

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA HÍBRIDO  
EÓLICO-FOTOVOLTAICO DE PEQUENO PORTE PARA  
ENERGIZAÇÃO RURAL**

**JAIR ANTONIO CRUZ SIQUEIRA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP  
Dezembro de 2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA HÍBRIDO  
EÓLICO-FOTOVOLTAICO DE PEQUENO PORTE PARA  
ENERGIZAÇÃO RURAL**

**JAIR ANTONIO CRUZ SIQUEIRA**

Orientador: Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP  
Dezembro de 2005

**OFEREÇO**

*Ao meu pai, João Natalino Siqueira (in memorian) e  
a minha mãe, Terezinha Cruz Siqueira.*

**DEDICO**

*A minha filha Anna Mayumi Tokura  
Siqueira.*

## AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas - Unesp, Campus de Botucatu, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, e ao Departamento de Engenharia Rural, que confiaram em mim e nos propósitos desta pesquisa.

Ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste – Câmpus de Cascavel, por ter me liberado para cursar a Pós-Graduação.

À Divisão de Capacitação Docente da Unioeste, em especial à Sonia Lemanski, pelo apoio incessante durante o tempo em que estive afastado para cursar a Pós-Graduação.

Ao Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim, pela orientação e intensa participação em todas as etapas deste trabalho, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação, e acima de tudo, pela sólida amizade.

Ao Prof. Dr. Nelson Miguel Teixeira, pelo apoio incessante e pela sólida amizade que desenvolvemos.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado.

Aos amigos e colegas, João Borges de Araújo, Carliane Diniz e Silva, Luis Roberto Almeida Gabriel Filho, Fernando de Lima Caneppele, Cristiane Aparecida Pelegrin Higuchi, Fernando

Presenço, Jair de Jesus Fiorentino e Félix Abraão Neto pelas colaborações dadas a esta pesquisa e pela forte amizade.

Aos estagiários, Emanuel Rangel Spadim, Eric Francisco Scolastici e Wesley Vergilio Galiotti de Oliveira, pelas inúmeras colaborações desde a fase experimental até a redação do trabalho final e pela grande amizade.

A todos os professores, colegas e funcionários que de uma forma ou de outra contribuíram na realização deste trabalho e na minha agradável permanência nesta cidade.

Aos meus irmãos, pelas diversas formas de apoio ao longo da minha vida.

À minha companheira, Luciene Kazue Tokura, pelo companheirismo, amor e dedicação com os quais tem me brindado ao longo deste curso e dos anos em que estamos juntos.

## SUMÁRIO

<u>1 RESUMO</u> .....	1
<u>1.1 SUMMARY</u> .....	3
<u>2 INTRODUÇÃO</u> .....	5
<u>3 REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	8
<u>3.1 Energização Rural</u> .....	8
<u>3.1.1 Características da Energização Rural no Brasil</u> .....	8
<u>3.1.2 Importância da Energização Rural</u> .....	9
<u>3.1.3 Uso de Sistemas Renováveis para Energização Rural</u> .....	10
<u>3.2 Energia Solar</u> .....	12
<u>3.2.1 Características da Energia Solar</u> .....	13
<u>3.2.2 Solarimetria</u> .....	15
<u>3.2.3 Piranômetros</u> .....	16
<u>3.3 Geração Fotovoltaica</u> .....	17
<u>3.3.1 Efeito Fotovoltaico</u> .....	17
<u>3.3.2 Células Fotovoltaicas</u> .....	18
<u>3.3.3 Módulo Fotovoltaico</u> .....	19
<u>3.3.4 Principais Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos</u> .....	20
<u>3.3.5 Condição Padrão de Operação de uma Célula/Módulo Fotovoltaico</u> .....	21
<u>3.3.6 Eficiência do Módulo Fotovoltaico</u> .....	22
<u>3.3.7 Características dos Sistemas Fotovoltaicos</u> .....	22
<u>3.4 Energia Eólica</u> .....	28
<u>3.4.1 Avaliação do Potencial Eólico</u> .....	29
<u>3.4.2 Eficiência de Betz</u> .....	30
<u>3.4.3 Medição do Vento</u> .....	32
<u>3.4.4 Aproveitamento do Potencial Eólico</u> .....	33
<u>3.5 Geração Eólica</u> .....	35
<u>3.5.1 Sistemas de Grande Porte Ligados à Rede</u> .....	35
<u>3.5.2 Sistemas Eólicos Isolados de Pequeno Porte</u> .....	37
<u>3.5.3 Eficiência dos Sistemas Eólicos</u> .....	38
<u>3.6 Sistemas Híbridos de Geração de Energia Elétrica</u> .....	41

<u>3.6.1 Características dos Sistemas Híbridos de Energia</u> .....	41
<u>3.6.2 Dimensionamento de Sistemas Híbridos</u> .....	45
<u>4 MATERIAL E MÉTODOS</u> .....	48
<u>4.1 Material</u> .....	48
<u>4.1.1 Localização da Área Experimental</u> .....	48
<u>4.1.2 Equipamentos de Medições Meteorológicas</u> .....	49
<u>4.1.3 Equipamentos instalados no sistema híbrido eólico-fotovoltaico</u> .....	56
<u>4.1.5 Sistema de Aquisição de Dados Elétricos</u> .....	65
<u>4.2 Métodos</u> .....	68
<u>4.2.1 Coleta dos Dados Meteorológicos e Elétricos</u> .....	68
<u>4.2.2 Dimensionamento e Instalação do Sistema Híbrido Eólico-fotovoltaico</u> .....	69
<u>4.2.3 Processamento e Análise dos Dados Meteorológicos e Elétricos</u> .....	71
<u>4.2.4 Avaliação dos Dados Obtidos</u> .....	77
<u>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	80
<u>5.1 Índice Pluviométrico e Temperatura Ambiente</u> .....	80
<u>5.2 Velocidade do Vento</u> .....	81
<u>5.3 Energia Eólica Disponível</u> .....	88
<u>5.4 Energia Elétrica Gerada Pelo Sistema Eólico</u> .....	94
<u>5.5 Irradiância Solar no Plano do Painel Fotovoltaico</u> .....	100
<u>5.6 Energia Solar Global Sobre a Superfície do Painel Fotovoltaico</u> .....	104
<u>5.7 Energia Gerada Pelo Painel Fotovoltaico</u> .....	109
<u>5.8 Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico</u> .....	114
<u>5.8.1 Energia Solar e Eólica Disponível</u> .....	114
<u>5.8.2 Energia Elétrica Gerada Pelo Sistema Híbrido</u> .....	117
<u>5.8.3 Balanço de Energia na Bateria e Energia Consumida pela Carga</u> .....	119
<u>3.8.4 Rendimento do Sistema Híbrido</u> .....	125
<u>6 CONCLUSÕES</u> .....	127
<u>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	130
<u>APÊNDICE</u> .....	140



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Configuração básica de um sistema fotovoltaico autônomo (isolado). .....	24
Figura 2. Algumas configurações possíveis do sistema fotovoltaico. ....	25
Figura 3. Comportamento da velocidade do vento antes e depois de passar pelo aerogerador. ....	30
Figura 4. Vista panorâmica do NEAR e da instalação do sistema híbrido eólico fotovoltaico. 1 - Painel fotovoltaico do sistema; 2 - Aerogerador do sistema; N = Norte geográfico do local. ....	49
Figura 5. Torre utilizada para a instalação dos equipamentos de medição meteorológica e aquisição de dados. 1 – Anemômetro; 2 – Piranômetro; 3 - Termo higrômetro; 4 – Datalogger CR23-X. ....	50
Figura 6. Anemômetro RM-YOUNG WIND MONITOR utilizado para determinação da velocidade e direção do vento no local. ....	51
Figura 7. Piranômetro CM3 instalado na mesma inclinação dos módulos fotovoltaicos. ....	52
Figura 8. Sonda termo higrômetro HMP45C utilizada para determinar a temperatura ambiente do local. ....	53
Figura 9. Pluviômetro TB4-L utilizado para a avaliação da precipitação pluviométrica no local. ....	55
Figura 10. Aerogerador AIR-X com potência nominal de 400W, instalado no sistema híbrido. .....	56
Figura 11. Módulos fotovoltaicos de 100Wp cada, instalados em paralelo e constituindo o painel fotovoltaico do sistema híbrido. ....	58
Figura 12. Controlador de carga ISOLER ligado ao painel fotovoltaico, bateria e cargas. ....	59
Figura 13. Inversor de tensão PWZ 300 de senóide modificada instalado no sistema. ....	61
Figura 14. Bateria TUDOR 46MVD com capacidade de 150Ah instalada no sistema. ....	62
Figura 15. Detalhe da instalação das cargas de iluminação em corrente contínua e da bateria. ....	63
Figura 16. Detalhe da instalação da motobomba SHURFLO 8000 do sistema. ....	64
Figura 17. Equipamento para aquisição de dados – Datalogger CR23X. ....	65
Figura 18. Tela do programa PC208W, utilizado para a coleta remota dos dados do sistema. ....	68
Figura 19. Diagrama esquemático das ligações elétricas do sistema híbrido eólico-fotovoltaico. .....	71
Figura 20. Índice pluviométrico e temperatura ambiente média durante os períodos de observação. ....	81
Figura 21. Freqüência de ocorrência de direção do vento durante os períodos de observação. ....	82
Figura 22. Velocidade média do vento em função das direções cardeais durante os períodos de observação. ....	82
Figura 23. Velocidade média do vento durante os períodos de observação. ....	83
Figura 24. Velocidade média diária do vento, referente aos períodos P2 (15/10/04 a 14/11/04) e P9 (15/05/05 a 14/06/05), respectivamente, maior e menor velocidade média mensal. ....	84
Figura 25. Velocidade média do vento por horário de ocorrência para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04). ....	85
Figura 26. Velocidade média do vento por horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05). ....	86
Figura 27. Ocorrências das velocidades do vento para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04). ....	87
Figura 28. Ocorrências das velocidades do vento para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05). ....	87

Figura 29. Energia eólica disponível no vento em função das direções cardeais durante os períodos de observação.....	88
Figura 30. Comportamento da velocidade média do vento e da energia eólica disponível durante os períodos de observação.....	89
Figura 31. Energia eólica disponível no vento média diária nos períodos P2 (15/10/04 a 14/11/04) e P9 (15/05/05 à 14/06/05).....	90
Figura 32 – Energia eólica disponível em função do horário de ocorrência para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).....	91
Figura 33 – Energia eólica disponível em função do horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).....	92
Figura 34. Energia eólica disponível em função das classes de velocidade do vento para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).....	93
Figura 35 – Energia eólica disponível em função das classes de velocidade do vento para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).....	93
Figura 36. Energia elétrica gerada pelo aerogerador em função das direções cardeais durante os períodos de observação.....	94
Figura 37. Energia elétrica gerada pelo aerogerador e corrente elétrica fornecida aerogerador durante os períodos de observação.....	95
Figura 38. Energia diária gerada pelo aerogerador nos períodos P2 (15/10/04 a 14/11/04) e P9 (15/05/05 à 14/06/05).....	96
Figura 39. Energia gerada pelo aerogerador em função do horário de ocorrência para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).....	97
Figura 40. Energia gerada pelo aerogerador em função do horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).....	98
Figura 41. Energia gerada pelo aerogerador em função das classes de velocidade do vento para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).....	99
Figura 42 – Energia gerada pelo aerogerador em função das classes de velocidade do vento para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).....	99
Figura 43. Irradiância solar média mensal no plano do painel durante os períodos de observação.....	101
Figura 44. Irradiância solar média diária no plano do painel referente aos períodos P11 (15/07/05 a 14/08/05) e P5 (15/01/05 a 14/02/05), respectivamente, maior e menor irradiância solar média mensal.....	101
Figura 45. Porcentagem de ocorrência da irradiância solar para o período P11 (15/07/05 a 15/08/05).....	102
Figura 46 – Porcentagem de ocorrência da irradiância solar para o período P5 (15/01/05 a 15/02/05).....	103
Figura 47. Variação da irradiância em função do horário de ocorrência para o período P11 (15/07/05 a 14/08/05).....	103
Figura 48. Variação da irradiância em função do horário de ocorrência para o período P5 (15/01/05 a 14/02/05).....	104
Figura 49. Energia solar global e irradiância solar média no plano do painel durante os períodos de observação.....	105
Figura 50 – Energia solar global diária na superfície do painel referente aos períodos P11 (15/07/05 a 14/08/05) e P5 (15/01/05 a 14/02/05), respectivamente, maior e menor energia solar global.....	106

Figura 51. Energia solar global na superfície do painel por classes de irradiância no plano do painel período P11 (15/07/05 a 15/08/05).	107
Figura 52. Energia solar global na superfície do painel por classes de irradiância no plano do painel solar para o período P5 (15/01/05 a 14/02/05).	107
Figura 53. Energia solar global em função do horário de ocorrência para o período P11 (15/07/05 a 14/08/05).	108
Figura 54. Energia solar global em função do horário de ocorrência para período P5 (15/01/05 a 14/02/05).	109
Figura 55. Energia gerada pelo painel e energia solar global no plano do painel durante os períodos de observação.	110
Figura 56. Energia gerada diária pelo painel referente aos períodos P9 (15/05/05 a 14/06/05) e P1 (15/09/05 a 14/10/05), respectivamente, maior e menor geração elétrica.	111
Figura 57. Energia gerada pelo painel por classes de irradiância no plano do painel para o período P1 (15/09/04 a 14/10/04).	112
Figura 58. Energia gerada pelo painel por classes de irradiância no plano do painel para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).	112
Figura 59. Energia gerada pelo painel em função do horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).	113
Figura 60. Energia gerada pelo painel em função do horário de ocorrência para o período P1 (15/09/04 a 14/10/04).	114
Figura 61. Energia disponível no vento e energia solar global no plano do painel durante os períodos de observação.	115
Figura 62. Energia solar e eólica disponível e energia eólica disponível durante os períodos de observação.	116
Figura 63. Energia solar e eólica disponível e energia solar global no plano do painel durante os períodos de observação.	116
Figura 64. Energia solar e eólica disponível e energia gerada pelo sistema híbrido durante os períodos de observação.	118
Figura 65. Energia gerada pelo sistema híbrido e energia gerada pelo painel fotovoltaico durante os períodos de observação.	118
Figura 66. Energia gerada pelo sistema híbrido e energia gerada pelo aerogerador durante os períodos de observação.	119
Figura 67. Energia gerada pelo sistema híbrido e balanço de energia na bateria durante os períodos de observação.	120
Figura 68. Balanço de energia na bateria referente aos períodos P11 (15/07/05 a 14/08/05) e P10 (15/06/05 a 14/07/05), respectivamente, maior e menor saldo.	120
Figura 69 – Carga e descarga da bateria em função do horário de ocorrência para período P11 (15/07/05 a 14/08/05).	121
Figura 70. Carga e descarga da bateria em função do horário de ocorrência para período P10 (15/06/05 a 14/07/05).	122
Figura 71 - Energia gerada pelo sistema híbrido e energia consumida pela carga durante os períodos de observações.	123
Figura 72. Consumo de energia pelas cargas referente aos períodos P12 (15/08/05 a 14/09/05) e P1 (15/09/04 a 14/10/04), respectivamente, maior e menor saldo.	124
Figura 73. Consumo das cargas em função do horário de ocorrência para período P12 (15/08/05 a 14/09/05).	124

Figura 74. Consumo das cargas em função do horário de ocorrência para período P1 (15/09/04 a 14/11/04).....	125
Figura 75. Comparação entre o rendimento do sistema híbrido, aerogerador e painel fotovoltaico durante os períodos de observação.....	126

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1. Especificações técnicas do anemômetro R.M. YOUNG WIND MONITOR. ....	51
Tabela 2. Especificações técnicas do piranômetro CM3 – KIPP&ZONEN.....	52
Tabela 4. Especificações técnicas do pluviômetro TB4-L.....	55
Tabela 5. Especificações técnicas do aerogerador utilizado no sistema híbrido.....	57
Tabela 6. Especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos utilizados no sistema híbrido. .	58
Tabela 7. Especificações técnicas do controlador de carga conectado ao painel do sistema híbrido.....	60
Tabela 8. Especificações técnicas do inversor de tensão instalado no sistema. ....	61
Tabela 9. Especificações técnicas da bateria instalada no sistema.....	62
Tabela 10. Cargas instaladas no sistema híbrido para simular o consumo de energia elétrica em uma residência rural de baixo consumo. Corrente Contínua = DC e Corrente Alternada = AC.....	64
Tabela 11. Especificações técnicas bomba de sucção SHURFLO 8000.....	65
Tabela 12. Especificações técnicas do datalogger CR23X utilizado na aquisição de dados.....	66
Tabela 13. Especificações técnicas dos derivadores de corrente KRON. ....	67
Tabela 14. Especificações técnicas dos transformadores de corrente CS10-L.....	67
Tabela 15. Especificações técnicas dos divisores de tensão.....	68
Tabela 16. Horário de funcionamento das cargas instaladas no sistema híbrido para simular o consumo de energia elétrica em um residência rural de baixo consumo.....	69
Tabela 17. Períodos de aquisição dos dados do experimento.....	77
Tabela 18. Valores da energia eólica, velocidade do vento média, número de horas de geração, corrente elétrica, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X diárias e mensal no período P1(15/09 a 14/10 de 2004). ....	141
Tabela 19. Valores da irradiância, energia solar, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P1 (15/09 a 14/10 de 2004). ....	142
Tabela 20. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P1 (15/09 a 14/10 de 2004). ....	143
Tabela 21. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P2 (15/10 a 14/11 de 2004).....	144
Tabela 22. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P2 (15/10 a 14/11 de 2004). ....	145
Tabela 23. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P2 (15/10 a 14/11 de 2004). ....	146
Tabela 24. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P3 (15/11 a 14/12 de 2004). ....	147
Tabela 25. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P3 (15/11 a 14/12 de 2004). ....	148
Tabela 26. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P3 (15/11 a 14/12 de 2004). ....	149

Tabela 27. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P4 (15/12 de 2004 a 14/01 de 2005). .....	150
Tabela 28. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P4 (15/12 de 2004 a 14/01 de 2005). .....	151
Tabela 29. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P4 (15/12 de 2004 a 14/01 de 2005). .....	152
Tabela 30. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P5 (15/01 de 2004 a 14/02 de 2005). .....	153
Tabela 31. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no no período P5 (15/01 à 14/02 de 2005). .....	154
Tabela 32. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no no período P5 (15/01 à 14/02 de 2005). .....	155
Tabela 33. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P6 (15/02 a 14/03 de 2005). .....	156
Tabela 34. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P6 (15/02 a 14/03 de 2005). .....	157
Tabela 35. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P6 (15/02 a 14/03 de 2005). .....	158
Tabela 36. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P7 (15/03 a 14/04 de 2005). .....	159
Tabela 37. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P7 (15/03 a 14/04 de 2005). .....	160
Tabela 38. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P7 (15/03 a 14/04 de 2005). .....	161
Tabela 39. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P8 (15/04 a 14/05 de 2005). .....	162
Tabela 40. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P8 (15/04 a 14/05 de 2005). .....	163
Tabela 41. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P8 (15/04 a 14/05 de 2005). .....	164
Tabela 42. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P9 (15/05 a 14/06 de 2005). .....	165
Tabela 43. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P9 (15/05 a 14/06 de 2005). .....	166
Tabela 44. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P9 (15/05 a 14/06 de 2005). .....	167
Tabela 45. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P10 (15/06 a 14/07 de 2005). .....	168

Tabela 46. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P10 (15/06 a 14/07 de 2005). .....	169
Tabela 47. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P10 (15/06 a 14/07 de 2005). .....	170
Tabela 48. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P11 (15/07 a 14/08 de 2005). .....	171
Tabela 49. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P11 (15/07 a 14/08 de 2005). .....	172
Tabela 50. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P11 (15/07 a 14/08 de 2005). .....	173
Tabela 51. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P12 (15/08 a 14/09 de 2005). .....	174
Tabela 52. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P12 (15/08 a 14/09 de 2005). .....	175
Tabela 53. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P12 (15/08 a 14/09 de 2005). .....	176

## **1 RESUMO**

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis começou a apresentar maior interesse a partir da crise do petróleo na década de 70. De lá pra cá, entre outros recursos energéticos renováveis, a utilização do potencial da energia solar e eólica tem crescido significativamente.

A integração de sistemas de geração eólica e fotovoltaica com armazenamento de energia em baterias tem-se apresentado como uma forma de geração em que os problemas decorrentes da variabilidade na intensidade da energia eólica e solar, tornam-se possíveis de mitigação, seja pela complementação entre uma fonte e outra, ou pela maior estabilidade configurada à geração do sistema.

Com base neste contexto, este trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho um sistema híbrido de energia eólico-fotovoltaico de pequeno porte, para a eletrificação de uma propriedade rural, avaliando-se o efeito das variáveis climáticas sobre a produção energética do sistema.



O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Energização Rural do Departamento de Engenharia Rural da UNESP-FCA.

Para a realização do trabalho, foi instalado um sistema híbrido (solar + eólico), composto por um aerogerador e um painel fotovoltaico, complementado por uma bateria para armazenamento da energia elétrica gerada, controlador de carga e inversor de tensão. O sistema foi configurado para atender as cargas de uma pequena residência rural.

Para avaliação das características do potencial da energia solar e eólica, utilizaram-se os dados de uma estação meteorológica instalada no local.

Um sistema de aquisição de dados foi programado para coletar os parâmetros meteorológicos e elétricos do experimento a cada 10 segundos, apresentando a média dos valores coletados a cada 5 minutos. A coleta dos dados foi realizada durante um ano, diuturnamente, para avaliar a influência das horas do dia e da sazonalidade na geração de energia elétrica pelo sistema híbrido e seus componentes. Os dados coletados foram integralizados, determinando-se desta forma os valores da energia solar, energia eólica, geração do sistema fotovoltaico, geração do sistema eólico, geração do sistema híbrido. Determinou-se, também, o rendimento dos sistemas eólico, fotovoltaico e híbrido.

Os resultados encontrados permitiram avaliar que a energia solar e eólica disponível ficou entre 285000 e 360000Wh e que a energia elétrica gerada pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico ficou entre 25500 e 31000Wh durante os períodos de observação.

Conclui-se que o desempenho do sistema híbrido dependeu essencialmente da energia recebida e gerada pelo sistema fotovoltaico. Concluiu-se, também, que houve complementaridade de geração entre os sistemas eólico e fotovoltaico, com relação aos horários do dia e às estações do ano.

**PERFORMANCE OF A SMALL WIND-PHOTOVOLTAIC HYBRID SYSTEM FOR RURAL ELECTRIFICATION.** Botucatu, 2005. **176p.** Tese (Tese em Agronomia, Área de Concentração - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JAIR ANTONIO CRUZ SIQUEIRA.

Adviser: Prof. Dr. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM.

## **1.1 SUMMARY**

The electric energy generation from renewable sources, began to present larger interest in the petroleum crisis in 1970 decade. Since then, among other renewable energy resources, the use of the solar energy and wind energy potential have been growing significantly.

The integration of wind and photovoltaic generation systems has been presenting as a generation form where the current problems of the variability in the wind and solar energy intensity, become possible of mitigation due to the complementation of both a sources, or for the larger stability given to the generation system.

Based in this context, this work had the objective of evaluating a small wind-photovoltaic hybrid energy system for a rural electrification, with the evaluation of the climatic variables effect on the system energy production.

The work was developed in the Laboratory of Rural Electrification of the UNESP-FCA Rural Engineering Department.

For the accomplishment of the work, a small wind-photovoltaic hybrid system was installed, composed by an wind generator and a photovoltaic panel, complemented with a battery for the generated electric energy storage, a charge controller and an inverter. The system was configured for small rural residence load supply.

For solar and wind energy potential characteristics evaluation, the data of a meteorological station installed in the place were used.

A data acquisition system was programmed to collect the meteorological and electric parameters of the experiment every 10 seconds, calculating the average values collected every 5 minutes.

The data collection was carried out during one year, daily, to evaluate the influence of the day hours and of the seasons changes on the hybrid system energy generation and its components.

The collected data were integrated, and it was determined the values of the solar energy, wind energy, photovoltaic generation, wind generation and hybrid system generation. It was determined, also, performance of the wind, photovoltaic and hybrid systems.

The found results allowed to conclude that the hybrid system performance depended essentially on the received and generated energy by the photovoltaic system. Besides that, it was verified that there was generation complementarity between the wind and the photovoltaic systems, concerning to the schedules of the day and the season.

Keywords: wind energy, solar energy, wind generation, photovoltaic generation, hybrid system.

## 2 INTRODUÇÃO

Desde a crise do petróleo na década de 70, a utilização da energia solar fotovoltaica e a aerogeração tem crescido significativamente. As energias solar e eólica são fontes renováveis e não poluentes, constituindo recursos alternativos opcionais para geração de energia elétrica. Muitos países (com velocidades médias de vento na faixa de 5 a 10  $\text{ms}^{-1}$ ) estão utilizando sistemas de conversão da energia eólica em energia elétrica (geradores eólicos), em um esforço para minimizar a dependência de combustíveis fósseis (não renováveis) (BELLARMINE, 1996). Atualmente milhares de sistemas fotovoltaicos (em regiões com radiação solar média diária na faixa de 3 a 6  $\text{kWhm}^{-2}$ ) estão instalados ao redor do mundo, provendo pequenas potências, aplicações em redes independentes ou em sistemas individuais em regiões isoladas (MAHMOUD, 1990).

O gerador eólico individual, em despeito da maturidade do estado da arte, não produz energia utilizável por porção considerável de tempo durante o ano e, nem tão pouco em todas as horas do dia. Isto se deve às variações ocorridas na intensidade da velocidade do vento, abaixo do valor necessário para acionar o gerador eólico. Para superar este tempo de baixa produção, o uso de sistemas híbridos é recomendado.

Embora a energia solar seja ambientalmente benigna, e disponível em abundância, o sistema fotovoltaico individual é uma opção cara. Outra desvantagem principal de sistema fotovoltaico individual é a dependência em horas de brilho de sol variáveis, resultando em pequena capacidade de utilização, como também, na necessidade de armazenamento de energia e sistemas de complementação (HANSEN, 1998).

A manutenção requerida para sistemas de geração eólica e fotovoltaica é muito pequena quando comparada com a de um gerador diesel.

Por outro lado, uma desvantagem comum para as energias eólica e solar reside na dependência das variações climáticas. Ambas as formas de energia (se usadas independentemente) teriam que ser superdimensionadas, para tornarem-se confiáveis, resultando em um custo total muito mais elevado. Porém, 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. Devido a esta combinação, a despesa global para sistemas autônomos pode ser reduzida drasticamente para um grande número de casos (BAGUL, 1996).

Atualmente a integração de sistemas de geração eólica e fotovoltaica com armazenamento de energia em baterias e complementação com gerador diesel, tem despertado interesse para eletrificação rural em comunidades isoladas do sistema de distribuição elétrica convencional.

Neste contexto, este trabalho tem o objetivo específico de avaliar o desempenho de um sistema híbrido de geração de energia eólico-fotovoltaico de pequeno porte no suprimento de energia requerido pela residência de uma propriedade rural, avaliando-

se o efeito das variáveis meteorológicas sobre a produção de energia elétrica pelo sistema. Este trabalho tem, por outro lado, a finalidade de contribuir com a aplicação e difusão do uso de sistemas híbridos de energia como uma alternativa possível para pequenos consumidores rurais excluídos do acesso à rede de distribuição elétrica convencional.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Energização Rural**

##### **3.1.1 Características da Energização Rural no Brasil**

Para Fedrizzi (1997), a energização rural no Brasil apresenta barreiras como dispersão geográfica da população, baixo consumo, alto investimento por consumidor e elevado custo operacional, quando comparada a eletrificação urbana, resultando num baixo retorno ou até mesmo em prejuízo financeiro à concessionária de energia elétrica.

Silva (2000) avalia que, em razão das distâncias existentes no território nacional, a população rural está sujeita as grandes desigualdades, se comparada com a população urbana, no que se refere ao acesso a serviços de saúde, educação, cultura, vida social e oportunidades de trabalho. Essas desigualdades são mais acentuadas quando a população rural não tem acesso a energia elétrica, uma vez que a maioria dos equipamentos

utilizados para lazer, conforto, trabalhos domésticos e beneficiamento de produtos agrícolas, tem seu funcionamento à base de eletricidade.

### **3.1.2 Importância da Energização Rural**

Cruz et al. (2004), afirmam que a inexistência de energia elétrica impossibilita o acesso da população a diversos serviços sociais básicos, tais como água, saneamento, educação e comunicação. Partindo dessa perspectiva, percebe-se, portanto, que há uma íntima relação entre os indicadores de eletrificação e o grau de modernização do espaço rural, redundando na qualidade de vida da população rural.

Para Fedrizzi (1997), apesar de não ser o único vetor de desenvolvimento, o acesso à energia elétrica é de fundamental importância ao meio rural. Devido ao nível de carências existentes em muitas zonas rurais brasileiras, as alterações no padrão de vida das famílias e no nível de renda das comunidades provocadas pelo acesso à eletricidade são mais efetivas quando integradas a outras ações como serviço de ensino, saúde, saneamento, transporte, crédito rural e agroindústria.

Cruz et al. (2004) ressaltam ainda, que a qualidade de vida de uma população é tão melhor quanto menos tempo ela precisa para se dedicar às atividades de pura sobrevivência, podendo assim dedicar-se mais ao seu desenvolvimento pessoal e social, naquelas atividades que mais lhe interessam, em um ambiente propício.

Os dados apresentados pelo MME (2003), informam que cerca de dez milhões de brasileiros residentes em áreas rurais, não possuem acesso à energia elétrica. As estatísticas revelam ainda que, no Norte do país, 62,5% da população rural (cerca de 2,6 milhões de pessoas) não têm acesso aos serviços de energia elétrica. No Nordeste, 39,3% dos



moradores da área rural (cerca de 5,8 milhões de pessoas) não têm luz. No Centro-Oeste, somam 27,6% (cerca de 367 mil pessoas); no Sudeste, 11,9% (cerca de 807 mil pessoas); enquanto que no Sul 8,2% (cerca de 484 mil pessoas).

### **3.1.3 Uso de Sistemas Renováveis para Energização Rural**

Para Serpa (2001), os programas de eletrificação rural tem na atualidade, empregado os sistemas conversores das energias renováveis, por serem considerados como uma alternativa tecnicamente viável para a geração elétrica. No entanto, as aplicações ainda estão restritas às áreas remotas, principalmente devido aos altos custos de instalação. Em termos tecnológicos, a modularidade destes sistemas permite conceber uma variedade de esquemas de eletrificação, desde a iluminação de residências até sistemas centralizados, autônomos, híbridos ou integrados, de dezenas ou centenas de kW em capacidade. A escolha desses esquemas depende de muitos fatores como os padrões de demanda, o tamanho da carga, o grau de dispersão da comunidade e parâmetros socioculturais, econômicos e ambientais.

Os esquemas de eletrificação com energias renováveis, em zonas rurais, apresentam, segundo Huacuz (1999) citado por Serpa (2001), as seguintes denominações e características:

- Sistemas Dispersos: são os sistemas autônomos, residenciais que se destinam, principalmente à iluminação. Compreendem o módulo fotovoltaico, a bateria, o controlador de carga, fiação e lâmpadas. Esses sistemas só são competitivos quando as redes elétricas estão a mais de um quilômetro de distância e as casas estão dispersas.

- Sistemas Centralizados: são os sistemas destinados a fornecer eletricidade a um conjunto de casas ou sítios em regiões remotas. Estes sistemas podem ser de dois tipos:

a) Sistemas Simples: são instalações que usam um só tipo de gerador, como gerador fotovoltaico ou eólico, que vem proporcionar toda a eletricidade requerida pela carga. Compreende, geralmente um banco de baterias para o armazenamento de carga, uma pequena rede de distribuição e outros condicionadores de potência. Dado o alto custo dos componentes, esse sistema é pouco competitivo para proporcionar eletricidade com qualidade similar à da rede convencional.

b) Sistemas híbridos: são sistemas concebidos para superar as limitações do sistema simples; apresentam as seguintes combinações, segundo o tipo de gerador utilizado: 1 - fotovoltaico-PCH; 2 - fotovoltaico-eólico; 3 - Ambos, com ou sem gerador auxiliar. Nesse último caso, podem ser usados o óleo diesel, a gasolina ou o gás - GLP, biogás, ou outro. Segundo Huacuz (1999), os sistemas híbridos fornecem um melhor serviço a custos menores, quando comparados aos outros esquemas de eletrificação rural com energias renováveis. Mas, a complexidade do seu desenho e a dificuldade de integração vêm impedir sua competitividade econômica. Porém, afirma o autor que estudos recentes têm estimado que os sistemas híbridos são competitivos se instalados a mais de 15 quilômetros da rede elétrica.

- Sistemas de aplicação específica: são sistemas de geração destinados ao bombeamento e purificação de água, preservação de produtos perecíveis - vacinas e alimentos - e operação de motores e outros equipamentos de uso agropecuário. Esses sistemas

podem também beneficiar outros serviços comunitários como clínicas, escolas e centros comunitários, aparelhados com vídeo/tv, igrejas, iluminação pública, etc.

- Sistemas energéticos integrados: são sistemas em que os recursos renováveis disponíveis localmente, sol, vento, biomassa, pequenas quedas d'água, etc., são aproveitados, visando satisfazer todas as necessidades energéticas das comunidades. Estes sistemas são mais complexos e podem garantir benefícios com custos de geração mais baixos se desenhados adequadamente.

### **3.2 Energia Solar**

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

Para Tomalsquim (2003), o sol como fonte de calor e luz, é uma das fontes de energia mais promissoras para enfrentar as crises energéticas deste milênio, uma vez que existem várias técnicas disponíveis para o aproveitamento desta fonte energética. A energia proveniente do sol é a responsável por inúmeros fenômenos naturais que ocorrem neste planeta, entre eles a formação das zonas de altas pressões, responsáveis pelos fluxos de vento.

A Terra recebe anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar, o que corresponde a 1000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se

numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (CEPEL/CRESESB, 1999).

Para Oliveira (1997), uma consideração que pode ser feita, é a comparação entre a energia solar disponível e a área utilizada por uma usina hidrelétrica para gerar eletricidade. No caso de Itaipu, considerada uma usina hidrelétrica “eficiente”, em uma área alagada de  $1,46 \times 10^3 \text{ km}^2$ , foi instalada uma potência de 12,6 GW, que gerou cerca de 57,4 TWh de eletricidade no ano de 1993. Nesta mesma área, incide  $2,4 \times 10^3$  TWh de energia solar radiante. Assumindo que a eficiência de conversão dos sistemas fotovoltaicos seja de 10%, a energia elétrica fotogerada por esta mesma área seria de 240 TWh, aproximadamente 4 vezes maior que a energia gerada por toda a Itaipu.

Ainda, para o CEPEL/CRESESB (1995), o aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios do novo milênio.

### **3.2.1 Características da Energia Solar**

Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, também identificada por um coeficiente denominado massa de ar (AM), e, portanto, do ângulo Zenital do Sol, da distância Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas (CEPEL/CRESESB, 1999).

Com relação à distribuição espectral, Lorenzo (1994) explica que, a radiação emitida pelo sol cobre comprimentos de onda, desde 100nm (0,1 $\mu$ m) até cerca de 8.000nm (8 $\mu$ m), sendo que seu comprimento de onda característico (comprimento de onda de maior intensidade emissiva) é de 550nm (0,55 $\mu$ m), correspondente à cor verde.

Oliveira (1997) define que, a massa de ar AM, é o caminho percorrido pela radiação solar desde sua incidência no topo da atmosfera até atingir a superfície terrestre. Matematicamente, a massa de ar é definida da seguinte forma:  $AM = 1/\cos\theta$ , onde  $\theta$  é a distância angular entre o feixe solar e a vertical no local de incidência. Quando o Sol está no zênite do local, o caminho ótico percorrido pela radiação dentro da atmosfera terrestre é igual a 1, ou seja AM 1,0. AM igual a 1,0 não é sinônimo de meio dia terrestre, pois o Sol, ao meio dia, não está necessariamente no zênite local. À medida que cresce o ângulo entre o feixe solar e a vertical local (ângulo zenital –  $\theta_z$ ), aumenta a massa de ar.

Lorenzo (1994) afirma que, a radiação solar contém fótons que compreendem todas as intensidades luminosas relacionadas com a distribuição espectral. Fora da atmosfera, o espectro solar (espectro AM0) se aproxima ao de um corpo negro a temperatura de 5.800K e o valor da irradiação é de 1367Wm<sup>-2</sup>. Ao nível do mar, esse espectro se modifica devido à absorção atmosférica (espectro AM 1,5) e a irradiação decresce até o valor de 1000Wm<sup>-2</sup>, aproximadamente.

O CEPEL/CRESESB (1999) ressalta também, que de toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera.

Rüther e Kleiss (1996) complementam observando que, a radiação proveniente do sol, ao atravessar a atmosfera, é submetida à ação de seus componentes. A

radiação solar, em decorrência da interferência da atmosfera, em parte é absorvida (ação do ozônio, oxigênio, vapor d'água e etc) e em parte a dispersa (através da ação de moléculas dos elementos químicos presentes, gotas de água, poeira em suspensão etc). Com isto, a radiação global que atinge um plano localizado na superfície terrestre pode ser decomposta em basicamente duas componentes e numa terceira, em geral, de menor expressividade. A primeira componente, denominada radiação direta, é constituída pelo feixe que sai do sol e atinge diretamente a superfície terrestre. A segunda componente, denominada radiação difusa, é a radiação proveniente de todo o céu, com exceção do disco solar. Esta radiação, espalhada por todo o céu, é constituída pela radiação solar que é dispersa pelos elementos da atmosfera. A terceira componente é constituída pela parcela de radiação que é refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, etc.). O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de albedo.

### **3.2.2 Solarimetria**

A medição da radiação solar, tanto a componente direta como a componente difusa na superfície terrestre, é de maior importância para os estudos das influências das condições climáticas e atmosféricas. Com um histórico dessas medidas, pode-se viabilizar a instalação de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano onde, as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações (CEPEL/CRESESB, 1999).

O CEPEL/CRESESB (1999) informa ainda que, de acordo com as normas preestabelecidas pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia) são determinados limites de precisão para quatro tipos de instrumentos: de referência ou padrão,

instrumentos de primeira, segunda e terceira classe. As medições padrões são: radiação global e difusa no plano horizontal e radiação direta normal.

### 3.2.3 Piranômetros

Para Oliveira (1997), os piranômetros fazem parte dos instrumentos destinados para avaliar a radiação solar global incidente em uma dada superfície. Denominados, eventualmente, como solarímetros, estes instrumentos medem a radiação solar global (direta + difusa). São instrumentos com os quais são feitas a maioria das medidas de radiação existentes. Existem basicamente dois tipos de piranômetros mais frequentemente utilizados: piranômetros fotovoltaicos e piranômetros termelétricos.

O piranômetro fotovoltaico é aquele que utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para coletar medidas solarimétricas. Estes piranômetros são largamente utilizados pois apresentam custos bem menores do que os equipamentos tradicionais. Pelas características da célula fotovoltaica, este aparelho apresenta limitações quando apresenta sensibilidade em apenas 60% da radiação solar incidente (CEPEL/CRESESB, 1999).

Segundo Oliveira (1997), o piranômetro termelétrico é aquele que utiliza como elemento sensível uma pilha termelétrica, constituída por termopares em série. Tais elementos geram uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre suas juntas. Portanto, é possível relacionar a diferença de potencial medida na saída do instrumento com a radiação incidente. Os dois tipos de piranômetros termelétricos mais usados são:

Piranômetro do tipo branco e preto - possui um receptor pintado, alternadamente, de preto e branco. Neste caso, as juntas quentes da termopilha estão em

contato com as superfícies negras, altamente absorventes. As pontas frias estão em contato com as superfícies brancas, de grande refletividade;

Piranômetro com toda a superfície receptora pintada de preto - onde estão conectadas as juntas quentes. As juntas frias são associadas a um bloco de metal de grande condutividade térmica, colocadas no interior do equipamento, resguardadas da radiação solar e tendo, aproximadamente a temperatura do ar.

### **3.3 Geração Fotovoltaica**

A conversão direta da energia solar em energia elétrica, é feita através de módulos fotovoltaicos e denominada Energia Solar Fotovoltaica.

#### **3.3.1 Efeito Fotovoltaico**

Para Green et al. (2000), o efeito fotovoltaico (relatado pela primeira vez por Edmond Becquerel, em 1839) decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais semicondutores na presença da luz, constituindo-se no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura do material. Entre os materiais mais usados para a conversão da radiação solar em energia elétrica destaca-se o silício.

Conforme o CEPEL/CRESESB (1995) e Lorenzo (1994), o efeito fotovoltaico ocorre no silício porque o material permite a presença de elétrons em duas bandas de energia, denominadas de banda de valência e de banda de condução, separadas por uma banda vazia (“gap” de energia). As junções *pn* de silício de grande área são denominadas células solares ou fotovoltaicas.



### 3.3.2 Células Fotovoltaicas

Lorenzo (1994) cita que as células de silício monocristalino são historicamente as mais usadas e comercializadas como conversor direto de energia solar em eletricidade. As fotocélulas comerciais obtidas com esta tecnologia atingem uma eficiência de até 15%, podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios.

A eficiência de conversão das células fotovoltaicas, para Green et al. (2000), é medida pela proporção da radiação solar incidente na superfície da célula que é convertida em energia elétrica.

O CEPEL/CRESESB (1999) lembra que, as células de silício policristalino apresentam custo inferior às de silício monocristalino, em função de diferenças no processo de fabricação, entretanto, a eficiência é inferior às células de silício monocristalino.

Lorenzo (1994) comenta que, ao longo dos anos, o processo de fabricação das células de silício policristalino tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais, sendo que atualmente estas células tem sido comercializadas em larga escala.

Para Montenegro (2000), as células de silício amorfo hidrogenada (aSi) eram vistas como a única tecnologia fotovoltaica em filmes finos (película delgadas) comercialmente viável. Esta tecnologia foi empregada pela primeira vez em células fotovoltaicas em meados da década de 70 e imediatamente despontou como tecnologia ideal para aplicação em calculadoras, relógios e outros produtos onde o consumo elétrico era baixo. Por apresentar uma resposta espectral mais voltada para o azul, tais células se mostraram

extremamente eficientes sob iluminação artificial (principalmente sob lâmpadas fluorescentes), com eficiência nestes casos superior à do silício cristalino.

Segundo Silva (2000), um dos fatores que impossibilitava a utilização de energia solar fotovoltaica em larga escala seria o alto custo das células. As primeiras células foram produzidas com o custo de US\$ 600,00/Wp, para programa espacial. Para Montenegro (2000), com a implementação do mercado e várias empresas voltadas para produção de células, o preço tem reduzido ao longo dos anos podendo ser encontrado, ao custo médio de US\$ 8,00/Wp.

### **3.3.3 Módulo Fotovoltaico**

O módulo fotovoltaico é composto de células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente em nível suficiente para o aproveitamento da energia elétrica gerada.

Lorenzo (1994) comenta que, o módulo fotovoltaico é a unidade básica comercialmente disponível, proporcionando proteção mecânica e ambiental às células e permitindo a sua utilização exposta às intempéries, sendo portanto, composto de células encapsuladas e conectadas eletricamente em série e/ou em paralelo, produzindo níveis de tensão e corrente adequados à utilização .

Fraidenraich (1995) explica que, a fotocélula requer o encapsulamento por vários motivos. Em primeiro lugar, para prover a necessária rigidez mecânica devido à fragilidade das células e à flexibilidade dos contatos que as interligam. Em segundo lugar, à necessidade de proteger os contatos elétricos da umidade do ar. Além disso, o encapsulamento representa uma proteção a danos mecânicos provocados por queda de objetos e de granizos,

pássaros e até mesmo atos de vandalismo e ainda permite a necessária isolação elétrica da tensão gerada.

Ainda para o mesmo autor, os módulos são disponíveis em diversos níveis de tensão e potência, sendo que as potências são medidas em Watt-pico (Wp). Comercialmente são disponíveis módulos na faixa de 10Wp a cerca de 300Wp. Os módulos fotovoltaicos são dispositivos bastante confiáveis e de grande durabilidade, sendo que a maioria dos fabricantes oferece uma garantia de 20 anos.

### 3.3.4 Principais Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos

Para o CEPEL/CRESESB (1999), as principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos são:

- Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ ): tensão entre os terminais de uma célula/módulo ou gerador fotovoltaico, quando a corrente em seus terminais é nula;
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ ): corrente que circula por uma célula/módulo ou gerador fotovoltaico, quando a tensão em seus terminais é nula;
- Potência Máxima ( $P_{max}$ ): Ponto da curva I-V para o qual o produto tensão x corrente é máximo;
- Tensão de Potência Máxima ( $V_{mp}$ ): tensão que produz o ponto da curva I-V de máxima potência;
- Corrente de Potência Máxima ( $I_{mp}$ ): é a corrente que produz o ponto da curva I-V de máxima potência.

### 3.3.5 Condição Padrão de Operação de uma Célula/Módulo Fotovoltaico

Segundo Oliveira (1997), para avaliar e comparar o desempenho de módulos fotovoltaicos são feitas medidas de seu comportamento sobre condições controladas, denominadas condições padronizadas. Controlando-se os parâmetros de funcionamento dos módulos, pode-se verificar se seu comportamento está de acordo com o esperado. Dessa forma, os módulos fotovoltaicos são caracterizados através de medidas, nas condições padronizadas, da tensão de circuito aberto,  $V_{oc}$ , da corrente de curto circuito,  $I_{sc}$  e do ponto de máxima potência,  $P_{mp}$ , caracterizado pela corrente e tensão no ponto de máxima potência,  $I_{mp}$  e  $V_{mp}$ , respectivamente.

Lorenzo (1994), informa que, as condições padrão (STC - Standard Test Conditions) para se obter as curvas características dos módulos são definidas como irradiância de  $1000\text{Wm}^{-2}$  (radiação solar recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura), velocidade do vento de  $1\text{ms}^{-1}$  e distribuição espectral (AM) 1,5. Entretanto, quando em operação, os módulos não se encontram nesta condição. Assim, estabeleceu-se uma outra condição, chamada Temperatura Nominal de Operação da Célula (TONC), definida como a temperatura que as células solares alcançam, quando se submete o módulo à irradiância de  $800\text{Wm}^{-2}$ , temperatura ambiente de  $20^{\circ}\text{C}$ , velocidade do vento de  $1\text{ms}^{-1}$  e distribuição espectral (AM) 1,5.

### 3.3.6 Eficiência do Módulo Fotovoltaico

Conforme o Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia, (Grupo FAE-UFPE, 1993), a eficiência máxima de conversão ( $\eta_{\max}$ ) do módulo fotovoltaico é calculada pela relação entre potência máxima transferida do sistema para a carga e a densidade de radiação solar coletada pelos módulos.

Conforme Camargo et al. (2000), a eficiência do módulo fotovoltaico é a relação entre a energia produzida pela energia recebida no local.

Lorenzo (1994) cita que, a eficiência do módulo fotovoltaico, sob condições particulares de irradiância e temperatura, é calculada pela expressão:

$$\eta_{(G_i)} = \frac{P_{MÁX(G_i)}}{A \times G_i} \quad (01)$$

Em que,  $P_{MÁX(G_i)}$  é a potência máxima do sistema determinada para as condições particulares desejadas,  $A$  é a área da face ativa do módulo,  $G_i$  é a irradiância à qual foi submetido o módulo para fornecer o valor de potência máxima utilizado.

### 3.3.7 Características dos Sistemas Fotovoltaicos

Fraidenraich (1995) entende que sistema fotovoltaico é o conjunto de elementos capazes de converter a energia radiante solar em energia utilizável pelo usuário, mediante o emprego de fotocélulas. Tal sistema é constituído de um elemento conversor, formado pela interligação elétrica de vários módulos, que geralmente recebe o nome painel fotovoltaico, e por outros aparatos relativamente convencionais que transformam ou armazenam a energia elétrica para que possa ser utilizada pelo usuário.

Para o CEPEL/CRESESB (1999), um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede.

Costa (2001) comenta que, os sistemas isolados fotovoltaicos atendem a uma determinada carga utilizando exclusivamente a energia solar fotovoltaica. Sua configuração básica compreende, além do módulo fotovoltaico, a unidade de controle de carga e a unidade de armazenamento de energia (Figura 1). A ordem de grandeza da potência fotovoltaica instalada deste tipo de sistema varia tipicamente de centenas de Wp a unidades de kWp.

Fraidenraich (1995) é objetivo quando diz que o sistema é dito autônomo se ele é o único responsável pelo fornecimento da potência elétrica para a carga.

Segundo Montenegro (2000), sistemas autônomos se caracterizam pela necessidade de um sistema acumulador de energia, normalmente um banco de baterias, onde a energia gerada pelos painéis solares é armazenada e distribuída aos pontos de consumo. Dada a característica intermitente da geração fotovoltaica, o sistema acumulador é parte imprescindível da quase totalidade dos sistemas autônomos, constituindo em um de seus componentes de mais elevado custo e representando o "tendão de Aquiles" do sistema.

Para Fedrizzi (1997), a configuração básica pode ser subdividida em várias outras configurações, em função dos tipos de carga a serem alimentadas e/ou da necessidade de armazenamento de energia.

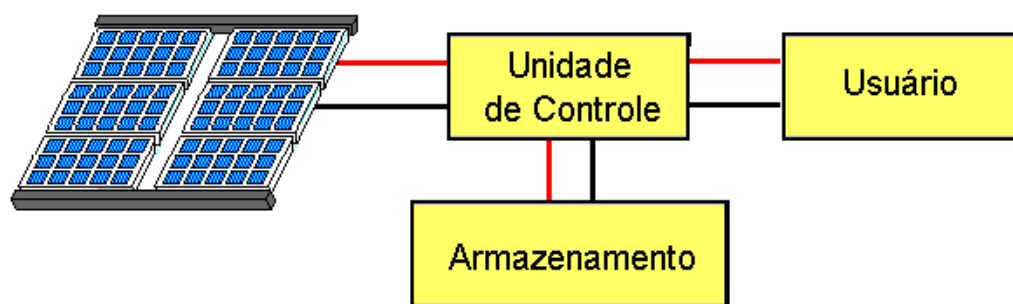


Figura 1. Configuração básica de um sistema fotovoltaico autônomo (isolado).

O CEPEL/CRESESB (1999) apresenta (Figura 2) quatro dentre as muitas configurações possíveis para um sistema fotovoltaico isolado, denominadas tipo A,B,C e D:

Tipo A: alimentação de uma carga CC diretamente a partir de um banco de baterias, cuja carga é controlada por um controlador de carga;

Tipo B: alimentação de uma carga CA por meio de um inversor, conectado diretamente ao banco de baterias, cuja carga é controlada por um controlador de carga;

Tipo C: conexão direta de uma carga CC ao módulo fotovoltaico, no caso, uma bomba d'água com motor CC;

Tipo D: conexão de uma carga CA ao módulo fotovoltaico por meio de um inversor, no caso uma bomba d'água com motor CA.

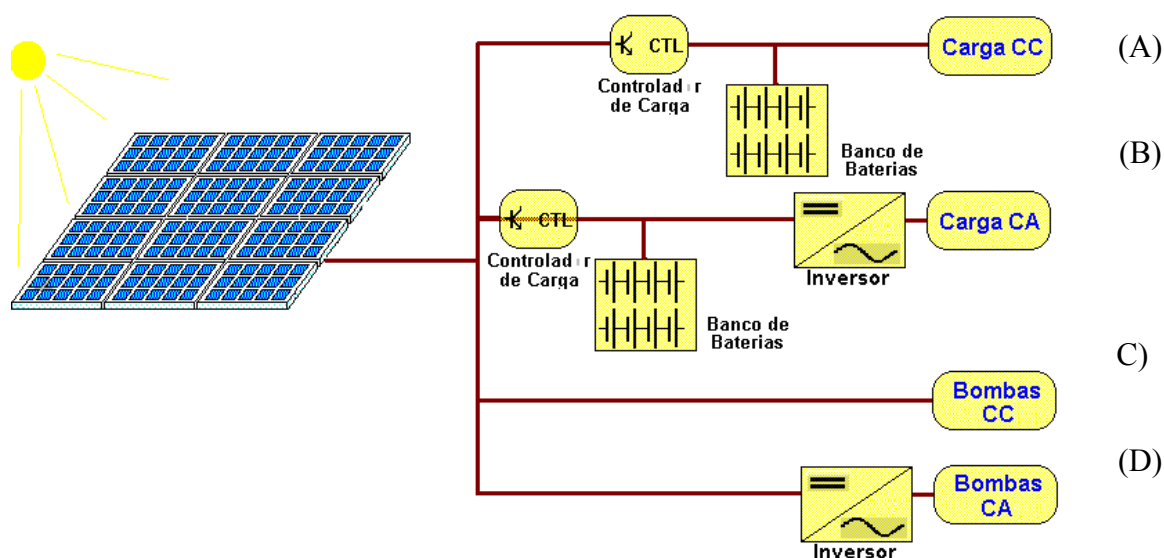


Figura 2. Algumas configurações possíveis do sistema fotovoltaico.

Com relação à instalação dos módulos fotovoltaicos, o GRUPO FAE (UFPE) (1993), comenta que os módulos, em sistemas residenciais de pequeno porte podem ser fixados no solo, em poste, parede ou telhado.

O CEPEL/CRESESB (1995) informa que suporte é uma estrutura concebida especialmente para se adaptar ao terreno e à latitude local.

Rüther (2002) complementa dizendo que numa instalação fotovoltaica, os painéis solares podem ser montados com uma orientação fixa, ou podem estar acoplados a uma estrutura que permita, em um ou dois eixos, o acompanhamento do deslocamento relativo do sol ("tracking systems"). Em sistemas fotovoltaicos autônomos de orientação fixa, quase sempre o arranjo de painéis é orientado de forma a maximizar a captação solar nos meses de inverno, quando a oferta solar é menor e o consumo é muitas vezes maior que o dos meses de verão (perfil de consumo sazonal). Nesses casos, os painéis fotovoltaicos são normalmente orientados para o norte (no hemisfério sul), com inclinação equivalente à latitude



local acrescida de 10 a 15°. Nos "tracking systems" deve-se proceder a uma análise cuidadosa para verificar se os custos envolvidos em "seguir o sol" compensam a energia extra coletada. Nesse caso, também se está introduzindo peças móveis no sistema, o que acarreta maior manutenção.

Para Mesquita et al. (2004), a maior limitação na utilização da energia fotovoltaica consiste no custo de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico como um todo. Sendo assim, os módulos fotovoltaicos, por serem ainda caros, são recomendados apenas para baixos níveis de consumo. Por isso, a grande aplicação da energia solar fotovoltaica está ainda restrita ao atendimento de locais remotos ou áreas de difícil acesso, distantes da rede elétrica.

O CEPEL/CRESESB (1999) informa ainda que, os dois tipos de sistemas fotovoltaicos isolados mais comuns são os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica e os sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água.

Para Mesquita et al (2004), no Brasil, a inserção dos sistemas fotovoltaicos ocorreu no meio rural, em geral, através de iniciativas governamentais ou de concessionárias que financiam a instalação de sistemas fotovoltaicos autônomos como os Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares e os Sistemas de Bombeamento de Água. Mais recentemente, os sistemas fotovoltaicos vêm sendo utilizados integrados em telhados e fachadas de edificações. Nesse caso, tem-se que, além de consumidoras de energia, essas edificações passam a produzir energia, podendo, em algumas situações, verter o excedente à rede de distribuição de eletricidade. A edificação poderá consumir energia da rede ou do sistema fotovoltaico. No caso em que o consumo de energia for menor do que o proporcionado pelo sistema fotovoltaico, o excedente pode ser injetado à rede de distribuição. O principal aporte dos sistemas fotovoltaicos para a sociedade é a geração de energia elétrica com níveis

mínimos de emissões poluentes ao meio ambiente, e por se tratar de uma fonte inesgotável de energia. Tecnicamente, esses sistemas se apresentam como concorrentes dos geradores elétricos convencionais; no entanto, essa concorrência ocorre em condições desfavoráveis para os sistemas fotovoltaicos porque a formação de preços não atribui nenhum valor à redução das emissões e a origem renovável. É importante lembrar que a busca desses mecanismos de incentivo torna-se particularmente importante, quando se observa que muitas das vantagens que as fontes renováveis e não convencionais apresentam não produzem um retorno financeiro ao investidor propriamente dito, trazendo sim grandes benefícios à comunidade, a sociedade e ao meio ambiente. Como a energia solar fotovoltaica ainda possui custos elevados, para que possa continuar desenvolvendo-se é necessário estabelecer mecanismos capazes de viabilizá-la.

Gouvello e Maigne (2003), comentam que no Brasil, os sistemas fotovoltaicos estão mais presentes nas aplicações para atendimento comunitário. Isso se deve a programas governamentais como o PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios), que apóia o uso da eletrificação rural para aplicações comunitárias. Por meio desse programa, já foram instalados milhares de sistemas fotovoltaicos para eletrificação de prédios em lugares isolados, como escolas, postos de saúde, centros comunitários e etc.

Para Moszkowick (1997), a energia solar fotovoltaica está sendo utilizada em áreas rurais através de projetos e programas em diversos países do mundo beneficiando milhões de pessoas, e com crescimento em torno de 15% ao ano na década de 90. No ano de 1997, o crescimento atingiu um recorde histórico de 43%, devido principalmente a programas de sistema fotovoltaicos integrados ao entorno construído que vem sendo implantados em países como Japão, Alemanha, USA e Holanda entre outros. Em 1998, o

crescimento foi de 25%. Este percentual engloba a produção mundial de células solares fotovoltaicas, incluindo todas as tecnologias atualmente comercializadas, ou seja, 157,4 MWp.

No Brasil, Costa (2001) explica que a eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos começou em escala definitiva entre 1992 e 1994, mediante projetos-piloto em cooperação com outros países, principalmente Alemanha e USA. O programa de desenvolvimento energético dos estados e municípios (Prodeem), concebido e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia a partir de 1995, teve a tarefa de eletrificar as comunidades rurais não servidas pela rede convencional elétrica com fontes renováveis de energia.

### **3.4 Energia Eólica**

Bastianon (2003) cita que o homem tem empregado o vento como fonte de energia a milhares de anos, mas foi após a crise do petróleo que esta forma de energia adquiriu grande desenvolvimento.

Para Moragues e Rapallini (2003) o aquecimento diferenciado da superfície terrestre, pela ação da radiação solar, é a causa principal dos ventos. Nas regiões equatoriais tem-se uma maior absorção da radiação solar que nas polares. O ar quente que se eleva nos trópicos é substituído pelas massas de ar frio superficiais proveniente dos pólos. O ciclo se fecha com o deslocamento do ar quente até os pólos pelas regiões mais elevadas da atmosfera. Entretanto, como a Terra gira, esta circulação é alterada pelo movimento de rotação do globo gerando zonas de ventos dominantes que respondem a padrões definidos.

A DWIA (2003a) informa que 2% da energia solar incidente sobre a Terra é convertida em energia eólica. Este percentual, embora pareça pequeno, representa centena de vezes a potência anual instalada nas centrais elétricas do mundo.

### 3.4.1 Avaliação do Potencial Eólico

Para Terciote (2002) os ventos que sopram em escala global e aqueles que se manifestam em pequena escala são influenciados por diferentes aspectos entre os quais destacam-se a rugosidade do solo, os obstáculos e o relevo.

Para Johansson et al. (1993) os ventos possuem energia cinética, que pode ser aproveitada com o uso de aerogeradores, os quais têm a capacidade de converter esta energia cinética disponível nos ventos em energia elétrica. Assim, a energia cinética ( $E_c$ ) contida em uma amostra de volume de ar ( $A(\delta x)$ ), com a densidade do ar ( $\rho$ ) movendo-se com uma velocidade ( $v$ ) onde ( $A$ ) é a unidade de área perpendicular à direção do vento e ( $\delta x$ ) é paralelo à direção dos ventos, é dada por:

$$E_c = \frac{M v^2}{2} = \frac{\rho A (\delta x) v^2}{2} \quad (02)$$

O fluxo de energia ( $P$ ) é obtido pela derivada da energia cinética ( $dE_c$ ) por unidade de área, em relação ao tempo ( $dt$ ):

$$P = \frac{dE_c}{dt} \times \frac{1}{A} = \frac{\rho}{2} \left( \frac{\delta x}{\delta t} \right) v^2 = \frac{\rho v^3}{2} \quad (03)$$

Assim, a energia disponível no vento ( $E$ ) é:

$$E = P.h = \frac{\rho v^3}{2} \cdot h \quad (04)$$

Em que,  $h$  representa o tempo, em horas.

A densidade do ar pode ser calculada aproximadamente pela temperatura ( $T$ ) e a pressão ( $P$ ) do local onde o aerogerador está posicionado por:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (05)$$

Em que, (R) é a constante do ar.

### 3.4.2 Eficiência de Betz

A DWIA (2003b) explica que a Lei de Betz foi formulada pela primeira vez por Albert Betz em 1919. Pela Lei, só pode-se converter 16/27 (ou 59%) da energia cinética do vento em energia mecânica usando-se um aerogerador.

Conforme DWIA (2003b), para demonstrar a Lei de Betz, pode-se considerar que  $v_1$  seja a velocidade do vento antes de passar pelo aerogerador e  $v_2$  a velocidade após a passagem pelo aerogerador, como apresentado na Figura 3. Pode-se dizer, então, que a massa de fluxo de ar ( $m$ ) que passa pelo aerogerador é:

$$m = \frac{\rho A(v_1 + v_2)}{2} \quad (06)$$

Em que, ( $\rho$ ) é a densidade do ar e ( $A$ ) a área varrida pelo rotor.

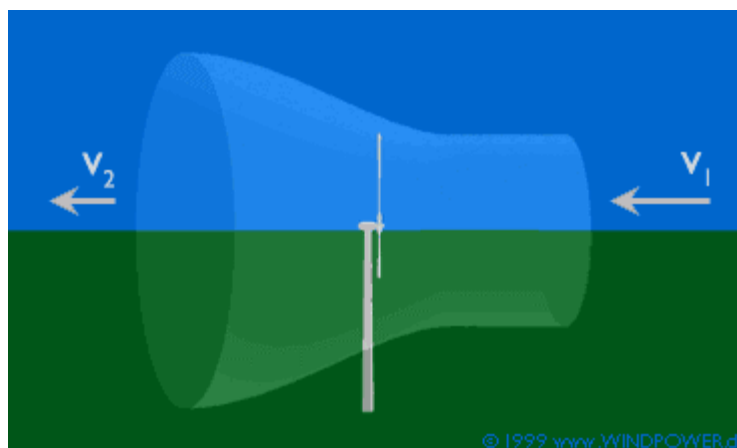


Figura 3. Comportamento da velocidade do vento antes e depois de passar pelo aerogerador.

A potencia do vento (P) extraída pelo rotor é igual ao produto entre a massa do fluxo de ar e a diferença dos quadrados da velocidade do vento.

$$P = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2} \quad (07)$$

Substituindo-se o fluxo de massa de ar (m) na Equação 07 pelo encontrado na Equação 06, tem-se a seguinte expressão para a potência extraída do vento (P):

$$P = \left(\frac{\rho}{4}\right)(v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)A \quad (08)$$

A potência extraída pelo vento ( $P_0$ ) para a mesma área (A) sem nenhum tipo de obstáculo ao fluxo de ar é:

$$P_0 = \frac{\rho v_1^3 A}{2} \quad (09)$$

A razão entre as Equações 08 e 09 é:

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right) \left(1 + \left(\frac{v_2}{v_1}\right)\right) \quad (10)$$

O ponto máximo da Equação 10 é obtido quando  $v_2/v_1$  é igual a 1/3.

Neste ponto  $P/P_0$  é igual a 0,59 vezes o valor de  $P_0$  ou, 16/27 da potência disponível no vento.

### 3.4.3 Medição do Vento

Para Castro (2004), idealmente, a caracterização do recurso eólico num local deve ser feita com base em medições realizadas em vários pontos da região de interesse para o aproveitamento da energia eólica e ao longo de um número significativo de anos. Na prática, a falta de tempo e de recursos financeiros leva à decisões muitas vezes baseadas num único registro medido ao longo de apenas um ano.

Conforme a DWIA (2003c), as medições das velocidades do vento se realizam normalmente usando um anemômetro de conchas. Estes anemômetros têm um eixo vertical e três conchas impulsionadas pelo vento. O número de revoluções por segundo pode ser registrado eletronicamente. Normalmente, o anemômetro é provido de um direcionador (bandeira) para detectar a direção do vento.

Para Mastrángelo et al. (2004) os registros diários da direção do vento permitem estabelecer para cada lugar um diagrama que permite conhecer os tempos relativos expressos em porcentagem, durante os quais o vento tem soprado em uma direção determinada. Comenta, ainda, que a direção recebe a designação do ponto cardinal de onde sopra. Chama-se direção oeste se a corrente de ar vem da região oeste.

Com relação aos equipamentos para medição da velocidade e direção do vento, Castro (2004) informa que é essencial que a instrumentação esteja bem exposta a todas as direções do vento, isto é, os obstáculos devem estar situados a uma distância de, pelo menos, dez vezes a sua altura. A medição do vento deve ser efetuada a uma altura próxima da altura a que vai ficar o cubo do rotor da turbina. De forma a permitir correlacionar os dados do local com os registros existentes em estações meteorológicas próximas, é desejável uma medida adicional à altura normalizada de 10 metros.

A DWIA (2003d) sugere que a frequência de amostragem dos dados de vento seja feita com médias em intervalos de 10 minutos para que seja compatível com os programas utilizados para análise de dados.

#### **3.4.4 Aproveitamento do Potencial Eólico**

A utilização da energia eólica para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início há pouco mais de 30 anos e através de conhecimentos da indústria aeronáutica os equipamentos para geração eólica evoluíram rapidamente em termos de idéias e conceitos preliminares para produtos de alta tecnologia (DWIA, 2002).

Lacera e Xiberta (2004), afirmam que a avaliação da energia eólica disponível é a curto, médio e longo prazo uma tarefa complexa. O vento é uma fonte com substanciais variações temporais e espaciais, tanto na superfície como na altura, e que conta, além disso, com uma componente aleatória importante. Ao mesmo tempo, se deve considerar que a energia eólica disponível por unidade de área exposta ao vento é proporcional ao cubo da velocidade, por isso pequenas variações desta afetam sensivelmente a energia fornecida.

No início da década de 70, com a crise mundial do petróleo, houve um grande interesse de países europeus e dos Estados Unidos em desenvolver equipamentos para produção de eletricidade que ajudassem a diminuir a dependência do petróleo e carvão. Mais de 50.000 novos empregos foram criados e uma sólida indústria de componentes e equipamentos foi desenvolvida. Atualmente, a indústria de turbinas eólicas vem acumulando crescimentos anuais acima de 30% e movimentando cerca de 2 bilhões de dólares em vendas por ano (ECDGE, 2002).



Conforme a GWEA (2002) existem mais de 30.000 turbinas eólicas de grande porte em operação no mundo, com capacidade instalada da ordem de 13.500 MW. No âmbito do Comitê Internacional de Mudanças Climáticas, está sendo projetada a instalação de 30.000 MW, por volta do ano 2030, podendo tal projeção ser estendida em função da perspectiva de venda dos "Certificados de Créditos de Carbono".

Na Dinamarca, a contribuição da energia eólica é de 12% da energia elétrica total produzida; no norte da Alemanha a contribuição eólica já passou de 16%; e a União Européia tem como meta gerar 10% de toda eletricidade a partir do vento até 2030 (DWIA, 2002).

No Brasil, conforme informam Rosas e Estanqueiro (2003), embora o aproveitamento dos recursos eólicos tenha sido feito tradicionalmente com a utilização de cata-ventos multipás para bombeamento d'água, algumas medidas precisas de vento, realizadas recentemente em diversos pontos do território nacional, indicam a existência de um imenso potencial eólico para geração de energia elétrica, ainda não explorado. A capacidade instalada no Brasil é de 20,3 MW, com turbinas eólicas de médio e grande portes conectadas à rede elétrica. Além disso, existem dezenas de turbinas eólicas de pequeno porte funcionando em locais isolados da rede convencional para aplicações diversas - bombeamento, carregamento de baterias, telecomunicações e eletrificação rural.

Rosas e Estanqueiro (2003) complementam dizendo que, grande atenção tem sido dirigida para o Estado do Ceará por este ter sido um dos primeiros locais a realizar um programa de levantamento do potencial eólico através de medidas de vento com modernos anemógrafos computadorizados. Entretanto, não foi apenas na costa do Nordeste que áreas de grande potencial eólico foram identificadas. Em Minas Gerais, por exemplo, uma

central eólica está em funcionamento, desde 1994, em um local (afastado mais de 1000 km da costa) com excelentes condições de vento.

Para Hansen (1999), a produção mundial de pequenos sistemas eólicos, com sistema de armazenamento de energia em baterias, é aproximadamente de 30 a 50 mil unidades por ano das quais 90% têm um limite máximo de potência inferior a 100 W. Os principais mercados são o Reino Unido (marinha e caravanas) e China (populações seminomades na região da Mongólia).

### **3.5 Geração Eólica**

A geração eólica consiste na utilização de turbinas eólicas para a conversão direta da energia contida no vento em energia elétrica. Os sistemas de geração de energia eólica existem em diversas dimensões e para diferentes níveis de geração.

#### **3.5.1 Sistemas de Grande Porte Ligados à Rede**

As dimensões típicas das turbinas eólicas de eixo horizontal de ligação à rede situam-se numa gama entre 50 kW e 2 MW . A tentativa de especificar um ponto ótimo para a dimensão dos aerogeradores tem alimentado grande número de discussões. No entanto ainda não existe evidência de que exista um ótimo econômico (DWIA, 2002).

Para a GWEA (2002) a tecnologia de sistemas eólicos atingiu, nos EUA e na Europa, a maturidade. A Europa tem vantagem competitiva ao nível de aerogeradores de grande dimensão (ordem de MW), pois o desenvolvimento destes sistemas teve início neste continente. Estas máquinas são desenvolvidas com base em experiências não comerciais de projetos de investigação e demonstração.

Rosas e Estanqueiro (2003) citam que aerogeradores de ligação à rede funcionam agrupados em estruturas denominadas parques eólicos. A dimensão dos parques eólicos varia entre alguns 0.1 MW a dezenas de MW podendo ser ligados à rede em níveis de tensão MT, AT ou MAT.

A GWEA (2002), com relação aos tipos de aerogeradores, informa que vários modelos conceituais estão em uso: aerogeradores de eixo horizontal ou eixo vertical; de velocidade variável ou de velocidade fixa; com reguladores de velocidade “stall” ou reguladores de velocidade “pitch”.

A velocidade das turbinas “stall” é regulada naturalmente pelas características aerodinâmicas das pás sendo necessário um sistema de travagem para parar o rotor quando necessário. Os aerogeradores com reguladores de velocidade “pitch” são constituídos por pás em que o ângulo de inclinação é regulável. Este tipo de controle, mais complexo, dá à turbina uma maior capacidade de aproveitamento energético.

Os aerogeradores mais comuns no mercado são aerogeradores de eixo horizontal, com três pás e com reguladores de velocidade do tipo “stall” (2/3 das máquinas) ou “pitch” (1/3), funcionando com velocidade aproximadamente constante. Outros modelos conceituais promissores, baseados em velocidades do rotor variáveis, estão a ser explorados em projetos liderados por companhias Europeias (DWIA, 2002).

Segundo a GWEA (2002) os aerogeradores atualmente no mercado usam, para a conversão de energia mecânica em elétrica, geradores assíncronos. A designação de aerogeradores de velocidade fixa vem da tentativa de manter a velocidade fixa a partir de sistemas mecânicos ou aerodinâmicos. No entanto, o gerador assíncrono utilizado por estes aerogeradores não têm que funcionar forçosamente a uma velocidade fixa, tal como acontece

com o gerador síncrono, mas sim dentro de uma gama de velocidades recomendável. A grande desvantagem dos geradores assíncronos reside no fato de precisarem absorver energia reativa da rede o que, para além de uma dependência desta, lhe trás problemas de controle de tensão e frequência.

A DWIA (2002) explica que os modelos de velocidade variável baseiam-se no uso de geradores síncronos e permitem um melhor aproveitamento da energia. Os geradores síncronos têm capacidade de controlar, através da excitação, a tensão e a potência reativa gerada o que era impossível nos geradores assíncronos. No entanto, a frequência é diretamente proporcional à velocidade de rotação do rotor pelo que são necessários sistemas de conversão de frequência. Os sistemas de conversão de frequência baseiam-se em sistemas eletrônicos de potência, mais concretamente: um retificador AC-DC e um inversor DC-AC. Estes sistemas possibilitam uma total manipulação da onda de saída: forma, frequência, fator de potência e tensão.

### **3.5.2 Sistemas Eólicos Isolados de Pequeno Porte**

Para Hansen (1999) estes sistemas delimitam uma gama de potências entre 25 W e 10 kW e são usados para carga de baterias, bombeamento de água, aquecimento, etc. Para sistemas de carga de pequenas baterias, com potências entre 25 W e 150 W (usando turbinas com diâmetro de rotor de 1 a 3 m), sendo este tipo de sistemas o mais bem sucedido comercialmente. Aproximadamente 200 mil pequenos sistemas de carga de baterias estão neste momento em uso.

Powell (1981) explica que os aerogeradores têm um comportamento menos padronizado que os sistemas fotovoltaicos, e apesar da forma da sua curva de potência ser típica (potência em função da velocidade do vento), é mais difícil estabelecer uma equação que defina um comportamento geral. Assim, para o modelo mais simples, os valores de potência e velocidade do vento da curva fornecida pelo fabricante são tabelados.

Lysen (1982), entretanto, lembra que modelos matemáticos com outros graus de complexidade têm sido desenvolvidos, alguns simples, que consideram lineares todas as partes da curva e outros mais elaborados, que consideram até parâmetros da forma da distribuição da velocidade do vento no local.

Menet et al. (2001), concluem que a necessidade de exploração da potência fornecida pelo vento, leva a reconsiderar o critério habitual de escolha de turbinas eólicas que no momento é baseado apenas na eficiência.

### **3.5.3 Eficiência dos Sistemas Eólicos**

Para Johansson et al. (1993) a eficiência do sistema eólico pode ser determinada pela relação entre a potência disponível no vento com a potência final que é fornecida pelo sistema. Os rotores eólicos ao extraírem a energia do vento reduzem a sua velocidade, ou seja, a velocidade do vento frontal ao rotor é maior do que a velocidade do vento atrás do rotor. Uma redução muito grande da velocidade do vento faz com que o ar circule em volta do rotor, ao invés de passar através dele.

Para Nfaoui et al. (1998) a condição de máxima extração de energia se verifica para uma velocidade após o rotor igual a  $1/3$  da velocidade antes da passagem pelo

rotor. Em condições ideais, o valor máximo da energia captada por um rotor eólico é limitado pela eficiência de Betz.

Bastianon (2003) explica que da potência disponível no vento, só uma parte pode ser captada pelas pás e o grau de eficiência destas é medido pelo coeficiente de potência. Para o cata-vento multipás o valor máximo do coeficiente de potência pode chegar a 0,12, enquanto que, para um aerogerador eficiente de três pás, pode chegar a 0,42. O valor máximo do coeficiente de potência representa o rendimento aerodinâmico que as pás do aerogerador podem obter.

Reis (2002) cita que a potência fornecida pela turbina, depende do coeficiente de potência e que, este coeficiente é obtido a partir da razão entre a potência captada e a potência eólica existente na massa de ar.

Terciole (2002) comenta que para um sistema eólico, existem ainda outras perdas, relacionadas com cada componente (rotor, transmissão, caixa multiplicadora e gerador). Além disso, o fato do rotor eólico funcionar em uma faixa limitada de velocidade de vento também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada.

Para o CRESESB/CEPEL (2002) o rotor é o componente do sistema eólico responsável por captar a energia cinética dos ventos e transformá-la em energia mecânica de rotação. É o componente mais característico de um sistema eólico. Por este motivo, a configuração do rotor influenciará diretamente no rendimento global do sistema.

Terciole (2002) comenta que o rotor é o primeiro estágio de conversão da energia do vento em eletricidade sendo que os outros dois são a transmissão e o gerador, responsáveis respectivamente por adequar a velocidade de rotação e por converter a energia

mecânica em energia elétrica. Comenta ainda que, os padrões de rotores utilizados nos aerogeradores modernos são de três ou duas pás.

Para Mastrángelo et al. (2004) as máquinas de poucas pás (2 ou 3) podem alcançar velocidades de rotação muito maiores, quando comparadas com as multipás, para uma dada velocidade de vento. Eles citam que, uma máquina de duas ou três pás operando com uma velocidade de vento de  $10\text{ms}^{-1}$ , fornece mais que o quádruplo de potência mecânica do que uma máquina multipás.

Castro (2004) explica que o acréscimo na energia capturada ao vento está estimado em cerca de 3 a 5% quando o rotor passa de duas para três pás, mas esta porcentagem torna-se progressivamente menor à medida que se aumenta o número de pás. Este é o motivo pelo qual, a grande maioria das turbinas em operação apresenta rotores com três pás, embora a solução com duas pás configure benefícios relacionados com a diminuição de peso e de custo.

Com relação ao rotor, o mesmo deve ser fabricado com grande precisão nos perfis aerodinâmicos e bom acabamento superficial, requisitos para maximizar a eficiência aerodinâmica. Esta depende das seguintes características geométricas das pás (TERCIOTE, 2002):

Tamanho (comprimento): está determinado em função da potência desejada e fixado também pela frequência de rotação máxima, a qual a hélice não deve ultrapassar evitando, desta forma, tensões nas pás devido à força centrípeta. É importante estudar a vibração e a fadiga das pás, principalmente nas maiores;

Perfil: está relacionado com o desenho da borda da pá, sendo um parâmetro de grande importância, já que o rendimento do rotor depende deste perfil. Em

estudo realizado por Hulscher e Frankel (1994), comprovou-se que o perfil de asa de avião proporciona um empuxo máximo e resistência mínima, que é muito útil para a construção das pás;

Ângulo de ataque: escolhidos o perfil e a velocidade típica do rotor, se determina esse fator, que permite obter a potência ótima e também utilizá-lo como sistema de regulação;

Espessura: não intervém na potência de saída da turbina eólica (que depende da área varrida pelas pás) mas no arranque (partida). Com pás mais estreitas e finas se consegue uma velocidade de rotação maior, ao passo que com pás mais espessas se consegue uma velocidade menor, porém com torque de partida maior.

### **3.6 Sistemas Híbridos de Geração de Energia Elétrica**

#### **3.6.1 Características dos Sistemas Híbridos de Energia**

Para Barbosa et al. (2004), considera-se um sistema híbrido aquele que utiliza conjuntamente mais de uma fonte de energia, dependendo da disponibilidade dos recursos energéticos locais, para geração de energia elétrica. A opção pelo hibridismo é feita de modo que uma fonte complemente a eventual falta da outra.

Rosas e Estanqueiro (2003) informa que estes sistemas podem ser sistemas de geração eólicos combinados com sistemas fotovoltaicos, diesel ou hídricos, em que podem ou não ser usados sistemas de armazenamento de energia. Além disto, estes sistemas são usados para pequenas redes isoladas ou para aplicações especiais tais como bombeamento de água, carga de baterias, atendimento de pequenas comunidades e



dessalinização, por exemplo. A dimensão destes sistemas varia entre 10 kW e 200 kW sendo os modelos criados e dimensionados especialmente para cada caso de estudo, o que justifica o elevado custo deste tipo de sistemas.

Barbosa et al. (2004) afirmam que dentre as fontes energéticas utilizadas pelos sistemas híbridos, as que mais se sobressaem são a solar e a eólica, ambas de caráter renovável.

Rosas e Estanqueiro (2003) avaliam que o objetivo destes sistemas é produzir o máximo de energia possível a partir das fontes renováveis, enquanto mantidas a qualidade da energia e a confiabilidade especificada para cada projeto.

Para Hansen (1998) a implantação com sucesso de um sistema híbrido de energia, depende de pelo menos dois fatores: a confiabilidade da operação ao fornecimento de energia e o custo da energia gerada.

Para Rosas e Estanqueiro (2003), entre os sistemas híbridos de energia elétrica, os eólicos-diesel são os mais utilizados. Os principais componentes destes sistemas são a turbina eólica e o gerador diesel. Outros componentes como sistemas de armazenamento de energia, dispositivos para dissipação de energia e cargas controladas podem ser incluídos, a fim de obter o aumento da eficiência e confiabilidade do sistema.

Quinlan (1996) cita que um dos primeiros sistemas híbridos foi do tipo eólico-diesel e instalado no Novo México, EUA, em 1977, com a capacidade de 200 kW de potência para geração eólica e com um sistema de geração diesel de 7,85 MW.

No Brasil, Cunha (1998) apresentou estudos realizados para o levantamento do potencial eólico e da demanda da Ilha de Algodal, no Pará, bem como os procedimentos de simulação para a especificação do sistema híbrido eólico-diesel de geração

de energia elétrica. Vale (2000), efetuou a monitoração de um sistema híbrido eólico-diesel para a geração de eletricidade.

Choi e Larkin (1995) avaliaram que os sistemas híbridos eólico-diesel não precisavam necessariamente do banco de baterias, pois a maioria das aplicações era de corrente alternada e a quase totalidade dos aerogeradores fornece este tipo de corrente. Porém, para evitar as flutuações na potência fornecida pelo aerogerador (devido às flutuações da velocidade do vento) o gerador diesel deveria trabalhar continuamente, com o que não diminuiria o período para manutenção.

Bhatti et al. (1997) consideram que em algumas aplicações é empregado um conjunto de geradores diesel de diferentes capacidades, o qual permite que apenas o gerador de potência mais aproximada à carga a ser atendida esteja funcionando (é possível que para isto seja necessário não apenas um gerador e sim alguns deles). Diferentes métodos foram empregados para reduzir o “desacoplamento” entre a produção e a demanda sendo que o mais utilizado é o armazenamento de energia em bancos de baterias.

Para Beyer et al. (1995) armazenando-se a energia em banco de baterias, o sistema é capaz de absorver o excedente de energia quando a disponibilidade eólica é elevada e garantir o armazenamento da energia demandada para complementar – ou suprir – a energia produzida pelo aerogerador quando a disponibilidade eólica não é suficiente. O resultado tem sido um controle adequado da tensão e da frequência elétrica e uma redução considerável do combustível consumido e da frequência dos ciclos liga-desliga, inclusive para tempos de armazenamento pequenos .

Para Bhatti et al. (1997) a maturidade da tecnologia renovável e a expansão dos sistemas com o aproveitamento das energias solar e eólica favorecem a

diminuição dos preços dos componentes e novos controles poderão permitir a eliminação ou uma maior redução do tamanho do banco de baterias.

Ashri e Nayar (1999) comentam que em qualquer caso, é uma prioridade a economia de combustível e a procura do mínimo custo para a instalação. Neste sentido têm sido desenvolvidas estratégias de controle que permitam o funcionamento mais adequado dos geradores diesel e que podem ser empregadas em aplicações com diferentes condições.

Para Uhlen e Toftevaag (1996) o uso de sistemas híbridos pode diminuir o tempo de funcionamento e a frequência dos ciclos liga-desliga dos geradores diesel, fazendo-os trabalhar nas faixas de suas curvas características onde são mais eficientes.

O sucesso dos sistemas fotovoltaicos e dos sistemas híbridos eólico-diesel e fotovoltaico-diesel permitiu a “migração” para os sistemas híbridos eólico-fotovoltaico-diesel a partir da década dos 90.

McGowan e Manwell (1999) consideram que as maiores contribuições com relação a sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos provêm de institutos de pesquisa e outras instituições interessadas na utilização de energias renováveis, que têm patrocinado a instalação e/ou o monitoramento de várias instalações, e que, através de diversas vias, têm divulgado suas experiências.

Vários autores (Ladakakos et al., 1996; Manwell e McGowan, 1994; Kariniotakis et al., 1993; Infield et al., 1993) desenvolveram procedimentos e modelos para o dimensionamento integral e/ou a avaliação dos sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos-diesel, apesar disto, a grande maioria dos sistemas instalados continuaram sendo, quase totalmente, do tipo eólico-diesel.

### 3.6.2 Dimensionamento de Sistemas Híbridos

Castedo et al. (1996) avalia que os métodos para o dimensionamento dos sistemas híbridos são geralmente do tipo energético e partem da condição que a energia produzida com a participação dos diferentes geradores possa satisfazer a demanda, considerando o custo em alguns casos.

Manolakos et al. (2001) explica que um método empregado por vários pesquisadores consiste em escolher o tamanho de alguns componentes e determinar o tamanho dos restantes, procurando minimizar os custos do sistema e de manutenção e/ou maximizar a economia de combustível.

Para Elhadidy e Shaahid (2000) de forma geral, pode-se escolher um aerogerador que satisfaça uma grande porção da demanda para diminuir a participação fotovoltaica, dado seu maior preço relativo.

García (2004) explica que um procedimento mais aperfeiçoado baseado no mesmo princípio de complementaridade é empregado para sistemas sem a presença do gerador diesel, isto é, eólico-fotovoltaicos puros. O procedimento considera a produção das componentes eólica e fotovoltaica e muda, complementarmente, o tamanho de ambas componentes para satisfazer a demanda.

Para selecionar uma combinação, Protogeropoulos et al. (1993) sugerem considerar a probabilidade de perda de carga do sistema (PPC), a qual diminui, para uma mesma configuração, na medida que é incrementado o tamanho do subsistema de armazenamento.

Habib et al. (1999) consideram o custo do sistema e escolhem a configuração de custo mínimo, que para sua aplicação, com uma demanda constante de 5 kW, combina 59% de participação eólica e 41% de fotovoltaica.

É comum a estes métodos realizar a análise a partir das características reais de uma bateria, um módulo fotovoltaico e/ou um aerogerador. O processo de seleção determinará o número de elementos de cada subsistema. Assim por exemplo, para uma PPC e uma capacidade do banco de bateria predeterminada, o método de Protogeropoulos et al. (1993) indica o número de módulos e de aerogeradores necessários.

No método de Habib et al. (1999) a combinação fica definida com a relação solar/eólica que projeta o menor custo.

Para simular o desempenho energético dos sistemas híbridos, os grupos e institutos de pesquisas têm desenvolvido alguns programas computacionais, a partir da modelagem de cada um dos componentes do sistema (Morgan et al., 1997, Wichert, 1997, Ladakakos et al., 1996, Infield et al., 1993, Macêdo, 2002, Giacomini, 2002).

Childs et al., 1996, estudaram o impacto do incremento da componente eólica sobre o comportamento da rede em duas comunidades isoladas no estado de Alaska, visando o estabelecimento de modelos que possam antecipar a instabilidade durante os transitórios e de estratégias de funcionamento para corrigi-la.

Na mesma direção, Choi e Larkin, 1995, determinam que a contribuição eólica não pode ultrapassar 45% da demanda, sob pena de que o sistema de controle projetado não possa manter a qualidade da tensão da rede diante das variações da velocidade do vento.

Elhadidy e Shaahid (2000), mostraram que com dois aerogeradores de 10 kW e 3 kWp de painel fotovoltaico, o gerador diesel do sistema híbrido supre 48% da demanda, compromisso que cai para 23% quando é incorporado um banco de baterias com 3 dias de armazenamento.

McGowan et al., 1996, testaram 11 configurações para sistemas de telecomunicações típicos do Brasil, sendo que a mais econômica resultou ser uma das que combinava apenas as componentes eólica e fotovoltaica (com banco de baterias).

Para Copetti et al. (1993), a bateria ou o banco de baterias, fazem parte dos componentes de modelagem complexa, pois seu funcionamento compreende processos químicos de carga e descarga, cada um dos quais responde diferentemente a diversos fatores como correntes, temperatura e estado de carga.

Segundo García (2004), os modelos empregados têm por objetivo determinar a capacidade da bateria, para gerenciar a quantidade de energia armazenada ou possível de armazenar e assim poder estimar-se a autonomia do sistema e sua confiabilidade.

Ashari e Nayar, 1999, por sua vez, estabelecem várias estratégias de funcionamento para otimizar sistemas híbridos fotovoltaico-diesel. Na aplicação que empregaram como exemplo, conseguiram diminuir o custo da energia de US\$1,16/kWh – do sistema diesel – para US\$0,6-0,8/kWh com o sistema híbrido. O capital inicial de um sistema para o aproveitamento das energias solar e eólica, híbrido ou não, é várias vezes superior ao necessário para adquirir um gerador diesel de potência equivalente. Contudo, a vida útil de aerogeradores e módulos fotovoltaicos está em torno dos 20-30 anos (das baterias está na faixa de 2-5 anos) e, diferentemente dos geradores diesel, precisam de um mínimo de manutenção.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Material**

#### **4.1.1 Localização da Área Experimental**

O trabalho foi desenvolvido no Núcleo de Energias Alternativas e Renováveis – NEAR do Laboratório de Energização Rural do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Faculdade Ciências Agrônômicas, Fazenda Experimental Lageado (Figura 4), localizada no município de Botucatu, São Paulo, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' Latitude Sul (S) e 48° 26' Longitude Oeste (W) e altitude média de 786 metros acima do nível do mar. A velocidade média mensal do vento a 10 m de altura é 3,1 ms<sup>-1</sup> e a energia solar global média mensal diária é de 4772,13 Whm<sup>-2</sup> (SILVA, 2000).

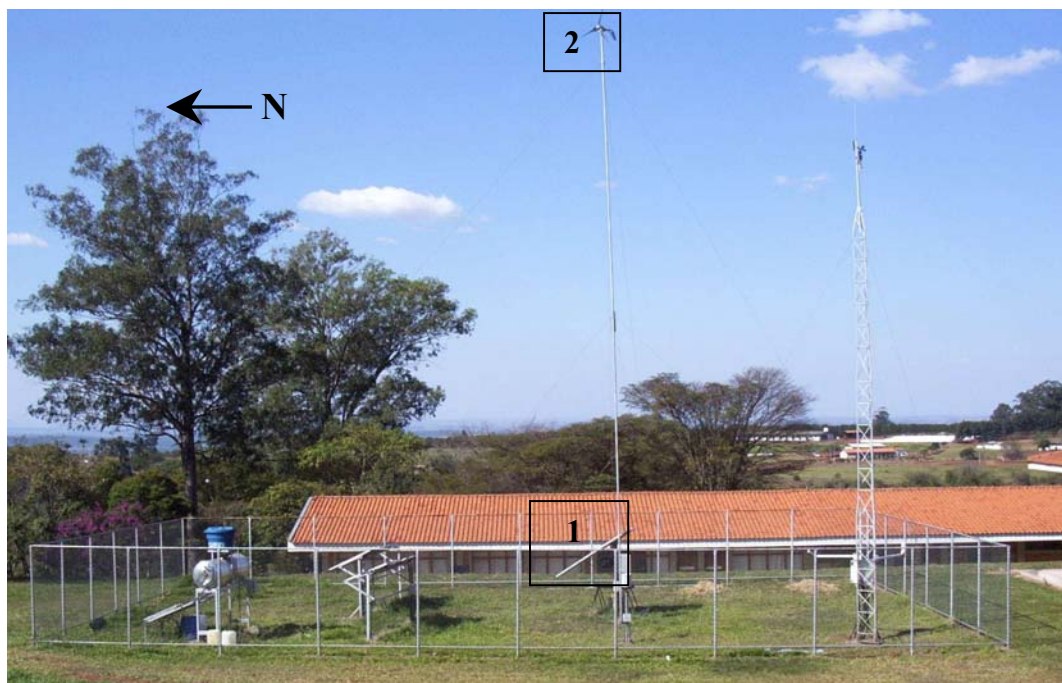


Figura 4. Vista panorâmica do NEAR e da instalação do sistema híbrido eólico fotovoltaico. 1 - Painel fotovoltaico do sistema; 2 - Aerogerador do sistema; N = Norte geográfico do local.

#### 4.1.2 Equipamentos de Medições Meteorológicas

Os equipamentos para medição das variáveis meteorológicas e de aquisição de dados do experimento foram instalados em uma torre UT930 da CAMPBELL, conforme ilustra a Figura 5. A estrutura da torre é confeccionada em alumínio tubular, treliçada e montada sobre uma base triangular. A torre é composta por três seções, com altura total de 10m.





Figura 5. Torre utilizada para a instalação dos equipamentos de medição meteorológica e aquisição de dados. 1 – Anemômetro; 2 – Piranômetro; 3 - Termo higrômetro; 4 – Datalogger CR23-X.

A velocidade e direção do vento instantâneas foram medidas com o anemômetro RM-YOUNG WIND MONITOR da CAMPBELL (Figura 6). O anemômetro foi instalado em uma torre a dez metros de altura do solo. As características do anemômetro para medição da velocidade do vento e determinação da direção do vento são mostradas na Tabela 1.



Figura 6. Anemômetro RM-YOUNG WIND MONITOR utilizado para determinação da velocidade e direção do vento no local.

Tabela 1. Especificações técnicas do anemômetro R.M. YOUNG WIND MONITOR.

<b>ANEMÔMETRO - R.M. YOUNG WIND MONITOR</b>	
<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	
<b>MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO</b>	
Faixa	De 0 à $60\text{ms}^{-1}$ ( $216\text{kmh}^{-1}$ ), sobrevivência a rajadas de $100\text{ms}^{-1}$ ( $360\text{kmh}^{-1}$ )
Sensor	4 hélices de polipropileno de 18cm de diâmetro com revolução por passagem de ar.
Sensibilidade mínima	$1,0\text{ms}^{-1}$ ( $3,6\text{kmh}^{-1}$ )
Transdutor	Bobina estacionária montada centralmente, com resistência nominal de $2\text{K}\Omega$ .
Sinal de saída	De 0 à 1,00 VDC para o alcance especificado.
<b>DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO DO VENTO</b>	
Faixa	$360^\circ$ mecânicos, $355^\circ$ elétricos ( $5^\circ$ em aberto)
Sensor	Cata-vento balanceado, com raio de rotação de 38 cm.
Razão de amortecimento	0,3
Sensibilidade mínima	$1,1\text{ms}^{-1}$ ( $4\text{kmh}^{-1}$ ) à $10^\circ$ de deslocamento
Transdutor:	Potenciômetro de precisão com revestimento plástico com $10\text{K}\Omega$ de resistência ( $\pm 20\%$ ), 0,25% de linearidade, expectativa de vida de 50 milhões de revoluções, à taxa de 1 watt à $40^\circ\text{C}$ , 0 watts à $125^\circ\text{C}$ .
Sinal de saída	De 0 à 1,00 VDC para 0 à $360^\circ$ .
<b>GERAL</b>	
Potência requerida	5mA em 12 VDC.
Operação	Em temperatura ambiente de $-50$ à $50^\circ\text{C}$ .

A irradiação solar direta foi medida com um piranômetro CM3-KIPP&ZONEN, instalado no mesmo plano de inclinação dos módulos fotovoltaicos

empregados no experimento, conforme pode ser visto na Figura 7, com ângulo correspondente à latitude do local adicionada de dez graus e com face de exposição voltada para o norte geográfico. O CM3 é um piranômetro de segunda classe, com precisão da ordem de 2%. As demais características do piranômetro encontram-se na Tabela 2.



Figura 7. Piranômetro CM3 instalado na mesma inclinação dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 2. Especificações técnicas do piranômetro CM3 – KIPP&ZONEN.

PIRANÔMETRO - CM3 KIPP&ZONEN ESPECIFICAÇÕES	
Tempo de resposta 95%:	18 segundos
Não estabilidade (% mudança/ano)	< 1%
Não linearidade (à 1000 Wm <sup>-2</sup> )	< 2,5%
Erro direcional (à 1000 Wm <sup>-2</sup> )	< 25Wm <sup>-2</sup>
Dependência da sensibilidade em função da temperatura	> 6% (-10 to + 40°C)
Precisão esperada na soma diária	> 10%
Faixa espectral (50% dos pontos, nm)	305-2800nm
Sensibilidade	10 – 35μVW <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>
Sinal de saída esperado em aplicação atmosférica	0 – 50mV
Impedância	79 - 200 (Ω)
Temperatura de operação	-40 to +80°C
Irradiância máxima	2000Wm <sup>-2</sup>
Sensor	Termopares de cobre-constantan interconectados em série, formando uma termopilha.
Nível de precisão:	1° Grau

A temperatura ambiente foi coletada por meio de uma sonda termo higrômetro HMP45C da CAMPBELL instalada a 2 metros de altura, conforme pode ser observado na Figura 8.

A sonda foi instalada dentro de um filtro de teflon para prover proteção com relação à ação direta da irradiância sobre os sensores, bem como, impedir a entrada de água proveniente de precipitações pluviométricas.

As características construtivas e os aspectos relativos à precisão da sonda são apresentados na Tabela3.



Figura 8. Sonda termo higrômetro HMP45C utilizada para determinar a temperatura ambiente do local.

Tabela 3 – Especificações técnicas da sonda termo higrômetro HMP45C.

<b>SONDA TERMO HIGRÔMETRO HMP45C ESPECIFICAÇÕES</b>	
<b>GERAL</b>	
Temperatura de operação	-40°C à 60°C
Temperatura de armazenamento	-40°C à 80°C
Comprimento da sonda	25,4cm
Diâmetro do corpo da sonda	2,5cm
Filtro	20cm em teflon
Diâmetro do filtro	1,9cm
Consumo de energia	<4mA em 12 VDC
Tensão de suprimento	7 à 35VDC
Tempo de aquisição	0,15 segundos
<b>SENSOR DE TEMPERATURA</b>	
Sensor	Resistor de coeficiente positivo (PTC) com resistência de 1k $\Omega$ , IEC 751 1/3 Classe B
Faixa de medição de temperatura	-40°C à +60°C
Faixa do sinal de saída da temperatura	0,008 à 1,0 V
Precisão da temperatura	
<b>SENSOR DE UMIDADE RELATIVA</b>	
Sensor	Sensor de umidade analógico capacitivo (HUMICAP® 180)
Faixa de medição da umidade relativa (UR)	0 à 100% sem condensação.
Faixa do sinal de saída da UR	0,008 à 1 VDC.
Precisão à 20°C	±2% UR (UR = 0 à 90% ) ±3% UR (UR = 90 à 100%)
Dependência da temperatura em função da Umidade relativa	±0,05% UR/°C.
Estabilidade da UR à longo prazo	Melhor do que 1% UR por ano.
Tempo de resposta (à 20°C, 90% das respostas)	15 segundos com filtro.

Para a medição do índice pluviométrico, durante a realização do experimento, foi utilizado um pluviômetro TB4-L da CAMPBELL. O pluviômetro coleta a água da chuva em um funil de 200mm de diâmetro, o qual recolhe a água e encaminha para uma balança alternada que é constituída por uma haste apoiada em seu centro com conchas nas

extremidades, formando uma espécie de gangorra. Quando a quantidade de chuva acumulada em uma báscula atinge 0,25mm, o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando um relé magnético. O líquido  descartado e prepara-se a outra báscula para receber nova quantidade de líquido. O fechamento do relé magnético produz um pulso que  registrado pelo datalogger. As características principais do pluviômetro podem ser observadas na Figura 9 e na Tabela 4.



Figura 9. Pluviômetro TB4-L utilizado para a avaliao da precipitao pluviométrica no local.

Tabela 4. Especificaes técnicas do pluviômetro TB4-L.

<b>PLUVIÔMETRO TB4-L</b> <b>ESPECIFICAÇÕES</b>	
Funil	200mm
Faixa de medio	0 a 700mmh <sup>-1</sup>
Precisão	<2% a 500mmh <sup>-1</sup>
Resoluo	0,25mm
Condições ambientais	Temperatura: 0° a 70°C Umidade Relativa: 0 a 100%
Temperatura de operao	-20° a 70°C
Capacidade do sifão	0,3mm

### 4.1.3 Equipamentos instalados no sistema híbrido eólico-fotovoltaico

Para a geração de energia elétrica a partir da energia eólica disponível no local, selecionou-se um aerogerador AIR-X modelo rural da SOUTHWEST WINDPOWER com potência nominal de 400W e dotado de controlador de carga interno, constituindo-se assim a geração eólica do sistema eólico-fotovoltaico. O aerogerador foi montado em uma torre de aço com 14 metros de altura. O aerogerador instalado no experimento pode ser observado na Figura 10. Os aspectos técnicos e construtivos do aerogerador podem ser verificados na Tabela 5.



Figura 10. Aerogerador AIR-X com potência nominal de 400W, instalado no sistema híbrido.

Tabela 5. Especificações técnicas do aerogerador utilizado no sistema híbrido.

AEROGERADOR AIR-X ESPECIFICAÇÕES	
Diâmetro do rotor	1,15m
Área de captação	1,04m <sup>2</sup>
Peso	5,85kg
Montagem	Cano de 1,5" Schedule 40
Velocidade do vento para partida	3,13ms <sup>-1</sup>
Tensão	12 e 24VDC
Potência nominal	400 watts à 12,5ms <sup>-1</sup>
Controlador de carga da turbina	Regulador de carga interno baseado em microprocessador inteligente com rastreador de potência máxima.
Pás (três):	Compostas por fibra de carbono.
Corpo	Alumínio fundido
Energia gerada por mês	38kWh à 5,4ms <sup>-1</sup>
Sobrevivência à velocidade do vento	49,2ms <sup>-1</sup> (177kmh <sup>-1</sup> )
Proteção contra excesso de velocidade	Controle de torque eletrônico.

Para complementar a constituição do sistema híbrido eólico-fotovoltaico, com relação à geração de energia elétrica a partir da energia solar incidente no local, foram utilizados três módulos fotovoltaicos I-100 da ISOFOTON com potência nominal de 100Wp cada, perfazendo um total de 300Wp instalados. Os módulos foram conectados em paralelo para elevação da corrente, mantendo a mesma tensão de saída. Estes módulos já estavam instalados no local do experimento e foram empregados por Fiorentino (2004) para avaliação da potência e eficiência máxima dos módulos fotovoltaicos em condições de campo.

Na Figura 11, pode-se observar que os módulos fotovoltaicos foram instalados em um suporte, voltado para o norte geográfico e inclinado em um ângulo de 33° nesta direção, correspondente à latitude do local adicionada de 10°. As especificações físicas, elétricas e construtivas dos módulos fotovoltaicos são apresentadas na Tabela 6.





Figura 11. Módulos fotovoltaicos de 100Wp cada, instalados em paralelo e constituindo o painel fotovoltaico do sistema híbrido.

Tabela 6. Especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos utilizados no sistema híbrido.

<b>I-100/12</b>	
<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	
<b>FÍSICAS</b>	
Dimensões	1310x654x39,5mm
Peso	11,5kg
Número de células em série	36
Número de células em paralelo	2
Área de células do módulo	0,72m <sup>2</sup>
TONC (800 Wm <sup>-2</sup> , 20 °C, AM1,5, 1ms <sup>-1</sup> )	47 °C
<b>ELÉTRICAS (1000 W/m<sup>2</sup>, 25 °C célula, AM 1.5)</b>	
Tensão nominal	12V
Potência máxima	100W <sub>p</sub> ± 10 %
Corrente de curto-circuito	6,54A
Tensão de circuito aberto	21,6V
Corrente de máxima potência	5,74A
Tensão de máxima potência	17,4V
<b>CONSTRUTIVAS</b>	
Células	Silício monocristalino, texturizadas e com camada anti-reflexiva
Contatos	Contatos redundantes, múltiplos, em cada célula
Laminado	EVA (etileno-vinil acetato)
Parte frontal	Vidro temperado resistente a impactos e de alta transmitância
Parte posterior	Protegida con Tedlar de várias camadas

Para proteger o banco de baterias de eventuais sobrecargas produzidas pelo painel fotovoltaico ou de um alto consumo de energia pelas cargas, respectivamente, por produção excessiva de corrente pelo painel fotovoltaico ou pela carga consumir uma corrente muito elevada, foi dimensionado um controlador de carga de 20A ISOLER do mesmo fabricante dos módulos fotovoltaicos.

Como pode ser observado na Figura 12, o controlador interconectou o painel fotovoltaico, banco de baterias e cargas. Quando o controlador indica que a bateria está carregada e há energia sendo gerada pelo painel, a energia é repassada diretamente à carga. Quando a bateria está carregada, mas o painel não está gerando, a energia da bateria é repassada a carga pelo controlador. E por fim, quando não há energia sendo gerada pelo painel fotovoltaico e a bateria atingiu a profundidade de carga limite, as cargas são desconectadas eletronicamente. Na Tabela 7 podem ser observadas as demais características físicas, elétricas e construtivas do controlador de carga.



Figura 12. Controlador de carga ISOLER ligado ao painel fotovoltaico, bateria e cargas.

Tabela 7. Especificações técnicas do controlador de carga conectado ao painel do sistema híbrido.

<b>ISOLER 20 ESPECIFICAÇÕES</b>	
<b>FÍSICAS</b>	
Largura	172mm
Altura	105mm
Profundidade	24mm
Peso	600g
<b>ELÉTRICAS</b>	
Tensão nominal	Seleção automática 12/24V
Faixa de carga de igualação	15-14,7V
Tensão de carga profunda	14,7V
Faixa de carga de flutuação	14,40 – 13,80V
Tensão de recarga profunda	12,60V
Tensão de desconexão do consumo	11,1V
Tensão de reconexão do consumo	13V
Intensidade máxima de geração	20A
Intensidade máxima de consumo	20A
Sobrecarga admissível	25%
Autoconsumo	<20mA
Perda máxima geração/consumo	<2W/2W
<b>CONSTRUTIVAS</b>	
Tipo de regulação	Série, controlado por microprocessador com relé de estado sólido
Seleção de bateria	SLI modificada/ tubular aberta / tubular gel/AGM
Sistema de regulagem	Carga profunda/ flutuação/ igualação
Visualização do modo de carga	Profunda, flutuação e igualação, mediante LED
Compensação por temperatura	-2mV/°C/V (mediante sonda externa)
Desconexão do consumo por baixa tensão	Desconexão com rearme automático
Alarmes locais	Alta e baixa tensão de bateria, sobrecarga, curto-circuito, mediante LED's
Indicadores de estado de carga	Bateria carregada, em estado de carga e descarregada
Proteção contra corrente inversa da bateria	Mediante diodo inteligente de baixa perda
Proteção contra sobrecarga	Temporizada (linhas de geração e consumo)
Proteção contra curto-circuito	Instantânea (linha de consumo)
Proteção contra sobretensões	Mediante varistores (linhas de geração, bateria e consumo)
Faixa de temperatura de funcionamento	0-50°C
Rearme desconexão curto-circuito/sobrecarga	Rearme manual

Para a transformação da tensão em corrente contínua em tensão em corrente alternada, foi utilizado um inversor de tensão de 300W da PORTAWATTZ modelo PWZ 300 (Figura 13). O inversor foi responsável pelo fornecimento de energia à carga em corrente alternada. A tensão nominal fornecida pelo inversor é de 115VAC +/- 5%. A forma

de onda da corrente alternada deste inversor é denominada senóide modificada e possui características entre o comportamento de uma onda senoidal e o formato de uma onda quadrada. Maiores detalhes das características elétricas do inversor podem ser verificados na Tabela 8.



Figura 13. Inversor de tensão PWZ 300 de senóide modificada instalado no sistema.

Tabela 8. Especificações técnicas do inversor de tensão instalado no sistema.

<b>PWZ 300</b> <b>ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS</b>	
Potência de saída uso contínuo	300W
Potência de pico	500W
Rendimento médio	90%
Consumo sem carga	0,1A
Forma das ondas	Senóide modificada
Tensão de entrada	10 a 15VDC
Tensão de saída	115 VCA RMS $\pm 5\%$
Alarme de tensão baixa	10,6VDC
Auto-desligamento baixa tensão	10VDC

Para suprir as necessidades energéticas das cargas durante os períodos sem irradiação solar ou sem vento, foi dimensionada uma bateria automotiva de chumbo ácido TUDOR 46MVD de 150Ah e 12VDC.

A bateria foi conectada ao controlador de carga do painel fotovoltaico e o aerogerador foi conectado diretamente em paralelo à bateria, uma vez que o mesmo possui controlador de carga interno, seguindo as recomendações de instalação para sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos sugeridas por SOUTHWEST WINDPOWER (2002). As especificações técnicas da bateria são apresentadas na Tabela 9. A Figura 14 apresenta a bateria instalada no sistema. O detalhe da instalação da bateria pode ser observado na Figura 15.

Tabela 9. Especificações técnicas da bateria instalada no sistema.

<b>BATERIA TUDOR 46MVD 150Ah ESPECIFICAÇÕES</b>	
Densidade do eletrólito	1.225gcm <sup>-3</sup>
Reserva de capacidade	300 minutos á uma descarga de 25A – tensão final de 10,5VDC
Corrente de partida (27° C)	500A
Corrente de partida a Frio (-18°C SAE):	950 <sup>a</sup>
Capacidade nominal	150Ah
Tensão nominal	12VDC
Número de placas por elemento	23
Número de elementos	6



Figura 14. Bateria TUDOR 46MVD com capacidade de 150Ah instalada no sistema.

As cargas instaladas para simular o consumo de energia do sistema híbrido eólico-fotovoltaico para energização de uma residência rural, foram constituídas por lâmpadas incandescentes e uma motobomba.

As lâmpadas incandescentes foram instaladas para simular o consumo de energia elétrica com com iluminação. Para as cargas de iluminação em corrente contínua utilizaram-se lâmpadas incandescentes automotivas de 21 e 5W em 12VDC, instaladas como apresentado na Figura 15. Para a carga de iluminação em corrente alternada utilizou-se uma lâmpada incandescente de 60W em 127VAC. A Tabela 10 mostra as principais características elétricas das cargas utilizadas no sistema.

A motobomba foi instalada para simular o consumo de energia do sistema de bombeamento de água da residência Foi instalada um motobomba SHURFLO 8000 que opera em corrente contínua. As principais especificações técnicas da motobomba instalada são apresentadas na Tabela 11 e os detalhes da instalação podem ser observados na Figura 15.



Figura 15. Detalhe da instalação das cargas de iluminação em corrente contínua e da bateria.



Figura 16. Detalhe da instalação da motobomba SHURFLO 8000 do sistema.

Tabela 10. Cargas instaladas no sistema híbrido para simular o consumo de energia elétrica em uma residência rural de baixo consumo. Corrente Contínua = DC e Corrente Alternada = AC.

Descrição da Carga	Corrente (A)	Tempo de Uso (h)	Carga Instalada (W)	Corrente Diária (Ah)	Consumo Diário (Wh)
Iluminação DC – 2 lâmpadas incandescentes de 21 W e 2 lâmpadas incandescentes de 5W. (12VDC)	4,30	8	52	34,4	412,8
Iluminação de Vigia DC – 1 lâmpada de 21W (12VDC)	1,75	12	21	21,0	252,0
Iluminação AC – 1 lâmpada de 60W (127VAC)	5,50*	4	66	22,0	264,0
Bomba Shurflo 8000 (12VDC)	3,50	4	42	14,0	168,0
<b>TOTAL</b>	-	-	<b>181,0</b>	<b>91,4</b>	<b>1096,8</b>

\* corrente em 12VDC, requisitada pela lâmpada antes do inversor.

Tabela 11. Especificações técnicas bomba de sucção SHURFLO 8000

BOMBA DE SUCÇÃO SHURFLO 8000 ESPECIFICAÇÕES	
Alimentação	12VDC
Corrente máxima	3,5A
Vazão c/ coluna de 10mca	310 Lh <sup>-1</sup>
Vazão c/ coluna de 30mca	240Lh <sup>-1</sup>
Vazão c/ coluna de 55mca	180Lh <sup>-1</sup>
Altura de sucção	1,5mca
Dimensões	Ø 77x220mm
Peso	2,1 kg

#### 4.1.5 Sistema de Aquisição de Dados Elétricos

Foi utilizado um datalogger CR23X da CAMPBELL (Figura 17) para coletar e armazenar os dados enviados pelos sensores meteorológicos e elétricos. As principais especificações do datalogger podem ser observadas na Tabela 12.

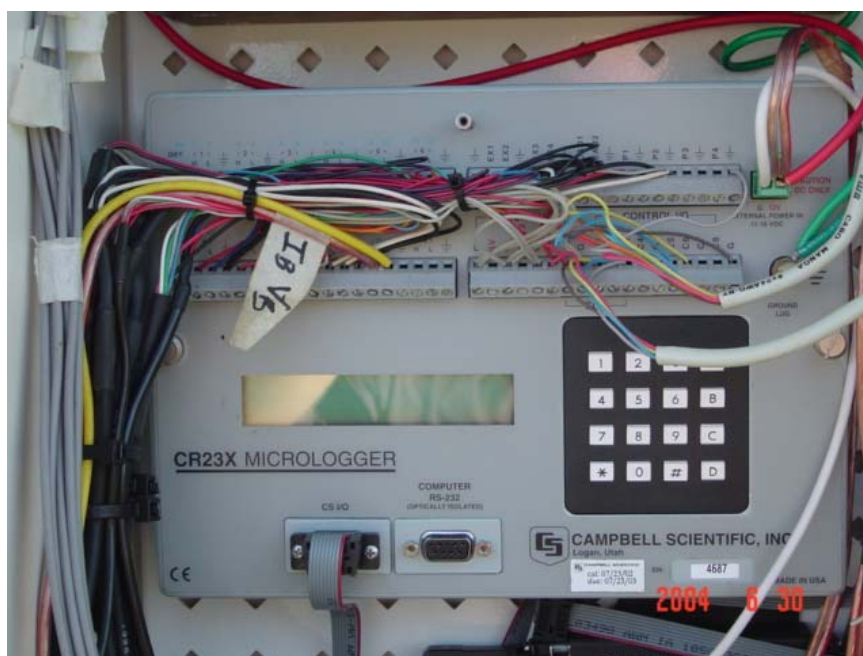


Figura 17. Equipamento para aquisição de dados – Datalogger CR23X.



Tabela 12. Especificações técnicas do datalogger CR23X utilizado na aquisição de dados.

<b>DATALOGGER - CR23X ESPECIFICAÇÕES</b>	
Taxa de execução do programa	O programa é sincronizado em tempo real até 100Hz.
Entradas analógicas	12 entradas diferenciais ou 24 em terminal único. Precisão: $\pm 0,025\%$ de 0° a 40°C Faixa de tensão: $\pm 5000\text{mV}$
Saídas analógicas	4 saídas ligadas, ativas somente durante a medição, uma de cada vez; 2 contínuas. Precisão : $\pm 5\text{mV}$ de 0° a 40°C
Medidas de resistência	Precisão: $\pm 0,015\%$ de 0° a 40°C
Portas digitais	Faixa de tensão: $5\text{V} \pm 0,1\text{V}$ Resistência da saída: $500\Omega$ Resistência da entrada: $100\text{k}\Omega$
Consumo de energia	Tensão: 11 a 16VDC Corrente drenada: Aquisição de dados com display desligado – 2,5mA Aquisição de dados com display ligado – 7mA Processamento – 45mA Medição analógica – 70mA

#### 4.1.5.1 Equipamentos para medição de dados elétricos

Para a medição dos valores das correntes elétricas do aerogerador, painéis fotovoltaicos, bateria e das cargas do sistema híbrido em corrente contínua, foram utilizados derivadores de corrente (shunts) de 20A/60mV e 30A/150mV da marca KRON. Os “shunts” foram especificados em conformidade com a corrente máxima circulante no ponto de coleta. As suas especificações técnicas estão apresentadas na Tabela 13.

Para a medição da corrente alternada na saída do inversor de tensão, foram utilizados transformadores de corrente CS10-L da CR MAGNETIC’S. Estes transformadores de corrente eram em formato toroidal e foram instalados de forma que os cabos passassem no meio dos toróides. As características construtivas e elétricas dos transformadores de corrente utilizados no experimento são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 13. Especificações técnicas dos derivadores de corrente KRON.



DERIVADOR DE CORRENTE (SHUNT) KRON		
ESPECIFICAÇÕES		
Material Resistivo	Manganin	
Terminais	Latão	
Temperatura de Uso	-20 a 60 <sup>o</sup> C	
Sobrecarga permanente	20% acima da corrente nominal	
Sobrecarga de curta duração (5s)	Shunts até 500A: 10 x In de 500 até 2000A: 5 x In 2000 até 10000A: 2 x In	
Coefficiente de Temperatura	20 ppm/K	
Precisão	±0,5%	
Resistência máx. admissível para linha de medição	Shunt 60mV: 0,30Ω Shunt 150mV: 4Ω	

Tabela 14. Especificações técnicas dos transformadores de corrente CS10-L.

TRANSFORMADOR DE CORRENTE -CS10-L		
ESPECIFICAÇÕES		
Frequência especificada	50 e 60 Hz	
Resistência do isolamento	100M Ω à 500 VDC	
Alta tensão	2000 V	
Corrente nominal	200 A	
Temperatura de armazenamento	-25°C to 70°C	
Temperatura de operação	-25°C to 55°C	
Invólucro	Resina de polipropileno	
Construção	Epoxy encapsulado	
Precisão com carga máxima	±5%	

Os valores de tensão elétrica do aerogerador, painéis fotovoltaicos, bateria e das cargas do sistema híbrido, foram lidos diretamente no sistema de aquisição de dados, utilizando-se divisores de tensão VDIV10.1 da CAMPBELL, com a finalidade de reduzir os valores de tensão lidos para níveis adequados à entrada do sistema de aquisição de dados. As especificações técnicas dos divisores de tensão utilizados estão na Tabela 15.

Tabela 15. Especificações técnicas dos divisores de tensão.

DIVISOR DE TENSÃO VDIV10.1 ESPECIFICAÇÕES	
Razão de divisão da tensão	10:1
Resistores	90k $\Omega$ /10k $\Omega$
Razão de tolerância à 25°C	$\pm 0,02\%$
Coefficiente de razão de temperatura	2ppm/°C
Consumo	0,25W
Tensão máxima de entrada	50V

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Coleta dos Dados Meteorológicos e Elétricos

O sistema de aquisição dos dados meteorológicos e elétricos foi programado para efetuar leituras a cada 10 segundos e fazer médias e totalizações dos valores lidos a cada 5 minutos. Os dados coletados foram armazenados no próprio datalogger CR23X e/ou armazenados em computador em tempo real por meio do uso do programa PC208W (Figura 18), utilizando-se da interface CSI do datalogger em conexão com a porta serial RS232 do microcomputador, por meio de um modem instalado para este fim.

ProfHibr							
Temp_Ar	16,824	TJC1_1	21,806	ICC1_1	0,00708	VCC1_1	20,636
Umid_Ar	68,432	TJC1_2	-99999	ICC1_2	0,03541	VCC1_2	19,604
Vel_Vento	5,3116	TJC1_3	-99999	ICC1_3	0,04957	VCC1_3	19,355
Dir_Vento	114,88	TJC1_4	-99999	ICC1_4	0,00000	VCC1_4	17,729
RadSol_H	629,60	TJC2_1	21927	ICC2_1	0,04655	VCC2_1	19,970
RadSol_IV	685,43	TJC2_2	-99999	ICC2_2	0,03990	VCC2_2	19,594
RadSol_IF	763,05	TJC2_3	-99999	ICC2_3	0,04655	VCC2_3	19,411
Ind_Pluv	0,00000	IAeroger	4,2857	ICC2_4	3,4847	VCC2_4	0,56158
TTC1_1	23,565	ICargaCC	9,7209				
TTC1_2	21,788	IInversor	0,50903				
TTC1_3	22,466	Icp1_3	3,2841	Vcp1_3	14,121	P3_PNL1	54,299
TTC3_1	21,341	IFotovolt	11,379	Vcpt_3	13,423	P3_TOT	59,609
TTC3_2	22,671	Icdc	9,4745	Vcr	12,865		
TTC3_3	21,378	Icbat	5,9770	Vcbat	11,051		

< Col-1 - Col-4 > 14:17:22 Delete Add Setup  
 LDbtClk=Edit Enter=Accept ESC=CancelEdit LMouseBtn=Move(+Ctrl=Ins); RMouseClk=Options

Figura 18. Tela do programa PC208W, utilizado para a coleta remota dos dados do sistema.

#### 4.2.2 Dimensionamento e Instalação do Sistema Híbrido Eólico-fotovoltaico

O sistema híbrido eólico fotovoltaico instalado no experimento foi montado a partir do painel fotovoltaico que já havia sido instalado no NEAR, com capacidade total de 300Wp. Para compor o sistema, instalou-se um aerogerador de 400W de potência nominal à velocidade do vento de  $12,5 \text{ ms}^{-1}$ . A partir da configuração definida para as fontes de geração de energia elétrica do sistema, utilizando-se o programa computacional SIMHIBRIDO desenvolvido por Giacomini (2002), dimensionaram-se as cargas que poderiam ser atendidas por este sistema, considerando-se as características meteorológicas do local. Considerou-se, ainda, que o sistema tivesse capacidade para atender uma residência rural de baixo consumo, com cargas em corrente contínua e alternada. A Tabela 16 horário de funcionamento de cada carga.

Tabela 16. Horário de funcionamento das cargas instaladas no sistema híbrido para simular o consumo de energia elétrica em um residência rural de baixo consumo.

Descrição da Carga	Horário de funcionamento (horas)
Iluminação DC – 2 lâmpadas incandescentes de 21 W e 2 lâmpadas incandescentes de 5W. (12VDC)	11:00 às 15:00 18:00 às 22:00
Iluminação de Vigia DC – 1 lâmpada de 21W (12VDC)	18:00 às 6:00
Iluminação AC – 1 lâmpada de 60W (127V)	10:00 às 11:00 19:00 às 22:00
Bomba Shurflo 8000 DC (12VDC)	11:00 às 15:00

As cargas foram acionadas automaticamente, em cada horário pré-estabelecido, por meio de relés magnéticos auxiliares comandados pelo datalogger de acordo com as rotinas executadas pelo programa PC208W.

A Figura 19 apresenta o diagrama esquemático das ligações elétricas do sistema híbrido, com detalhes dos pontos de medição da corrente elétrica (shunts),

disjuntores e relés de acionamento das cargas instaladas. Como pode ser observado na Figura 19, por meio de um shunt mediu-se a corrente requerida pelas cargas em corrente contínua correspondente à corrente da motobomba, lâmpadas de 21W e lâmpadas de 5W, conforme estas eram acionadas. O mesmo procedimento foi utilizado para medir a corrente contínua requerida pelo inversor de tensão que supria a lâmpada de 60W em corrente alternada. Com um shunt conectado entre o controlador de carga e o barramento mediu-se a corrente total requerida pelas cargas. Por meio do shunt instalado entre o painel fotovoltaico e o controlador de carga mediu-se a corrente gerada pelo painel. A corrente gerada pelo aerogerador foi medida de forma análoga, instalando-se o shunt entre o aerogerador e a bateria. A corrente recebida e/ou fornecida pela bateria foi medida por meio de um shunt instalado entre a bateria e o controlador de carga.

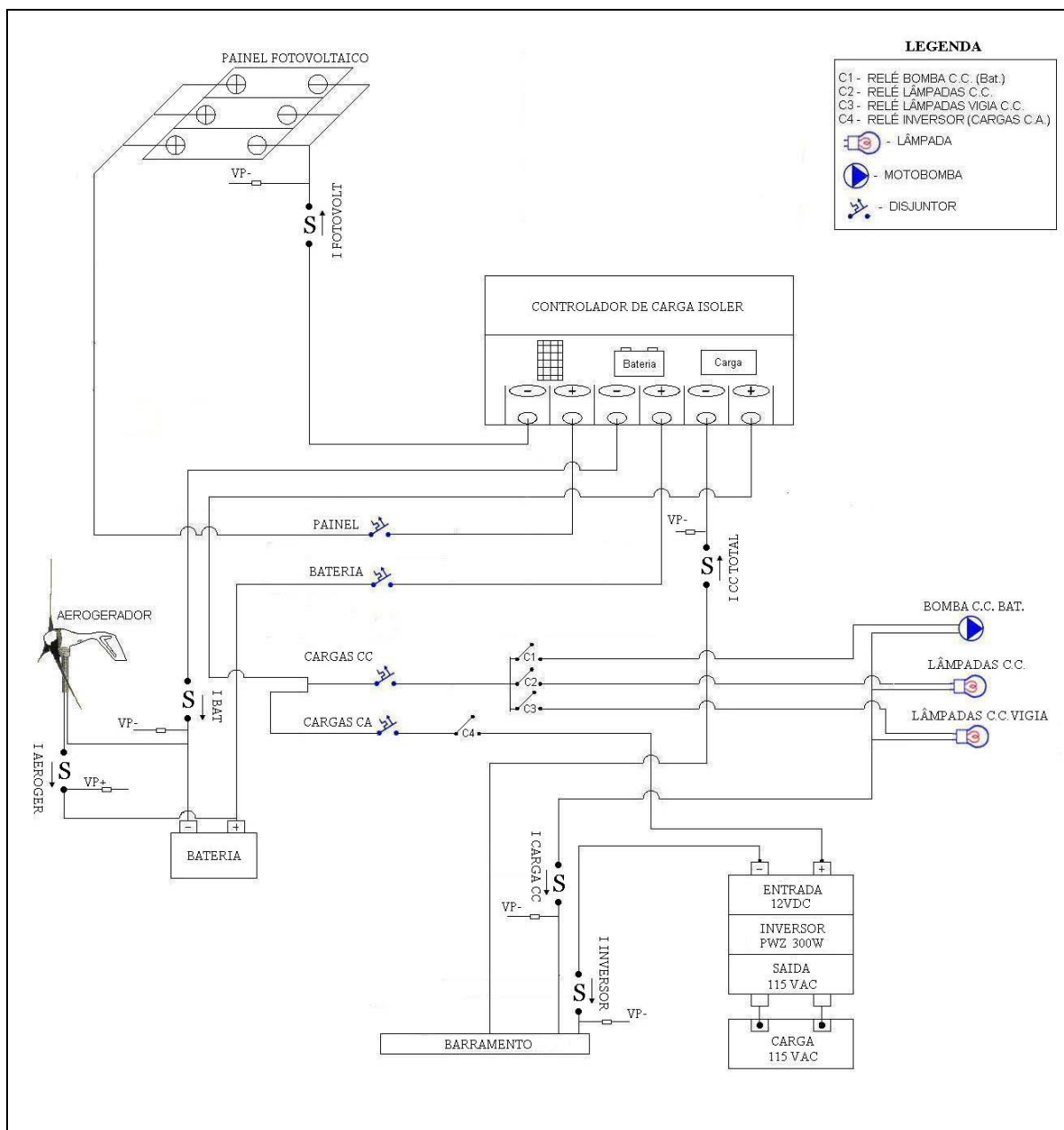


Figura 19. Diagrama esquemático das ligações elétricas do sistema híbrido eólico-fotovoltaico.

#### 4.2.3 Processamento e Análise dos Dados Meteorológicos e Elétricos

Os dados meteorológicos e elétricos obtidos no experimento a cada 5 minutos, foram tabulados e processados utilizando-se o programa EXCEL.

Com os dados de direção angular do vento (azimute), obtidos pelo anemômetro utilizado no experimento, foram determinadas as direções do vento em coordenadas geográficas (rumos) e a porcentagem de ocorrência de cada direção, afim de se determinar a direção predominante do vento e a sua relação com a velocidade do vento, energia disponível no vento e energia gerada pelo aerogerador.

Com os dados de tensão e corrente elétrica medida para o aerogerador, calculou-se a energia elétrica gerada (Equação 01) e com os dados meteorológicos da velocidade e temperatura ambiente, calculou-se a energia eólica contida no vento pelas Equações 02 e 03. A massa específica do ar, utilizada na Equação 2, foi calculada em função apenas da variação da temperatura ambiente.

$$EGA = \sum_{i=1}^n (Vaero_i \times Iaero_i) \times t \quad (01)$$

Em que:

$$t = \frac{1}{12} h;$$

$n$  = Enésimo valor do conjunto de dados;

$Vaero$  = Tensão média na saída do aerogerador, V;

$Iaero$  = Corrente média na saída do aerogerador, A;

$EGA$  = Energia elétrica gerada pelo aerogerador, Wh.

$$Pv = \frac{\rho v^3 A}{2} \quad (02)$$

Em que:

$\rho$  = Massa específica do ar calculada em função da temperatura ambiente,  $\text{kgm}^{-3}$ ;

$v$  = Velocidade do vento,  $\text{ms}^{-1}$ ;

$A$  = Área varrida pelo rotor do aerogerador,  $\text{m}^2$ ;

$P_v$  = Potência disponível no vento, W.

$$EE = \sum_{i=1}^n P_{v_i} \times t \quad (03)$$

Em que:

$$t = \frac{1}{12} h;$$

$n$  = Enésima média do conjunto de dados;

$EE$  = Energia eólica disponível, Wh.

Pela relação entre a energia elétrica gerada pelo aerogerador e a energia eólica disponível, calculou-se o rendimento do sistema eólico (Equação 04).

$$\eta_a = \frac{EGA \times 100}{EE} \quad (04)$$

Em que:

$\eta_a$  = Rendimento do aerogerador, %.



Com os dados de tensão e corrente medida no sistema fotovoltaico, calculou-se a energia elétrica gerada (Equação 05) e com os valores da irradiância solar calculou-se a energia solar global incidente no plano dos painéis (Equação 06 e 07).

$$EGF = \sum_{i=1}^n (V_{foto_i} \times I_{foto_i}) \times t \quad (05)$$

Em que:

$$t = \frac{1}{12} h;$$

$n$  = Enésimo valor do conjunto de dados;

$V_{foto}$  = Tensão média na saída do painel fotovoltaico, V;

$I_{foto}$  = Corrente média na saída do painel fotovoltaico, A;

$EGF$  = Energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico, Wh.

$$G = G_p \times A_p \quad (06)$$

Em que:

$G_p$  = Irradiância no plano do painel fotovoltaico,  $Wm^{-2}$ ;

$A_p$  = Área do painel,  $m^2$ ;

$G$  = Irradiação solar global no plano do painel fotovoltaico, W.

$$ESG = \sum_{i=1}^n G_i \times t \quad (07)$$

Em que:

$$t = \frac{1}{12}h;$$

$n$  = Enésimo valor do conjunto de dados;

$ESG$  = Energia solar global no plano do painel fotovoltaico, Wh;

Pela relação entre a energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico e a energia solar disponível para o sistema, calculou-se o rendimento do sistema fotovoltaico (Equação 08).

$$\eta^f = \frac{EGF \times 100}{ESG} \quad (08)$$

Em que:

$\eta^f$  = Rendimento do painel fotovoltaico, %.

A energia total disponível para o sistema híbrido eólico-fotovoltaico foi calculada pela soma dos valores da energia solar global no plano do painel ( $ESG$ ) e da energia eólica disponível ( $EE$ ). De forma análoga, a energia elétrica total gerada pelo sistema híbrido foi calculada pela soma entre os valores da energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico ( $EGF$ ) e a energia elétrica gerada pelo aerogerador ( $EGA$ ). O rendimento do sistema híbrido foi calculado pela relação entre a energia elétrica total gerada pelo sistema híbrido e a energia total disponível (solar e eólica).

O balanço de energia da bateria do sistema, que corresponde a quantidade de energia armazenada ou fornecida pela bateria, foi calculado pela Equação 09.

$$BEB = \sum_{i=1}^n (V_{bat_i} \times I_{bat_i}) \times t \quad (09)$$

Em que:

$$t = \frac{1}{12} h;$$

$n$  = Enésimo valor do conjunto de dados;

$V_{bat}$  = Tensão na bateria, V;

$I_{bat}$  = Corrente na bateria, A;

$BEB$  = Balanço de energia na bateria, Wh.

A energia consumida pelas cargas instaladas no sistema, em corrente contínua, foi calculada pela Equação 10. Para o cálculo da energia consumida pela carga em corrente alternada, utilizou-se o valor em corrente contínua medida antes do inversor de tensão. Desta forma, todos os valores calculados de energia consumida correspondem a energia em corrente contínua.

$$ECC = \sum_{i=1}^n (Vc \arg a_i \times Ic \arg a_i) \times t \quad (10)$$

Em que:

$$t = \frac{1}{12}h;$$

$n$  = Enésimo valor do conjunto de dados;

$V_{carga}$  = Tensão na carga, V;

$I_{carga}$  = Corrente na carga, A;

$ECC$  = Energia consumida pela carga, Wh.

#### 4.2.4 Avaliação dos Dados Obtidos

Os dados elétricos e meteorológicos obtidos foram organizados por períodos de observação, correspondentes às datas de início e término de aquisição dos dados. Os períodos foram agrupados, ainda, por estações do ano, como pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17. Períodos de aquisição dos dados do experimento.

Períodos	Datas	Estações do Ano
P1	15/09/2004 a 14/10/2004	Primavera
P2	15/10/2004 a 14/11/2004	
P3	15/11/2004 a 14/12/2004	
P4	15/12/2004 a 14/01/2005	Verão
P5	15/01/2005 a 14/02/2005	
P6	15/02/2005 a 14/03/2005	
P7	15/03/2005 a 14/04/2005	Outono
P8	15/04/2005 a 14/05/2005	
P9	15/05/2005 a 14/06/2005	
P10	15/06/2005 a 14/07/2005	Inverno
P11	15/07/2005 a 14/08/2005	
P12	15/08/2005 a 14/09/2005	

Os dados obtidos para a direção do vento em formato angular foram convertidos em direções cardeais. Com estas direções determinou-se a direção predominante no local de instalação do sistema híbrido eólico-fotovoltaico.

A velocidade do vento foi avaliada com relação às variações ocorridas em função das direções cardeais, para se determinar a influência da direção na velocidade. Com a velocidade do vento foram feitas comparações entre as médias de cada período, de forma a verificar o comportamento da velocidade nos períodos observados. Para os períodos de maior e menor valor de velocidade média, foram avaliadas a variação da velocidade média diária, a variação da velocidade em função do horário de ocorrência e a ocorrência das velocidades em função das classes de velocidades observadas.

As avaliações da energia eólica disponível e energia elétrica gerada pelo sistema eólico foram realizadas de forma análoga ao estabelecido para a avaliação da velocidade do vento.

A irradiância solar global no plano do painel foi avaliada por meio de comparações entre os valores de irradiância médias obtidas para cada período. Para os períodos de maior e menor valor de irradiância média, foram avaliadas a variação da irradiância média diária, a ocorrência da irradiância em função das classes de irradiâncias observadas e a variação da irradiância em função do horário de ocorrência.

As avaliações da energia solar global e da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico foram realizadas de forma análoga ao procedimento utilizado para a avaliação da irradiância solar global.

Para a avaliação da energia disponível para o sistema híbrido, confrontou-se a energia solar global com a energia eólica em cada período de observação. Em

seguida, comparou-se cada uma destas fontes de energia com a energia total (eólica e solar) disponível para o sistema, em cada período.

A avaliação da geração do sistema híbrido foi realizada confrontando-se para cada período, a energia elétrica gerada pelo sistema híbrido com a energia total disponível para o sistema, energia gerada pelo sistema eólico, energia gerada pelo sistema fotovoltaico, balanço de energia na bateria e energia consumida pela carga. Por fim, compararam-se os rendimentos encontrados para o sistema de geração eólico, fotovoltaico e híbrido, em cada período de observação.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Índice Pluviométrico e Temperatura Ambiente**

Os valores do índice pluviométrico e da temperatura ambiente média para cada período são mostrados na Figura 20. Observa-se que a estação do verão apresentou o maior índice pluviométrico e a maior temperatura ambiente média. Sendo que no período P5 verificou-se a maior pluviosidade e no período P6 a maior temperatura ambiente. Durante a estação do inverno a pluviosidade e temperatura ambiente alcançaram os níveis mais baixos. No período P11 observou-se o menor índice pluviométrico e nos períodos P10 e P11 verificaram-se os menores valores de temperatura ambiente.

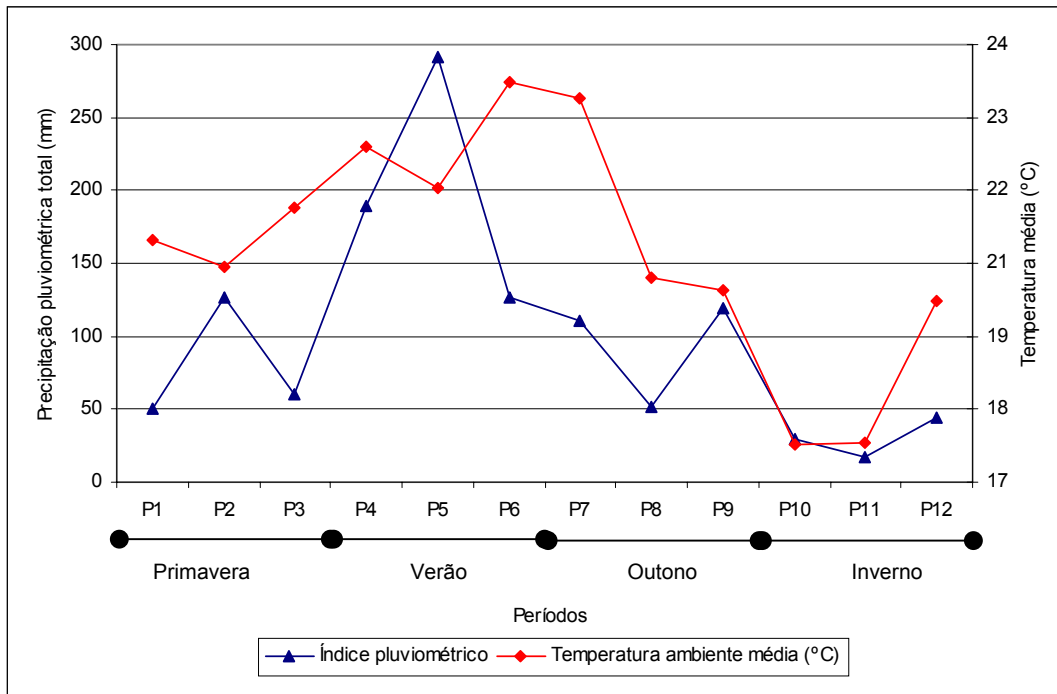


Figura 20. Índice pluviométrico e temperatura ambiente média durante os períodos de observação.

## 5.2 Velocidade do Vento

Na Figura 21, tem-se a frequência de ocorrência do vento durante os períodos de observações. Verifica-se que os ventos no local do experimento foram provenientes da direção sudeste (SE) em 80,4% das ocorrências, sendo portanto, predominantes desta direção.

Observando-se os dados da velocidade do vento durante os períodos, com relação às direções cardeais, na direção sudoeste (SW) a velocidade média foi de  $4,5\text{ms}^{-1}$ , enquanto que, na direção sudeste (SE) ficou em  $3,6\text{ms}^{-1}$ , como pode ser visto no gráfico da Figura 22.



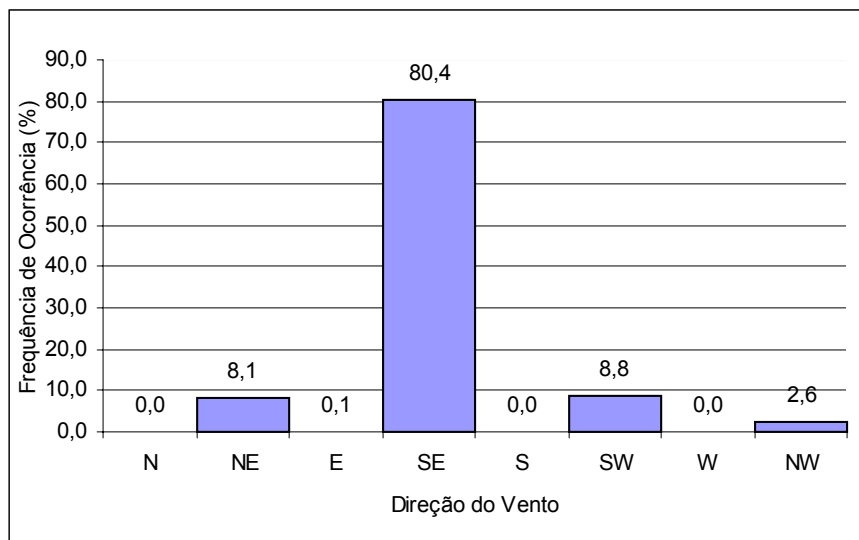


Figura 21. Frequência de ocorrência de direção do vento durante os períodos de observação.

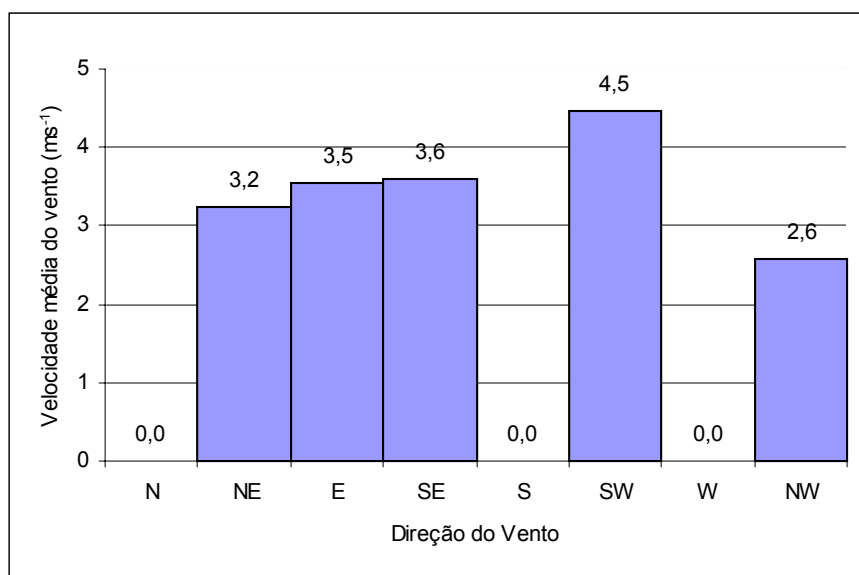


Figura 22. Velocidade média do vento em função das direções cardeais durante os períodos de observação.

Nos períodos de coleta de dados, a velocidade média do vento variou como apresentado na Figura 23, observando-se que a velocidade média do vento assumiu

valores inferiores a  $3 \text{ ms}^{-1}$  do período P7 ao P11, correspondentes à estação do outono e boa parte da estação do inverno. Nas estações da primavera e verão observaram-se os períodos com valores mais elevados de velocidade, exceto para o período P12 que apresentou valor acima de  $3 \text{ ms}^{-1}$  e corresponde ao último mês do inverno. A velocidade média entre os períodos de observação ficou em  $3,09 \text{ ms}^{-1}$ , concordando com os resultados apresentados por Silva (2000).

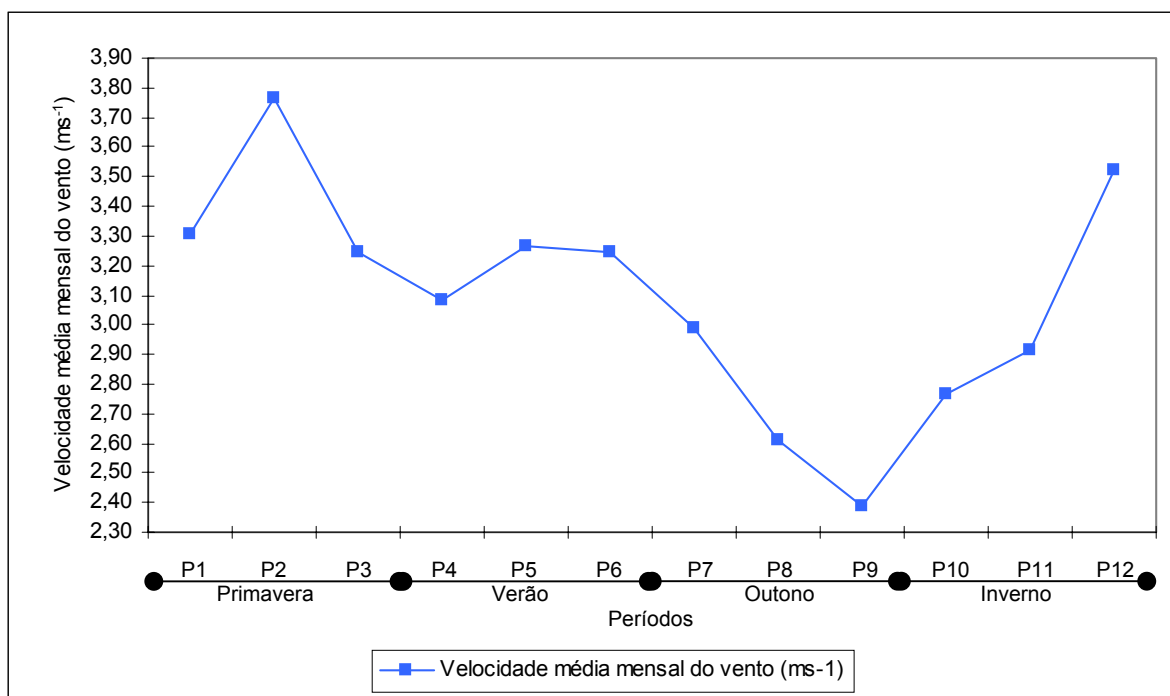


Figura 23. Velocidade média do vento durante os períodos de observação.

Os períodos P2 e P9 que apresentaram a maior e menor média de velocidade, respectivamente, foram utilizados como exemplo para a avaliação das variações diárias e horárias da velocidade do vento. Nestes períodos avaliou-se, também, as ocorrências das velocidades em porcentagem. A variação da velocidade média diária em ambos os períodos apresentou o comportamento conforme a Figura 24, verificando-se que no período P9

(15/05/05 à 14/06/05), 8 dias não apresentaram valores com intensidade suficiente para acionar o aerogerador, sendo considerados como dias sem vento para a geração eólica. No período P2 (15/10/04 à 14/11/04) as intensidades das velocidades médias foram, na maioria dos dias, mais elevadas do que no período P9 e, além disso, não foram observados dias sem vento, o que resultou em maior velocidade média no período.

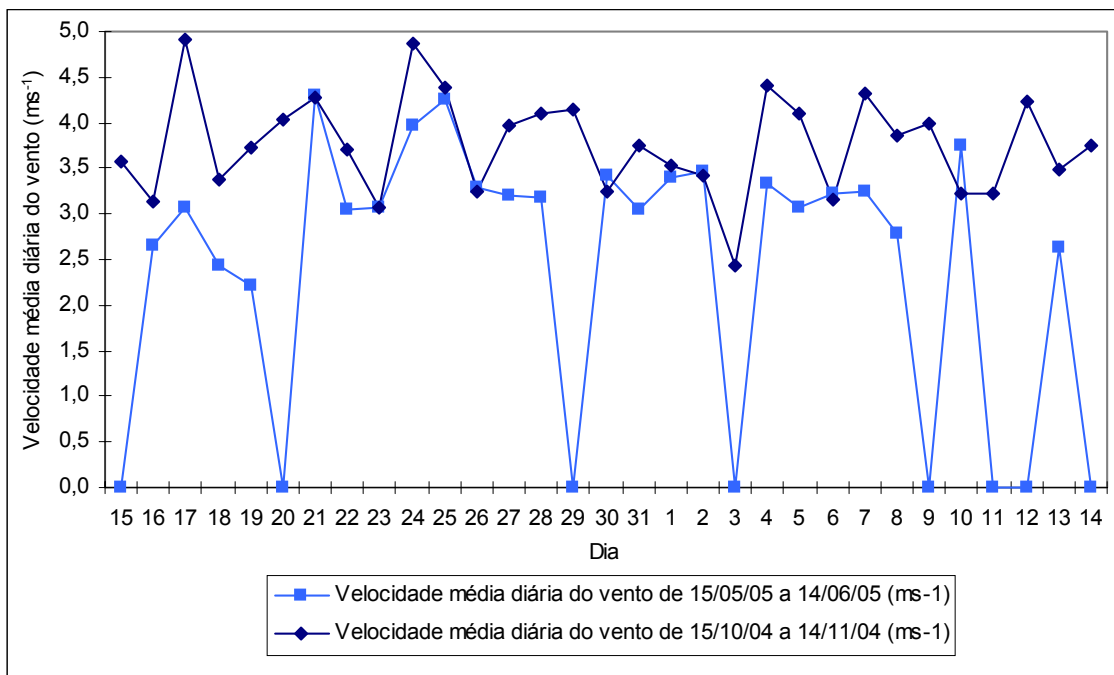


Figura 24. Velocidade média diária do vento, referente aos períodos P2 (15/10/04 a 14/11/04) e P9 (15/05/05 a 14/06/05), respectivamente, maior e menor velocidade média mensal.

Nas Figuras 25 e 26 pode-se observar a variação dos valores de velocidade média do vento por horário de ocorrência durante todos os dias dos períodos P2 e P9, respectivamente.

Observando-se a Figura 25, nota-se que a velocidade média do vento no horário compreendido entre 0:00 hora e 8:00 horas da manhã, para todos os dias do período P2, apresentou valores entre 4 e 4,5ms<sup>-1</sup>. Porém, no horário compreendido entre 8:00 e 15:00

horas, ressalvadas as variações a maior e a menor, verificou-se que os valores decresceram, mas permaneceram entre  $3$  e  $4\text{ms}^{-1}$ . Após este horário, até às 18:00 horas, a velocidade assumiu valor superior a  $4\text{ms}^{-1}$ , decrescendo no horário das 18:00 até  $3,5\text{ms}^{-1}$ , onde retomou a tendência de incremento na velocidade do vento até o valor de  $4\text{ms}^{-1}$  no horário das 24:00 horas.

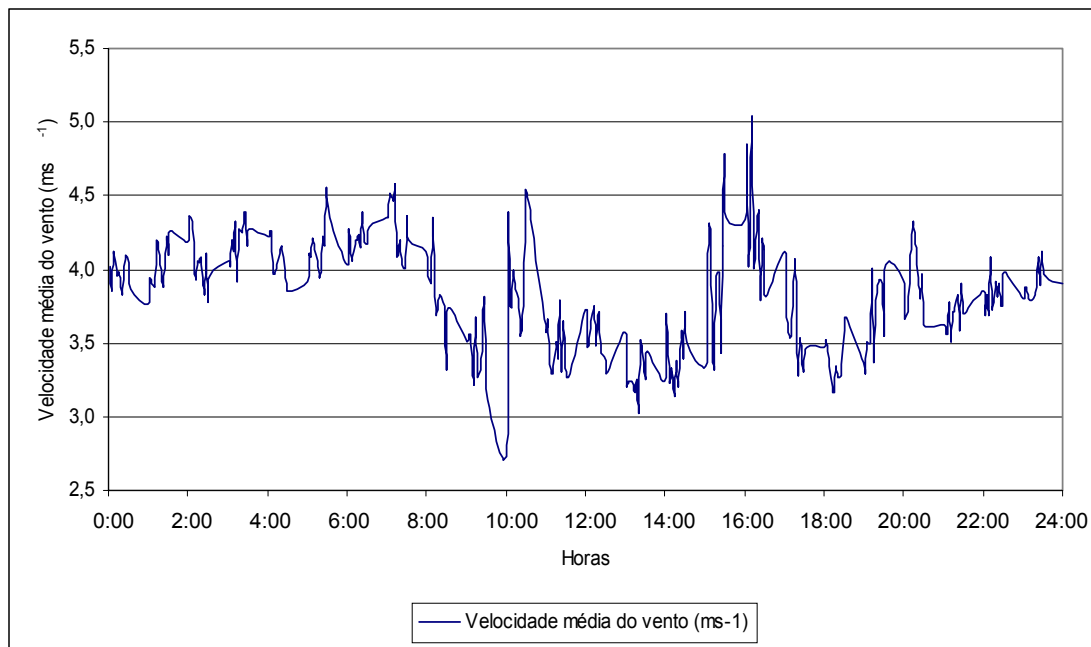


Figura 25. Velocidade média do vento por horário de ocorrência para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).

Na Figura 26, pode-se observar que os valores médios da velocidade do vento por horário de ocorrência para o período P9 apresentaram um comportamento muito diferente dos valores encontrados para o P2. Observou-se que diuturnamente, em diversos horários não foram registrados valores de velocidade de vento capazes de acionar o aerogerador. Além disso, velocidades avaliadas mantiveram-se entre  $3$  e  $4\text{ms}^{-1}$ , resguardadas as variações a menor e a maior.

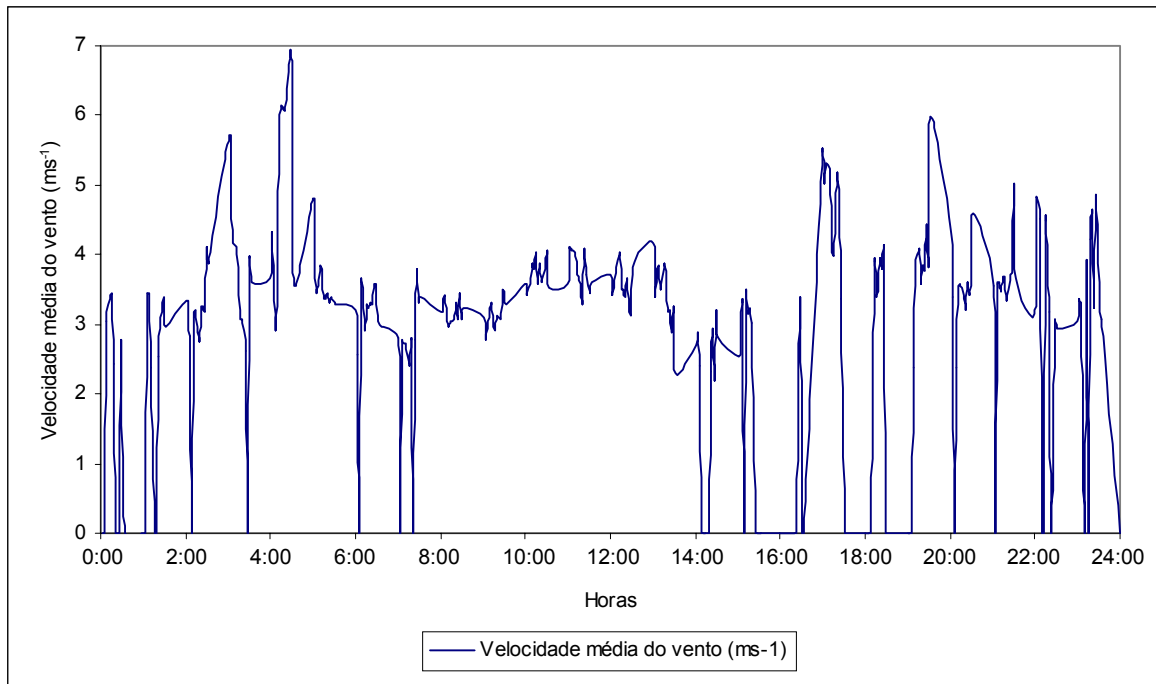


Figura 26. Velocidade média do vento por horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

A comparação entre as variações das velocidades médias do vento por horário observado para os períodos P2 e P9, permite avaliar que no período P2 houve maior estabilidade relativa na velocidade do vento com relação ao P9, além de valores mais elevados, proporcionando maiores valores de velocidade média do vento diária.

Nas Figuras 27 e 28, avaliando-se a ocorrência de velocidade do vento para cada faixa de velocidade do vento, observou-se que no período P2 os valores registrados de velocidade do vento em 85,4% das ocorrências ficaram entre 3 e 7ms<sup>-1</sup>. Sendo que, 44,7% e 30,1% ficaram respectivamente nas classes de 3 e 4ms<sup>-1</sup>. No período P9, para o mesmo intervalo de classes de velocidade do vento de 3 a 7ms<sup>-1</sup>, observaram-se 71,7 % das ocorrências. Sendo que, 51,5 e 11,2% das ocorrências ficaram respectivamente nas classes de 3 e 4ms<sup>-1</sup>. Avalia-se que, no período P2, a maior porcentagem de ocorrência de valores de

velocidade do vento na classe de  $4\text{ms}^{-1}$ , conduziu ao maior valor encontrado para a velocidade média do vento com relação ao P9.

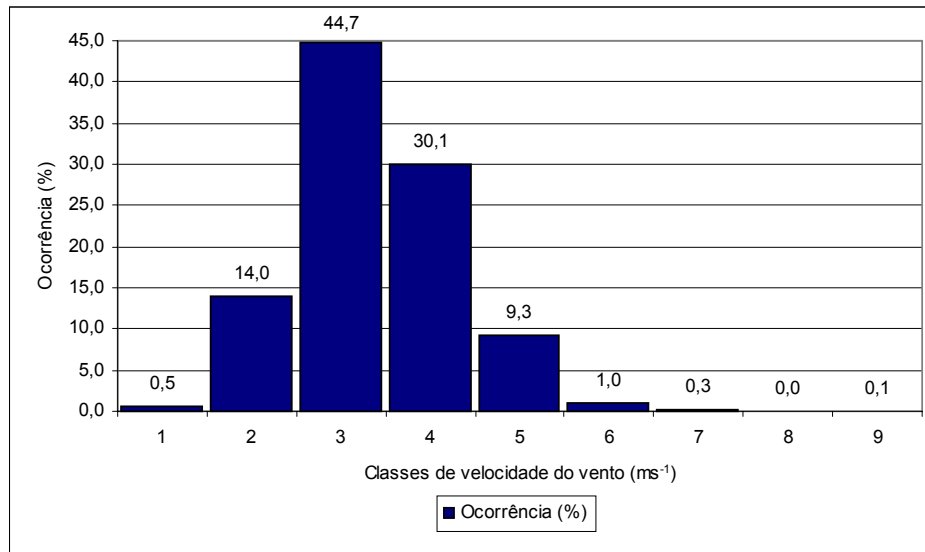


Figura 27. Ocorrências das velocidades do vento para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).

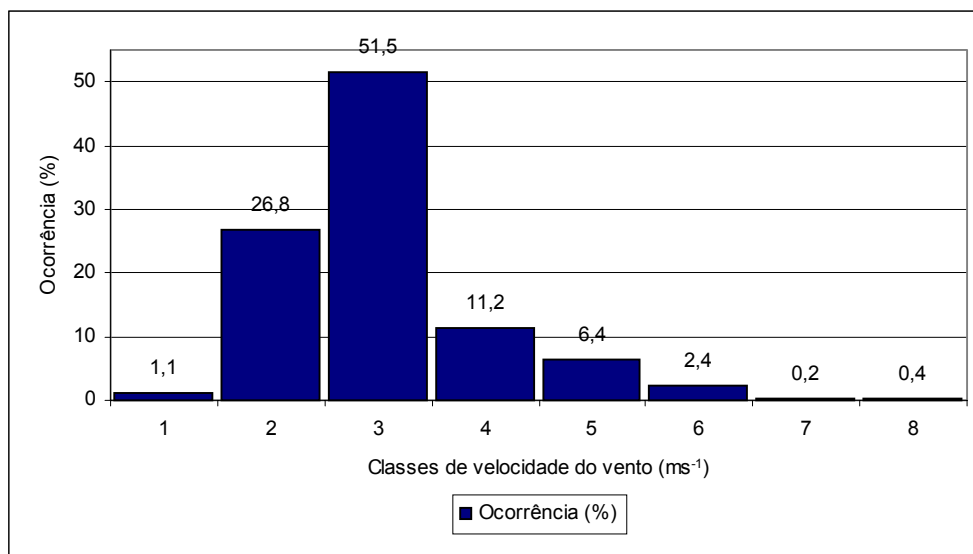


Figura 28. Ocorrências das velocidades do vento para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

### 5.3 Energia Eólica Disponível

A Figura 29 mostra que, apesar dos valores de velocidade média por direção do vento (Figura 22) confirmarem a maior média anual de velocidade do vento para a direção sudoeste (SW), os ventos provenientes da direção sudeste (SE) foram responsáveis por 75,8% da energia eólica disponível durante os períodos observados, com um valor total de 56024 Wh. Enquanto que, a energia eólica proveniente da direção sudoeste (SW) foi de 13008 Wh, correspondendo a 17,6% apenas de toda a energia eólica disponível durante os períodos analisados. Ocorre que, conforme pode ser observado na Figura 21, a direção sudeste (SE) corresponde à direção predominante do vento, compreendendo mais de 80% das ocorrências, fazendo com que a quantidade de energia eólica disponível anual seja maior nesta direção.

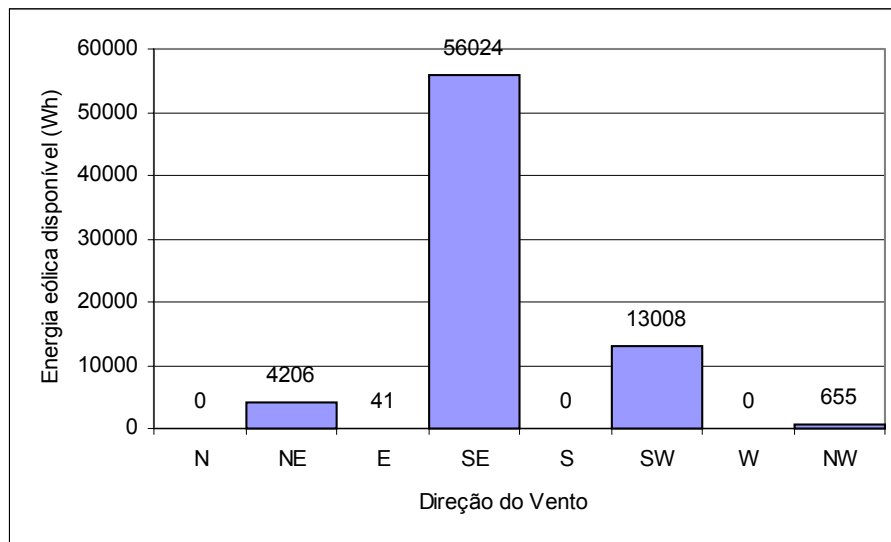


Figura 29. Energia eólica disponível no vento em função das direções cardeais durante os períodos de observação.

Considerando-se a variação da energia eólica disponível para cada período de observação, pode-se verificar na Figura 30, que da mesma forma como ocorreu com a velocidade média do vento, os períodos P2 e P9 corresponderam, respectivamente, ao maior e menor valor de energia com relação aos demais períodos. A desproporcionalidade existente entre a velocidade média e a energia disponível no vento, deve-se ao fato de que esta última corresponde à soma de todos os dados coletados originalmente para cada instante de coleta. Avalia-se, com base nesta observação, que a velocidade média não é um parâmetro que reflete a energia eólica realmente disponível no vento. Esta avaliação fica ainda mais evidente, quando verifica-se que a energia eólica disponível por estações do ano foi maior na primavera e inverno, sendo que a estação do verão, que apresentou médias de velocidade de vento maiores do que o inverno, surge apenas em terceiro lugar.

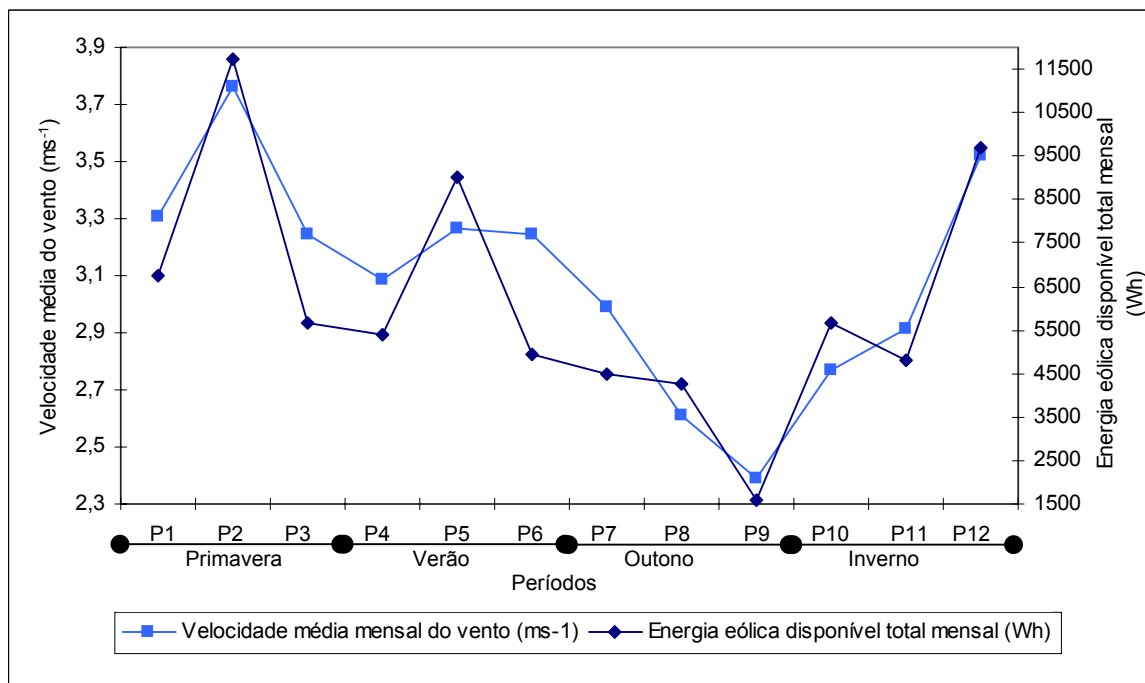


Figura 30. Comportamento da velocidade média do vento e da energia eólica disponível durante os períodos de observação.



A Figura 31 apresenta os valores diários da energia eólica disponível diária para os períodos P2 e P9. Constatam-se que os valores da energia eólica diária foram realmente baixos para o período P9 e ainda que, em quase 50% dos casos, os valores de energia foram nulos. Ou seja, não havia energia disponível no vento capaz de acionar o aerogerador. Quando se observa o valor diário de energia no período P2, verifica-se que, mesmo havendo vários dias em que os níveis de energia eólica caíram abaixo de 100 Wh, os níveis de energia eólica disponíveis foram muito superiores ao do P9, conduzindo à diferença entre os níveis de energia verificada na Figura 30.

Comparando-se a Figura 31 com a Figura 24, observa-se que os valores da energia eólica disponível variaram com a velocidade do vento, mas dependeram em grande parte do número de horas de ocorrência diária dos valores de velocidade, tanto no período P2 como no P9.

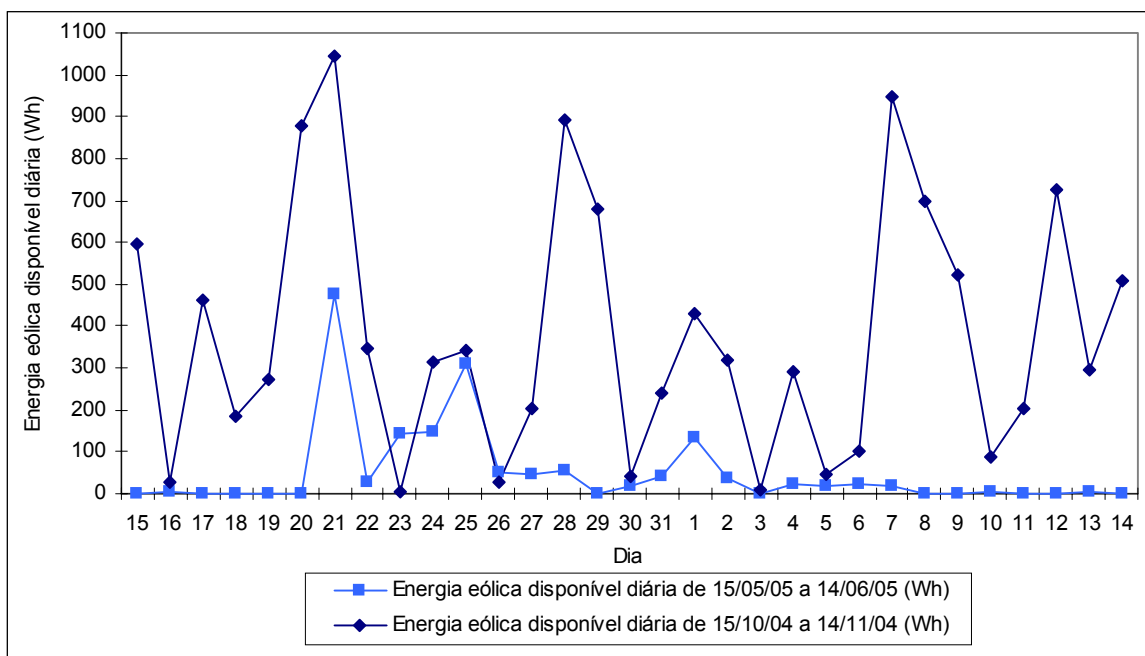


Figura 31. Energia eólica disponível no vento média diária nos períodos P2 (15/10/04 a 14/11/04) e P9 (15/05/05 a 14/06/05).

No período P2, conforme apresentado na Figura 32, pode-se constatar que a intensidade da energia disponível total no vento por horário de ocorrência para a somatória dos dias do período apresentou valores acima de 50Wh das 22:00 até por volta das 7:00 horas, caindo abaixo dos 10Wh das 8:00 até às 10:00 horas. A partir daí os valores subiram para a faixa de 30Wh, oscilando entre 10 e 30Wh até por volta das 19:00 horas, onde surgem valores na faixa de 40Wh, crescendo até 50Wh por volta das 22:00 horas. Avalia-se, portanto, que os horários noturnos apresentaram maiores níveis de energia eólica neste período.

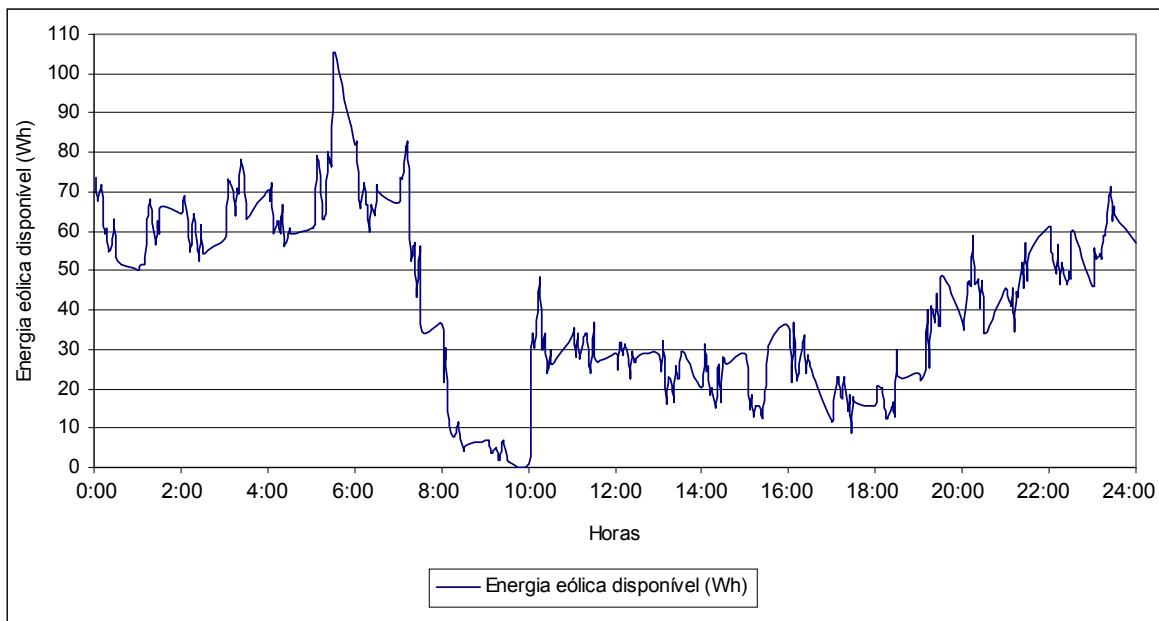


Figura 32 – Energia eólica disponível em função do horário de ocorrência para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).

No período P9, Figura 33, verifica-se que a energia eólica disponível por horário de ocorrência para a somatória dos dias do período, não apresentou um padrão de comportamento como verificado no período P2. Observa-se que houve picos de energia eólica

em horários isolados, sendo que apenas no intervalo compreendido entre 8:00 e 14:00 horas foram observados valores entre 5 e 20 Wh.

Na comparação entre os períodos P9 e P2, fica evidente que a energia eólica foi muito maior no P2, apresentando uma regularidade no comportamento da energia eólica, por ter uma variação mais uniforme e adequada para um sistema de geração eólica.

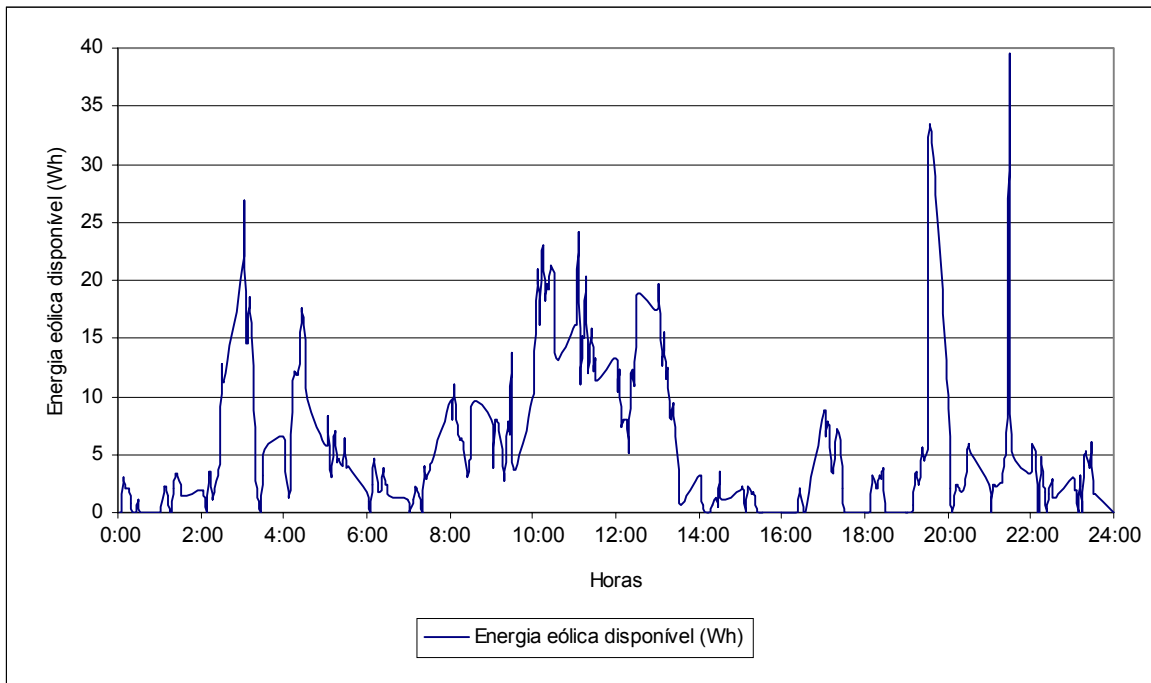


Figura 33 – Energia eólica disponível em função do horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

Considerando-se a distribuição da energia eólica disponível por classes de velocidade do vento, pode-se observar nas Figuras 34 e 35, para os períodos P2 e P9, respectivamente, que no período P2 a classe de velocidade de  $4\text{ms}^{-1}$  foi responsável pela maior quantidade de energia eólica, atingindo 4636,8Wh. No período P9, a classe de velocidade de  $3\text{ms}^{-1}$  foi onde se obteve a maior quantidade de energia eólica, chegando a 591,4 Wh. Avalia-se que o valor máximo de energia eólica disponível no período P9, foi quase seis vezes menor

do que o valor obtido no período P2 para a mesma classe de velocidade do vento. Observa-se, ainda, que no período P2, 67% da energia eólica disponível concentrou-se entre as classes de velocidade 4 e 9  $\text{ms}^{-1}$ , enquanto que no período P9 apenas 53% da energia foi obtida no mesmo intervalo de classes de velocidade.

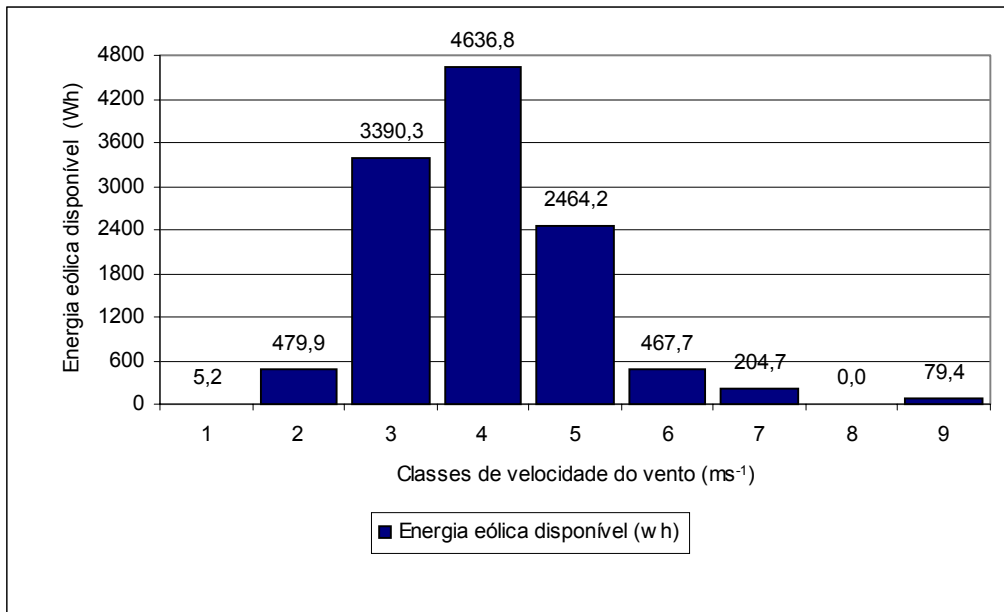


Figura 34. Energia eólica disponível em função das classes de velocidade do vento para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).

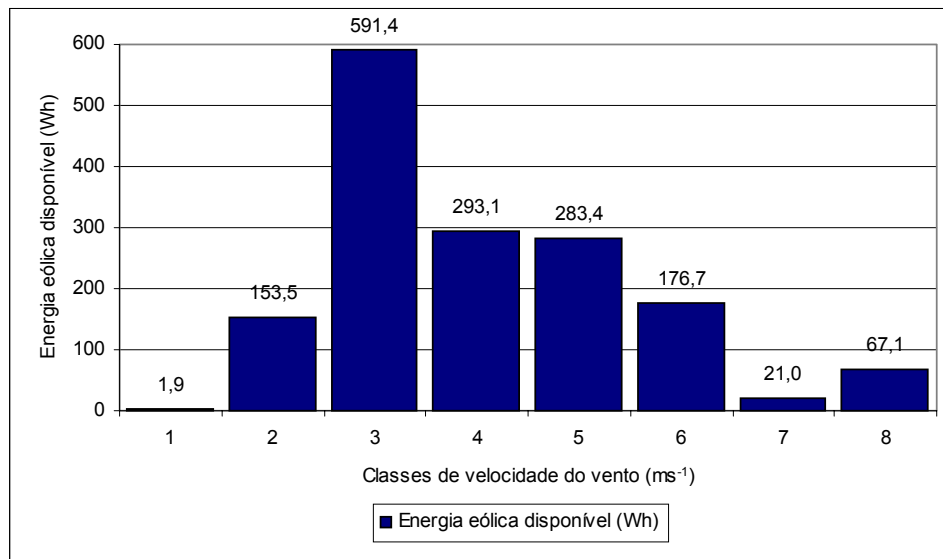


Figura 35 – Energia eólica disponível em função das classes de velocidade do vento para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

#### 5.4 Energia Elétrica Gerada Pelo Sistema Eólico

Na Figura 36, observa-se que, os ventos provenientes da direção sudeste foram responsáveis por 82,3% da energia elétrica gerada pelo aerogerador durante os períodos de observação, com um valor total de 12790Wh. A energia gerada pelos ventos provenientes da direção sudoeste foi de 2061Wh, correspondendo a 13,3% de toda a energia gerada durante o período. Observa-se que os resultados são semelhantes aos encontrados para a energia eólica disponível, com relação à direção do vento (Figura 29), resguardadas as devidas proporções.

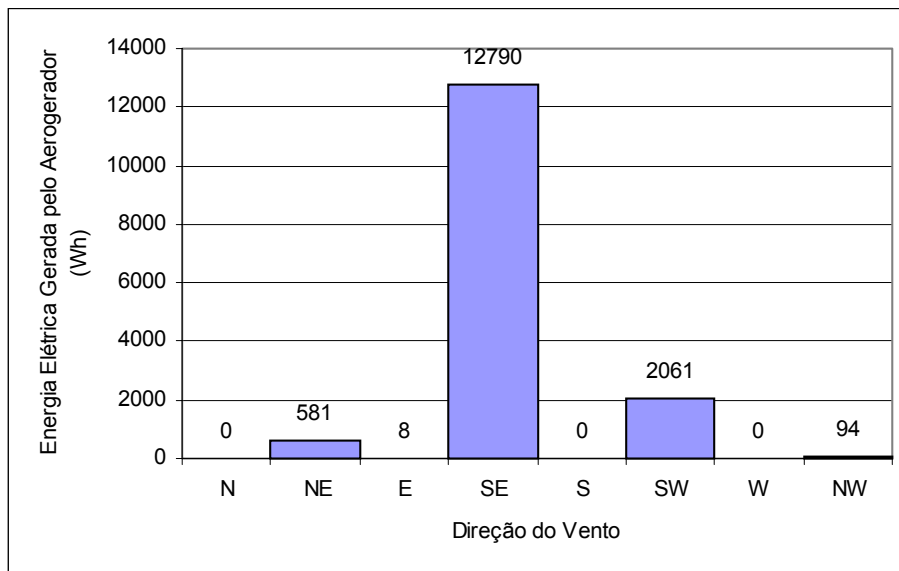


Figura 36. Energia elétrica gerada pelo aerogerador em função das direções cardinais durante os períodos de observação.

Comparando-se o comportamento da geração eólica durante os períodos de observação (Figura 37) com o comportamento da energia eólica disponível para os mesmos períodos (Figura 30), constata-se que o comportamento mensal de ambas as energias foram semelhantes, resguardadas as devidas proporções. Da mesma forma, como observado na energia eólica disponível, verifica-se que os períodos de maior e menor geração de energia

elétrica, foram os períodos P2 e P9, respectivamente. Observa-se ainda, na Figura 37, que a corrente elétrica fornecida pelo aerogerador à bateria e/ou à carga, apresentou o mesmo comportamento com relação à energia gerada pelo aerogerador. Avaliando-se a geração de energia elétrica com relação às estações do ano, pode-se observar que as estações da primavera e verão apresentaram os maiores valores de geração.

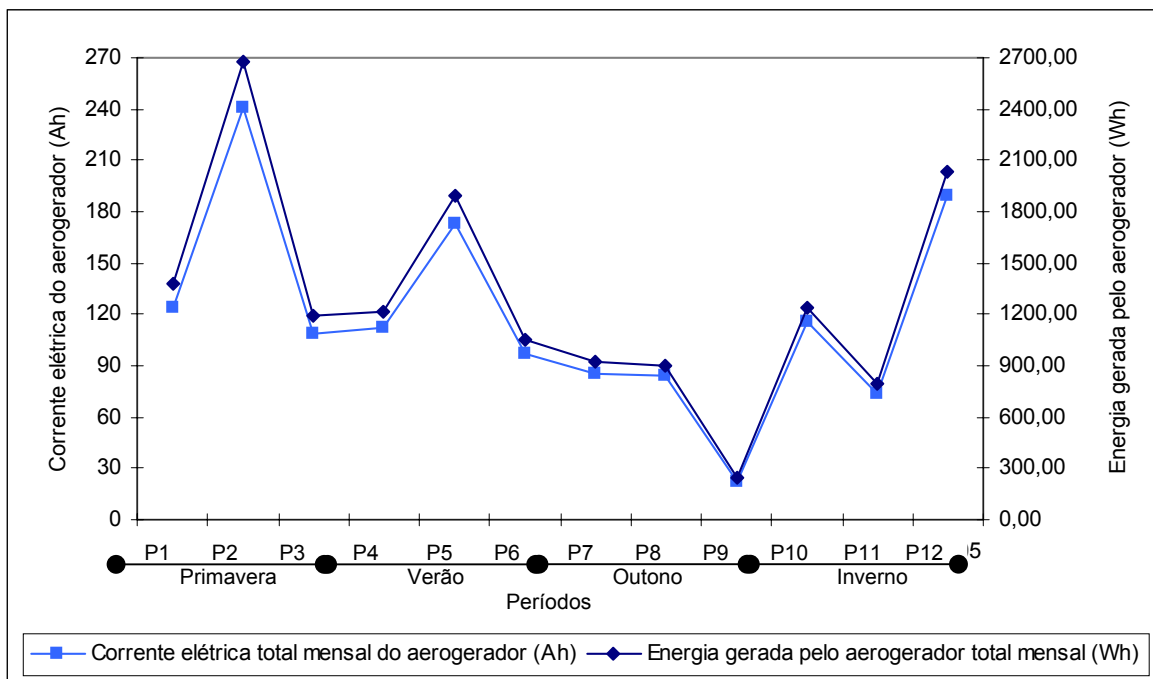


Figura 37. Energia elétrica gerada pelo aerogerador e corrente elétrica fornecida aerogerador durante os períodos de observação.

A Figura 38 apresenta os valores diários da energia elétrica diária gerada pelo aerogerador para os períodos P2 e P9. Observa-se que os valores da energia elétrica diária gerada no período P9 foram extremamente baixos, sendo que em apenas dois dias no período o nível de geração ultrapassou 50Wh. Em 14 dias do período não houve geração de energia elétrica, uma vez que, não houve energia eólica disponível com capacidade para acionar o aerogerador, como já foi observado na Figura 31. No período P2, houve

geração de energia acima de 50Wh em 20 dias do período e destes, 4 dias com geração acima de 200 Wh. Em apenas 2 dias do período não houve geração de energia.

Comparando-se a Figura 38 com a Figura 31, verifica-se que o comportamento diário da energia gerada pelo aerogerador em ambos os períodos, foi praticamente idêntico ao da energia disponível no vento.

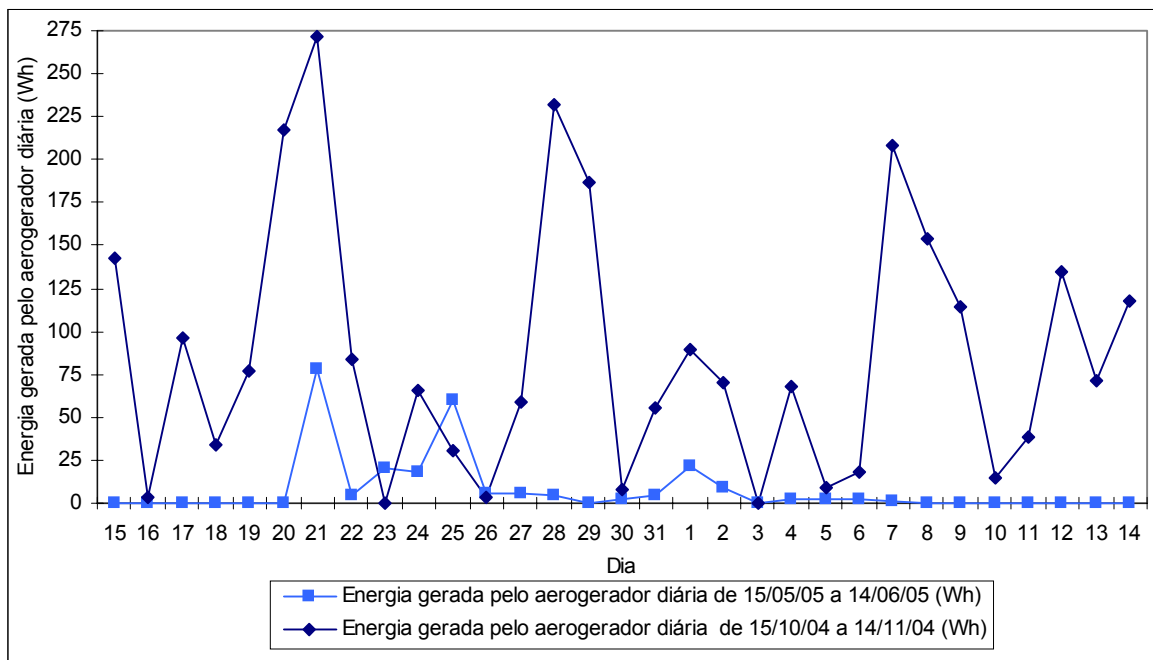


Figura 38. Energia diária gerada pelo aerogerador nos períodos P2 (15/10/04 a 14/11/04) e P9 (15/05/05 à 14/06/05).

Na Figura 39, onde se apresenta a energia elétrica total gerada pelo aerogerador por horário de ocorrência para a somatória dos dias do período P2, observa-se que o padrão de geração também segue o comportamento já observado para a energia eólica disponível. Das 22:00 até por volta das 7:00 horas, a geração oscilou em torno de 15Wh, caindo abaixo dos 5Wh após este horário e oscilando em torno deste valor até às 19:00 horas. A partir daí os valores subiram gradativamente, até atingir a faixa de 15Wh por volta das 22:00 horas.

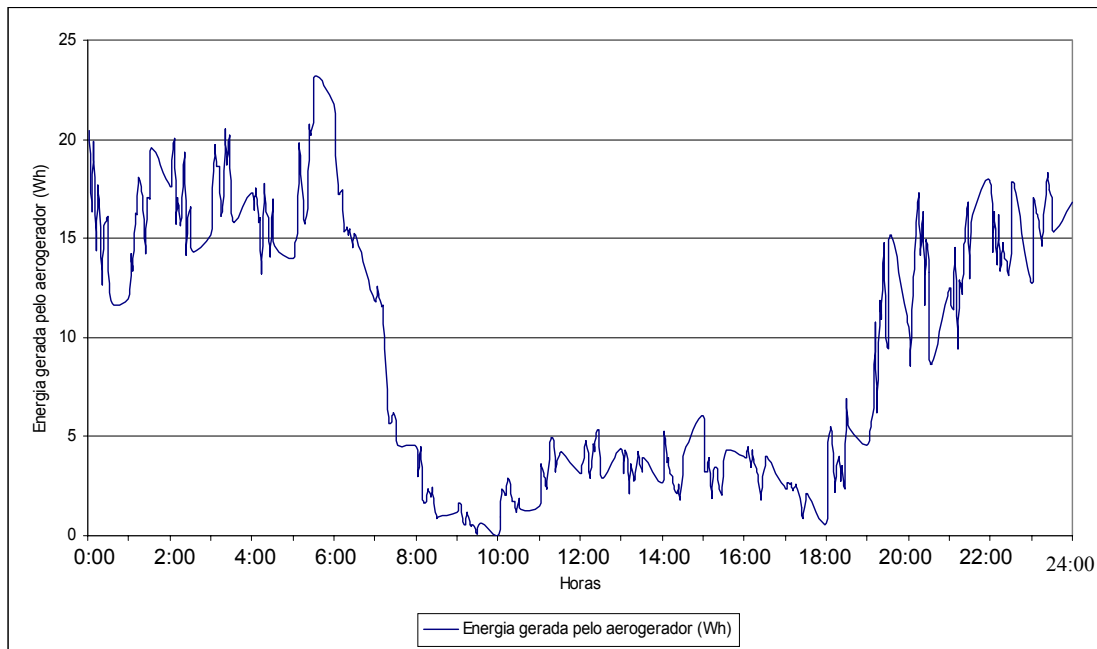


Figura 39. Energia gerada pelo aerogerador em função do horário de ocorrência para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).

Na Figura 40, verifica-se que no período P9 a intensidade da energia gerada pelo aerogerador por horário de ocorrência para a somatória dos dias do período, da mesma forma como observado na Figura 33 com relação à energia eólica disponível total no vento, apresentou apenas picos de geração em horários isolados, atingindo no máximo valores em torno de 5Wh.

Na comparação entre a geração dos períodos P2 e P9, fica clara a magnitude da geração no período P2, bem como sua regularidade, apresentando inclusive um padrão característico de geração intensificada no período noturno.



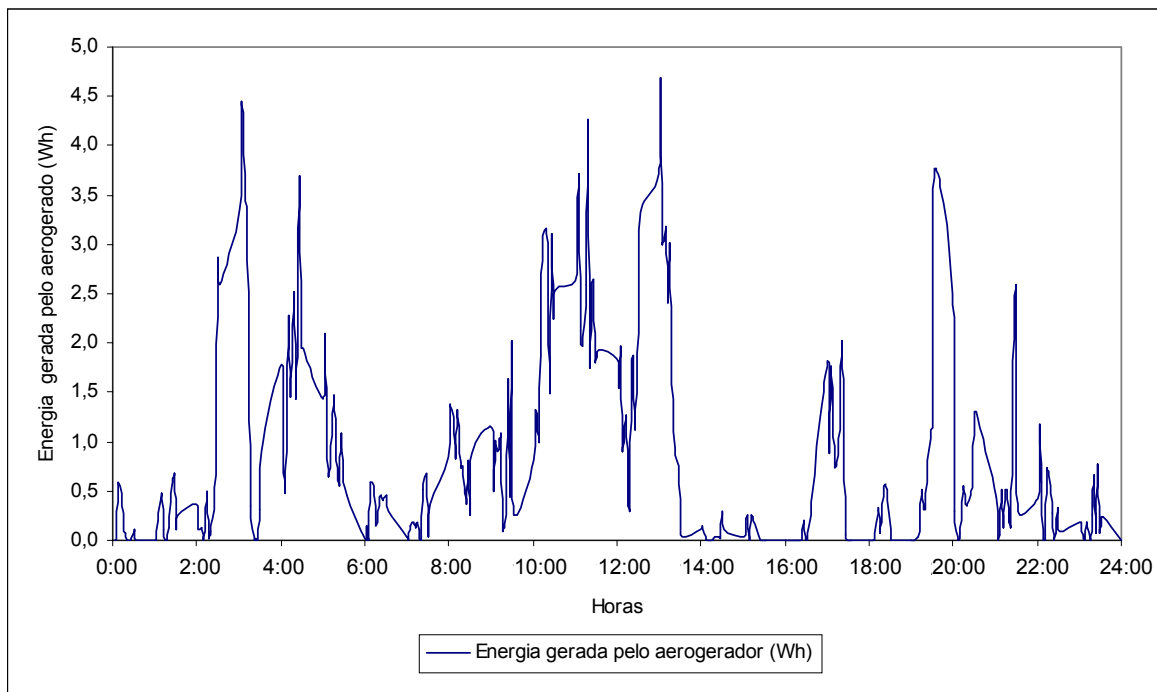


Figura 40. Energia gerada pelo aerogerador em função do horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

Observando-se as Figuras 41 e 42, para os períodos P2 e P9, respectivamente, verifica-se que no período P2 a classe de velocidade do vento de  $4\text{ms}^{-1}$  foi responsável pela geração de 1194,33Wh de energia elétrica. No período P9, a classe de velocidade do vento que apresentou maior nível de geração de energia foi a de  $3\text{ms}^{-1}$ , com 80,44Wh de energia gerada. Para a mesma classe de velocidade do vento, observa-se que no período P2 foi gerada 9 vezes mais energia elétrica. No período P2, 70,3% da geração foi concentrado no intervalo de velocidades do vento de 4 a  $9\text{ms}^{-1}$ , enquanto que no período P9 o mesmo intervalo de velocidades correspondeu a 61,5%.

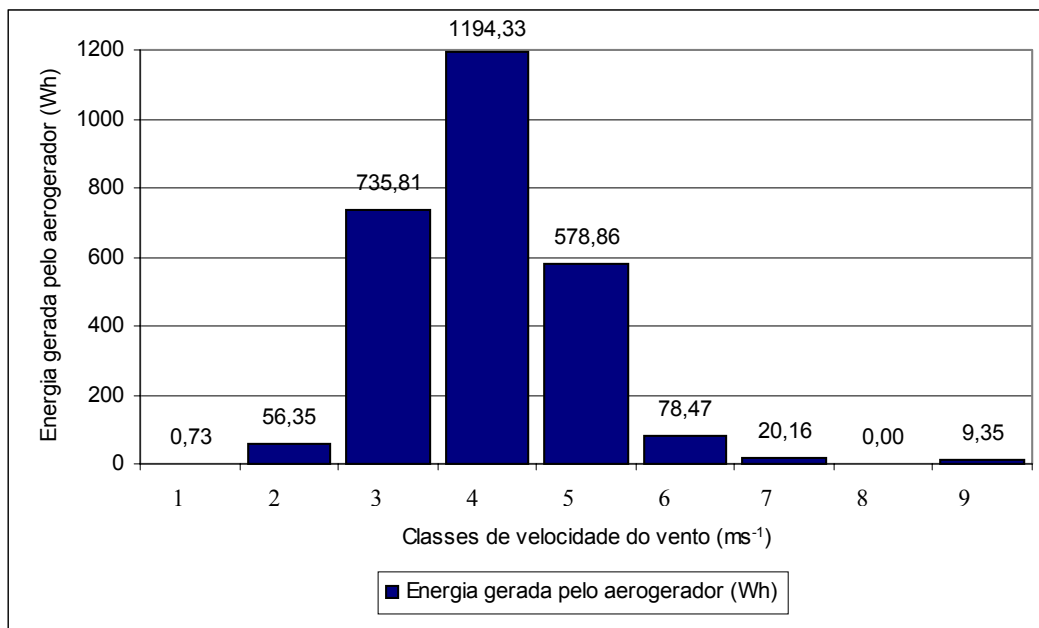


Figura 41. Energia gerada pelo aerogerador em função das classes de velocidade do vento para o período P2 (15/10/04 a 14/11/04).

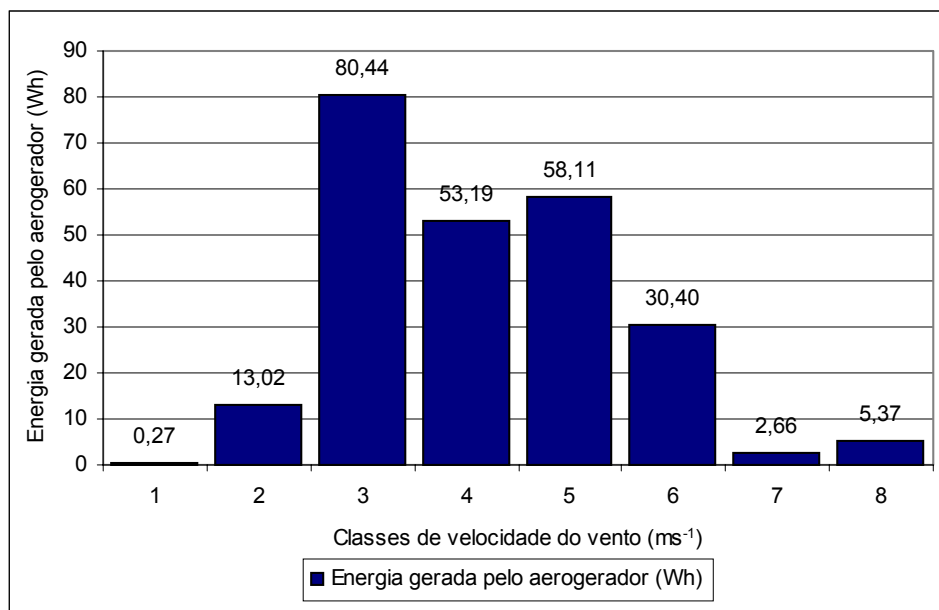


Figura 42 – Energia gerada pelo aerogerador em função das classes de velocidade do vento para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

### 5.5 Irradiância Solar no Plano do Pannel Fotovoltaico

A média da irradiância solar no plano do painel, durante os períodos de coleta de dados, variou como apresentado na Figura 43, onde se pode observar que a irradiância apresentou valores inferiores à  $450\text{Wm}^{-2}$  do período P1 ao P5, sendo que neste último período o valor foi o menor entre todos os períodos observados, ficando a irradiância um pouco acima de  $350\text{Wm}^{-2}$ . Do período P6 ao P12, todos os valores de irradiância média ficaram acima de  $450\text{Wm}^{-2}$ , sendo que o período que apresentou o maior valor de irradiância média foi o P11, atingindo mais de  $500\text{Wm}^{-2}$ . Avalia-se, em função desta constatação e observando-se a Figura 20, que as estações da primavera e verão apresentaram menores valores de irradiância solar pela nebulosidade existente, sugerida pelos índices pluviométricos observados para estas estações. Da mesma forma, avalia-se que as estações do outono e inverno, apresentaram os maiores valores de irradiância pelas mesmas razões, sendo que o inverno apresentou a maior irradiância solar média.

Avaliando-se os níveis de irradiância para os períodos P11 e P5, respectivamente, os períodos de maior e menor média de irradiância solar, verifica-se na Figura 44, que o período P11 apresentou 3 vezes mais valores acima de  $450\text{Wm}^{-2}$  do que o período P5. Com relação aos menores valores de irradiância, observa-se que o período P5 apresentou 7 valores abaixo de  $250\text{Wm}^{-2}$ , enquanto que o período P11 apresentou apenas dois valores nesta faixa.

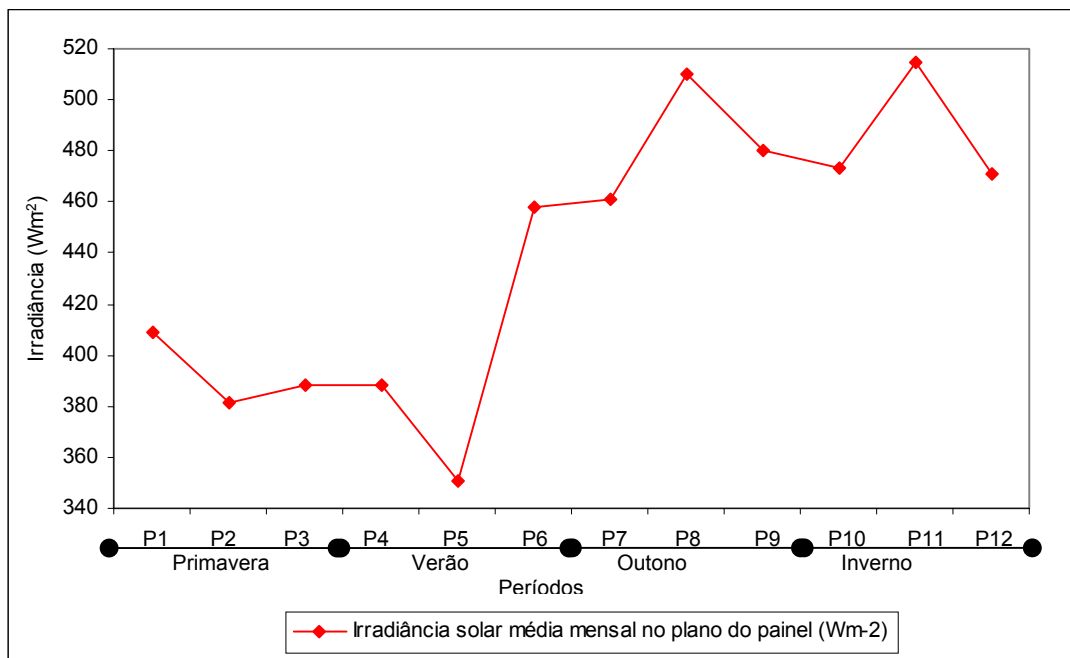


Figura 43. Irradiância solar média mensal no plano do painel durante os períodos de observação.

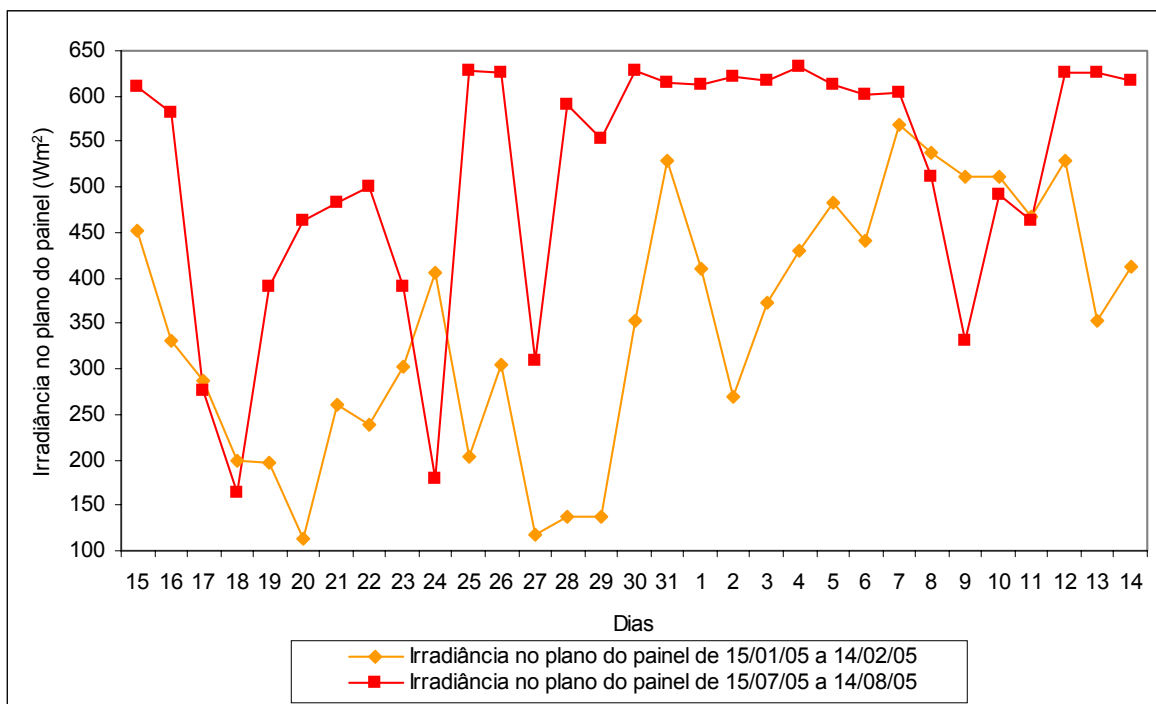


Figura 44. Irradiância solar média diária no plano do painel referente aos períodos P11 (15/07/05 a 14/08/05) e P5 (15/01/05 a 14/02/05), respectivamente, maior e menor irradiância solar média mensal.

Nas Figuras 45 e 46, avaliando-se a porcentagem de ocorrência de irradiância por faixa de valores de irradiância solar, verifica-se que no período P11 os valores acima de  $500\text{Wm}^{-2}$  corresponderam a 61,62% das ocorrências, enquanto que, no período P5 a mesma faixa de valores correspondeu a 35,6% das ocorrências. Avalia-se ainda, que o intervalo de classes de irradiância de  $900$  a  $1000\text{Wm}^{-2}$  compreendeu 25,53% do total de ocorrências para o período P11. No período P5 o mesmo intervalo correspondeu a 9,9%.

Na Figura 47 observa-se a distribuição da irradiância solar por horário de ocorrência para o período P11. Avalia-se que o comportamento aproxima-se de uma curva gaussiana em formato de sino. Avalia-se ainda, que ocorreram diversas variações bruscas na curva, típicas da presença de nebulosidade. Apesar disto, observa-se no horário das 10:00 às 14:00 horas valores médios de irradiância solar acima de  $600\text{Wm}^{-2}$ , chegando a um máximo de  $800\text{Wm}^{-2}$  por volta das 12:00 horas.

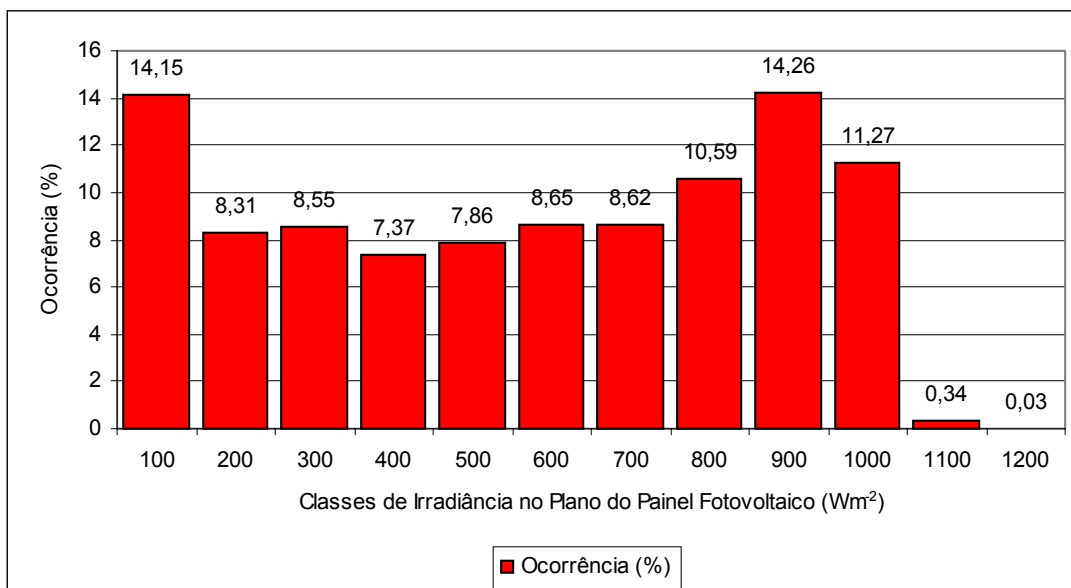


Figura 45. Porcentagem de ocorrência da irradiância solar para o período P11 (15/07/05 a 15/08/05).

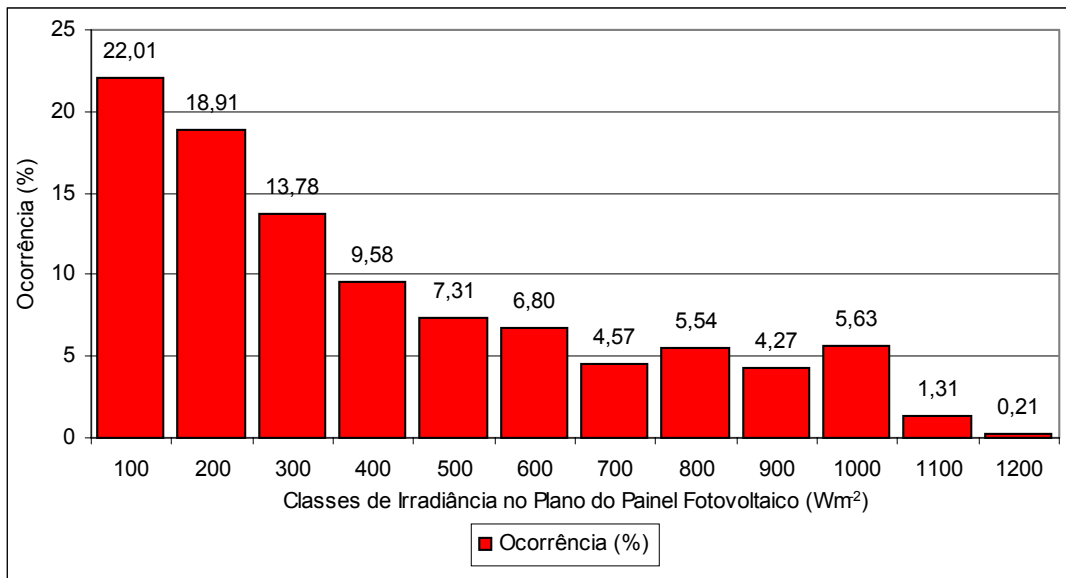


Figura 46 – Porcentagem de ocorrência da irradiância solar para o período P5 (15/01/05 a 15/02/05).

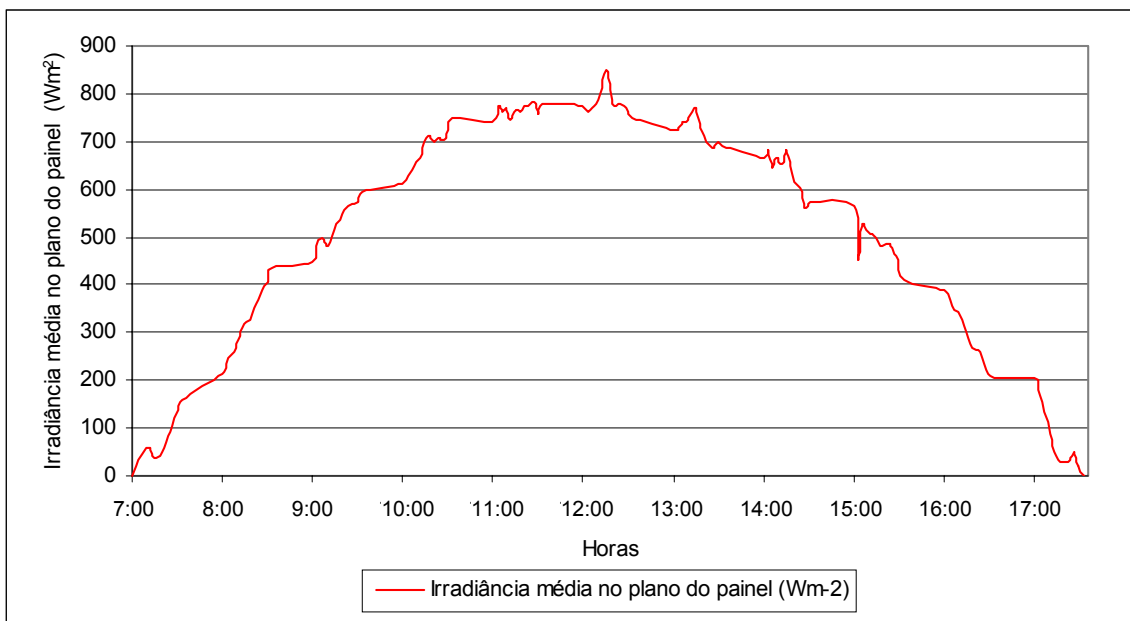


Figura 47. Variação da irradiância em função do horário de ocorrência para o período P11 (15/07/05 a 14/08/05).

Observa-se na Figura 48, a distribuição da irradiância solar por horário de ocorrência para o período P5. Neste período, o comportamento da irradiância

também se aproximou de uma curva gaussiana em formato de sino, da mesma forma como observado para o período P11. Entretanto, observa-se também, que ocorreram diversas variações na curva não tão bruscas como observado no período P11. Verifica-se que no horário das 10:00 às 14:00 horas valores médios de irradiância solar ficaram acima de  $400\text{Wm}^{-2}$ , chegando a um valor de  $600\text{Wm}^{-2}$  por volta das 12:00 horas.

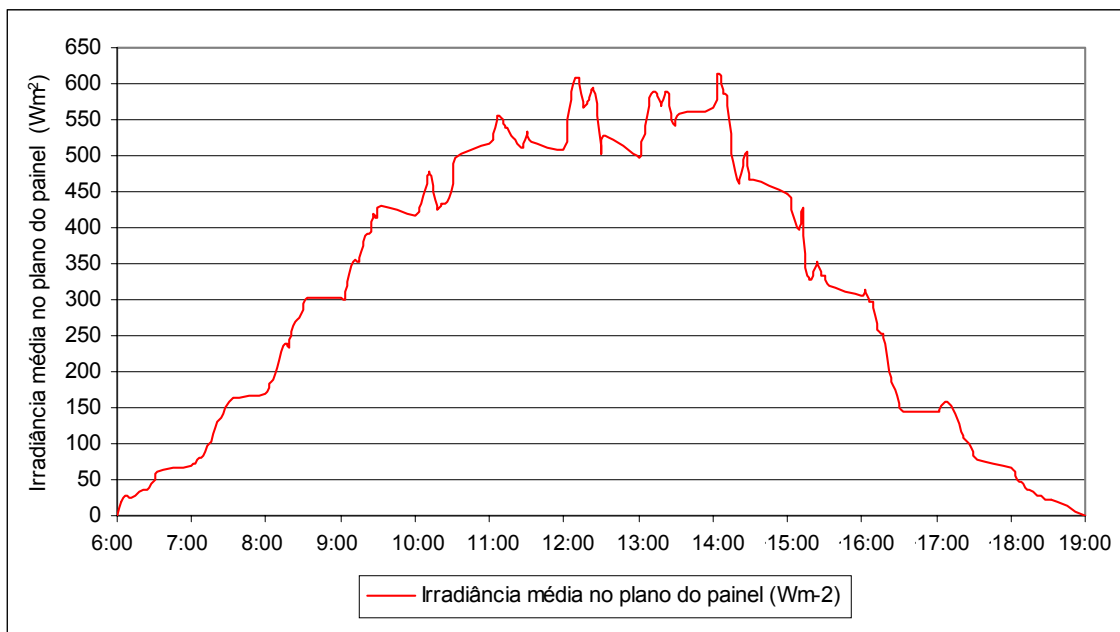


Figura 48. Variação da irradiância em função do horário de ocorrência para o período P5 (15/01/05 a 14/02/05).

## 5.6 Energia Solar Global Sobre a Superfície do Painel Fotovoltaico

Os valores da energia solar global ficaram entre 275000 e 355000Wh por período, sendo que o período P11 apresentou o maior valor e o período P5 apresentou o menor valor, como pode ser observado na Figura 49. Avalia-se que não há um comportamento estritamente proporcional entre os níveis de irradiância solar e a energia solar global, apesar

desta última ter sido calculada a partir dos valores de irradiância coletados pelo sistema de aquisição. Deve-se levar em consideração, que a energia solar global tem como componente o número de horas de ocorrência, além da irradiância, o que possibilita esta diferença observada. Avalia-se, também, que as estações do outono e inverno apresentaram os maiores valores de energia solar global, sendo que no outono obteve-se a maior quantidade de energia.

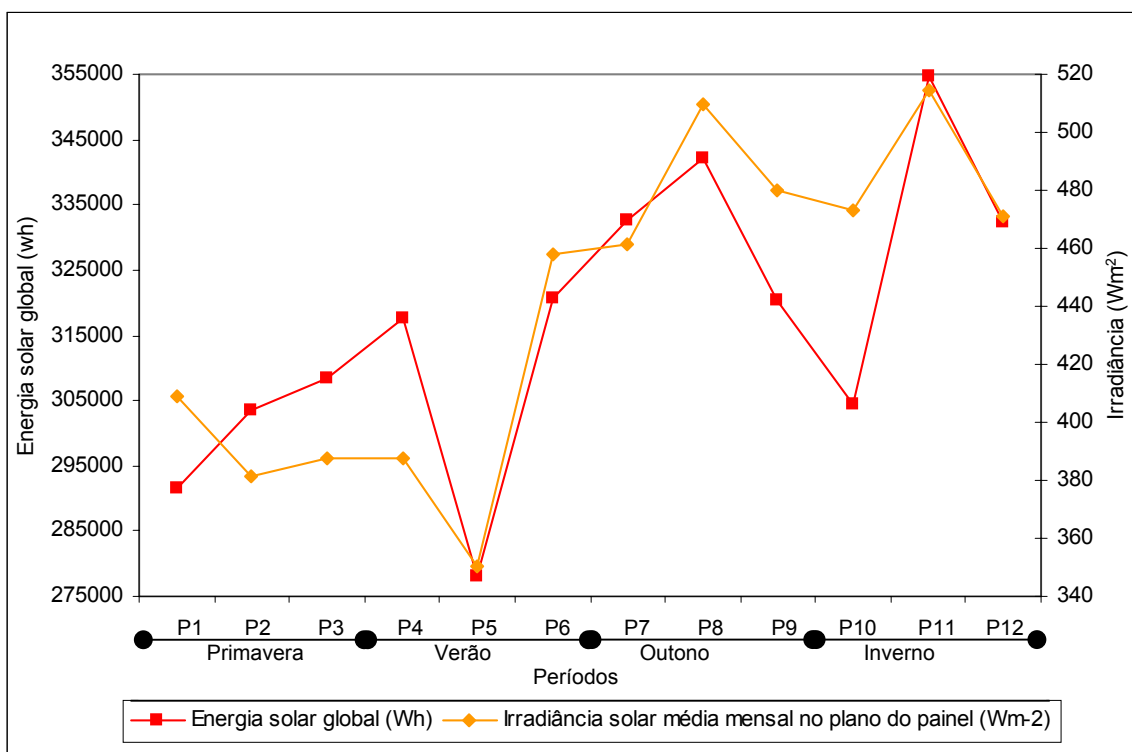


Figura 49. Energia solar global e irradiância solar média no plano do painel durante os períodos de observação.

Na Figura 50, observa-se a intensidade da energia solar global diária para os períodos P11 e P5, respectivamente, os períodos de maior e menor valor de energia solar global. Verifica-se que nestes períodos, a proporcionalidade entre a energia solar e a irradiância foram mantidas para ambos os períodos, como pode-se observar comparando-se a Figura 50 com a Figura 44. De forma análoga ao observado com relação à irradiância,



verifica-se que o período P11 apresentou quase 3 vezes mais valores acima de 12500Wh do que o período P5. Com relação aos menores valores de energia solar, observa-se que o período P5 apresentou 5 valores abaixo de 4500Wh, enquanto que o período P11 apenas dois valores nesta faixa.

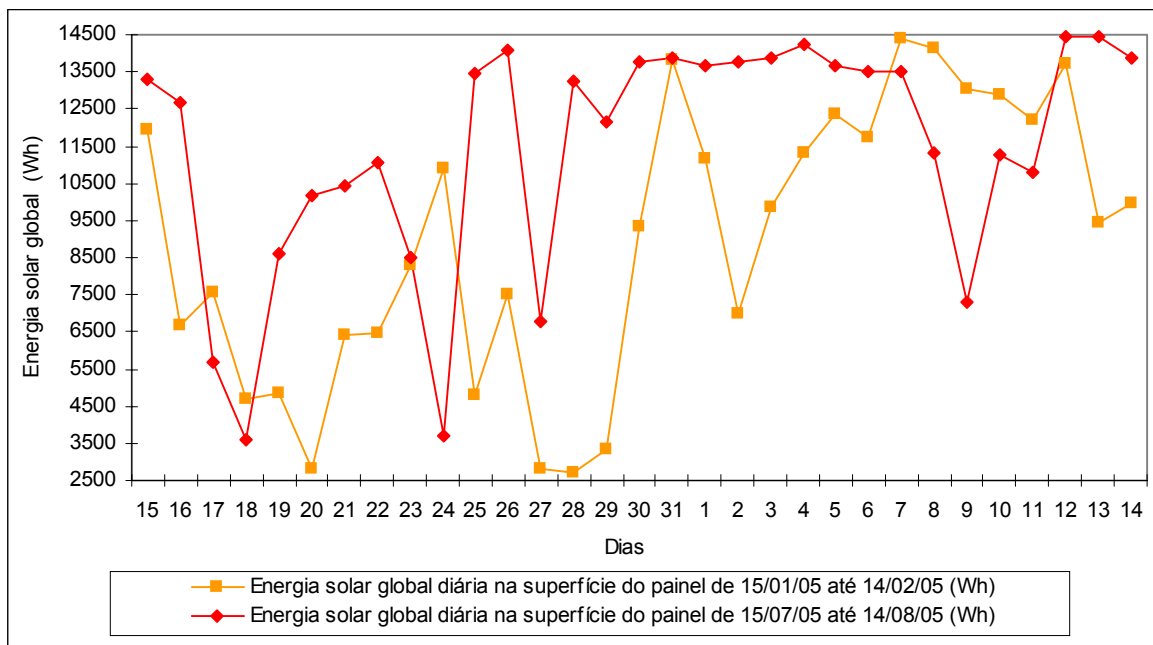


Figura 50 – Energia solar global diária na superfície do painel referente aos períodos P11 (15/07/05 a 14/08/05) e P5 (15/01/05 a 14/02/05), respectivamente, maior e menor energia solar global.

As Figuras 51 e 52 apresentam a quantidade de energia solar global na superfície do painel por classes de irradiância solar. Verifica-se que no período P11 os valores de energia solar para as classes acima de  $500\text{Wm}^{-2}$  corresponderam a 86,91% dos valores, enquanto que, no período P5 a mesma faixa de irradiância correspondeu a 69,73% dos valores de energia solar global. No intervalo de classes de irradiância de 900 a  $1000\text{Wm}^{-2}$ , para o período P11 a energia solar global foi de 155741Wh, contra 70427Wh observados no período P5.

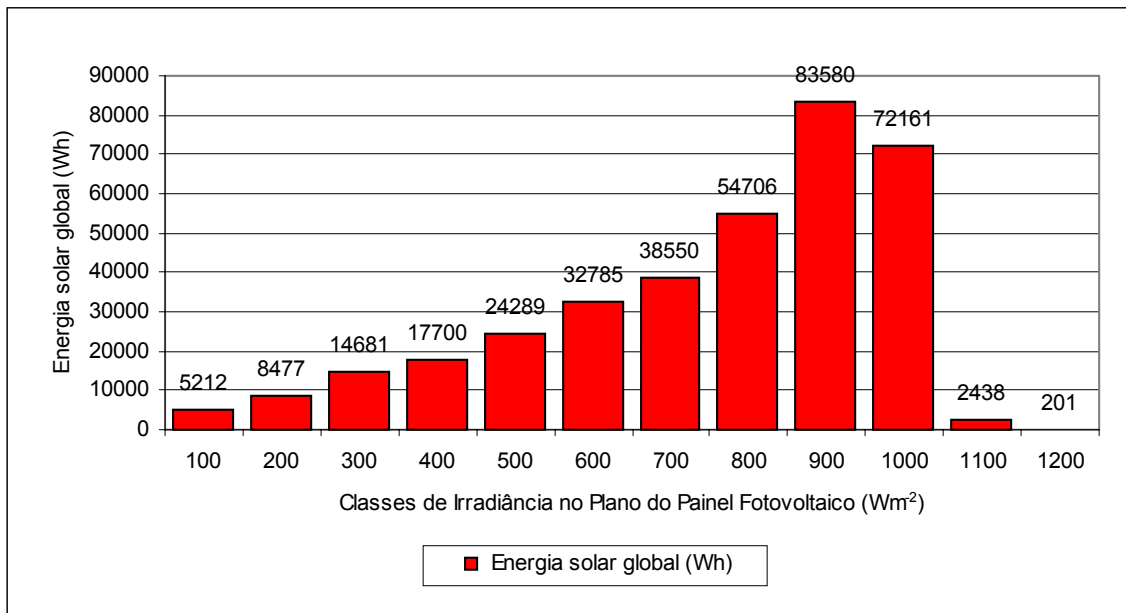


Figura 51. Energia solar global na superfície do painel por classes de irradiância no plano do painel período P11 (15/07/05 a 15/08/05).

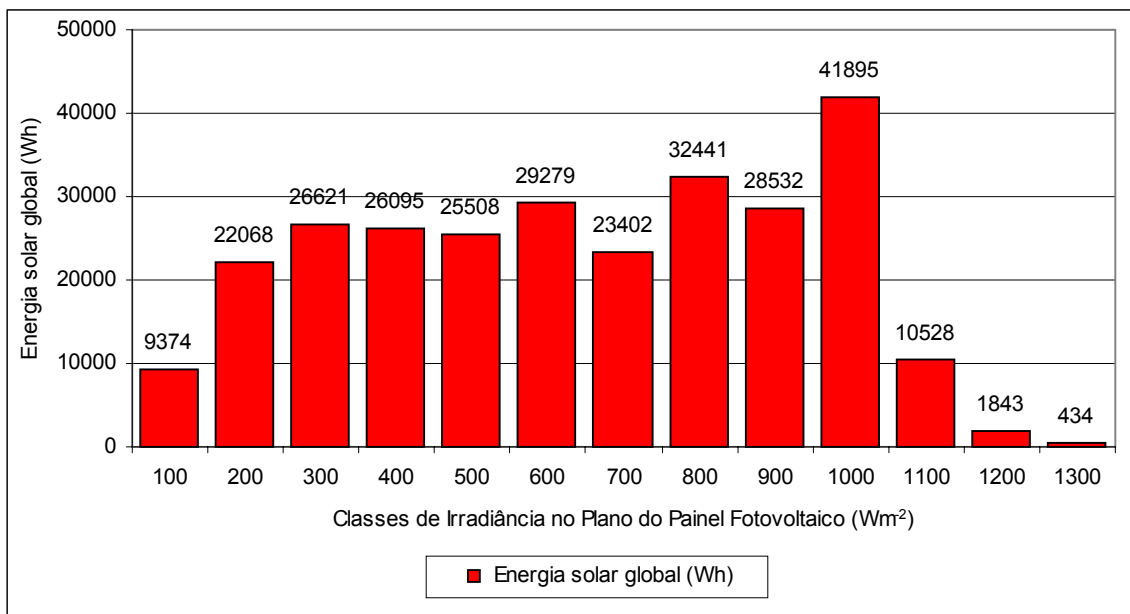


Figura 52. Energia solar global na superfície do painel por classes de irradiância no plano do painel solar para o período P5 (15/01/05 a 14/02/05).

Na Figura 53 observa-se a distribuição da energia solar por horário de ocorrência para o período P11. O comportamento da curva segue o mesmo apresentado na

Figura 47 para a irradiância média, observando-se que pequenas variações ocorridas para a irradiância refletiram em variações bem maiores na energia solar global, como pode ser visto no horário por volta das 15:00 horas em ambas as figuras citadas. Avaliando-se o horário das 10:00 às 14:00 horas, observam-se valores de energia solar acima de 3500Wh, chegando a alcançar mais de 4500Wh por volta das 12:00 horas.

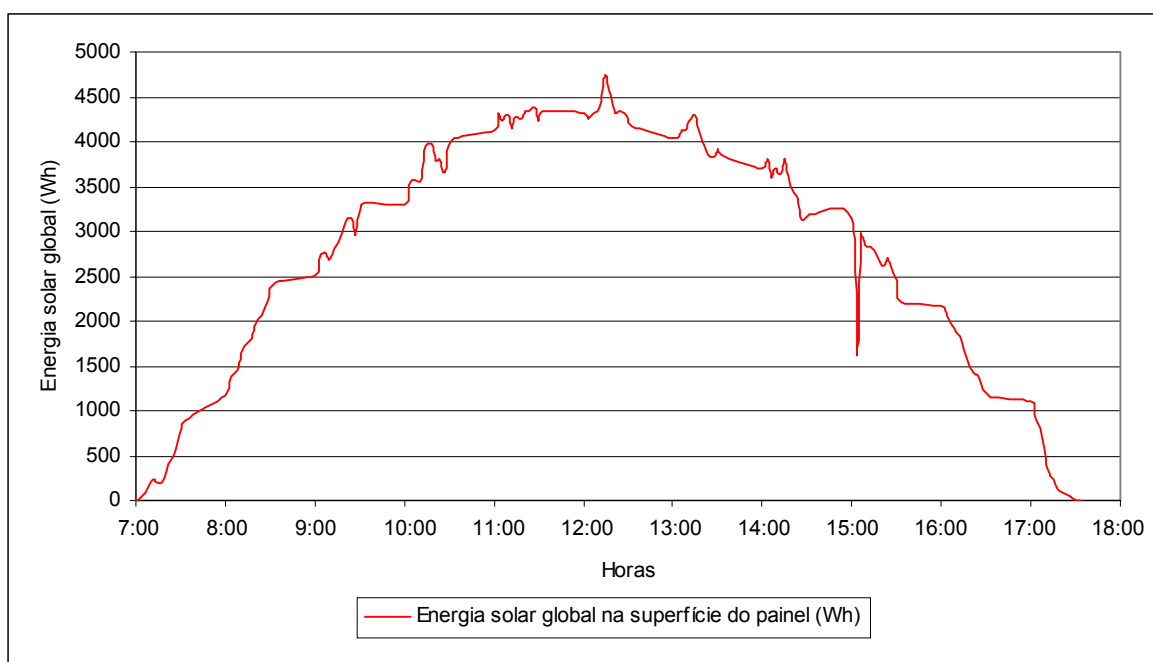


Figura 53. Energia solar global em função do horário de ocorrência para o período P11 (15/07/05 a 14/08/05).

Na Figura 54 tem-se a distribuição da energia solar global por horário de ocorrência para o período P5. Verifica-se que a energia solar apresentou comportamento semelhante ao da irradiância média apresentada na Figura 48. No horário das 10:00 às 15:00 horas os valores da energia solar ficaram acima de 2000Wh, chegando a alcançar um valor de 3000Wh por volta das 12:00 horas.

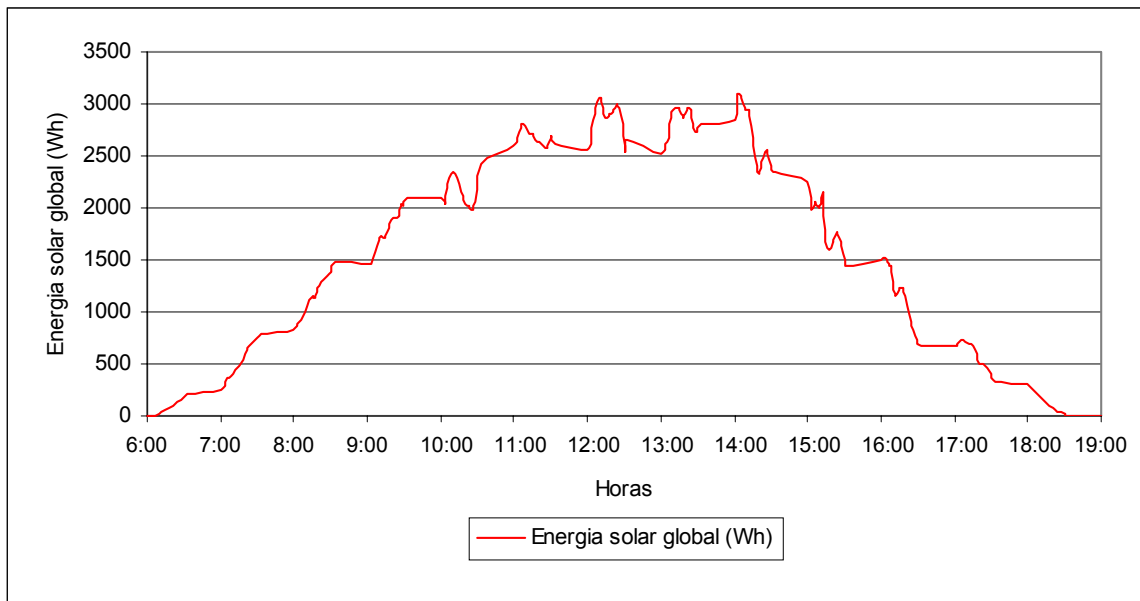


Figura 54. Energia solar global em função do horário de ocorrência para período P5 (15/01/05 a 14/02/05).

### 5.7 Energia Gerada Pelo Painel Fotovoltaico

Na Figura 55, observa-se que no período P9 foi registrado o maior valor de energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico, não coincidindo com o período P11, onde foram encontrados os maiores valores de irradiância solar (Figura 43) média e energia solar global mensal (Figura 49). Da mesma forma, o mês com menor valor de energia gerada também não coincidiu com o período P5, sendo este valor observado no período P1. O maior e menor nível de energia gerada para os períodos P9 e P1, ficaram em torno de 30000 e 24000Wh, respectivamente. Observa-se, ainda, que o segundo maior e menor valor mensal, coincide com os períodos de maior e menor valor de irradiância média e energia solar global. Comparando-se a irradiância média mensal e a energia solar global mensal com a energia elétrica gerada por período pelo painel fotovoltaico, observa-se que a energia gerada apresenta

maior relação com as variações ocorridas com energia solar global, mas não apresenta proporcionalmente o mesmo comportamento em termos de valores mensais. Com relação às estações do ano, avalia-se que as estações do outono e inverno apresentaram os maiores níveis de geração de energia elétrica, da mesma forma como constatado para a irradiância solar e energia solar, sendo que na estação do inverno obteve-se o maior valor de geração. Observou-se, ainda, que nestas estações os valores de temperatura média ambiente foram menores do que nas estações da primavera e verão.

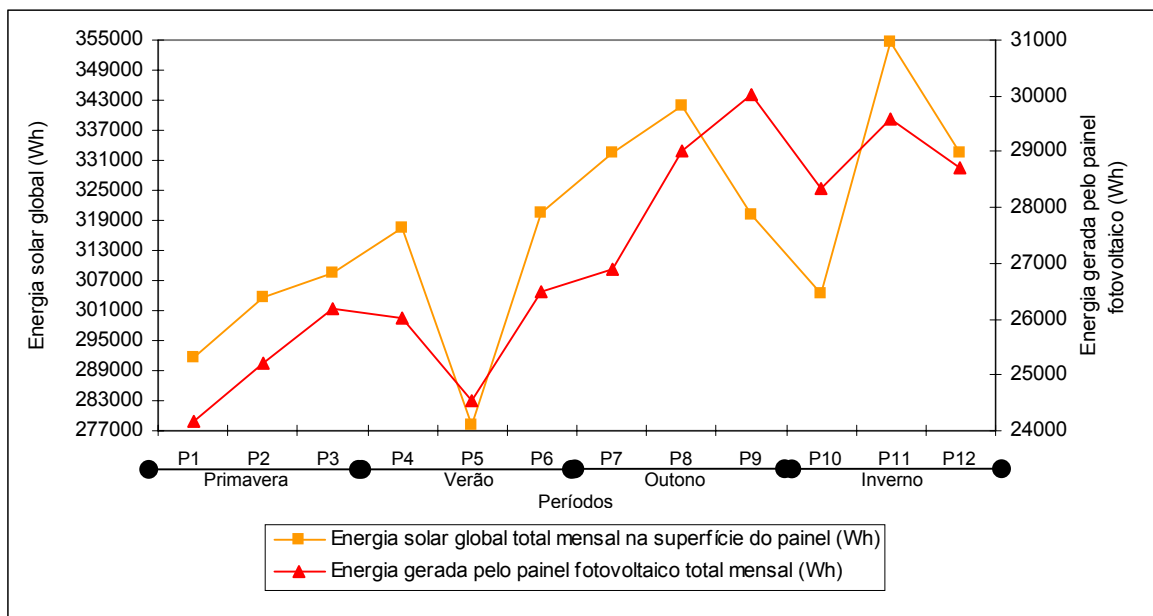


Figura 55. Energia gerada pelo painel e energia solar global no plano do painel durante os períodos de observação.

Na Figura 56, observam-se os níveis de energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico diária nos períodos P1 e P9, respectivamente, os períodos de menor e maior geração de energia elétrica. Verifica-se que o período P9 apresentou 2 vezes mais valores acima de 1000Wh de energia gerada do que o período P1. O período P9 apresentou, ainda, 7 valores acima de 1200Wh, enquanto no período P1 não se obteve nenhum valor desta

magnitude. Ambos os períodos apresentaram o mesmo número de valores abaixo de 500Wh de energia gerada.

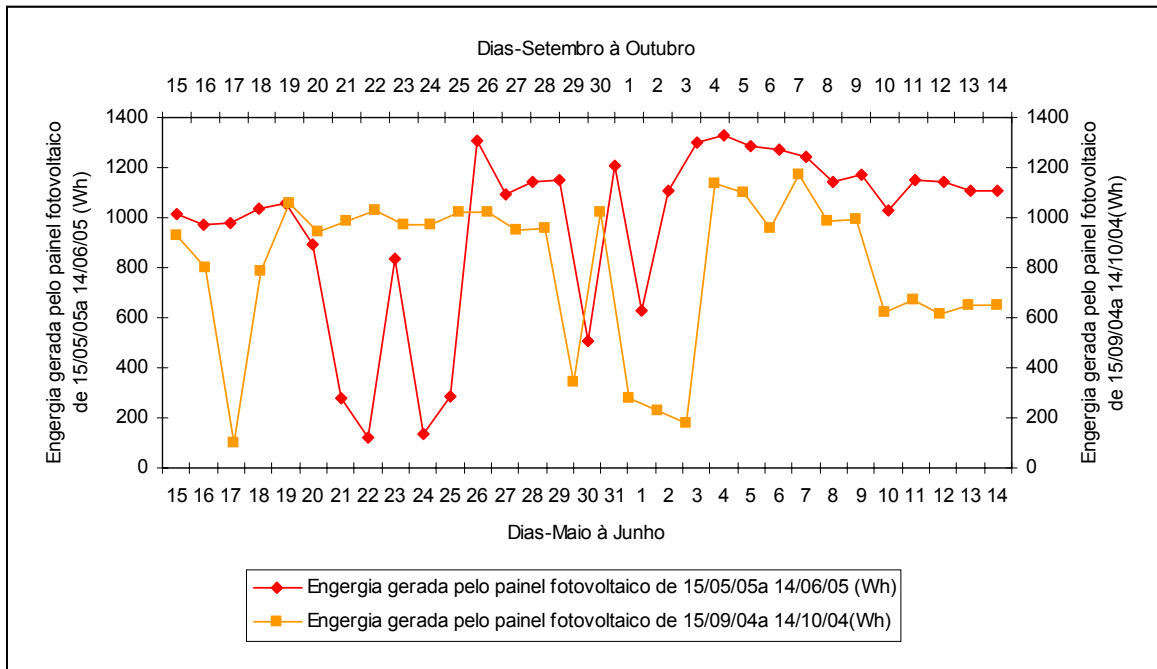


Figura 56. Energia gerada diária pelo painel referente aos períodos P9 (15/05/05 a 14/06/05) e P1 (15/09/05 a 14/10/05), respectivamente, maior e menor geração elétrica.

As Figuras 57 e 58 apresentam a quantidade de energia gerada pelo painel fotovoltaico por classes de irradiância solar. Verifica-se que no período P9 os valores de energia elétrica gerada para as classes acima de  $500\text{Wm}^{-2}$  corresponderam a 91% dos valores, enquanto que, no período P1 a mesma faixa de irradiância correspondeu a 80% dos valores de energia elétrica gerada pelo painel. No intervalo de classes de irradiância de  $900$  a  $1000\text{Wm}^{-2}$ , para o período P9 a energia gerada foi de  $15083\text{Wh}$ , contra  $8257\text{Wh}$  observados no período P1.

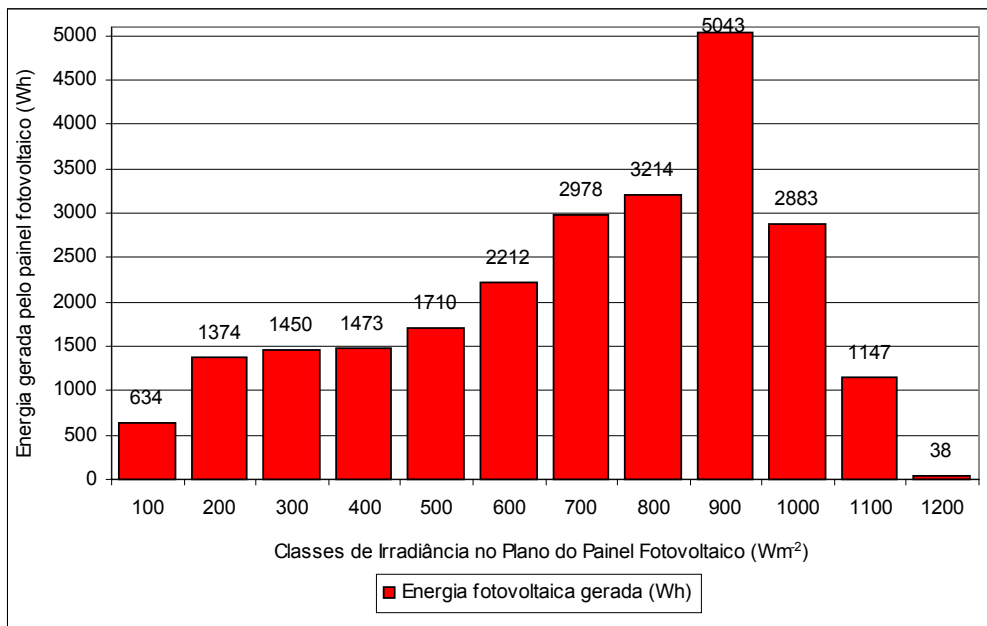


Figura 57. Energia gerada pelo painel por classes de irradiância no plano do painel para o período P1 (15/09/04 a 14/10/04).

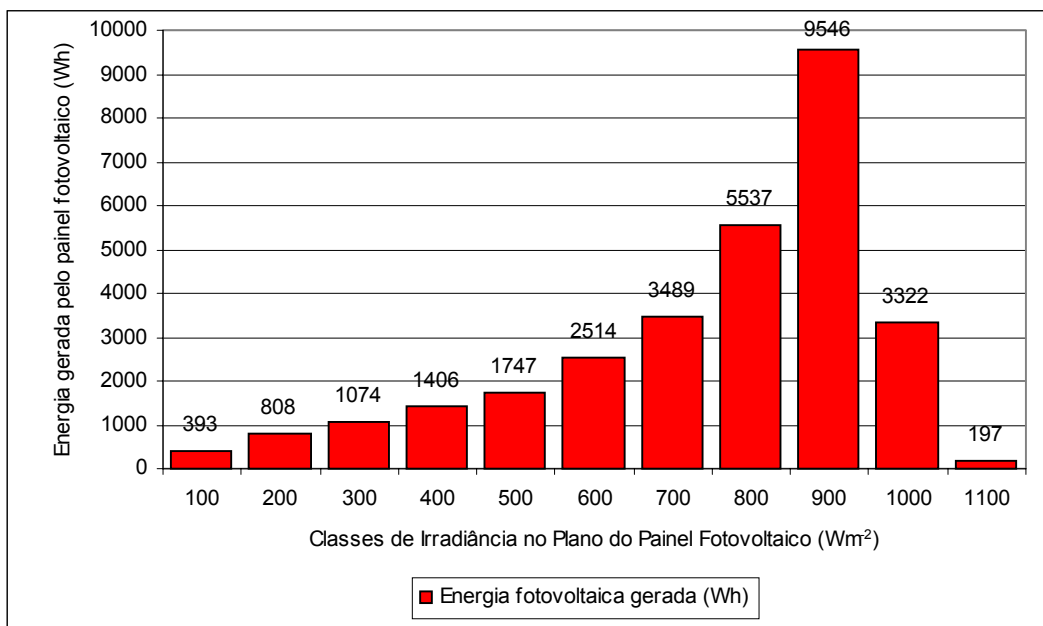


Figura 58. Energia gerada pelo painel por classes de irradiância no plano do painel para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

Na Figura 59 observa-se a distribuição da energia gerada pelo painel fotovoltaico por horário de ocorrência para o período P9. Observa-se que a curva dos valores

de energia gerada sobe para 350Wh por volta das 11:00 horas, chegando a ultrapassar 400Wh até após às 12:00 horas, caindo gradativamente até às 15:00 horas para um valor entre 250 e 300Wh, para então, cair subitamente até 150Wh. Avalia-se que este comportamento está relacionado com o horário de funcionamento das cargas utilizadas para a simulação de consumo de energia, as quais apresentam consumo intensificado das 11:00 às 15:00 horas.

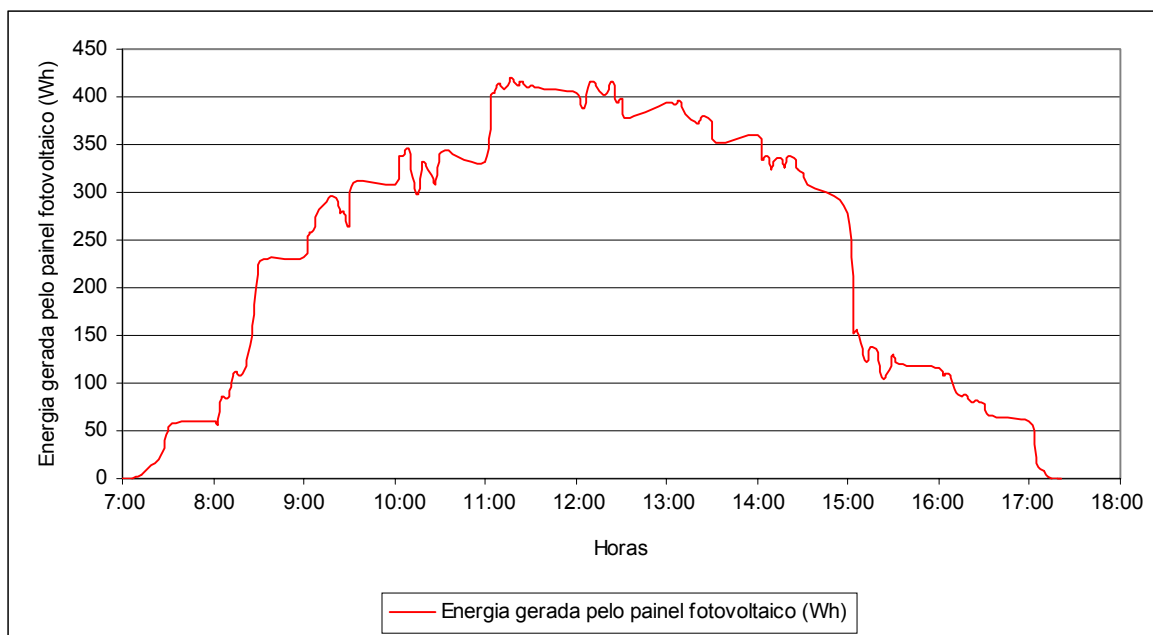


Figura 59. Energia gerada pelo painel em função do horário de ocorrência para o período P9 (15/05/05 a 14/06/05).

Na Figura 60 tem-se a distribuição da energia gerada pelo painel fotovoltaico por horário de ocorrência para o período P1. Da mesma forma como observado para o período P9, verifica-se que a energia gerada apresenta uma elevação por volta das 11:00 horas, indo de 250Wh até acima de 300Wh e caindo gradativamente até 200Wh por volta das 15:00 horas, quando cai subitamente para um valor próximo de 50Wh. Novamente, avalia-se que este comportamento parece estar relacionado com o horário de funcionamento da carga.



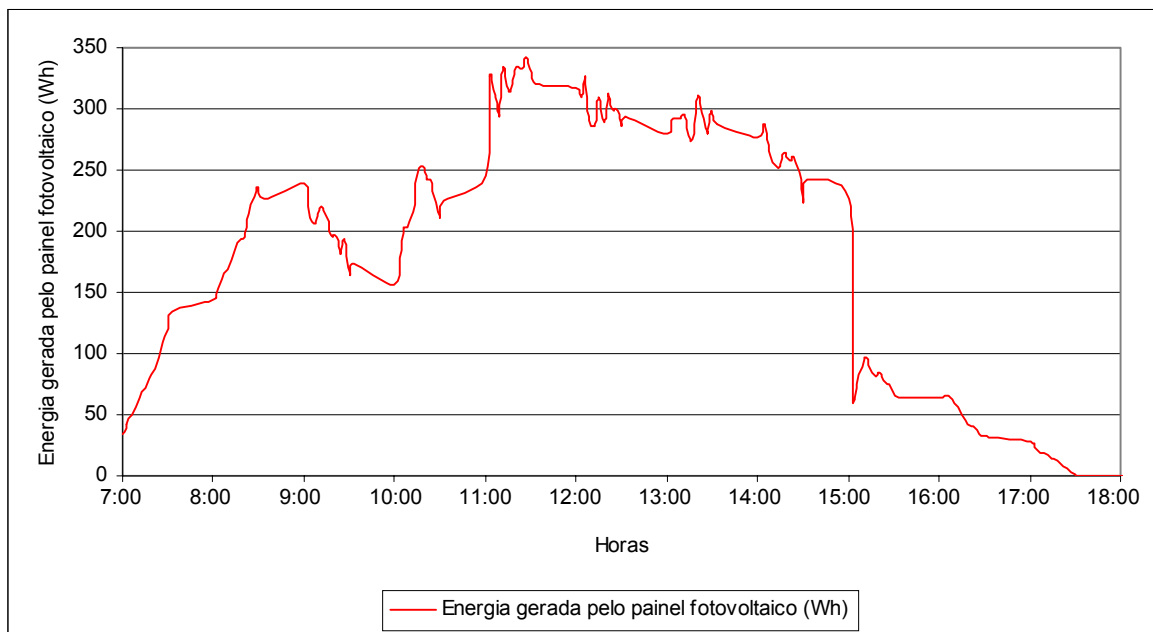


Figura 60. Energia gerada pelo painel em função do horário de ocorrência para o período P1 (15/09/04 a 14/10/04).

## 5.8 Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico

### 5.8.1 Energia Solar e Eólica Disponível

Comparando-se a energia eólica e solar disponível durante os períodos de coleta de dados (Figura 61), observa-se que houve uma relação de complementaridade entre ambas as fontes de energia em praticamente todos os períodos e entre as estações do ano. A quantidade de energia solar global foi 25 vezes maior do que a quantidade de energia eólica no período P2 e foi 200 vezes maior no período P9.

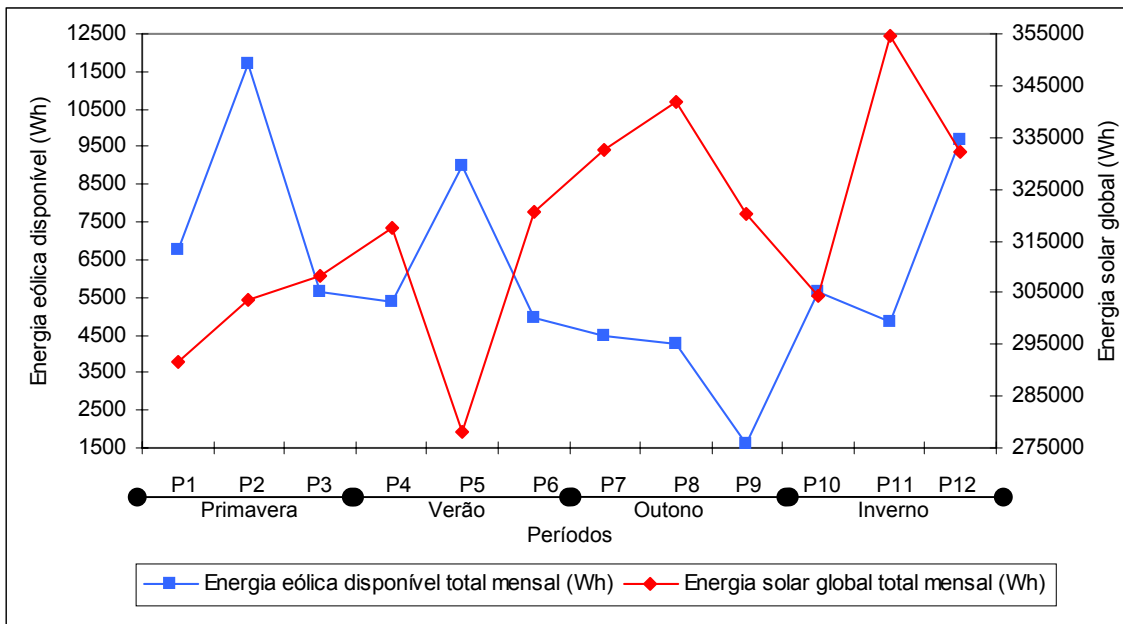


Figura 61. Energia disponível no vento e energia solar global no plano do painel durante os períodos de observação.

Nas Figuras 62 e 63 apresentam-se, respectivamente, as contribuições da energia eólica e da energia solar global no total da energia solar e eólica disponível para o sistema híbrido. Verifica-se na Figura 62 que a energia eólica afeta significativamente o nível de energia total disponível apenas no período P2. Nos demais períodos, como se pode constatar na Figura 63, a energia solar e a energia total disponível apresentam o mesmo comportamento.

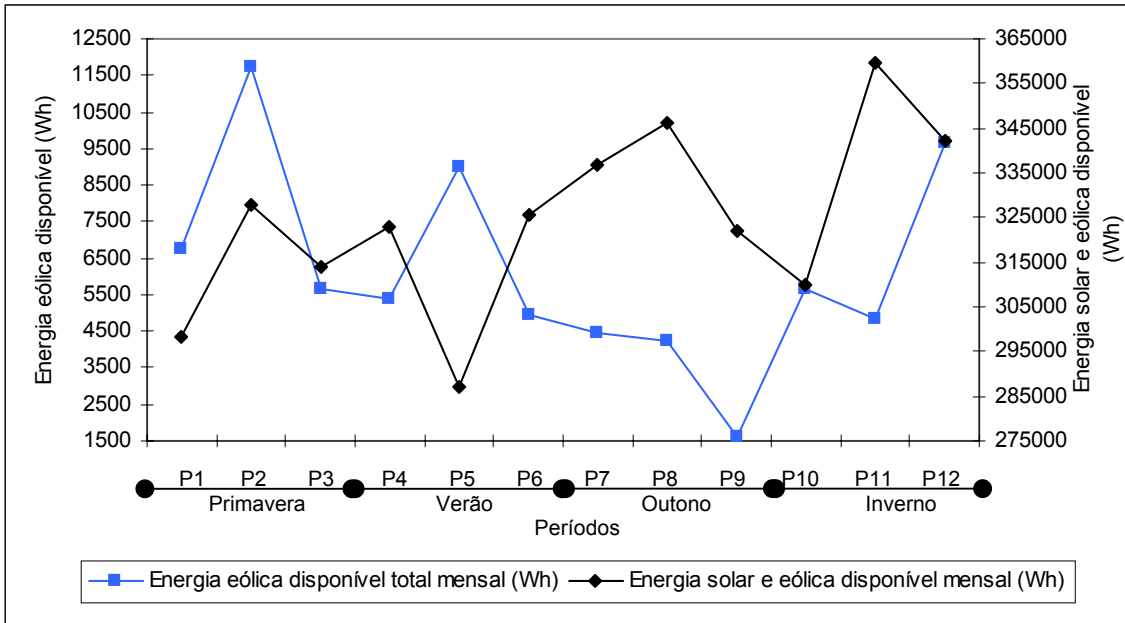


Figura 62. Energia solar e eólica disponível e energia eólica disponível durante os períodos de observação.

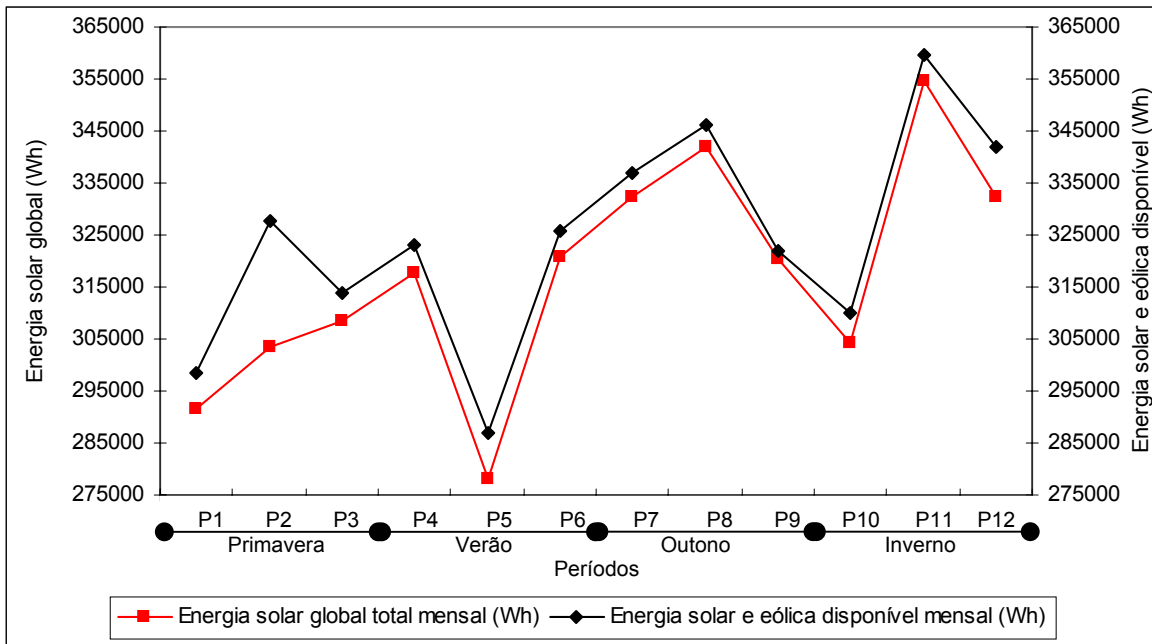


Figura 63. Energia solar e eólica disponível e energia solar global no plano do painel durante os períodos de observação.

### 5.8.2 Energia Elétrica Gerada Pelo Sistema Híbrido

A energia elétrica gerada mensalmente pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico atingiu o maior nível no período P12 e o menor nível no período P1, como pode ser verificado na Figura 64. Observa-se, também, que a energia gerada pelo sistema híbrido não apresentou variações proporcionais às variações ocorridas na energia solar e eólica disponível. Inclusive, verifica-se que mesmo nos períodos em que a energia solar e eólica apresentaram queda, a energia gerada obteve crescimento, como nos períodos P9 e P12. Entretanto, apresentaram comportamento semelhante com relação às estações do ano, sendo que as estações do inverno e outono propiciaram os maiores níveis de energia disponível e energia gerada pelo sistema híbrido.

Avaliando-se a relação existente entre a energia gerada pelo sistema híbrido e a energia gerada pelo painel fotovoltaico, observa-se que no período P9 a geração do painel fotovoltaico estava em ascensão, influenciando a elevação da geração do sistema híbrido, como pode ser observado na Figura 65. No período P12, em que o painel fotovoltaico apresentou queda na geração, pode-se observar na Figura 66 que neste período o aerogerador teve o segundo maior valor gerado dentre todos os períodos, influenciando com isto a elevação da geração do sistema híbrido.

Avaliando-se isoladamente a curva de geração anual do sistema híbrido com relação a cada um dos sistemas de geração, eólico e fotovoltaico, verifica-se que a geração do sistema híbrido dependeu fundamentalmente, em termos de quantidade de energia gerada, da energia gerada pelo painel fotovoltaico (Figura 65). Na Figura 66, pode-se

verificar que a mesma dependência não ocorreu com relação ao nível de energia gerada pelo aerogerador.

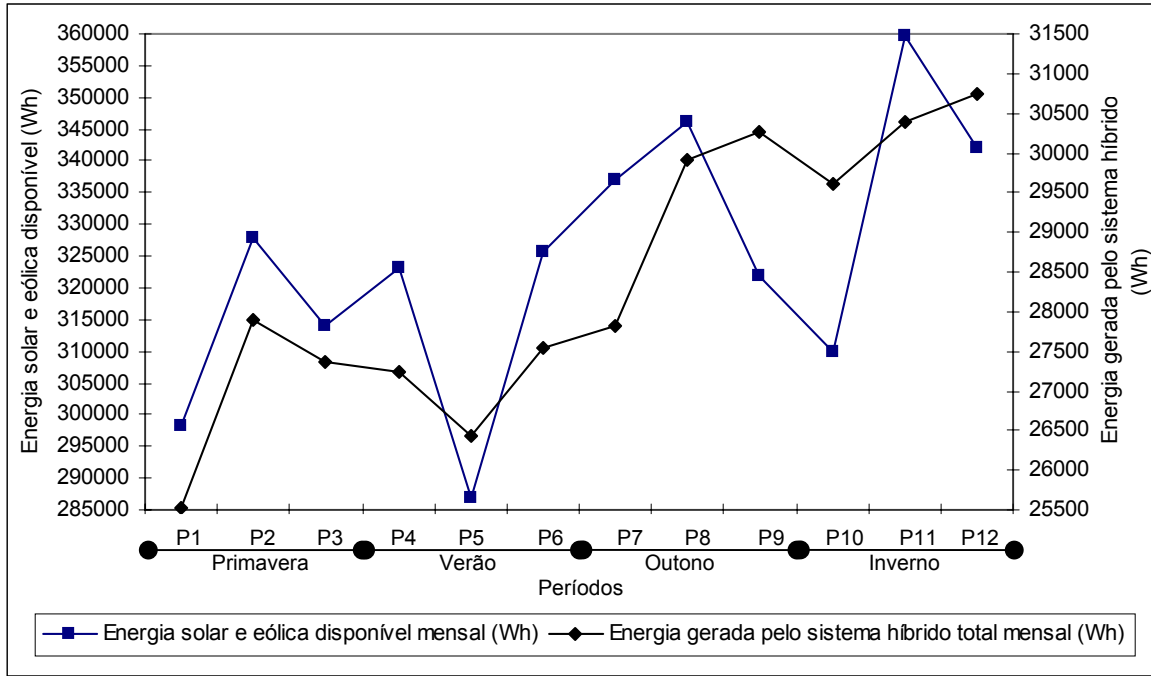


Figura 64. Energia solar e eólica disponível e energia gerada pelo sistema híbrido durante os períodos de observação.

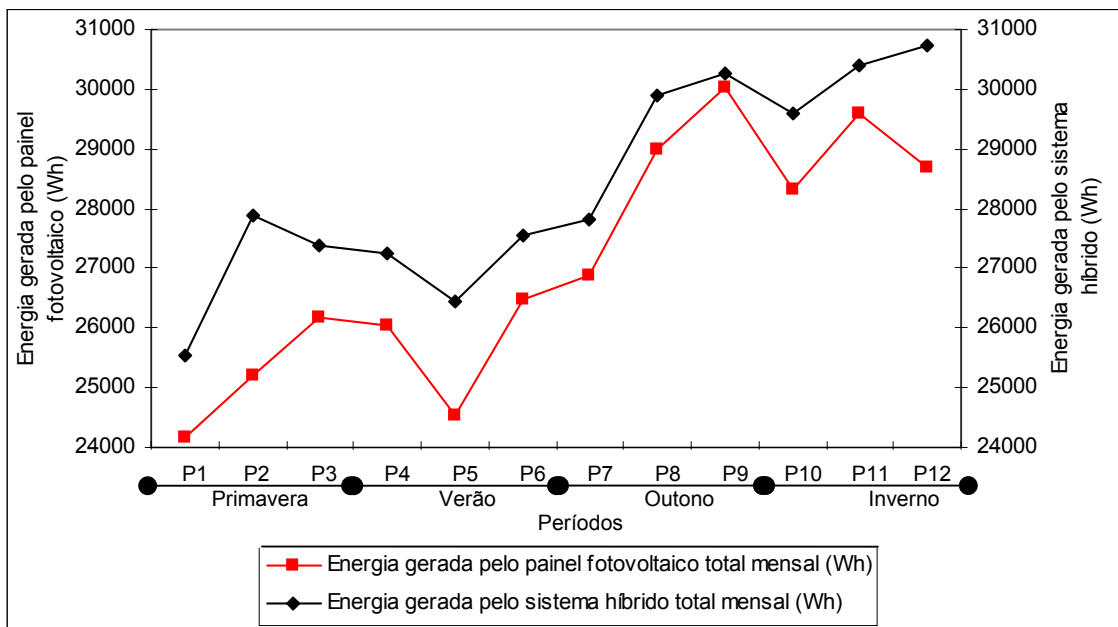


Figura 65. Energia gerada pelo sistema híbrido e energia gerada pelo painel fotovoltaico durante os períodos de observação.

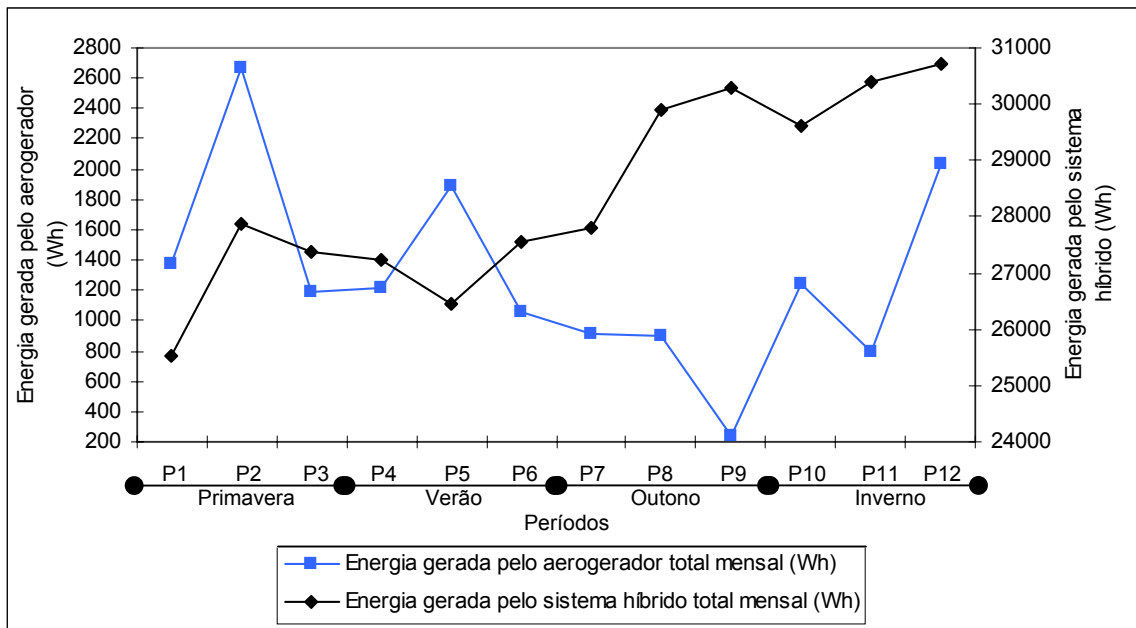


Figura 66. Energia gerada pelo sistema híbrido e energia gerada pelo aerogerador durante os períodos de observação.

### 5.8.3 Balanço de Energia na Bateria e Energia Consumida pela Carga

O comportamento da bateria com relação à entrada e saída de energia mensal pode ser observado na Figura 67. Verifica-se que, durante os períodos, não houve saldos negativos de energia na bateria, ou seja, a bateria recebeu mais energia do sistema híbrido durante cada período, do que forneceu à carga no mesmo período. O maior saldo de energia na bateria foi obtido no período P11 e o menor no P10. Na Figura 68, pode-se observar a carga e descarga diária da bateria para o período P11 e P10. Verifica-se que a bateria apresentou mais saldos negativos durante período P10 e que em nenhum dos dois períodos a descarga ultrapassou 20% da capacidade da bateria.

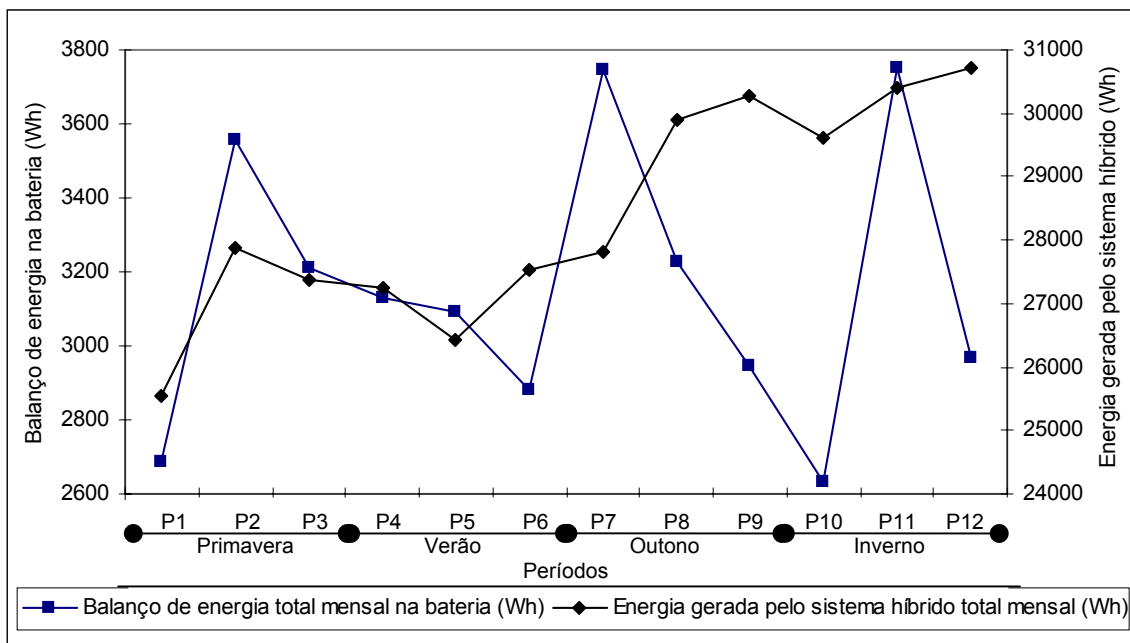


Figura 67. Energia gerada pelo sistema híbrido e balanço de energia na bateria durante os períodos de observação.

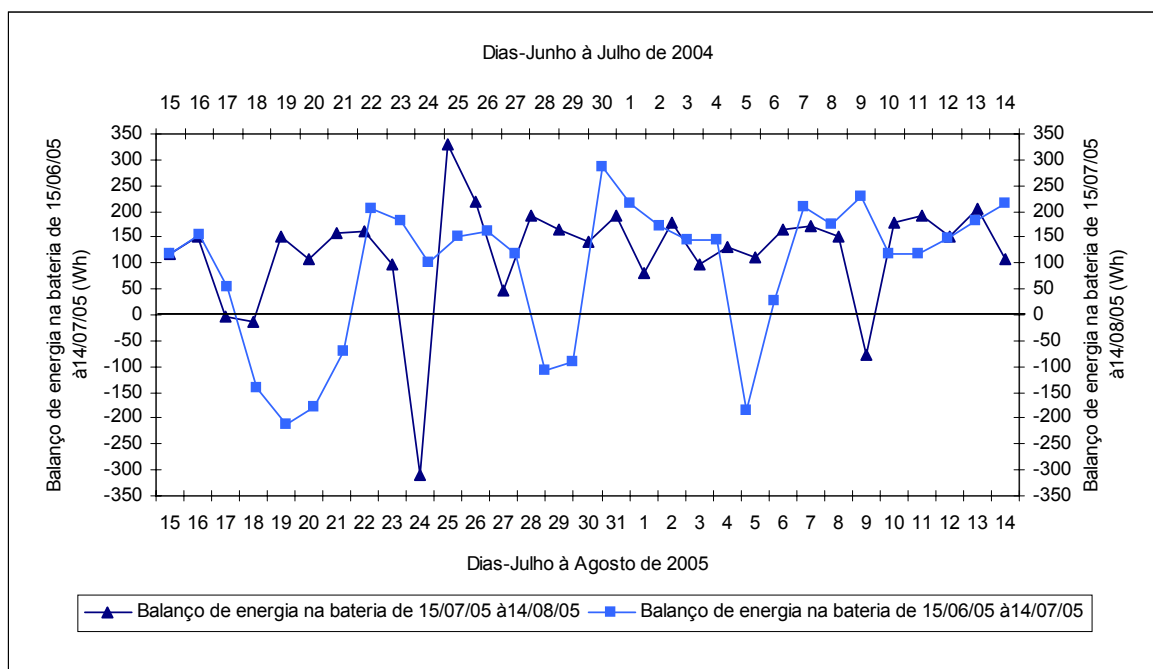


Figura 68. Balanço de energia na bateria referente aos períodos P11 (15/07/05 a 14/08/05) e P10 (15/06/05 a 14/07/05), respectivamente, maior e menor saldo.

Nas Figuras 69 e 70, tem-se a carga e descarga horária da bateria para os períodos P11 e P10, respectivamente. Observa-se que o comportamento foi similar em ambos os períodos apesar do saldo de energia na bateria ser diferente. As maiores quantidades de energia recebida pela bateria ocorreram entre 8:00 e 10:00 horas e entre 15:00 e 17:00 horas. Nos horários em que as cargas estavam ligadas, a bateria recebeu energia, mas em níveis muito menores. A maior descarga ocorreu no horário das 18:00 às 20:00 horas. Observou-se, entretanto, que o limite de descarga estabelecido pelo controlador de carga, não foi superado em nenhum momento, o que comprova o perfeito funcionamento do equipamento com relação à proteção da bateria.

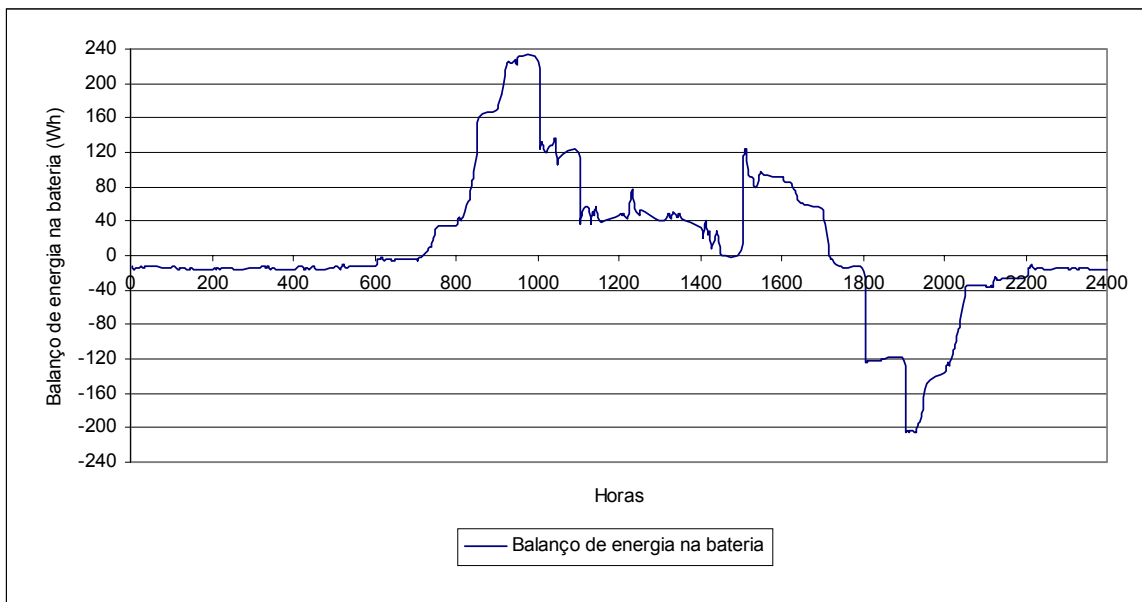


Figura 69 – Carga e descarga da bateria em função do horário de ocorrência para período P11 (15/07/05 a 14/08/05).



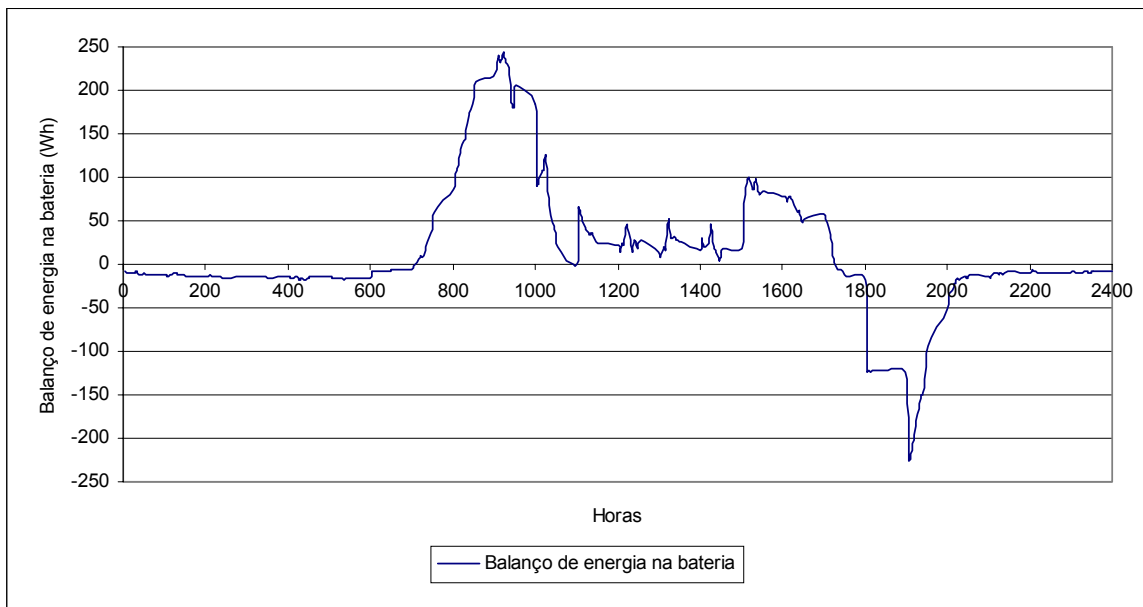


Figura 70. Carga e descarga da bateria em função do horário de ocorrência para período P10 (15/06/05 a 14/07/05).

Com relação ao consumo de energia pelas cargas, na Figura 71, verifica-se que o consumo acompanhou a oferta de energia promovida pelo sistema híbrido, tanto entre os períodos como com relação às estações do ano. As cargas apresentaram maiores consumos de energia nas estações do inverno e outono, exatamente como ocorreu com a geração de energia pelo sistema híbrido. Os maiores e menores consumos de energia por período foram observados nos períodos P12 e P1, respectivamente. O comportamento diário do consumo nestes períodos pode ser observado na Figura 72, onde verifica-se que os níveis de consumo no período P12 foram acima de 600Wh para todos os dias do período, enquanto que no período P1 houve 9 valores abaixo de 600Wh, sendo que destes, 3 valores foram abaixo de 100Wh. Em nenhum dia dos períodos analisados foram observados valores na faixa de 1100Wh, que corresponde ao valor de demanda de energia diária das cargas instaladas.

As Figuras 73 e 74 apresentam o consumo de energia pelas cargas em todos os horários do dia para os períodos P12 e P1, respectivamente. O consumo, em ambos os períodos, foi intensificado de acordo com o horário de acionamento das cargas, porém, apresentaram níveis diferenciados de energia consumida em cada horário, de acordo com a disponibilidade de energia elétrica proveniente do sistema híbrido em ambos os períodos.

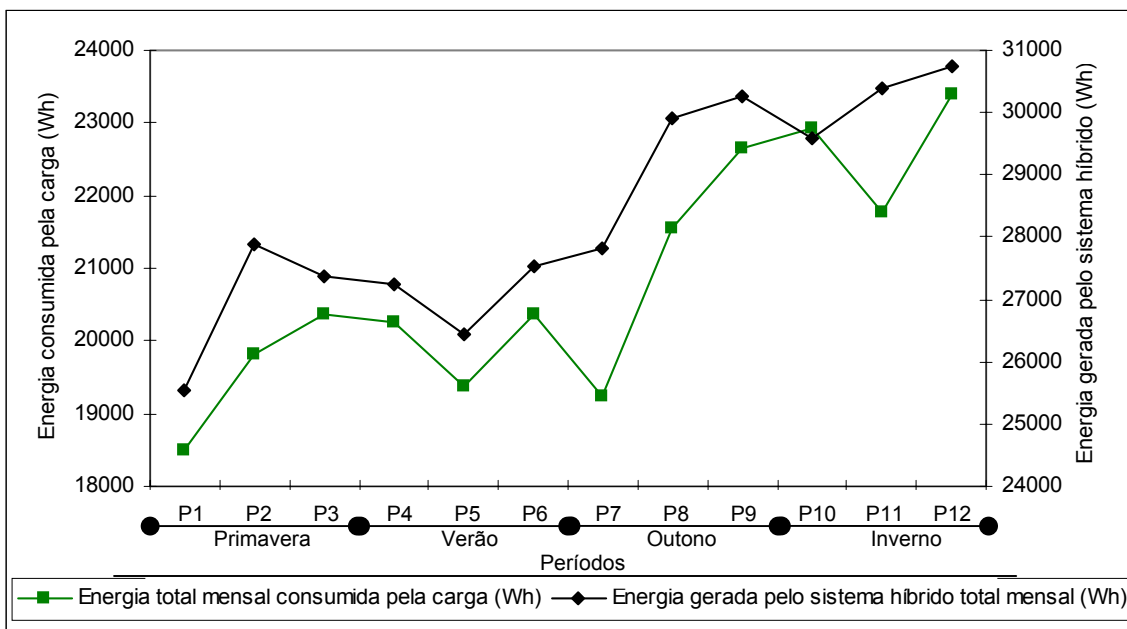


Figura 71 - Energia gerada pelo sistema híbrido e energia consumida pela carga durante os períodos de observações.

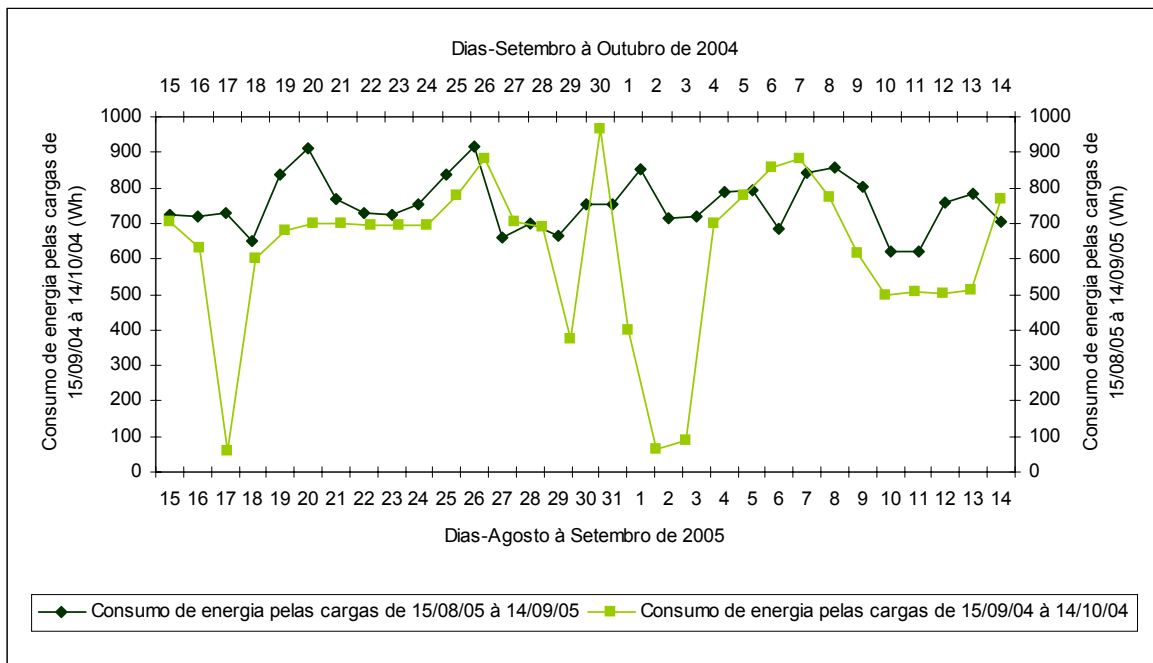


Figura 72. Consumo de energia pelas cargas referente aos períodos P12 (15/08/05 a 14/09/05) e P1 (15/09/04 a 14/10/04), respectivamente, maior e menor saldo.

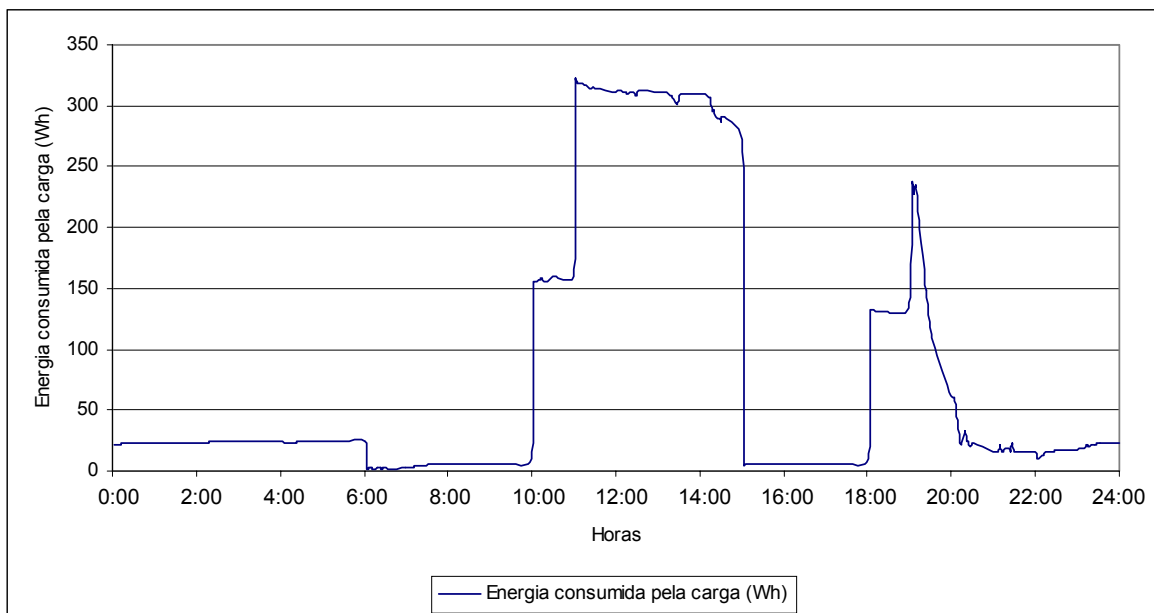


Figura 73. Consumo das cargas em função do horário de ocorrência para período P12 (15/08/05 a 14/09/05).

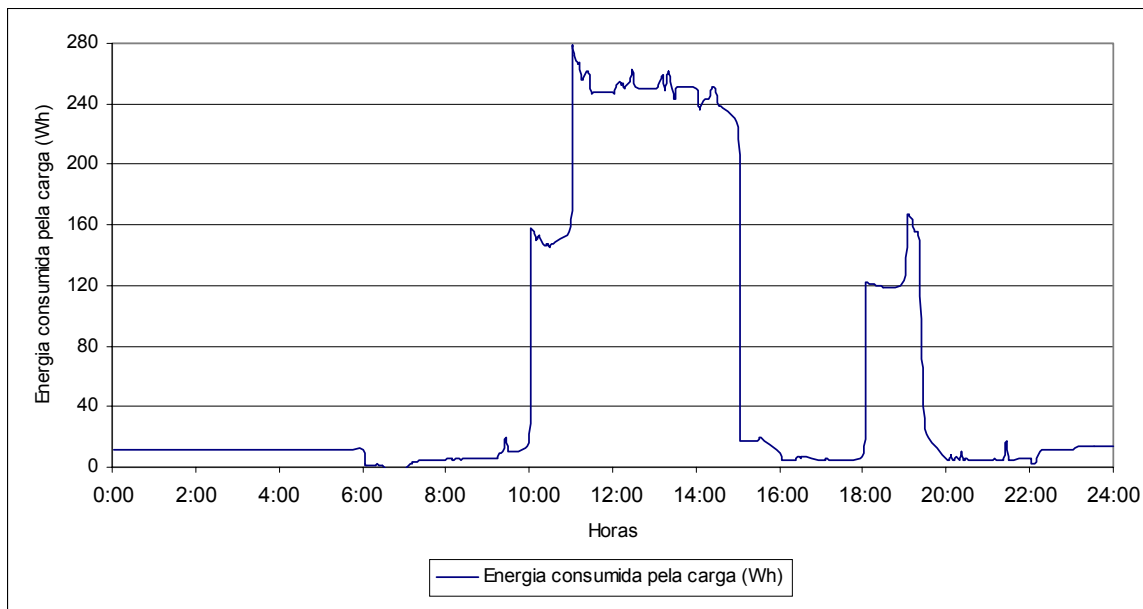


Figura 74. Consumo das cargas em função do horário de ocorrência para período P1 (15/09/04 a 14/11/04).

### 3.8.4 Rendimento do Sistema Híbrido

A Figura 75 apresenta os valores de rendimento mensal para o aerogerador, painel fotovoltaico e sistema híbrido de energia eólico-fotovoltaico. Observa-se que aerogerador apresentou rendimento ao longo de todos os períodos em torno de 20%, na faixa de 15% no período P9 e 22% no período P2, respectivamente, os períodos de pior e melhor desempenho do aerogerador. O painel fotovoltaico durante todos os períodos, apresentou rendimento em torno de 8,5 %, na faixa de 8,2 e 9,4%, para o pior e melhor desempenho, respectivamente. Apesar do aerogerador ter apresentado individualmente níveis de desempenho elevado quando comparado com o rendimento do painel fotovoltaico, observa-se que o rendimento do sistema híbrido apresenta valores que acompanham o comportamento dos rendimentos encontrados para o painel fotovoltaico e se aproximam dos valores de rendimento encontrados para o sistema de geração fotovoltaica, apresentando comportamento

semelhante até mesmo com relação às estações do ano. Isto ocorre, porque os valores de energia solar e geração fotovoltaica para todos os períodos foram muito maiores do que os valores de energia eólica e geração eólica como um todo e, portanto, o desempenho do sistema híbrido dependeu em todos os períodos muito mais do sistema fotovoltaico do que do sistema eólico.

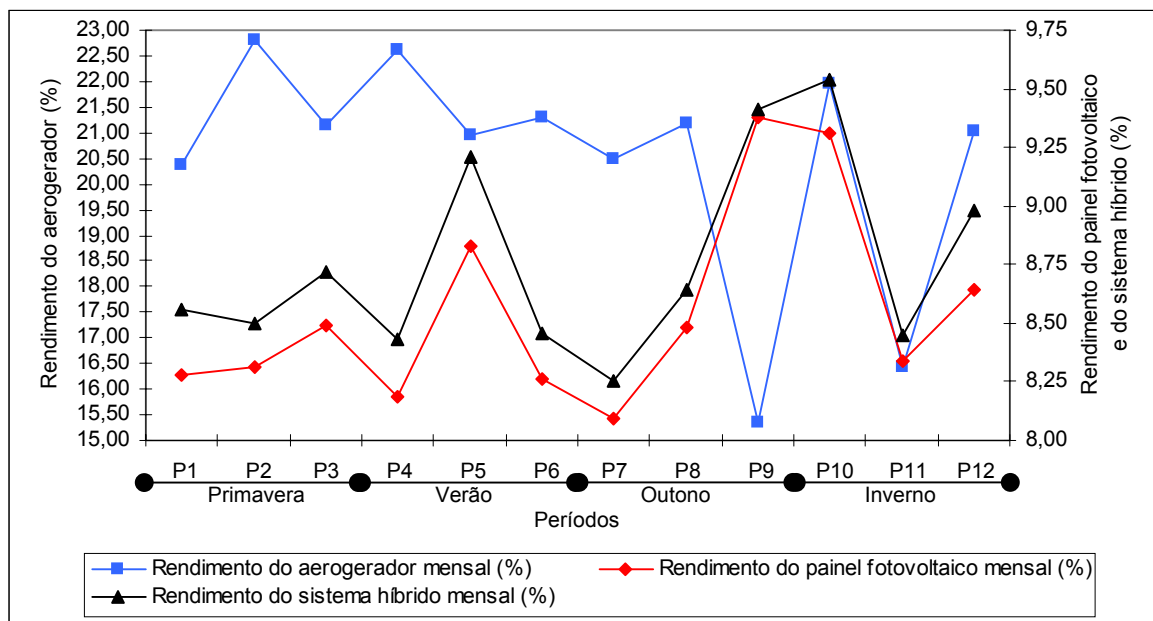


Figura 75. Comparação entre o rendimento do sistema híbrido, aerogerador e painel fotovoltaico durante os períodos de observação.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte. As conclusões obtidas na avaliação deste experimento estão condicionadas a forma de realização do experimento e são um reflexo dos resultados nele encontrados.

A direção cardinal de proveniência dos ventos teve relação direta com os níveis da energia eólica disponível e da energia elétrica gerada pelo aerogerador.

Os valores da velocidade média do vento, energia eólica disponível e energia elétrica gerada pelo aerogerador, dependeram das estações do ano e dos horários de ocorrência.

O rendimento do aerogerador manteve-se, ao longo de todos os períodos de observação, na faixa de 20% e apresentou, também, dependência com relação às estações do ano.

O aerogerador obteve melhores desempenhos nos horários noturnos e nas estações da primavera e verão.

Os valores da irradiância solar, energia solar global e energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico, dependeram dos horários de ocorrência durante o dia e das estações do ano.

O painel fotovoltaico apresentou rendimento em torno de 8% na conversão da energia solar em energia elétrica.

A energia gerada pelo painel fotovoltaico foi mais estável que a energia gerada pelo aerogerador.

A energia solar global e a energia gerada pelo painel fotovoltaico, atingiram valores muito mais elevados do que a energia eólica disponível e a energia gerada pelo aerogerador, respectivamente.

Os sistemas de geração fotovoltaico e eólico apresentaram complementaridade na geração de energia com relação aos horários e estações do ano.

O sistema híbrido recebeu maior quantidade de energia eólica e solar durante as estações do outono e inverno. Nestas estações o sistema forneceu, também, a maior quantidade de energia para as cargas.

O rendimento do sistema híbrido foi ligeiramente superior ao do painel fotovoltaico, o mesmo ocorreu com as quantidades de energia recebida e fornecida pelo sistema. Portanto, o desempenho do sistema híbrido dependeu quase que exclusivamente da energia solar global e da energia gerada pelo painel fotovoltaico.

A bateria do sistema apresentou em cada período saldo positivo de energia, obtendo os maiores saldos nas estações do outono e primavera.

Os controladores de carga do aerogerador e do painel fotovoltaico, controlaram efetivamente a carga e descarga da bateria, evitando tanto a sobrecarga como a descarga além de 20% da capacidade desta.

As cargas utilizadas no experimento apresentaram maior consumo de energia nas estações do outono e inverno, época em que o sistema híbrido recebeu e forneceu maior quantidade de energia.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHARI, M., NAYAR, C.V., An optimal dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system. **Solar Energy**, v.1, n.66, p.1-9, 1999.

BAGUL, A. D., Sizing of a stand-alone hybrid wind-photovoltaic system using a three-event probability density approximation. **Solar Energy**, v4, n.56, p.323-35, 1996.

BASTIANON, R. A., La energía del viento: pasado, presente y futuro cercano. **Petrotecnia**, n.4, p.74-80, 2003.

BARBOSA, C. F. O., PINHO, J. T., SILVA, E. J. P., GALHARDO, M. A. B., VALE, S. B., MARANHÃO, W. M. A. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. In: AGRENER 2004 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5, 2004, Campinas.

**Anais...**Campinas: NIPE/UNICAMP, 2004. 10p. CD-ROM.

BELLARMINE, T. G., Wind energy for the 1990s and beyond. **Energy Conversion and Management**, v.12, n.37, p.1741-52, 1996.

BEYER, H.G., DEGNER, T., GABLER, H., Operational behaviour of wind diesel systems incorporating short-term storage: an analysis via simulation calculations. **Solar Energy**, v.6, n.54, 429-39, 1995.

BHATTI, T.S., AL-ADEMI, A.A.F., BANSAL, N.K., Load frequency control of isolated wind diesel hybrid power systems. **Energy Conversion and Management**. v.9, n.38, p.829-837, 1997.

CAMARGO, J.C., SILVA, E.P., APOLINÁRIO, F.R. Potencial fotovoltaico no uso rural para o estado de São Paulo. In: AGRENER 2000 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: NIPE/UNICAMP, 2000. 5p. CD-ROM.

CASTEDO, S.; CORBUS, D.; FLOWERS, L.; HOLZ, R.; LEW, D.; MCALLISTER, A. Wind hybrid systems applications for rural electrification: the case study of Chile. In: 1996 EUWEC - European Union Wind Energy Conference, 1996, Goteborg. **Proceedings...** Bedford: H.S. Stephens & Associates, 1996. 4p.

CASTRO, R. M. G., **Energias renováveis e produção descentralizadas – introdução à energia eólica**. Portugal: IST, 2004. 82p.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Sistemas fotovoltaicos: manual de engenharia**. Rio de Janeiro: 1995. 207p.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: 1999. 204p.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, **Energia Eólica**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 08 nov. 2002.

CHILDS, S.E., SHERWIN, R.W., REEVE, B., Dynamic modeling of the Kotzebue wind diesel grid. In: 1996 EUWEC - European Union Wind Energy Conference, 1996, Goteborg. **Proceedings...**Bedford: H.S. Stephens & Associates, 1996. 4p.

CHOI, S.S, LARKIN, R., Performance of an autonomous diesel-wind turbine power system. **Electric Power System Research**, n.33, p.87-99, 1995.

COPETTI, J.B., LORENZO, E., CHENLO, F., A general battery model for PV system simulation. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, n.1, p.283-92, 1993.

COSTA, H.S. A qualidade de energia de sistemas fotovoltaicos domésticos em áreas rurais. **Energia Rural**, São Paulo, v.31, n. 5, p.172-81, 2001.

CRUZ, C. N. P., MOURAD, A. L., MORÍNIGO, M. A., SANGA, G. Eletrificação rural: benefícios em diferentes esferas. In: AGRENER 2004 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5, 2004, Campinas. **Anais...**Campinas: NIPE/UNICAMP, 2004. 9p. CD-ROM.

CUNHA, D.J., Análise da Viabilidade Técnico-Econômica de um Sistema de Geração Híbrido Eólico-Diesel para a Ilha de Algodoal. Belém, 1998, 94p. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, **21 Frequently Asked questions about Wind Energy**. Disponível em: <<http://www.windpower.dk/faqs.htm>>. Acesso em: 6 set. 2002.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, **Where does Wind Energy come From?** Disponível em: <<http://www.windpower.org/en/tour/wres/index.htm>>. Acesso em: 20 out. 2003a.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, **Betz' Law: The Ideal Braking of the Wind.**

Disponível em: <<http://www.windpower.org/en/tour/wres/betz.htm>>. Acesso em: 20 out.

2003b.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, **Wind Speed Measurement: Anemometers.**

Disponível em: <<http://www.windpower.org/en/tour/wres/windspeed.htm>>. Acesso em: 20 out.

2003c.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, **Wind Speed Measurement in Practice.**

Disponível em: <<http://www.windpower.org/en/tour/wres/wndsprac.htm>>. Acesso em: 20 out.

2003d.

ELHADIDY, M.A., SHAAHID, S.M., Parametric study of hybrid (wind + solar + diesel) power generating systems. **Renewable Energy**, n.21, p.129-39, 2000.

EUROPEAN COMMISSION'S DIRECTORATE GENERAL FOR ENERGY, **Wind Energy - The Facts.** Disponível em: <<http://www.agores.org/publications/Wind-Energy.htm>>.

Acesso em: 8 ago. 2002.

FEDRIZZI, M.C. Fornecimento de Água com Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico. São Paulo, 1997. 161p. Dissertação (mestrado em Energia). Universidade de São Paulo.

FIORENTINO, J. de J., Análise do Desempenho de um Conjunto de Módulos Fotovoltaicos Aplicados Para Energização Rural. Botucatu, 2004. 143p. Tese (doutorado em Agronomia). UNESP/FCA.

FRAIDENRAICH, N.. **Energia Solar - Fundamentos e Tecnologias de Conversão Heliotermométrica e Fotovoltaica.** Recife: 1995, 471p.

GARCÍA, F. H., Análise Experimental e Simulação de Sistemas Híbridos Eólico-Fotovoltaicos. Porto Alegre, 2004.185p. Tese (doutorado em Engenharia). UFRGS.

GERMAN WIND ENERGY ASSOCIATION, 25 Fakten zur Windkraftnutzung in Deutschland. Disponível em: <<http://www.wind-energie.de/info/25fakten.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2002.

GIACOMINI, A. T., Desenvolvimento de Programa Computacional para Simulação de Sistemas Híbridos, Utilizados em Energização Rural. Botucatu, 2002. 112p. Tese (doutorado em Agronomia). UNESP/FCA.

GOUVELLO, C. E MAIGNE, Y.; **Eletrificação Rural Descentralizada – Uma Oportunidade para a Humanidade, Técnicas para o Planeta**. Rio de Janeiro: 2003.

GREEN, M. A.; K. EMERY; D. L. KING; S. IGARI; W. WARTA; Solar Cell Efficiency Tables (Version 16). **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, n.8, p.377-84, 2000.

GRUPO DE PESQUISA EM FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA – UFPE. Curso para Instaladores de Pequenos Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Apostila, 1993. 85p.

HABIB, M.A., SAID, S.A.M. EL-HADIDY, M. A., AL-ZAHARNA, I. Optimization procedure of a hybrid photovoltaic wind energy system. **Energy**, v.24, n.11, p.919-29, 1999.

HANSEN, U., Technological options for power generation. **The Energy Journal**. v.2, n.19, p.63-87, 1998.

HANSEN, J.C., 1999. Keys to success for wind power in isolated power systems. In: 1999 EWEC - European Wind Energy Conference, 1999, França. **Proceedings**...New Delhi: Allied Publishers Ltd., 1999, 6p.

HUACUZ, J. M., Energias sostenibles en zonas rurales dentro del proceso de modernización del sector en América latina y el Caribe, Comunicação privada, México: IIE. 71 p. 1999

HULSCHER, W., FRANKEL, P. **The Power Guide**. Holanda: 1994. 240p.

INFIELD, D.G., LUNDSAGER, P. ET AL., Engineering design tools for wind diesel systems: presentation and validation of the logistic modelling package. In: 1993 ECWEC - European Community Wind Energy Conference, 1993, Lübeck-Travemünde. **Proceedings**...Bedford: H. S. Stephens & Associates, 1993. 4p.

JOHANSSON, T., KELLY, H., REDDY, A. K., WILLIAMS, R. H. **Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity**. Inglaterra: Earthscan, 1993. 1160p.

KARINIOTAKIS, G., STAVRAKAKIS, G., NOGARET E; BORDIER M, Advanced modelling and identification of autonomous wind-diesel power systems. Application on the French Island Désirade. In: 1993 ECWEC - European Community Wind Energy Conference, 1993, Lübeck-Travemünde. **Proceedings**...Bedford: H.S. Stephens & Associates, 1993. 4p..

LACERA, L. N., XIBERTA, B. J. Estudio de viabilidad para la implantación de un parque eólico en la sierra de bodenaya, salas (asturias). In: CIES - XII CONGRESO IBÉRICO Y VII CONGRESO IBERO AMERICANO DE ENERGIA SOLAR, 2004, Vigo. **Anais**... Vigo: Área de Máquinas e Motores Térmicos – Universidad de Vigo, 2004. CD-ROM.

LADAKAKOS, P.D., ANDROUTSOS, A.I., PAPADOPOULOS, M.P., 1996. A probabilistic model for evaluating the performance of wind-diesel power systems. In: 1996 EUWEC - European Union Wind Energy Conference, 1996, Goteborg. **Proceedings**...Bedford: H.S. Stephens & Associates, 1996. 4p.

LORENZO, E. **Eletricidade Solar: Ingenieria de los Sistemas Fotovoltaicos**. Espanha: Artes Gráficas Galas, 1994. 338p.

LYSEN, E., Comments on an analytical expression for the average output power of a wind machine by W. Richard Powell. **Solar Energy**, v.6, n.28, p.553-54, 1982

MACÊDO, W. N., Estudo de sistemas de geração de eletricidade utilizando as energias solar fotovoltaica e eólica. Belém, 2002, 154p. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará.

MAHMOUD, M., Experience results and techno-economic feasibility of using photovoltaic generators instead of diesel motors for water pumping from rural desert wells in Jordan. **IEEE Proceedings**, v.137, n.6, p.391-4, 1990.

MANOLAKOS, D., PAPADAKIS, G., PAPANTONIS, D; KYRITSIS, S, A simulation-optimization programme for designing hybrid energy systems for supplying electricity and fresh water through desalination to remote areas case study: The Merssini village, Donoussa island, Aegean Sea, Greece. **Energy**, v.26, n.7, p.679-704, 2001.

MANWELL, J.F., MCGOWAN, J.G., A combined probabilistic/time series model for wind diesel systems simulation. **Solar Energy**, n.53, v.6, p.481-90, 1994.

MASTRÁNGELO, S., IANNINI, R., GONZALEZ, J., Energía Eolica Teoría y Características de Instalaciones. Buenos Aires: CNEA. 2004. Disponível em:  
<<http://www.cnea.gov.ar/xxi/energe/b13/eolica1.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2004.

MCGOWAN, J.G., MANWELL, J.F., Hybrid wind/pv/diesel system experiences. **Renewable Energy**, n.16, p.928-33, 1999.

MCGOWAN, J.G., MANWELL, J.F., AVELAR, C., Hybrid wind/pv/diesel hybrid power systems modeling and South American applications. **Renewable Energy**, v.1, p.836-847, 1996.

MENET, J-L., VALDE`S, L-C., ME`NART. B., A comparative calculation of the wind turbines capacities on the basis of the L- $\sigma$  criterion. **Renewable Energy**, n.22, p.491-406, 2001.

MESQUITA, R. P., SOUZA, T. M., GASTALDI, A. F. Comparativo entre energia solar fotovoltaica versus extensão de rede, aplicado em caso concreto de uma comunidade carente e remota In: AGRENER 2004 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5, 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: NIPE/UNICAMP, 2004. 6p. CD-ROM.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia Elétrica para Todos os Brasileiros até 2008**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/programs\\_display.do?chn=688&pag=973](http://www.mme.gov.br/programs_display.do?chn=688&pag=973)>. Acesso em: 10 nov. 2003.

MONTENEGRO, A. A., **Fontes não Convencionais de Energia**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2000. 208p.

MORAGUES, J., RAPALLINI, A., **Energia Eólica**. Disponível em: <[http://www.iae.org.ar/renovables/ren\\_eolica.pdf](http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf)>. Acesso em: 5 dez. 2003.

MORGAN, T.R., MARSHALL, R.H., BRINKWORTH, B.J., ARES – A refined simulation program for the sizing and optimization of autonomous hybrid energy systems. **Solar Energy**, v.59, n.4, p205-15, 1997.

MOSZKOWICK, M. Aproveitamento das energias renováveis - solar e eólica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: SBEA, 1997. CD-ROM.

NFAOUI, H., BURET, J., SAYIGH, A. M., Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Morocco. **Solar Energy**. v.63, n.1, p.51-60, 1998.

OLIVEIRA, S. H. F. de, Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos: Ênfase na Eletrificação de Residências de Baixo Consumo. São Paulo. 240p. Dissertação (mestrado em Energia). PIPGE/USP.

POWELL, W.R., An analytical expression for the average output power of a wind



machine. **Solar Energy**, v.26, p.77-80, 1981.

PROTOGEROPOULOS, C., MARSHALL, R.H., BRINKWORTH, B.J., Sizing scenarios for stand alone hybrid photovoltaic/wind power systems and the effects on system autonomy with battery storage. In: 1993 ISES - Solar World Congress, 1993, Budapest. **Proceedings**...Budapest: ISES, 1993. 6p.

QUINLAN, P.J.A., Time series of modeling hybrid wind photovoltaic diesel power systems. **Master's degree thesis**, University of Wisconsin, Madison, EUA, 1996.

REIS, L. O. M. dos, Lógica Fuzzy Aplicada ao Controle de um Sistema Híbrido de Geração de Energia Elétrica: Eólica, Fotovoltaica e Biogás. Guaratinguetá, 2002. 181p. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica). UNESP/FEG.

ROSAS, P. A. C., ESTANQUEIRO, A. I., **Guia de Projeto Elétrico de Centrais Eólicas**. Recife: CBEE, 2003. 62p.

RÜTHER, R., **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e O Trabalho do LABSOLAR nesta Área**. Disponível em: <<http://www.labsolar.ufsc.br.htm>>. Acesso em 17 set. 2002.

RÜTHER, R., KLEISS, G., Advantages of thin film solar modules in façade, sound barrier and roof-mounted PV Systems. In: Eurosun 96 - European Solar Energy Conference, 1996, Freiburg. **Proceedings**...Freiburg: Eurosun`96, 1996. 6p.

SERPA, P. M. N. Eletrificação fotovoltaica em comunidades caiçaras e seus impactos socioculturais. São Paulo, 2001. 252p. Tese (doutorado em Energia). USP.

SILVA, C. D. Avaliação do Potencial das Energias Solar e Eólica para Acionamento de Pequenos Sistemas de Bombeamento na Fazenda Lageado. Botucatu, 2000. 98p. Dissertação (mestrado em Agronomia). UNESP/FCA.

SOUTHWEST WINDPOWER. **Air-X: The New 400 Watt Turbine! - Owner's Manual.**

Estados Unidos: Southwest Windpower Inc, 2002. 48p.

TERCIOTE, R., Análise da Eficiência de um Sistema Eólico Isolado. Campinas, 2002. 129p.

Dissertação (mestrado em Planejamento Energético). FEM/UNICAMP.

TOMALSQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil.** Rio de Janeiro:

Interciência, 2003, 515p.

UHLEN, K., TOFTVAAG, T., 1996. Design and operating experience of a second generation wind-diesel system. In: 1996 EUWEC - European Union Wind Energy Conference, 1996, Goteborg. **Proceedings**...Bedford: H.S. Stephens & Associates, 1996. 4p.

VALE, S.B., Monitoração e análise de um sistema híbrido eólico-diesel para geração de eletricidade". Belém, 2000, 107p. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará.

WICHERT, B., PV-diesel hybrid energy systems for remote area power generation – A review of current practice and future developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.1, n.3, p.209-228, 1997.

**APÊNDICE**

Tabela 18. Valores da energia eólica, velocidade do vento média, número de horas de geração, corrente elétrica, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X diárias e mensal no período P1(15/09 a 14/10 de 2004).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Velocidade do Vento Média Diária (ms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Aerogerador (%)</b>
15/09	2,71	7,96	0,58	0,87	0,83	10,48
16/09	3,04	47,27	2,58	6,02	5,55	11,73
17/09	3,28	148,41	6,33	30,16	27,95	18,83
18/09	4,36	254,46	2,83	16,23	14,80	5,82
19/09	2,81	5,93	0,42	0,48	0,47	7,87
20/09	2,85	9,70	0,67	1,11	1,02	10,51
21/09	3,19	53,34	2,33	9,20	8,85	16,59
22/09	2,73	11,76	0,92	1,25	1,21	10,29
23/09	3,13	60,08	3,00	6,31	6,03	10,04
24/09	2,85	30,89	2,00	5,36	4,97	16,10
25/09	3,44	367,81	12,92	93,11	86,54	23,53
26/09	3,46	177,37	6,25	55,65	50,45	28,44
27/09	3,25	150,14	6,58	34,59	32,66	21,75
28/09	3,38	123,84	4,58	27,44	25,74	20,79
29/09	3,53	189,24	6,25	47,02	42,92	22,68
30/09	4,60	1444,41	20,67	261,11	242,61	16,80
1/10	3,78	451,46	12,17	132,80	122,27	27,08
2/10	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/10	3,29	11,67	0,50	0,82	0,74	6,36
4/10	3,04	117,85	6,25	15,63	14,67	12,45
5/10	3,57	269,73	8,50	64,07	59,16	21,93
6/10	3,71	601,29	17,08	152,03	140,13	23,30
7/10	3,83	717,25	17,75	177,23	163,22	22,76
8/10	4,53	734,25	10,00	182,07	169,13	23,03
9/10	3,22	27,85	1,25	6,10	5,66	20,31
10/10	3,51	199,48	5,92	43,45	40,66	20,38
11/10	3,18	31,79	1,50	6,47	5,92	18,63
12/10	3,22	108,75	4,92	12,06	11,52	10,59
13/10	4,10	272,04	5,17	65,26	60,01	22,06
14/10	3,52	124,72	4,33	34,75	30,62	24,55
<b>MENSAL</b>	<b>3,30</b>	<b>6750,75</b>	<b>174,25</b>	<b>1488,65</b>	<b>1376,31</b>	<b>20,39</b>

\* Dia sem vento

Tabela 19. Valores da irradiância, energia solar, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P1 (15/09 a 14/10 de 2004).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/09	416,53	10121,70	11,25	67,92	931,50	9,20
16/09	365,44	8617,00	10,92	60,21	797,45	9,25
17/09	155,11	1200,54	3,58	7,38	98,95	8,24
18/09	371,06	8682,73	10,83	55,53	788,32	9,08
19/09	484,68	11865,07	11,33	72,32	1059,11	8,93
20/09	543,46	12423,58	10,58	64,05	942,96	7,59
21/09	542,24	12785,97	10,92	66,83	988,95	7,73
22/09	537,38	12961,68	11,17	69,56	1030,41	7,95
23/09	514,80	12417,07	11,17	64,95	969,22	7,81
24/09	512,27	11987,18	10,83	66,28	972,35	8,11
25/09	507,61	12152,14	11,08	69,90	1022,95	8,42
26/09	502,98	12131,76	11,17	72,08	1021,11	8,42
27/09	512,48	11992,10	10,83	65,90	953,30	7,95
28/09	515,60	12250,61	11,00	65,91	959,79	7,83
29/09	152,26	3617,62	11,00	27,52	344,86	9,53
30/09	470,97	11953,30	11,75	70,11	1019,66	8,53
1/10	126,80	3081,22	11,25	22,47	281,76	9,14
2/10	102,20	2428,31	11,00	17,99	230,86	9,51
3/10	88,58	2024,91	10,58	14,61	182,08	8,99
4/10	524,49	13217,14	11,67	78,55	1138,61	8,61
5/10	546,78	13483,47	11,42	73,91	1103,14	8,18
6/10	498,61	12206,03	11,33	64,51	956,07	7,83
7/10	623,99	15163,01	11,25	72,91	1174,90	7,75
8/10	626,62	15114,10	11,17	61,95	987,85	6,54
9/10	569,40	14246,47	11,58	64,11	990,71	6,95
10/10	273,93	6261,93	10,58	45,88	618,69	9,88
11/10	273,07	6537,36	11,08	51,54	674,80	10,32
12/10	275,76	7048,41	11,83	44,60	615,72	8,74
13/10	338,05	7119,27	9,75	47,31	650,23	9,13
14/10	292,11	6519,86	10,33	49,63	650,68	9,98
<b>MENSAL</b>	<b>408,84</b>	<b>291611,56</b>	<b>324,25</b>	<b>1676,43</b>	<b>24157,00</b>	<b>8,28</b>

Tabela 20. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P1 (15/09 a 14/10 de 2004).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/09	60,30	6,71	6,51	11,36	702,32	96,81	10129,66	932,34	9,20
16/09	55,41	6,38	3,74	11,24	631,85	58,06	8664,27	803,00	9,27
17/09	11,38	3,58	-0,08	11,10	58,46	6,96	1348,96	126,90	9,41
18/09	56,20	6,50	5,97	11,23	602,43	92,40	8937,19	803,12	8,99
19/09	62,87	6,91	5,57	11,37	679,82	90,19	11871,00	1059,57	8,93
20/09	61,78	7,01	14,81	11,44	698,34	201,85	12433,28	943,98	7,59
21/09	62,03	7,04	9,43	11,42	697,62	134,48	12839,31	997,80	7,77
22/09	62,03	6,92	8,93	11,39	692,21	125,21	12973,44	1031,62	7,95
23/09	61,52	6,99	10,91	11,42	694,45	152,12	12477,15	975,25	7,82
24/09	60,81	6,98	11,31	11,41	693,82	155,33	12018,07	977,32	8,13
25/09	68,09	8,05	4,24	11,42	778,13	72,01	12519,95	1109,49	8,86
26/09	72,47	10,48	7,12	11,36	879,48	114,47	12309,14	1071,56	8,71
27/09	63,52	7,02	13,81	11,40	704,82	182,90	12142,24	985,96	8,12
28/09	61,36	7,00	7,19	11,41	691,58	103,53	12374,44	985,53	7,96
29/09	41,31	4,59	-6,46	11,05	375,34	-57,91	3806,86	387,78	10,19
30/09	79,06	11,50	12,71	11,37	965,49	181,12	13397,71	1262,27	9,42
1/10	40,05	8,33	-5,92	11,01	400,07	-51,96	3532,68	404,03	11,44
2/10	16,87	2,53	7,20	11,03	64,05	87,05	2428,31	230,86	9,51
3/10	23,89	2,09	0,42	10,93	90,61	10,71	2036,58	182,82	8,98
4/10	70,66	7,00	14,69	11,25	701,19	192,61	13334,99	1153,29	8,65
5/10	65,51	8,06	10,12	11,40	776,49	145,94	13753,20	1162,30	8,45
6/10	69,40	11,22	7,16	11,33	854,92	107,08	12807,33	1096,20	8,56
7/10	70,82	11,50	2,46	11,39	881,29	65,80	15880,26	1338,12	8,43
8/10	62,40	10,67	9,45	11,51	771,51	141,62	15848,35	1156,98	7,30
9/10	55,07	7,18	8,18	11,41	614,86	120,24	14274,32	996,37	6,98
10/10	47,71	6,19	3,84	11,16	495,18	63,47	6461,41	659,35	10,20
11/10	50,57	6,29	6,34	11,16	506,34	84,88	6569,15	680,72	10,36
12/10	51,99	6,52	2,34	11,16	502,74	52,55	7157,17	627,24	8,76
13/10	53,91	6,58	8,02	11,13	511,08	112,09	7391,31	710,23	9,61
14/10	72,46	8,25	-16,48	10,92	766,18	-154,90	6644,58	681,30	10,25
<b>MENSAL</b>	<b>1691,44</b>	<b>7,20</b>	<b>173,53</b>	<b>11,27</b>	<b>18482,69</b>	<b>2686,71</b>	<b>298362,31</b>	<b>25533,31</b>	<b>8,56</b>

Tabela 21. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P2 (15/10 a 14/11 de 2004).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária ( $\text{ms}^{-1}$ )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/10	3,58	1237,75	19,58	157,27	142,12	11,48
16/10	3,14	57,46	1,33	4,04	3,64	6,34
17/10	4,91	960,55	5,00	102,01	96,67	10,06
18/10	3,39	380,25	7,08	36,28	33,55	8,82
19/10	3,73	563,51	7,58	84,40	77,19	13,70
20/10	4,05	1827,45	19,33	236,60	216,80	11,86
21/10	4,27	2175,79	19,58	293,75	271,20	12,46
22/10	3,71	722,21	9,75	91,40	83,42	11,55
23/10	3,08	6,45	0,17	0,40	0,36	5,66
24/10	4,88	653,84	3,92	69,54	65,49	10,02
25/10	4,39	707,37	3,83	31,79	30,23	4,27
26/10	3,24	53,45	1,17	3,96	3,58	6,70
27/10	3,97	426,08	4,50	63,17	58,31	13,69
28/10	4,09	1851,92	18,58	251,04	232,05	12,53
29/10	4,14	1417,62	13,00	201,61	186,94	13,19
30/10	3,24	86,31	1,83	8,73	8,04	9,31
31/10	3,75	499,47	5,75	61,35	55,67	11,15
1/11	3,53	889,37	14,58	95,25	88,96	10,00
2/11	3,41	658,89	12,08	76,05	69,87	10,60
3/11	2,43	16,22	0,75	0,45	0,42	2,61
4/11	4,40	608,81	4,67	72,55	68,03	11,17
5/11	4,10	95,44	0,92	9,54	8,86	9,29
6/11	3,15	207,10	4,75	19,71	18,14	8,76
7/11	4,33	1972,01	17,25	224,65	208,29	10,56
8/11	3,86	1449,53	17,75	163,72	154,09	10,63
9/11	4,00	1083,72	11,58	120,74	114,35	10,55
10/11	3,22	179,21	3,67	16,09	15,10	8,43
11/11	3,22	421,66	7,42	42,70	38,72	9,18
12/11	4,24	1511,78	12,17	142,61	134,19	8,88
13/11	3,48	614,48	10,25	77,96	71,57	11,65
14/11	3,74	1053,43	14,08	125,12	118,17	11,22
<b>MENSAL</b>	<b>3,76</b>	<b>24389,12</b>	<b>273,92</b>	<b>2884,48</b>	<b>2674,05</b>	<b>10,96</b>

Tabela 22. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P2 (15/10 a 14/11 de 2004).

Dia/Mês	Irradiância Solar Média Diária (W)	Energia Solar Global Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)	Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)	Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)
15/10	119,43	2751,71	10,67	20,28	252,23	9,17
16/10	426,62	10750,77	11,67	79,30	1071,70	9,97
17/10	208,61	4243,06	9,42	30,48	413,90	9,75
18/10	354,61	8553,29	11,17	61,98	834,95	9,76
19/10	210,18	5334,40	11,75	41,65	528,00	9,90
20/10	535,95	13698,92	11,83	74,45	1121,15	8,18
21/10	573,76	14871,89	12,00	72,18	1119,56	7,53
22/10	396,13	10339,05	12,08	71,39	975,57	9,44
23/10	164,58	4295,44	12,08	33,23	428,19	9,97
24/10	137,10	3331,47	11,25	25,40	318,69	9,57
25/10	125,31	2887,14	10,67	21,59	267,55	9,27
26/10	359,09	9501,45	12,25	72,20	968,35	10,19
27/10	460,52	11936,80	12,00	76,04	1086,03	9,10
28/10	573,37	14758,60	11,92	69,86	1088,12	7,37
29/10	531,50	13967,70	12,17	63,85	946,36	6,78
30/10	496,75	13054,67	12,17	71,44	1055,76	8,09
31/10	429,80	10830,97	11,67	66,94	953,94	8,81
1/11	434,69	11580,09	12,33	65,02	942,13	8,14
2/11	476,74	12786,20	12,42	75,49	1094,34	8,56
3/11	487,07	12887,79	12,25	72,51	1064,34	8,26
4/11	254,58	6232,24	11,33	50,37	655,64	10,52
5/11	238,22	6346,29	12,33	47,34	619,13	9,76
6/11	323,92	8221,18	11,75	57,70	788,69	9,59
7/11	393,13	10472,95	12,33	53,42	795,55	7,60
8/11	511,94	13637,95	12,33	52,56	827,93	6,07
9/11	481,63	12397,22	11,92	57,15	873,70	7,05
10/11	347,59	8446,53	11,25	50,81	705,98	8,36
11/11	171,48	4197,88	11,33	31,79	394,56	9,40
12/11	537,13	13922,50	12,00	72,51	1106,11	7,94
13/11	515,60	13550,00	12,17	64,81	964,69	7,12
14/11	539,64	13695,94	11,75	60,47	947,20	6,92
<b>MENSAL</b>	<b>381,18</b>	<b>303482,09</b>	<b>364,25</b>	<b>1764,20</b>	<b>25210,04</b>	<b>8,31</b>



Tabela 23. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P2 (15/10 a 14/11 de 2004).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/10	32,20	6,85	3,83	10,88	281,76	52,03	3989,459	394,35	9,88
16/10	75,32	6,77	17,18	11,12	693,83	218,13	10808,23	1075,34	9,95
17/10	56,78	6,71	-4,09	11,04	434,35	-16,80	5203,607	510,57	9,81
18/10	79,02	6,50	12,32	11,03	607,78	162,49	8933,54	868,50	9,72
19/10	54,53	6,25	5,57	10,98	431,65	77,94	5897,91	605,19	10,26
20/10	77,80	11,64	14,91	11,29	934,84	206,33	15526,37	1337,96	8,62
21/10	78,73	11,76	11,61	11,43	967,43	163,33	17047,68	1390,76	8,16
22/10	70,23	10,21	6,39	11,22	839,28	102,31	11061,26	1058,99	9,57
23/10	39,60	4,92	2,17	11,02	314,37	40,29	4301,891	428,55	9,96
24/10	53,75	5,91	-3,31	10,92	328,31	-20,41	3985,304	384,19	9,64
25/10	61,71	3,82	0,83	10,78	197,91	16,61	3594,508	297,77	8,28
26/10	86,42	6,49	14,55	11,02	624,28	180,24	9554,896	971,93	10,17
27/10	66,73	7,67	13,20	11,28	715,49	174,54	12362,88	1144,35	9,26
28/10	75,42	11,67	10,17	11,48	934,11	147,02	16610,52	1320,17	7,95
29/10	72,60	10,64	15,95	11,48	888,19	218,03	15385,32	1133,31	7,37
30/10	63,43	7,08	8,89	11,34	728,07	127,85	13140,98	1063,79	8,10
31/10	68,62	7,27	10,92	11,27	743,81	151,36	11330,44	1009,61	8,91
1/11	62,52	8,15	9,38	11,41	731,27	131,73	12469,46	1031,09	8,27
2/11	71,70	10,49	4,44	11,28	865,87	82,15	13445,09	1164,21	8,66
3/11	61,05	7,16	4,36	11,30	693,12	71,38	12904,01	1064,76	8,25
4/11	48,98	9,51	5,99	11,18	554,40	81,75	6841,045	723,67	10,58
5/11	42,83	8,40	3,25	11,12	487,27	61,02	6441,732	628,00	9,75
6/11	46,10	8,42	10,06	11,23	558,17	131,49	8428,281	806,84	9,57
7/11	58,35	11,19	10,43	11,52	698,30	139,19	12444,96	1003,84	8,07
8/11	53,39	11,94	14,21	11,62	655,79	187,94	15087,48	982,01	6,51
9/11	51,26	11,16	6,01	11,56	636,33	90,15	13480,93	988,05	7,33
10/11	49,14	8,25	4,87	11,22	584,84	77,75	8625,739	721,08	8,36
11/11	47,55	9,06	-12,58	10,89	496,35	-124,12	4619,541	433,28	9,38
12/11	59,44	11,25	22,34	11,48	748,72	285,47	15434,28	1240,30	8,04
13/11	59,17	9,06	14,43	11,42	734,52	193,53	14164,48	1036,26	7,32
14/11	56,06	11,21	10,50	11,59	702,85	148,37	14749,37	1065,37	7,22
<b>TOTAL</b>	<b>1880,43</b>	<b>8,63</b>	<b>248,76</b>	<b>11,24</b>	<b>19813,24</b>	<b>3559,09</b>	<b>327871,2</b>	<b>27884,09</b>	<b>8,50</b>

Tabela 24. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P3 (15/11 a 14/12 de 2004).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Velocidade do Vento Média Diária (ms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Aerogerador (%)</b>
15/11	3,28	145,25	6,25	29,28	27,29	18,79
16/11	0,00*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17/11	1,90	0,35	0,08	0,00	0,00	0,75
18/11	3,24	18,27	0,75	2,70	2,42	13,27
19/11	3,12	13,27	0,67	1,36	1,21	9,08
20/11	3,42	381,23	14,08	86,32	79,86	20,95
21/11	3,63	539,55	16,33	138,66	126,66	23,48
22/11	3,76	472,75	12,83	130,84	119,27	25,23
23/11	3,76	388,47	10,75	116,82	105,72	27,21
24/11	3,22	104,91	4,75	20,64	19,25	18,35
25/11	3,00	8,36	0,50	0,87	0,86	10,27
26/11	2,60	9,41	0,83	0,62	0,59	6,28
27/11	3,45	90,48	2,92	12,99	12,00	13,27
28/11	4,20	176,90	3,08	22,01	20,72	11,71
29/11	3,38	200,85	7,58	55,81	50,94	25,36
30/11	3,44	470,68	16,92	106,49	96,86	20,58
1/12	3,48	416,05	14,00	109,81	101,10	24,30
2/12	3,65	593,47	17,83	167,54	153,03	25,79
3/12	3,18	178,94	8,42	30,29	28,06	15,68
4/12	3,33	21,57	0,75	3,61	3,31	15,36
5/12	2,92	29,85	1,67	4,52	4,07	13,63
6/12	3,91	107,64	2,67	22,80	20,96	19,47
7/12	4,83	183,20	2,25	48,92	44,26	24,16
8/12	2,97	28,08	1,25	1,42	1,33	4,72
9/12	3,90	122,98	2,75	26,42	24,05	19,56
10/12	3,12	87,32	4,42	15,76	14,33	16,41
11/12	3,33	352,23	13,58	55,49	51,95	14,75
12/12	3,32	269,31	10,83	49,58	46,28	17,19
13/12	2,82	20,07	1,33	1,72	1,66	8,28
14/12	3,22	213,19	9,67	38,56	35,64	16,72
<b>TOTAL</b>	<b>3,25</b>	<b>5644,63</b>	<b>189,75</b>	<b>1301,85</b>	<b>1193,68</b>	<b>21,15</b>

\* Dia sem vento

Tabela 25. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P3 (15/11 a 14/12 de 2004).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/11	272,39	7011,30	11,92	41,77	577,13	8,23
16/11	108,89	2567,70	10,92	18,88	235,53	9,17
17/11	208,88	5527,08	12,25	43,04	545,99	9,88
18/11	243,90	6102,50	11,58	46,43	606,48	9,94
19/11	319,80	8634,49	12,50	60,48	806,85	9,34
20/11	463,12	12504,21	12,50	75,03	1084,01	8,67
21/11	495,73	13474,01	12,58	87,21	1286,78	9,55
22/11	512,35	13649,14	12,33	81,06	1165,27	8,54
23/11	489,64	13043,95	12,33	78,96	1115,59	8,55
24/11	473,05	12006,02	11,75	74,30	1037,32	8,64
25/11	450,48	12487,29	12,83	67,46	1001,72	8,02
26/11	417,88	11132,29	12,33	61,26	881,67	7,92
27/11	414,52	10296,64	11,50	59,73	866,33	8,41
28/11	286,52	6652,89	10,75	51,80	687,05	10,33
29/11	413,15	11006,24	12,33	57,78	842,31	7,65
30/11	510,75	13514,57	12,25	64,72	981,22	7,26
1/12	521,74	14180,93	12,58	63,99	962,67	6,79
2/12	431,43	11726,29	12,58	63,92	929,92	7,93
3/12	304,36	7834,29	11,92	55,61	755,11	9,64
4/12	423,76	11670,24	12,75	57,90	840,70	7,20
5/12	414,72	10749,50	12,00	68,35	944,84	8,79
6/12	360,08	9851,65	12,67	59,25	830,49	8,43
7/12	378,75	10021,80	12,25	69,00	938,80	9,37
8/12	313,44	7955,23	11,75	52,57	713,00	8,96
9/12	219,06	5559,72	11,75	43,99	555,64	9,99
10/12	322,05	8753,36	12,58	65,51	853,44	9,75
11/12	480,29	13054,16	12,58	77,46	1108,49	8,49
12/12	417,71	11353,24	12,58	69,39	966,24	8,51
13/12	463,74	12103,56	12,08	67,29	955,09	7,89
14/12	528,98	13901,49	12,17	76,75	1100,53	7,92
<b>TOTAL</b>	<b>388,71</b>	<b>308325,80</b>	<b>364,92</b>	<b>1860,85</b>	<b>26176,21</b>	<b>8,49</b>

Tabela 26. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P3 (15/11 a 14/12 de 2004).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/11	47,25	10,42	-3,15	11,14	544,19	-6,20	7156,56	604,42	8,45
16/11	38,07	6,83	-17,58	10,85	357,16	-175,72	2567,70	235,53	9,17
17/11	73,32	5,38	-0,98	10,77	462,29	0,57	5527,43	546,00	9,88
18/11	67,75	4,19	9,43	10,84	392,74	121,80	6120,77	608,91	9,95
19/11	64,88	5,88	14,93	10,97	487,90	194,62	8647,76	808,06	9,34
20/11	71,26	8,04	18,28	11,21	795,28	236,93	12885,44	1163,87	9,03
21/11	79,70	11,31	3,59	11,25	986,21	74,34	14013,56	1413,45	10,09
22/11	81,22	10,95	10,72	11,26	994,98	161,98	14121,89	1284,54	9,10
23/11	79,71	10,54	11,76	11,27	967,75	169,60	13432,42	1221,30	9,09
24/11	71,55	7,21	14,13	11,29	818,30	191,48	12110,93	1056,57	8,72
25/11	58,84	7,09	10,98	11,27	640,37	148,81	12495,64	1002,58	8,02
26/11	55,70	6,96	9,16	11,23	596,93	128,78	11141,70	882,26	7,92
27/11	56,26	6,78	12,02	11,26	601,65	156,84	10387,12	878,33	8,46
28/11	52,06	6,27	5,74	11,12	536,49	81,46	6829,79	707,77	10,36
29/11	60,96	7,90	9,24	11,23	639,24	129,61	11207,09	893,25	7,97
30/11	64,68	11,28	4,90	11,26	794,40	87,83	13985,25	1078,08	7,71
1/12	65,79	11,35	10,60	11,25	802,90	158,72	14596,98	1063,77	7,29
2/12	63,88	10,62	6,70	11,29	765,39	104,79	12319,76	1082,95	8,79
3/12	51,44	7,11	6,54	11,26	574,42	96,84	8013,24	783,17	9,77
4/12	55,46	7,52	7,09	11,23	595,18	105,34	11691,81	844,01	7,22
5/12	63,45	10,46	4,27	11,18	757,74	83,65	10779,35	948,91	8,80
6/12	54,99	6,73	9,47	11,19	577,49	130,04	9959,30	851,45	8,55
7/12	71,82	7,10	8,83	11,20	773,10	127,21	10205,00	983,05	9,63
8/12	68,52	8,27	-15,48	10,97	751,29	-138,01	7983,30	714,32	8,95
9/12	66,80	9,23	-8,42	10,74	575,87	-69,65	5682,70	579,69	10,20
10/12	82,82	5,76	15,49	10,89	569,25	189,85	8840,68	867,77	9,82
11/12	71,36	7,03	15,72	11,12	759,43	204,11	13406,38	1160,44	8,66
12/12	62,77	7,08	11,41	11,20	727,37	151,18	11622,55	1012,52	8,71
13/12	64,77	6,90	13,66	11,18	724,33	190,65	12123,63	956,75	7,89
14/12	69,77	6,94	12,87	11,22	788,44	171,77	14114,68	1136,16	8,05
<b>TOTAL</b>	<b>1936,86</b>	<b>7,97</b>	<b>211,93</b>	<b>11,14</b>	<b>20358,10</b>	<b>3209,21</b>	<b>313970,43</b>	<b>27369,89</b>	<b>8,72</b>

Tabela 27. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P4 (15/12 de 2004 a 14/01 de 2005).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária ( $\text{ms}^{-1}$ )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/12	3,74	259,41	7,50	79,96	72,96	28,13
16/12	3,25	72,72	2,67	5,87	5,55	7,63
17/12	3,94	196,72	4,25	45,49	42,04	21,37
18/12	3,28	204,40	8,50	39,16	35,65	17,44
19/12	3,26	76,46	3,17	17,79	16,13	21,10
20/12	3,76	52,47	1,33	12,41	11,27	21,48
21/12	3,53	566,00	18,50	170,02	154,05	27,22
22/12	4,73	1625,80	22,42	460,44	417,14	25,66
23/12	3,55	428,83	14,08	125,55	113,25	26,41
24/12	3,12	29,71	1,50	4,48	4,03	13,57
25/12	3,31	79,90	3,25	15,26	13,82	17,29
26/12	4,15	281,36	5,50	69,78	62,98	22,39
27/12	3,02	28,81	1,58	1,87	1,72	5,97
28/12	3,20	77,24	3,58	14,92	13,53	17,52
29/12	3,14	154,22	7,58	27,77	25,50	16,54
30/12	3,19	29,47	1,42	4,56	4,11	13,94
31/12	3,82	102,86	2,17	7,54	7,06	6,86
1/1	3,09	110,42	5,42	20,65	18,94	17,16
2/1	3,10	117,54	5,92	22,02	20,18	17,17
3/1	2,82	9,63	0,67	1,27	1,12	11,67
4/1	2,75	7,69	0,58	0,55	0,50	6,48
5/1	2,61	8,06	0,67	0,70	0,62	7,71
6/1	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7/1	2,74	10,16	0,67	2,59	2,32	22,84
8/1	2,85	3,57	0,25	0,67	0,62	17,40
9/1	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10/1	2,59	10,59	0,92	1,27	1,18	11,11
11/1	3,17	31,96	1,42	7,27	6,50	20,35
12/1	3,13	313,33	15,00	60,36	55,51	17,72
13/1	3,32	205,60	8,50	52,81	47,85	23,27
14/1	3,51	296,77	10,58	69,40	63,81	21,50
<b>TOTAL</b>	<b>3,09</b>	<b>5391,70</b>	<b>159,58</b>	<b>1342,40</b>	<b>1219,94</b>	<b>22,63</b>

\* Dia sem vento

Tabela 28. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P4 (15/12 de 2004 a 14/01 de 2005).

Dia/Mês	Irradiância Solar Média Diária (W)	Energia Solar Global Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)	Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)	Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)
15/12	538,99	14358,81	12,33	75,40	1067,84	7,44
16/12	498,94	13740,70	12,75	76,07	1050,92	7,65
17/12	392,01	9173,14	10,83	56,81	764,01	8,33
18/12	367,27	10180,83	12,83	64,26	861,06	8,46
19/12	403,56	10750,92	12,33	70,31	942,88	8,77
20/12	470,48	12279,45	12,08	72,69	995,52	8,11
21/12	170,58	4482,96	12,17	32,36	408,73	9,12
22/12	259,73	5843,84	10,42	41,10	539,17	9,23
23/12	208,79	5449,39	12,08	40,48	509,78	9,35
24/12	397,92	10815,44	12,58	72,08	956,35	8,84
25/12	474,58	13069,91	12,75	70,59	968,28	7,41
26/12	180,83	4459,30	11,42	32,15	403,30	9,04
27/12	360,98	9746,39	12,50	69,54	907,49	9,31
28/12	499,79	12684,68	11,75	68,96	954,70	7,53
29/12	526,29	14115,03	12,42	72,48	1038,99	7,36
30/12	532,93	14389,22	12,50	74,08	1051,90	7,31
31/12	501,10	12898,32	11,92	73,27	1014,27	7,86
1/1	467,13	12444,31	12,33	64,77	921,91	7,41
2/1	527,81	14535,80	12,75	75,36	1075,78	7,40
3/1	301,94	7826,36	12,00	51,73	698,71	8,93
4/1	172,73	4321,69	11,58	32,15	401,37	9,29
5/1	275,14	7379,38	12,42	53,39	684,82	9,28
6/1	233,84	6271,57	12,42	45,35	576,91	9,20
7/1	402,06	11289,77	13,00	73,65	976,92	8,65
8/1	417,00	11409,03	12,67	66,25	908,57	7,96
9/1	367,59	9991,04	12,58	66,93	895,68	8,96
10/1	438,23	11516,65	12,17	73,16	1003,17	8,71
11/1	210,38	5188,03	11,42	38,06	487,43	9,40
12/1	390,10	10392,14	12,33	70,72	959,25	9,23
13/1	507,78	13253,04	12,08	70,46	1001,89	7,56
14/1	528,90	13423,51	11,75	69,06	1001,83	7,46
<b>TOTAL</b>	<b>387,92</b>	<b>317680,65</b>	<b>377,17</b>	<b>1913,66</b>	<b>26029,44</b>	<b>8,19</b>

Tabela 29. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P4 (15/12 de 2004 a 14/01 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/12	72,29	8,93	6,70	11,24	854,72	100,29	14618,21	1140,80	7,80
16/12	70,81	6,78	6,85	11,13	781,49	100,13	13813,42	1056,47	7,65
17/12	65,44	6,35	4,63	11,00	663,67	74,64	9369,86	806,05	8,60
18/12	67,26	8,04	7,75	11,00	727,94	112,97	10385,22	896,70	8,63
19/12	69,41	6,69	7,93	11,03	714,59	107,42	10827,38	959,01	8,86
20/12	70,85	6,70	8,92	11,09	733,19	119,08	12331,92	1006,79	8,16
21/12	49,52	6,53	1,78	10,89	377,32	31,70	5048,96	562,77	11,15
22/12	71,25	10,94	4,39	11,02	779,52	71,92	7469,63	956,31	12,80
23/12	60,59	9,11	-5,42	10,82	551,93	-40,63	5878,22	623,03	10,60
24/12	78,24	6,32	13,85	10,98	687,14	174,95	10845,15	960,39	8,86
25/12	65,99	6,81	12,64	11,10	707,22	167,86	13149,81	982,09	7,47
26/12	55,62	4,57	-2,99	10,78	398,13	-21,99	4740,66	466,28	9,84
27/12	80,42	6,07	10,50	10,87	667,94	136,17	9775,19	909,20	9,30
28/12	69,91	6,94	17,69	11,10	715,01	230,20	12761,92	968,24	7,59
29/12	65,89	7,02	8,05	11,17	726,77	113,77	14269,25	1064,49	7,46
30/12	68,60	6,88	9,51	11,15	752,81	128,81	14418,69	1056,01	7,32
31/12	67,59	6,71	6,81	11,10	718,48	95,43	13001,18	1021,33	7,86
1/1	63,48	7,53	13,96	11,21	691,72	180,35	12554,73	940,86	7,49
2/1	62,20	8,25	6,75	11,20	746,52	94,95	14653,34	1095,96	7,48
3/1	54,13	4,91	3,20	10,99	523,64	56,05	7835,99	699,83	8,93
4/1	61,52	6,26	-19,22	10,73	508,76	-190,42	4329,39	401,87	9,28
5/1	67,81	5,30	8,03	10,77	468,17	105,19	7387,45	685,44	9,28
6/1	58,40	4,75	4,87	10,75	407,26	63,24	6271,57	576,91	9,20
7/1	72,91	6,44	14,60	10,91	657,39	184,66	11299,93	979,24	8,67
8/1	58,47	5,11	14,24	11,03	580,60	178,63	11412,60	909,20	7,97
9/1	65,29	6,33	4,21	10,99	677,53	68,39	9991,04	895,68	8,96
10/1	70,06	6,76	12,85	11,07	730,97	167,25	11527,25	1004,34	8,71
11/1	46,26	4,24	2,41	10,86	377,40	36,52	5219,99	493,93	9,46
12/1	71,84	6,64	13,63	11,04	714,72	172,05	10705,46	1014,76	9,48
13/1	71,17	9,41	9,24	11,12	834,17	135,00	13458,64	1049,74	7,80
14/1	67,11	7,16	13,34	11,21	767,25	173,37	13720,28	1065,65	7,77
<b>TOTAL</b>	<b>2040,33</b>	<b>6,79</b>	<b>221,69</b>	<b>11,01</b>	<b>20243,99</b>	<b>3127,94</b>	<b>323072,34</b>	<b>27249,37</b>	<b>8,43</b>

Tabela 30. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P5 (15/01 de 2004 a 14/02 de 2005).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária ( $\text{ms}^{-1}$ )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/1	2,74	33,05	2,58	3,02	2,83	8,57
16/1	3,29	102,97	4,17	25,99	23,38	22,71
17/1	3,57	467,30	15,50	123,46	111,54	23,87
18/1	3,21	102,01	4,75	22,02	19,73	19,35
19/1	3,05	51,38	2,75	7,72	6,81	13,26
20/1	2,43	10,78	1,08	0,89	0,80	7,40
21/1	2,91	6,70	0,42	1,37	1,21	18,03
22/1	3,55	53,64	1,75	8,23	7,57	14,12
23/1	3,59	75,29	2,33	18,08	16,00	21,26
24/1	2,60	2,75	0,25	0,19	0,18	6,38
25/1	3,20	104,50	4,58	23,79	21,16	20,25
26/1	4,59	1343,59	20,50	292,13	266,92	19,87
27/1	4,04	1023,33	22,25	233,24	213,73	20,89
28/1	3,25	161,28	7,17	34,87	31,10	19,28
29/1	2,85	15,56	1,00	2,26	1,96	12,60
30/1	3,04	85,62	4,58	16,76	14,99	17,51
31/1	3,29	401,35	16,08	89,98	81,97	20,42
1/2	3,86	732,23	18,00	159,29	147,62	20,16
2/2	2,97	130,32	7,67	21,59	19,79	15,18
3/2	3,03	281,84	15,08	55,44	50,23	17,82
4/2	3,39	471,92	18,00	111,27	101,22	21,45
5/2	3,53	616,01	21,00	155,96	140,06	22,74
6/2	3,66	710,88	21,42	189,96	170,86	24,03
7/2	3,92	875,22	20,42	253,19	229,84	26,26
8/2	3,57	485,21	15,42	117,16	105,77	21,80
9/2	3,27	241,40	10,42	47,72	43,58	18,05
10/2	3,00	51,05	2,92	7,73	6,86	13,45
11/2	2,43	22,94	2,42	3,53	3,30	14,40
12/2	3,36	246,84	9,42	36,55	33,21	13,45
13/2	3,07	21,66	1,17	3,46	3,13	14,46
14/2	3,06	85,11	4,58	13,62	12,10	14,22
<b>TOTAL</b>	<b>3,27</b>	<b>9013,73</b>	<b>279,67</b>	<b>2080,47</b>	<b>1889,48</b>	<b>20,96</b>



Tabela 31. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no no período P5 (15/01 à 14/02 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/1	451,59	11949,03	12,25	73,91	1048,68	8,78
16/1	332,08	6694,70	9,33	53,64	698,78	10,44
17/1	287,36	7551,94	12,17	56,18	730,81	9,68
18/1	199,12	4695,19	10,92	36,18	452,26	9,63
19/1	197,52	4870,76	11,42	38,45	481,13	9,88
20/1	112,67	2798,63	11,50	20,74	264,00	9,43
21/1	261,57	6403,17	11,33	50,63	647,24	10,11
22/1	239,26	6459,96	12,50	50,97	641,84	9,94
23/1	303,19	8295,19	12,67	59,01	781,40	9,42
24/1	405,75	10882,31	12,42	76,33	1036,74	9,53
25/1	204,40	4782,94	10,83	37,50	478,31	10,00
26/1	303,63	7487,50	11,42	54,43	739,59	9,88
27/1	117,82	2820,61	11,08	20,60	259,70	9,21
28/1	136,68	2706,25	9,17	20,18	255,62	9,45
29/1	138,46	3339,55	11,17	25,45	315,21	9,44
30/1	353,23	9346,42	12,25	69,92	929,25	9,94
31/1	529,83	13828,60	12,08	82,96	1179,42	8,53
1/2	409,75	11136,96	12,58	63,82	918,01	8,24
2/2	270,47	6961,91	11,92	52,30	680,49	9,77
3/2	371,80	9837,89	12,25	68,90	921,40	9,37
4/2	430,02	11300,88	12,17	60,46	880,39	7,79
5/2	483,51	12358,47	11,83	73,71	1064,78	8,62
6/2	440,56	11736,40	12,33	77,04	1066,48	9,09
7/2	568,16	14419,97	11,75	72,85	1102,84	7,65
8/2	537,35	14121,54	12,17	74,48	1090,45	7,72
9/2	511,15	13065,05	11,83	71,44	1044,21	7,99
10/2	511,22	12882,72	11,67	73,58	1048,88	8,14
11/2	467,68	12206,34	12,08	71,76	1013,03	8,30
12/2	529,08	13713,69	12,00	71,26	1033,86	7,54
13/2	353,75	9423,78	12,33	60,23	836,28	8,87
14/2	412,23	9943,03	11,17	65,62	910,23	9,15
<b>TOTAL</b>	<b>350,67</b>	<b>278021,39</b>	<b>362,58</b>	<b>1784,55</b>	<b>24551,33</b>	<b>8,83</b>

Tabela 32. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P5 (15/01 à 14/02 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/1	68,73	6,94	8,41	11,10	735,07	117,48	11982,08	3,88	8,78
16/1	62,49	5,91	0,34	10,86	612,37	20,75	6797,67	24,08	10,62
17/1	61,47	10,17	3,01	10,91	707,32	63,69	8019,25	112,27	10,50
18/1	42,64	5,96	-3,99	10,77	425,04	-31,04	4797,20	20,19	9,84
19/1	40,34	6,63	0,51	10,70	355,75	16,11	4922,14	7,29	9,91
20/1	18,96	5,25	4,57	10,71	110,41	58,82	2809,41	1,06	9,43
21/1	46,73	7,08	4,66	10,69	453,84	65,29	6409,87	1,85	10,12
22/1	49,76	7,16	3,23	10,67	486,76	52,09	6513,60	8,22	9,97
23/1	50,16	7,99	8,67	10,77	540,81	127,38	8370,48	16,78	9,53
24/1	53,74	8,19	14,43	10,89	638,32	177,23	10885,06	1,21	9,53
25/1	38,00	6,97	1,59	10,76	379,91	30,53	4887,44	21,64	10,22
26/1	52,71	11,48	23,06	11,20	603,35	276,83	8831,10	267,66	11,40
27/1	40,11	9,78	-3,13	11,02	435,69	-15,55	3843,95	213,99	12,32
28/1	21,48	5,43	1,30	10,70	159,40	22,20	2867,53	31,36	10,00
29/1	29,68	5,55	-0,84	10,61	214,30	-1,95	3355,11	2,28	9,45
30/1	60,11	8,25	8,69	10,76	701,70	116,38	9432,04	15,92	10,01
31/1	60,77	9,18	26,61	11,09	748,44	319,75	14229,95	83,15	8,86
1/2	60,32	11,26	13,23	11,28	730,69	165,85	11869,19	148,54	8,98
2/2	64,34	10,92	-12,26	10,85	746,77	-110,24	7092,23	20,47	9,87
3/2	60,35	7,54	17,45	10,90	709,43	211,36	10119,73	51,16	9,60
4/2	60,28	8,25	10,93	11,12	672,63	148,55	11772,80	102,10	8,34
5/2	78,38	11,27	9,32	11,05	953,79	136,68	12974,48	141,13	9,29
6/2	82,75	11,62	6,57	11,07	1007,26	99,72	12447,28	171,92	9,94
7/2	81,00	11,54	12,15	11,21	994,25	168,44	15295,18	230,95	8,71
8/2	76,48	10,56	10,68	11,11	934,50	155,20	14606,74	106,86	8,19
9/2	65,64	7,11	12,18	11,14	764,22	164,72	13306,44	44,63	8,17
10/2	69,13	7,01	13,43	11,09	779,41	175,71	12933,77	7,91	8,16
11/2	67,68	6,81	6,31	11,00	732,48	95,56	12229,28	4,32	8,31
12/2	68,89	6,99	14,34	11,08	772,13	184,41	13960,54	34,24	7,64
13/2	60,73	6,39	-0,82	10,92	633,41	21,63	9445,44	3,97	8,89
14/2	62,69	6,50	2,80	10,92	641,60	60,84	10028,14	13,01	9,20
<b>TOTAL</b>	<b>1756,54</b>	<b>8,12</b>	<b>217,43</b>	<b>10,93</b>	<b>19381,03</b>	<b>3094,42</b>	<b>287035,12</b>	<b>1914,03</b>	<b>9,21</b>

Tabela 33. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P6 (15/02 a 14/03 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Velocidade do Vento Média Diária (ms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h.)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah.)</b>	<b>Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Aerogerador (%)</b>
15/2	3,10	174,49	9,00	33,31	30,36	17,40
16/2	3,54	247,73	8,00	50,28	46,41	18,73
17/2	3,25	88,26	3,67	11,37	10,60	12,01
18/2	3,06	68,94	3,58	14,98	13,52	19,61
19/2	3,51	123,05	4,08	33,49	30,14	24,49
20/2	3,29	202,64	8,58	51,99	47,12	23,25
21/2	3,25	219,20	9,67	40,18	36,64	16,71
22/2	3,02	7,28	0,42	0,97	0,86	11,81
23/2	2,09	0,95	0,17	0,01	0,01	1,27
24/2	3,44	52,90	2,00	10,40	9,42	17,81
25/2	4,78	166,46	1,67	36,39	32,36	19,44
26/2	2,19	5,51	0,83	1,06	0,94	16,99
27/2	3,97	10,99	0,25	2,21	1,95	17,76
28/2	2,80	13,74	0,92	1,64	1,53	11,13
1/3	3,42	349,84	13,00	89,79	81,29	23,24
2/3	3,75	714,99	20,25	193,83	174,54	24,41
3/3	3,78	781,40	20,92	225,33	203,70	26,07
4/3	3,46	384,64	13,58	104,87	94,14	24,47
5/3	3,29	346,64	14,00	70,01	63,26	18,25
6/3	3,41	328,78	11,67	55,46	51,31	15,61
7/3	3,41	278,73	10,50	60,67	55,12	19,77
8/3	3,26	152,66	6,83	30,57	27,78	18,20
9/3	2,98	17,35	1,00	2,87	2,69	15,52
10/3	3,13	104,95	5,33	21,69	19,53	18,60
11/3	2,71	10,50	0,83	1,62	1,47	14,01
12/3	2,97	18,45	1,08	2,77	2,41	13,06
13/3	3,48	74,21	2,33	17,46	15,74	21,20
14/3	2,53	7,03	0,67	0,46	0,43	6,04
<b>TOTAL</b>	<b>3,25</b>	<b>4952,32</b>	<b>174,83</b>	<b>1165,68</b>	<b>1055,24</b>	<b>21,31</b>

\* Dia sem vento

Tabela 34. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P6 (15/02 a 14/03 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/2	495,63	12757,60	11,92	66,99	957,70	7,51
16/2	476,89	11330,91	11,00	67,73	972,77	8,59
17/2	524,14	13491,31	11,92	72,91	1037,70	7,69
18/2	520,63	13494,60	12,00	78,19	1128,32	8,36
19/2	430,00	11300,36	12,17	77,05	1045,05	9,25
20/2	473,51	12103,03	11,83	70,03	988,77	8,17
21/2	586,29	14985,52	11,83	82,53	1212,36	8,09
22/2	557,24	14142,76	11,75	77,97	1120,49	7,92
23/2	522,00	13154,46	11,67	75,03	1055,42	8,02
24/2	406,46	9438,02	10,75	58,72	824,14	8,73
25/2	328,54	8397,48	11,83	61,34	823,65	9,81
26/2	296,42	7576,61	11,83	54,58	716,84	9,46
27/2	229,30	4952,88	10,00	37,85	494,32	9,98
28/2	515,20	13446,79	12,08	79,38	1130,80	8,41
1/3	559,49	13797,02	11,42	72,79	1080,01	7,83
2/3	460,23	11597,89	11,67	71,10	995,53	8,58
3/3	366,78	9242,94	11,67	62,69	860,60	9,31
4/3	445,70	11231,66	11,67	65,69	938,03	8,35
5/3	536,87	13432,37	11,58	70,21	1044,55	7,78
6/3	515,79	12626,47	11,33	64,36	942,02	7,46
7/3	564,62	13923,51	11,42	66,92	1006,17	7,23
8/3	545,35	13644,77	11,58	68,65	1025,96	7,52
9/3	456,09	11247,14	11,42	60,42	857,88	7,63
10/3	549,74	13655,59	11,50	67,71	1011,65	7,41
11/3	468,71	11474,11	11,33	60,88	870,81	7,59
12/3	166,24	4099,51	11,42	31,31	392,76	9,58
13/3	500,10	12332,56	11,42	85,37	1176,28	9,54
14/3	322,46	7777,67	11,17	58,35	774,90	9,96
<b>TOTAL</b>	<b>457,87</b>	<b>320655,52</b>	<b>323,17</b>	<b>1866,76</b>	<b>26485,46</b>	<b>8,26</b>

Tabela 35. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P6 (15/02 a 14/03 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/2	67,99	6,92	16,75	11,08	753,88	217,43	12932,09	988,06	7,64
16/2	64,60	6,92	8,22	11,05	724,31	113,22	11578,64	1019,17	8,80
17/2	70,26	6,96	11,59	11,06	766,49	153,01	13579,57	1048,30	7,72
18/2	69,34	6,99	7,92	11,06	766,88	109,20	13563,54	1141,84	8,42
19/2	76,45	10,35	3,12	10,99	914,25	62,84	11423,40	1075,18	9,41
20/2	67,28	7,03	12,31	11,09	753,73	162,53	12305,67	1035,89	8,42
21/2	76,15	10,45	-2,96	11,03	921,13	-1,57	15204,71	1249,00	8,21
22/2	69,59	6,99	6,88	11,07	786,23	99,46	14150,05	1121,35	7,92
23/2	69,98	6,91	9,71	11,04	767,67	130,10	13155,41	1055,43	8,02
24/2	59,34	4,97	3,34	10,89	593,34	57,24	9490,91	833,56	8,78
25/2	67,01	6,47	1,36	10,84	657,27	43,53	8563,93	856,01	10,00
26/2	62,62	6,21	0,22	10,79	581,16	32,77	7582,12	717,78	9,47
27/2	50,44	3,86	2,36	10,70	368,28	41,19	4963,86	496,27	10,00
28/2	76,50	6,94	17,76	10,98	738,35	221,54	13460,53	1132,33	8,41
1/3	71,55	7,81	11,31	11,03	791,61	152,70	14146,86	1161,30	8,21
2/3	74,39	10,99	10,15	11,07	906,54	136,88	12312,88	1170,07	9,50
3/3	69,60	10,22	8,60	11,01	830,65	119,21	10024,34	1064,30	10,62
4/3	67,74	10,33	2,58	11,05	817,26	53,25	11616,30	1032,17	8,89
5/3	69,78	10,34	5,52	10,97	843,11	94,24	13779,01	1107,82	8,04
6/3	60,77	7,09	11,22	11,06	688,49	147,38	12955,25	993,33	7,67
7/3	60,93	7,10	12,14	11,09	693,21	159,24	14202,24	1061,29	7,47
8/3	61,40	6,99	8,61	11,05	683,20	119,04	13797,43	1053,74	7,64
9/3	60,19	6,59	8,20	10,94	632,05	113,19	11264,49	860,58	7,64
10/3	63,38	6,93	10,09	11,04	691,48	135,59	13760,54	1031,17	7,49
11/3	62,58	6,78	11,58	10,97	666,24	155,80	11484,61	872,28	7,60
12/3	62,27	6,82	-22,95	10,62	574,02	-227,02	4117,97	395,17	9,60
13/3	77,80	7,59	23,56	10,94	754,80	291,80	12406,78	1192,01	9,61
14/3	63,50	9,22	-3,56	10,72	696,99	-10,09	7784,70	775,32	9,96
<b>TOTAL</b>	<b>1873,43</b>	<b>7,60</b>	<b>195,62</b>	<b>10,97</b>	<b>20362,61</b>	<b>2883,70</b>	<b>325607,84</b>	<b>27540,71</b>	<b>8,46</b>

Tabela 36. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P7 (15/03 a 14/04 de 2005).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária ( $\text{ms}^{-1}$ )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/3	4,30	134,78	2,50	23,33	20,39	15,13
16/3	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17/3	3,31	3,75	0,17	0,91	0,82	21,90
18/3	2,98	24,53	1,42	1,62	1,50	6,12
19/3	2,84	28,10	1,92	2,99	2,63	9,37
20/3	2,91	8,66	0,50	1,34	1,26	14,56
21/3	2,44	1,60	0,17	0,06	0,05	3,30
22/3	2,38	0,69	0,08	0,05	0,04	5,53
23/3	3,59	43,57	1,25	10,61	9,68	22,22
24/3	3,15	161,90	7,83	37,15	32,51	20,08
25/3	3,32	449,45	17,83	93,79	84,39	18,78
26/3	3,48	438,24	15,00	118,80	106,26	24,25
27/3	3,27	295,27	12,58	70,63	62,64	21,21
28/3	3,47	441,09	15,50	113,39	102,39	23,21
29/3	3,39	176,88	6,83	43,55	39,46	22,31
30/3	3,05	49,03	2,67	10,86	9,62	19,62
31/3	3,03	158,78	8,67	25,19	22,55	14,20
1/4	3,10	102,77	5,33	14,92	13,53	13,16
2/4	2,52	7,51	0,75	0,61	0,56	7,51
3/4	3,64	4,93	0,17	1,03	0,91	18,49
4/4	3,30	125,54	5,33	35,07	31,01	24,70
5/4	3,50	535,64	19,00	129,99	116,44	21,74
6/4	3,58	319,04	10,58	87,69	77,72	24,36
7/4	2,90	45,08	2,83	5,38	4,84	10,73
8/4	3,42	50,91	1,83	5,66	5,10	10,01
9/4	3,14	212,45	10,58	41,70	37,43	17,62
10/4	3,50	218,23	7,83	56,56	51,20	23,46
11/4	2,38	3,97	0,42	0,45	0,41	10,41
12/4	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13/4	3,42	278,45	10,25	55,74	51,22	18,40
14/4	3,30	159,53	6,83	35,72	32,04	20,08
<b>TOTAL</b>	<b>2,99</b>	<b>4480,39</b>	<b>176,67</b>	<b>1024,77</b>	<b>918,61</b>	<b>20,50</b>

\* Dia sem vento

Tabela 37. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P7 (15/03 a 14/04 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/3	167,32	3674,34	10,17	28,70	358,98	9,77
16/3	195,09	4775,84	11,33	36,59	463,85	9,71
17/3	278,03	6706,15	11,17	51,12	655,69	9,78
18/3	437,03	10541,27	11,17	70,95	961,75	9,12
19/3	417,93	10155,79	11,25	61,38	863,59	8,50
20/3	475,89	10964,46	10,67	67,79	972,12	8,87
21/3	227,13	5273,93	10,75	42,29	537,44	10,19
22/3	227,60	5612,50	11,42	44,13	557,18	9,93
23/3	352,62	7806,93	10,25	59,65	780,56	10,00
24/3	170,79	4119,55	11,17	31,49	394,89	9,59
25/3	470,86	11272,30	11,08	73,18	1018,59	9,04
26/3	609,58	14044,79	10,67	64,19	973,98	6,93
27/3	515,43	12432,09	11,17	73,75	1057,88	8,51
28/3	554,48	13174,41	11,00	63,46	955,05	7,25
29/3	560,75	13424,36	11,08	67,63	1007,91	7,51
30/3	469,77	10992,67	10,83	60,27	860,64	7,83
31/3	573,03	13305,77	10,75	68,95	1036,16	7,79
1/4	514,65	12506,05	11,25	66,92	985,89	7,88
2/4	470,76	11185,24	11,00	68,34	969,80	8,67
3/4	510,55	12222,48	11,08	65,93	954,24	7,81
4/4	387,31	7041,28	8,42	46,36	637,45	9,05
5/4	476,19	10971,35	10,67	65,28	931,83	8,49
6/4	594,67	13915,30	10,83	70,38	1031,86	7,42
7/4	541,14	12759,99	10,92	67,74	967,01	7,58
8/4	521,61	12017,98	10,67	65,18	952,05	7,92
9/4	599,29	13591,86	10,50	66,58	1006,99	7,41
10/4	561,33	13034,07	10,75	66,11	1016,55	7,80
11/4	584,58	13363,40	10,58	64,77	946,99	7,09
12/4	618,94	14037,45	10,50	64,85	960,88	6,85
13/4	608,05	14228,43	10,83	71,75	1097,73	7,72
14/4	601,77	13323,21	10,25	65,42	980,78	7,36
<b>TOTAL</b>	<b>461,10</b>	<b>332475,22</b>	<b>334,17</b>	<b>1881,13</b>	<b>26896,30</b>	<b>8,09</b>

Tabela 38. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P7 (15/03 a 14/04 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/3	53,00	8,04	-9,25	10,53	384,37	-86,10	3809,12	379,38	3809,12
16/3	74,21	4,89	2,14	10,52	319,93	36,06	4775,84	463,85	4775,84
17/3	91,00	5,94	2,97	10,52	520,94	47,21	6709,90	656,51	6709,90
18/3	85,23	5,62	21,74	10,71	589,98	251,99	10565,80	963,25	10565,80
19/3	60,64	6,24	13,49	10,80	584,83	172,47	10183,88	866,22	10183,88
20/3	61,82	6,50	11,35	10,86	610,11	143,99	10973,12	973,38	10973,12
21/3	62,80	5,83	-6,88	10,62	520,71	-57,23	5275,53	537,49	5275,53
22/3	75,80	5,37	1,62	10,51	437,09	30,20	5613,20	557,21	5613,20
23/3	90,96	6,29	6,01	10,58	607,25	83,13	7850,50	790,24	7850,50
24/3	61,82	4,33	5,90	10,53	271,38	74,18	4281,44	427,40	4281,44
25/3	73,70	6,85	24,28	10,85	629,21	289,27	11721,75	1102,98	11721,75
26/3	67,09	10,51	17,65	10,99	814,08	233,45	14483,03	1080,24	14483,03
27/3	67,25	10,15	9,13	10,84	801,54	129,76	12727,36	1120,51	12727,36
28/3	59,41	7,00	19,93	11,05	674,85	245,78	13615,50	1057,44	13615,50
29/3	60,62	7,00	10,15	11,01	680,68	135,16	13601,24	1047,37	13601,24
30/3	59,04	6,57	11,29	10,88	616,23	149,17	11041,71	870,26	11041,71
31/3	62,48	6,84	9,08	10,97	678,83	122,82	13464,55	1058,71	13464,55
1/4	61,87	6,84	9,65	10,96	668,64	129,43	12608,82	999,41	12608,82
2/4	62,42	6,91	7,00	10,95	664,21	102,80	11192,75	970,37	11192,75
3/4	62,94	6,70	12,11	10,94	669,78	156,84	12227,41	955,16	12227,41
4/4	51,04	4,81	2,64	10,75	492,60	46,80	7166,82	668,46	7166,82
5/4	67,77	10,08	9,03	10,94	807,83	124,97	11506,99	1048,27	11506,99
6/4	69,64	10,38	8,24	10,96	830,69	119,89	14234,34	1109,58	14234,34
7/4	63,43	6,87	10,01	10,95	674,86	133,61	12805,08	971,84	12805,08
8/4	62,22	6,78	12,38	10,94	654,75	159,25	12068,89	957,14	12068,89
9/4	61,50	6,93	13,70	11,02	668,87	175,00	13804,31	1044,42	13804,31
10/4	59,39	6,95	5,21	11,01	648,82	79,58	13252,30	1067,75	13252,30
11/4	62,20	6,88	10,69	10,95	667,51	141,78	13367,37	947,40	13367,37
12/4	62,75	6,97	11,29	10,97	680,41	147,87	14037,45	960,88	14037,45
13/4	63,42	7,01	6,45	10,99	684,08	93,31	14506,88	1148,95	14506,88
14/4	60,88	6,96	9,82	11,05	677,87	132,40	13482,74	1012,82	13482,74
<b>TOTAL</b>	<b>2038,33</b>	<b>6,94</b>	<b>278,82</b>	<b>10,84</b>	<b>19232,93</b>	<b>3744,81</b>	<b>336955,61</b>	<b>27814,91</b>	<b>336955,61</b>



Tabela 39. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P8 (15/04 a 14/05 de 2005).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária ( $\text{ms}^{-1}$ )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/4	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16/4	3,37	45,35	1,42	11,18	9,81	21,63
17/4	3,44	193,21	7,08	39,47	35,98	18,62
18/4	3,37	173,63	6,92	41,44	37,37	21,52
19/4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20/4	3,67	6,05	0,17	1,44	1,28	21,20
21/4	3,02	27,68	1,50	3,99	3,56	12,88
22/4	3,05	147,33	8,00	25,60	23,04	15,64
23/4	3,53	146,89	3,17	19,55	17,27	11,76
24/4	3,21	12,82	0,58	0,63	0,61	4,72
25/4	3,53	135,63	4,33	29,38	27,17	20,03
26/4	3,58	703,74	22,58	212,70	186,97	26,57
27/4	3,76	630,75	17,17	163,50	144,47	22,90
28/4	3,15	89,96	4,33	19,46	17,20	19,12
29/4	3,08	6,35	0,33	0,37	0,35	5,56
30/4	3,04	99,75	5,17	15,52	13,99	14,03
1/5	3,32	430,52	16,75	83,77	75,57	17,55
2/5	3,36	399,15	15,25	96,06	84,84	21,26
3/5	3,65	443,84	13,42	120,76	105,99	23,88
4/5	3,37	249,41	9,67	56,74	50,12	20,10
5/5	3,27	17,07	0,75	2,06	1,79	10,48
6/5	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7/5	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8/5	3,22	92,33	4,17	19,82	17,29	18,73
9/5	3,27	183,32	7,92	49,76	42,76	23,33
10/5	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11/5	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12/5	2,67	2,05	0,17	0,10	0,09	4,44
13/5	2,69	1,99	0,17	0,08	0,07	3,60
14/5	2,63	1,85	0,17	0,11	0,10	5,63
<b>TOTAL</b>	<b>2,61</b>	<b>4240,66</b>	<b>151,17</b>	<b>1013,47</b>	<b>897,71</b>	<b>21,17</b>

\* Dia sem vento

Tabela 40. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P8 (15/04 a 14/05 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/4	599,75	13278,52	10,25	63,85	944,89	7,12
16/4	459,60	9679,08	9,75	58,35	836,09	8,64
17/4	589,41	13049,64	10,25	66,22	1011,30	7,75
18/4	466,45	11166,81	11,08	62,23	898,85	8,05
19/4	556,31	12717,26	10,58	67,41	982,78	7,73
20/4	574,42	12924,47	10,42	70,37	1043,31	8,07
21/4	586,88	13521,69	10,67	70,21	1054,22	7,80
22/4	594,96	13279,55	10,33	64,96	976,82	7,36
23/4	467,00	10507,52	10,42	62,96	924,26	8,80
24/4	589,73	13481,16	10,58	73,63	1114,89	8,27
25/4	171,77	3771,96	10,17	30,00	370,44	9,82
26/4	227,22	4703,49	9,58	35,87	444,77	9,46
27/4	455,43	10247,18	10,42	74,56	1024,38	10,00
28/4	87,81	1817,70	9,58	12,34	154,62	8,51
29/4	458,81	9745,08	9,83	63,81	898,85	9,22
30/4	618,80	13477,46	10,08	78,64	1163,11	8,63
1/5	553,58	12654,81	10,58	75,07	1118,85	8,84
2/5	500,11	11522,62	10,67	72,93	1038,55	9,01
3/5	659,12	14948,74	10,50	77,21	1183,27	7,92
4/5	653,74	14826,88	10,50	78,34	1175,89	7,93
5/5	637,01	14447,33	10,50	82,81	1208,69	8,37
6/5	555,83	12806,25	10,67	81,99	1179,18	9,21
7/5	550,59	12090,99	10,17	77,88	1113,67	9,21
8/5	569,99	12516,89	10,17	76,62	1078,81	8,62
9/5	309,63	7022,38	10,50	55,57	708,61	10,09
10/5	463,12	9836,59	9,83	73,87	997,57	10,14
11/5	605,90	13523,62	10,33	77,39	1113,85	8,24
12/5	603,61	13581,17	10,42	75,43	1097,14	8,08
13/5	520,65	11433,38	10,17	72,18	1032,75	9,03
14/5	612,21	13444,09	10,17	76,01	1113,09	8,28
<b>TOTAL</b>	<b>509,98</b>	<b>342024,30</b>	<b>309,17</b>	<b>2008,70</b>	<b>29003,51</b>	<b>8,48</b>

Tabela 41. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P8 (15/04 a 14/05 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/4	63,06	6,98	12,96	10,97	688,38	168,44	13278,52	944,89	7,12
16/4	59,32	6,61	9,57	10,87	615,52	131,66	9724,42	845,90	8,70
17/4	61,32	6,94	7,82	10,96	670,29	108,59	13242,85	1047,28	7,91
18/4	59,33	7,06	9,52	11,04	670,37	128,78	11340,44	936,22	8,26
19/4	61,66	7,00	6,52	10,96	688,50	97,31	12717,26	982,78	7,73
20/4	62,85	7,04	5,21	10,96	695,34	81,66	12930,52	1044,59	8,08
21/4	61,81	6,91	6,22	10,95	689,49	93,62	13549,37	1057,79	7,81
22/4	59,98	7,09	8,29	11,01	687,07	116,83	13426,87	999,86	7,45
23/4	56,43	6,79	6,56	10,91	619,50	106,09	10654,40	941,53	8,84
24/4	62,70	7,08	3,78	10,97	698,54	65,62	13493,99	1115,50	8,27
25/4	61,69	7,07	-23,74	10,56	592,81	-233,05	3907,59	397,61	10,18
26/4	58,35	7,96	0,46	10,54	550,43	15,86	5407,23	631,74	11,68
27/4	66,78	10,13	18,21	10,78	810,42	226,70	10877,94	1168,85	10,75
28/4	18,22	2,51	-0,35	10,61	95,80	0,35	1907,66	171,82	9,01
29/4	70,32	9,38	7,51	10,77	709,01	122,14	9751,42	899,21	9,22
30/4	67,53	12,40	8,83	10,78	842,16	146,26	13577,21	1177,11	8,67
1/5	67,70	12,44	7,99	10,82	845,13	127,94	13085,33	1194,42	9,13
2/5	70,46	12,45	4,18	10,83	873,81	86,81	11921,77	1123,40	9,42
3/5	69,44	12,59	13,24	10,95	874,46	190,44	15392,58	1289,26	8,38
4/5	71,38	12,54	8,88	10,91	898,76	143,47	15076,30	1226,01	8,13
5/5	69,88	12,50	6,45	10,87	878,95	117,66	14464,40	1210,48	8,37
6/5	70,04	12,43	2,63	10,81	881,15	68,30	12806,25	1179,18	9,21
7/5	69,26	12,40	4,57	10,80	864,24	94,57	12090,99	1113,67	9,21
8/5	71,65	12,20	9,71	10,81	849,34	155,21	12609,22	1096,10	8,69
9/5	75,27	9,86	-3,73	10,53	693,71	-15,45	7205,70	751,37	10,43
10/5	90,26	6,02	18,35	10,71	673,02	218,97	9836,59	997,57	10,14
11/5	65,23	6,87	16,91	10,96	737,95	217,36	13523,62	1113,85	8,24
12/5	64,97	6,85	13,10	10,97	739,75	173,78	13583,21	1097,24	8,08
13/5	62,42	6,65	7,94	10,89	681,68	114,54	11435,37	1032,82	9,03
14/5	64,26	6,81	11,90	10,97	731,18	158,64	13445,94	1113,19	8,28
<b>TOTAL</b>	<b>1933,58</b>	<b>8,72</b>	<b>209,51</b>	<b>10,85</b>	<b>21546,74</b>	<b>3229,11</b>	<b>346264,95</b>	<b>29901,22</b>	<b>8,64</b>

Tabela 42. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P9 (15/05 a 14/06 de 2005).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária (ms <sup>-1</sup> )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/5	*0	0	0	0	0	0
16/5	2,65	3,00	0,25	0,21	0,20	6,54
17/5	3,06	1,46	0,08	0,12	0,12	8,10
18/5	2,43	0,73	0,08	0,01	0,01	1,42
19/5	2,21	0,54	0,08	0,03	0,03	5,41
20/5	*0	0	0	0	0	0
21/5	4,29	474,87	7,92	89,14	78,58	16,55
22/5	3,05	28,64	1,50	4,77	4,23	14,79
23/5	3,08	142,40	7,42	23,01	20,25	14,22
24/5	3,96	148,85	2,50	20,20	17,65	11,86
25/5	4,25	308,08	4,92	67,31	59,84	19,42
26/5	3,29	51,64	2,08	6,54	6,16	11,93
27/5	3,20	45,27	2,08	5,74	5,38	11,88
28/5	3,18	57,50	2,75	5,27	4,83	8,41
29/5	*0	0	0	0	0	0
30/5	3,42	17,55	0,67	2,07	1,96	11,19
31/5	3,05	43,84	2,33	5,18	4,90	11,17
1/6	3,40	135,87	5,08	23,82	21,71	15,98
2/6	3,47	35,72	1,25	10,15	9,01	25,22
3/6	*0	0	0	0	0	0
4/6	3,33	24,60	1,00	2,35	2,15	8,72
5/6	3,07	18,57	1,00	1,96	1,72	9,28
6/6	3,23	23,91	1,08	2,72	2,60	10,89
7/6	3,24	18,22	0,83	1,85	1,68	9,25
8/6	2,78	1,12	0,08	0,12	0,10	9,09
9/6	*0	0	0	0	0	0
10/6	3,75	2,78	0,08	0,29	0,26	9,30
11/6	*0	0	0	0	0	0
12/6	*0	0	0	0	0	0
13/6	2,63	2,84	0,25	0,09	0,09	3,03
14/6	*0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>2,39</b>	<b>1588,01</b>	<b>45,33</b>	<b>272,95</b>	<b>243,46</b>	<b>15,33</b>

\* Dia sem vento

Tabela 43. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P9 (15/05 a 14/06 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/5	542,92	11824,86	10,08	70,81	1011,44	8,55
16/5	536,03	11385,32	9,83	67,73	970,10	8,52
17/5	435,47	9876,41	10,50	70,72	978,43	9,91
18/5	528,56	11702,25	10,25	72,70	1034,90	8,84
19/5	532,35	11881,98	10,33	72,86	1054,78	8,88
20/5	463,04	10001,65	10,00	64,56	895,33	8,95
21/5	151,89	3007,38	9,17	21,81	277,71	9,23
22/5	73,98	1478,08	9,25	9,61	119,99	8,12
23/5	392,50	8336,79	9,83	63,78	838,31	10,06
24/5	108,26	1520,01	6,50	10,84	134,45	8,85
25/5	142,86	2957,30	9,58	21,87	283,35	9,58
26/5	631,29	13294,97	9,75	91,73	1308,68	9,84
27/5	627,64	13669,89	10,08	74,21	1094,89	8,01
28/5	640,37	13831,97	10,00	76,72	1140,14	8,24
29/5	626,18	13525,45	10,00	78,52	1153,50	8,53
30/5	245,20	5075,65	9,58	39,09	510,47	10,06
31/5	531,70	11771,91	10,25	88,49	1208,30	10,26
1/6	295,33	6325,89	9,92	49,17	627,27	9,92
2/6	489,48	10748,90	10,17	81,99	1109,32	10,32
3/6	604,28	13161,14	10,08	94,02	1299,64	9,87
4/6	600,48	13078,44	10,08	96,33	1327,20	10,15
5/6	601,16	13093,22	10,08	92,73	1288,01	9,84
6/6	609,66	13168,70	10,00	90,36	1270,06	9,64
7/6	604,49	12948,20	9,92	88,03	1241,10	9,59
8/6	531,86	11488,09	10,00	82,01	1140,22	9,93
9/6	589,60	12310,94	9,67	83,20	1170,75	9,51
10/6	487,48	10354,06	9,83	75,17	1031,77	9,96
11/6	581,75	12461,12	9,92	81,51	1152,00	9,24
12/6	582,00	12361,71	9,83	81,04	1144,24	9,26
13/6	549,17	11862,03	10,00	78,69	1107,71	9,34
14/6	550,28	11786,99	9,92	78,73	1108,14	9,40
<b>TOTAL</b>	<b>480,23</b>	<b>320291,28</b>	<b>304,42</b>	<b>2149,04</b>	<b>30032,19</b>	<b>9,38</b>

Tabela 44. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P9 (15/05 a 14/06 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/5	62,18	6,71	10,08	10,93	697,25	137,51	11824,86	1011,44	8,55
16/5	63,13	6,72	12,99	10,94	704,55	169,33	11388,32	970,29	8,52
17/5	64,56	6,32	9,60	10,94	718,85	126,96	9877,87	978,54	9,91
18/5	63,42	6,67	7,17	10,94	700,50	97,41	11702,98	1034,91	8,84
19/5	64,03	6,58	6,35	10,93	696,35	90,60	11882,52	1054,81	8,88
20/5	62,82	6,60	11,29	10,91	676,37	149,47	10001,65	895,33	8,95
21/5	50,80	6,67	-20,20	10,60	494,27	-196,67	3482,25	356,29	10,23
22/5	32,36	6,12	-7,78	10,42	141,26	-74,88	1506,72	124,23	8,24
23/5	99,12	6,43	6,25	10,51	664,15	84,63	8479,18	858,56	10,13
24/5	65,74	2,48	0,21	10,33	73,14	4,70	1668,85	152,10	9,11
25/5	41,70	5,04	11,08	10,56	130,47	129,58	3265,38	343,19	10,51
26/5	95,40	6,89	28,06	10,83	761,33	343,24	13346,62	1314,84	9,85
27/5	66,93	6,99	23,69	10,98	777,80	300,66	13715,17	1100,27	8,02
28/5	66,09	6,96	16,02	10,98	767,95	209,10	13889,48	1144,97	8,24
29/5	65,41	6,90	12,21	10,96	752,74	161,17	13525,45	1153,50	8,53
30/5	75,47	7,52	-35,87	10,69	826,60	-359,69	5093,20	512,43	10,06
31/5	86,65	11,19	-2,18	10,86	1056,93	17,22	11815,75	1213,20	10,27
1/6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6461,76	648,98	10,04
2/6	86,80	11,21	-7,88	10,83	1047,78	-45,14	10784,62	1118,33	10,37
3/6	85,16	8,71	7,41	10,90	1022,65	124,26	13161,14	1299,64	9,87
4/6	87,70	11,24	3,77	10,84	1070,28	85,47	13103,04	1329,34	10,15
5/6	81,17	7,64	12,06	10,93	957,32	175,09	13111,78	1289,73	9,84
6/6	79,75	7,65	11,34	10,96	954,37	168,80	13192,61	1272,66	9,65
7/6	79,20	7,64	10,60	11,00	951,70	162,28	12966,42	1242,78	9,58
8/6	74,06	7,30	7,58	10,94	879,09	121,11	11489,22	1140,32	9,93
9/6	76,05	7,41	9,99	11,00	905,56	151,87	12310,94	1170,75	9,51
10/6	69,03	6,71	6,93	10,88	795,31	101,68	10356,83	1032,02	9,96
11/6	73,45	7,36	8,92	11,01	879,27	136,70	12461,12	1152,00	9,24
12/6	72,58	7,28	8,45	11,00	868,35	130,15	12361,71	1144,24	9,26
13/6	71,15	7,23	8,38	11,00	847,06	128,51	11864,88	1107,79	9,34
14/6	70,49	7,24	7,65	11,00	840,62	117,30	11786,99	1108,14	9,40
<b>TOTAL</b>	<b>2132,40</b>	<b>7,01</b>	<b>184,17</b>	<b>10,50</b>	<b>22659,85</b>	<b>2948,40</b>	<b>321879,30</b>	<b>30275,65</b>	<b>9,41</b>

Tabela 45. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P10 (15/06 a 14/07 de 2005).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária ( $\text{ms}^{-1}$ )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/6	3,04	1,47	0,08	0,03	0,03	1,86
16/6	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17/6	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18/6	4,72	287,67	3,92	53,66	49,44	17,19
19/6	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20/6	3,25	19,14	0,75	7,49	6,30	32,89
21/6	3,88	785,79	19,92	217,33	193,73	24,65
22/6	3,82	727,07	18,92	196,47	175,86	24,19
23/6	3,53	244,68	8,42	50,59	45,60	18,64
24/6	2,84	3,68	0,25	0,38	0,33	9,10
25/6	3,30	53,04	2,25	8,86	7,83	14,77
26/6	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/6	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/6	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/6	5,75	183,03	1,42	42,97	38,56	21,07
30/6	2,82	1,17	0,08	0,09	0,08	6,65
1/7	3,04	17,25	0,92	2,35	2,19	12,71
2/7	2,32	0,64	0,08	0,03	0,03	4,23
3/7	2,43	0,74	0,08	0,01	0,01	1,81
4/7	3,64	2,47	0,08	0,29	0,27	10,87
5/7	3,22	86,44	3,92	16,91	14,67	16,98
6/7	3,43	343,10	12,75	72,38	64,23	18,72
7/7	4,05	853,25	18,58	253,41	223,99	26,25
8/7	4,48	1115,72	18,00	275,76	245,61	22,01
9/7	3,96	594,99	13,08	141,95	126,24	21,22
10/7	3,03	43,36	2,33	5,18	4,68	10,80
11/7	3,46	58,88	2,08	10,42	9,51	16,15
12/7	2,68	17,90	1,42	1,89	1,74	9,70
13/7	3,09	118,36	6,08	17,44	15,65	13,22
14/7	3,25	82,88	3,50	14,58	13,25	15,99
<b>TOTAL</b>	<b>2,77</b>	<b>5642,71</b>	<b>138,92</b>	<b>1390,45</b>	<b>1239,81</b>	<b>21,97</b>

\* Dia sem vento

Tabela 46. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P10 (15/06 a 14/07 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/6	549,1308	11861,23	10,00	79,24	1117,08	9,42
16/6	552,273	11829,69	9,92	77,25	1087,13	9,19
17/6	559,4734	11983,92	9,92	87,48	1220,50	10,18
18/6	224,4029	4806,71	9,92	36,17	466,02	9,70
19/6	258,4003	5627,96	10,08	43,40	552,41	9,82
20/6	145,5699	2803,68	8,92	20,94	261,61	9,33
21/6	197,8771	4024,82	9,42	29,90	378,71	9,41
22/6	479,7561	10276,37	9,92	77,90	1057,83	10,29
23/6	612,7344	13014,48	9,83	86,36	1235,35	9,49
24/6	426,9684	9145,66	9,92	68,63	937,16	10,25
25/6	535,5326	11567,50	10,00	80,87	1152,90	9,97
26/6	590,0415	12744,90	10,00	78,10	1129,87	8,87
27/6	467,0953	10173,34	10,08	73,20	1013,46	9,96
28/6	125,008	2565,16	9,50	19,30	235,83	9,19
29/6	402,2932	8327,47	9,58	62,85	837,89	10,06
30/6	529,4447	11436,00	10,00	84,74	1150,37	10,06
1/7	612,5203	13120,18	9,92	87,88	1254,24	9,56
2/7	589,4252	12625,49	9,92	79,99	1138,54	9,02
3/7	589,9212	12636,11	9,92	76,14	1101,94	8,72
4/7	573,9918	12294,90	9,92	72,02	1046,89	8,51
5/7	176,9097	3566,50	9,33	25,51	333,98	9,36
6/7	375,7738	7913,80	9,75	59,30	780,72	9,87
7/7	545,0311	11184,04	9,50	83,24	1175,02	10,51
8/7	564,6271	12094,31	9,92	79,86	1136,64	9,40
9/7	646,9932	14207,97	10,17	80,29	1214,17	8,55
10/7	478,0927	10584,97	10,25	71,92	1033,19	9,76
11/7	500,5814	10812,56	10,00	72,10	1017,05	9,41
12/7	617,3431	13445,73	10,08	75,81	1129,44	8,40
13/7	635,4713	13840,57	10,08	70,55	1072,62	7,75
14/7	632,0466	13879,74	10,17	70,47	1066,88	7,69
<b>TOTAL</b>	<b>473,16</b>	<b>304395,77</b>	<b>295,92</b>	<b>2011,41</b>	<b>28335,46</b>	<b>9,31</b>



Tabela 47. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P10 (15/06 a 14/07 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/6	71,29	7,24	7,47	11,01	853,96	117,62	11862,70	1117,11	9,42
16/6	70,73	7,16	10,67	11,02	845,39	156,24	11829,69	1087,13	9,19
17/6	85,25	8,82	0,64	10,97	1036,33	54,57	11983,92	1220,50	10,18
18/6	51,82	9,20	-14,83	10,67	597,87	-142,89	5094,38	515,46	10,12
19/6	64,49	7,99	-22,06	10,54	704,52	-210,97	5627,96	552,41	9,82
20/6	42,28	5,19	-17,75	10,47	389,80	-178,63	2822,82	267,91	9,49
21/6	55,18	6,83	-8,22	10,68	604,82	-71,89	4810,61	572,44	11,90
22/6	74,87	10,54	16,14	10,84	908,85	203,91	11003,44	1233,70	11,21
23/6	76,79	7,62	12,71	11,08	927,42	183,03	13259,16	1280,94	9,66
24/6	60,67	6,50	6,98	10,87	710,88	101,03	9149,34	937,49	10,25
25/6	70,29	7,24	10,14	11,03	848,00	151,93	11620,54	1160,73	9,99
26/6	68,64	7,10	11,43	11,02	820,93	161,47	12744,90	1129,87	8,87
27/6	65,79	7,03	7,99	10,98	778,92	117,31	10173,34	1013,46	9,96
28/6	31,86	2,95	-10,93	10,60	276,88	-108,78	2565,16	235,83	9,19
29/6	77,53	11,03	-10,95	10,62	883,76	-90,67	8510,50	876,45	10,30
30/6	76,71	6,55	23,32	10,76	705,68	284,45	11437,17	1150,44	10,06
1/7	70,56	7,28	16,03	11,01	844,74	215,43	13137,43	1256,43	9,56
2/7	66,52	7,06	12,49	11,03	802,63	170,08	12626,12	1138,57	9,02
3/7	63,31	6,91	10,48	11,01	760,00	143,69	12636,85	1101,95	8,72
4/7	61,71	6,82	10,55	10,98	730,50	144,08	12297,37	1047,16	8,52
5/7	45,34	6,53	-18,96	10,62	483,96	-185,40	3652,94	348,66	9,54
6/7	69,85	10,36	-0,50	10,58	734,72	27,11	8256,89	844,94	10,23
7/7	82,18	10,08	16,76	10,82	926,68	209,51	12037,29	1399,01	11,62
8/7	87,43	12,24	12,03	11,04	1081,34	175,37	13210,04	1382,24	10,46
9/7	78,68	10,90	16,53	11,05	979,51	227,65	14802,96	1340,41	9,05
10/7	61,54	6,81	8,15	10,97	721,57	117,13	10628,33	1037,88	9,77
11/7	62,78	6,67	8,65	10,97	749,77	117,23	10871,44	1026,56	9,44
12/7	63,31	6,97	10,59	11,02	759,37	146,78	13463,63	1131,18	8,40
13/7	62,54	6,93	13,71	11,05	746,66	182,36	13958,93	1088,26	7,80
14/7	60,23	6,81	16,78	11,09	712,78	215,01	13962,62	1080,13	7,74
<b>TOTAL</b>	<b>1980,17</b>	<b>7,71</b>	<b>156,03</b>	<b>10,88</b>	<b>22928,23</b>	<b>2633,74</b>	<b>310038,48</b>	<b>29598,13</b>	<b>9,54</b>

Tabela 48. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P11 (15/07 a 14/08 de 2005).

Dia/Mês	Velocidade do Vento Média Diária (ms <sup>-1</sup> )	Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh <sup>-1</sup> )	Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)	Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)	Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)	Rendimento do Aerogerador (%)
15/7	3,46	2,19	0,08	0,01	0,01	0,63
16/7	2,61	19,54	1,67	3,38	3,28	16,77
17/7	4,54	420,49	6,00	45,18	40,34	9,59
18/7	2,82	4,65	0,25	0,50	0,44	9,39
19/7	3,08	103,60	5,25	15,50	13,85	13,37
20/7	3,75	674,44	18,17	132,42	119,38	17,70
21/7	3,80	466,84	12,67	114,72	102,30	21,91
22/7	2,84	13,14	0,83	1,54	1,40	10,64
23/7	3,22	71,38	3,25	11,81	10,61	14,86
24/7	3,07	48,62	2,42	5,99	5,22	10,75
25/7	4,14	373,01	7,33	61,79	55,74	14,94
26/7	2,71	5,59	0,42	0,54	0,51	9,18
27/7	3,14	120,21	5,75	20,48	18,41	15,31
28/7	3,14	1,62	0,08	0,06	0,05	3,25
29/7	2,87	4,04	0,25	0,31	0,30	7,36
30/7	2,77	12,79	0,92	1,28	1,21	9,45
31/7	2,89	2,54	0,17	0,11	0,10	3,88
1/8	2,70	4,15	0,33	0,36	0,33	8,06
2/8	2,24	0,58	0,08	0,03	0,03	5,45
3/8	3,01	1,40	0,08	0,02	0,02	1,21
4/8	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5/8	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6/8	2,47	0,78	0,08	0,01	0,01	1,36
7/8	3,27	107,52	4,58	18,36	16,66	15,49
8/8	3,68	464,39	14,00	120,67	108,35	23,33
9/8	4,74	1015,65	10,67	188,27	168,14	16,55
10/8	5,76	722,70	5,00	104,58	94,06	13,01
11/8	*0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12/8	2,98	29,66	1,67	3,31	2,99	10,10
13/8	2,55	111,22	7,50	25,58	23,40	21,04
14/8	2,14	22,53	2,33	5,35	4,94	21,93
<b>TOTAL</b>	<b>2,92</b>	<b>4825,27</b>	<b>111,83</b>	<b>882,16</b>	<b>792,10</b>	<b>16,42</b>

\* Dia sem vento

Tabela 49. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P11 (15/07 a 14/08 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/7	610,34	13293,24	10,08	71,22	1066,58	8,02
16/7	582,79	12693,12	10,08	72,61	1061,08	8,36
17/7	275,27	5698,01	9,58	32,45	471,56	8,28
18/7	163,97	3600,77	10,17	26,93	342,53	9,51
19/7	391,36	8594,22	10,17	63,55	859,81	10,00
20/7	463,78	10184,66	10,17	69,04	965,83	9,48
21/7	482,39	10419,56	10,00	68,65	985,48	9,46
22/7	499,33	11055,06	10,25	66,64	956,25	8,65
23/7	391,38	8524,33	10,08	59,85	810,89	9,51
24/7	178,19	3688,46	9,58	27,09	337,32	9,15
25/7	627,92	13449,95	9,92	97,55	1374,25	10,22
26/7	626,17	14088,88	10,42	84,56	1261,16	8,95
27/7	309,15	6788,84	10,17	50,88	682,43	10,05
28/7	589,89	13272,54	10,42	72,65	1058,84	7,98
29/7	554,17	12169,50	10,17	71,50	1040,13	8,55
30/7	626,92	13767,27	10,17	71,83	1080,17	7,85
31/7	615,79	13855,18	10,42	66,93	1006,73	7,27
1/8	613,18	13686,27	10,33	73,13	1095,14	8,00
2/8	622,03	13771,82	10,25	68,65	1021,51	7,42
3/8	616,30	13866,84	10,42	74,23	1117,10	8,06
4/8	632,20	14224,43	10,42	71,38	1069,30	7,52
5/8	613,12	13684,93	10,33	71,76	1048,49	7,66
6/8	600,78	13517,54	10,42	68,68	1015,08	7,51
7/8	604,57	13493,90	10,33	71,37	1061,25	7,86
8/8	511,16	11317,01	10,25	67,63	967,82	8,55
9/8	330,69	7321,39	10,25	54,23	723,13	9,88
10/8	491,73	11240,88	10,58	68,81	993,65	8,84
11/8	463,84	10770,47	10,75	59,33	844,68	7,84
12/8	626,14	14426,31	10,67	76,43	1166,02	8,08
13/8	626,19	14427,44	10,67	67,44	1024,78	7,10
14/8	617,17	13886,42	10,42	72,46	1090,34	7,85
<b>TOTAL</b>	<b>514,77</b>	<b>354779,24</b>	<b>317,92</b>	<b>2039,45</b>	<b>29599,36</b>	<b>8,34</b>

Tabela 50. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P11 (15/07 a 14/08 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/7	62,51	6,95	8,06	11,06	741,69	116,77	13295,43	1066,59	8,02
16/7	59,82	6,79	11,56	11,06	707,39	151,98	12712,67	1064,36	8,37
17/7	40,59	4,26	-2,24	10,79	413,25	-2,76	6118,50	511,90	8,37
18/7	31,86	3,45	-2,20	10,64	272,86	-11,95	3605,42	342,97	9,51
19/7	57,56	6,02	11,82	10,78	600,40	152,31	8697,82	873,66	10,04
20/7	69,07	9,36	7,52	10,96	821,06	106,14	10859,09	1085,22	9,99
21/7	64,51	10,13	11,69	10,97	786,08	159,27	10886,40	1087,78	9,99
22/7	59,77	6,71	12,44	11,06	684,66	162,34	11068,20	957,64	8,65
23/7	57,44	6,42	7,29	10,91	640,47	98,54	8595,71	821,49	9,56
24/7	56,40	7,74	-30,77	10,56	607,16	-308,75	3737,08	342,55	9,17
25/7	75,29	9,72	25,98	10,81	899,02	329,00	13822,95	1429,99	10,35
26/7	66,40	7,12	16,62	11,08	778,07	218,62	14094,48	1261,67	8,95
27/7	51,52	6,24	1,72	10,87	553,18	45,87	6909,05	700,84	10,14
28/7	63,85	6,98	14,49	11,01	745,77	191,89	13274,17	1058,89	7,98
29/7	56,90	6,63	12,69	11,01	662,83	165,15	12173,54	1040,43	8,55
30/7	58,97	6,74	10,51	11,06	685,64	140,05	13780,06	1081,38	7,85
31/7	58,09	6,71	14,85	11,07	680,48	192,03	13857,72	1006,83	7,27
1/8	60,68	0,00	5,02	0,00	717,85	79,14	13690,42	1095,47	8,00
2/8	61,32	1,00	13,64	1,00	722,92	179,34	13772,39	1021,54	7,42
3/8	61,49	2,00	6,65	2,00	725,41	98,90	13868,24	1117,12	8,06
4/8	61,68	3,00	9,35	3,00	727,62	130,78	14224,43	1069,30	7,52
5/8	61,64	4,00	7,72	4,00	735,18	111,21	13684,93	1048,49	7,66
6/8	62,10	5,00	12,11	5,00	739,97	163,69	13518,32	1015,09	7,51
7/8	62,18	6,00	12,90	6,00	742,00	170,85	13601,42	1077,91	7,92
8/8	68,00	7,00	11,01	7,00	841,86	150,56	11781,40	1076,18	9,13
9/8	73,93	8,00	-9,74	8,00	913,47	-77,25	8337,04	891,27	10,69
10/8	63,51	9,00	12,04	9,00	761,41	178,06	11963,58	1087,71	9,09
11/8	56,53	10,00	14,26	10,00	641,88	192,63	10770,47	844,68	7,84
12/8	63,08	11,00	10,77	11,00	745,52	151,02	14455,97	1169,02	8,09
13/8	62,39	12,00	15,52	12,00	736,52	205,99	14538,65	1048,18	7,21
14/8	62,03	13,00	7,32	13,00	732,77	109,09	13908,95	1095,28	7,87
<b>TOTAL</b>	<b>1871,13</b>	<b>6,74</b>	<b>260,58</b>	<b>8,93</b>	<b>21764,38</b>	<b>3750,49</b>	<b>359604,51</b>	<b>30391,45</b>	<b>8,45</b>

Tabela 51. Características da energia eólica, velocidade do vento, energia gerada e rendimento do aerogerador AIR-X no período P12 (15/08 a 14/09 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Velocidade do Vento Média Diária (ms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Eólica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Aerogerador (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Aerogerador Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Aerogerador (%)</b>
15/8	2,00	24,47	3,58	0,79	8,85	36,16
16/8	3,27	66,22	2,92	1,08	11,70	17,67
17/8	2,58	4,58	0,42	0,02	0,26	5,79
18/8	3,26	110,08	4,75	1,58	17,34	15,75
19/8	3,84	430,47	11,25	9,65	104,10	24,18
20/8	3,37	255,86	10,00	5,21	55,78	21,80
21/8	3,62	283,67	8,75	6,52	70,95	25,01
22/8	2,77	32,88	2,33	0,41	4,53	13,77
23/8	2,68	19,38	1,50	0,21	2,34	12,10
24/8	4,14	365,81	7,50	6,93	73,63	20,13
25/8	3,39	135,16	5,08	2,44	26,44	19,56
26/8	3,28	244,22	10,08	4,47	47,44	19,42
27/8	3,02	26,77	1,33	0,43	4,62	17,26
28/8	2,39	7,52	0,83	0,04	0,47	6,27
29/8	2,75	32,08	2,50	0,26	2,96	9,23
30/8	3,59	118,98	2,92	1,14	11,98	10,07
31/8	3,48	135,29	3,75	2,66	27,90	20,63
1/9	6,78	1966,54	8,33	21,46	231,03	11,75
2/9	4,12	395,81	4,08	0,60	6,49	1,64
3/9	3,41	128,49	4,92	2,43	26,48	20,61
4/9	3,69	155,81	4,33	3,55	38,11	24,46
5/9	4,91	131,43	1,17	2,37	25,98	19,77
6/9	3,38	148,44	5,67	3,27	35,38	23,83
7/9	3,46	496,73	17,67	10,72	115,14	23,18
8/9	3,79	670,52	17,83	16,12	174,30	25,99
9/9	3,13	208,19	10,08	3,15	34,44	16,54
10/9	3,00	49,35	2,83	0,62	6,94	14,06
11/9	3,88	261,49	5,67	5,92	63,11	24,14
12/9	3,86	518,03	12,92	11,74	126,35	24,39
13/9	4,20	1180,51	23,08	35,80	378,71	32,08
14/9	4,09	1070,99	22,25	28,11	299,52	27,97
<b>TOTAL</b>	<b>3,52</b>	<b>9675,77</b>	<b>220,33</b>	<b>189,70</b>	<b>2033,26</b>	<b>21,01</b>

\* Dia sem vento

Tabela 52. Características da energia solar, irradiância, energia gerada e rendimento do painel fotovoltaico com módulos ISOFOTON no período P12 (15/08 a 14/09 de 2005).

<b>Dia/Mês</b>	<b>Irradiância Solar Média Diária (W)</b>	<b>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</b>	<b>Número de Horas Total Diária de Geração Fotovoltaica (h)</b>	<b>Corrente Elétrica Total Diária do Painel Fotovoltaico (Ah)</b>	<b>Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico Total Diária (Wh)</b>	<b>Rendimento do Painel Fotovoltaico (%)</b>
15/8	559,64	12793,46	10,58	72,28	1063,77	8,31
16/8	535,72	11957,28	10,33	68,85	1008,33	8,43
17/8	594,20	13262,64	10,33	71,59	1052,16	7,93
18/8	368,23	8417,80	10,58	62,08	843,63	10,02
19/8	560,79	12617,68	10,42	65,97	985,44	7,81
20/8	554,44	12774,30	10,67	78,81	1138,87	8,92
21/8	586,72	13623,66	10,75	68,09	1017,34	7,47
22/8	580,95	13071,26	10,42	68,73	1009,23	7,72
23/8	595,10	13604,01	10,58	69,92	1038,31	7,63
24/8	302,95	5725,83	8,75	40,31	531,32	9,28
25/8	537,24	12571,51	10,83	89,52	1262,51	10,04
26/8	532,02	12257,79	10,67	79,98	1135,20	9,26
27/8	426,28	8286,79	9,00	63,77	862,16	10,40
28/8	563,51	12577,49	10,33	70,39	1031,96	8,20
29/8	520,60	11900,95	10,58	69,32	999,10	8,40
30/8	328,42	7271,28	10,25	50,56	674,45	9,28
31/8	314,97	7143,59	10,50	53,48	684,85	9,59
1/9	443,14	9890,80	10,33	72,89	969,38	9,80
2/9	595,71	13510,80	10,50	84,00	1217,77	9,01
3/9	595,75	14262,15	11,08	79,66	1185,86	8,31
4/9	388,92	9240,74	11,00	65,83	889,23	9,62
5/9	454,38	10468,90	10,67	72,60	1013,07	9,68
6/9	472,64	11144,85	10,92	67,71	983,80	8,83
7/9	533,54	12773,02	11,08	69,79	1043,45	8,17
8/9	531,02	12616,96	11,00	61,60	924,99	7,33
9/9	531,24	12526,71	10,92	68,14	1004,08	8,02
10/9	494,15	11296,32	10,58	61,62	910,49	8,06
11/9	415,35	9569,75	10,67	57,00	815,63	8,52
12/9	272,20	5830,52	9,92	42,37	559,49	9,60
13/9	187,57	4119,08	10,17	29,22	365,09	8,86
14/9	232,13	5222,88	10,42	37,58	477,41	9,14
<b>TOTAL</b>	<b>471,28</b>	<b>332330,84</b>	<b>324,83</b>	<b>2013,65</b>	<b>28698,40</b>	<b>8,64</b>

Tabela 53. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, carga e descarga da bateria e energia consumida pela carga no período P12 (15/08 a 14/09 de 2005).

Dia/Mês	Corrente Total Diária Carga (Ah)	Tensão Média Diária Carga (V)	Corrente Total Diária Bateria (Ah)	Tensão Média Diária Bateria (V)	Energia Total Diária Consumida Carga (Wh)	Balanco de Energia Total Diária Bateria (Wh)	Energia Solar + Eólica Disponível (Wh)	Energia Total Diária Gerada Pelo Sistema Híbrido (Wh)	Rendimento do Sistema Híbrido (%)
15/8	61,28	7,03	6,02	11,00	722,86	91,12	12817,93	12817,93	8,37
16/8	61,95	6,82	9,45	11,01	721,41	129,20	12023,50	12023,50	8,48
17/8	62,03	7,12	8,71	11,02	730,03	122,19	13267,22	13267,22	7,93
18/8	57,33	6,80	7,12	10,90	649,37	99,84	8527,88	8527,88	10,10
19/8	68,89	9,77	10,87	11,08	839,83	152,00	13048,15	13048,15	8,35
20/8	73,82	10,78	3,58	11,02	913,21	75,59	13030,17	13030,17	9,17
21/8	63,95	8,31	12,37	11,10	769,91	166,03	13907,33	13907,33	7,83
22/8	61,96	7,12	9,76	11,02	729,68	133,99	13104,15	13104,15	7,74
23/8	62,14	7,11	8,17	11,01	725,41	115,63	13623,39	13623,39	7,64
24/8	65,68	8,71	-20,80	10,70	751,92	-196,00	6091,64	6091,64	9,93
25/8	68,08	10,73	17,49	10,86	837,47	230,20	12706,68	12706,68	10,14
26/8	74,32	10,77	10,39	11,00	914,01	154,45	12502,01	12502,01	9,46
27/8	57,54	6,05	6,16	10,84	661,20	85,86	8313,55	8313,55	10,43
28/8	60,74	7,06	13,85	10,99	699,12	178,22	12585,02	12585,02	8,20
29/8	59,64	6,88	9,90	10,96	667,22	128,42	11933,03	11933,03	8,40
30/8	67,14	8,66	-16,23	10,74	755,35	-143,74	7390,25	7390,25	9,29
31/8	67,79	10,84	-12,19	10,48	755,51	-110,88	7278,88	7278,88	9,79
1/9	83,69	8,86	18,93	10,65	854,09	225,46	11857,34	11857,34	10,12
2/9	60,49	6,87	18,42	10,94	716,73	227,75	13906,62	13906,62	8,80
3/9	60,46	7,10	13,67	11,08	719,20	176,63	14390,64	14390,64	8,42
4/9	65,19	10,53	0,56	10,90	788,01	21,64	9396,56	9396,56	9,87
5/9	65,62	10,27	7,37	10,93	793,52	110,73	10600,34	10600,34	9,80
6/9	57,55	7,66	15,47	11,05	683,20	196,86	11293,28	11293,28	9,02
7/9	67,73	10,99	7,07	11,03	842,92	103,67	13269,75	13269,75	8,73
8/9	67,98	11,46	16,64	11,12	858,84	219,01	13287,48	13287,48	8,27
9/9	66,66	10,37	10,50	11,02	802,91	148,97	12734,90	12734,90	8,15
10/9	55,61	6,84	14,04	11,06	619,70	181,21	11345,67	11345,67	8,09
11/9	57,52	6,90	7,22	10,98	623,14	102,26	9831,24	9831,24	8,94
12/9	64,14	8,91	-12,27	10,77	757,25	-117,60	6348,55	6348,55	10,80
13/9	67,26	12,05	-7,86	10,66	784,95	-69,11	5299,59	5299,59	14,03
14/9	60,57	10,11	1,59	10,66	703,95	28,73	6293,87	6293,87	12,34
<b>TOTAL</b>	<b>1994,76</b>	<b>8,69</b>	<b>195,96</b>	<b>10,92</b>	<b>23391,93</b>	<b>2968,33</b>	<b>342006,61</b>	<b>342006,61</b>	<b>8,99</b>

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)