 temos o mesmo mapa da Figura 5, porém com equidistâncias de isolinhas diferentes (Borba e Brito, 2015)

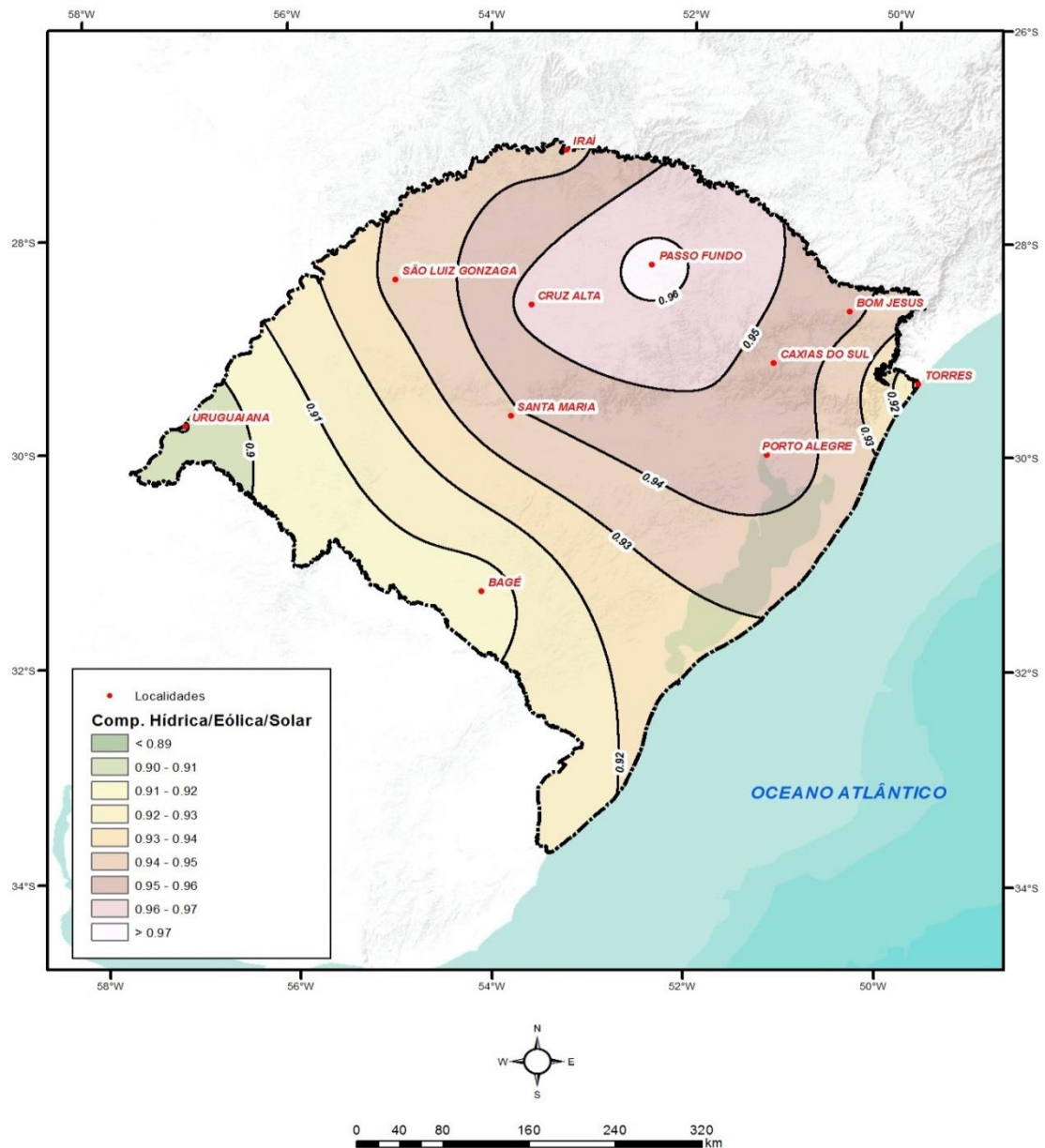


Figura 5. Mapa de complementaridade temporal entre as energias as hídrica, eólica e solar fotovoltaica.

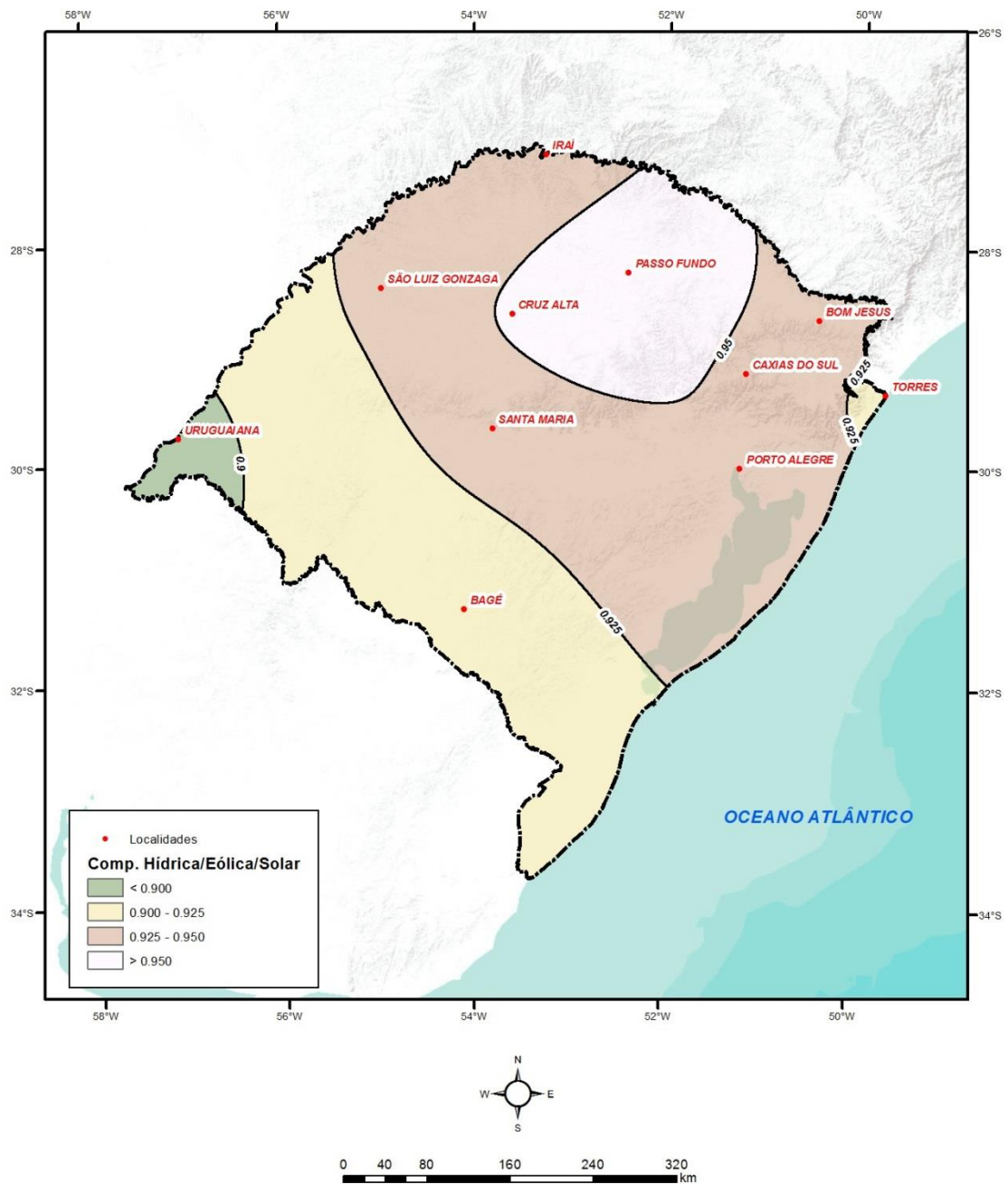


Figura 6. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica com diferentes distâncias de isolinhas.

### 3.4. MAPEAMENTO DA COMPLEMENTARIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

O mapeamento da complementaridade da região foi realizado no software ArcGIS através da interpolação dos dados no menu ArcToolbox. Os dados foram importados através de uma tabela Excel no ícone Add xy data e posteriormente interpolados. Após a interpolação, fizemos uma reclassificação na tabela de 0 à 1 com intervalos de 0,1 e em seguida foram obtidas as isolinhas, usando novamente a ferramenta do ArcToolbox. As isolinhas foram recortadas na borda do Rio Grande do Sul para circunscrever a região de interesse e minimizar a extrapolação. A região do estudo é preenchida por uma imagem em diferentes tons de cores, de acordo com as escalas apresentadas. O resultado contém linhas de nível para valores de  $I$  em dez intervalos de 0,1 de 0 a 1.

## **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1. ANÁLISE DO MAPEAMENTO DE COMPLEMENTARIDADE**

Através dos dados de complementaridade foram criados quatro mapas para a análise de complementaridade de energia hídrica e eólica, hídrica e solar fotovoltaica, eólica e solar fotovoltaica e um último mapa com as três energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica. Esses mapas foram criados através do índice parcial de tempo para facilitar a análise.

A Figura 7 mostra a área de estudo. O mapa foi obtido da base ENRI, através do software ArcGIS.

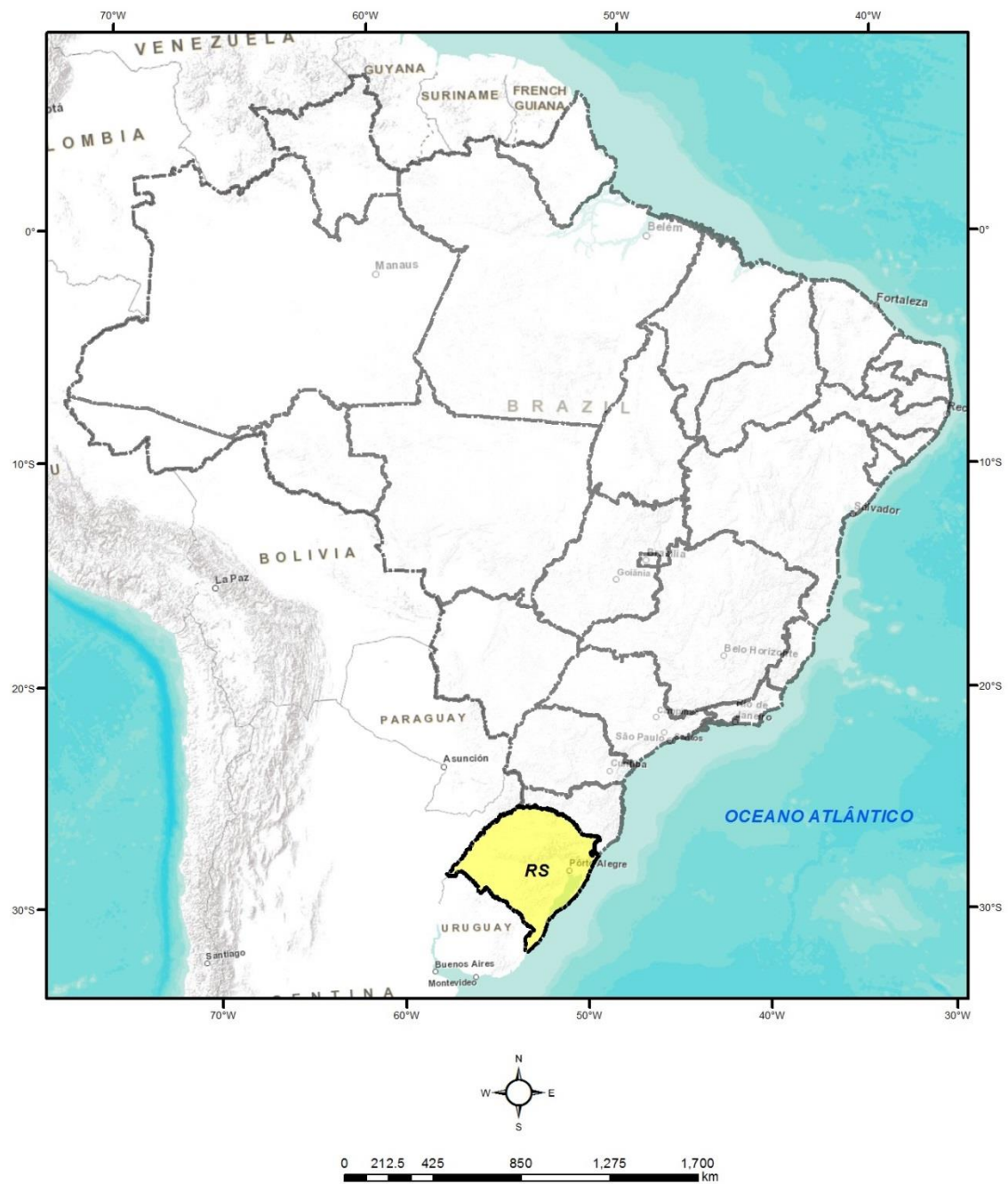


Figura 7. Localização da área de estudo.



Os gráficos para todos os índices de complementaridade se encontram no Apêndice A deste trabalho. O Gráfico 5, Gráfico 6, Gráfico 7 e Gráfico 8 apresentaram o maior valor para o índice de complementaridade  $I$  (1,0), para as localidades de Porto Alegre e Rio Grande entre as energias hídrica e solar fotovoltaica e para as localidades de Bento Gonçalves e Lagoa Vermelha entre as energias eólicas e solar fotovoltaica. Os índices de complementaridade entre as energias hídrica e eólica, tivemos as cidades de Porto Alegre e Rio Grande com índice  $I$  (0,83), respectivamente no Gráfico 9 e Gráfico 10. Em relação à complementaridade entre as três energias, tivemos a cidade de Lagoa Vermelha com maior índice  $I$  (0,905) no Gráfico 11.

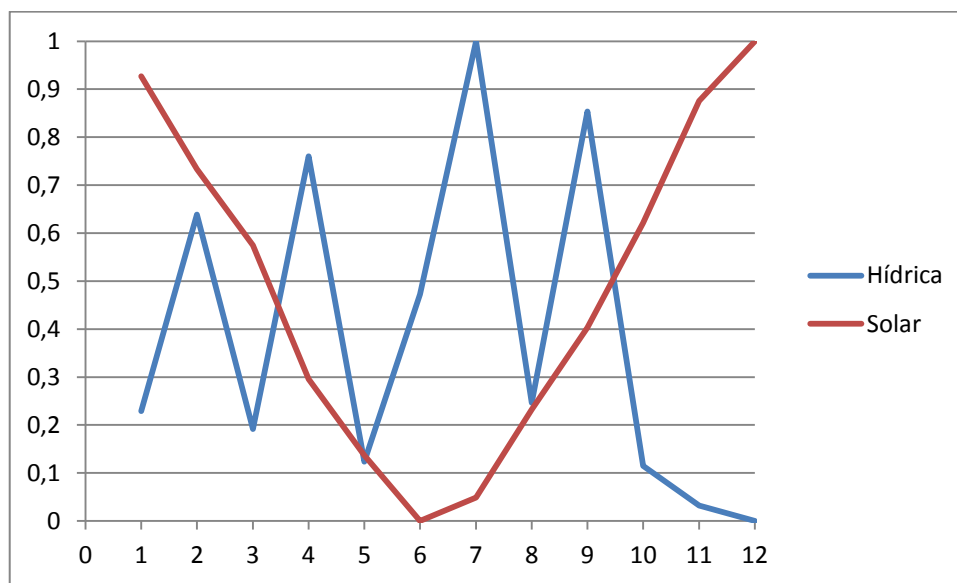


Gráfico 5. Complementaridade na cidade de Porto Alegre.

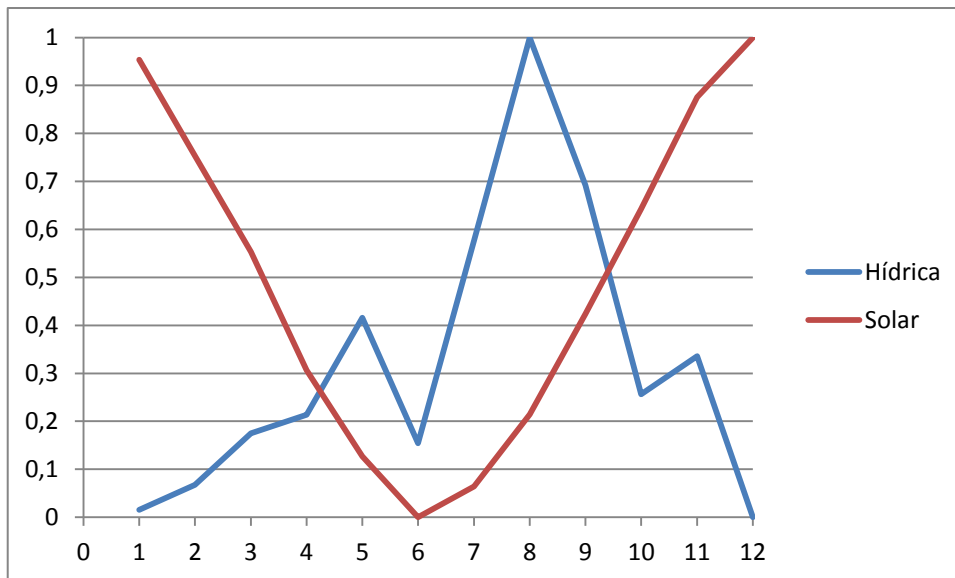


Gráfico 6. Complementaridade na cidade de Rio Grande.

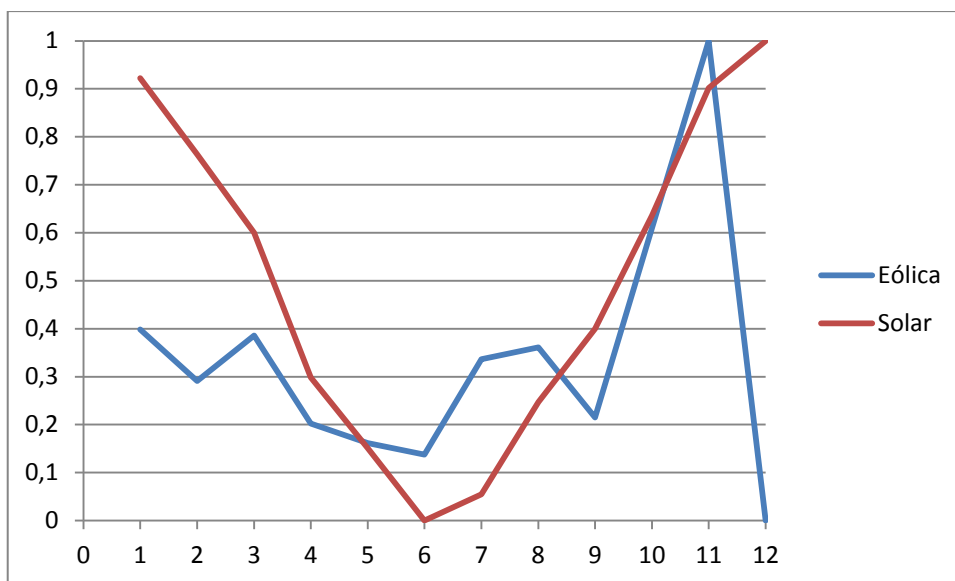


Gráfico 7. Complementaridade na cidade de Bento Gonçalves.

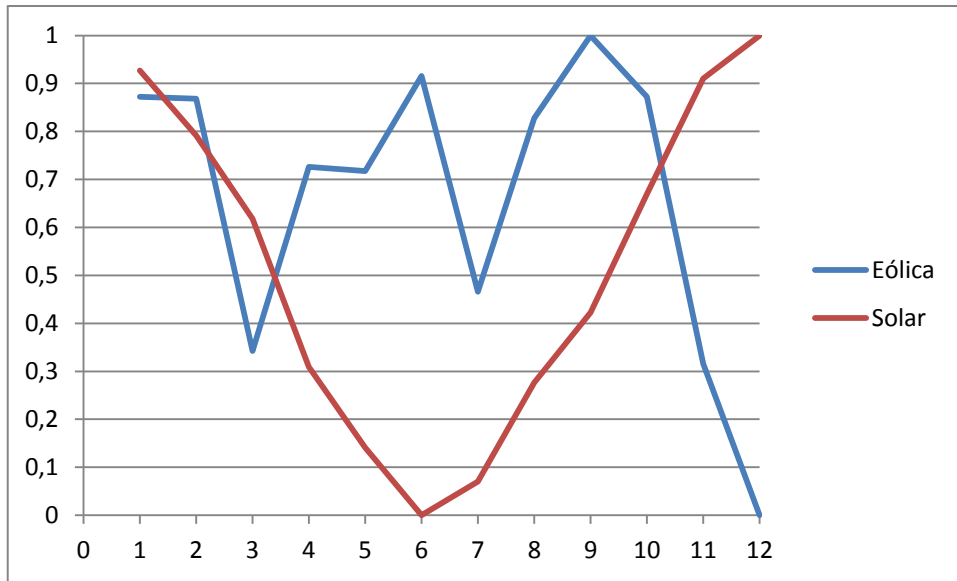


Gráfico 8. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha.

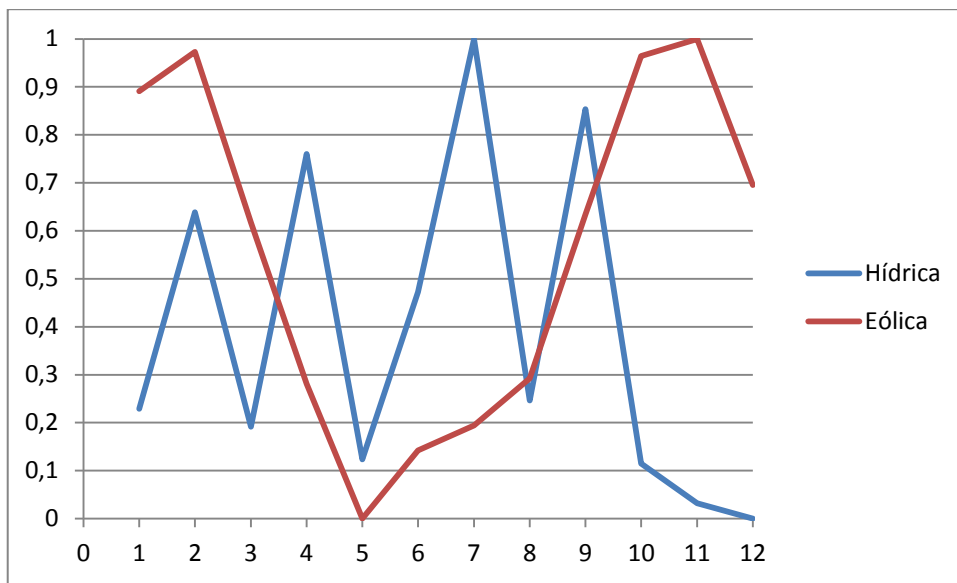


Gráfico 9. Complementaridade na cidade de Porto Alegre.

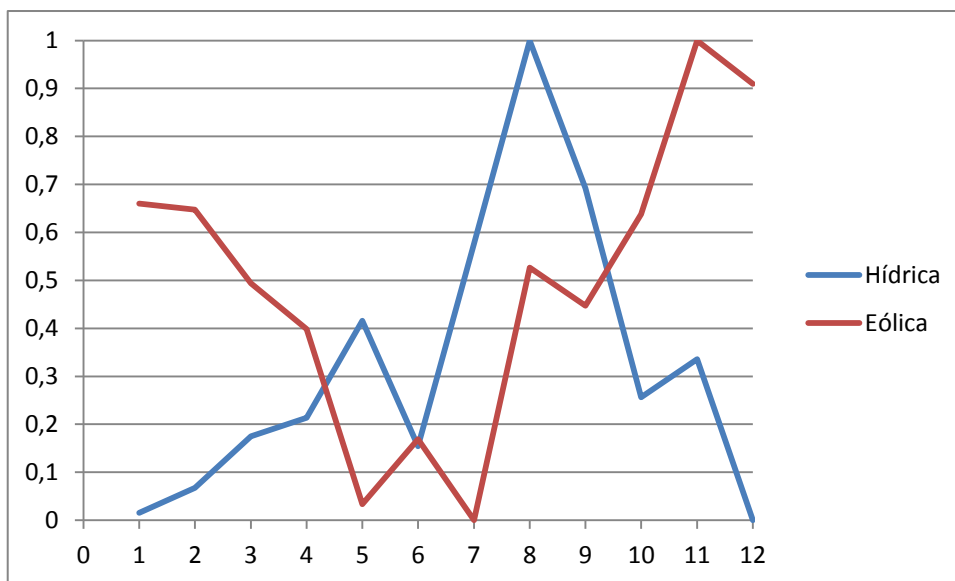


Gráfico 10. Complementaridade na cidade de Rio Grande.

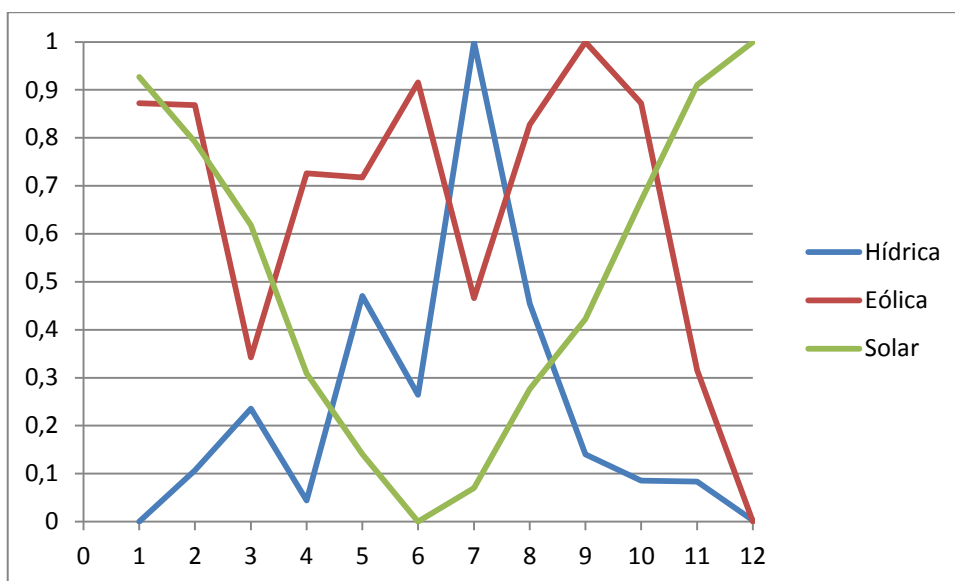


Gráfico 11. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha.

#### 4.1.1. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Hídrica e Eólica

Na Figura 8, observamos que 50 % da região teve um índice de complementaridade  $I$  maior que 0,5, o que corresponde um equilíbrio entre os valores máximos e mínimos de

complementaridade. As cidades de Porto Alegre (Gráfico 9) e Rio Grande (Gráfico 10), tiveram os maiores índices,  $I$  (0,83) para ambos.

As regiões que tiveram maiores índices foram à região Sudeste, região Metropolitana de Porto Alegre, região Centro e uma parte da região Noroeste do estado com índices  $I$  maiores que 0,5, vislumbrando locais potenciais para a utilização de um sistema híbrido. As demais regiões Sudoeste, parte do Noroeste e Nordeste tiveram baixos índices, provavelmente insuficientes para utilização de um sistema híbrido (Divisões do estado segundo o IBGE).

Nas regiões em que o índice de complementaridade apresenta valores baixos, seria mais indicado o uso somente de energia hídrica do que um sistema híbrido hídrico-eólico.

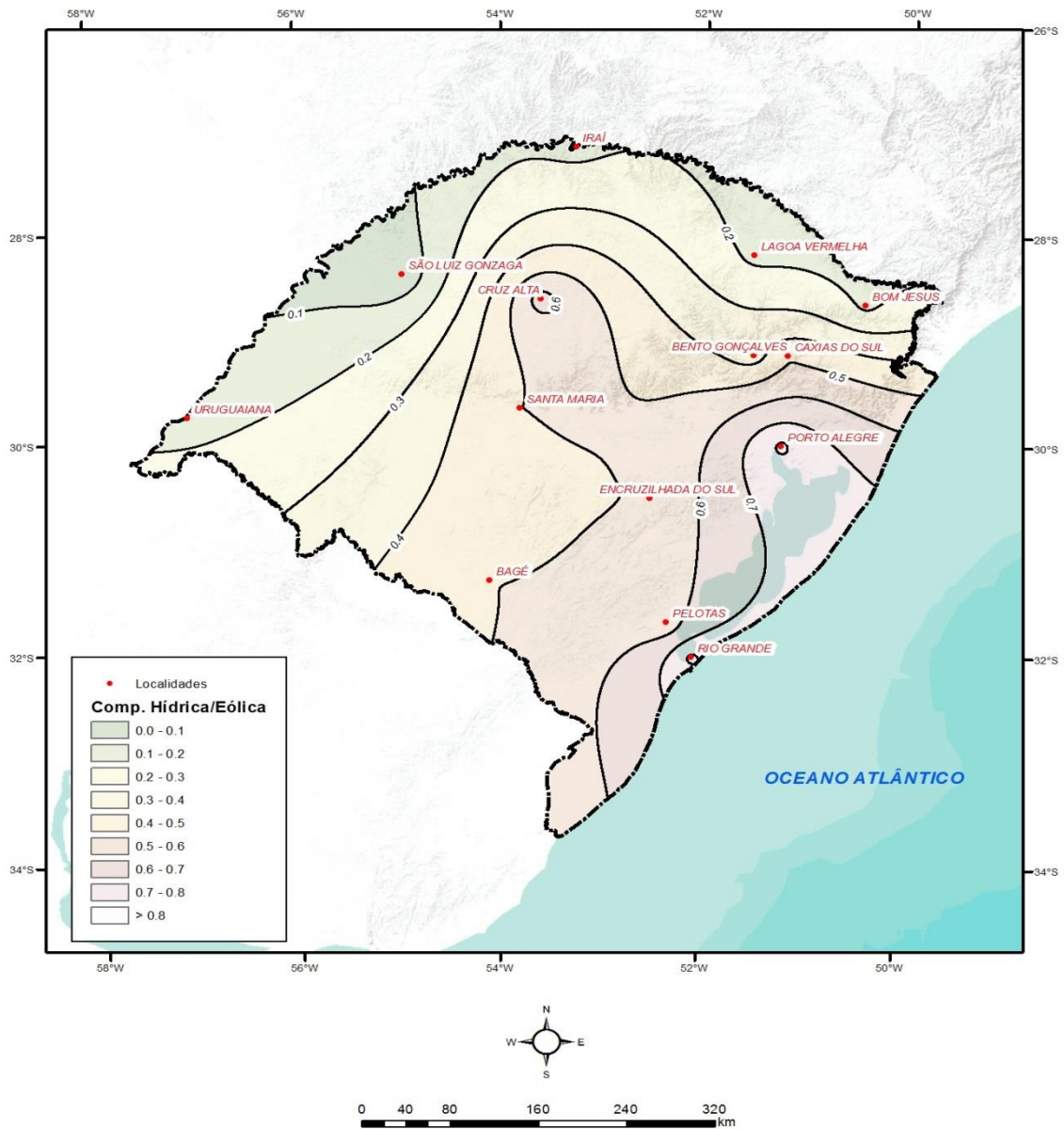


Figura 8. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica e eólica.

#### 4.1.2. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Hídrica e Solar Fotovoltaica

Na Figura 9, observamos que cerca de 65 % da região teve índices de complementaridade  $I$  maior que 0,5 e cerca de 33 % desse com índice acima de 0,8 o que corresponde a grandes amplitudes de variação com índices altos em sua maioria. Novamente a as cidades de Porto

Alegre (Gráfico 5) e Rio Grande (Gráfico 6) apresentaram os maiores índices  $I$  com índice máximo igual a 1,0 para ambos.

As regiões que tiveram maiores índices foram à região Sudeste, Metropolitana de Porto Alegre, Nordeste, Centro, e uma parte do Sudoeste com índices  $I$  acima de 0,5 possibilitando locais potenciais para o sistema híbrido. Com baixos valores temos parte da região Sudoeste, região Noroeste e uma parte da região Nordeste, provavelmente locais pouco potenciais para um sistema híbrido.

Fazendo uma comparação com o mapa do Beluco (2001), que também avalia a complementaridade de energia hídrica e solar tivemos algumas diferenças nos mapas. Para Beluco os maiores índices se encontram na região Centro do estado, uma faixa da região Noroeste e uma faixa da região Sudoeste com  $I$  (0,8) e um ponto na região Centro com índice  $I$  (1,0). Essa diferença se deve a fonte de dados usada, Beluco usou para os dados hídricos dados pluviométricos de precipitação, diferente desse trabalho que foram dados fluviométricos de vazão.

Nas regiões em que o índice de complementaridade apresenta valores baixos, seria mais indicado o uso somente de energia hídrica do que um sistema híbrido hídrico-solar fotovoltaico.

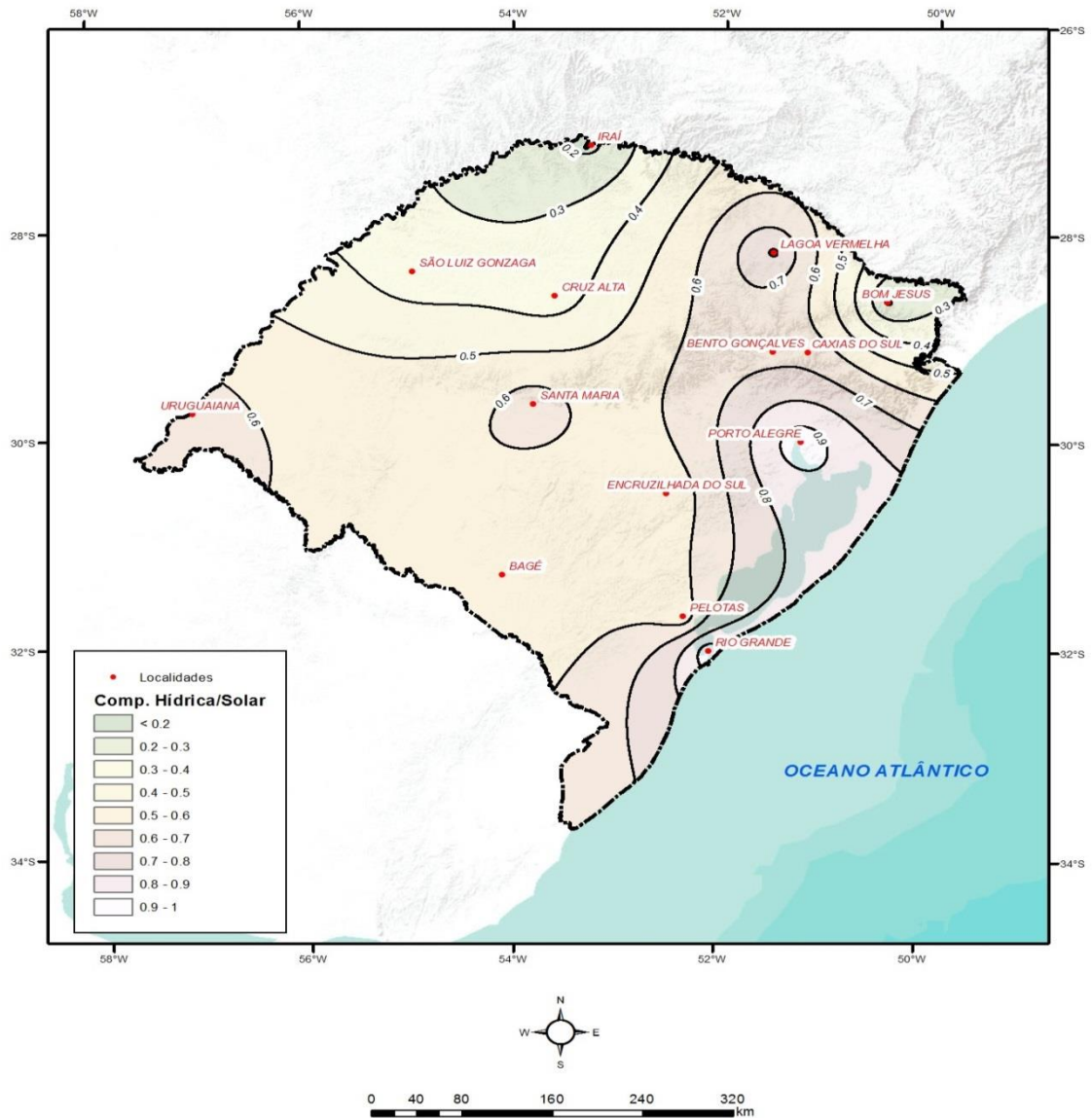


Figura 9. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica e solar fotovoltaica.

#### 4.1.3. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Eólica e Solar Fotovoltaica

Na Figura 10, observamos que 21 % da região teve índice de complementaridade  $I$  acima de 0,5 devido a grande amplitude dos valores máximos e mínimos. Em sua maioria resultaram em valores baixos de complementaridade. As cidades de Bento Gonçalves (Gráfico 8) e Lagoa Vermelha (Gráfico 9) obtiveram índice de complementaridade máximo de  $I$  igual a 1,0.



As regiões que tiveram maiores índices foram região Nordeste do estado e região Sudoeste, com índices  $I$  maiores que 0,5. As regiões Centro, Noroeste e região Sudeste tiveram baixos índices não sendo recomendável o sistema híbrido.

Os mapas de complementaridade de Pianezzola (2006), não podem ser comparados com esse mapa, pois em sua tese os mapas foram obtidos com índices de complementaridade de amplitude, índice de complementaridade de tempo e energia e índice de complementaridade total, diferente desse mapa que usa apenas o índice de complementaridade no tempo.

Nas regiões em que o índice de complementaridade apresenta valores baixos, seria mais indicado o uso somente de energia eólica do que um sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico.

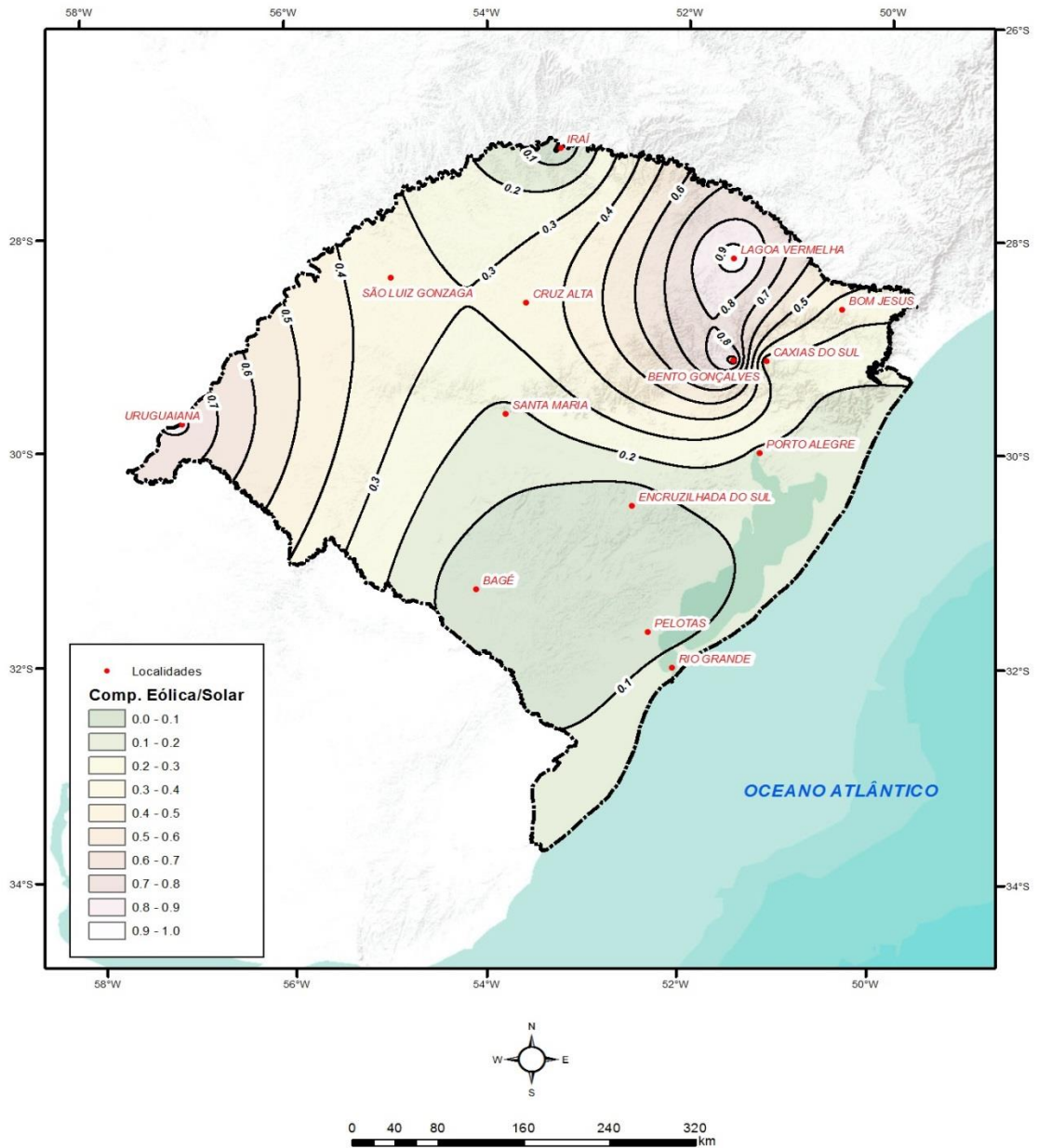


Figura 10. Mapa de complementaridade temporal entre as energias eólica e solar fotovoltaica.

#### 4.1.4. Mapa de Complementaridade Temporal entre as Energias Hídrica, Eólica e Solar Fotovoltaica.

Na Figura 11, observamos que cerca de 65 % tiveram índices de complementaridade  $I$  acima de 0,8, devido à complementaridade de três energias. A cidade de Lagoa Vermelha (Gráfico 11) teve o maior índice  $I$  igual a 0,905.

As regiões que tiveram maiores índices foram à região Nordeste, seguido da região Metropolitana de Porto Alegre e região Centro, diminuindo para demais regiões Sudeste, Sudoeste e Noroeste, todos com índices  $I$  acima de 0,7 e com alto potencial de complementaridade.

Em comparação com o mapa de Borba e Brito (2015), tiveram índices de complementaridade  $I$  bem parecidos, com índices mais altos localizados na região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul diminuindo para a região Sudoeste. Os índices de Borba e Brito tiveram valores um pouco mais altos, variando em 90% na faixa de 0,9 a 1,0.

Em comparação com o mapa de complementaridade entre as energias hídrica e eólica, que tiveram índices  $I$  maiores na região Sudeste, diferente deste que teve maiores índices na região Nordeste.

Em comparação com o mapa de complementaridade entre as energias hídrica e solar fotovoltaica, que tiveram índices  $I$  maiores na região Sudeste, diferente deste que teve maiores índices na região Nordeste.

Em comparação com o mapa de complementaridade entre as energias eólica e solar fotovoltaica, que tiveram índices  $I$  maiores na região Nordeste, parecido com este que teve maiores índices também na região Nordeste.

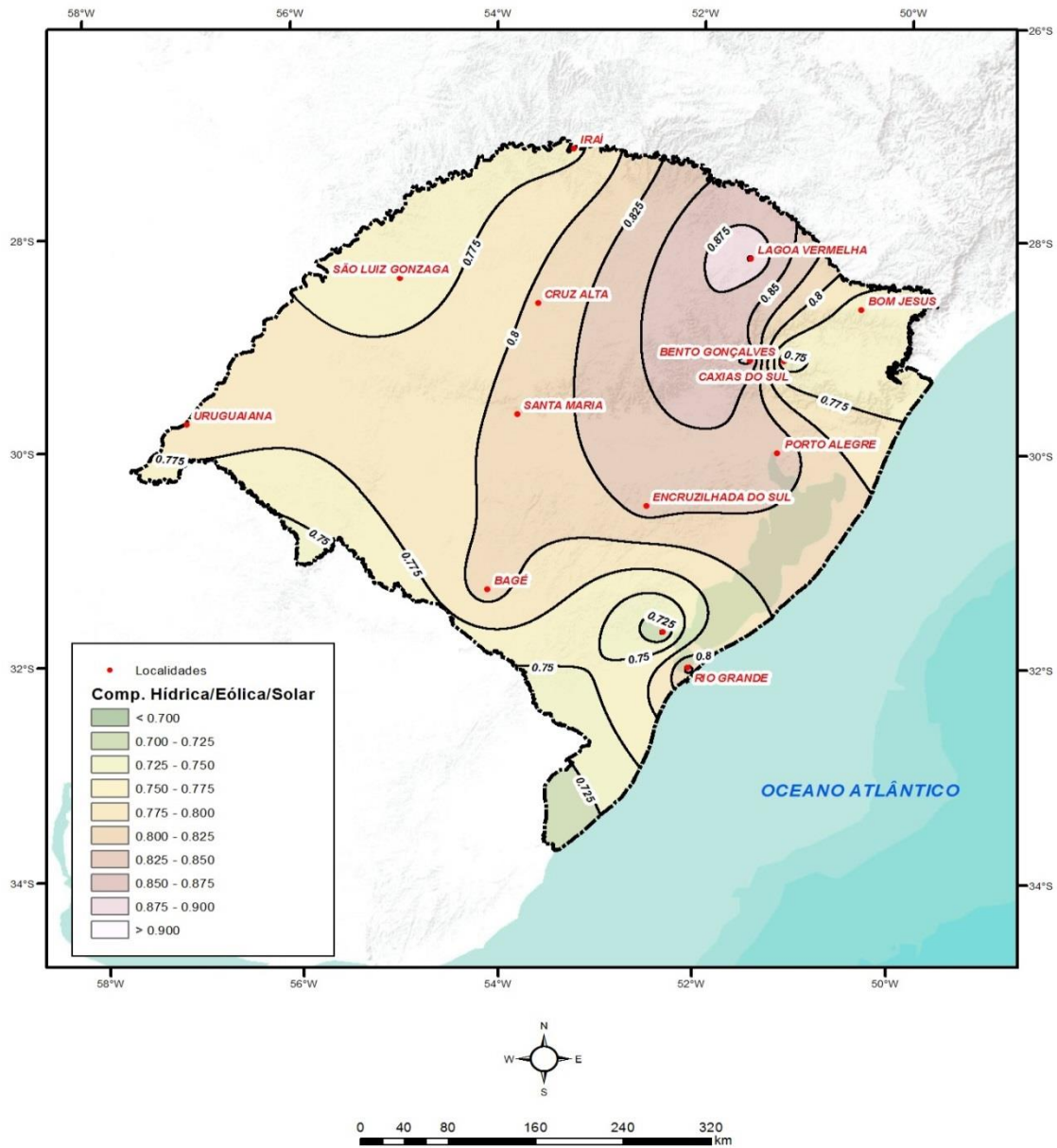


Figura 11. Mapa de complementaridade temporal entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho verificou a complementaridade no tempo entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul, comprovando o potencial eólico e solar fotovoltaico complementando a disponibilidade hídrica no estado, assim contribuindo para o sistema elétrico nacional. Essa contribuição está associada às condições de disponibilidade em termos temporais de energia, gerando um equilíbrio na matriz de energia elétrica, possibilitando uma melhor otimização dos reservatórios possibilitando uso em períodos de seca.

O Sistema Interligado Nacional vem apresentando uma evolução em sua matriz de energia elétrica, com destaque pra fonte de energia eólica que apresenta um maior crescimento e a hidroeletricidade que vem diminuindo aos decorrer dos anos. Isso comprova a importância da complementaridade entre fontes de energia e sua incorporação ao sistema.

Assim, este trabalho contribui com um estudo para a complementaridade entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul com índices adimensionais para criação de mapas de complementaridade na região.

Como resultados obtidos, cerca de 45% da região estudada apresentaram complementaridade temporal acima de 0,5 em relação à média das três complementaridades utilizadas duas a duas. E cerca de 65% da região estudada teve índice de complementaridade temporal acima de 0,8 em relação à complementaridade das três energias juntas.

As regiões que apresentam os melhores índices de complementaridade para implantação de um sistema híbrido em relação às energias, hídrica e eólica foi a região Metropolitana de Porto Alegre e a região Sudeste. Em relação às energias, hídrica e solar fotovoltaica tivemos novamente às regiões Metropolitana de Porto Alegre e Sudeste. Em relação às energias, eólica e solar fotovoltaica tivemos a região Nordeste do estado. Em relação às três energias, hídrica, eólica e solar fotovoltaica tivemos também a região Nordeste como região propícia para implantação desse sistema.

Os mapas obtidos auxiliam no estudo e implantação de energias eólica e solar fotovoltaica em complementação a energia hídrica. Pode ser implantado para atender grandes demandas

e também pequenas com limitados recursos de investimento. Enfim, os mapas apresentam áreas potenciais de sistemas híbridos no estado do Rio Grande do Sul, em que essas energias se complementam.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas, HidroWeb – Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em [hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)

BELUCO, A., 2001. **Bases para uma metodologia de dimensionamento de aproveitamentos híbridos baseados em energia hidrelétrica e fotovoltaica.** 2001, 170f. Tese de doutorado, Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

BOLAÑOS, J. R. M, **Controlador supervisor inteligente para sistemas híbridos eólico-diesel-bateria de pequeno porte.** 2007. 132p. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-02042008-095246/pt-br.php>>. Acesso em 09 jul.2013.

BORBA, E. M., BRITO, R.M., 2015. **Um índice complementar do tempo para diversas fontes de energia baseadas em funções de disponibilidade de energia.** Artigo.

DEBASTIANI, G., 2013. **Avaliação da Eficiência Energética de um Sistema Híbrido Eólico-fotovoltaico para Cascavel-Paraná.** 2013, 64f. Dissertação de Pós Graduação em Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Brasil.

EIFLER NETO, E.E., 2012. **Estudo de Complementaridade entre Disponibilidades de Energia Hídrica e Eólica na Região Nordeste do Brasil.** 2012, 92f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia. Disponível em [www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx](http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx)

ESLIN, J.H.R. 1991. **Renewable energy as an economic energy source for remote areas,** Renewable Energy, v.1, n.2, p.243-248.

GABRIEL FILHO, L. R. A., 2007. **Análise e Modelagem Geométrica da Potência gerada por um Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico Eólico.** 2007, 156f. Tese de Doutorado em Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista. “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, Brasil.

HAUSCHILD, L., 2006. **Avaliação de estratégias de operação de Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Eólico-Diesel.** 2006, 117f. Dissertação de Mestrado em Energia, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Cultura Agropecuária e Abastecimento, Brasil. Disponível em [www.inmet.gov.br/portal/](http://www.inmet.gov.br/portal/)

MCVEIGH, J.C. 1997. **Energia Solar,** CETOP: Lisboa, Portugal. 238f.

MARINHO, M. H. N., 2009. **Oferta de Energia Através da Complementaridade Sazonal Hidro-Eólica no Estado de Pernambuco**. 2009, artigo\_11ca541

MARTINAZZO, C.A., 2004. **Modelos de Estimativa de Radiação Solar para Elaboração de Mapas Solarimétricos**. 2004, 185f. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em [www.ons.org.br/home/](http://www.ons.org.br/home/)

PIANEZZOLA, G., 2006. **Mapas de Complementaridade dos Potencias Solar e Eólico no Estado do Rio Grande do Sul**. 2006, 82f. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

RE-3-0166-2014\_PEN 2014\_SumarioExecutivo - Plano de Operação Energética 2014/2018 (ONS).

Relatório Final do PDE 2023 - Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 - Ministério de Minas e Energia.

Relatorio\_Final\_BEN\_2014 - Balanço Energético Nacional 2014 (EPE) – Ministério de Minas e Energia.

SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente, **Atlas Eólico do Rio Grande do Sul**. Disponível em [www.sema.rs.gov.br/upload/ATLAS\\_EOLICO\\_RS\\_parte004.pdf](http://www.sema.rs.gov.br/upload/ATLAS_EOLICO_RS_parte004.pdf)

SIQUEIRA, J. A. C., 2005. **Desempenho de um Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico de Pequeno Porte para Energização Rural**. 2005, 190f. Tese de Doutorado em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, Brasil.

Software HOMER, version 3.1. **The Micropower Opyimization Model**, Homer E-energy. Available at [www.homerenergy.com/HOMER\\_legacy.html](http://www.homerenergy.com/HOMER_legacy.html)



## **APÊNDICE A – Gráficos de Complementaridade entre as Energias**

Esse apêndice apresenta os gráficos de complementaridade entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica para as 14 cidades do estado do Rio Grande do Sul.

### 1. Complementaridade entre as Energias Hídrica e Eólica

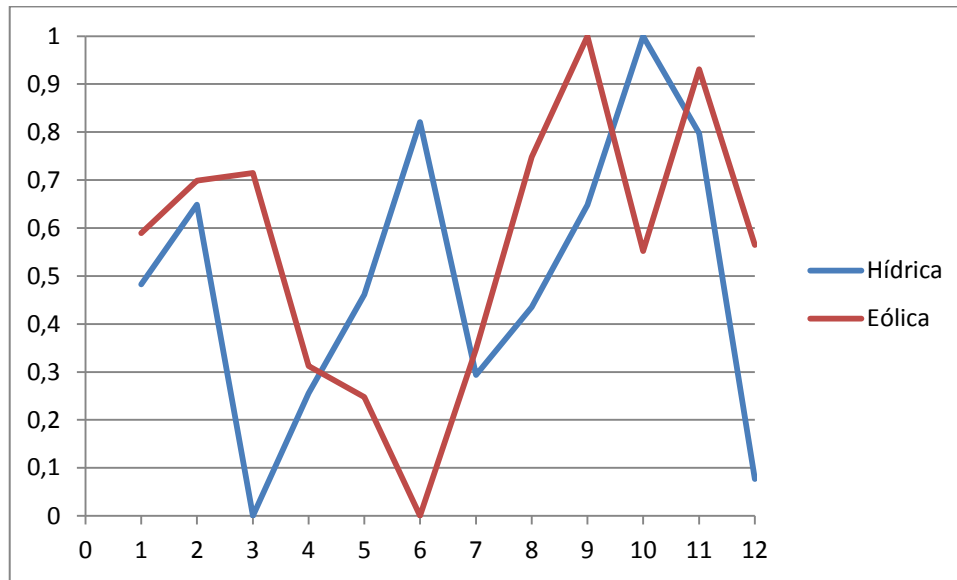


Gráfico A.1. Complementaridade na cidade de Bagé.

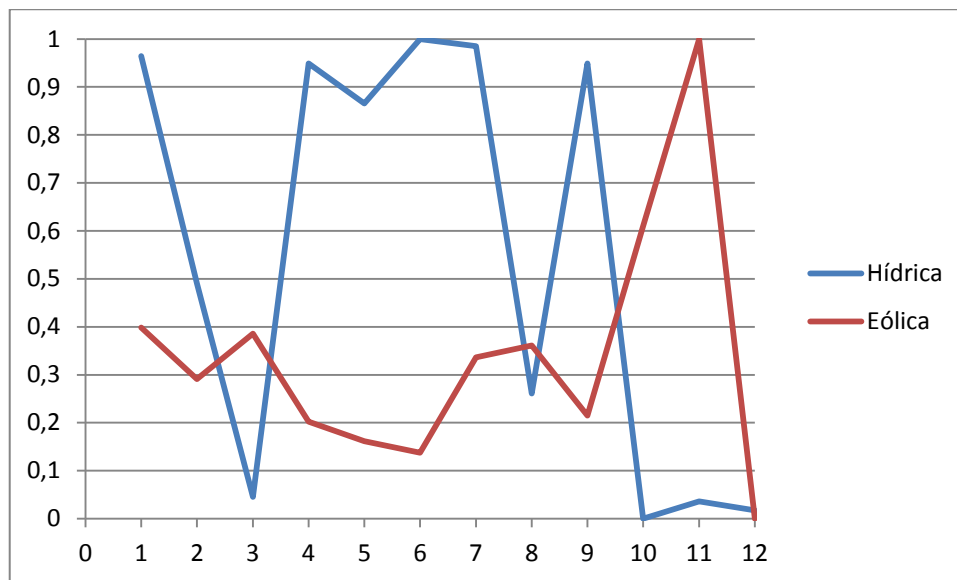


Gráfico A.2. Complementaridade na cidade de Bento Gonçalves.

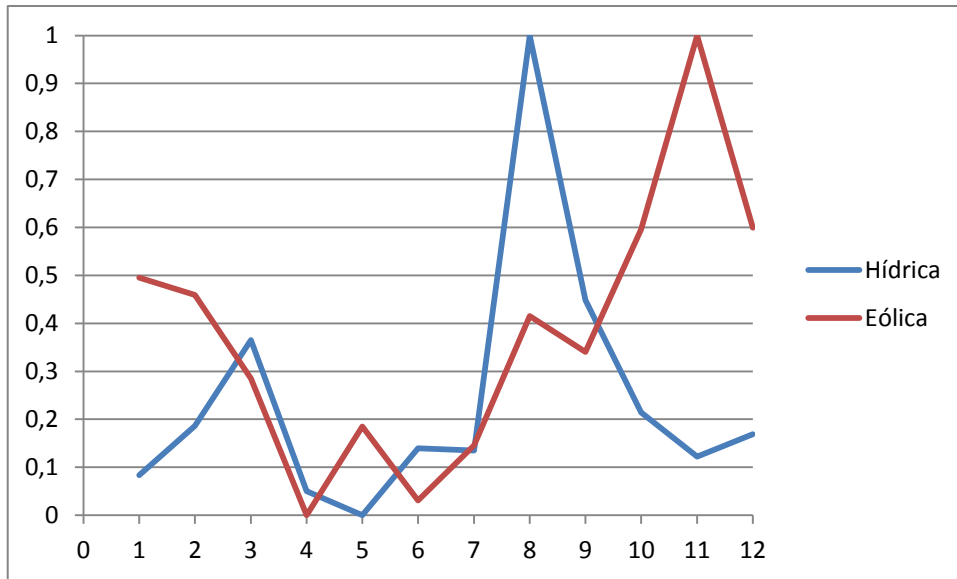


Gráfico A.3. Complementaridade na cidade de Bom Jesus.

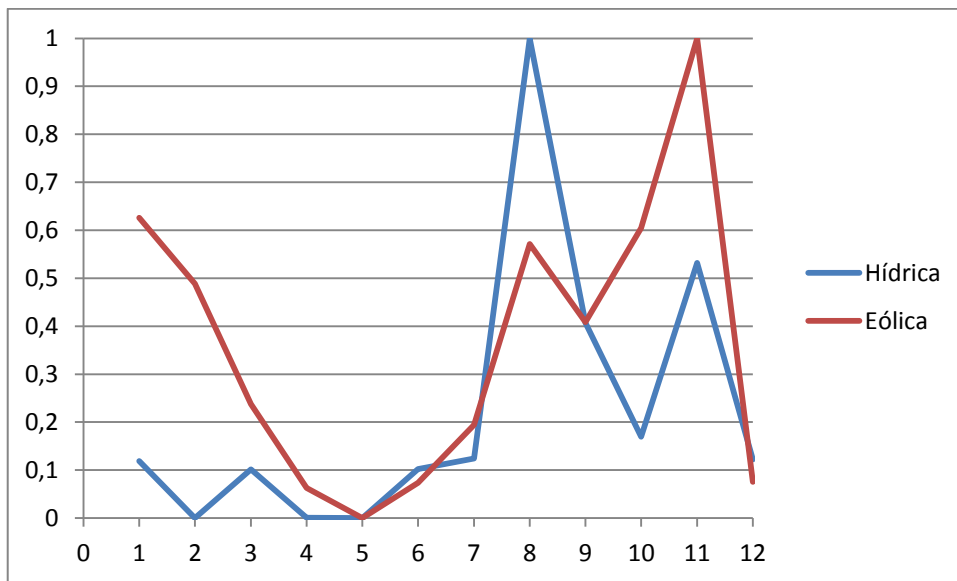


Gráfico A.4. Complementaridade na cidade de Caxias do Sul.

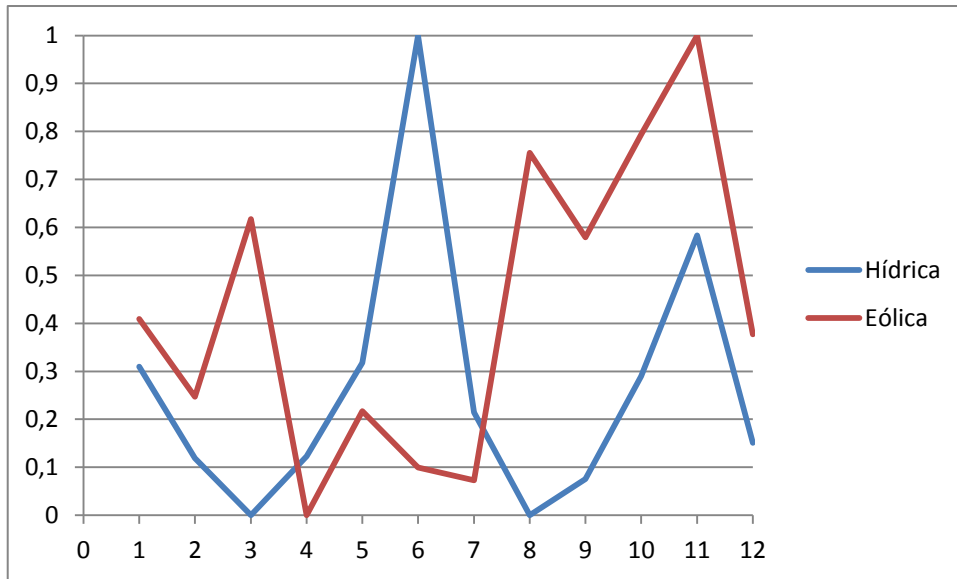


Gráfico A.5. Complementaridade na cidade de Cruz Alta.

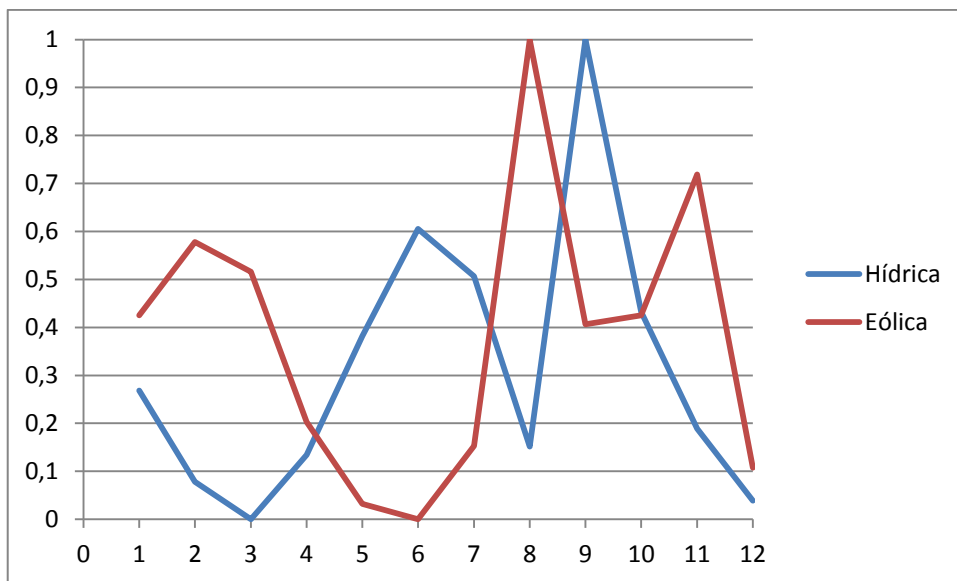


Gráfico A.6. Complementaridade na cidade de Encruzilhada do Sul.

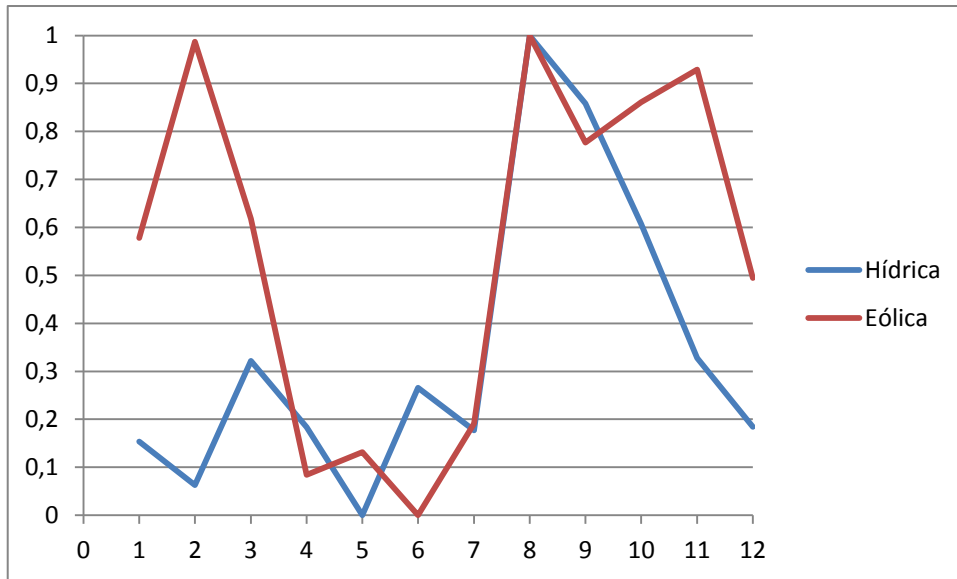


Gráfico A.7. Complementaridade na cidade de Iraí.

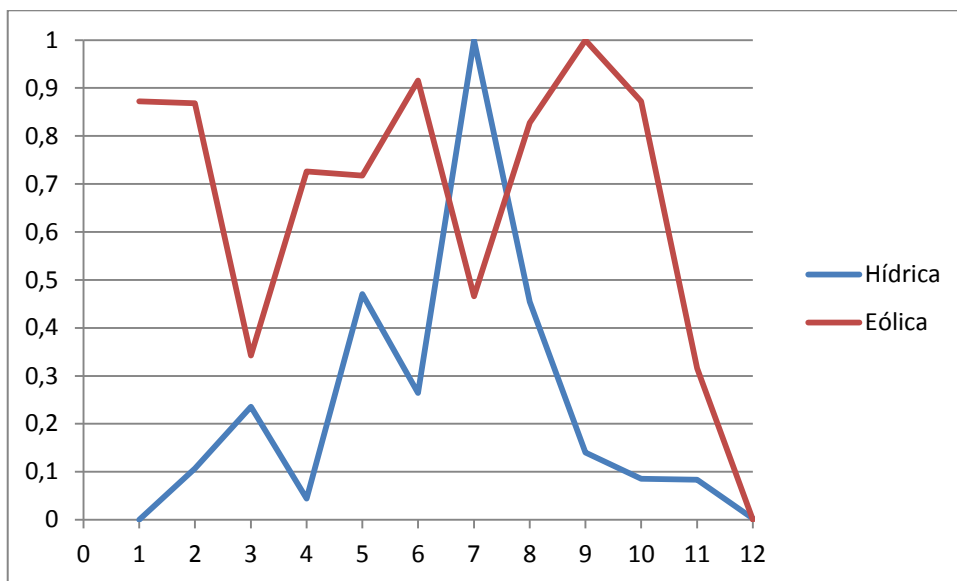


Gráfico A.8. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha.

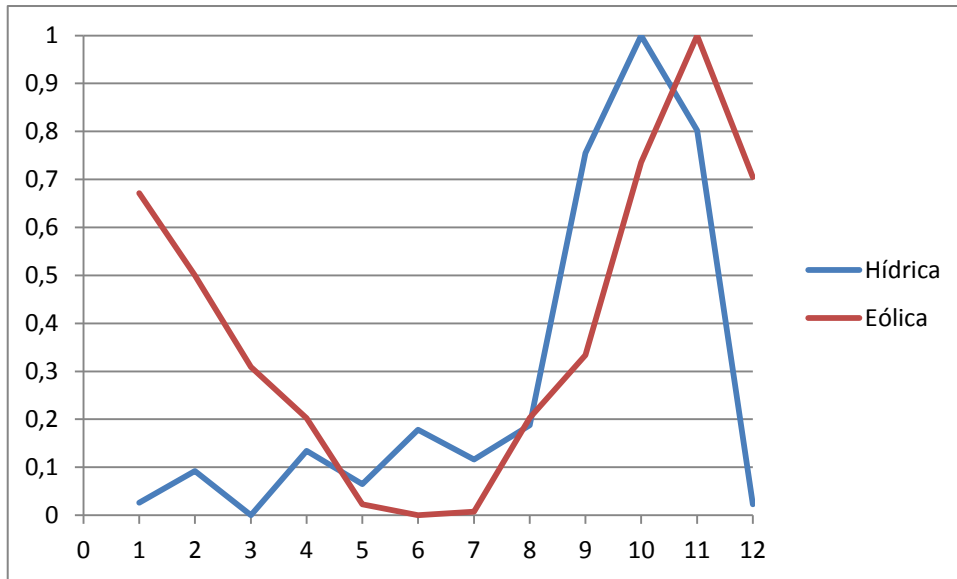


Gráfico A.9. Complementaridade na cidade de Pelotas.

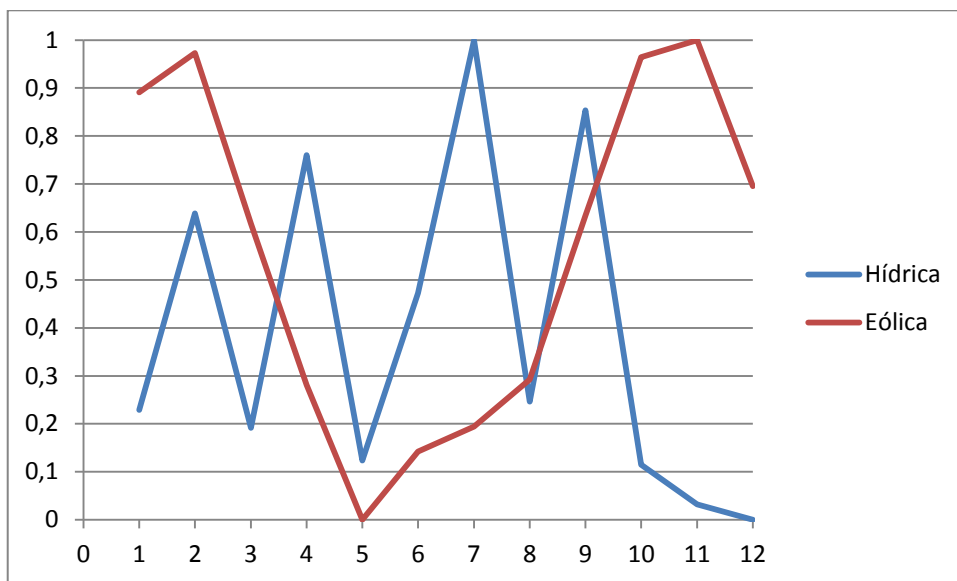


Gráfico A.10. Complementaridade na cidade de Porto Alegre.

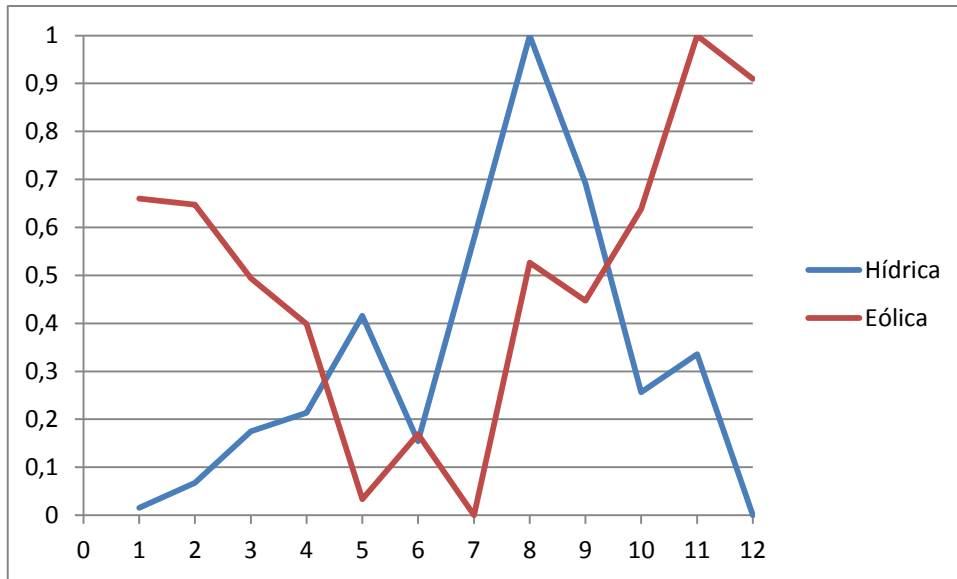


Gráfico A.11. Complementaridade na cidade de Rio Grande.

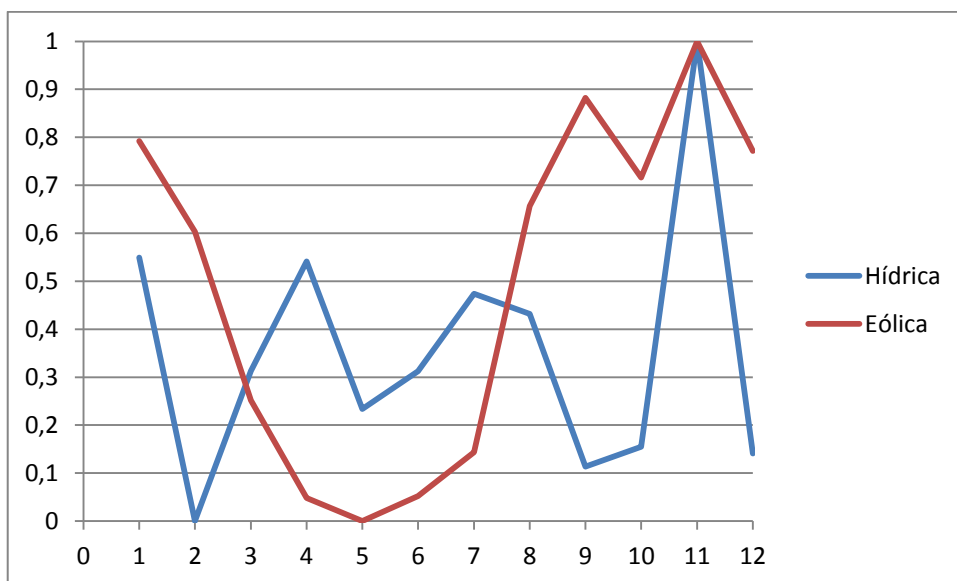


Gráfico A.12. Complementaridade na cidade de Santa Maria.

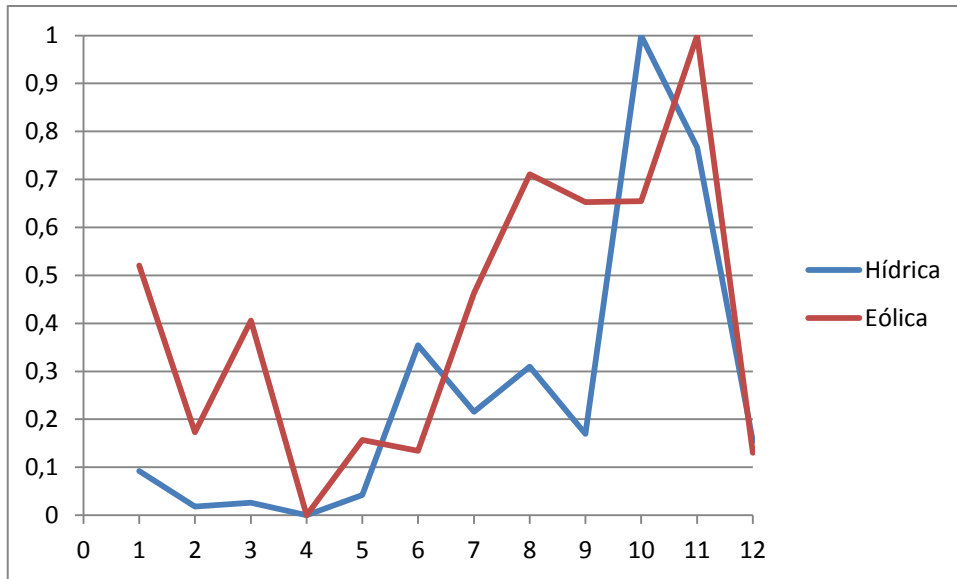


Gráfico A.13. Complementaridade na cidade de São Luiz Gonzaga.

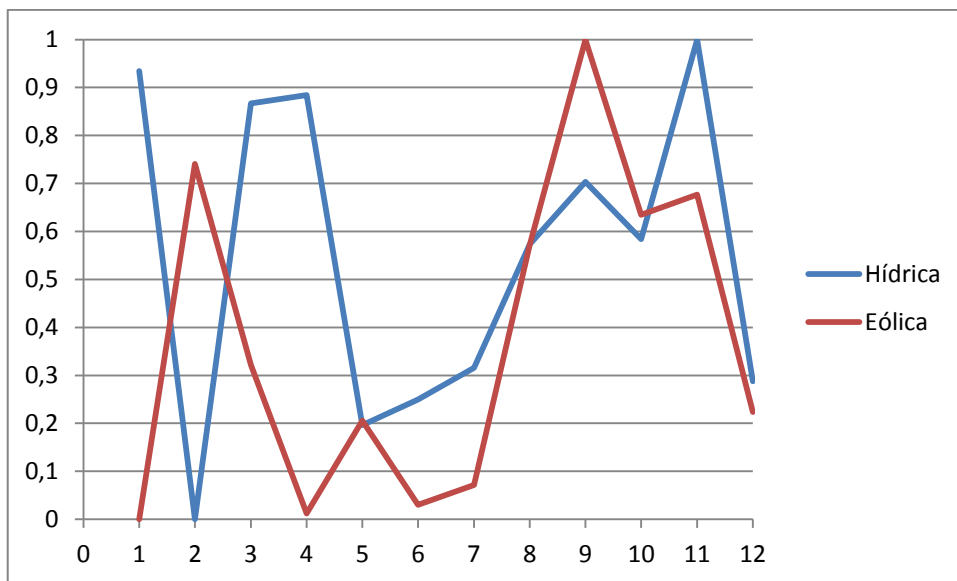


Gráfico A.14. Complementaridade na cidade de Uruguaiana.



## 2. Complementaridade entre as Energias Hídrica e Solar Fotovoltaica

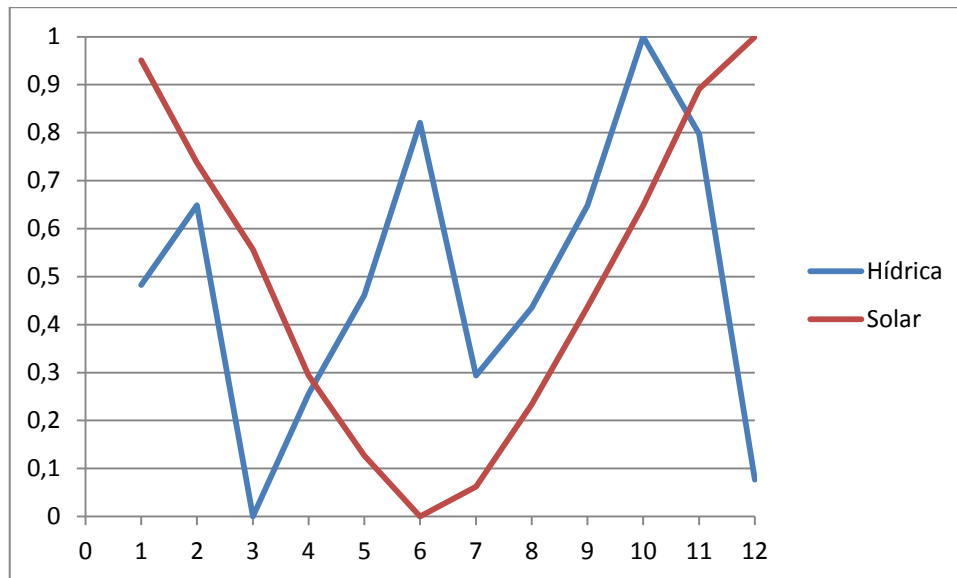


Gráfico A.15. Complementaridade na cidade de Bagé.

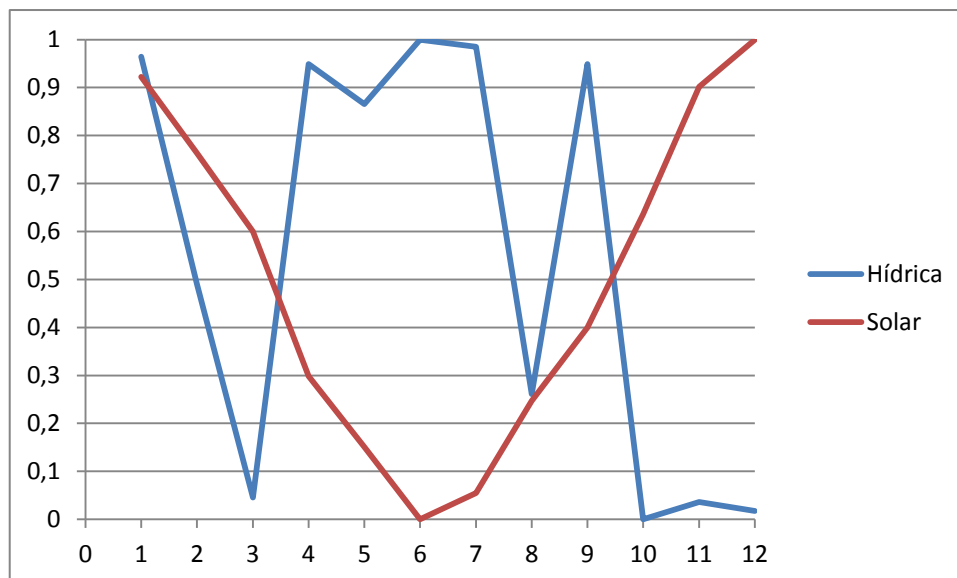


Gráfico A.16. Complementaridade na cidade de Bento Gonçalves.

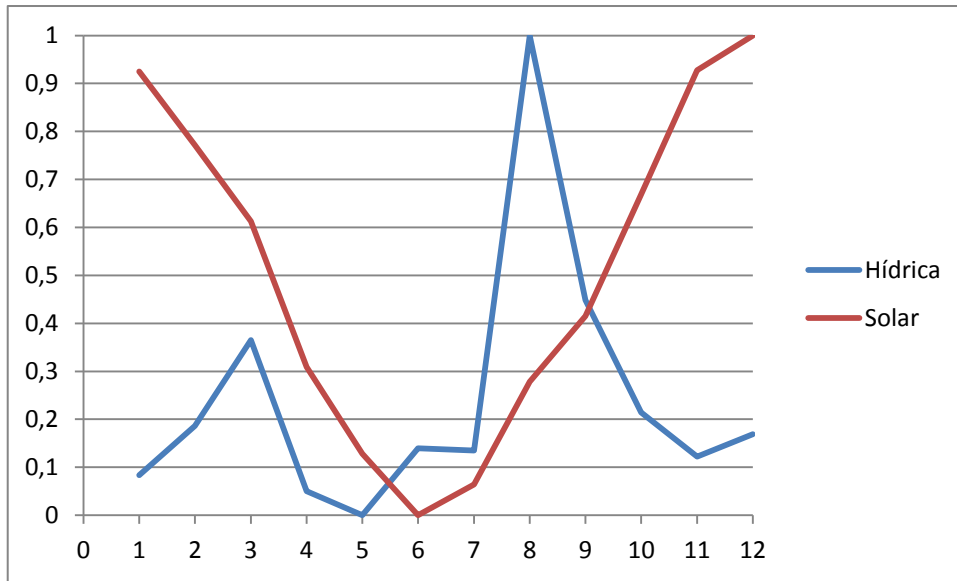


Gráfico A.17. Complementaridade na cidade de Bom Jesus.

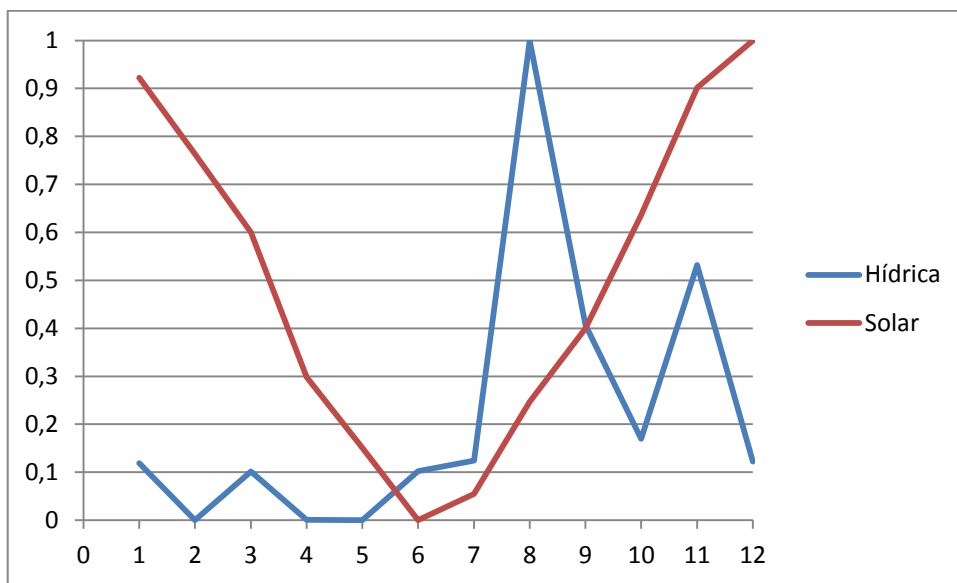


Gráfico A.18. Complementaridade na cidade de Caxias do Sul.

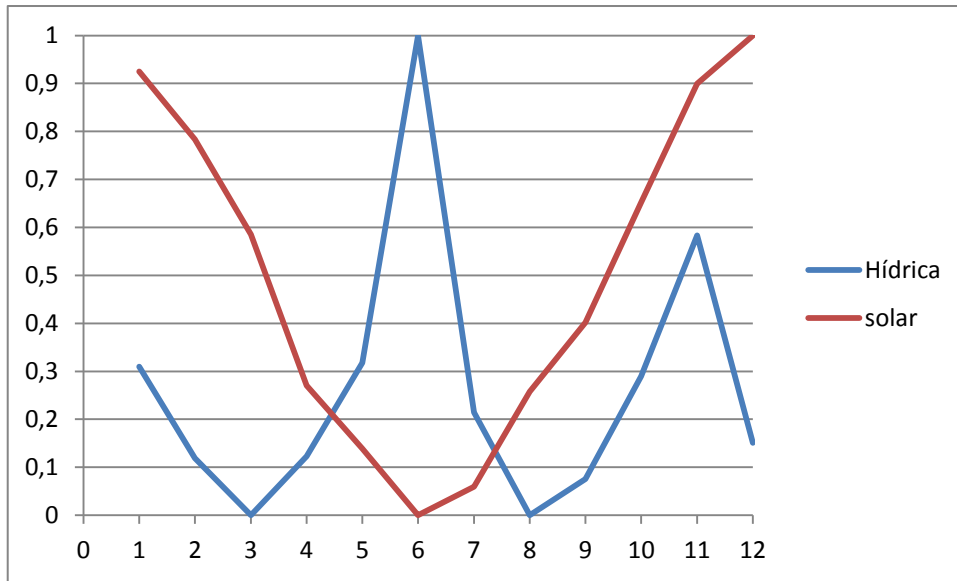


Gráfico A.19. Complementaridade na cidade de Cruz Alta.

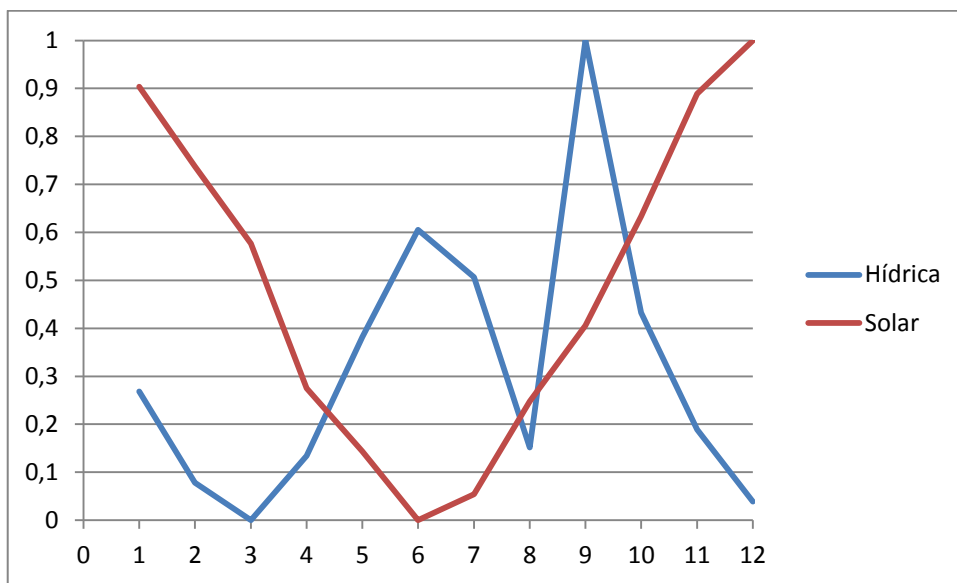


Gráfico A.20. Complementaridade na cidade de Encruzilhada do Sul.

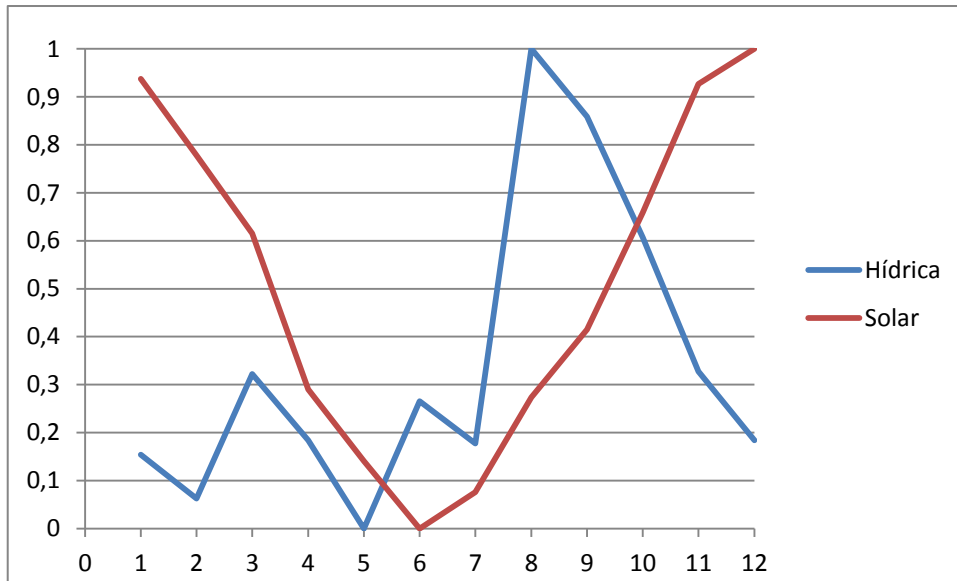


Gráfico A.21. Complementaridade na cidade de Iraí.

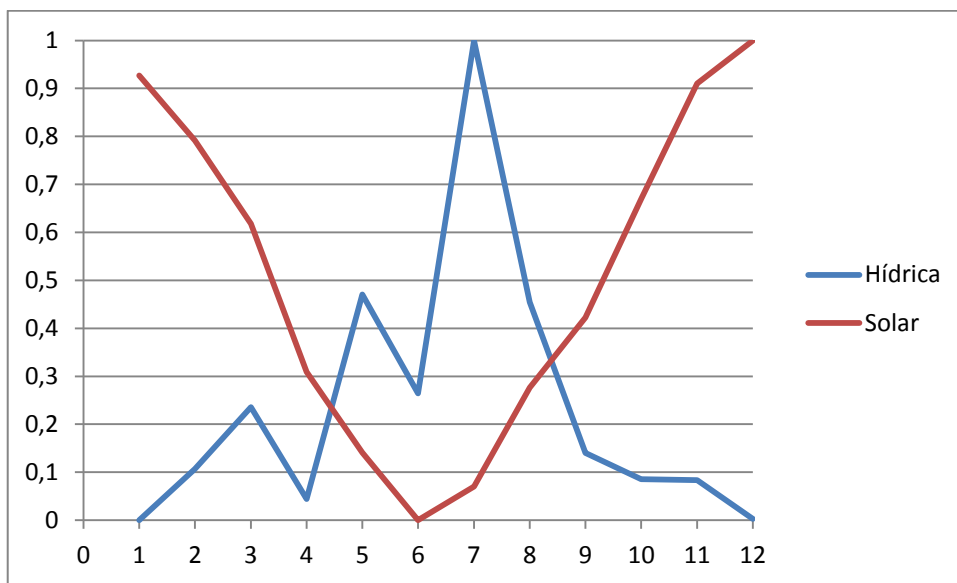


Gráfico A.22. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha.

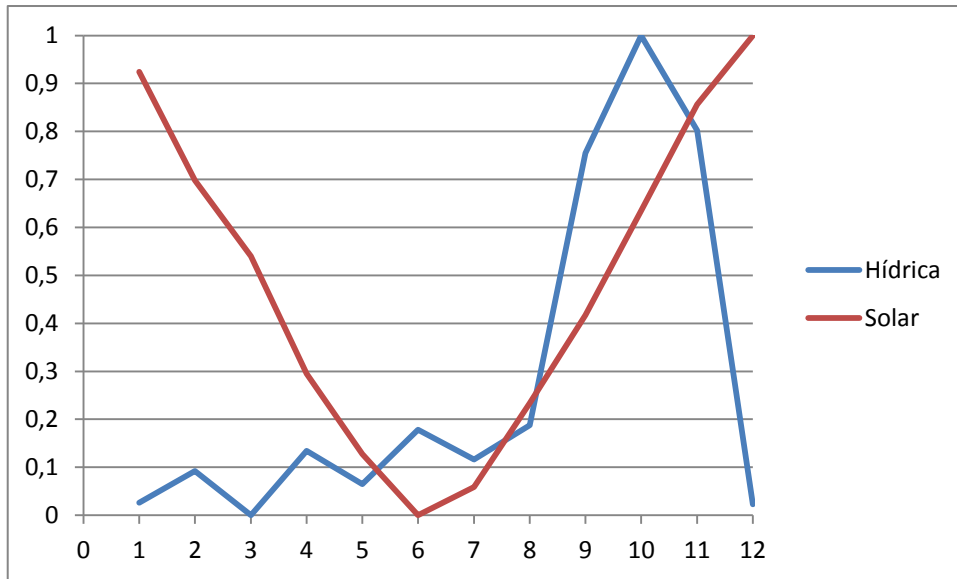


Gráfico A.23. Complementaridade na cidade de Pelotas.

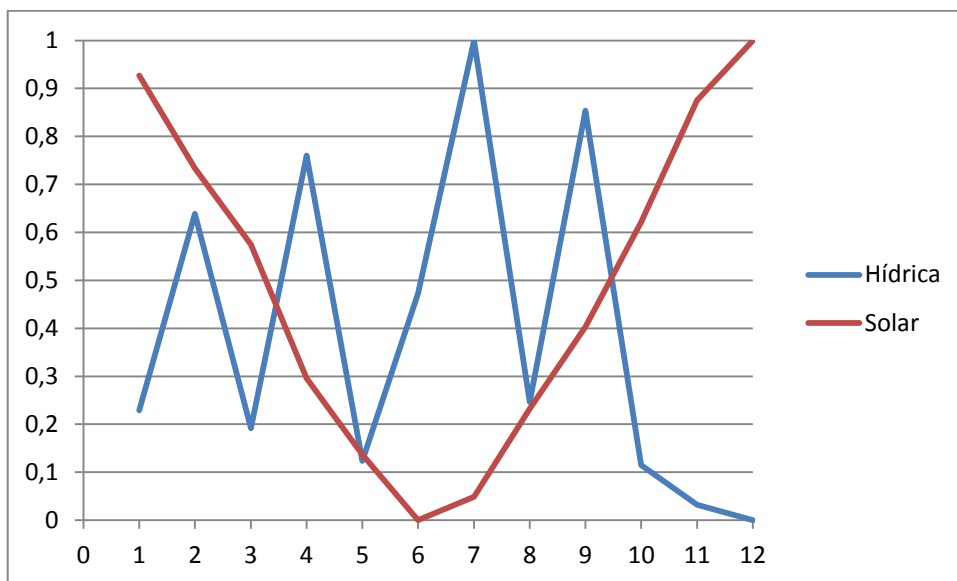


Gráfico A.24. Complementaridade na cidade de Porto Alegre.

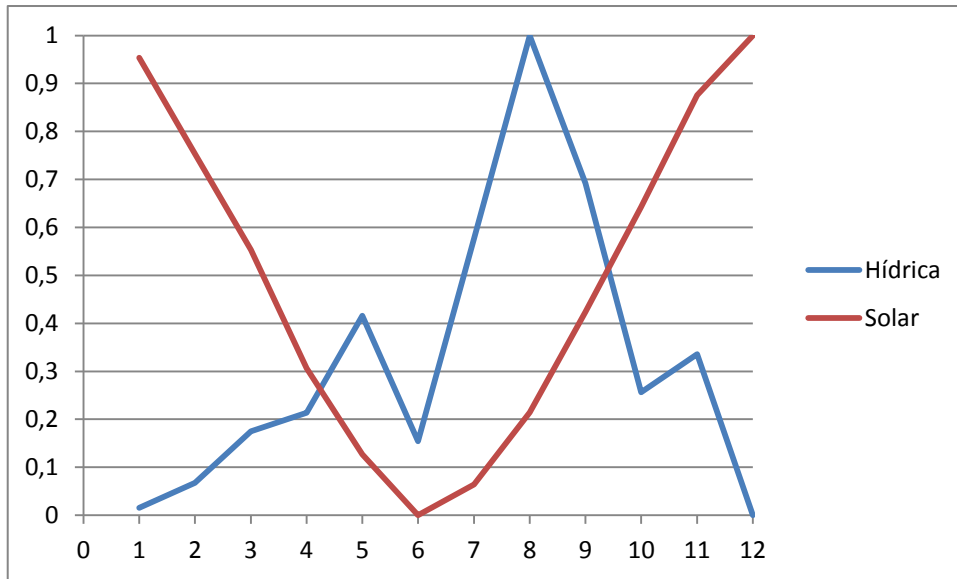


Gráfico A.25. Complementaridade na cidade de Rio Grande.

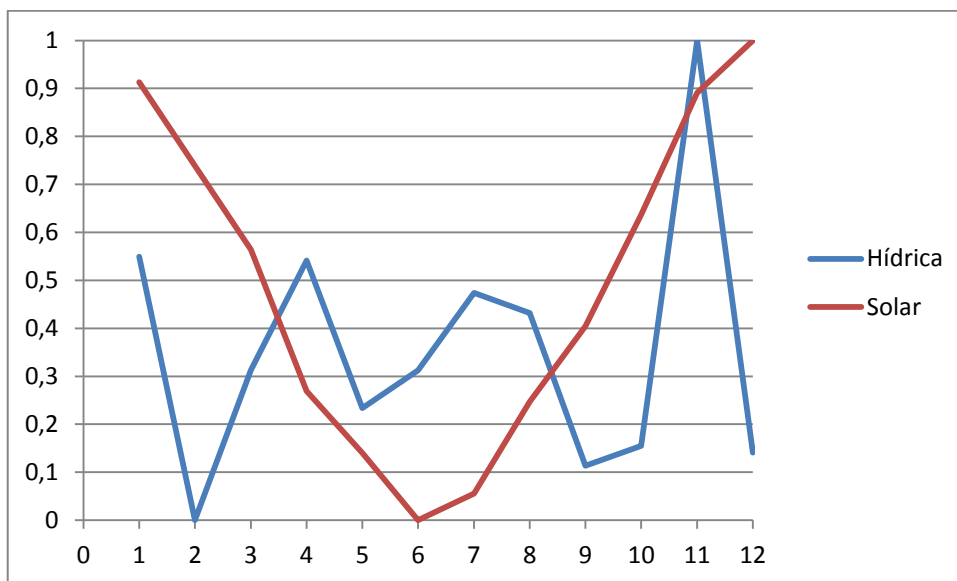


Gráfico A.26. Complementaridade na cidade de Santa Maria.

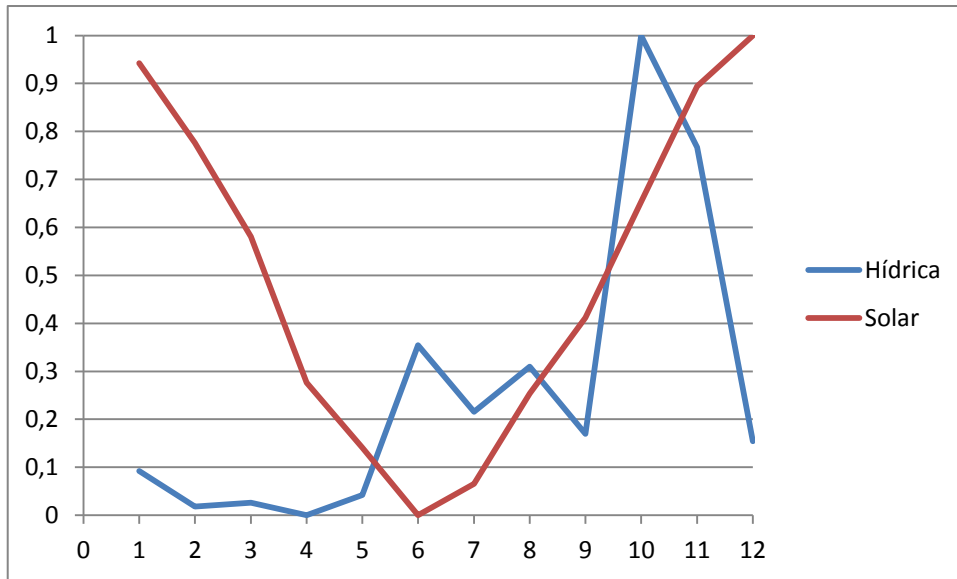


Gráfico A.27. Complementaridade na cidade de São Luiz Gonzaga.

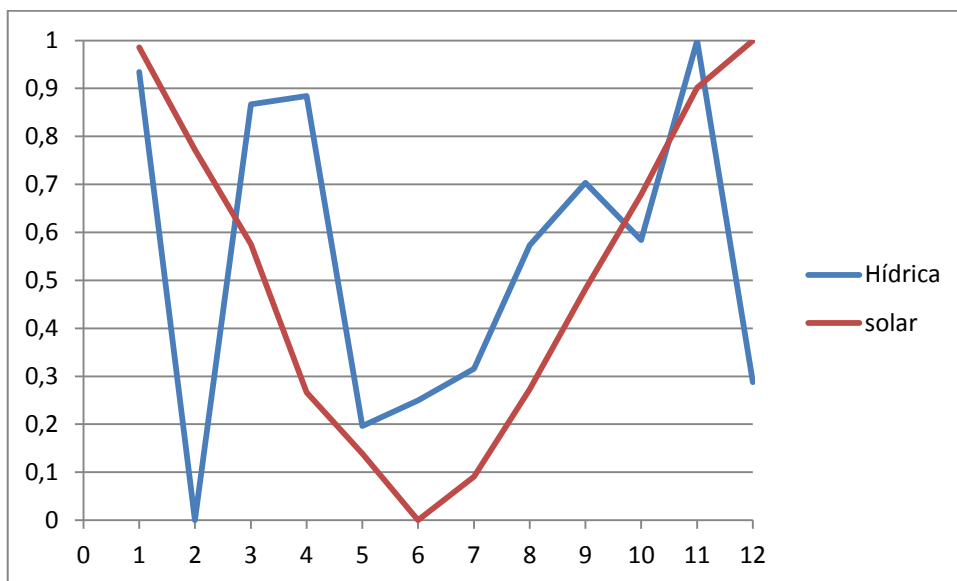


Gráfico A.28. Complementaridade na cidade de Uruguiana.

### 3. Complementaridade entre as Energias Eólica e Solar Fotovoltaica

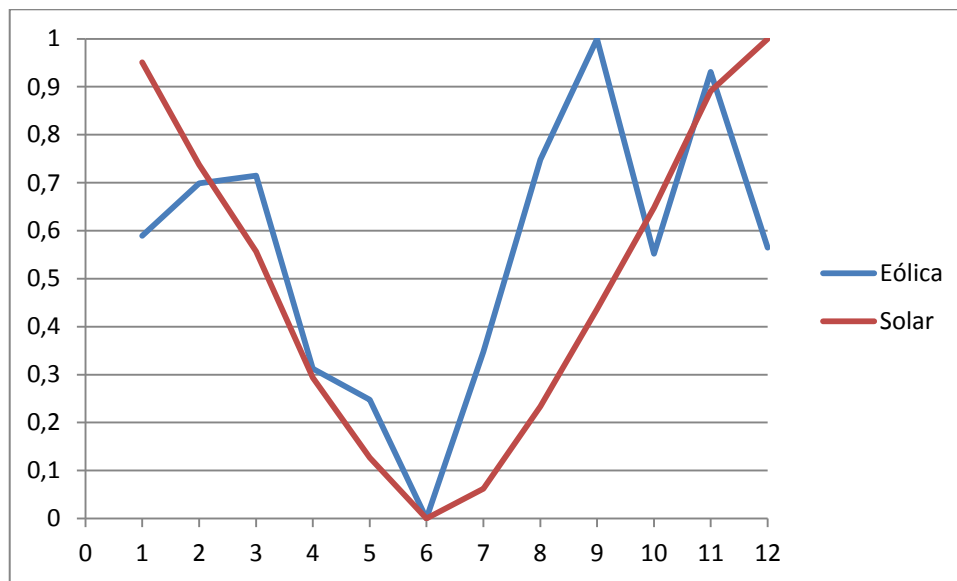


Gráfico A.29. Complementaridade na cidade de Bagé.

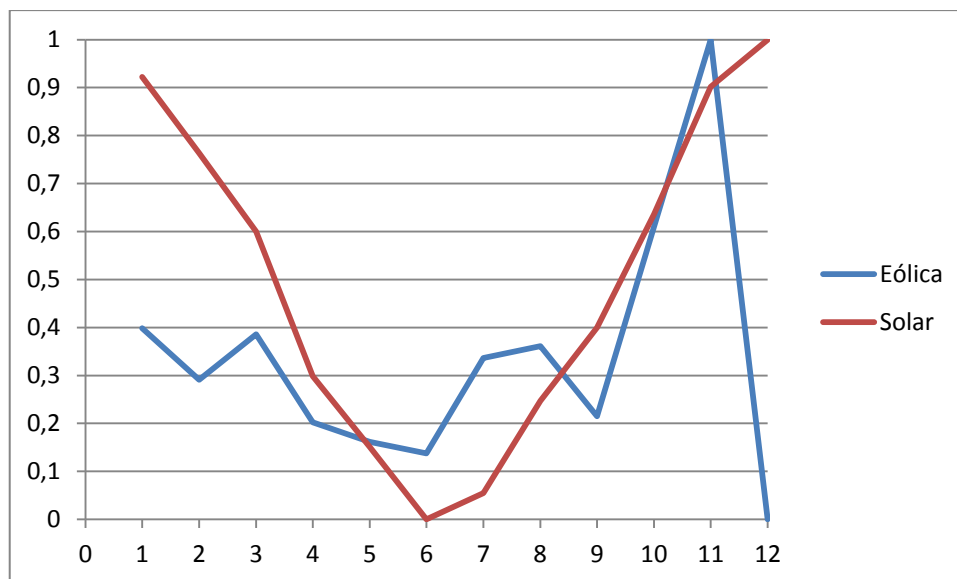


Gráfico A.30. Complementaridade na cidade de Bento Gonçalves.



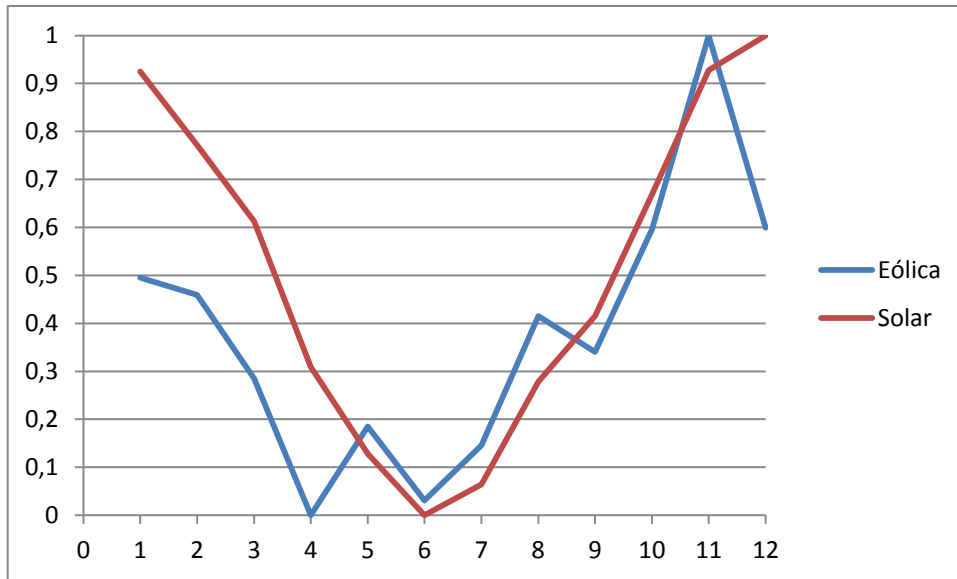


Gráfico A.31. Complementaridade na cidade de Bom Jesus.

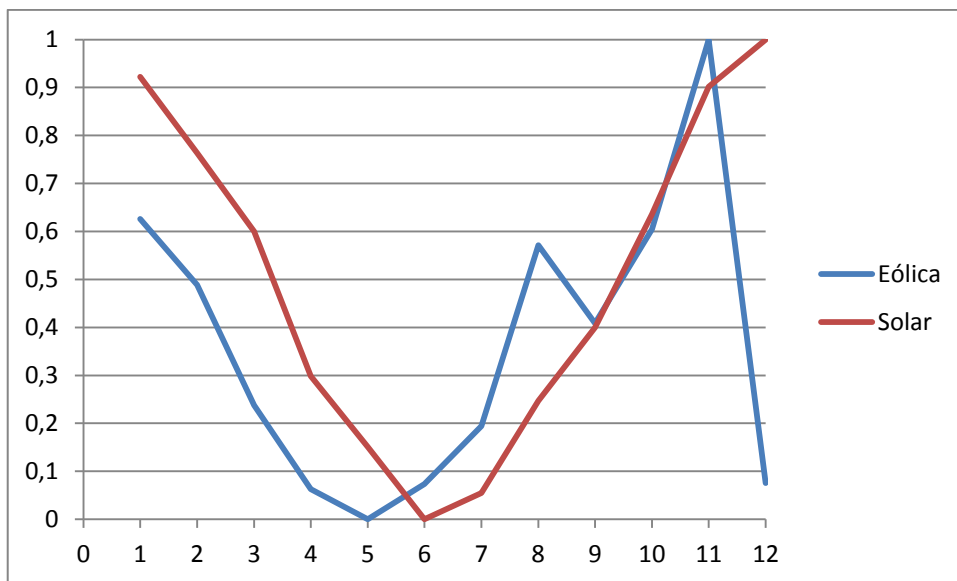


Gráfico A.32. Complementaridade na cidade de Caxias do Sul.

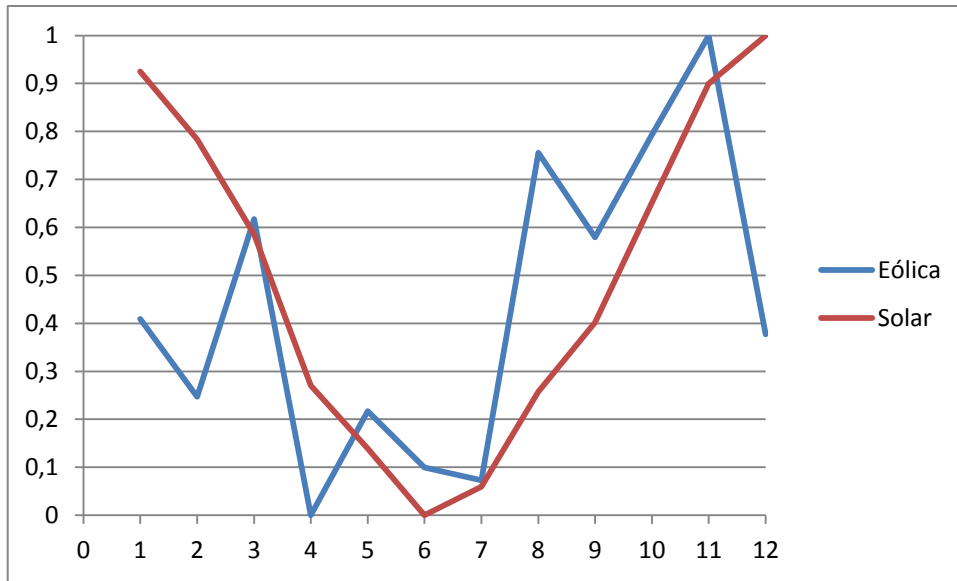


Gráfico A.33. Complementaridade na cidade de Cruz Alta.

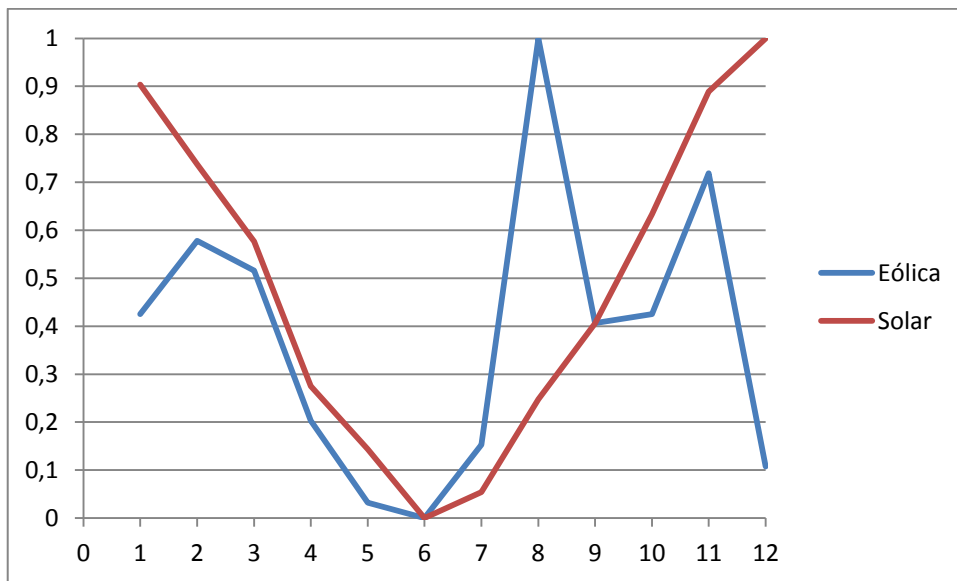


Gráfico A.34. Complementaridade na cidade de Encruzilhada do Sul.

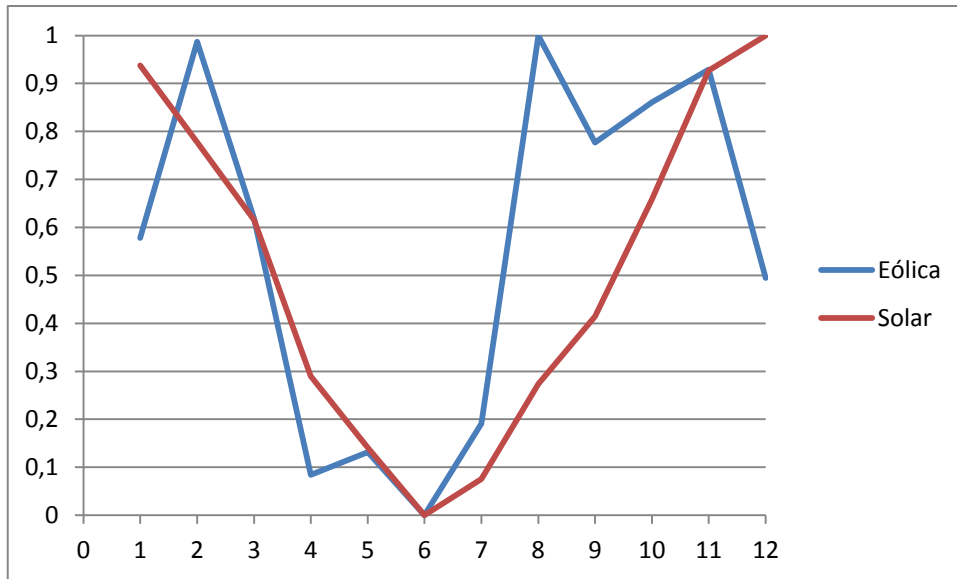


Gráfico A.35. Complementaridade na cidade de Iraí.

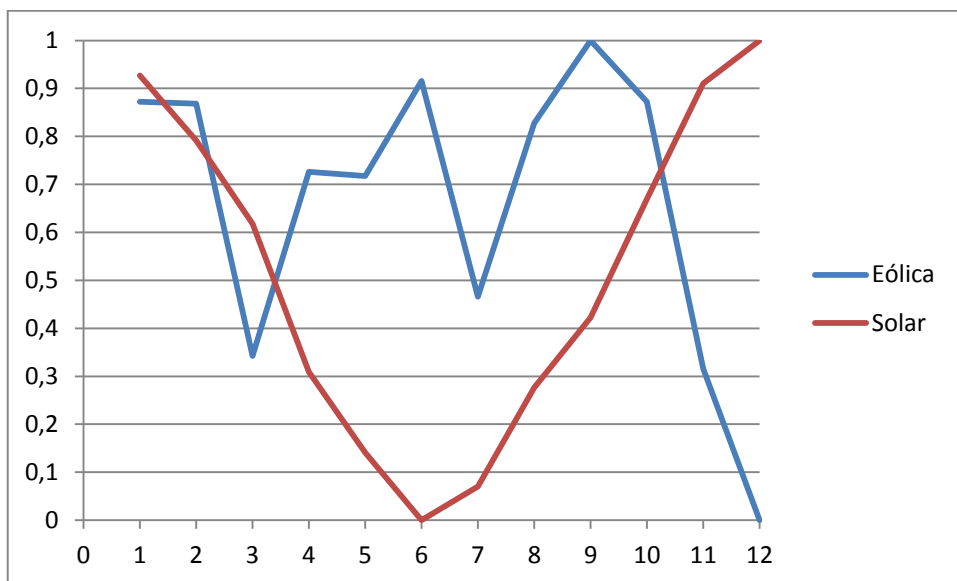


Gráfico A.36. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha.

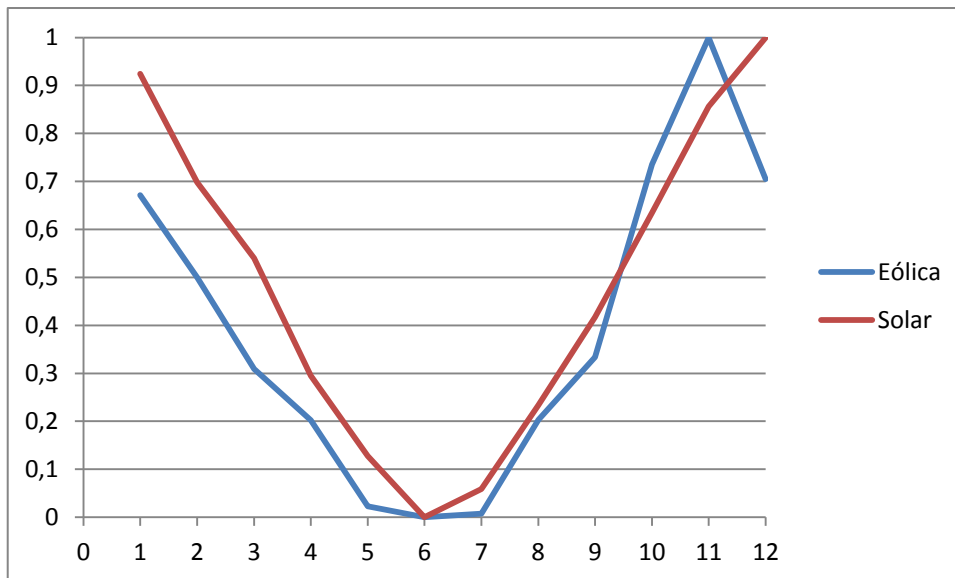


Gráfico A.37. Complementaridade na cidade de Pelotas.

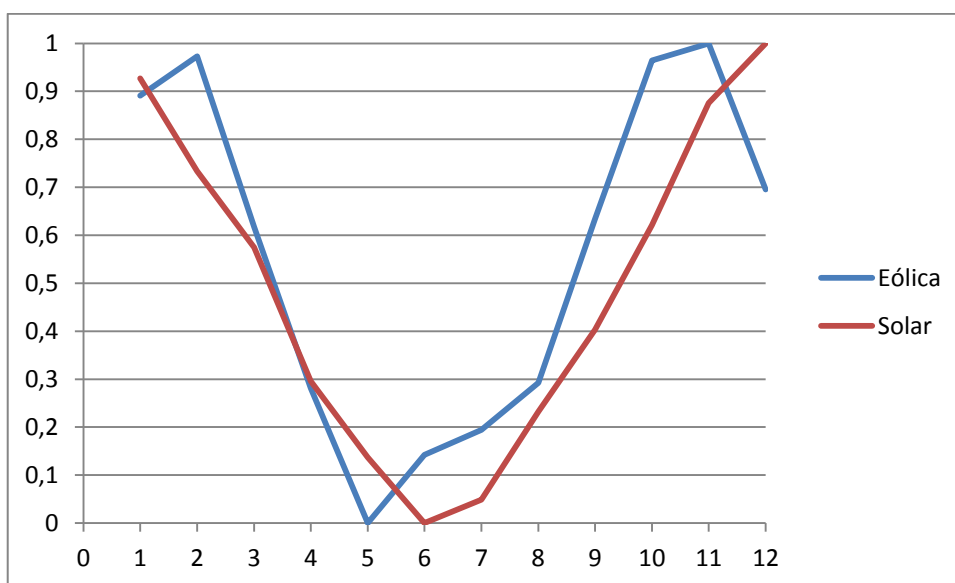


Gráfico A.38. Complementaridade na cidade de Porto Alegre.

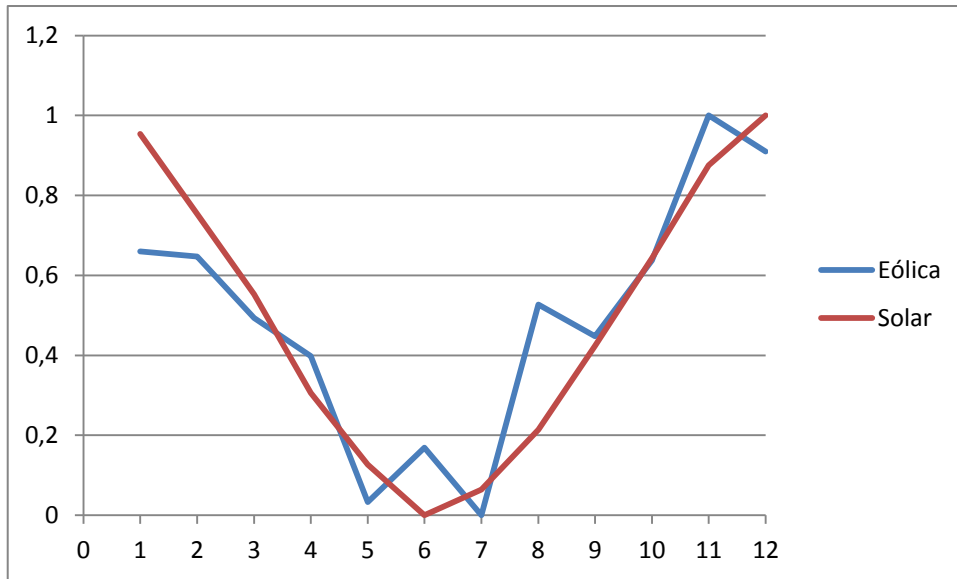


Gráfico A.39. Complementaridade na cidade de Rio Grande.

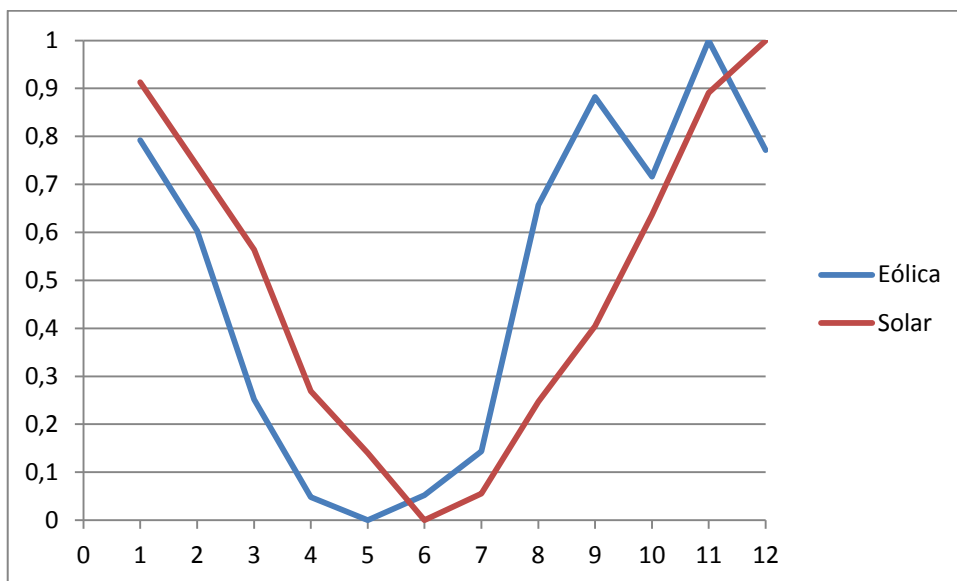


Gráfico A.40. Complementaridade na cidade de Santa Maria.

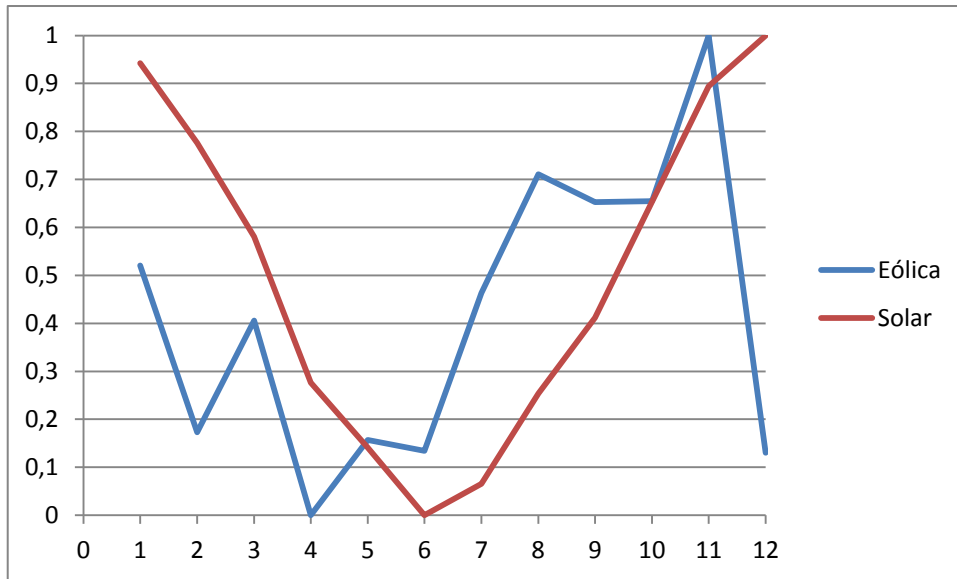


Gráfico A.41. Complementaridade na cidade de São Luiz Gonzaga.

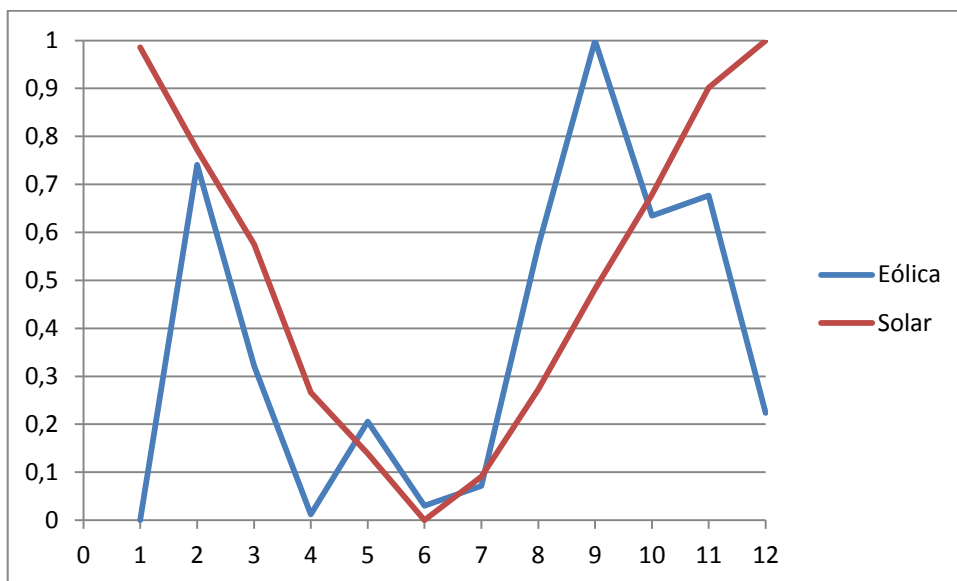


Gráfico A.42. Complementaridade na cidade de Uruguiana.

#### 4. Complementaridade entre as Energias Hídrica, Eólica e Solar Fotovoltaica

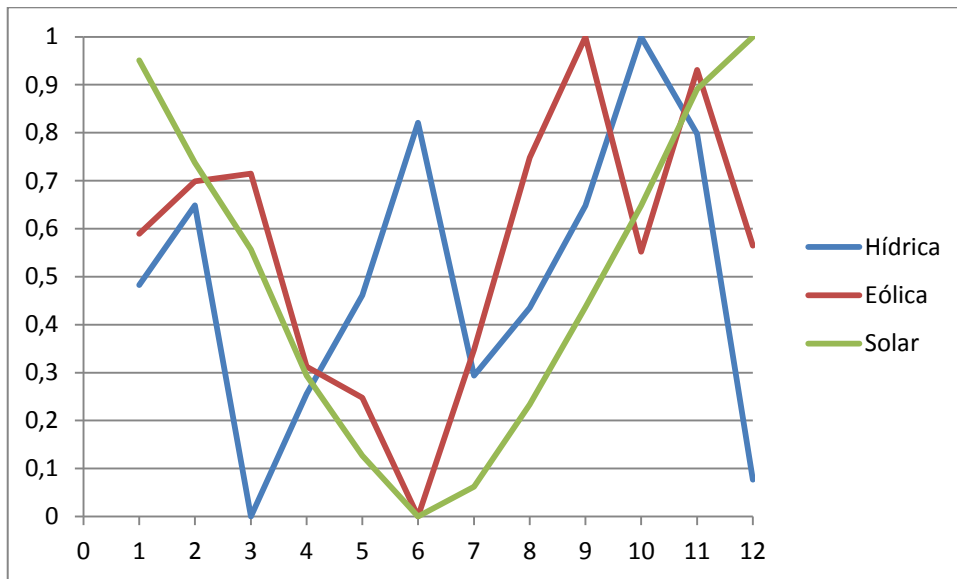


Gráfico A.43. Complementaridade na cidade de Bagé

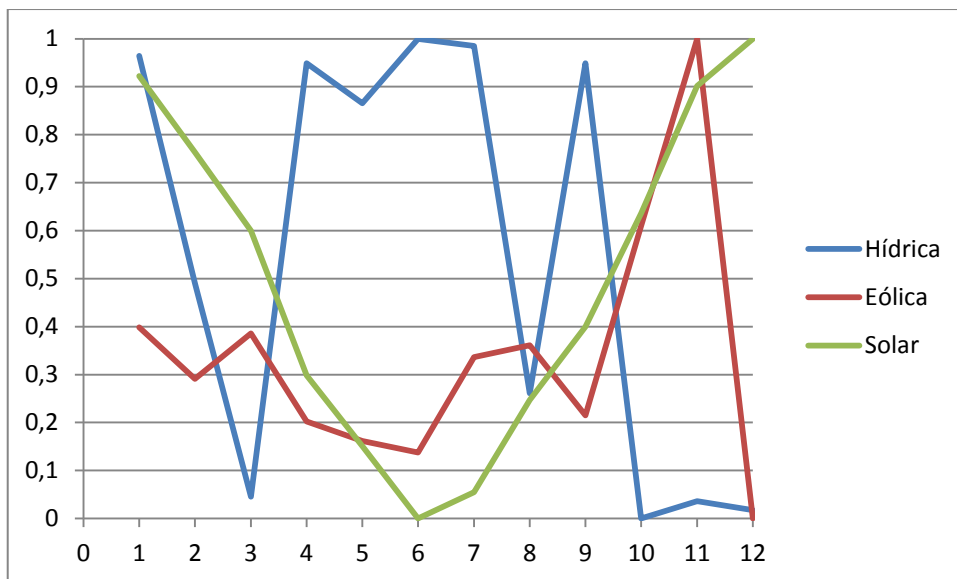


Gráfico A.44. Complementaridade na cidade de Bento Gonçalves.

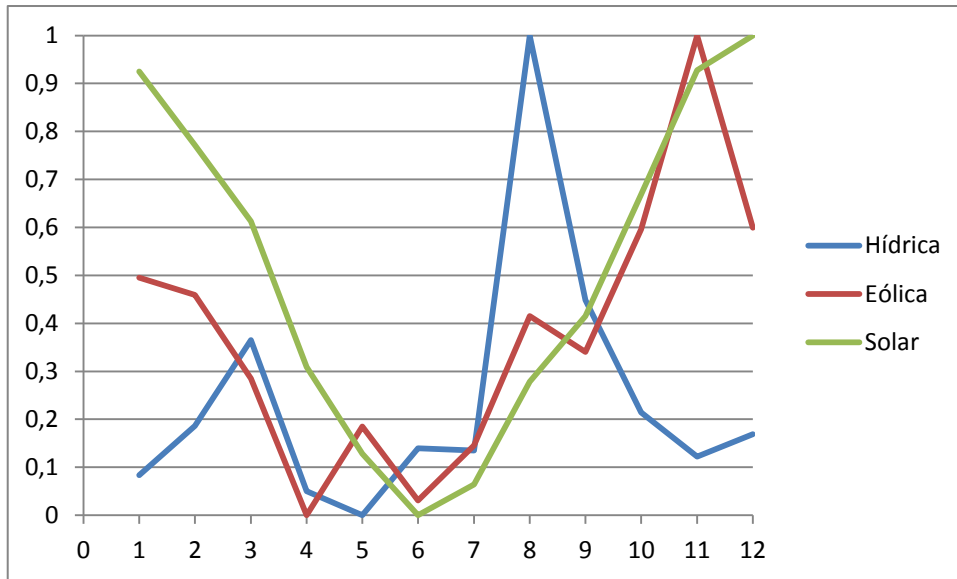


Gráfico A.45. Complementaridade na cidade de Bom Jesus.

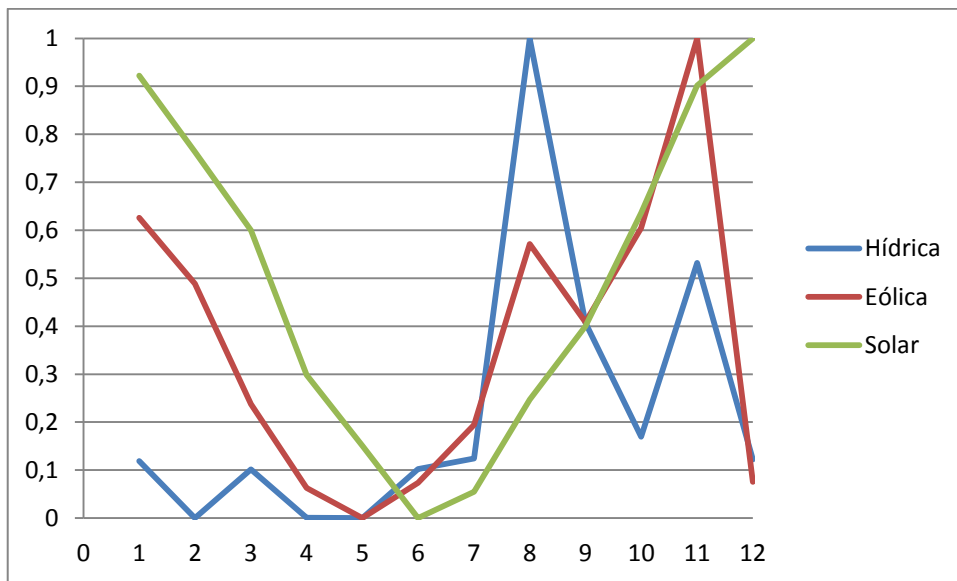


Gráfico A.46. Complementaridade na cidade de Caxias do Sul.



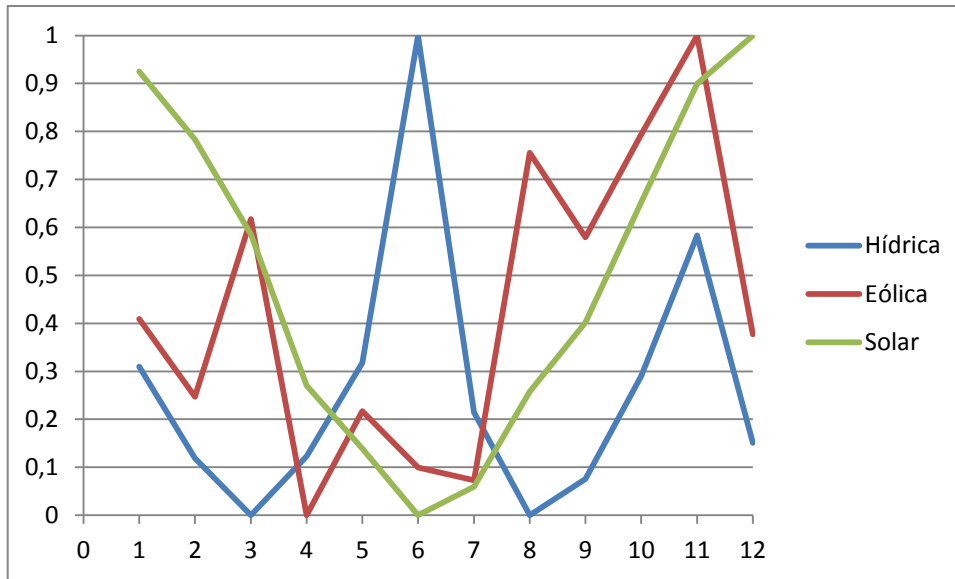


Gráfico A.47. Complementaridade na cidade de Cruz Alta.

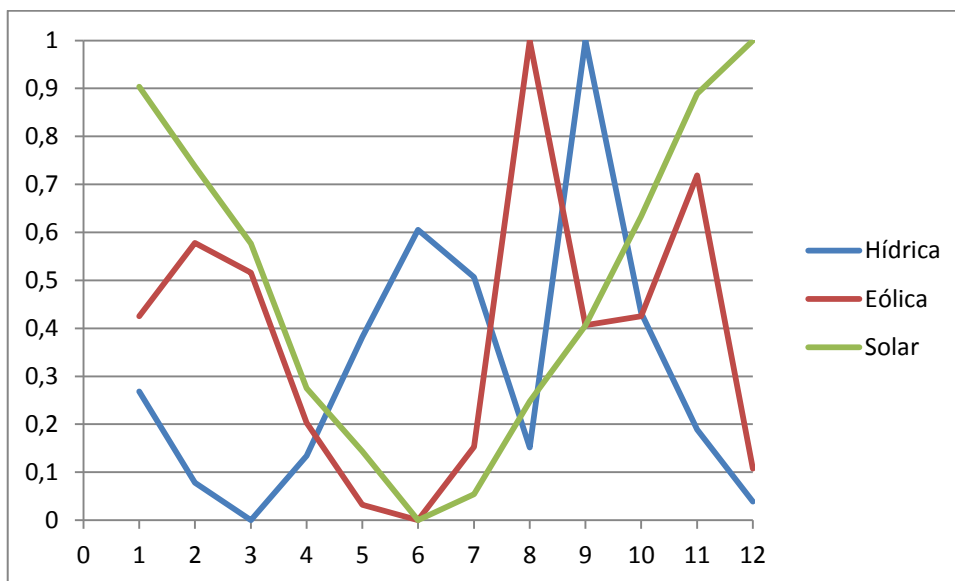


Gráfico A.48. Complementaridade na cidade de Encruzilhada do Sul.

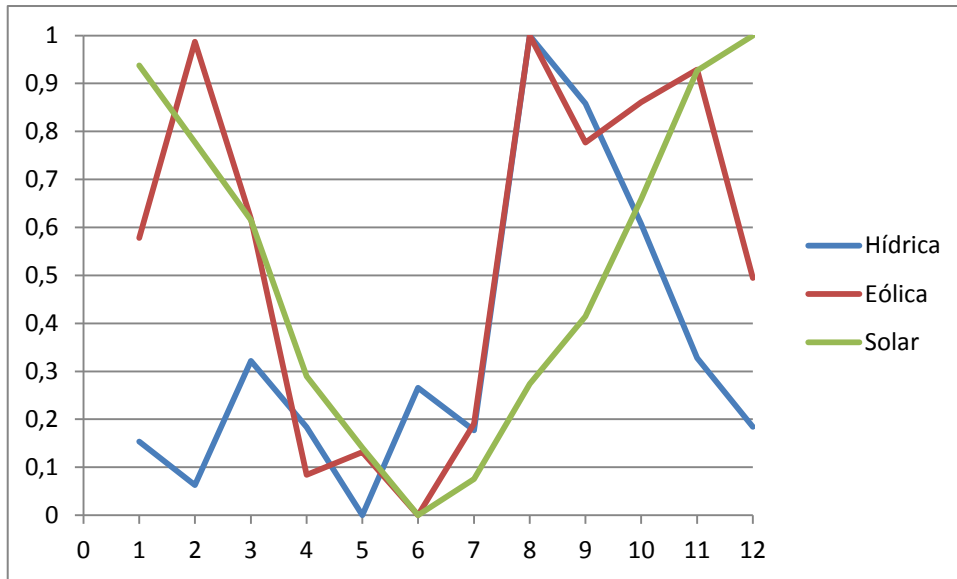


Gráfico A.49. Complementaridade na cidade de Iraí.

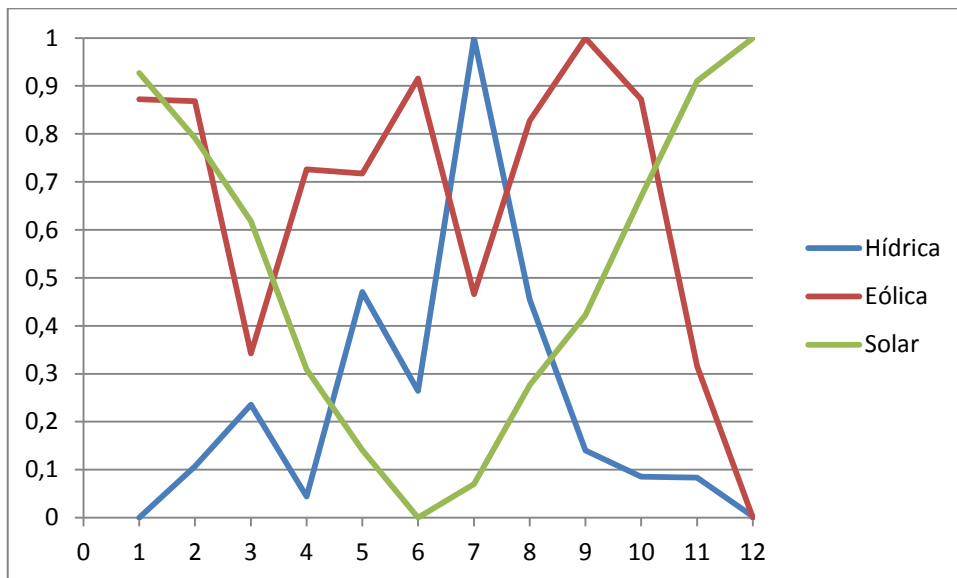


Gráfico A.50. Complementaridade na cidade de Lagoa Vermelha.

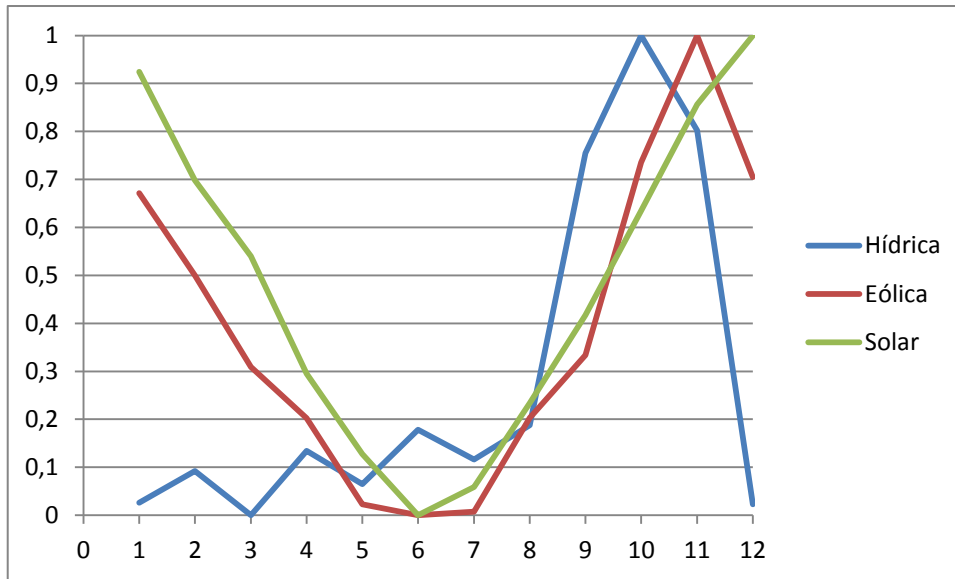


Gráfico A.51. Complementaridade na cidade de Pelotas.

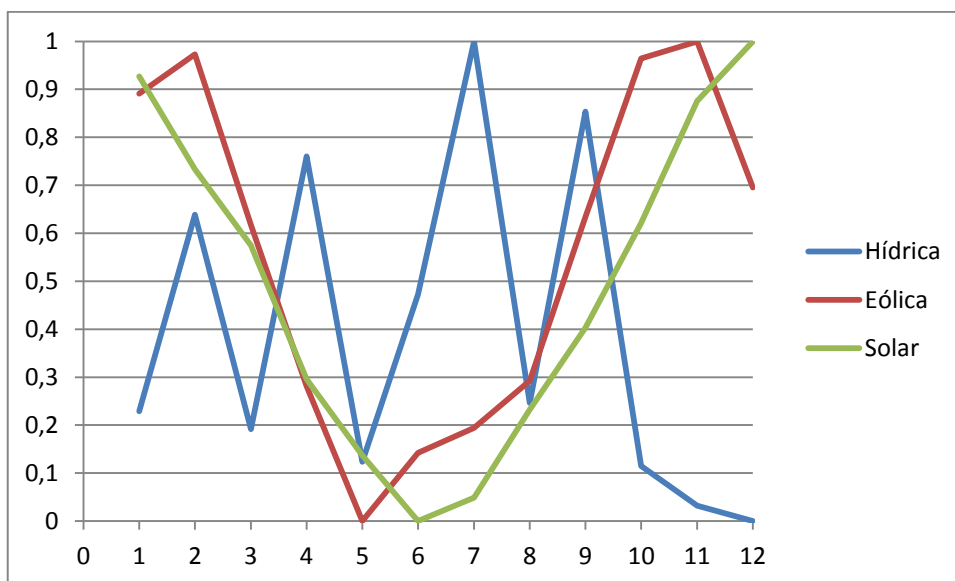


Gráfico A.52. Complementaridade na cidade de Porto Alegre.

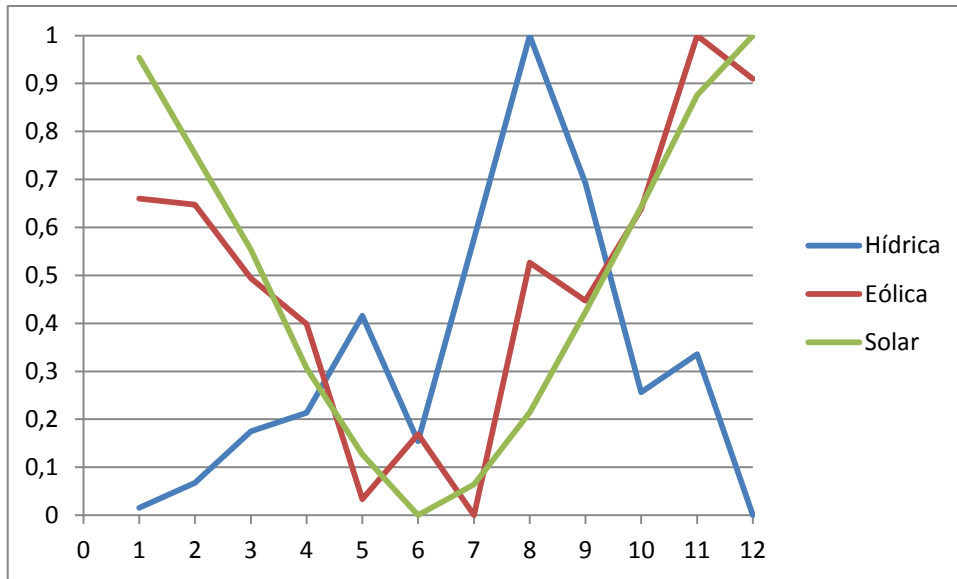


Gráfico A.53. Complementaridade na cidade de Rio Grande.

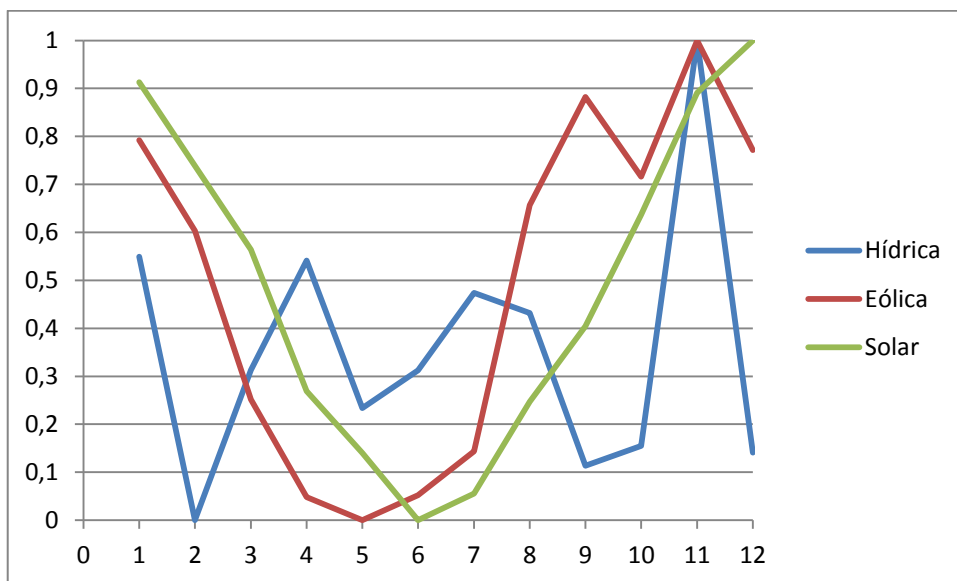


Gráfico A.54. Complementaridade na cidade de Santa Maria.

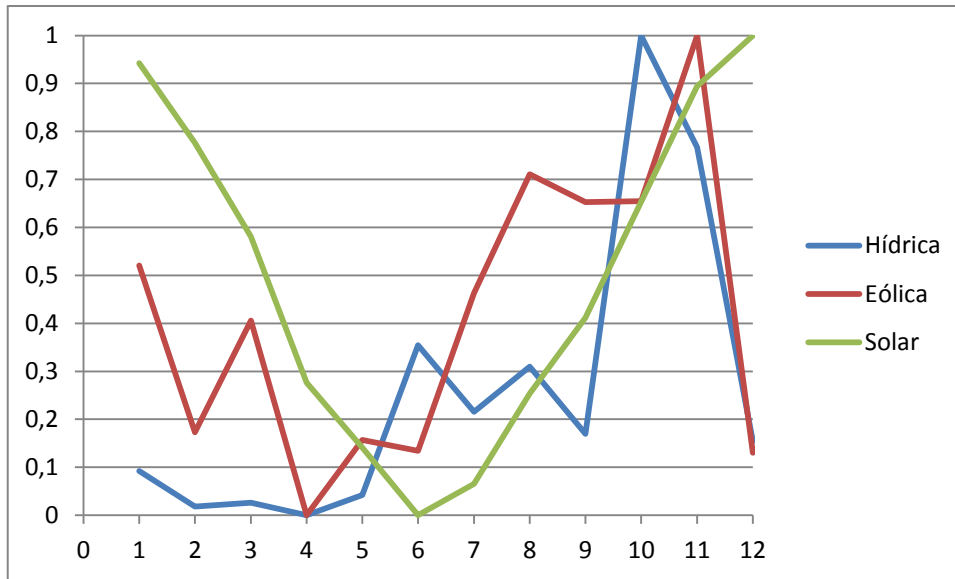


Gráfico A.55. Complementaridade na cidade de São Luiz Gonzaga.

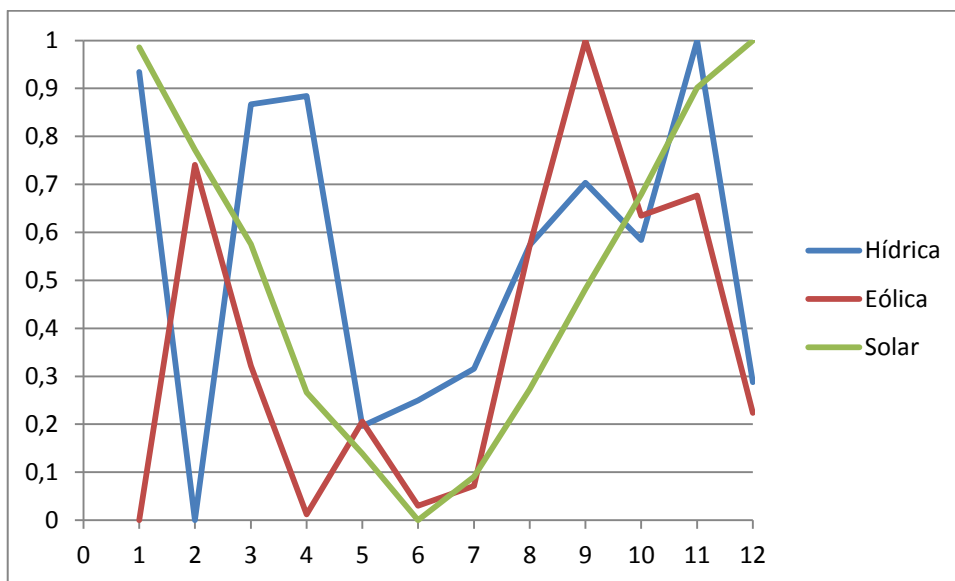


Gráfico A.56. Complementaridade na cidade de Uruguaiana.

## **APÊNDICE B – Dados de Vazão e Velocidade do Vento**

Esse apêndice apresenta os dados de vazão e velocidade do vento extraídos da ANA e do INMET.

## 1. Dados de Vazão

### Bagé

//EstacaoCodigo	NivelConsistencia	Data	Hora	MediaDiaria	MetodoObtencao	Vazoes	Media
79200000	1	01/01/2013		1	1		10,0573
79200000	1	01/02/2013		1	1		13,2061
79200000	1	01/03/2013		1	1		0,8875
79200000	1	01/04/2013		1	1		5,7402
79200000	1	01/05/2013		1	1		9,6519
79200000	1	01/06/2013		1	1		16,4857
79200000	1	01/07/2013		1	1		6,4669
79200000	1	01/08/2013		1	1		9,1533
79200000	1	01/09/2013		1	1		13,1955
79200000	1	01/10/2013		1	1		19,8824
79200000	1	01/11/2013		1	1		16,04
79200000	1	01/12/2013		1	1		2,3506

### Bento Gonçalves

86450000	1	01/01/2010		1	1		275,24
86450000	1	01/02/2010		1	1		150
86450000	1	01/03/2010		1	1		32,36
86450000	1	01/04/2010		1	1		271,13
86450000	1	01/05/2010		1	1		249,12
86450000	1	01/06/2010		1	1		284,64
86450000	1	01/07/2010		1	1		280,7
86450000	1	01/08/2010		1	1		89,38
86450000	1	01/09/2010		1	1		271,15
86450000	1	01/10/2010		1	1		20,36
86450000	1	01/11/2010		1	1		30,01
86450000	1	01/12/2010		1	1		25,07

### Bom Jesus

70200000	1	01/01/2013		1	1		41,78133333
70200000	1	01/02/2013		1	1		70,36222222
70200000	1	01/03/2013		1	1		120,4681
70200000	1	01/04/2013		1	1		32,3923

70200000	1	01/05/2013	1	1	18,4035
70200000	1	01/06/2013	1	1	57,3812
70200000	1	01/07/2013	1	1	56,14616667
70200000	1	01/08/2013	1	1	297,7161667
70200000	1	01/09/2013	1	1	143,6133
70200000	1	01/10/2013	1	1	78,2192
70200000	1	01/11/2013	1	1	52,6367
70200000	1	01/12/2013	1	1	65,6008

### **Caxias do Sul**

87160000	1	01/01/2013	1	1	23,6195
87160000	1	01/02/2013	1	1	8,0698
87160000	1	01/03/2013	1	1	21,3303
87160000	1	01/04/2013	1	1	8,1437
87160000	1	01/05/2013	1	1	8,0769
87160000	1	01/06/2013	1	1	21,4355
87160000	1	01/07/2013	1	1	24,3384
87160000	1	01/08/2013	1	1	138,9884
87160000	1	01/09/2013	1	1	61,3542
87160000	1	01/10/2013	1	1	30,2989
87160000	1	01/11/2013	1	1	77,7112
87160000	1	01/12/2013	1	1	24,104

### **Cruz Alta**

75240000	2	01/01/1969	1	1	1,87
75240000	2	01/02/1969	1	1	1,39
75240000	2	01/03/1969	1	1	1,09
75240000	2	01/04/1969	1	1	1,4
75240000	2	01/05/1969	1	1	1,89
75240000	2	01/06/1969	1	1	3,61
75240000	2	01/07/1969	1	1	1,63
75240000	2	01/08/1969	1	1	1,09
75240000	2	01/09/1969	1	1	1,28
75240000	2	01/10/1969	1	1	1,82
75240000	2	01/11/1969	1	1	2,56
75240000	2	01/12/1969	1	1	1,47



### **Encruzilhada do Sul**

87820000	2	01/01/1948	1	1	174
87820000	2	01/02/1948	1	1	68,5
87820000	2	01/03/1948	1	1	25
87820000	2	01/04/1948	1	1	99,6
87820000	2	01/05/1948	1	1	237
87820000	2	01/06/1948	1	1	361
87820000	2	01/07/1948	1	1	306
87820000	2	01/08/1948	1	1	109
87820000	2	01/09/1948	1	1	580
87820000	2	01/10/1948	1	1	265
87820000	2	01/11/1948	1	1	130
87820000	2	01/12/1948	1	1	46,5

### **Iraí**

74100000	1	01/01/2013	1	1	1146,108
74100000	1	01/02/2013	1	1	867,475
74100000	1	01/03/2013	1	1	1658,707
74100000	1	01/04/2013	1	1	1237,62
74100000	1	01/05/2013	1	1	676,6452
74100000	1	01/06/2013	1	1	1486,385
74100000	1	01/07/2013	1	1	1217,103
74100000	1	01/08/2013	1	1	3727,207
74100000	1	01/09/2013	1	1	3295,155
74100000	1	01/10/2013	1	1	2529,242
74100000	1	01/11/2013	1	1	1676,865
74100000	1	01/12/2013	1	1	1238,513

### **Lagoa Vermelha**

86340000	2	01/01/1983	1	1	2,55
86340000	2	01/02/1983	1	1	8,47
86340000	2	01/03/1983	1	1	15,6
86340000	2	01/04/1983	1	1	4,99
86340000	2	01/05/1983	1	1	28,6
86340000	2	01/06/1983	1	1	17,2
86340000	2	01/07/1983	1	1	57,9
86340000	2	01/08/1983	1	1	27,7
86340000	2	01/09/1983	1	1	10,3
86340000	2	01/10/1983	1	1	7,29
86340000	2	01/11/1983	1	1	7,19
86340000	2	01/12/1983	1	1	2,71

**Pelotas**

88750000	1	01/01/2013	1	1	0,1127
88750000	1	01/02/2013	1	1	0,3164
88750000	1	01/03/2013	1	1	0,0323
88750000	1	01/04/2013	1	1	0,4457
88750000	1	01/05/2013	1	1	0,2316
88750000	1	01/06/2013	1	1	0,5817
88750000	1	01/07/2013	1	1	0,3895
88750000	1	01/08/2013	1	1	0,6092
88750000	1	01/09/2013	1	1	2,3556
88750000	1	01/10/2013	1	1	3,1098
88750000	1	01/11/2013	1	1	2,5005
88750000	1	01/12/2013	1	1	0,102019048

**Porto Alegre**

87401800	2	01/01/1992	1	1	0,794
87401800	2	01/02/1992	1	1	1,492864
87401800	2	01/03/1992	1	1	0,73
87401800	2	01/04/1992	1	1	1,7
87401800	2	01/05/1992	1	1	0,614
87401800	2	01/06/1992	1	1	1,21
87401800	2	01/07/1992	1	1	2,11
87401800	2	01/08/1992	1	1	0,823
87401800	2	01/09/1992	1	1	1,86
87401800	2	01/10/1992	1	1	0,599
87401800	2	01/11/1992	1	1	0,458
87401800	2	01/12/1992	1	1	0,403

**Rio Grande**

87995000	1	01/01/2011	1	1	418,6177
87995000	1	01/02/2011	1	1	671,1849
87995000	1	01/03/2011	1	1	1196,351
87995000	1	01/04/2011	1	1	1385,385
87995000	1	01/05/2011	1	1	2371,44
87995000	1	01/06/2011	1	1	1096,244
87995000	1	01/07/2011	1	1	3154,28
87995000	1	01/08/2011	1	1	5218,276
87995000	1	01/09/2011	1	1	3716,061
87995000	1	01/10/2011	1	1	1591,749
87995000	1	01/11/2011	1	1	1979,144
87995000	1	01/12/2011	1	1	342,4497

### **Santa Maria**

76085000	1	01/01/2013	1	1	53,8061
76085000	1	01/02/2013	1	1	18,0632
76085000	1	01/03/2013	1	1	38,4197
76085000	1	01/04/2013	1	1	53,2818
76085000	1	01/05/2013	1	1	33,2479
76085000	1	01/06/2013	1	1	38,3663
76085000	1	01/07/2013	1	1	48,901
76085000	1	01/08/2013	1	1	46,1315
76085000	1	01/09/2013	1	1	25,4475
76085000	1	01/10/2013	1	1	28,1487
76085000	1	01/11/2013	1	1	83,0992
76085000	1	01/12/2013	1	1	27,2482

### **São Luiz Gonzaga**

75320000	1	01/01/2008	1	1	116,2055
75320000	1	01/02/2008	1	1	73,3497
75320000	1	01/03/2008	1	1	78,0258
75320000	1	01/04/2008	1	1	62,9935
75320000	1	01/05/2008	1	1	87,474
75320000	1	01/06/2008	1	1	267,8015
75320000	1	01/07/2008	1	1	187,8758
75320000	1	01/08/2008	1	1	242,2145
75320000	1	01/09/2008	1	1	161,1387
75320000	1	01/10/2008	1	1	641,2859
75320000	1	01/11/2008	1	1	506,6167
75320000	1	01/12/2008	1	1	152,0645

### **Uruguaiana**

77150000	1	01/01/2013	1	1	6727,713
77150000	1	01/02/2013	1	1	2388,718
77150000	1	01/03/2013	1	1	6416,272
77150000	1	01/04/2013	1	1	6495,1
77150000	1	01/05/2013	1	1	3302,176
77150000	1	01/06/2013	1	1	3547,259
77150000	1	01/07/2013	1	1	3854,192
77150000	1	01/08/2013	1	1	5053,392
77150000	1	01/09/2013	1	1	5655,813
77150000	1	01/10/2013	1	1	5101,679
77150000	1	01/11/2013	1	1	7034,058
77150000	1	01/12/2013	1	1	3724,04

## 2. Dados de Velocidade do Vento

### BDMEP - INMET

-----  
Estação : BAGE - RS (OMM: 83980)  
Latitude (graus) : -31.33  
Longitude (graus) : -54.1  
Altitude (metros): 242.31  
Estação Operante  
Início de operação: 01/01/1912  
Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013  
Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;  
83980;31/01/2013;0000;2.870968;  
83980;28/02/2013;0000;3.011905;  
83980;31/03/2013;0000;3.032258;  
83980;30/04/2013;0000;2.444444;  
83980;31/05/2013;0000;2.430108;  
83980;30/06/2013;0000;2.111111;  
83980;31/07/2013;0000;2.55914;  
83980;31/08/2013;0000;3.075269;  
83980;30/09/2013;0000;3.4;  
83980;31/10/2013;0000;2.806452;  
83980;30/11/2013;0000;3.311111;  
83980;31/12/2013;0000;2.83871;

### BDMEP - INMET

-----  
Estação : BENTO GONCALVES - RS (OMM: 83941)  
Latitude (graus) : -29.15  
Longitude (graus) : -51.51  
Altitude (metros): 640.00  
Estação Operante  
Início de operação: 01/02/1918  
Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013  
Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;  
83941;31/01/2013;0000;2.258065;  
83941;28/02/2013;0000;2.130952;

83941;31/03/2013;0000;2.258065;  
83941;30/04/2013;0000;2.066667;  
83941;31/05/2013;0000;2.010753;  
83941;30/06/2013;0000;2.055556;  
83941;31/07/2013;0000;2.193548;  
83941;31/08/2013;0000;2.225806;  
83941;30/09/2013;0000;2.1;  
83941;31/10/2013;0000;2.397849;  
83941;30/11/2013;0000;2.766667;  
83941;31/12/2013;0000;1.924731;

#### BDMEP - INMET

-----  
Estação : BOM JESUS - RS (OMM: 83919)

Latitude (graus) : -28.66

Longitude (graus) : -50.43

Altitude (metros): 1047.50

Estação Operante

Início de operação: 01/05/1948

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.

Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83919;31/01/2013;0000;3.704301;

83919;28/02/2013;0000;3.679762;

83919;31/03/2013;0000;3.476344;

83919;30/04/2013;0000;3.151685;

83919;31/05/2013;0000;3.310753;

83919;30/06/2013;0000;3.156667;

83919;31/07/2013;0000;3.317204;

83919;31/08/2013;0000;3.621505;

83919;30/09/2013;0000;3.544444;

83919;31/10/2013;0000;3.829032;

83919;30/11/2013;0000;4.337778;

83919;31/12/2013;0000;3.923656;

#### BDMEP - INMET

-----  
Estação : CAXIAS DO SUL - RS (OMM: 83942)

Latitude (graus) : -29.16

Longitude (graus) : -51.2

Altitude (metros): 759.60

Estação Operante

Início de operação: 12/04/1912

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;  
83942;31/01/2013;0000;2.150538;  
83942;28/02/2013;0000;2.02381;  
83942;31/03/2013;0000;1.784946;  
83942;30/04/2013;0000;1.6;  
83942;31/05/2013;0000;1.483871;  
83942;30/06/2013;0000;1.633333;  
83942;31/07/2013;0000;1.752688;  
83942;31/08/2013;0000;2.032258;  
83942;30/09/2013;0000;1.955556;  
83942;31/10/2013;0000;2.086022;  
83942;30/11/2013;0000;2.555556;  
83942;31/12/2013;0000;1.645161;

Estação : CRUZ ALTA - RS (OMM: 83912)

Latitude (graus) : -28.63

Longitude (graus) : -53.6

Altitude (metros): 472.50

Estação Operante

Início de operação: 02/02/1912

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;  
83912;31/01/2013;0000;2.107527;  
83912;28/02/2013;0000;1.964286;  
83912;31/03/2013;0000;2.247312;  
83912;30/04/2013;0000;1.822222;  
83912;31/05/2013;0000;1.967742;  
83912;30/06/2013;0000;1.877778;  
83912;31/07/2013;0000;1.88172;  
83912;31/08/2013;0000;2.329032;  
83912;30/09/2013;0000;2.222222;  
83912;31/10/2013;0000;2.376344;  
83912;30/11/2013;0000;2.522222;  
83912;31/12/2013;0000;2.096774;

BDMEP - INMET

-----  
Estação : ENCRUZILHADA DO SUL - RS (OMM: 83964)

Latitude (graus) : -30.53

Longitude (graus) : -52.51

Altitude (metros): 427.75

Estação Operante

Início de operação: 01/05/1913

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.

Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83964;31/01/2013;0000;1.258065;

83964;28/02/2013;0000;1.366667;

83964;31/03/2013;0000;1.322581;

83964;30/04/2013;0000;1.1;

83964;31/05/2013;0000;0.978495;

83964;30/06/2013;0000;0.955556;

83964;31/07/2013;0000;1.064516;

83964;31/08/2013;0000;1.666667;

83964;30/09/2013;0000;1.244444;

83964;31/10/2013;0000;1.258065;

83964;30/11/2013;0000;1.466667;

83964;31/12/2013;0000;1.032258;

BDMEP - INMET

-----  
Estação : IRAI - RS (OMM: 83881)

Latitude (graus) : -27.18

Longitude (graus) : -53.23

Altitude (metros): 247.10

Estação Operante

Início de operação: 01/06/1935

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.

Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83881;31/01/2013;0000;1.247312;

83881;28/02/2013;0000;1.522619;

83881;31/03/2013;0000;1.274194;

83881;30/04/2013;0000;0.915556;

83881;31/05/2013;0000;0.947312;

83881;30/06/2013;0000;0.858889;

83881;31/07/2013;0000;0.987097;

83881;31/08/2013;0000;1.531183;

83881;30/09/2013;0000;1.381111;

83881;31/10/2013;0000;1.437634;

83881;30/11/2013;0000;1.483333;  
83881;31/12/2013;0000;1.191398;

BDMEP - INMET

-----  
Estação : LAGOA VERMELHA - RS (OMM: 83916)

Latitude (graus) : -28.21

Longitude (graus) : -51.5

Altitude (metros): 840.00

Estação Operante

Início de operação: 01/06/1914

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2006 a 31/12/2006

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83916	31/01/2006	0	2,537634
83916	28/02/2006	0	2,535714
83916	31/03/2006	0	2,27957
83916	30/04/2006	0	2,466667
83916	31/05/2006	0	2,462366
83916	30/06/2006	0	2,558889
83916	31/07/2006	0	2,339785
83916	31/08/2006	0	2,516129
83916	30/09/2006	0	2,6
83916	31/10/2006	0	2,537634
83916	30/11/2006	0	2,266667
83916	31/12/2006	0	2,112903

BDMEP - INMET

-----  
Estação : PELOTAS - RS (OMM: 83985)

Latitude (graus) : -31.78

Longitude (graus) : -52.41

Altitude (metros): 13.00

Estação Operante

Início de operação: 01/01/1926

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83985;31/01/2013;0000;3.391398;



83985;28/02/2013;0000;3.128571;  
83985;31/03/2013;0000;2.836559;  
83985;30/04/2013;0000;2.672222;  
83985;31/05/2013;0000;2.396774;  
83985;30/06/2013;0000;2.362222;  
83985;31/07/2013;0000;2.374194;  
83985;31/08/2013;0000;2.673118;  
83985;30/09/2013;0000;2.874444;  
83985;31/10/2013;0000;3.490323;  
83985;30/11/2013;0000;3.895556;  
83985;31/12/2013;0000;3.443011;

#### BDMEP - INMET

-----  
Estação : PORTO ALEGRE - RS (OMM: 83967)

Latitude (graus) : -30.05

Longitude (graus) : -51.16

Altitude (metros): 46.97

Estação Operante

Início de operação: 09/12/1909

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83967;31/01/2013;0000;2.941935;  
83967;28/02/2013;0000;3.057831;  
83967;31/03/2013;0000;2.555914;  
83967;30/04/2013;0000;2.082383;  
83967;31/05/2013;0000;1.686022;  
83967;30/06/2013;0000;1.886667;  
83967;31/07/2013;0000;1.960215;  
83967;31/08/2013;0000;2.097849;  
83967;30/09/2013;0000;2.58;  
83967;31/10/2013;0000;3.045161;  
83967;30/11/2013;0000;3.095556;  
83967;31/12/2013;0000;2.666667;

#### BDMEP - INMET

-----  
Estação : RIO GRANDE - RS (OMM: 83995)

Latitude (graus) : -32.03

Longitude (graus) : -52.11

Altitude (metros): 2.46

Estação Operante

Início de operação: 01/01/1912

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----

Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.

Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----

Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83995;31/01/2013;0000;3.774194;

83995;28/02/2013;0000;3.75;

83995;31/03/2013;0000;3.451613;

83995;30/04/2013;0000;3.266667;

83995;31/05/2013;0000;2.55914;

83995;30/06/2013;0000;2.822222;

83995;31/07/2013;0000;2.494624;

83995;31/08/2013;0000;3.516129;

83995;30/09/2013;0000;3.362222;

83995;31/10/2013;0000;3.731183;

83995;30/11/2013;0000;4.433333;

83995;31/12/2013;0000;4.258065;

BDMEP - INMET

-----

Estação : SANTA MARIA - RS (OMM: 83936)

Latitude (graus) : -29.7

Longitude (graus) : -53.7

Altitude (metros): 95.00

Estação Operante

Início de operação: 01/01/1912

Periodo solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----

Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.

Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----

Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;

83936;31/01/2013;0000;2.353763;

83936;28/02/2013;0000;2.14881;

83936;31/03/2013;0000;1.767742;

83936;30/04/2013;0000;1.546667;

83936;31/05/2013;0000;1.494624;

83936;30/06/2013;0000;1.551111;

83936;31/07/2013;0000;1.650538;

83936;31/08/2013;0000;2.206452;

83936;30/09/2013;0000;2.451111;

83936;31/10/2013;0000;2.270968;

83936;30/11/2013;0000;2.578889;

83936;31/12/2013;0000;2.331183;

BDMEP - INMET

-----  
Estação : SAO LUIZ GONZAGA - RS (OMM: 83907)  
Latitude (graus) : -28.4  
Longitude (graus) : -55.01  
Altitude (metros): 245.11  
Estação Operante  
Início de operação: 01/04/1912  
Período solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013  
Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;  
83907;31/01/2013;0000;2.675269;  
83907;28/02/2013;0000;2.33012;  
83907;31/03/2013;0000;2.56129;  
83907;30/04/2013;0000;2.157778;  
83907;31/05/2013;0000;2.313978;  
83907;30/06/2013;0000;2.291111;  
83907;31/07/2013;0000;2.61828;  
83907;31/08/2013;0000;2.864516;  
83907;30/09/2013;0000;2.806667;  
83907;31/10/2013;0000;2.808602;  
83907;30/11/2013;0000;3.152222;  
83907;31/12/2013;0000;2.287097;

BDMEP - INMET

-----  
Estação : URUGUAIANA - RS (OMM: 83927)  
Latitude (graus) : -29.75  
Longitude (graus) : -57.08  
Altitude (metros): 62.31  
Estação Operante  
Início de operação: 01/02/1912  
Período solicitado dos dados: 01/01/2013 a 31/12/2013  
Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
Para o formato planilha XLS, siga as instruções

-----  
Estacao;Data;Hora;VelocidadeVentoMedia;  
83927;31/01/2013;0000;1.430108;  
83927;28/02/2013;0000;2.321429;  
83927;31/03/2013;0000;1.817204;  
83927;30/04/2013;0000;1.444444;  
83927;31/05/2013;0000;1.677419;  
83927;30/06/2013;0000;1.466667;

83927;31/07/2013;0000;1.516129;  
83927;31/08/2013;0000;2.11828;  
83927;30/09/2013;0000;2.633333;  
83927;31/10/2013;0000;2.193548;  
83927;30/11/2013;0000;2.244444;  
83927;31/12/2013;0000;1.698925;