

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

LUCIANO HAUSCHILD

**Avaliação de Estratégias de Operação de  
Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Eólico-Diesel**

São Paulo

2006

LUCIANO HAUSCHILD

**Avaliação de Estratégias de Operação de  
Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Eólico-Diesel**

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física) para obtenção do título de Mestre em Energia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Zilles

São Paulo

2006

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

### **FICHA CATALOGRÁFICA**

Hauschild, Luciano.

Avaliação de estratégias de operação de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico diesel / Luciano Hauschild; orientador Roberto Zilles. – São Paulo, 2006.

117 p. : il.; 30cm.

Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Sistemas híbridos
  2. Estratégias de operação
  3. Energia solar
  4. Energia eólica
  5. Eletrificação rural
- I. Título.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao professor Roberto Zilles, por sua disponibilidade e sábia orientação ao longo destes dois anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo apoio financeiro disponibilizado para a realização deste trabalho.

À Rosa, Adriana e demais funcionários do Instituto de Eletrotécnica e Energia, IEE, que auxiliaram na realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, LSF, Alaan, André, Cristina, Federico, Joaquim, Luis e Wilson, pelo apoio e ajuda durante todo o período de elaboração desta dissertação.

Ao Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, GEDAE, pelas contribuições e acolhimento durante os trabalhos de campo realizados no estado do Pará.

Aos professores e colegas do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, PIPGE, cujas aulas e convivência foram essenciais para meu aprendizado nas diversas áreas que englobam o tema energia.

Aos amigos, de São Paulo e do Rio Grande do Sul, pelo apoio, companhia, pelas conversas e conselhos, pelas pedaladas,...

À minha família, que sempre esteve presente ao longo deste período em que estivemos distantes fisicamente.

Por fim, ao meu pai, minha mãe e meu irmão, que sempre apoiaram incondicionalmente meus projetos de vida, que me ensinaram a valorizar as coisas simples e que possibilitaram que eu realizasse este trabalho.

*Certa vez, um macaco e um peixe foram colhidos por uma grande enchente. O macaco, ágil e experimentado, teve a boa sorte de trepar a uma árvore e salvar-se. Olhando lá embaixo as águas turbulentas, viu o peixe debatendo-se contra a corrente rápida. Movidado por um desejo humanitário de ajudar o seu companheiro menos afortunado, estendeu a mão e tirou o peixe da água. Com surpresa para o macaco, o peixe não ficou muito agradecido pelo auxílio.*

## RESUMO

HAUSCHILD, L. **Avaliação de Estratégias de Operação de Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Eólico-Diesel**. 2006. 117 p. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

Este trabalho faz uma avaliação de estratégias de operação de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-diesel utilizados para eletrificação rural descentralizada, aplicada a dois estudos de casos de localidades da Ilha do Cardoso, localizada no litoral sul do estado de São Paulo. Primeiramente são apresentadas as duas localidades, comunidade de Marujá e Núcleo Perequê, os princípios fundamentais de sistemas híbridos e uma técnica de dimensionamento de sistemas híbridos. A avaliação das estratégias de operação é feita por meio de simulações que utilizam dados coletados nas próprias localidades, como o perfil de consumo de energia elétrica e o potencial solar e eólico. Com esses dados foram feitas simulações com diferentes estratégias de operação e diferentes graus de participação das energias renováveis na energia total produzida pelo sistema, a fim de se obter resultados da operação do sistema, como consumo de óleo diesel e profundidade de descarga média do banco de baterias. A partir dos resultados das simulações foi feita uma análise econômica, utilizando a figura de mérito do custo de ciclo de vida (CCV), a fim de se determinar qual das estratégias é a mais adequada para a operação de sistemas híbridos de fornecimento de energia elétrica.

Palavras-chave: sistemas híbridos, estratégias de operação, energia solar, energia eólica, eletrificação rural.

*ABSTRACT*

HAUSCHILD, L. **Evaluation of Operation Strategies of Photovoltaic-Wind-Diesel Hybrid Power Systems**. 2006. 117 p. Master Thesis. Interdisciplinary Post-Graduation Program in Energy, University of São Paulo.

This work performs an evaluation of different operation strategies of photovoltaic-wind-diesel hybrid power systems for decentralized rural electrification, applied to two case studies at Cardoso Island, located on the south coast of the state of São Paulo. First, the two locations are presented, Marujá Community and Perequê Nucleus, and also the fundamentals of hybrid power systems and a hybrid system sizing technique. The evaluation is performed based on data collected at the case study sites: the power demand and the solar and wind potentials. Simulations are carried out using different operation strategies and different fractions of renewable energy, in order to obtain system operation results, such as diesel oil consumption and the average depth of discharge of the accumulator. An economic analysis is made using the simulation results, in order to find out which from the studied strategies is the most adequate for the operation of hybrid power systems.

Keywords: hybrid systems, operation strategies, solar energy, wind energy, rural electrification.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 – Mapa do estado de São Paulo com localização da Ilha do Cardoso.....            | 7  |
| Figura 1.2 – Vista geral da comunidade de Marujá .....                                      | 7  |
| Figura 1.3 – Vista geral do Núcleo Perequê .....  | 9  |
| Figura 1.4 – Duplicidade; (a) lâmpadas, (b) interruptores e (c) tomadas .....               | 10 |
| Figura 2.1 – Diagrama de um sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel.....                 | 12 |
| Figura 2.2 – A célula e o efeito fotovoltaico.....  | 13 |
| Figura 2.3 – A célula, o módulo e o gerador fotovoltaico .....                              | 13 |
| Figura 2.4 – Curva I-V de um módulo sob variações de radiação (a) e temperatura (b) .....   | 14 |
| Figura 2.5 – Partes constituintes de um aerogerador.....                                    | 15 |
| Figura 2.6 – Aerogerador de pequeno porte .....   | 15 |
| Figura 2.7 – Estimativa de energia produzida por um aerogerador .....                       | 16 |
| Figura 2.8 – Grupo gerador de pequeno porte .....   | 17 |
| Figura 2.9 – Consumo de óleo diesel em função da potência demandada .....                   | 18 |
| Figura 2.10 – Número de ciclos em função da profundidade de descarga.....                   | 20 |
| Figura 2.11 – Sistemas individuais e sistema com mini-rede.....                             | 21 |
| Figura 2.12 – Configuração com acoplamento no barramento CC (a) e CA (b) .....              | 23 |
| Figura 2.13 – Configuração 1 (a), 2 (b) e 3 (c).....  | 24 |
| Figura 3.1 – Curva de demanda de Marujá na alta temporada .....                             | 46 |
| Figura 3.2 – Radiação diária média mensal de Marujá .....                                   | 47 |
| Figura 3.3 – Média mensal da velocidade do vento (a) e histograma (b) de Marujá.....        | 48 |
| Figura 3.4 – Setores (a) e rosa-dos-ventos (b) com frequência de ocorrência dos ventos..... | 49 |
| Figura 3.5 – Velocidade do vento e radiação solar de um dia típico em Marujá.....           | 50 |
| Figura 3.6 – Custo do sistema de geração de Marujá para diferentes frações FV .....         | 51 |
| Figura 3.7 – Curva de demanda do Perequê na alta temporada.....                             | 53 |
| Figura 3.8 – Grupo gerador principal (a) e reserva (b) do Perequê.....                      | 55 |
| Figura 3.9 – Exemplo de sistema fotovoltaico do Perequê .....                               | 55 |
| Figura 4.1 – Ambiente de simulação do software INSEL.....                                   | 58 |
| Figura 4.2 – Curva de potência do aerogerador utilizado nas simulações.....                 | 62 |
| Figura 4.3 – Gráficos gerados pelas simulações .....  | 67 |
| Figura 4.4 – Representação gráfica da análise de CCV .....                                  | 72 |
| Figura 4.5 – CCV do sistema de Marujá (30 m).....   | 76 |
| Figura 4.6 – CCV do sistema de Marujá (50 m).....   | 77 |
| Figura 4.7 – CCV do sistema do Perequê (12,5 kW <sub>p</sub> ).....                         | 77 |
| Figura 4.8 – CCV do sistema do Perequê (18,75 kW <sub>p</sub> ).....                        | 78 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1 – Relação de estratégias de operação .....                                    | 26 |
| Tabela 2.2 – Características de módulos fotovoltaicos .....                              | 27 |
| Tabela 2.3 – Características de aerogeradores de pequeno porte.....                      | 28 |
| Tabela 2.4 – Configuração do sistema de São Tomé .....                                   | 32 |
| Tabela 2.5 – Configuração do sistema de Cal Peraire.....                                 | 33 |
| Tabela 2.6 – Configuração do sistema da Ilha de Kythnos .....                            | 33 |
| Tabela 3.1 – Modelo de previsão de carga .....   | 36 |
| Tabela 3.2 – Parâmetros para o cálculo do perfil vertical do vento .....                 | 41 |
| Tabela 3.3 – Resumo dos sistemas fotovoltaicos instalados em Marujá.....                 | 44 |
| Tabela 3.4 – Grupos geradores instalados em Marujá, carga e consumo .....                | 45 |
| Tabela 3.5 – FC turbinas de pequeno porte a 30 e 50 metros de altura.....                | 48 |
| Tabela 3.6 – Energias específicas, carga e área dos geradores.....                       | 50 |
| Tabela 3.7 – Configuração do sistema de Marujá.....                                      | 52 |
| Tabela 3.8 – Dados de um levantamento de equipamentos e entrevista .....                 | 53 |
| Tabela 3.9 – Dados do grupo gerador principal (a) e reserva (b) do Perequê .....         | 54 |
| Tabela 3.10 – Geradores fotovoltaicos instalados no Núcleo Perequê.....                  | 56 |
| Tabela 3.11 – Potência instalada agrupada por modelos de módulos.....                    | 56 |
| Tabela 3.12 – Configuração do sistema do Perequê .....                                   | 57 |
| Tabela 4.1 – Energia excedente (em kWh) para as diferentes estratégias de operação ..... | 68 |
| Tabela 4.2 – Resultados das simulações do sistema de Marujá para a configuração 1.....   | 69 |
| Tabela 4.3 – Resultados das simulações do sistema do Perequê para a configuração 1 ..... | 69 |
| Tabela 4.4 – Resultados das simulações do sistema de Marujá para a configuração 2.....   | 70 |
| Tabela 4.5 – Resultados das simulações do sistema do Perequê para a configuração 2 ..... | 70 |
| Tabela 4.6 – Resultados das simulações do sistema de Marujá para a configuração 3.....   | 71 |
| Tabela 4.7 – Resultados das simulações do sistema do Perequê para a configuração 3 ..... | 71 |
| Tabela 4.8 – Relação entre a vida útil e a PD do banco de baterias.....                  | 74 |
| Tabela 4.9 – Valores dos equipamentos .....  | 75 |
| Tabela 4.10 – CCV dos sistemas para as diferentes estratégias de operação .....          | 75 |

## LISTA DE SIGLAS

|         |  |
|---------|--|
| ANEEL   | Agência Nacional de Energia Elétrica   |
| CCV     | Custo do Ciclo de Vida   |
| CEPEL   | Centro de Pesquisas de Energia Elétrica                                      |
| CI      | Custo de Investimento  |
| CO      | Custo de Operação  |
| CRESESB | Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito       |
| GEDAE   | Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas               |
| GLP     | Gás Liquefeito de Petróleo   |
| IEA     | International Energy Agency  |
| IEE     | Instituto de Eletrotécnica e Energia   |
| LSF     | Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos  |
| MME     | Ministério de Minas e Energia  |
| O&M     | Operação e Manutenção  |
| PEIC    | Parque Estadual da Ilha do Cardoso   |
| PRODEEM | Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios              |
| SFD     | Sistema Fotovoltaico Domiciliar  |
| SIGFI   | Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes |
| USP     | Universidade de São Paulo  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| A                | ampère                   |
| Ah               | ampère-hora              |
| CA               | corrente alternada       |
| CC               | corrente contínua        |
| EDC              | estado de carga          |
| FC               | fator de capacidade      |
| h                | hora                     |
| i                | corrente                 |
| FV               | fotovoltaico             |
| kW               | quilowatt                |
| kWh              | quilowatt-hora           |
| kW <sub>p</sub>  | quilowatt-pico           |
| L/h              | litro por hora           |
| £                | libra esterlina          |
| m                | metro                    |
| m/s              | metro por segundo        |
| m <sup>2</sup>   | metro quadrado           |
| MA               | massa de ar              |
| MWh              | megawatt-hora            |
| Ω                | ohm                      |
| PC               | potência crítica         |
| PD               | profundidade de descarga |
| R\$              | real                     |
| s                | segundo                  |
| V                | volt                     |
| VA               | volt-ampère              |
| W                | watt                     |
| W/m <sup>2</sup> | watt por metro quadrado  |
| Wh               | watt-hora                |
| W <sub>p</sub>   | watt-pico                |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>v</b>  |
| <i>ABSTRACT.....</i>   | vi        |
| LISTA DE FIGURAS .....   | vii       |
| LISTA DE TABELAS .....   | viii      |
| LISTA DE SIGLAS .....  | ix        |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | x         |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1 APRESENTAÇÃO.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1.1 O Problema .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1.2 Objetivo do Trabalho.....</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>1.3 Justificativa .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1.4 Localidades Estudadas.....</b>                                    | <b>6</b>  |
| 1.4.1 Comunidade de Marujá .....   | 6         |
| 1.4.2 Núcleo Perequê.....  | 8         |
| <b>2 SISTEMAS HÍBRIDOS .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2.1 Princípios Básicos .....</b>                                      | <b>11</b> |
| 2.1.1 Gerador Fotovoltaico.....  | 12        |
| 2.1.2 Aerogerador .....  | 14        |
| 2.1.3 Grupo Gerador .....  | 17        |
| 2.1.4 Banco de Baterias .....  | 18        |
| 2.1.5 Controle e Condicionamento de Potência .....                       | 20        |
| <b>2.2 Eletrificação Rural Descentralizada: SIGFI ou Mini-Rede?.....</b> | <b>21</b> |
| <b>2.3 Configurações.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>2.4 Estratégias de Operação .....</b>                                 | <b>24</b> |
| <b>2.5 Estado da Arte .....</b>  | <b>27</b> |
| 2.5.1 Viabilidade de Utilização de Tecnologias Nacionais.....            | 29        |
| <b>2.6 Gestão e Sustentabilidade .....</b>                               | <b>31</b> |
| <b>2.7 Exemplos de Aplicações .....</b>                                  | <b>32</b> |
| 2.7.1 Vila de São Tomé, Brasil .....                                     | 32        |
| 2.7.2 Pueblo de Cal Peraire, Espanha .....                               | 33        |
| 2.7.3 Ilha de Kythnos, Grécia.....                                       | 33        |
| <b>3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....</b>                                | <b>34</b> |
| <b>3.1 Planejamento.....</b>   | <b>34</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>3.2 Levantamento da Demanda Energética .....</b>                            | <b>35</b>  |
| 3.2.1 Curva de Demanda.....  | 35         |
| 3.2.2 Demanda Reprimida.....   | 37         |
| <b>3.3 Levantamento dos Recursos Locais.....</b>                               | <b>38</b>  |
| 3.3.1 Potencial Solar .....  | 38         |
| 3.3.2 Potencial Eólico .....   | 40         |
| <b>3.4 Dimensionamento do Sistema.....</b>                                     | <b>42</b>  |
| <b>3.5 Estudos de Caso .....</b>   | <b>43</b>  |
| 3.5.1 Comunidade de Marujá .....   | 43         |
| 3.5.2 Núcleo Perequê.....  | 52         |
| <b>4 SIMULAÇÕES.....</b>   | <b>58</b>  |
| <b>4.1 Descrição do Modelo.....</b>  | <b>58</b>  |
| 4.1.1 Gerador Fotovoltaico.....  | 59         |
| 4.1.2 Aerogerador .....  | 61         |
| 4.1.3 Grupo Gerador .....  | 62         |
| 4.1.4 Banco de Baterias .....  | 63         |
| 4.1.5 Controle e Condicionamento de Potência .....                             | 65         |
| <b>4.2 Resultados das Simulações.....</b>                                      | <b>66</b>  |
| 4.2.1 Configuração 1: sem retificador.....                                     | 69         |
| 4.2.2 Configuração 2: com retificador e gerador no barramento CC.....          | 70         |
| 4.2.3 Configuração 3: com retificador e gerador ligado à mini-rede.....        | 71         |
| <b>4.3 Impactos das Estratégias no Custo de Ciclo de Vida do Sistema .....</b> | <b>72</b>  |
| 4.3.1 Análise Econômica pelo Custo de Ciclo de Vida .....                      | 72         |
| 4.3.2 Avaliação Econômica das Estratégias de Operação.....                     | 73         |
| <b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....</b>  | <b>79</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>82</b>  |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>87</b>  |
| <b>ANEXO A – Dados de irradiância e velocidade de vento (2004).....</b>        | <b>88</b>  |
| <b>ANEXO B – Especificações dos equipamentos .....</b>                         | <b>102</b> |
| <b>ANEXO C – Diagramas dos sistemas utilizados nas simulações.....</b>         | <b>104</b> |

## INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Internacional de Energia, existem no mundo hoje cerca de 1,6 bilhão de pessoas sem acesso à energia elétrica (IEA, 2004). O Ministério de Minas e Energia estima que no Brasil ainda existam cerca de 10 milhões de pessoas sem acesso a energia elétrica no meio rural (MME, 2004). Uma parcela significativa dessas pessoas vive em comunidades afastadas das redes de distribuição de energia elétrica. Esses pequenos centros habitacionais, quando muito afastados da rede pública, tornam economicamente viáveis uma maneira alternativa à extensão de rede para o fornecimento de energia elétrica: através de mini-redes autônomas.

Em algumas localidades já se utilizam sistemas com mini-redes de distribuição para o fornecimento de energia elétrica, onde a fonte de geração mais comumente utilizada é um grupo gerador diesel. No entanto, este tipo de sistema apresenta um alto custo operacional, em função da manutenção do grupo gerador e do consumo e transporte do óleo diesel. Devido ao alto custo operacional, muitos desses sistemas operam em condições precárias de manutenção e fornecimento de óleo diesel. Outras desvantagens relacionadas aos grupos geradores diesel são de caráter sócio-ambiental, relacionados ao transporte do óleo diesel, a possíveis vazamentos, à emissão de gases poluentes e à geração de ruído. Além disto, essas comunidades normalmente localizam-se em locais extremamente afastados dos centros urbanos e com condições precárias de acesso. Desta forma, as comunidades rurais não podem esperar ter sua eletricidade suprida externamente; elas precisam encontrar maneiras de gerar a sua própria energia elétrica (HOLLAND, 1989), ou, pelo menos, reduzir a sua dependência de recursos externos. Todos esses aspectos negativos do fornecimento de energia elétrica através de grupos geradores podem ser minimizados, ou até mesmo eliminados, com a utilização de recursos energéticos locais.

Neste contexto é que surgem os sistemas híbridos de geração de energia elétrica. Estes sistemas podem fornecer energia elétrica de forma confiável e ao mesmo tempo diminuir a dependência de recursos externos. Sistemas híbridos de geração de energia elétrica são sistemas formados por duas ou mais fontes de geração de energia. As fontes de energia renováveis mais comumente utilizadas nesse tipo de sistema são a solar e a eólica. Neste trabalho são abordados os sistemas híbridos que utilizam essas duas fontes de energia

renovável e um grupo gerador utilizado como complementação energética. Além disto, os sistemas aqui considerados possuem um acumulador de energia (a justificativa para a utilização deste elemento é apresentada no capítulo 2). O dimensionamento adequado dos geradores de energia elétrica através de fontes renováveis, do banco de baterias e a utilização de uma estratégia de operação que otimize o desempenho do sistema, pode minimizar consideravelmente a utilização do grupo gerador diesel e maximizar a vida útil do banco de baterias, conseqüentemente diminuindo os custos de operação e manutenção (O&M) do sistema.

Com o desenvolvimento tecnológico da indústria de eletrônica de potência nas últimas décadas e o barateamento dos equipamentos utilizados para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, os sistemas híbridos se tornaram uma alternativa mais atrativa tanto do ponto de vista técnico como econômico. Tendo em vista este cenário, surge a necessidade de se aprofundar os estudos relacionados à operação e manutenção desses sistemas, a fim de se determinar quais as melhores estratégias para torná-los tecnicamente mais confiáveis e economicamente mais atrativos.

O presente trabalho, primeiramente, apresenta de uma forma breve os princípios básicos dos sistemas híbridos de geração de energia elétrica e seus componentes, bem como algumas técnicas de dimensionamento desses sistemas. Após esta contextualização, são apresentados os modelos e os resultados das avaliações feitas sobre as diferentes estratégias de operação dos sistemas híbridos. A seguir é apresentada uma breve descrição do conteúdo de cada um dos capítulos.

No capítulo 1 é apresentada uma descrição mais detalhada dos objetos de estudo deste trabalho, os seus objetivos específicos, bem como a justificativa pela escolha do tema. Ainda nesse capítulo é feita uma descrição das duas localidades utilizadas nos estudos de caso: comunidade de Marujá e Núcleo Perequê.

O capítulo 2 se dedica a uma explicação sobre os princípios básicos de um sistema híbrido, a fim de que leitores menos familiarizados com o tema possam compreender as análises feitas posteriormente. Após essa primeira abordagem, é levantada uma questão muito importante para este tema: qual tipo de sistema é mais adequado para a eletrificação rural descentralizada,

sistemas individuais ou sistemas centralizados com mini-rede de distribuição? Ainda no capítulo dois são apresentadas as configurações e estratégias de operação de sistemas híbridos, já com o intuito de embasar teoricamente as avaliações feitas mais adiante. Para fechar o capítulo, é apresentado o estado da arte dos sistemas híbridos, bem como a aplicabilidade de tecnologias nacionais, e alguns exemplos de aplicações ao redor do mundo.

Uma questão também fundamental para os sistemas híbridos é o seu dimensionamento. Enquanto o sub-dimensionamento não é satisfatório, visto que não atende às necessidades energéticas para o qual ele foi requerido; por outro lado, o sobre-dimensionamento do sistema pode levar a sua inviabilidade econômica. Por esta razão, o capítulo 3 mostra a importância de haver um planejamento contemplando um levantamento detalhado dos recursos locais e da demanda energética da localidade a ser atendida. Então é apresentada uma técnica de dimensionamento de sistemas híbridos que tem apresentado bons resultados no que diz respeito ao casamento entre a demanda e a oferta de energia desses sistemas, levando-se em consideração as restrições orçamentárias normalmente presentes nesse tipo de projeto. Para fechar o capítulo, é feito o dimensionamento dos sistemas dos dois estudos de caso.

O capítulo 4 se dedica a apresentar o tema central deste trabalho: a avaliação das estratégias de operação dos sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-diesel. Primeiramente é apresentado o ambiente de simulação utilizado e os modelos matemáticos dos principais componentes do sistema. Então, são apresentadas as simulações e os seus resultados para as diferentes estratégias e diferentes contribuições das fontes de energia renovável para a geração de energia elétrica total do sistema. Os principais indicadores de desempenho do sistema a serem analisados são o consumo de óleo diesel e o número e profundidade dos ciclos de carga e descarga no banco de baterias. No final do capítulo é feita uma análise do impacto desses parâmetros no custo de ciclo de vida (CCV) dos sistemas híbridos.

Para finalizar o trabalho são apresentadas a conclusão e algumas recomendações para futuros trabalhos a serem realizados sobre o mesmo tema.



# 1 APRESENTAÇÃO

## 1.1 O Problema

Apesar de todos os componentes de um sistema híbrido já terem atingido a maturidade tecnológica (a exceção fica por conta do acumulador de energia dedicado a sistemas de fornecimento de energia elétrica autônomos), o desempenho global do sistema ainda não apresenta um nível ideal de aproveitamento dos recursos integrados. Isto não se deve exclusivamente às características técnicas do sistema, mas está fortemente relacionado às restrições econômicas vinculadas a esse tipo de projeto.

A legislação hoje obriga as empresas distribuidoras de energia elétrica a atender todos os moradores de sua área de concessão sem ônus de qualquer espécie para o solicitante (LEI 10.438, 2002). Esses custos estão relacionados à infra-estrutura, seja ela de extensão de rede ou de geração descentralizada, e não à energia. O financiamento do sistema poderá inclusive ser feito com ajuda do governo federal, estadual e das prefeituras; porém, o fornecimento de energia, que neste caso significa a reposição do banco de baterias e o fornecimento do óleo diesel, deve ser feito pela própria concessionária. E, normalmente, os custos relacionados com o fornecimento de energia são muito mais elevados que o preço que a concessionária pode cobrar de seus consumidores.

Portanto, é de fundamental importância que a energia proveniente das fontes renováveis seja utilizada de forma ótima, diminuindo a necessidade de fornecimento de óleo diesel e substituição do banco de baterias. Isto pode ser atingido com o dimensionamento adequado dos componentes do sistema, e com a utilização da estratégia de operação mais adequada. O problema encontrado foi que, apesar da estratégia de operação ser um ponto fundamental para se obter o melhor aproveitamento dos recursos renováveis, até hoje ainda não foram feitos muitos estudos significativos nesta área, levando a uma falta de consenso nas conclusões feitas pelos pesquisadores acerca deste tema.

## **1.2 Objetivo do Trabalho**

Este trabalho tem como objetivo avaliar as estratégias de controle operacional dos sistemas híbridos de geração de energia elétrica quando utilizados para o fornecimento a comunidades isoladas das redes de distribuição.

Para tanto, são abordados primeiramente o estado-da-arte e o dimensionamento dos sistemas híbridos. Após esta primeira abordagem, tem-se por objetivo avaliar as estratégias de operação e controle, por meio de simulações aplicadas a dois estudos de caso, a fim de se identificar quais os impactos das mesmas no consumo de óleo diesel e na vida útil do banco de baterias dos sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-diesel, com diferentes penetrações das energias renováveis.

## **1.3 Justificativa**

Uma estratégia de operação ótima visa a minimizar os custos de ciclo de vida dos sistemas híbridos. Um dos tipos de controle de sistemas híbridos é o de carga e descarga do banco de baterias, que visa a maximizar a vida útil do banco. Outro tipo de controle é o controle do despacho, que determina quando e como o grupo gerador diesel deve ser ligado e desligado do sistema, a fim de se minimizarem os custos relacionados à operação e manutenção do mesmo. Neste trabalho é feita uma avaliação das estratégias de controle utilizadas em sistemas híbridos, onde se procura mostrar com qual delas se obtém o menor custo do ciclo de vida do sistema, para diferentes níveis de participação das fontes renováveis de energia.

Ao longo do período de revisão bibliográfica, percebeu-se que ainda não existe um consenso quanto à utilização da energia proveniente do grupo gerador diesel. Segundo Barley e Winn (1996): “De particular interesse e controvérsia é a possibilidade de utilizar a energia do grupo gerador diesel para carregar as baterias”. Alguns autores chegam a descartar a utilização do gerador diesel para carregar o banco de baterias. Em seu estudo, Schmitt et al. (2003) concluem: “Em nenhum caso nós vislumbramos carregar as baterias com o gerador diesel. O desempenho do sistema nestas circunstâncias é pobre demais”.

Porém, existem diversos trabalhos publicados que indicam justamente o contrário do que Schmitt conclui; que o desempenho do sistema pode ser otimizado com a utilização do grupo gerador diesel para o carregamento do banco de baterias. Em uma configuração em paralelo, onde o grupo gerador diesel fica conectado ao barramento de corrente alternada (CA), porém com um retificador possibilitando o carregamento do banco de baterias. Ashari e Nayar (1999) constata as seguintes vantagens em relação a outras topologias: a carga do sistema pode ser atendida de maneira ótima, a eficiência do combustível pode ser maximizada devido a uma potência de operação média mais elevada, a manutenção do grupo gerador pode ser minimizada devido à redução de seu tempo de operação e também é possível reduzir a capacidade do grupo gerador diesel, do banco de baterias, e das fontes renováveis.

Tendo em vista o apresentado acima, procurou-se elaborar um método de avaliação do desempenho do sistema para situações em que a energia proveniente do grupo gerador é utilizada para carregar as baterias e para situações que ela não é utilizada. Esta avaliação será feita para o perfil de carga e o potencial solar e eólico do litoral sul do estado de São Paulo.

#### **1.4 Localidades Estudadas**

Os dois estudos de caso apresentados neste trabalho localizam-se na Ilha do Cardoso, município de Cananéia, sul do estado de São Paulo (figura 1.1). A Ilha do Cardoso é um parque de preservação ambiental, Parque Estadual da Ilha do Cardoso (PEIC), vinculado ao Instituto Florestal e à Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. A cidade de Cananéia tem coordenadas geográficas de latitude 25°01' S e longitude 47°56' W.

##### **1.4.1 Comunidade de Marujá**

A comunidade de Marujá é uma vila turística. Atualmente, conta com 41 famílias, que têm como principais atividades a pesca e o ecoturismo. De acordo com informações levantadas em campo pela equipe do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP), vivem na vila aproximadamente 113 moradores tradicionais. Boa parte das informações referentes à comunidade de Marujá, principalmente no que diz respeito ao levantamento da demanda

energética, foram publicadas no artigo de Macedo et al. (2004). A figura 1.2 mostra uma vista geral da comunidade.



Figura 1.1 – Mapa do estado de São Paulo com localização da Ilha do Cardoso

Além disso, constatou-se dentro da área abrangida pela pesquisa, que a comunidade de Marujá possui 73 edificações, sendo 45 de moradores tradicionais e 16 pertencentes a veranistas, além de escola, igreja, centro comunitário, centro de visitantes e oito diversos (depósitos, restaurantes, etc.). Estas edificações encontram-se distribuídas em uma área de 200 metros de largura por 2.500 metros de comprimento.



Figura 1.2 – Vista geral da comunidade de Marujá

No que se refere ao abastecimento de água, este é feito por meio de uma represa existente na montanha e uma rede de distribuição que atende praticamente a todos os domicílios. A

pressão da rede de distribuição é mantida pela altura manométrica entre a represa e a vila. Esse aspecto se torna bastante favorável, evitando o uso de energia elétrica destinada a esse uso final.

No que tange as atividades sócio-econômicas, os moradores dessa comunidade, que antigamente era conhecida como Praia do Meio, desenvolvem suas atividades relacionadas com a exploração do turismo. Muitos moradores oferecem alojamento e serviços a turistas, que aparecem principalmente nos finais de semana, feriados prolongados e nas férias de verão. Paralelamente, realizam também atividades pesqueiras de subsistência. A característica da comunidade, de dispor tanto de praias de mar aberto como de lagunas de água salobra e manguezais onde a pesca é abundante, além das ótimas condições para o turismo ecológico, fez com que os moradores tradicionais da vila tenham assimilado de maneira positiva as influências desse turismo.

A comunidade possui um total de 180 quartos, sendo 82 para uso próprio dos moradores e 98 destinados para pousadas. Vale ressaltar que, em média, cada quarto para pousada hospeda quatro pessoas na alta temporada. No que se refere à área de “camping” oferecida, constatou-se um total de 226 vagas para barracas, sendo que cada barraca hospeda em média duas pessoas. De acordo com as informações anteriores, pode se estimar um total de 844 turistas na alta temporada (verão e determinados feriados) se todas as vagas forem preenchidas.

#### 1.4.2 Núcleo Perequê

O Núcleo Perequê não se trata de uma comunidade de moradores tradicionais, e sim de um núcleo para o desenvolvimento de estudos no parque e para que visitantes, em sua maioria proveniente de colégios e faculdades, possam conhecer melhor a fauna e a flora do parque. Nele existem quatro laboratórios, aquários, um museu, um auditório e diversos alojamentos. Ele possui uma estrutura suficiente para alojar aproximadamente 120 visitantes, e possui uma população fixa de aproximadamente 22 pessoas. O núcleo possui 19 edificações distribuídas em uma área de 200 metros de largura por 700 metros de comprimento. Os residentes fixos do núcleo são funcionários do parque, responsáveis pela manutenção do núcleo. A figura 1.3 mostra o panorama do Núcleo Perequê, com as casas para alojamento dos pesquisadores ao fundo da imagem.

O sistema de geração de energia elétrica existente hoje no núcleo está mal dimensionado e não permite um uso racional dos recursos disponíveis na localidade.

Hoje existem no núcleo duas formas de fornecimento de energia elétrica: através de sistemas fotovoltaicos isolados ou por uma mini-rede de distribuição alimentada por um grupo gerador diesel. Esses dois sistemas operam em “paralelo”. O gerador diesel só é acionado quando grandes grupos de visitantes hospedam-se no núcleo. No resto do tempo, quando estão apenas os funcionários e alguns visitantes, o gerador diesel permanece desligado. Em todos os prédios do núcleo existem pontos de iluminação duplos, um deles recebe energia através do sistema fotovoltaico e o outro do sistema diesel. Esta duplicidade se estende para os interruptores e as tomadas encontradas nas edificações (ver figuras 1.4(a), (b) e (c)). Ou seja, a instalação elétrica do parque encontra-se toda duplicada. Além de ser um enorme desperdício de materiais, acaba criando uma certa confusão para os visitantes do núcleo, que acabam utilizando a fonte de energia solar mesmo quando o grupo gerador está ligado.



Figura 1.3 – Vista geral do Núcleo Perequê

Como muitos prédios do núcleo ficam desocupados boa parte do tempo, os sistemas fotovoltaicos isolados de geração de energia elétrica não são a melhor solução. Isto ocorre porque ao mesmo tempo em que algumas casas podem consumir toda a energia produzida pelo sistema durante o dia, como por exemplo as casas dos funcionários, outros prédios, que não estão sendo utilizados, têm energia elétrica disponível que não será consumida.

Além da duplicidade de materiais e do mau aproveitamento da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos isolados, o grupo gerador diesel do núcleo também está sobre-

dimensionado, pois quando o mesmo foi dimensionado o núcleo possuía chuveiros elétricos, que hoje foram todos substituídos por chuveiros com aquecimento de passagem a gás.

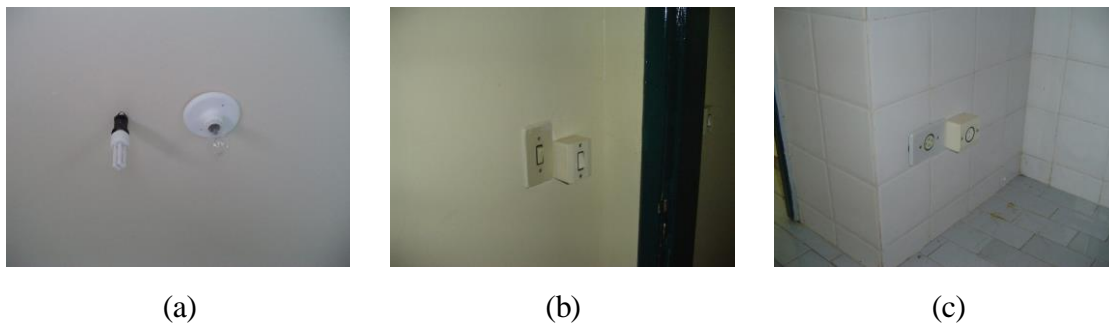


Figura 1.4 – Duplicidade; (a) lâmpadas, (b) interruptores e (c) tomadas

Tendo este cenário em vista, fruto de algumas particularidades ocorridas ao longo do tempo e da falta de planejamento durante parte do projeto do sistema, procurou-se apresentar neste estudo uma solução onde se leva em consideração todos fatores atuantes neste sistema: os recursos locais, para que se utiliza a energia elétrica, e aspectos sociais e ambientais.

## **2 SISTEMAS HÍBRIDOS**

Sistemas híbridos de geração de energia elétrica são sistemas formados por duas ou mais fontes de produção de energia operando em conjunto para atender a demanda de um consumidor comum.

No caso dos sistemas analisados neste trabalho, o consumidor comum refere-se a uma comunidade ou localidade, atendida por meio de uma mini-rede de distribuição. As fontes de energia renováveis mais comumente utilizadas neste tipo de sistema são a solar e a eólica. Dentro deste campo de aplicação, os sistemas híbridos podem ser classificados como de pequeno porte, cuja potência instalada pode variar de alguns kW até algumas dezenas de kW.

A seguir é feita uma breve descrição de aspectos fundamentais para a compreensão das avaliações feitas posteriormente sobre sistemas híbridos. Diversos trabalhos já foram feitos sobre sistemas híbridos. Alguns desses trabalhos possuem explicações complementares mais detalhadas sobre os assuntos tratados neste capítulo e em parte do próximo capítulo (sobre caracterização e levantamento dos recursos energéticos). Caso haja interesse em se aprofundar em algum desses temas, é sugerido consultar: Blasques (2005), García (2004) e Macêdo (2002).

### **2.1 Princípios Básicos**

Os sistemas híbridos estudados neste trabalho se caracterizam pelo aproveitamento de uma ou duas fontes renováveis de energia, solar (por meio de um gerador fotovoltaico) e/ou eólica (por meio de um aerogerador) e a utilização de uma fonte complementar não intermitente (grupo gerador).

Além das fontes de produção de energia elétrica, esses sistemas possuem um acumulador de energia, que é formado por um banco de baterias. Esta tecnologia tem demonstrado desde as primeiras aplicações de sistemas híbridos ser o elemento acumulador de energia elétrica ideal (BLASQUES, 2005).



Uma central de controle e condicionamento de potência é o elemento responsável pela coordenação da interação entre as fontes, o banco de baterias e os usuários, por meio de uma mini-rede de distribuição. A figura 2.1 ilustra os elementos de um sistema fotovoltaico-eólico-diesel.

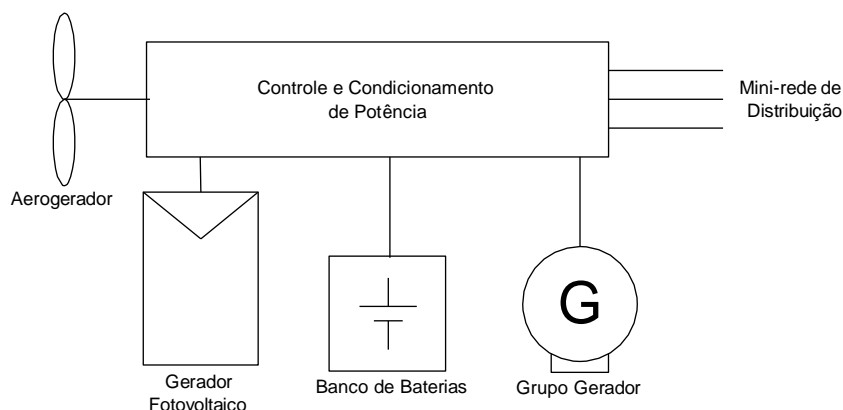


Figura 2.1 – Diagrama de um sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel

A utilização de uma ou duas fontes renováveis de energia e a utilização ou não do grupo gerador dependerá de diversos fatores como: potencial solar, potencial eólico, demanda de energia, disponibilidade de óleo diesel, etc. O sistema fotovoltaico-diesel tem uma aplicação mais adequada em localidades com baixo potencial eólico, que é o caso do interior da Região Amazônica, por exemplo. Em regiões de alto potencial eólico, como regiões costeiras e ilhas, o custo do kWh produzido por sistemas eólicos é significativamente mais baixo que o custo do kWh produzido por sistemas fotovoltaicos. As energias solar e eólica possuem um caráter intermitente, o que afeta diretamente a sua capacidade de fornecer energia elétrica com continuidade e confiabilidade. A fim de se contornar este problema, a utilização de um grupo gerador diesel às vezes se mostra necessário para garantir o menor número de interrupções possível (PINHO et al., 2004a).

### 2.1.1 Gerador Fotovoltaico

O gerador fotovoltaico é o componente do sistema que transforma a energia da radiação solar em energia elétrica. O aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz, é denominado efeito fotovoltaico. A fim de se obter elétrons livres, o material semicondutor deve ser “dopado” com materiais que o deixem com excesso de elétrons em uma metade, tipo n, e escassez de

elétrons na outra, tipo p. Desta forma se cria um campo elétrico interno, possibilitando a geração de corrente ao incidir radiação solar sobre sua superfície (figura 2.2).

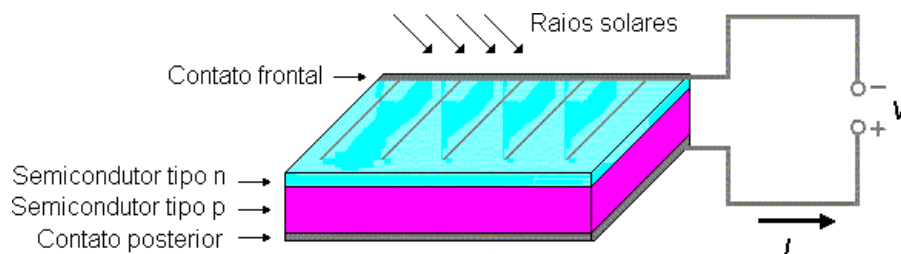


Figura 2.2 – A célula e o efeito fotovoltaico

O gerador fotovoltaico pode ser composto por um ou mais módulos fotovoltaicos. O módulo fotovoltaico nada mais é que uma associação elétrica de células solares. Ele proporciona os níveis de tensão e corrente adequados a cada aplicação, protege as células contra as agressões dos agentes das intempéries, isola-as eletricamente do exterior e dá rigidez mecânica ao conjunto (LORENZO, 1994, p. 99). A figura 2.3 mostra uma célula, um módulo e um gerador fotovoltaico, feitos de silício policristalino. Hoje, aproximadamente 90% da produção mundial de módulos fotovoltaicos utiliza silício mono ou policristalino (LUQUE; HEGEDUS, 2003, p. 21).



Figura 2.3 – A célula, o módulo e o gerador fotovoltaico

Uma das principais características de um gerador fotovoltaico para o projeto elétrico é sua curva tensão-corrente. Sua tensão de polarização permanece praticamente constante (em torno de 0,6 V por célula, no caso do silício), sofrendo uma pequena influência da temperatura. Já a corrente de operação é diretamente proporcional à radiação incidente sobre sua superfície. A figura 2.4 apresenta uma curva típica de um módulo fotovoltaico de 55 W<sub>p</sub> sob condições padrão e sua dependência com a radiação e a temperatura.

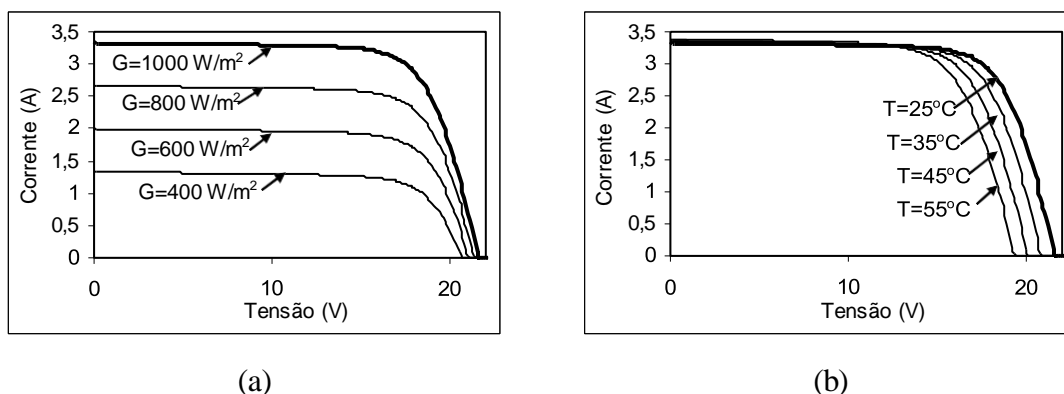


Figura 2.4 – Curva I-V de um módulo sob variações de radiação (a) e temperatura (b)

Para se estimar a energia produzida ao longo de um ano, por um módulo fotovoltaico, é necessário se utilizar como variáveis de entrada pelo menos a radiação e a temperatura. Estas podem ser coletadas através de estações solarimétricas, com base de tempo horária ou de dez minutos. Os dados coletados devem então ser aplicados a um conjunto de equações que modelam o comportamento do módulo.

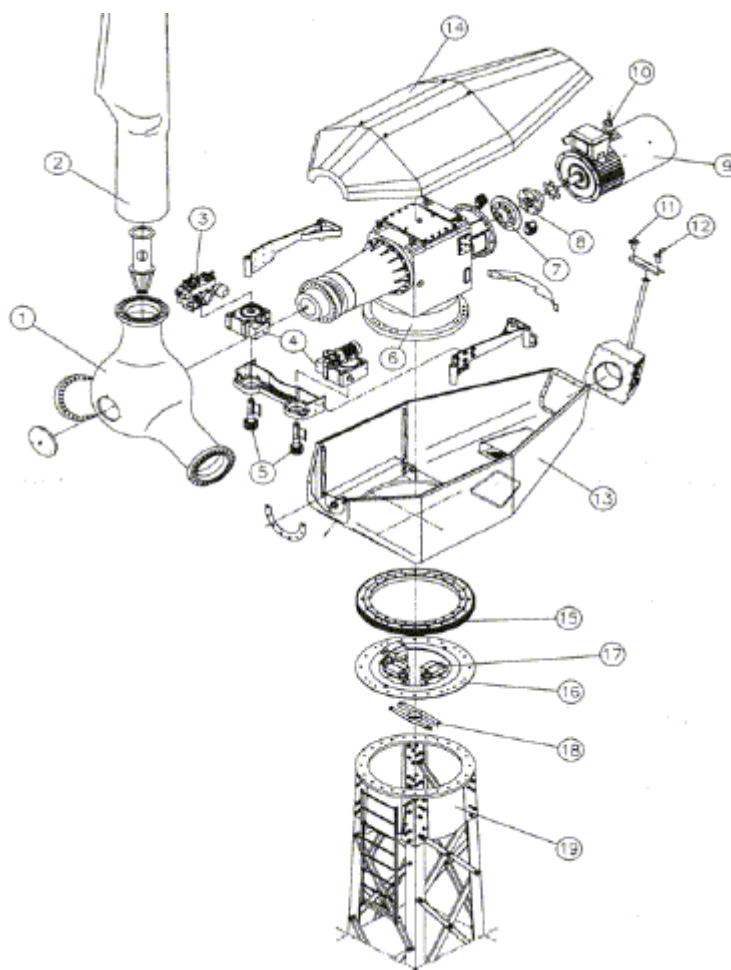
As equações detalhadas do comportamento elétrico do módulo em função da radiação, da temperatura e outras variáveis são apresentadas no modelo utilizado para as simulações na seção 4.1.1. Para se obter informação mais detalhada sobre o princípio básico de geradores fotovoltaicos é recomendada a consulta de Lorenzo (1994) e Luque e Hegedus (2003).

### 2.1.2 Aerogerador

O aerogerador é o componente do sistema responsável por transformar a energia cinética dos ventos em energia elétrica. Pás aerodinâmicas “captam” o vento, fazendo seu eixo girar, transformando a energia cinética do vento em energia mecânica. O eixo está acoplado a um gerador elétrico, que transforma a energia mecânica em energia elétrica.

A figura 2.5 – elaborada pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2005), órgão vinculado ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) – mostra as partes constituintes de um aerogerador de grande porte, cujo conjunto é responsável pela conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica.

- 1- Cubo do rotor
- 2- Pás do Rotor
- 3- Sistema hidráulico
- 4- Sistema de posicionamento
- 5- Engrenagem de posicionamento
- 6- Caixa multiplicadora de rotação
- 7- Disco de freio
- 8- Acoplamento do gerador elétrico
- 9- Gerador elétrico
- 10- Sensor de vibração
- 11- Anemômetro
- 12- Sensor de direção
- 13- Nacele, parte inferior
- 14- Nacele, parte superior
- 15- Rolamento de posicionamento
- 16- Disco de freio posicionamento
- 17- Pastilhas de freio
- 18- Suporte do cabo de força
- 19- Torre



CRESESB, 2005

Figura 2.5 – Partes constituintes de um aerogerador

No caso das turbinas de pequeno porte, o sensor de direção não existe, pois é o próprio vento que posiciona a turbina, através da aerodinâmica do leme que as mesmas possuem. A figura 2.6 mostra a foto de uma turbina de pequeno porte com potência nominal de 10 kW.



Figura 2.6 – Aerogerador de pequeno porte

Para se saber qual a quantidade de energia que uma turbina pode produzir, é necessário que se saibam as características de vento da localidade onde esta será instalada. A maneira mais precisa de se trabalhar com o potencial eólico de uma determinada localidade é fazendo medições de vento no local, obtendo-se então uma série de dados de vento. Esta série de dados deve ser dividida em pequenos intervalos de velocidade de vento (frequência x velocidade do vento), que devem então ser cruzados com os dados da curva de potência de saída da turbina (potência x velocidade do vento). Desta forma, se estima a quantidade de energia que pode ser produzida por um aerogerador em determinada localidade. Deve-se tomar cuidado com a variação da velocidade de vento com a altura; logo, um valor representativo da velocidade na altura que a turbina será instalada deve ser escolhido (WALKER; JENKINS, 1997). A figura 2.7 mostra os três gráficos representativos do cálculo da estimativa de energia produzida por um aerogerador de potência nominal igual a 12 kW.

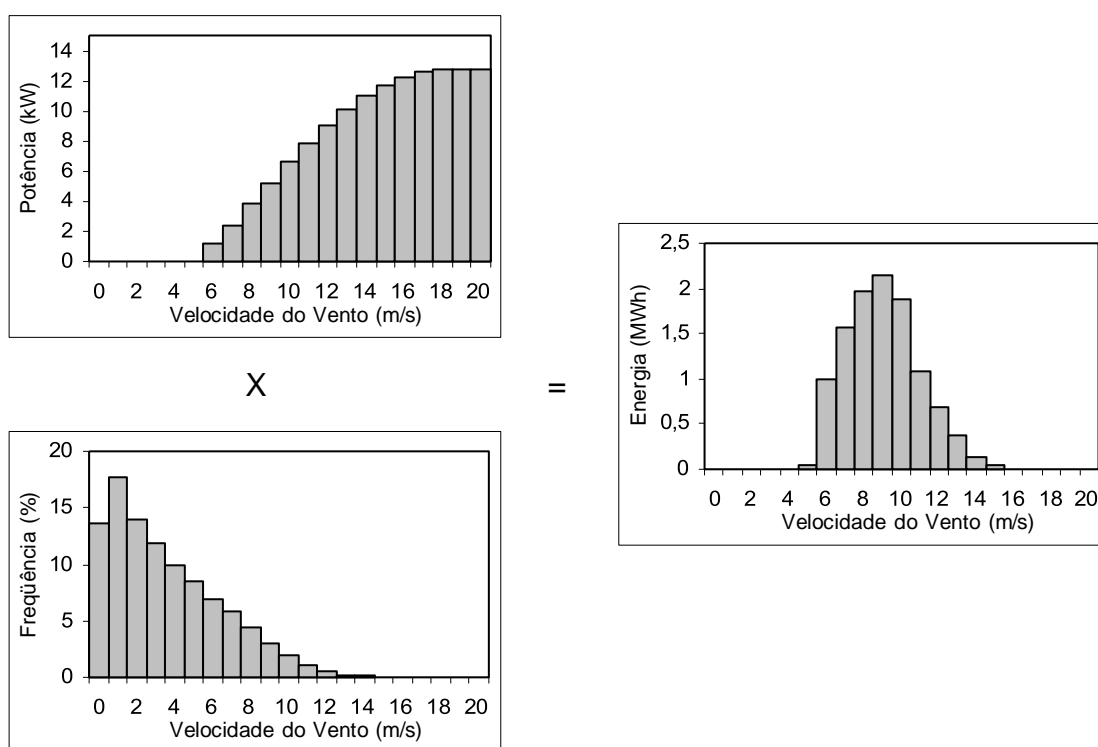


Figura 2.7 – Estimativa de energia produzida por um aerogerador

As equações detalhadas do comportamento elétrico do aerogerador em função da velocidade do vento e outras variáveis são apresentadas no modelo utilizado para as simulações na seção 4.1.2. Para se obter informações mais detalhadas sobre o princípio básico dos aerogeradores é recomendado consultar Walker e Jenkins (1997), Burton et al. (2003) e CRESESB (2005).

### 2.1.3 Grupo Gerador

O grupo gerador transforma a energia térmica proveniente da combustão em energia elétrica. Ele é formado basicamente por um motor a combustão interna acoplado mecanicamente a um gerador elétrico. O combustível mais comumente utilizado neste tipo de aplicação é o óleo diesel. Outros combustíveis possíveis de serem utilizados são a gasolina, o álcool, o gás natural e o biodiesel.

O grupo gerador pode ser classificado como uma fonte auxiliar de energia, por ele ser o único componente de geração de energia do sistema que não funciona de forma intermitente. A energia proveniente do grupo gerador pode ser utilizada de diversas formas. Desde uma utilização somente em casos extraordinários, onde as energias renováveis seriam responsáveis por 100% do atendimento da carga, até uma participação efetiva no fornecimento de energia, sendo responsável por diferentes taxas de cobertura da energia demandada (25 ou 50%, por exemplo).

Na figura 2.8 é possível ver o grupo gerador diesel utilizado no sistema híbrido de São Tomé, cujos maiores detalhes são descritos na seção 2.6.1. Trata-se de um grupo gerador de pequeno porte, com potência nominal de 20 kVA. O componente do lado esquerdo do grupo é o gerador elétrico, enquanto que do lado direito se encontra o motor de combustão interna a diesel.



Barbosa, 2004a

Figura 2.8 – Grupo gerador de pequeno porte

Skarstein e Uhlen (1989) desenvolveram uma equação empírica para se estimar o consumo de óleo diesel de um grupo gerador em função potência demandada pela carga (equação 2.1).

$$C = 0,08415.P_N + 0,246.P_D \quad (2.1)$$

onde:

$C$  : consumo de óleo diesel [L/h]

$P_N$  : potência nominal do grupo gerador [kW]

$P_D$  : potência instantânea demandada [kW]

A figura 2.9 mostra a curva de consumo de um grupo gerador diesel de 20 kW, obtida a partir da equação 2.1.

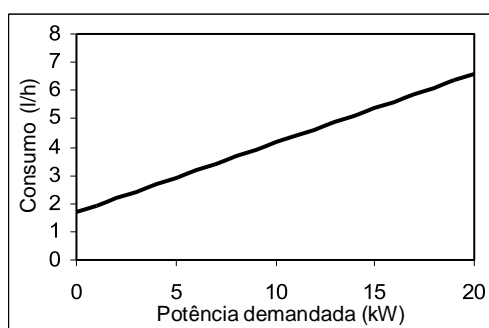


Figura 2.9 – Consumo de óleo diesel em função da potência demandada

Esta equação pode ser utilizada para se estimar o consumo de óleo diesel em um determinado período, no caso de se optar pela cobertura de um percentual da carga com o grupo gerador. Basta se obter uma estimativa de quanto tempo o grupo gerador irá atender à carga, e qual será a potência demandada.

#### 2.1.4 Banco de Baterias

O banco de baterias faz o armazenamento de energia através de um processo eletroquímico. Pode-se dizer que o banco de baterias é a parte mais crítica de um sistema híbrido. Ao se garantir um bom funcionamento do banco de baterias, o sistema irá operar em condições ideais. Já a má utilização do banco de baterias (descargas profundas e muito frequentes, a não equalização do banco em períodos regulares, dentre outros fatores) pode levar a um aumento significativo dos custos de operação e manutenção do sistema, devido à diminuição da vida útil das baterias e ao aumento do consumo de óleo diesel, no caso de sistemas que utilizam grupos geradores.

Devido ao caráter intermitente das fontes renováveis de energia, o banco de baterias se mostra de fundamental importância, pois este poderá atender à demanda em momentos em que a energia proveniente das fontes renováveis for insuficiente. Isto de fato proporciona uma redução significativa no dimensionamento das fontes renováveis, pois estas não terão que ser dimensionadas para atender a carga 100% do tempo. No caso de sistemas que possuem gerador diesel, a utilização do banco de baterias pode reduzir significativamente o consumo de óleo diesel. Em seu estudo, Elhadidy e Shaadid (2003) observaram uma redução superior a 50% no consumo de óleo diesel com a utilização de um banco de baterias.

Dentre os acumuladores eletroquímicos destacam-se as baterias de níquel-cádmio e as de chumbo-ácido. As baterias de chumbo-ácido possuem um desempenho inferior em comparação com as de níquel-cádmio, porém apresentam um custo mais baixo, o que faz com que elas sejam mais utilizadas (GARCÍA, 2004).

As baterias de chumbo-ácido são formadas por um catodo de chumbo (eletrodo negativo), um anodo de dióxido de chumbo (eletrodo positivo) e um eletrólito de ácido sulfúrico diluído em água. O processo de carga e descarga se dá através do fornecimento ou consumo de corrente contínua. O fluxo de corrente provoca reações químicas dentro da bateria que armazenam a energia. A capacidade de fornecimento de energia pela bateria depende da corrente, ou seja, do tempo em que é feita a descarga. Uma bateria de chumbo-ácido estacionária de fabricação nacional, por exemplo, pode fornecer 36,1 Ah em um regime de descarga de 20 horas, enquanto que para um regime de descarga de uma hora, a capacidade de fornecimento cai para 19,8 Ah (MOURA, 2005).

A característica das baterias de chumbo-ácido que afetam mais diretamente o desempenho dos sistemas híbridos é a dependência entre o número de ciclos de carga e descarga que a bateria poderá exercer ao longo de sua vida útil e a profundidade de descarga (PD). A figura 2.10 mostra as faixas da relação PD x Ciclos para baterias de chumbo-ácido automotivas e estacionárias (Lounineau, 1994).



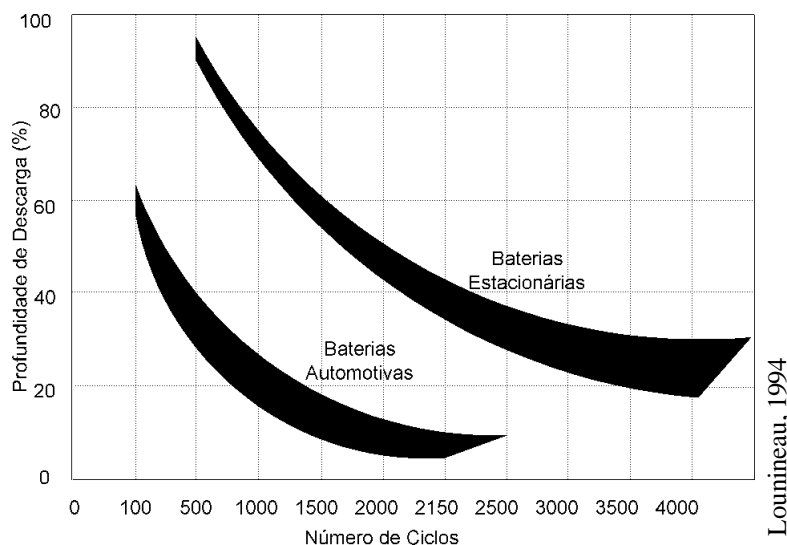


Figura 2.10 – Número de ciclos em função da profundidade de descarga

As baterias denominadas “solares”, nada mais são que uma adaptação das baterias estacionárias para a aplicação fotovoltaica. A partir do gráfico mostrado na figura 2.10, pode-se ter uma estimativa de qual seria a vida útil do banco de baterias se utilizado em um sistema híbrido. No caso de se utilizarem baterias estacionárias, ter-se-ia uma vida útil de aproximadamente 3 anos (considerando ciclos diários) para um PD de 70%, enquanto que para uma PD de 50% a vida útil do banco de baterias se aproximaria dos 6 anos.

#### 2.1.5 Controle e Condicionamento de Potência

Este elemento do sistema híbrido é formado por controladores, conversores CC-CA e retificadores.

A função dos controladores é operar o sistema. Nas estratégias de operação propostas neste trabalho, o controlador teria a função de monitorar o estado de carga do banco de baterias, por meio de medições de tensão e corrente, e a potência demandada. Com estas informações ele deve ser capaz de determinar quando o grupo gerador deve ser conectado e desconectado do sistema, bem como quando as cargas não críticas devem ser acionadas para dissipar eventuais excedentes de energia.

O conversor CC-CA é responsável por transformar a tensão CC proveniente do gerador fotovoltaico, do aerogerador e do banco de baterias em tensão CA. Ele também deve garantir

que a tensão CA tenha as características necessárias para o fornecimento de energia elétrica aos usuários. Alguns desses parâmetros são: tensão 127/220 V, frequência de 60 Hz, distorção harmônica inferior a 3%, dentre outros.

O retificador é um elemento opcional, que pode ser utilizado para carregar o banco de baterias com a energia proveniente do grupo gerador. Este componente retifica, ou seja, converte a tensão CA de saída do grupo gerador em tensão CC para o carregamento do banco de baterias.

## 2.2 Eletrificação Rural Descentralizada: SIGFI ou Mini-Rede?

Antes de detalhar as configurações, estratégias de operação e o estado-da-arte dos sistemas híbridos, é necessário se discutir qual o papel desempenhado por este tipo de sistema frente aos sistemas individuais de geração de energia elétrica para eletrificação rural em locais afastados da rede de distribuição. Os Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI) caracterizam-se pela ausência da rede de distribuição e, dependendo do caso, podem apresentar algumas vantagens em comparação com os sistemas centralizados. A figura 2.11 ilustra a questão abordada nesta seção para o caso de um sistema fotovoltaico.

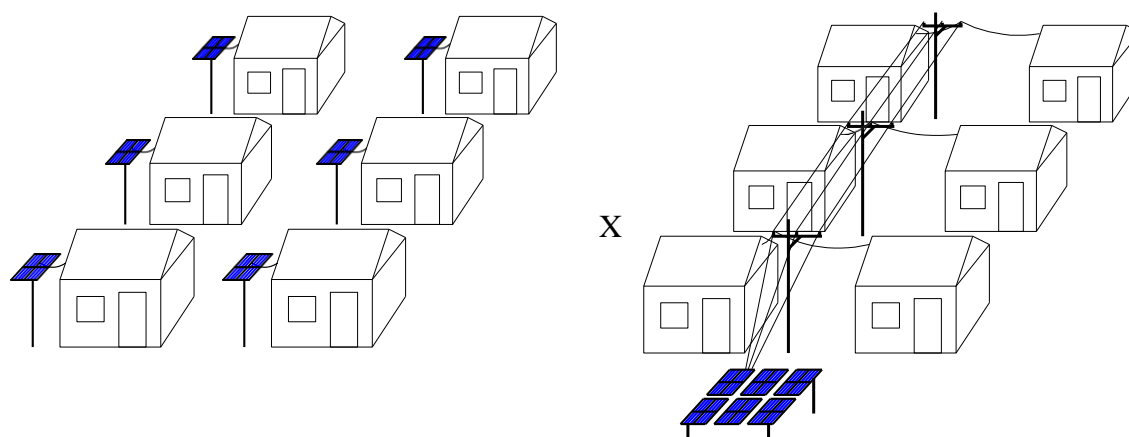


Figura 2.11 – Sistemas individuais e sistema com mini-rede

O fluxo de potência possível entre as unidades consumidoras e a geração de um sistema com mini-rede oferece diversas vantagens em relação aos SIGFI, como a utilização otimizada do banco de baterias e uma maior disponibilidade de energia para consumo, devido a cada unidade ter um consumo diferente (HAUSCHILD; ZILLES, 2005). Porém, essas vantagens

têm como fator limitante, do ponto de vista técnico-econômico, as perdas na rede de distribuição. Em uma análise feita a partir de dados disponíveis na resolução normativa nº 83 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio dos SIGFI (RESOLUÇÃO 83, 2004), verificou-se que as perdas na rede não são significativas (menores que 5%) em distâncias médias de até 2 km das unidades consumidoras até o centro de geração (HAUSCHILD; ZILLES, 2005).

A utilização de um grupo gerador como fonte de geração auxiliar aumenta a confiabilidade dos sistemas com mini-redes significativamente. Porém, esta medida também aumenta o custo de O&M dos mesmos. A utilização do grupo gerador mostra-se economicamente viável para localidades onde os custos do óleo diesel e de transporte não são muito elevados.

A partir desta breve análise, fica claro que estas duas alternativas para eletrificação rural têm dois nichos de aplicação distintos. Os SIGFI apresentam-se como melhor opção para localidades muito afastadas de centros urbanos, onde o fornecimento de óleo diesel é problemático, e onde a distribuição de residências se dá de forma esparsa. Já os sistemas com mini-redes, que apresentam algumas vantagens técnicas em comparação com os SIGFI, demonstram ser a melhor opção para localidades onde as residências encontram-se dentro de uma área delimitada e o custo do óleo diesel, e de seu transporte, não é muito elevado.

Poderíamos chegar à conclusão do parágrafo anterior se os dois sistemas estivessem regulamentados. Mas como, no caso do Brasil, só existe uma regulamentação específica para os SIGFI, na prática, os sistemas com mini-redes têm que atender aos mesmos padrões de fornecimento das redes urbanas de distribuição de energia elétrica. Para um sistema isolado de pequeno porte atender a este padrão, teriam que ser feitos investimentos muito elevados, o que os inviabilizaria economicamente. Desta forma, fica evidente a necessidade imediata de se estabelecer uma regulamentação para os sistemas com mini-redes, como foi feito para os SIGFI por meio da resolução 83.

### **2.3 Configurações**

Os sistemas híbridos podem ser classificados em dois principais grupos de configuração: com o acoplamento dos geradores no barramento de corrente contínua (CC) e com o acoplamento

dos geradores no barramento de corrente alternada (CA). As figuras 2.12 (a) e (b) apresentam o diagrama de blocos das configurações CC e CA, respectivamente. As setas indicam o sentido do fluxo de energia em cada ramo do sistema.

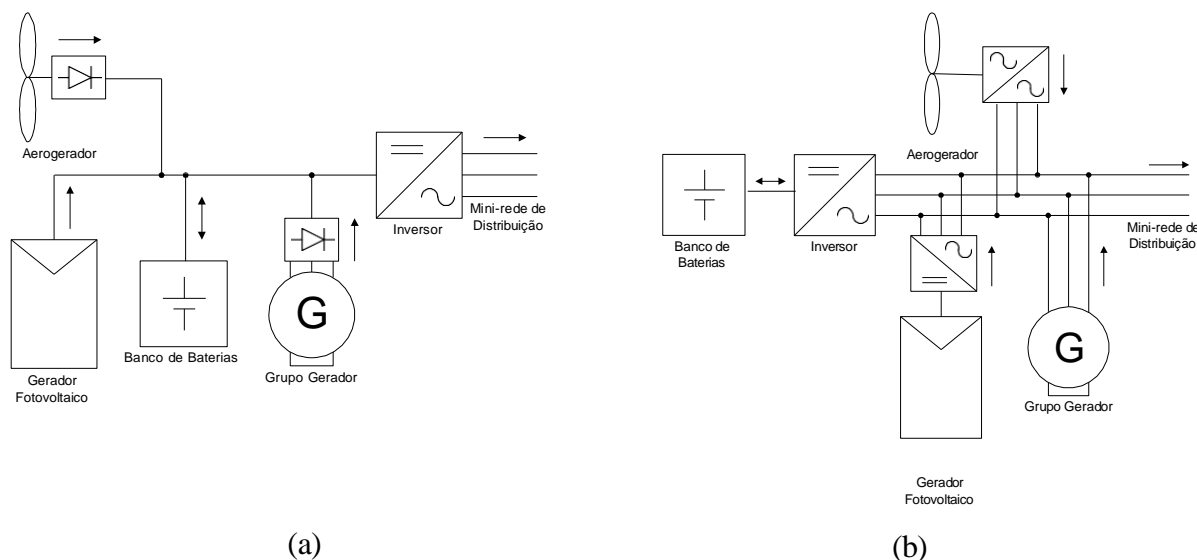


Figura 2.12 – Configuração com acoplamento no barramento CC (a) e CA (b)

Também existem configurações mistas, como por exemplo, o acoplamento dos geradores que utilizam fontes renováveis de energia no barramento CC, porém com a conexão do grupo gerador no barramento CA. Esta configuração é bastante utilizada devido ao fato de os geradores fotovoltaicos fornecerem energia elétrica em CC e a maioria dos aerogeradores de pequeno porte já possuem um retificador acoplado em sua saída, enquanto que os grupos geradores já possuem um sistema de controle e condicionamento de potência, fornecendo energia elétrica em CA, já nos níveis de tensão utilizados no fornecimento de energia elétrica (127/220 V).

A configuração com o acoplamento dos geradores no barramento CC tem provado sua funcionalidade em diversos sistemas instalados em campo. Além disto, por esta configuração já ser utilizada há mais tempo, existem componentes confiáveis disponíveis comercialmente (GABLER,1998).

A configuração com o acoplamento dos geradores no barramento CA concretizou-se como uma alternativa confiável recentemente. Uma das principais vantagens desta configuração é que as potências de cada uma das fontes pode ser inferior à potência máxima a ser atendida

pelo sistema. Porém, ela requer um sistema de controle e condicionamento mais sofisticado, para que os equipamentos possam operar em paralelo (DALBON, 2002).

Estudos mais detalhados são necessários para se determinar qual das duas configurações é mais vantajosa. Essa questão pode depender de diversos fatores particulares de cada caso (OMARI, 2003). O presente estudo procura demonstrar as vantagens e desvantagens destas configurações, aplicadas em diferentes condições de oferta e demanda de energia e com diferentes estratégias de operação.

Nas figuras 2.13 (a), (b) e (c) são apresentados os diagramas das três configurações avaliadas neste trabalho. As configurações 1 e 3 podem ser classificadas como mistas, enquanto que a configuração 2 tem o acoplamento feito inteiramente no barramento CC.

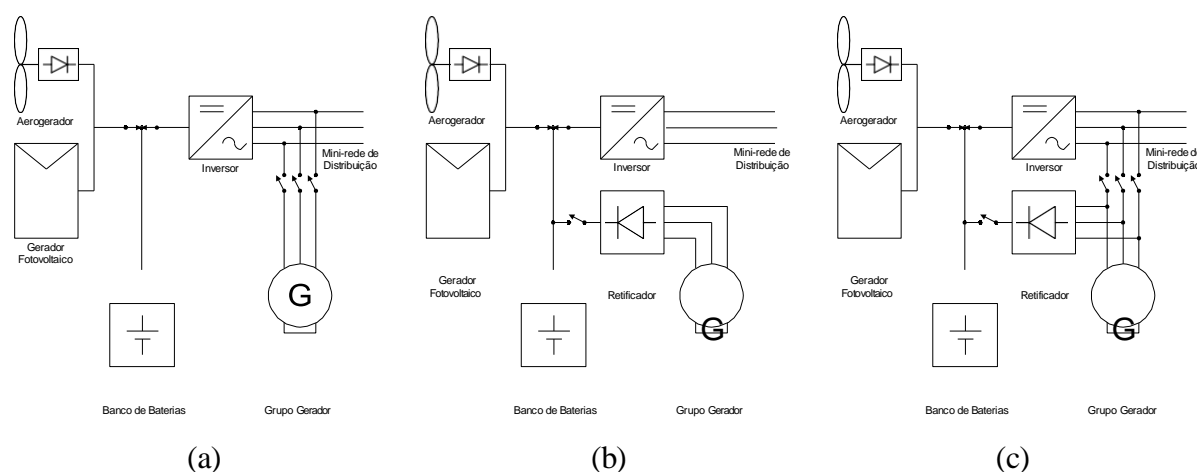


Figura 2.13 – Configuração 1 (a), 2 (b) e 3 (c)

Chegou-se a estas três configurações levando-se em conta que a avaliação será feita para sistemas que possam ser implementados com a maior quantidade possível de equipamentos de fabricação nacional. Como não existem equipamentos nacionais que desempenhem funções de controle mais sofisticadas em sistemas de pequeno porte, como sincronismo de diversas fontes no barramento CA, as configurações CA não serão avaliadas.

## 2.4 Estratégias de Operação

A estratégia de operação de um sistema híbrido visa otimizar a sua operação. Dentro do escopo de otimização da operação do sistema encontram-se diversos fatores: a minimização do consumo de óleo diesel, o melhor aproveitamento possível da energia proveniente das

fontes renováveis, a maximização da vida útil do banco de baterias, o atendimento das cargas, entre outros. O principal fator que determinará uma operação ótima do sistema será a utilização do grupo gerador, ou seja, a pergunta que se deve fazer é: quando e como o grupo gerador deve ser conectado ao sistema? A resposta para “como” se deve conectar o grupo gerador ao sistema depende, basicamente, da configuração do sistema (ligado direto à rede, ligado ao barramento CC, etc.), enquanto que a resposta para “quando” se deve conectar o grupo gerador ao sistema depende da estratégia de despacho adotada.

A estratégia de despacho que pode ser considerada a mais simples é aquela onde o gerador é acionado automaticamente quando a bateria atinge um certo nível mínimo de tensão, determinado pela sua profundidade máxima de descarga (BLASQUES, 2005, p. 72). Uma vez acionado, o gerador permanece conectado ao sistema até que o estado de carga do banco de baterias atinja um determinado valor, que também pode ser medido pelo nível tensão do banco. Esta estratégia será referida daqui por diante como a estratégia de “estado de carga” ou somente estratégia EDC.

Uma estratégia, um pouco mais sofisticada, que pode ser considerada uma melhoria da estratégia anterior, é a que também leva em consideração a potência demandada no instante do acionamento do grupo gerador. Neste caso, o gerador é acionado quando o estado de carga do banco de baterias está baixo ou quando a potência demandada pelas cargas é muito elevada. O valor de potência no qual o grupo gerador deve ser acionado, potência crítica (PC), é determinado por um critério que estabelece uma relação entre o custo da energia das baterias e o custo de operação do grupo gerador (BARLEY; WINN, 1996). A potência crítica pode ser calculada por meio da equação 2.2.

$$PC = \frac{0,08415 \cdot c_c}{c_{EB} - 0,246 \cdot c_c} \times P_N \quad (2.2)$$

onde:

$c_c$  : custo do combustível [\$/L]

$P_N$  : potência nominal do grupo gerador [kW]

O termo  $c_{EB}$  se refere ao custo da energia do banco de baterias e pode ser calculado pela equação 2.3.

$$c_{EB} = \frac{c_{BAT}}{C_B \cdot P_{Dmáx} \cdot n} \quad (2.3)$$

onde:

$c_{BAT}$  : custo da bateria [\\$]

$C_B$  : capacidade da bateria [kWh]

$P_{Dmáx}$  : profundidade de descarga máxima [%]

$n$  : número de ciclos de carga e descarga

A combinação da estratégia de estado de carga com a estratégia da potência crítica será referida daqui por diante como estratégia EDC + PC.

Outra maneira de se otimizar a operação do sistema é por meio da gestão pelo lado da demanda. O conceito de gestão pelo lado da demanda é demasiadamente amplo, e foge ao escopo do presente trabalho entrar em detalhes sobre o mesmo. No entanto, também são avaliadas neste trabalho duas condições diferentes de fornecimento de energia elétrica para cada estratégia. Numa delas o fornecimento é feito ininterruptamente (período de 24 horas/dia) e na outra somente durante doze horas por dia.

| Configuração  | Estratégia de Despacho | Período de Fornecimento | Estratégia de Operação |
|---|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Configuração 1<br>(sem retificador)                                   | EDC                    | 12 horas                | C1_EDC_12              |
|   |                        | 24 horas                | C1_EDC_24              |
|   | EDC + PC               | 12 horas                | C1_EDC+PC_12           |
|   |                        | 24 horas                | C1_EDC+PC_24           |
| Configuração 2<br>(com retificador e gerador ligado ao barramento CC) | EDC                    | 12 horas                | C2_EDC_12              |
|   |                        | 24 horas                | C2_EDC_24              |
|   | EDC + PC               | 12 horas                | C2_EDC+PC_12           |
|   |                        | 24 horas                | C2_EDC+PC_24           |
| Configuração 3<br>(com retificador e gerador ligado à mini-rede)      | EDC                    | 12 horas                | C3_EDC_12              |
|   |                        | 24 horas                | C3_EDC_24              |
|   | EDC + PC               | 12 horas                | C3_EDC+PC_12           |
|   |                        | 24 horas                | C3_EDC+PC_24           |

Tabela 2.1 – Relação de estratégias de operação

Desta forma, combinando as três configurações, as duas estratégias de despachos e os dois períodos de fornecimento, chega-se a um total de doze diferentes estratégias de operação. A tabela 2.1 resume todas as estratégias de operação que são avaliadas neste estudo. No capítulo 4 são apresentadas as avaliações feitas para as estratégias apresentadas na tabela 2.1, para diferentes parcelas de atendimento da carga por meio das energias renováveis.

## 2.5 Estado da Arte

Os componentes de um sistema híbrido já apresentam um alto nível de maturidade tecnológica, encontrando-se diversas opções de produtos confiáveis no mercado. Os componentes de geração como o módulo fotovoltaico, o aerogerador e o grupo gerador, já estão disponíveis no mercado há diversos anos. Já os componentes de controle e condicionamento de potência dos sistemas híbridos tiveram seu desenvolvimento consolidado nos últimos anos.

Os módulos fotovoltaicos, feitos de silício poli- ou monocristalino, disponíveis no mercado atualmente possuem uma eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica que varia entre 10% e 13%. A tabela 2.2 apresenta modelos dos principais fabricantes de módulos fotovoltaicos e suas respectivas eficiências. Os dados apresentados nesta tabela foram obtidos das folhas de especificação fornecidas pelos fabricantes para cada um dos modelos.

| Fabricante  | Modelo    | Potência (W <sub>p</sub> ) | Tipo           | Área (m <sup>2</sup> ) | Eficiência (%) |
|-------------|-----------|----------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| BP Solar    | BP 380    | 80                         | Policristalino | 0,65                   | 12,32          |
| BP Solar    | BP 485    | 85                         | Monocristalino | 0,65                   | 13,09          |
| Isofotón    | I-50      | 50                         | Monocristalino | 0,44                   | 11,28          |
| Isofotón    | I-100     | 100                        | Monocristalino | 0,86                   | 11,67          |
| Kyocera     | KC50      | 50                         | Policristalino | 0,42                   | 12,00          |
| Kyocera     | KC80      | 80                         | Policristalino | 0,64                   | 12,57          |
| Photowatt   | PW500     | 50                         | Policristalino | 0,47                   | 10,74          |
| Photowatt   | PWX500    | 50                         | Policristalino | 0,48                   | 10,37          |
| Sharp       | ND-62RU1  | 62                         | Policristalino | 0,59                   | 10,45          |
| Sharp       | NE-80EJEA | 80                         | Policristalino | 0,61                   | 13,02          |
| Shell Solar | PM P50    | 50                         | Policristalino | 0,46                   | 10,83          |
| Shell Solar | PM U50    | 50                         | Monocristalino | 0,46                   | 10,83          |

Tabela 2.2 – Características de módulos fotovoltaicos



Para se obter a eficiência dos módulos, foi considerada a área total (área externa, considerando a moldura) e a máxima potência em condição padrão ( $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^\circ \text{ C}$  e MA 1,5). Como na maioria das vezes a área não é um fator limitante na elaboração de projetos de sistemas híbridos, a eficiência do módulo não é dos parâmetros mais importantes a serem considerados ao se fazer a escolha de qual modelo utilizar em um projeto. Outros parâmetros como a relação custo / benefício (R\$/kWh), durabilidade e confiabilidade devem ter um peso maior no momento de decidir qual módulo deve ser utilizado para determinado projeto.

O número de aerogeradores de pequeno porte disponíveis no mercado tem aumentado significativamente nos últimos anos. A tabela 2.3 mostra a relação dos principais fabricantes de aerogeradores de pequeno porte disponíveis no mercado hoje.

| Fabricante      | Modelo    | Potência Nominal (kW) | Diâmetro do Rotor (m) | Velocidade de Partida (m/s) | Velocidade Nominal (m/s) | Velocidade de Corte (m/s) |
|-----------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Atlantic Orient | AOC 15/50 | 50                    | 15                    | 4,6                         | 11,3                     | 22,4                      |
| Bergey          | Excell S  | 10                    | 7                     | 3,4                         | 13,8                     | 15,6 <sup>1</sup>         |
| Bergey          | Excell R  | 7,5                   | 6,7                   | 3,4                         | 13,8                     | 15,6 <sup>1</sup>         |
| Fuhrländer      | FL 30     | 30                    | 13                    | 2,5                         | 12                       | 25                        |
| Proven          | WT15000   | 15                    | 9                     | 2,5                         | 11                       | 12 <sup>1</sup>           |
| Proven          | WT6000    | 6                     | 5,5                   | 2,5                         | 11                       | 12 <sup>1</sup>           |
| Vergnet         | GEV 15/60 | 60                    | 15                    | 5                           | 15                       | -                         |
| Vergnet         | GEV 10/20 | 20                    | 10                    | 4,5                         | 16                       | -                         |
| Vergnet         | GEV 7/10  | 10                    | 7                     | 4,5                         | 12                       | -                         |
| Vergnet         | GEV 6/5   | 5                     | 6                     | 4                           | 14                       | -                         |
| Westwind        | 20 kW     | 20                    | 10,4                  | 3                           | 14                       | 16 <sup>1</sup>           |
| Westwind        | 10 kW     | 10                    | 6,2                   | 3                           | 14                       | 16 <sup>1</sup>           |
| Westwind        | 5 kW      | 5                     | 5,1                   | 3                           | 14                       | 16 <sup>1</sup>           |

Tabela 2.3 – Características de aerogeradores de pequeno porte

Uma característica importante de aerogeradores utilizados em aplicações isoladas, como é o caso dos sistemas híbridos para eletrificação rural, é o bom aproveitamento do potencial eólico em baixas velocidades de vento. A figura 4.2 mostra a curva de potência do aerogerador WT15000, que possui um perfil representativo dos aerogeradores de pequeno porte, onde é possível avaliar o aproveitamento do potencial eólico em todas as velocidades de vento.

<sup>1</sup> Velocidade na qual o aerogerador é “tirado” do vento.

Por serem utilizados em diversas outras aplicações, os grupos geradores encontram-se disponíveis no mercado em diferentes configurações e faixas de potências. Quanto ao combustível utilizado, existem opções desde os tradicionais diesel e gasolina, até modelos desenvolvidos mais recentemente que operam com gás natural e biodiesel.

As opções para acumulação de energia são diversas. Desde as tradicionais baterias eletroquímicas, que podem ser desde as automotivas de chumbo-ácido até as baterias solares, ou até mesmo células combustível acopladas a um tanque de hidrogênio.

No sistema de controle e condicionamento de energia é que têm acontecido as maiores inovações nesta área. Tradicionalmente tem-se utilizado a configuração CC, onde as fontes de geração injetam sua energia no barramento do banco de baterias, diretamente ou por meio de conversores CC-CC, sendo a energia resultante transmitida para o sistema de distribuição por meio de um conversor CC-CA. Existe hoje no mercado uma tecnologia que se autodenomina “o futuro da eletrificação de vilas” (CRAMER, 2004, p. 1). Trata-se de uma tecnologia baseada em um inversor bi-direcional para o banco de baterias que permite o acoplamento CA das fontes de energia elétrica do sistema híbrido. Esta tecnologia, de fato, apresenta algumas vantagens em relação às baseadas no acoplamento CC, como a simplificação da expansão do sistema e o aumento da redundância (ENGLER, 2003). O sincronismo entre as diversas fontes do barramento CA é feito através do controle da frequência e da potência reativa ou via comunicação serial, o que implica que cada uma das fontes necessita estar ligada no barramento utilizando inversores do mesmo fabricante, o que torna o projeto proibitivamente caro, limitando sua utilização em projetos de eletrificação rural.

### 2.5.1 Viabilidade de Utilização de Tecnologias Nacionais

Dentre os componentes que formam os sistemas híbridos, diversos deles já estão disponíveis por fabricantes nacionais. Os maiores destaques ficam por conta dos equipamentos de controle e condicionamento de potência e dos grupos geradores.

No Brasil existe desde 1980 uma fábrica de módulos fotovoltaicos, a Heliodinâmica que durante os primeiros anos cresceu expressivamente. Hoje ela continua a operar, porém com uma produção de módulos muito reduzida (CANELAS; CAVALCANTI, 2004).

A produção nacional de aerogeradores de pequeno porte tem mostrado um desenvolvimento expressivo nos últimos anos. Porém, o nível de desenvolvimento tecnológico ainda é incipiente, fruto, em boa parte, de atividades desenvolvidas no meio acadêmico. Os aerogeradores que já se encontram disponíveis no mercado têm uma potência nominal máxima relativamente baixa, em torno de 1 kW, o que limita a sua aplicação em sistemas híbridos.

Os grupos geradores encontram-se disponíveis em diversas configurações e faixas de potência no mercado brasileiro, apesar de em alguns casos utilizarem motores importados. Esses grupos geradores possuem um sistema de controle próprio, que garante o fornecimento de energia elétrica dentro das condições técnicas padrão. Grupos geradores de grande porte possuem inclusive um sistema de sincronismo, tecnologia que poderia ser utilizada também em grupos geradores de pequeno porte e possibilitaria a utilização de novas estratégias de operação em sistemas híbridos. De acordo com informações fornecidas por um fabricante, isto só não é feito, porque o sistema de sincronismo requer um investimento maior e não se mostra economicamente viável para grupos geradores de pequeno porte.

Além dos diversos modelos de baterias automotivas já existentes no mercado brasileiro, hoje começam a surgir as primeiras baterias estacionárias adaptadas para o uso em sistemas autônomos de fornecimento de energia elétrica. Essas baterias diferem das estacionárias comuns, pois ao contrário das aplicações em telecomunicações, na aplicação em sistemas autônomos para geração de eletricidade elas estarão sujeitas a um maior número de ciclos de cargas e descargas e também a eventuais descargas profundas.

No que diz respeito ao sistema de controle, verificou-se que é possível utilizar controladores de processos industriais, os quais encontram-se disponíveis em diversos modelos por fabricantes nacionais. Esses controladores possuem desde as funções mais básicas até sofisticados sistemas de controle, utilizados em processos onde se requer um alto nível de precisão. Quanto ao condicionamento de potência, a empresa EquisulGPL, já disponibiliza conversores CC-CA de tensão de até 30 kVA e diversos modelos de retificadores. Esses equipamentos podem ser utilizados em uma vasta gama de projetos de sistemas híbridos com acoplamento das fontes no barramento CC.

## 2.6 Gestão e Sustentabilidade

Um ponto que pode afetar significativamente a sustentabilidade dos sistemas híbridos é a maneira como é feita a gestão do sistema. No Brasil existem poucos sistemas híbridos de pequeno porte instalados, e a maioria encontra-se fora de operação devido a problemas de gestão. A maior parte desses sistemas foi instalado por centros de pesquisa com a finalidade de se avaliar e aperfeiçoar o seu desempenho.

Um grande esforço nesta área tem sido feito pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE), da Universidade Federal do Pará. O GEDAE já instalou três sistemas híbridos em comunidades isoladas do estado do Pará. Desses sistemas, apenas um se encontra em operação plena, o da comunidade de São Tomé. Nos outros dois sistemas, de Praia Grande e Tamaruteua, apenas o gerador diesel tem sido usado para o fornecimento de energia. O sistema de São Tomé utiliza um sistema de tarifação com pré-pagamento, onde os consumidores adquirem cartões que liberam uma determinada quantidade de energia que poderá ser consumida durante o período que for necessário.

Além desses sistemas, existe um sistema solar-diesel instalado em Araras, Rondônia, pelo LabSolar da Universidade Federal de Santa Catarina, que encontra-se em operação. O Laboratório de Energias Renováveis dos Estados Unidos instalou, na década de 90, um sistema solar-eólico na comunidade de Joanes, estado do Pará e um sistema solar-diesel no município de Manacapuru, Amazonas. Ambos estão fora de operação.

Observando-se as experiências realizadas anteriormente, verifica-se que seus modelos de gestão apresentam como premissa uma administração realizada pela própria comunidade, por intermédio de uma organização ou associação comunitária, que na maioria das vezes não conta com a fundamental ajuda da prefeitura municipal. Além disso, o auxílio financeiro para a execução das atividades de manutenção e operação do sistema de eletrificação é obtido através da cobrança de uma taxa mensal a cada unidade consumidora, sendo este tipo de tarifação em geral correspondente a um valor médio do total dos gastos em energéticos (querosene, pilhas, velas, etc.) outrora utilizados por unidade consumidora. Esse recurso financeiro é então utilizado para a compra do óleo diesel e outros gastos relativos à operação e manutenção do sistema. No entanto, esse tipo de tarifação não reflete o consumo real de cada

unidade consumidora, contribuindo para a insustentabilidade do sistema, pois, dependendo do caso, em algumas unidades consumidoras haverá consumo de menos, e em outras, consumo de mais. Essa situação causa, em geral, insatisfação por parte dos usuários do sistema (Barbosa et al., 2004).

Novos sistemas de tarifação, como o pré-pago, e uma participação mais efetiva das prefeituras e concessionárias de distribuição de energia elétrica na gestão junto à comunidade poderão contribuir para a sustentabilidade dos sistemas híbridos.

## 2.7 Exemplos de Aplicações

Diversos sistemas com as características abordadas neste trabalho já se encontram instalados e em operação ao redor do mundo. Aqui são apresentados alguns deles e suas principais características.

### 2.7.1 Vila de São Tomé, Brasil

A vila de São Tomé situa-se ao norte do município de Maracanã, estado do Pará. A população da vila é composta por aproximadamente 226 habitantes distribuídos em 40 famílias. Sua economia baseia-se no extrativismo dos recursos naturais locais e cultivo de mandioca para a produção de farinha (BARBOSA et al., 2004a). A tabela 2.4 apresenta as principais características do sistema híbrido de geração de energia elétrica existente na localidade.

| Componente           | Potência / Capacidade |
|----------------------|-----------------------|
| Gerador Fotovoltaico | 3,2 kW <sub>p</sub>   |
| Aerogerador          | 10 kW                 |
| Banco de Baterias    | 72 kWh                |
| Inversor             | 15 kW                 |
| Grupo Gerador Diesel | 20 kVA                |

Tabela 2.4 – Configuração do sistema de São Tomé

A localidade possui algum potencial eólico, o que viabilizou a utilização de um aerogerador no sistema híbrido. O sistema tem sua configuração com o acoplamento das fontes renováveis de energia no barramento CC e a conexão do grupo gerador no barramento CA. A energia

elétrica é distribuída por meio de uma mini-rede trifásica. O chaveamento entre o inversor do subsistema com fontes renováveis e o grupo gerador, para energização da rede é feito manualmente.

### 2.7.2 Pueblo de Cal Peraire, Espanha

O Pueblo de Cal Peraire situa-se no município de Sant Iscle de Vallalta, na província de Barcelona. Na localidade existem cinco residências que são atendidas pelo sistema híbrido (VOSSELER et al., 2004). A tabela 2.5 apresenta as principais características do sistema híbrido de geração de energia elétrica existente na localidade.

| Componente           | Potência / Capacidade |
|----------------------|-----------------------|
| Gerador Fotovoltaico | 5,4 kW <sub>p</sub>   |
| Aerogerador          | -                     |
| Banco de Baterias    | 72 kWh                |
| Inversor             | 7,2 kW                |
| Grupo Gerador Diesel | 5 kVA                 |

Tabela 2.5 – Configuração do sistema de Cal Peraire

### 2.7.3 Ilha de Kythnos, Grécia

O sistema híbrido de Gaidouromandra, da ilha de Kythnos, se difere dos demais por se tratar de um sistema com o acoplamento das fontes de energia feito inteiramente no barramento CA. O sistema fornece energia elétrica para doze residências por meio de uma rede monofásica de 230 V (VANDENBERGH et al., 2003). A tabela 2.6 apresenta as principais características do sistema híbrido de geração de energia elétrica existente na localidade.

| Componente           | Potência / Capacidade |
|----------------------|-----------------------|
| Gerador Fotovoltaico | 11 kW <sub>p</sub>    |
| Aerogerador          | -                     |
| Banco de Baterias    | 52 kWh                |
| Inversor             | 11 kW                 |
| Grupo Gerador Diesel | 9 kVA                 |

Tabela 2.6 – Configuração do sistema da Ilha de Kythnos

A potência do gerador fotovoltaico, na verdade, é o somatório da potência de cinco geradores fotovoltaicos espalhados pela mini-rede de distribuição.

### **3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA**

#### **3.1 Planejamento**

Para que se obtenha o melhor dimensionamento possível do sistema híbrido é necessária à execução de um planejamento detalhado do projeto. Se o sistema for sub-dimensionado, seu funcionamento será afetado negativamente, diminuindo a confiabilidade e a qualidade do fornecimento de energia elétrica e aumentando o número de interrupções. Por outro lado, o sobre-dimensionamento do sistema implica em maiores custos de investimento, que muitas vezes podem levar à inviabilidade econômica do projeto. Desta forma, ao se projetar um sistema híbrido, deve-se ter um compromisso entre o fornecimento de energia elétrica de forma confiável e o menor custo possível.

A fase de planejamento do dimensionamento do sistema deve consistir no levantamento da demanda energética da comunidade a ser atendida pelo sistema e no levantamento dos recursos locais para geração de energia elétrica. O dimensionamento do sistema em si deve ser feito a partir dos dados obtidos nesses levantamentos.

Também fazem parte da etapa de planejamento do projeto todas as questões que possam vir a afetar o sistema, tanto em sua fase de instalação como na fase de operação. Isto inclui etapas anteriores ao levantamento da demanda e dos potenciais energéticos, como por exemplo, a avaliação da comunidade. O primeiro passo para a instalação de um sistema híbrido em uma comunidade é conversar com a mesma, e verificar se há interesse pelo projeto. Outros aspectos de caráter social, técnico e econômico importantes e que devem ser avaliados antes mesmo das etapas de levantamento são: grau de organização da comunidade, distância e perspectivas de conexão à rede pública de transmissão e distribuição, acessibilidade, etc. Alguns destes aspectos poderão influenciar inclusive na decisão de se o projeto deve ou não ser realizado. Em virtude da diversidade e complexidade dos assuntos relacionados à eletrificação rural, é que se sugere que esse tipo de trabalho seja realizado por grupos interdisciplinares, envolvendo desde pessoas com formação na área técnica, para elaboração do projeto de geração e distribuição da energia elétrica, até pessoas com formação na área de ciências sociais, para a avaliação e acompanhamento da comunidade ao longo do projeto.

## 3.2 Levantamento da Demanda Energética

Um elemento fundamental para o dimensionamento adequado de um sistema híbrido é a demanda energética. Em sua tese de doutorado, Santos (2002, p. 100) observou que há um descompasso entre o serviço de energia elétrica prestado por sistemas fotovoltaicos domiciliares utilizados para eletrificação rural e os modos de consumo verificados em seu trabalho de campo. Este descompasso ocorre por falta de um estudo detalhado sobre os hábitos de consumo de energia das pessoas que recebem os sistemas de eletrificação rural. O modo de consumo e o comportamento futuro da expansão da demanda são fortemente influenciados por aspectos geográficos, culturais e econômicos, e, por esta razão, devem ser estudados cuidadosamente.

### 3.2.1 Curva de Demanda

A carga a ser atendida pelo sistema híbrido pode ser representada por uma curva de demanda, que é uma representação rica em detalhes sobre o consumo de energia elétrica de uma determinada comunidade ao longo do dia e do ano. Uma das maneiras de se estimar a curva de carga de uma comunidade é por meio de entrevistas. Através de perguntas relativas ao comportamento de consumo de energéticos, pode-se chegar à demanda energética passível de ser substituída pela eletricidade (SANTOS, 2002). Nas entrevistas devem-se identificar os tipos de energéticos utilizados para obtenção de usos finais (como iluminação, conservação de alimentos, comunicação, etc.), a quantidade consumida, o número de horas de utilização e variações sazonais de utilização.

Uma vez identificados os usos finais de energia, independentemente da fonte primária de energia, é possível se estabelecer um equivalente em energia elétrica para a obtenção do mesmo uso. Com esses dados em mãos, pode-se obter uma curva de demanda condizente com as condições reais de utilização dos equipamentos de uso final. Uma das maneiras de se estimar a curva de demanda de uma comunidade é utilizando o modelo matemático proposto por Sentelhas (2004, p. 62). O modelo sugerido leva em consideração o fator de diversidade de utilização das cargas, e tem algumas simplificações, que facilitam o cálculo da curva de demanda.



Uma das simplificações feitas por esse modelo é considerar a alocação de carga de forma que o pico aconteça na hora declarada como a mais provável. Os tipos de curvas resultantes, dependendo das informações obtidas nas entrevistas, são apresentados na tabela 3.1.

| Duração : Intervalo | Duração : Intervalo/2 | Horário mais provável  | Curva tipo |
|---------------------|-----------------------|------------------------|------------|
| =                   |                       |                        |            |
| <                   |                       | Sem hora mais provável |            |
| <                   | <                     | Início do intervalo    |            |
|                     |                       | Meio do intervalo      |            |
|                     |                       | Término do intervalo   |            |
|                     | >=                    | Início do intervalo    |            |
|                     |                       | Meio do intervalo      |            |
|                     |                       | Término do intervalo   |            |

Tabela 3.1 – Modelo de previsão de carga

No caso da duração ser igual ao intervalo, sem horário mais provável, a probabilidade da demanda é sempre 1. Quando a duração for menor que o intervalo, a demanda será igual em todo o intervalo de tempo e é determinada pelo fator de carga do evento durante o intervalo.

No caso da duração ser menor que a metade do intervalo, com hora mais provável, a probabilidade da demanda obedece à distribuição aleatória, que por sua vez obedece aos dados de consumo, e a curva pode ser aproximada por um triângulo em que a altura é determinada pela equação 3.1.

$$h_t = \frac{pu \cdot d \cdot 2}{i} \quad (3.1)$$

onde:

$h_t$  : altura do triângulo

$pu$  : potência utilizada [kW]

$d$  : duração [h]

$i$  : intervalo [h]

Quando a duração for igual ou maior que a metade do intervalo, com hora mais provável, a curva é representada por duas formas geométricas: um retângulo e um triângulo. O retângulo tem por base o intervalo e, sua altura, que se pode chamar de potência mínima para o evento em questão, é calculada pela equação 3.2.

$$h_R = 0,5 \cdot pu \quad (3.2)$$

Onde  $h_R$  é a altura do retângulo. O triângulo, assentado sobre o retângulo, tem seus vértices em hora de início, hora de término e hora mais provável, com a altura do terceiro vértice determinada pela equação 3.3.

$$h_T = \frac{2 \cdot (pu \cdot d - 0,5 \cdot pu \cdot i)}{i} \quad (3.3)$$

As curvas de demanda devem ser calculadas para quatro diferentes situações, onde há uma variação no consumo: semana-verão, fim de semana-verão, semana-inverno, fim de semana-inverno. Calculadas as curvas de demanda, será possível prever mais facilmente futuras alterações no consumo de energia e projetar o sistema de geração com um maior grau de confiabilidade. A figura 3.7 mostra a curva de demanda calculada para o núcleo Perequê com base nos procedimentos aqui expostos.

### 3.2.2 Demanda Reprimida

Comunidades que não têm acesso à energia elétrica possuem um alto grau de demanda reprimida. Num primeiro momento verifica-se que existe a necessidade de utilização de alguns serviços básicos disponíveis por meio da energia elétrica, como a iluminação. Porém, com o passar do tempo e a familiarização com a nova tecnologia, começa a surgir um aumento do consumo e uma demanda por novos tipos de serviços, como comunicação, refrigeração, etc.

Outro fator que deve ser considerado nesta fase do projeto é a probabilidade de novos moradores se mudarem para a localidade atendida, devido a esta possuir o fornecimento de

energia elétrica. Moradores de comunidades próximas sem acesso à energia elétrica poderão se sentir atraídos a morar na comunidade atendida, devido à disponibilidade desse serviço.

Como exemplo destes fenômenos pode-se citar o ocorrido na comunidade de São Tomé (sistema descrito na seção 2.6.1). Depois de apenas alguns meses de operação do sistema, Pinho (2004) constatou um aumento significativo do número de unidades consumidoras e da carga instalada em algumas delas, resultando no aumento da carga total instalada. O mesmo fenômeno ocorreu em um recente projeto de eletrificação rural utilizando sistemas fotovoltaicos domiciliares (SFD) realizado pelo LSF na Região Amazônica. Tigroso (2004) também pôde constatar um aumento no consumo de energia em diversos sistemas analisados em sua pesquisa de campo em comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos.

### **3.3 Levantamento dos Recursos Locais**

Além do levantamento dos potenciais solar e eólico, apresentado a seguir, também se deve fazer uma análise dos demais recursos energéticos existentes na localidade. Esses recursos podem ser desde pequenos aproveitamentos hidráulicos, até produção de biomassa ou biodiesel, e podem influenciar significativamente no dimensionamento do sistema, visto que, no caso da existência de outros potenciais, o sistema de geração poderá ser ampliado e contar com uma nova fonte.

#### **3.3.1 Potencial Solar**

A determinação do potencial solar de uma localidade pode ser feita de diversas maneiras: por meio de dados de um Atlas solarimétrico, através de cálculos que interpolam dados de estações próximas ao local, ou pela medição da radiação solar no próprio local. Este último tipo de levantamento é o mais indicado, visto que fornece dados mais precisos do potencial solar real da localidade. A aquisição de dados normalmente é feita em termos de potência por unidade de área, ou irradiância, e sua unidade é Watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ).

A irradiância solar normalmente é medida no plano horizontal, para eliminar os efeitos das características locais como, por exemplo, o tipo de cobertura do solo. Como o gerador fotovoltaico normalmente é posicionado a um determinado ângulo do plano horizontal, a

radiação efetivamente incidente no gerador deve ser calculada a partir dos dados coletados. O método para o cálculo da radiação incidente em um plano inclinado a partir de dados no plano horizontal aqui apresentado está baseado nos estudos desenvolvidos por Liu e Jordan, e por Collares Pereira e Rabl, e que foram apresentados em Blasques (2005, pp. 53-55), e Luque e Hegedus (2003, pp. 920-933).

A irradiação global no plano inclinado ( $G$ ) é dada pela equação 3.4, que leva em consideração as componentes direta e difusa da radiação global, visto que a componente de albedo geralmente pode ser negligenciada para aplicações fotovoltaicas (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

$$G(\beta) = G_H \cdot \left[ 1 + \frac{D}{G_H} \cdot RB + D_H \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \quad (3.4)$$

onde:

$\beta$  : inclinação do gerador fotovoltaico [°]

$G_H$  : irradiação global no plano horizontal [Wh/m<sup>2</sup>]

$D_H$  : irradiação difusa no plano horizontal [Wh/m<sup>2</sup>]

$RB$  : razão entre a radiação no plano inclinado e horizontal

Os parâmetros  $D_H$  e  $RB$  são calculados pelas equações 3.5 e 3.10, respectivamente.

$$D_H = G_H \cdot (1 - 1,13 \cdot K_T) \quad (3.5)$$

Onde o parâmetro  $K_T$  se refere ao índice de claridade, que é a relação entre a irradiação solar na superfície da Terra ( $G_H$ ) e a irradiação extraterrestre ( $H_0$ ). Desta forma, o índice de claridade é calculado pela equação 3.6.

$$K_T = \frac{G_H}{H_0} \quad (3.6)$$

A irradiação solar extraterrestre é dada pela equação 3.7.

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{SC} \cdot \left[ 1 + 0,33 \cdot \cos \left( \frac{360 \cdot d_n}{365} \right) \right] \cdot \cos \varphi}{\pi} \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (3.7)$$

onde:

$G_{SC}$  : constante solar [1.367 W/m<sup>2</sup>]

$d_n$  : dia Juliano [1-365]

$\varphi$  : latitude [°]

$\delta$  : declinação solar [°]

$\omega_s$  : ângulo do nascer do sol [°]

A declinação solar e o ângulo do nascer do sol são dados pelas equações 3.8 e 3.9, respectivamente.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left( \frac{360 \cdot (284 + d_n)}{365} \right) \quad (3.8)$$

$$\omega_s = -\arccos(-\tan \delta \cdot \tan \varphi) \quad (3.9)$$

O último elemento a ser calculado é a razão entre a irradiação no plano inclinado e no plano horizontal,  $RB$ . Para geradores FV instalados no hemisfério sul e voltados para o equador, esta razão é dada pela equação 3.10.

$$RB = \frac{\cos(\varphi + \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\varphi + \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta} \quad (3.10)$$

Os valores calculados para a inclinação do gerador fotovoltaico podem então ser utilizados para se determinar quanta energia o gerador pode produzir ao longo de um dado período.

### 3.3.2 Potencial Eólico

Da mesma forma que a energia solar, o potencial eólico de uma localidade pode ser determinado de diversas maneiras, porém a metodologia mais indicada é sua medição no próprio local. Como a potência eólica é proporcional ao cubo da velocidade do vento, é este o dado mais importante utilizado para o seu cálculo.

A velocidade do vento normalmente é medida a 10 e 30 metros de altura. Porém, a altura de instalação do aerogerador pode ser diferente desses dois valores, quando é necessário se calcular a velocidade do vento na altura na qual serão instalados os aerogeradores. Este cálculo pode ser efetuado pela equação 3.11 (WALKER; JENKINS, 1997, p. 7).

$$V(z) = V_r \cdot \left( \frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (3.11)$$

onde:

$V_r$  : velocidade do vento a uma altura de referência [m/s]

$z$  : altura na qual se quer determinar a velocidade [m]

$z_r$  : altura de referência [m]

$\alpha$  : coeficiente de rugosidade do solo

No caso de haver dados de medições feitas a duas alturas diferentes, o  $\alpha$  pode ser calculado pela própria equação 3.11. No caso de haver dados em apenas uma altura, podem-se utilizar os valores de  $\alpha$  listados na tabela 3.2 (WALKER; JENKINS, 1997, p. 8).

| Tipo de Terreno                                   | Classe de Rugosidade | $\alpha$ |
|---|----------------------|----------|
| Áreas de água                                     | 0                    | 0,01     |
| Campo aberto, alguns pequenos obstáculos          | 1                    | 0,12     |
| Zona rural, com prédios e galpões                 | 2                    | 0,16     |
| Zona rural, com muitas árvores, florestas e vilas | 3                    | 0,28     |

Tabela 3.2 – Parâmetros para o cálculo do perfil vertical do vento

Os valores calculados para a altura do aerogerador podem então ser utilizados para se determinar quanta energia o aerogerador pode produzir ao longo de um determinado período. Para que se possa fazer uma previsão da energia gerada ao longo da vida útil do sistema, Burton et al. (2001) recomenda que sejam coletados dados em um período mínimo de seis meses, para que se possa fazer uma estimativa confiável. No entanto, é claro que quanto maior for período de dados coletados mais confiável será o resultado.

### 3.4 Dimensionamento do Sistema

Depois de feito o levantamento dos recursos locais e da demanda energética, pode-se então dimensionar o sistema. Nesta etapa do projeto são definidas as dimensões dos componentes de geração, (gerador FV, aerogerador e grupo gerador), do conversor CC-CA e do banco de baterias.

O método de dimensionamento aqui proposto é uma adaptação do método sugerido por Celik (2003). O método consiste em quatro etapas principais:

1. Para cada mês, calcula-se o tamanho do gerador fotovoltaico e do aerogerador para atender a carga do sistema. Calcula-se então a área média anual dos 12 meses ( $A_{FV}$  e  $A_A$ ) e os desvios padrão correspondentes ( $\sigma_{FV}$  e  $\sigma_A$ ).
2. Aumenta-se a área  $A_{FV}$  e  $A_A$  por um fator de  $\sigma_{FV}$  e  $\sigma_A$ , respectivamente.
3. Calcula-se o número de módulos e aerogeradores dividindo as áreas calculadas no passo 2 pelas áreas do módulo e do aerogerador escolhidos para serem utilizados no projeto, e arredonda-se para o número inteiro superior mais próximo.
4. Calcula-se o custo de ciclo de vida do sistema para diferentes frações de geradores fotovoltaicos e aerogeradores, a fim de se determinar com qual delas se obtém o menor custo.

As áreas do gerador FV e do aerogerador ( $A_{FV}$  e  $A_A$ ) são calculadas pelas fórmulas 3.12 e 3.13.

$$A_{FV} = \frac{E_D}{e_{FV}} \quad (3.12)$$

$$A_A = \frac{E_D}{e_A} \quad (3.13)$$

onde:

$E_D$  : energia demandada pelo sistema [kWh]

$e_{FV}$  : energia específica do gerador fotovoltaico [kWh/m<sup>2</sup>]

$e_A$  : energia específica do aerogerador [kWh/m<sup>2</sup>]

A energia demandada pelo sistema é dada pelo somatório das demandas de cada residência, obtidas na etapa de levantamento da demanda energética, mais as perdas na distribuição e na conversão da energia elétrica. As energias específicas são calculadas a partir de dados fornecidos pelos fabricantes dos módulos fotovoltaicos e aerogeradores escolhidos para o projeto e das medições do potencial solar e eólico da localidade.

O dimensionamento do grupo gerador e do sistema de condicionamento de potência, conversor CC-CA, da central de geração são determinados pela potência de pico da curva de demanda da comunidade mais as perdas na distribuição.

O banco de baterias deve ser dimensionado de acordo com a autonomia que se deseja dar ao sistema. Uma vez definida a autonomia do sistema (um, dois, três dias, por exemplo), deve-se integrar a curva de demanda para o período de autonomia e o resultado será a energia útil que o banco de baterias deverá ser capaz de fornecer. A energia útil que um banco de baterias é capaz de fornecer é dada pela sua capacidade vezes a profundidade de descarga programada no controlador vezes a eficiência do processo de descarga.

Esta metodologia é exemplificada com o dimensionamento do sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel projetado para o fornecimento de energia elétrica da comunidade de Marujá.

### **3.5 Estudos de Caso**

#### **3.5.1 Comunidade de Marujá**

A comunidade de Marujá não se trata de uma comunidade sem nenhum tipo de fornecimento de energia elétrica. Na comunidade já existem diversos sistemas individuais de geração de energia elétrica (SFD e grupos geradores) que atendem boa parte dos comunitários. Além do levantamento da carga instalada e da potência dos geradores nas residências já atendidas, também foi feita uma estimativa da demanda que será adicionada ao sistema pelas demais residências. Quanto ao levantamento dos recursos locais, verificou-se tanto o potencial solar como o eólico, devido à comunidade se localizar em um local com provável incidência de bons ventos para o aproveitamento energético.



## Levantamento da Demanda Energética

O levantamento da carga foi dividido em duas partes: carga atendida pelos sistemas diesel e carga atendida pelos sistemas fotovoltaicos. Isso foi feito com o intuito de identificar o número de sistemas fotovoltaicos instalados na comunidade e qual a relevância das cargas atendidas por esses sistemas em relação ao grupo gerador.

### Carga atendida por sistemas fotovoltaicos

A caracterização deste item pode ser visualizada através da tabela 3.3, onde constam informações relacionadas à origem da instalação (Ecowatt ou próprio), número de sistemas, potência instalada, capacidade em baterias utilizadas por esses sistemas, além da carga instalada atendida e o consumo médio. Os sistemas Ecowatt foram instalados por um programa comercial iniciado pela CESP. Ressalta-se que a maioria desses sistemas encontra-se instalada inadequadamente.

Os sistemas Ecowatt são todos de 140  $W_p$ . No que se refere aos sistemas ditos “próprios”, esses correspondem a sistemas que variam de 45  $W_p$  a 900  $W_p$ , sendo os sistemas instalados no posto de saúde, centro comunitário e centro de visitantes os que possuem maior potência instalada (420  $W_p$ , 800  $W_p$  e 900  $W_p$ , respectivamente).

| USO DE ENERGIA ELÉTRICA - Sistemas Fotovoltaicos |      |                          |              |                     |                         |
|--|------|--------------------------|--------------|---------------------|-------------------------|
| Tipo   | Qtd. | Pot. Instalada ( $W_p$ ) | Bateria (Ah) | Carga Instalada (W) | Consumo Médio (kWh/mês) |
| Próprio  | 8    | 2.965                    | 3.490        | 1.613               | 155,2                   |
| Ecowatt  | 23   | 3.220                    | 3.595        | 2.041               | 170,3                   |
| TOTAL  | 31   | 6.185                    | 7.085        | 3.654               | 325,5                   |

Tabela 3.3 – Resumo dos sistemas fotovoltaicos instalados em Marujá

A utilização desses sistemas restringe-se aos horários em que os grupos geradores não estão em funcionamento, para aquelas edificações que são atendidas por estes, ou aos horários noturnos, para aquelas que não são atendidas por grupo gerador, implicando, assim, em um número médio de utilização de 3 horas na baixa temporada e 4 horas na alta temporada. Segundo as informações resumidas na tabela 3.3, pode-se perceber a subutilização desses

sistemas quando se confronta a capacidade instalada em módulos fotovoltaicos e baterias com o consumo médio mensal da comunidade. Isso se deve a uma série de fatores que vão desde a má instalação dos equipamentos até poucas horas de utilização, devido à presença dos grupos geradores.

#### Carga atendida por grupos geradores

A tabela 3.4 mostra, de maneira detalhada, a utilização de grupos geradores na comunidade de Marujá, onde se identificou um total de 15 grupos geradores, sendo esses, em quase sua totalidade, alimentados por diesel. As informações foram fornecidas pelos proprietários dos grupos geradores.

| USO DE ENERGIA ELÉTRICA - Grupos Geradores |            |               |             |                      |                     |                    |                         |                        |  |   |  |
|--|------------|---------------|-------------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|--|---|--|
| Referência                                 | Motor (CV) | Gerador (kVA) | Combustível | Carga Instalada (kW) | Tempo Baixa (h/dia) | Tempo Alta (h/dia) | Consumo Baixa (kWh/mês) | Consumo Alta (kWh/mês) | Qtd. Total de Combustível na Baixa Temporada (L/mês) | Qtd. Total de Combustível na Alta Temporada (L/mês) |  |
| 1  | 9          | 7             | D           | 1,062                | 5                   | 7                  | 91,8                    | 126,0                  | 100  | 150   |  |
| 4  | 13         | 10            | D           | 1,84                 | 0                   | 5                  | 0,0                     | 276,0                  | 0  | 225   |  |
| 5  | 7,5        | 3,5           | D           | 1,62                 | 0                   | 7                  | 0,0                     | 340,0                  | 0  | 100   |  |
| 8  | 18         | 5             | D           | 1,125                | 2                   | 6                  | 67,5                    | 202,5                  | 50   | 150   |  |
| 12   | 7,5        | 3,5           | G           | 1,41                 | 5                   | 5                  | 211,5                   | 211,5                  | 100  | 100   |  |
| 14   | 7,5        | 4             | D           | 0,74                 | 3                   | 5                  | 66,6                    | 111,0                  | 65   | 105   |  |
| 15   | 7,5        | 3             | D           | 0,5                  | 6                   | 6                  | 82,8                    | 82,8                   | 100  | 100   |  |
| 16   | 7,5        | 4             | D           | 0,89                 | 6                   | 7                  | 160,0                   | 187,0                  | 100  | 100   |  |
| 19   | 12         | 7,5           | D           | 1,44                 | 4                   | 6                  | 173,0                   | 260,0                  | 120  | 180   |  |
| 21   | 12         | 7,5           | D           | 1,48                 | 3                   | 6                  | 133,2                   | 266,4                  | 100  | 200   |  |
| 22   | 10         | 6             | D           | 3,11                 | 4                   | 5                  | 373,0                   | 466,5                  | 150  | 200   |  |
| 33   | 9          | 5             | D           | 3,17                 | 5                   | 5                  | 475,0                   | 475,0                  | 120  | 120   |  |
| 38   | 11         | 6             | D           | 1,9                  | 3                   | 7                  | 186,0                   | 354,0                  | 120  | 150   |  |
| 41   | 9          | 3             | D           | 1,6                  | 4                   | 5                  | 162,0                   | 240,0                  | 100  | 150   |  |
| 42   | 10         | 5             | G           | 0,81                 | 4                   | 4                  | 97,2                    | 97,2                   | 40   | 40  |  |
| Soma                                       | 150,5      | 80            |             | 22,70                | 54                  | 86                 | 2.279,6                 | 3.695,9                | 1.265  | 2.070   |  |
| Média                                      | 10,0       | 5,3           |             | 1,5                  | 3,6                 | 5,7                | 152,0                   | 246,4                  | 84,3   | 138,0   |  |

Tabela 3.4 – Grupos geradores instalados em Marujá, carga e consumo

Nota-se da tabela 3.4, que dos 15 grupos geradores identificados, apenas dois deixam de funcionar no período de baixa temporada. Por outro lado, percebe-se o aumento significativo do consumo de eletricidade (e conseqüentemente de combustível) no período de alta temporada, chegando a ser aproximadamente 63% superior ao consumo no período de baixa temporada.

A figura 3.1 mostra a curva de demanda calculada para os meses de alta temporada, a partir dos dados dos levantamentos de carga das tabelas 3.3 e 3.4, e com o auxílio das características de consumo descritas pelos moradores entrevistados, onde se pode perceber uma predominância significativa da utilização dos grupos geradores em relação aos sistemas fotovoltaicos.

Visto que o levantamento da carga elétrica foi realizado somente para as residências que já possuíam sistemas fotovoltaicos ou grupos geradores, é preciso se fazer uma estimativa de qual será a nova carga a entrar no sistema, proveniente das residências ainda não atendidas. Já com o intuito de se estabelecer um padrão de comparação com os SIGFI (ver seção 2.2), estimou-se o consumo de cada uma das 22 residências não atendidas como sendo de 30 kWh por mês. Este consumo mensal resulta em um consumo médio de 1 kWh por dia que, em um perfil típico de residências rurais (com baixo consumo durante o dia e um pico à noite), pode ser representado por uma demanda igual à 30 W das seis as dezoito horas e de 160 W das dezoito as vinte duas horas.

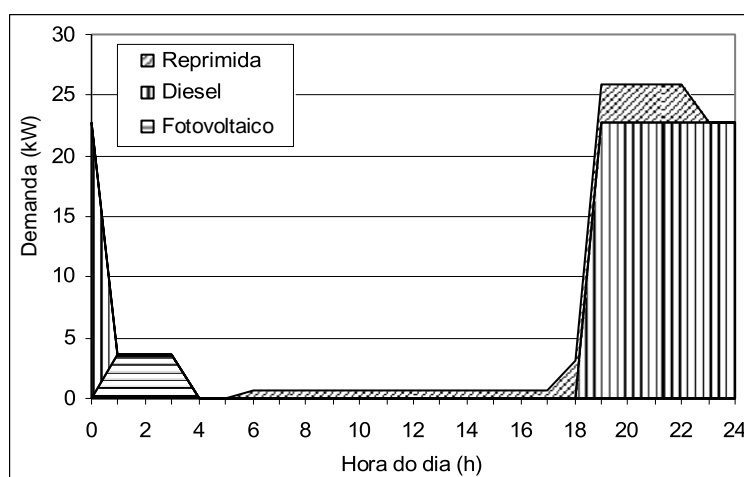


Figura 3.1 – Curva de demanda de Marujá na alta temporada

### Levantamento dos Recursos Locais – Potencial Solar

O levantamento do potencial solar existente na comunidade foi feito através da aquisição de dados por uma estação solarimétrica instalada no local. Os dados foram coletados em base horária. A figura 3.2 mostra a radiação diária média mensal do ano de 2004, para um plano inclinado a 30° em relação à horizontal, voltado para o norte. A radiação média do ano de 2004 foi de 3,79 kWh/m<sup>2</sup> por dia.

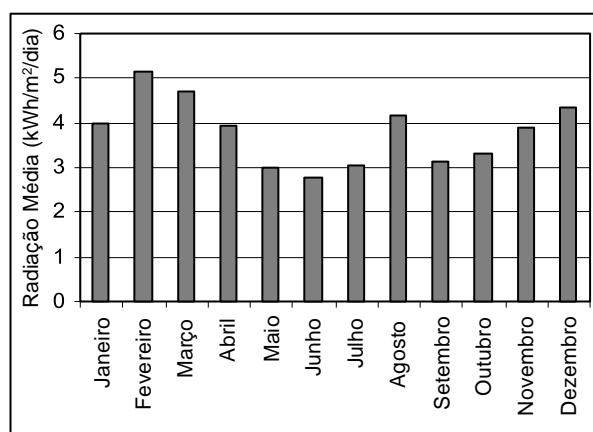


Figura 3.2 – Radiação diária média mensal de Marujá

O potencial efetivo para geração de eletricidade por metro quadrado é aproximadamente 10 % do valor medido, dependendo de qual módulo for escolhido.

### Levantamento dos Recursos Locais – Potencial Eólico

O levantamento do potencial eólico foi feito através da aquisição de dados de uma torre com anemômetros a 10 e 30 metros de altura. A figura 3.3(a) mostra a média mensal de velocidades de vento a 30 metros para o ano de 2004. A velocidade de vento média registrada no ano de 2004 foi de 4,01 m/s.

Outro dado importante para se avaliar o potencial eólico é a frequência com que ocorreram as velocidades de vento registradas. A figura 3.3(b) mostra o histograma dos dados registrados para 2004, a 30 metros de altura.

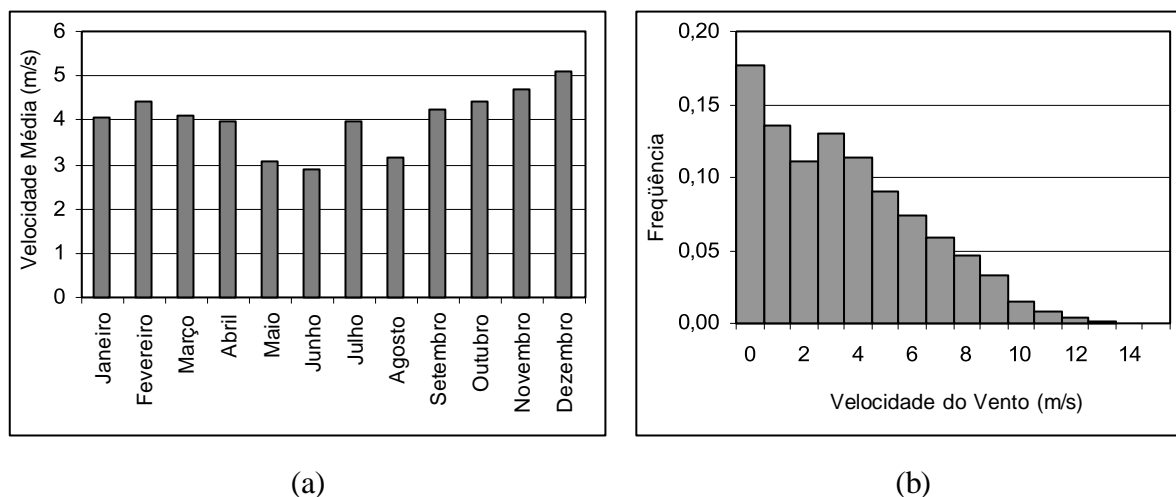


Figura 3.3 – Média mensal da velocidade do vento (a) e histograma (b) de Marujá

No anexo A estão disponibilizados todos os dados de irradiância no plano inclinado a 30° e velocidade de vento a 30 metros, em base horária, coletados na comunidade de Marujá. Para se obter o potencial efetivo de geração de eletricidade ainda é preciso fazer o cruzamento dos dados do histograma com as curvas de potência fornecidas pelos fabricantes de turbinas de pequeno porte. A tabela 3.5 mostra o fator de capacidade (FC) obtido da aplicação dos dados da estação de Marujá no ano de 2004 às curvas de potência de turbinas de pequeno porte disponíveis no mercado.

| Fabricante      | Modelo    | Potência (kW) | FC a 30 m (%) | FC a 50 m (%) |
|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Atlantic Orient | AOC 15/50 | 50            | 15,11         | 23,52         |
| Bergey          | Excell S  | 10            | 10,96         | 16,11         |
| Bergey          | Excell R  | 7,5           | 15,64         | 22,51         |
| Fuhrländer      | FL 30     | 30            | 19,79         | 27,64         |
| Proven          | WT15000   | 15            | 20,15         | 27,91         |
| Proven          | WT6000    | 6             | 20,30         | 28,08         |
| Vergnet         | GEV 15/60 | 60            | 10,35         | 16,31         |
| Vergnet         | GEV 10/20 | 20            | 10,81         | 16,75         |
| Vergnet         | GEV 7/10  | 10            | 12,46         | 19,66         |
| Vergnet         | GEV 6/5   | 5             | 16,87         | 24,61         |
| Westwind        | 20 kW     | 20            | 13,18         | 19,77         |
| Westwind        | 10 kW     | 10            | 11,80         | 18,10         |
| Westwind        | 5 kW      | 5             | 14,98         | 21,94         |

Tabela 3.5 – FC turbinas de pequeno porte a 30 e 50 metros de altura

Para projetos eólicos de pequeno porte, são considerados bons fatores de capacidade valores em torno de 25 %. Pode-se observar na tabela 3.5 que os valores se apresentam abaixo deste valor para uma altura de 30 metros. Por este motivo, também foi feita uma avaliação do

potencial eólico a uma altura de 50 metros. Com a finalidade de se obter uma estimativa do potencial eólico em diferentes alturas, calculou-se o fator de rugosidade da localidade.

Avaliando-se o terreno e a predominância das incidências de vento, pode-se determinar a rugosidade da localidade utilizando-se a equação 3.11. Depois de feita uma avaliação no local, determinou-se a existência de três principais setores: terreno montanhoso, mar aberto e vegetação de médio porte. A distância entre a torre e o mar aberto é de aproximadamente 400 metros e nesta região existe vegetação rasteira e pequenas dunas de areia. A figura 3.4(a) mostra estes setores e seus respectivos ângulos de abrangência. A figura 3.4(b) mostra a rosa dos ventos com as frequências de ocorrência de ventos acima de 3 m/s a 30 metros.

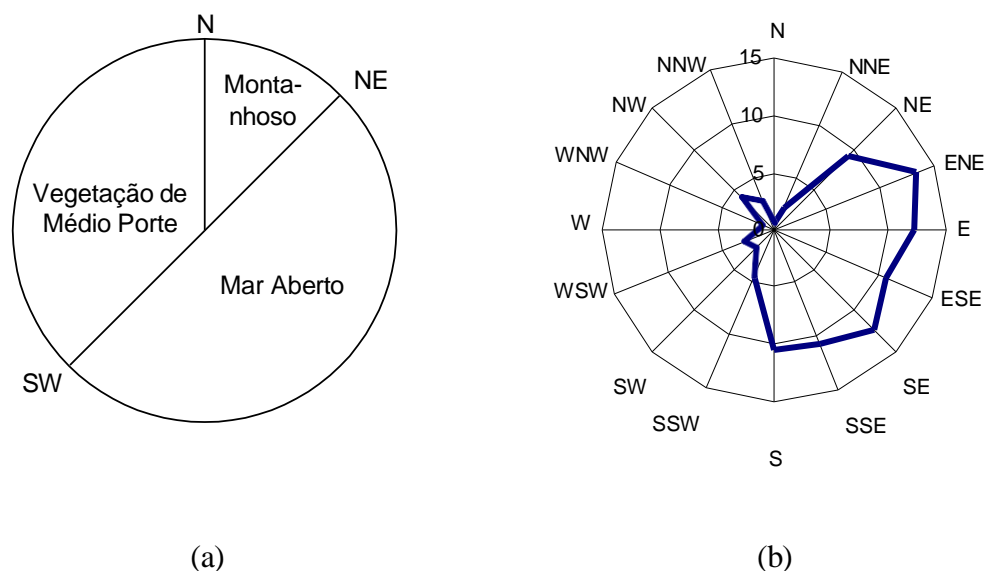


Figura 3.4 – Setores (a) e rosa-dos-ventos (b) com frequência de ocorrência dos ventos

O fator de rugosidade calculado foi de 0,35 para a região de ventos predominantes. O FC das turbinas de pequeno porte a 50 metros, mostrado na última coluna da tabela 3.5, apresenta uma melhoria significativa, razão pela qual optou-se por instalá-las a essa altura.

#### Dimensionamento do Sistema

Além do dimensionamento dos componentes, com base somente na avaliação dos dados, é importante destacar algumas características do perfil dos recursos disponíveis na localidade. Ao observar as figuras 3.2 e 3.3(a), percebe-se que não há uma complementaridade sazonal entre recursos solar e eólico. Porém, existe um casamento entre estes dois recursos e a

demanda energética da comunidade, visto que os dois recursos apresentam seus maiores potenciais nos meses de verão, justo o mesmo período que a comunidade recebe um grande número de turistas. Além disto, existe uma complementaridade diária entre os recursos solar e eólico, como mostra a fig. 3.5, o que contribui para um melhor aproveitamento dos recursos.

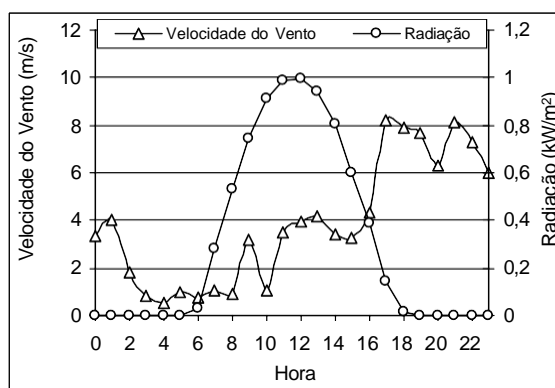


Figura 3.5 – Velocidade do vento e radiação solar de um dia típico em Marujá

Com os dados da demanda energética e dos recursos solar e eólico pode-se dimensionar o sistema híbrido para o fornecimento de energia elétrica na comunidade de Marujá. O módulo escolhido para o gerador FV foi o BP Solar de 85 W<sub>p</sub> e o aerogerador foi o Proven de 15 kW, devido a estes dois equipamentos apresentarem os melhores números referentes ao aproveitamento dos recursos locais (ver tabelas 2.2 e 3.5). Para calcular a energia demandada pelo sistema, foram considerados 5% de perdas na distribuição e uma eficiência de conversão igual a 90%. A tabela 3.6 mostra as dimensões do gerador FV e do aerogerador para atender à demanda mensal da comunidade.

| Mês       | $e_{FV}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | $e_A$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | $E_D$<br>(kWh) | $A_{FV}$<br>(m <sup>2</sup> ) | $A_A$<br>(m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
| Janeiro   | 16,22                             | 50,63                          | 6065,85        | 373,97                        | 119,81                     |
| Fevereiro | 19,56                             | 53,40                          | 5674,50        | 290,11                        | 106,26                     |
| Março     | 19,13                             | 51,13                          | 4419,77        | 231,04                        | 86,44                      |
| Abril     | 15,52                             | 43,24                          | 4277,19        | 275,59                        | 98,92                      |
| Mai       | 12,23                             | 28,04                          | 4419,77        | 361,39                        | 157,62                     |
| Junho     | 10,94                             | 24,06                          | 4277,19        | 390,97                        | 177,77                     |
| Julho     | 12,35                             | 49,57                          | 4419,77        | 357,88                        | 89,16                      |
| Agosto    | 16,87                             | 32,38                          | 4419,77        | 261,99                        | 136,50                     |
| Setembro  | 12,26                             | 49,81                          | 4277,19        | 348,87                        | 85,87                      |
| Outubro   | 13,46                             | 57,74                          | 4419,77        | 328,36                        | 76,55                      |
| Novembro  | 15,25                             | 60,21                          | 4277,19        | 280,47                        | 71,04                      |
| Dezembro  | 17,57                             | 70,82                          | 6065,85        | 345,24                        | 85,65                      |

Tabela 3.6 – Energias específicas, carga e área dos geradores

As médias das áreas do gerador FV e do aerogerador são  $320,49 \text{ m}^2$  e  $107,63 \text{ m}^2$ , e os desvios padrão são  $50,76 \text{ m}^2$  e  $33,75 \text{ m}^2$ , respectivamente. Somando a média e o desvio padrão, obtém-se a área que garante a melhor relação técnico-econômica, de acordo com a metodologia apresentada no item 3.4, para o fornecimento de energia utilizando apenas cada uma das fontes. Estes valores são iguais a  $371,25 \text{ m}^2$ , para o gerador FV, e  $141,38 \text{ m}^2$ , para o aerogerador. Para determinar o número de módulos e aerogeradores, basta dividir estes valores pelas áreas dos mesmos. Isto nos leva a um gerador FV com 572 módulos fotovoltaicos e potência de  $48,62 \text{ kW}_p$ , e um parque eólico com 3 turbinas e potência total de  $45 \text{ kW}$ .

Para se determinar qual o melhor dimensionamento das duas fontes operando em conjunto, basta variar a fração FV para diferentes números de aerogeradores e calcular o custo do projeto para as diferentes combinações. A figura 3.6 mostra um gráfico com os custos do sistema com três, dois, um e nenhum aerogerador, que resulta, respectivamente, nas frações FV de 0%, 10%, 55% e 100%. A avaliação foi feita utilizando os custos do gerador FV igual a  $11 \text{ R\$/W}_p$ , do aerogerador igual a  $5 \text{ R\$/W}$  e uma taxa de desconto de 6% ao ano. Observa-se que o menor custo se encontra na configuração com dois aerogeradores (30 kW) e 10% de fração FV, equivalente a  $4,93 \text{ kW}_p$ .

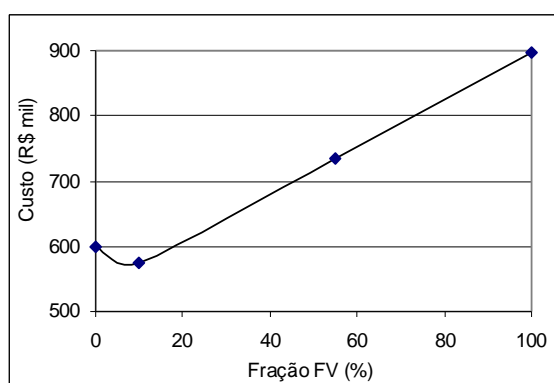


Figura 3.6 – Custo do sistema de geração de Marujá para diferentes frações FV

Para uma autonomia de um dia é necessário um banco de baterias de  $120 \text{ kWh}$ , ajustado para uma profundidade de descarga máxima igual a 50%. Desta forma, garante-se pelo menos 3 horas de fornecimento de energia em noites que a comunidade estiver recebendo um número elevado de turistas. Já o inversor e o grupo gerador devem ser dimensionados a fim de atender a carga de ponta que, observando a figura 3.1, leva as potências de  $30 \text{ kW}$  e  $40 \text{ kVA}$ ,



respectivamente. A tabela 3.7 mostra a configuração do sistema dimensionado para a comunidade de Marujá.

| Componente           | Potência / Capacidade |
|----------------------|-----------------------|
| Gerador Fotovoltaico | 4,9 kW <sub>p</sub>   |
| Parque Eólico        | 30 kW                 |
| Banco de Baterias    | 120 kWh               |
| Inversor             | 30 kW                 |
| Grupo Gerador Diesel | 40 kVA                |

Tabela 3.7 – Configuração do sistema de Marujá

### 3.5.2 Núcleo Perequê

O caso do núcleo Perequê apresenta algumas particularidades, visto que o núcleo já tem um sistema diesel e diversos potenciais componentes para um sistema híbrido. O dimensionamento do sistema foi feito de maneira a aproveitar, da melhor forma possível, os equipamentos já disponíveis. Outra característica importante do núcleo é que, além de ter uma população de visitantes que varia muito ao longo do ano, a carga instalada é controlada, por se localizar dentro de um parque de preservação ambiental.

#### Levantamento da Demanda Energética

Com vista a se obter a demanda energética do núcleo, foi realizado um levantamento dos equipamentos de uso final de energia elétrica, bem como entrevistas com os moradores locais a fim de se obter informações relativas aos hábitos de utilização desses equipamentos.

A rede alimentada pelo grupo gerador diesel fornece energia elétrica tanto para iluminação quanto para outros equipamentos de uso final como: compressores, bombas, equipamentos eletrônicos, etc. Foram feitas entrevistas com os moradores locais e funcionários do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, e se passou em todas as edificações, a fim de levantar todos os equipamentos ligados à rede alimentada pelo gerador diesel. A tabela 3.8 mostra dados obtidos a partir desses levantamentos e das entrevistas com os moradores locais. Nela está ilustrado o caso de uma das casas dos funcionários do núcleo.

Também foi feito um levantamento do alcance da rede já existente no núcleo. Esta etapa é muito importante, pois uma distribuição uniforme das cargas entre as três fases faz com que o sistema funcione de forma mais adequada. No caso de haver um desequilíbrio na distribuição das cargas, o grupo gerador diesel opera com eficiência mais baixa.

| Equipamento           | Potência (W) | Qtd. | Potência Total (W) | Período de Utilização | Horário mais Provável | Tempo de Utilização |
|-----------------------|--------------|------|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Lâmpada Incandescente | 60           | 2    | 120                | 18:00-24:00           | 19:00                 | 03:00               |
| TV Panasonic 14"      | 80           | 1    | 80                 | 18:00-23:00           | Constante             | 05:00               |
| Receptor Orbisat      | 30           | 1    | 30                 | 18:00-23:00           | Constante             | 05:00               |
| Ventilador Brisa      | 65           | 1    | 65                 | 18:00-08:00           | Constante             | 14:00               |
| Rádio de Comunicação  | 48           | 1    | 48                 | 09:00-18:00           | Aleatório             | 02:00               |

Tabela 3.8 – Dados de um levantamento de equipamentos e entrevista

Os sistemas fotovoltaicos isolados são utilizados basicamente para iluminação. Nas casas de pesquisadores, por exemplo, esses sistemas alimentam doze lâmpadas fluorescentes compactas e três tomadas, que podem ser utilizadas pelos pesquisadores para alimentação de eventuais cargas como computadores portáteis, carregadores de baterias de celulares, etc.

A curva de demanda foi levantada para o caso em que o núcleo estiver recebendo um grupo de visitantes, que ocupe todas as suas dependências. O modelo utilizado para se obter a curva de carga do núcleo foi o apresentado na seção 3.2.1. A figura 3.7 mostra o resultado obtido através dos dados levantados nas entrevistas com os funcionários do núcleo e do levantamento dos equipamentos de uso final.

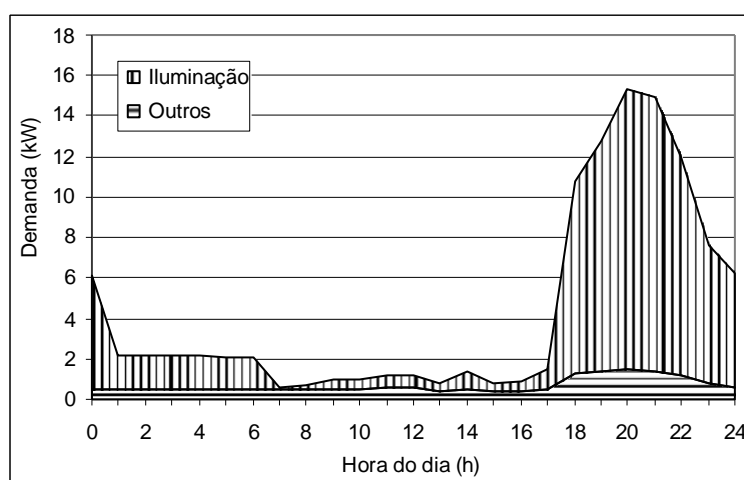


Figura 3.7 – Curva de demanda do Perequê na alta temporada

## Levantamento dos Recursos Locais

O levantamento dos recursos locais baseou-se na avaliação do potencial de geração de energia elétrica já existente. O Núcleo utiliza geradores FV de forma isolada, o que torna o sistema, de certa forma, ineficiente, pois, ao mesmo tempo em que falta energia em algumas residências, em outras, que não estão sendo utilizadas, pode haver energia disponível.

O grupo gerador só é ligado quando grupos de visitantes estão alojados no núcleo. Quando o número de pessoas que permanecem no núcleo é pequeno, o fornecimento de energia elétrica é feito somente pelos sistemas FV.

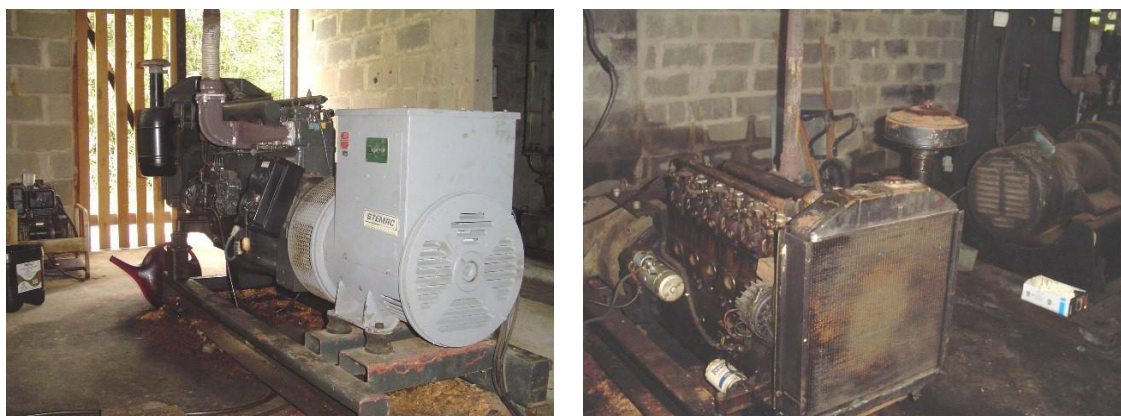
O fornecimento de energia do sistema diesel é formado por dois grupos geradores, um principal e um reserva. As tabelas 3.9(a) e (b) mostram as características dos dois grupos geradores.

| Grupo Gerador Principal |        | Grupo Gerador Reserva |         |
|-------------------------|--------|-----------------------|---------|
| Fabricante              | Stemac | Fabricante            | Negrini |
| Potência do gerador     | 81 kVA | Potência do gerador   | 55 kVA  |
| Tensão Nominal          | 220 V  | Tensão Nominal        | 220 V   |
| Potência do motor       | 66 kW  | Potência do motor     | ---     |
| Consumo                 | 9 L/h  | Consumo               | 7 L/h   |

Tabela 3.9 – Dados do grupo gerador principal (a) e reserva (b) do Perequê

O sistema normalmente é operado pelo grupo gerador principal, mas, de tempos em tempos, o gerador reserva é ligado à rede. Ambos os geradores são ligados à rede de distribuição trifásica existente no núcleo através de uma chave seccionadora de três posições, de forma que sempre opera um de cada vez, nunca os dois em paralelo.

Os grupos geradores foram dimensionados para atender a uma carga que hoje não mais existe no núcleo. Quando eles foram dimensionados, existiam nas casas de visitantes e no alojamento chuveiros elétricos, que foram substituídos por chuveiros a gás (GLP). Desta forma, hoje os dois grupos geradores estão sobre-dimensionados, fazendo com que ambos trabalhem fora de sua faixa de operação ideal, resultando na queda de suas eficiências. A figura 3.8 mostra os dois grupos geradores.



(a)

(b)

Figura 3.8 – Grupo gerador principal (a) e reserva (b) do Perequê

No núcleo existem diversos sistemas fotovoltaicos individuais, que atendem à demanda diurna, e também à demanda noturna, quando o número de pessoas que se encontram no núcleo não é muito elevado. Esses sistemas são originários de diversos projetos, fazendo com que haja uma certa diversidade de equipamentos utilizados. Os projetos que fomentaram instalação desses sistemas foram o projeto Eldorado, que surgiu de uma cooperação entre o parque e o governo alemão, do projeto Ecowatt, o mesmo programa de eletrificação responsável pelos sistemas do comunidade de Marujá, e do PRODEEM. A figura 3.9 mostra um sistema instalado pela parceria com o governo alemão, que representa a maior parcela dos geradores FV instalados no núcleo.



Figura 3.9 – Exemplo de sistema fotovoltaico do Perequê

Com a ajuda do funcionário responsável pela manutenção dos sistemas, foi possível registrar todos os módulos FV, bem como os demais componentes que compõem os sistemas

fotovoltaicos: controladores, baterias e inversores. Foram registrados o fabricante, o modelo e a potência nominal de cada tipo de módulos. A tabela 3.10 apresenta esses dados, bem como suas quantidades e a potência total que se encontra instalada.

| Referência                       | Módulos    |                |      |  |   |
|----------------------------------|------------|----------------|------|--|---|
|                                  | Fabricante | Modelo         | Qtd. | P <sub>nominal</sub><br>mód. (W <sub>p</sub> ) | P <sub>nominal</sub><br>conj. (W <sub>p</sub> ) |
| S1                               | SIEMENS    | SM55           | 6    | 55   | 330   |
| S2                               | SIEMENS    | SP70           | 2    | 70   | 140   |
| S3                               | SIEMENS    | SP70           | 2    | 70   | 140   |
| S4                               | SIEMENS    | SM55           | 3    | 55   | 165   |
| S5                               | SIEMENS    | SM55           | 36   | 55   | 1980  |
| S6                               | SIEMENS    | SM55           | 36   | 55   | 1980  |
| S7                               | SIEMENS    | SM55           | 3    | 55   | 165   |
| S8                               | SIEMENS    | SM55           | 3    | 55   | 165   |
| S9                               | SIEMENS    | SM55           | 32   | 55   | 1760  |
| S10                              | ASE        | ASE-050-ALF/17 | 16   | 50   | 800   |
| S11                              | ASE        | ASE-050-ALF/17 | 4    | 50   | 200   |
| S12                              | SIEMENS    | SM55           | 10   | 55   | 550   |
| S13                              | ATERSA     | AP7105/A-75    | 6    | 75   | 450   |
| S14                              | ASE        | ASE-050-ALF/17 | 16   | 50   | 800   |
| S15                              | SIEMENS    | SM55           | 36   | 55   | 1980  |
| S16                              | ATERSA     | AP7105/A-75    | 4    | 75   | 300   |
| S17                              | ATERSA     | AP7105/A-75    | 4    | 75   | 300   |
| S18                              | SIEMENS    | SM55           | 12   | 55   | 660   |
| S19                              | ATERSA     | AP7105/A-75    | 6    | 75   | 450   |
| S20                              | ASE        | ASE-050-ALF/17 | 16   | 50   | 800   |
| Potência total (W <sub>p</sub> ) |            |                |      |  | 14.115  |

Tabela 3.10 – Geradores fotovoltaicos instalados no Núcleo Perequê

A potência total que se encontra instalada no núcleo é igual a 14.115 W<sub>p</sub>. Outro dado importante para a avaliação da possibilidade de instalação de um sistema centralizado no núcleo é a alta incidência de módulos de mesma marca e mesmo modelo (ver tabela 3.11).

| Fabricante | Modelo         | Qtd. | Potência (W <sub>p</sub> ) | Cobertura (%) |
|------------|----------------|------|----------------------------|---------------|
| SIEMENS    | SM55           | 177  | 9.735                      | 68,97         |
| ASE        | ASE-050-ALF/17 | 52   | 2.600                      | 18,42         |
| ATERSA     | AP7105/A-75    | 20   | 1.500                      | 10,63         |
| SIEMENS    | SP70           | 4    | 280                        | 1,98          |
| Total      |                | 253  | 14115                      | 100           |

Tabela 3.11 – Potência instalada agrupada por modelos de módulos

## Dimensionamento do Sistema

O dimensionamento do sistema a ser utilizado nessa localidade deve levar em consideração os recursos nela já existentes, a fim de se atender à demanda do núcleo com o mínimo custo. Dos 14.115  $W_p$  disponíveis em módulos fotovoltaicos, nem todos poderão ser utilizados no sistema híbrido, visto que o núcleo possui algumas cargas em corrente contínua que continuarão operando dessa forma, e os módulos terão que ser rearranjados em conjuntos que forneçam níveis de tensão e corrente compatíveis com as de operação do sistema.

A tensão do barramento CC do sistema determina o número de módulos que devem ser associados em série em cada um dos conjuntos. De forma a minimizar as perdas, e ao mesmo tempo se utilizar um nível de tensão compatível com equipamentos disponíveis no mercado brasileiro, optou-se por utilizar a tensão de 120 V no barramento CC. Desta forma, os módulos terão que ser agrupados em conjuntos de nove, ligados em série. Da tabela 3.10, fica-se então com 19 conjuntos de nove módulos SM55, quatro conjuntos de nove módulos ASE e dois conjuntos de nove módulos Atersa. Nesta configuração a potência do gerador fotovoltaico totaliza 12.555  $W_p$ .

O banco de baterias foi dimensionado para atender à carga diurna por dois dias com 50 % de profundidade de descarga. O inversor e o grupo gerador foram dimensionados em 20 kW e 30 kVA, respectivamente, para atender à carga de ponta. A tabela 3.12 mostra a configuração do sistema híbrido fotovoltaico-diesel do Núcleo Perequê.

| Componente           | Potência / Capacidade |
|----------------------|-----------------------|
| Gerador Fotovoltaico | 12,5 kW <sub>p</sub>  |
| Banco de Baterias    | 60 kWh                |
| Inversor             | 20 kW                 |
| Grupo Gerador Diesel | 30 kVA                |

Tabela 3.12 – Configuração do sistema do Perequê

No anexo B encontra-se uma lista dos equipamentos que compõem os dois sistemas, com suas respectivas especificações técnicas.

## 4 SIMULAÇÕES

O ambiente de simulação utilizado foi o HP VEE (figura 4.1), com a utilização dos blocos do software INSEL 7.0. Este *software* foi desenvolvido pela Universidade de Oldenburg, Alemanha, especificamente para a simulação de sistemas que utilizam energias renováveis.

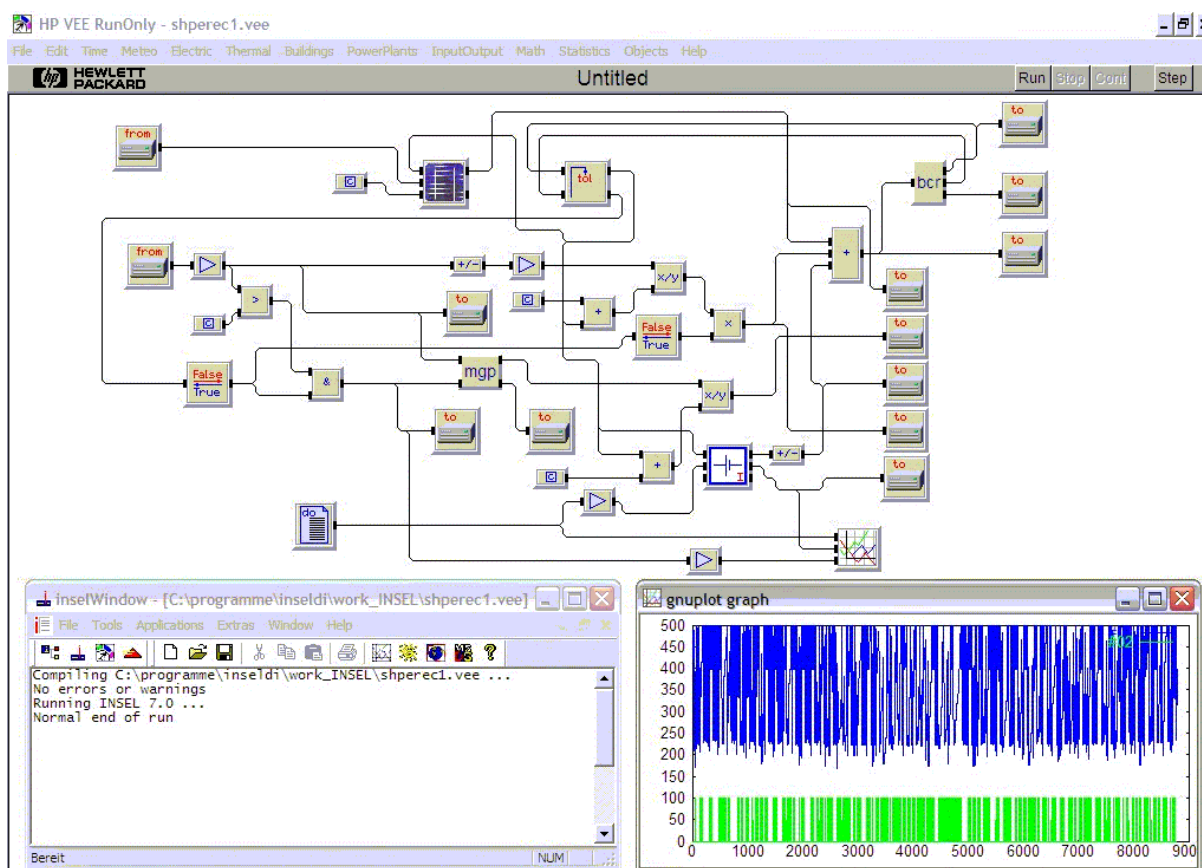


Figura 4.1 – Ambiente de simulação do software INSEL

A tese de doutorado de J. Schumacher (1991) descreve boa parte dos modelos do *software*. Quanto às características dos modelos utilizados pelo programa, em artigo no periódico *Sun & Wind Energy*, Quaschnig e Zehner (2004) fazem o seguinte comentário: “Graças aos seus modelos com alta exatidão física, o INSEL permite cálculos de simulação muito precisos”.

### 4.1 Descrição do Modelo

Aqui são apresentados os modelos de cada um dos principais componentes do sistema híbrido, bem como alguns parâmetros de controle.

#### 4.1.1 Gerador Fotovoltaico

O modelo do módulo fotovoltaico tem duas partes: um modelo elétrico (o “modelo dos dois diodos”), e um modelo térmico, baseado em um balanço energético (SCHUMACHER, 1991).

No modelo elétrico, a relação entre tensão  $V_C$  [V] de uma célula solar e a densidade de corrente  $j$  [A/m<sup>2</sup>] é dada por um modelo de dois diodos:

$$j = j_{ph} - j_{01} \frac{\exp\left(\frac{e_0(V_C + j.r_s)}{\alpha.k.T}\right) - 1}{\alpha.k.T} - j_{02} \frac{\exp\left(\frac{e_0(V_C + j.r_s)}{\beta.k.T}\right) - 1}{\beta.k.T} - \frac{V_C + j.r_s}{r_{sh}} \quad (4.1)$$

onde:

$r_s$  : resistência série da célula [ $\Omega\text{m}^2$ ]

$r_{sh}$  : resistência paralelo [ $\Omega\text{m}^2$ ]

$\alpha$  : parâmetro do diodo 1

$\beta$  : parâmetro do diodo 2

$T$  : temperatura da célula [K]

$e_0$  : carga do elétron ( $1,6021 \times 10^{-19}$  C)

$k$  : constante de Boltzmann ( $1,3854 \times 10^{-23}$  J/K)

Então, o ponto de operação do gerador fotovoltaico é dado por:

$$V = V_C.N_S \quad (4.2)$$

$$I = j.A_C.N_P \quad (4.3)$$

onde:

$A_C$  : área de uma única célula [m<sup>2</sup>]

$N_S$  : número de células em série

$N_P$  : número de células em paralelo

A densidade de corrente gerada pela luz,  $j_{ph}$  [A/m<sup>2</sup>], é proporcional à radiação global,  $G$  [W/m<sup>2</sup>], no plano do gerador e é considerada como sendo linearmente dependente da temperatura da célula,  $T$  [K]:



$$j_{ph} = (C_0 + C_1.T)G \quad (4.4)$$

onde:

$C_0$  : coeficiente da densidade de corrente gerada pela luz [ $V^{-1}$ ]

$C_1$  : coeficiente de temperatura da densidade de corrente gerada pela luz [ $V^{-1}K^{-1}$ ]

A dependência das densidades de corrente de saturação,  $j_{01}$  e  $j_{02}$ , com a temperatura é dada por:

$$j_{01} = C_{01} \cdot T^3 \exp\left(-\frac{e_0 \cdot V_{gap}}{kT}\right) \quad (4.5)$$

$$j_{02} = C_{02} \cdot T^{5/2} \exp\left(-\frac{e_0 \cdot V_{gap}}{2 \cdot k \cdot T}\right) \quad (4.6)$$

onde:

$C_{01}$  : coeficiente da densidade de corrente de saturação [ $A/m^2 \cdot K^3$ ]

$C_{02}$  : coeficiente da densidade de corrente de saturação [ $A/m^2 \cdot K^{5/2}$ ]

$V_{gap}$  : banda proibida (considerada constante e igual a 1,12 V)

O modelo térmico é baseado no balanço energético do módulo fotovoltaico. Este balanço é calculado a partir de:

$$m_{mod} \cdot N_{mod} \cdot c_{mod} \cdot \frac{dT}{dt} + P_{el} = \dot{Q}_G - \dot{Q}_r - \dot{Q}_C \quad (4.7)$$

onde:

$m_{mod}$  : massa do módulo [kg]

$c_{mod}$  : calor específico do módulo [J/kg.K]

$P_{el}$  : potência elétrica de saída do gerador [W]

$\dot{Q}_G$  : insolação [W] em todo o gerador

$\dot{Q}_r$  : perdas por irradiação [W]

$\dot{Q}_C$  : perdas por convecção [W]

A irradiação absorvida é modelada por:

$$\dot{Q}_G = a \cdot G(t) \cdot A_{\text{mod}} \cdot N_{\text{mod}} \quad (4.8)$$

O coeficiente de absorção,  $a$ , é considerado constante. As perdas por irradiação são modeladas por:

$$\dot{Q}_r = 2 \cdot \varepsilon \cdot A_{\text{mod}} \cdot N_{\text{mod}} \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_a^4) \quad (4.9)$$

onde:

$\varepsilon$  : fator de emissividade

$\sigma$  : constante de Stefan-Boltzmann ( $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

$T_a$  : temperatura ambiente [K]

As perdas por convecção são dadas por:

$$\dot{Q}_C = 2 \cdot \gamma \cdot A_{\text{mod}} \cdot N_{\text{mod}} \cdot (T - T_a) \quad (4.10)$$

No caso de convecção natural, o coeficiente de perda de calor,  $\gamma$ , é ajustado para:

$$\gamma_n = 1,78 \cdot (T - T_a)^{1/3} \quad (4.11)$$

O bloco do gerador FV possui três entradas: tensão de operação, irradiância global no plano do gerador e temperatura ambiente, e uma saída: a corrente. O módulo utilizado para as simulações foi o modelo SM 55 do fabricante Siemens, por ser este o módulo existente no núcleo Perequê. Ao se escolher um módulo padrão, boa parte dos parâmetros apresentados acima são preenchidos automaticamente, de acordo com suas características físicas.

#### 4.1.2 Aerogerador

O modelo do aerogerador foi elaborado a partir da curva de potência fornecida pelos fabricantes de cada turbina. Um bloco do *software* faz o cruzamento dos dados de vento,

fornecidos em base horária, com os dados da curva de potência do aerogerador, obtendo-se em sua saída a potência elétrica instantânea gerada pela turbina.

O aerogerador escolhido para as simulações foi o modelo WT15000, do fabricante Proven, pois esse apresentou o melhor fator de capacidade para o perfil de vento da comunidade de Marujá. A figura 4.2 mostra a curva de potência fornecida pelo fabricante para esse aerogerador.

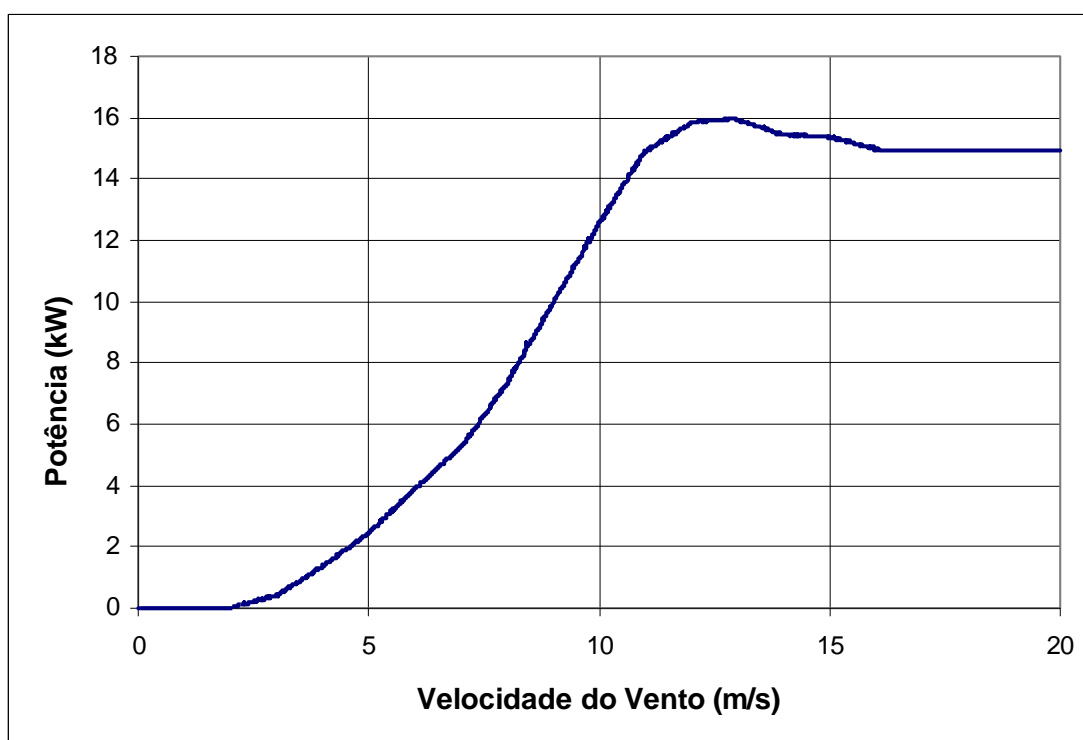


Figura 4.2 – Curva de potência do aerogerador utilizado nas simulações

#### 4.1.3 Grupo Gerador

O modelo do grupo gerador foi elaborado com base nos estudos de Skarstein e Uhlen (1989). Este modelo leva em consideração a relação entre a potência demandada e a eficiência de conversão do grupo gerador.

$$C = 0,08415.P_N + 0,246 P_D \quad (4.12)$$

onde:

$C$  : consumo de óleo diesel [L/h]

$P_N$  : potência nominal do grupo gerador [kW]

$P_D$  : potência instantânea demanda [kW]

O bloco utilizado no *software* possui duas entradas: potência demandada e chave de acionamento, e duas saídas, potência fornecida e consumo de óleo pelo motor. A entrada da chave de acionamento fica ligada ao bloco do controlador de carga do banco de baterias, que determina quando o gerador deve entrar e sair de operação.

#### 4.1.4 Banco de Baterias

O modelo do banco de baterias é baseado no modelo de Shepherd (SCHUMACHER, 1991). A relação entre a tensão  $V$  [V] e a corrente  $I$  [A] no processo de descarga da bateria ( $I < 0$ ) é dada por:

$$V = V_{0d} - g_d \cdot H + \rho_d \cdot \frac{I}{Q_n} \left( 1 + M_d \cdot \frac{H}{C_d - H} \right) \quad (4.13)$$

onde:

$V_{0d}$  : tensão de circuito aberto de descarga (2,077) [V]

$g_d$  : coeficiente eletrolítico de descarga (0,0832) [V]

$\rho_d$  : parâmetro da resistência interna de descarga (0,3737) [ $\Omega$ Ah]

$M_d$  : coeficiente do tipo de bateria de descarga (1,694)

$C_d$  : coeficiente de capacidade de descarga (1,6)

$H$  : profundidade de descarga normalizada ( $1 - Q/Q_n$ )

$Q_n$  : capacidade nominal [Ah]

Para o processo de carga da bateria, a seguinte equação é utilizada:

$$V = V_{0c} - g_c \cdot H + \rho_c \cdot \frac{I}{Q_n} \cdot \left( 1 + M_c \cdot \frac{F}{C_c - F} \right) \quad (4.14)$$

onde:

$V_{0c}$  : tensão de circuito aberto de carga (2,0893) [V]

$g_c$  : coeficiente eletrolítico de carga (0,0893) [V]

$\rho_c$  : parâmetro da resistência interna de carga (0,9993) [Vh]

$M_c$  : coeficiente do tipo de bateria de carga (0,4222)

$C_c$  : coeficiente de capacidade de carga (1,05)

$F$  : estado de carga normalizado ( $Q/Q_n$ )

No caso de uma carga com eficiência  $\eta$ , o critério de Wood e Crutcher é utilizado. A corrente na qual os efeitos de gaseificação ocorrem é definida por:

$$I_m = \begin{cases} b_w \cdot Q_n \cdot (1-F) & \text{se } F < F_l \\ b_w \cdot Q_n \cdot (1-F_l) & \text{se } F \geq F_l \end{cases} \quad (4.15)$$

onde:

$b_w$  : parâmetro de Wood b (1,333)

$F_l$  : estado de carga limite [V]

Dependendo do valor da corrente  $I$ , a eficiência de Wood é definida como:

$$\eta = \begin{cases} a_w & \text{se } I \leq I_m \\ a_w \cdot I_m / I & \text{se } I > I_m \end{cases} \quad (4.16)$$

Utilizando esta eficiência, a capacidade do próximo intervalo de tempo ( $Q_{t+\Delta t}$ ) é calculada a partir de:

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t + \left( \eta \cdot I - \frac{q_s \cdot Q}{100 \cdot t} \right) \cdot \Delta t \quad (4.17)$$

s

onde:

$a_w$  : parâmetro de Wood a (0,96)

O bloco do banco de baterias possui duas entradas: tensão de operação e tempo (em segundos), e três saídas: corrente, nova capacidade (em Ah) e eficiência de carregamento. O bloco permite escolher o número de células, sua capacidade e a disposição do arranjo (quantidade de baterias ou células em série e paralelo).

#### 4.1.5 Controle e Condicionamento de Potência

Uma premissa fundamental a ser considerada nas ações de controle dos sistemas estudados neste trabalho é o fornecimento ininterrupto de energia elétrica à carga. No caso das estratégias de operação com período de fornecimento de 12 horas, isto significa dizer que no período previamente determinado para o fornecimento de energia elétrica, este não poderá ser interrompido.

O bloco do controlador de carga do banco de baterias é responsável por manter a tensão do banco de baterias entre dois limites pré-estabelecidos. No caso dos sistemas híbridos, isto é feito por meio do acionamento do grupo gerador, no caso do limite inferior ser atingido, ou pelo acionamento de uma carga não crítica, no caso do limite superior ser atingido. O bloco possui apenas uma entrada: corrente, e três saídas: tensão de operação, chave de acionamento (do grupo gerador) e energia excedente.

Os valores de tensão do banco de baterias, que determinam entrada e a saída de operação do gerador, e de acionamento da carga não crítica para dissipação da energia excedente, devem ser determinados a fim de se colocar o bloco do controlador de carga em funcionamento apropriado. É por meio da tensão que se determina o estado de carga do banco de baterias, de forma que esses valores são os parâmetros de controle da estratégia EDC.

Depois de realizadas algumas simulações preliminares, observou-se que para tensões de 120 V o banco de baterias situa-se com estado de carga em torno de 50%, que resulta em uma tensão de acionamento do grupo gerador de aproximadamente 2,0 V/célula (tensão de entrada). A tensão em que o grupo gerador sai de operação foi determinada em 132 V, tensão na qual o estado de carga do banco de baterias encontra-se próximo a 100%. E a tensão de acionamento da carga não crítica é igual a 144 V, tensão na qual o estado de carga do banco de baterias se encontra em torno de 110%. Os valores aqui apresentados estão de acordo com

os resultados apresentados por Ashari e Nayar (1999) em seu trabalho sobre a otimização de estratégias de despacho de sistemas híbridos utilizando *set points*. Foram utilizados os mesmos parâmetros de controle de acionamento do gerador diesel e da carga não crítica para os dois sistemas, visto que ambos utilizam o mesmo tipo de bateria.

A potência crítica utilizada em algumas estratégias de operação, como explicado na seção 2.4, também deve ser definida. Para tanto, foram considerados os seguintes dados: profundidade de descarga máxima igual a 50%, número de ciclos de carga e descarga igual a 1.500 e custo do óleo diesel igual a R\$ 2,50 por litro (incluso o transporte).

O sistema híbrido projetado para a comunidade de Marujá possui um banco de baterias com capacidade de 120 kWh, orçado em R\$ 81.949,68, e um grupo gerador com potência nominal igual a 40 kVA. A partir destes dados e das equações 2.2 e 2.3 chega-se a uma potência crítica igual a 28,4 kW. Ou seja, para o caso em que esta estratégia de despacho for utilizada, toda vez que a potência demandada for superior a 28,4 kW o grupo gerador será automaticamente acionado. Já o sistema híbrido projetado para o núcleo Perequê possui um banco de baterias com capacidade de 60 kWh, orçado em R\$ 44.774,86, e um grupo gerador com potência nominal igual a 30 kVA, que leva a uma potência crítica igual a 16,6 kW.

As potências dos conversores CC-CA são de 30 kW e 20 kW para os sistemas de Marujá e do Núcleo Perequê, respectivamente, e os retificadores apresentam potências de 10 kW e 5 kW. A eficiência de conversão de ambos os equipamentos foi considerada igual a 90%.

No anexo C encontram-se os diagramas de blocos utilizados nas simulações para os sistemas de Marujá e do Núcleo Perequê.

## **4.2 Resultados das Simulações**

Aqui são apresentados os resultados das simulações na forma de tabelas e gráficos, a fim de se facilitar a visualização das diferenças obtidas entre as estratégias. Os resultados são apresentados para os sistemas dos dois estudos de caso, com variações na contribuição das energias renováveis para a energia total produzida pelo sistema. A figura 4.3 mostra quatro gráficos gerados a partir das simulações feitas com o sistema do Núcleo Perequê, montado na

configuração 1, ao longo de dez dias. Os dois primeiros gráficos, irradiância e carga, apresentam dados utilizados pelo algoritmo de simulação para gerar os resultados aqui apresentados. O terceiro gráfico mostra o estado de carga do banco de baterias e o último mostra o estado do gerador diesel, sendo que o valor “0” indica que o gerador está desligado e o valor “1” indica que ele está em funcionamento.

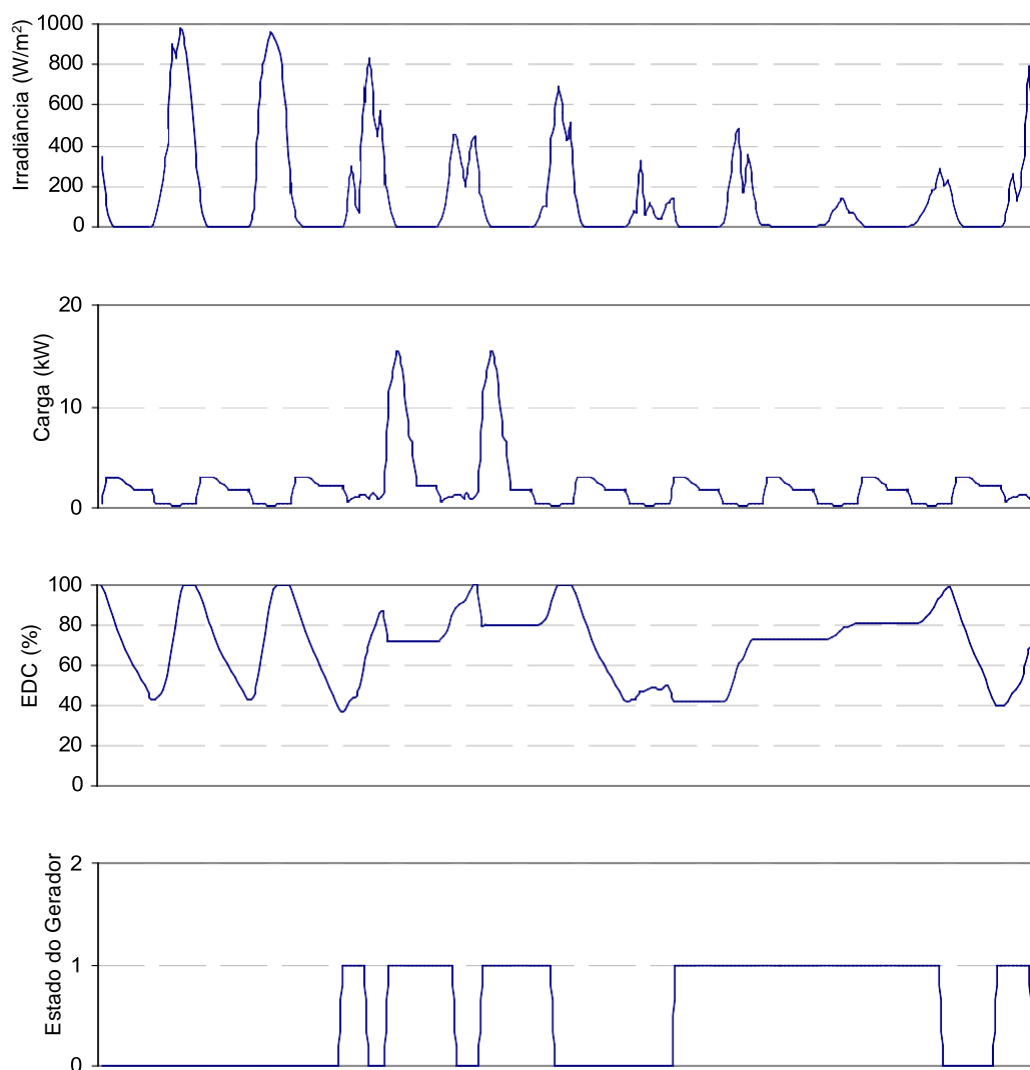


Figura 4.3 – Gráficos gerados pelas simulações

No sistema de Marujá foram realizadas simulações para o sistema projetado na seção 3.5.1 para duas alturas diferentes do aerogerador, 30 e 50 metros. Já para o sistema do núcleo Perequê foram feitas simulações para o sistema com o gerador FV atual (12,5 kW<sub>p</sub>) e para o sistema com um gerador FV 50% maior (18,75 kW<sub>p</sub>).



Os parâmetros expostos nas tabelas das seções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 afetam significativamente os custos do sistema, e são utilizados posteriormente para o cálculo do custo do ciclo de vida de cada um deles para as diferentes estratégias de operação. Porém, existe um parâmetro importante, que não afeta os custos do sistema, que também deve ser avaliado. A quantidade de energia excedente produzida pelo sistema, ou seja, a energia produzida pelas fontes renováveis que não pode ser armazenada no banco de baterias por este se encontrar já carregado, apresenta uma informação importante sobre o uso racional da energia produzida pelo sistema. A energia excedente normalmente é utilizada para acionar cargas não críticas. Os autores que defendem a não utilização do grupo gerador para carregar o banco de baterias afirmam ser inadmissível se “jogar fora” a energia produzida pelas fontes renováveis, visto que estas têm um alto custo de investimento. Na seção 4.3 são apresentados os custos de ciclo de vida de cada um dos sistemas para as diferentes estratégias, a fim de se verificar se realmente existe uma relação entre a quantidade de energia excedente e os custos envolvidos ao longo de toda vida útil do sistema.

|           | Estratégia   | Sistema Marujá |          | Sistema Perequê      |                       |
|-----------|--------------|----------------|----------|----------------------|-----------------------|
|           |              | 30 m           | 50 m     | 12,5 kW <sub>p</sub> | 18,75 kW <sub>p</sub> |
| Config. 1 | C1_EDC_12    | 24.801,3       | 45.226,0 | 3.290,2              | 8.735,5               |
|           | C1_EDC_24    | 23.918,9       | 43.994,2 | 2.384,9              | 7.477,3               |
|           | C1_EDC+PC_12 | 24.801,3       | 45.226,0 | 3.290,2              | 8.735,5               |
|           | C1_EDC+PC_24 | 23.918,9       | 43.994,2 | 2.384,9              | 7.477,3               |
| Config. 2 | C2_EDC_12    | 27.017,5       | 47.712,2 | 3.066,8              | 8.515,1               |
|           | C2_EDC_24    | 25.531,2       | 45.967,3 | 1.941,1              | 6.934,8               |
|           | C2_EDC+PC_12 | 52.646,9       | 80.093,6 | 3.650,8              | 9.113,2               |
|           | C2_EDC+PC_24 | 51.021,5       | 78.277,9 | 2.331,2              | 7.482,7               |
| Config. 3 | C3_EDC_12    | 25.430,0       | 46.160,5 | 2.798,1              | 8.171,9               |
|           | C3_EDC_24    | 24.106,6       | 44.434,7 | 1.758,1              | 6.761,8               |
|           | C3_EDC+PC_12 | 64.739,8       | 92.306,0 | 4.069,9              | 9.628,2               |
|           | C3_EDC+PC_24 | 63.057,1       | 90.454,1 | 2.654,6              | 7.938,9               |

Tabela 4.1 – Energia excedente (em kWh) para as diferentes estratégias de operação

Ao observar os valores expostos na tabela 4.1 (energia excedente produzida em um ano), constata-se que, de fato, a configuração 1, na qual a energia proveniente do grupo gerador não é utilizada para carregar o banco de baterias, apresenta os valores mais baixos de energia excedente na maioria dos casos. No sistema de Marujá ela apresenta todos os valores mais baixos, comparando-se cada estratégia de despacho e período de fornecimento separadamente. Ao mesmo tempo, pode-se observar que para o sistema de Marujá os valores de energia

excedente são elevados, de forma que esta energia poderia ser utilizada para acionar cargas não críticas como, por exemplo, o bombeamento de água ou fabricação de gelo.

#### 4.2.1 Configuração 1: sem retificador

As tabelas 4.2 e 4.3 apresentam o tempo de acionamento, o fator de capacidade médio (FC) e o consumo de óleo diesel do grupo gerador, e a profundidade de descarga média do banco de baterias, na configuração 1, para cada um dos sistemas com diferentes contribuições das energias renováveis.

| Estratégia   | Sistema Marujá (30 m) |        |                  |                         | Sistema Marujá (50 m) |        |                  |                         |
|--------------|-----------------------|--------|------------------|-------------------------|-----------------------|--------|------------------|-------------------------|
|              | Grupo Gerador         |        |                  | Bateria                 | Grupo Gerador         |        |                  | Bateria                 |
|              | Tempo (h)             | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) | Tempo (h)             | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) |
| C1_EDC_12    | 2.345                 | 42,8   | 17.639           | 31,2                    | 1.989                 | 43,7   | 15.144           | 26,8                    |
| C1_EDC_24    | 4.262                 | 24,3   | 24.801           | 31,5                    | 3.431                 | 26,1   | 20.254           | 27,1                    |
| C1_EDC+PC_12 | 3.203                 | 50,1   | 26.392           | 31,2                    | 3.021                 | 52,7   | 25.656           | 26,8                    |
| C1_EDC+PC_24 | 5.115                 | 32,0   | 33.130           | 31,5                    | 4.459                 | 36,3   | 30.725           | 27,1                    |

Tabela 4.2 – Resultados das simulações do sistema de Marujá para a configuração 1

O menor consumo de óleo diesel foi obtido com a estratégia de despacho que leva em consideração apenas o estado de carga do banco de baterias para ambos os sistemas. Como na configuração 1 o grupo gerador não carrega o banco de baterias, ao se utilizar a estratégia de despacho da potência crítica, esta irá aumentar o número de acionamentos do grupo gerador sem contribuir com energia para ser utilizada posteriormente. No entanto, as estratégias de despacho que utilizam o parâmetro da potência crítica apresentam um fator de capacidade mais alto, que contribui para uma melhor utilização do grupo gerador.

| Estratégia   | Sistema Perequê (12,5 kW <sub>p</sub> ) |        |                  |                         | Sistema Perequê (18,75 kW <sub>p</sub> ) |        |                  |                         |
|--------------|---|--------|------------------|-------------------------|--|--------|------------------|-------------------------|
|              | Grupo Gerador                           |        |                  | Bateria                 | Grupo Gerador                            |        |                  | Bateria                 |
|              | Tempo (h)                               | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) | Tempo (h)                                | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) |
| C1_EDC_12    | 2.197                                   | 19,2   | 8.593            | 30,8                    | 1.871                                    | 20,8   | 7.537            | 29,1                    |
| C1_EDC_24    | 4.223                                   | 11,4   | 14.124           | 32,5                    | 3.490                                    | 12,7   | 12.001           | 30,1                    |
| C1_EDC+PC_12 | 2.197                                   | 19,2   | 8.593            | 30,8                    | 1.871                                    | 20,8   | 7.537            | 29,1                    |
| C1_EDC+PC_24 | 4.223                                   | 11,4   | 14.124           | 32,5                    | 3.490                                    | 12,7   | 12.001           | 30,1                    |

Tabela 4.3 – Resultados das simulações do sistema do Perequê para a configuração 1

Como a potência crítica é alcançada poucas vezes no sistema do Núcleo Perequê, não se verifica nenhuma diferença entre as duas estratégias de despacho.

#### 4.2.2 Configuração 2: com retificador e gerador no barramento CC

As tabelas 4.4 e 4.5 apresentam o tempo de acionamento, o fator de capacidade médio (FC) e o consumo de óleo diesel do grupo gerador, e a profundidade de descarga média do banco de baterias, na configuração 2, para cada um dos sistemas, com diferentes contribuições das energias renováveis.

| Estratégia   | Sistema Marujá (30 m) |        |                  |                         | Sistema Marujá (50 m) |        |                  |                         |
|--------------|-----------------------|--------|------------------|-------------------------|-----------------------|--------|------------------|-------------------------|
|              | Grupo Gerador         |        |                  | Bateria                 | Grupo Gerador         |        |                  | Bateria                 |
|              | Tempo (h)             | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) | Tempo (h)             | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) |
| C2_EDC_12    | 1.737                 | 90,0   | 19.836           | 24,6                    | 1.526                 | 88,8   | 17.288           | 20,9                    |
| C2_EDC_24    | 1.762                 | 89,8   | 20.083           | 25,1                    | 1.548                 | 88,7   | 17.524           | 21,6                    |
| C2_EDC+PC_12 | 2.196                 | 98,0   | 28.657           | 2,1                     | 2.196                 | 98,0   | 28.657           | 1,7                     |
| C2_EDC+PC_24 | 2.196                 | 98,0   | 28.657           | 2,6                     | 2.196                 | 98,0   | 28.657           | 2,1                     |

Tabela 4.4 – Resultados das simulações do sistema de Marujá para a configuração 2

Devido ao perfil da carga da comunidade de Marujá (onde a potência crítica é alcançada diariamente entre as 18 e às 22 horas) e à capacidade do seu banco de baterias (que é muito maior que a energia consumida entre as 6 e as 18 horas), ao se utilizar a potência crítica como parâmetro de despacho, o período de fornecimento não alterou em nada o funcionamento do grupo gerador. A profundidade de descarga média atingiu valores demasiadamente baixos, também devido à dimensão do banco de baterias e ao baixo consumo diurno da comunidade.

| Estratégia   | Sistema Perequê (12,5 kW <sub>p</sub> ) |        |                  |                         | Sistema Perequê (18,75 kW <sub>p</sub> ) |        |                  |                         |
|--------------|---|--------|------------------|-------------------------|--|--------|------------------|-------------------------|
|              | Grupo Gerador                           |        |                  | Bateria                 | Grupo Gerador                            |        |                  | Bateria                 |
|              | Tempo (h)                               | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) | Tempo (h)                                | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) |
| C2_EDC_12    | 1.522                                   | 45,5   | 8.854            | 31,6                    | 1.347                                    | 47,8   | 8.058            | 29,4                    |
| C2_EDC_24    | 1.678                                   | 44,4   | 9.620            | 34,6                    | 1.504                                    | 45,9   | 8.788            | 31,8                    |
| C2_EDC+PC_12 | 1.205                                   | 47,1   | 7.148            | 30,8                    | 1.001                                    | 51,6   | 6.267            | 28,8                    |
| C2_EDC+PC_24 | 1.395                                   | 45,7   | 8.129            | 34,0                    | 1.221                                    | 47,6   | 7.286            | 31,1                    |

Tabela 4.5 – Resultados das simulações do sistema do Perequê para a configuração 2

Para a configuração 2 aplicada ao Núcleo Perequê, a estratégia de despacho da potência crítica melhorou o desempenho do sistema. Para os dois sistemas, tanto no regime de 12 como

no regime de 24 horas de fornecimento, o tempo de acionamento, o consumo de óleo diesel e a profundidade de descarga média diminuíram, e o fator de capacidade do grupo gerador aumentou.

#### 4.2.3 Configuração 3: com retificador e gerador ligado à mini-rede

As tabelas 4.6 e 4.7 apresentam o tempo de acionamento, o fator de capacidade médio (FC) e o consumo de óleo diesel do grupo gerador, e a profundidade de descarga média do banco de baterias, na configuração 3, para cada um dos sistemas, com diferentes contribuições das energias renováveis..

| Estratégia   | Sistema Marujá (30 m) |        |                  |                         | Sistema Marujá (50 m) |        |                  |                         |
|--------------|-----------------------|--------|------------------|-------------------------|-----------------------|--------|------------------|-------------------------|
|              | Grupo Gerador         |        |                  | Bateria                 | Grupo Gerador         |        |                  | Bateria                 |
|              | Tempo (h)             | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) | Tempo (h)             | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) |
| C3_EDC_12    | 1.645                 | 81,5   | 18.480           | 29,1                    | 1.438                 | 80,1   | 15.964           | 24,6                    |
| C3_EDC_24    | 1.667                 | 81,5   | 18.734           | 30,5                    | 1.454                 | 80,5   | 16.196           | 25,6                    |
| C3_EDC+PC_12 | 2.196                 | 94,0   | 27.340           | 2,1                     | 2.196                 | 94,0   | 27.340           | 1,7                     |
| C3_EDC+PC_24 | 2.196                 | 94,0   | 27.340           | 2,6                     | 2.196                 | 94,0   | 27.340           | 2,0                     |

Tabela 4.6 – Resultados das simulações do sistema de Marujá para a configuração 3

No caso da configuração 3, o despacho combinando as estratégias por estado de carga e potência crítica novamente não obteve o aprimoramento do desempenho do sistema. Como no caso da configuração 2, o período de fornecimento não alterou o tempo de acionamento nem o consumo de óleo diesel.

| Estratégia   | Sistema Perequê (12,5 kW <sub>p</sub> ) |        |                  |                         | Sistema Perequê (18,75 kW <sub>p</sub> ) |        |                  |                         |
|--------------|---|--------|------------------|-------------------------|--|--------|------------------|-------------------------|
|              | Grupo Gerador                           |        |                  | Bateria                 | Grupo Gerador                            |        |                  | Bateria                 |
|              | Tempo (h)                               | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) | Tempo (h)                                | FC (%) | Consumo (litros) | PD <sub>média</sub> (%) |
| C3_EDC_12    | 1.450                                   | 40,9   | 7.969            | 33,1                    | 1.243                                    | 43,4   | 7.060            | 31,0                    |
| C3_EDC_24    | 1.657                                   | 38,9   | 8.871            | 36,5                    | 1.462                                    | 40,7   | 8.017            | 33,3                    |
| C3_EDC+PC_12 | 1.151                                   | 42,2   | 6.444            | 31,8                    | 988                                      | 44,9   | 5.732            | 29,3                    |
| C3_EDC+PC_24 | 1.350                                   | 40,3   | 7.369            | 34,8                    | 1.192                                    | 41,9   | 6.648            | 31,6                    |

Tabela 4.7 – Resultados das simulações do sistema do Perequê para a configuração 3

Já para o sistema do núcleo Perequê o despacho incluindo a potência crítica melhorou o desempenho do sistema significativamente, obtendo-se nesta estratégia de operação

(configuração 3 e estratégia de despacho EDC + PC) os menores valores de tempo de acionamento do grupo gerador e consumo de óleo diesel.

### 4.3 Impactos das Estratégias no Custo de Ciclo de Vida do Sistema

#### 4.3.1 Análise Econômica pelo Custo de Ciclo de Vida

O custo de ciclo de vida (CCV) de um projeto é a soma de todos os custos relevantes do projeto em um dado período de estudo, ajustados a valor presente (FULLER, PETERSON, 1998). Esta figura de mérito possibilita que várias alternativas, com mesma vida útil, sejam comparadas diretamente. Os custos podem ser divididos em duas categorias: custos de investimento, ou capital inicial, e custos operacionais. A figura 4.4 ilustra a análise de CCV.

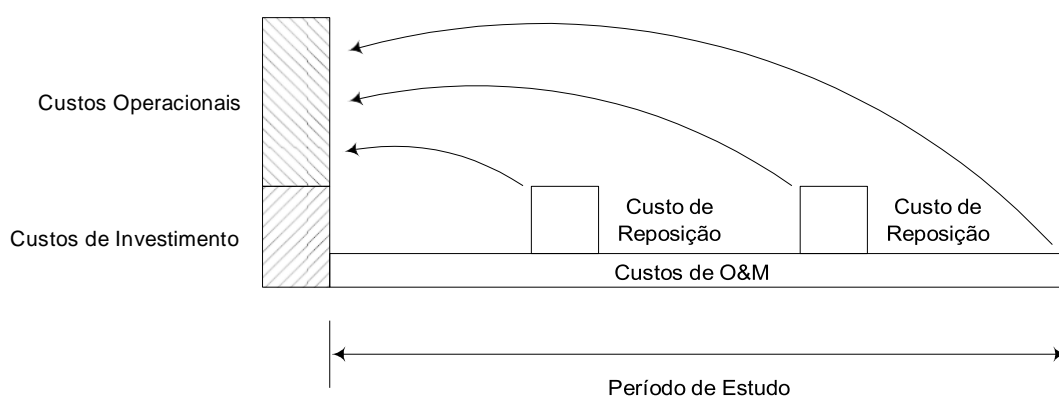


Figura 4.4 – Representação gráfica da análise de CCV

Os custos de investimento (CI) estão relacionados à execução da obra e aquisição de equipamentos, e já se encontram em valor presente. Os custos operacionais (CO) estão relacionados com os custos de reposição de equipamentos, operação e manutenção do projeto ao longo de sua vida útil.

Os custos operacionais podem ser trazidos para valor presente utilizando a fórmula 4.18 (HIRSCHFELD, 2000, p. 28).

$$VP = VF \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (4.18)$$

onde:

$VP$  : valor presente [\\$]

$VF$  : valor futuro [\\$]

$i$  : taxa de desconto [%]

$n$  : número de períodos

Dessa forma, o CCV pode ser calculado por:

$$CCV = CI + \sum \frac{CO}{(1+i)^n} \quad (4.19)$$

#### 4.3.2 Avaliação Econômica das Estratégias de Operação

O CCV de um sistema híbrido pode ser dividido em dois grupos, os custos iniciais e os custos de operação e manutenção. Os custos iniciais estão relacionados ao custo dos equipamentos que compoem o sistema, às obras civis, ao custo de mão-de-obra para execução do projeto, etc. Os custos de operação e manutenção são compostos pelo custo de aquisição do óleo diesel, serviços de manutenção preventiva e corretiva, reposição do banco de baterias, etc. As diferentes estratégias de operação avaliadas neste trabalho afetam os custos de operação e manutenção em três principais aspectos: o consumo de combustível, a degradação do grupo gerador diesel e a degradação do banco de baterias.

Os custos relacionados ao consumo de combustível e à degradação do grupo gerador são influenciados por dois fatores principais, o fator de capacidade, o tempo de acionamento e o número de vezes que o grupo gerador entra em funcionamento. Quanto maior for o tempo de acionamento do grupo gerador, mais altos serão os custos com consumo de combustível e com manutenção, devido à sua maior degradação. E quanto menor for o fator de capacidade, mais alto serão os custos com consumo de combustível e com manutenção, devido à sua maior degradação. A utilização do grupo gerador diesel com baixo fator de capacidade aumenta o consumo específico de combustível (ou seja, diminui sua eficiência de conversão da energia proveniente do óleo diesel em energia elétrica) e o desgaste mecânico (SEELING, 1995). No entanto, relacionar o fator de capacidade, o tempo de acionamento e o número de vezes que o grupo gerador é acionado com os custos de manutenção e a vida útil do grupo

gerador é uma tarefa complexa, que depende de diversos fatores e ainda necessita estudos mais detalhados. Desta forma, na análise econômica realizada neste trabalho é considerado apenas o consumo de óleo diesel e uma taxa de manutenção constante para os custos operacionais relacionados ao grupo gerador.

Os custos relacionados com a degradação do banco de baterias, e sua conseqüente reposição, não são determinados facilmente. Fabricantes de bateria fornecem uma estimativa da vida útil em termos do número de ciclos de carga e descarga em função da profundidade das descargas efetuadas pela bateria. Este número de ciclos depende da corrente de carga e descarga e da profundidade de descarga. No entanto, nos sistemas híbridos as baterias não são sempre carregadas e descarregadas em ciclos completos, de forma que, a vida útil calculada a partir do número de ciclos de carga e descarga e da profundidade de descarga poderá variar significativamente na prática. Porém, estes dados podem fornecer uma boa estimativa para se calcular o custo de ciclo de vida previsto para o projeto. A tabela 4.8 apresenta os valores extraídos da curva de número de ciclos em função da profundidade de descarga apresentada na figura 2.10, para o pior caso das baterias estacionárias. A partir desta mesma curva foram obtidos os números de ciclos, a fim de se estimar a vida útil de cada banco de baterias dos sistemas estudados e, conseqüentemente, o tempo em que os mesmos deverão ser repostos ao longo da vida útil dos sistemas.

| Número de Ciclos | PD  | Vida Útil (anos) |
|------------------|-----|------------------|
| 3350             | 20% | 9,2              |
| 2400             | 30% | 6,6              |
| 2050             | 40% | 5,6              |
| 1600             | 50% | 4,4              |
| 1250             | 60% | 3,4              |

Tabela 4.8 – Relação entre a vida útil e a PD do banco de baterias

Para o cálculo do CCV dos sistemas, considerou-se um período de estudos de 20 anos e uma taxa de desconto de 6% ao ano. O custo do óleo diesel foi considerado R\$ 2,50 por litro e o custo com o sistema fotovoltaico foi considerado em R\$ 11,00 por  $W_p$ . A tabela 4.9 apresenta os valores dos equipamentos para os dois sistemas.

Com exceção do inversor e do retificador, todos os equipamentos foram orçados junto aos fabricantes. O preço do aerogerador foi obtido da página na internet do fabricante (PROVEN,

2006) em libras esterlinas, e convertido para reais pela taxa de câmbio de 1º de março de 2006 (£ 1,00 = R\$ 3,70). O custo com a mini-rede de distribuição foi considerado a partir do custo da mini-rede do sistema de São Tomé (PINHO; GALHARDO; ARAÚJO, 2004), por se tratarem de sistemas com características semelhantes. Os valores utilizados foram R\$ 19.500,00 e R\$ 14.300,00 para os sistemas de Marujá e Perequê, respectivamente.

| Equipamento       | Sistema Marujá | Sistema Perequê |
|-------------------|----------------|-----------------|
| Grupo Gerador     | R\$ 32.890,00  | R\$ 31.340,00   |
| Banco de Baterias | R\$ 81.949,68  | R\$ 44.774,86   |
| Aerogerador       | R\$ 180.560,00 | -               |
| Inversor          | R\$ 29.100,00  | R\$ 21.500,00   |
| Retificador       | R\$ 14.500,00  | R\$ 11.500,00   |

Tabela 4.9 – Valores dos equipamentos

A tabela 4.10 apresenta os CCV para os sistemas de Marujá e Perequê, com diferentes contribuições das energias renováveis, para as 12 estratégias de operação apresentadas neste trabalho. A coluna ao lado do CCV mostra o percentual que os custos operacionais representam nos custos totais para cada uma das estratégias.

|           | Estratégia   | Sistema Marujá |      |              |      | Sistema Perequê      |      |                       |      |
|-----------|--------------|----------------|------|--------------|------|----------------------|------|-----------------------|------|
|           |              | 30 m           |      | 50 m         |      | 12,5 kW <sub>p</sub> |      | 18,75 kW <sub>p</sub> |      |
|           |              | CCV (R\$)      | CO%  | CCV (R\$)    | CO%  | CCV (R\$)            | CO%  | CCV (R\$)             | CO%  |
| Config. 1 | C1_EDC_12    | 1.415.732,00   | 53,2 | 1.318.849,00 | 49,8 | 658.058,00           | 56,2 | 724.755,00            | 49,3 |
|           | C1_EDC_24    | 1.610.976,00   | 58,9 | 1.465.733,00 | 54,8 | 818.753,00           | 64,8 | 853.272,00            | 56,9 |
|           | C1_EDC+PC_12 | 1.666.707,00   | 60,3 | 1.620.281,00 | 59,1 | 658.058,00           | 56,2 | 724.755,00            | 49,3 |
|           | C1_EDC+PC_24 | 1.860.514,00   | 64,4 | 1.765.978,00 | 62,5 | 818.753,00           | 64,8 | 853.272,00            | 56,9 |
| Config. 2 | C2_EDC_12    | 1.450.097,00   | 54,3 | 1.370.551,00 | 51,7 | 666.528,00           | 56,7 | 739.975,00            | 50,3 |
|           | C2_EDC_24    | 1.458.828,00   | 54,6 | 1.378.495,00 | 52,0 | 691.141,00           | 58,3 | 763.352,00            | 51,8 |
|           | C2_EDC+PC_12 | 1.669.394,00   | 60,3 | 1.669.394,00 | 60,3 | 616.608,00           | 53,2 | 675.712,00            | 45,6 |
|           | C2_EDC+PC_24 | 1.669.394,00   | 60,3 | 1.669.394,00 | 60,3 | 648.316,00           | 55,5 | 719.444,00            | 48,9 |
| Config. 3 | C3_EDC_12    | 1.415.837,00   | 53,2 | 1.339.686,00 | 50,6 | 642.800,00           | 55,1 | 712.656,00            | 48,4 |
|           | C3_EDC_24    | 1.445.087,00   | 54,2 | 1.346.982,00 | 50,8 | 669.974,00           | 57,0 | 742.558,00            | 50,5 |
|           | C3_EDC+PC_12 | 1.631.612,00   | 59,4 | 1.631.612,00 | 59,4 | 597.559,00           | 51,7 | 673.170,00            | 45,4 |
|           | C3_EDC+PC_24 | 1.631.612,00   | 59,4 | 1.631.612,00 | 59,4 | 626.455,00           | 54,0 | 700.914,00            | 47,5 |

Tabela 4.10 – CCV dos sistemas para as diferentes estratégias de operação

A participação dos custos operacionais (CO%) varia entre 45 % e 65 %, dependendo do sistema, do grau de participação das energias renováveis e da estratégia de operação. As figuras 4.5 a 4.8 apresentam os custos operacionais e de investimento para cada um dos sistemas, em ordem crescente dos CCV.



Comparando a tabela 4.10 com a tabela 4.1, onde são mostrados os valores de energia excedente produzida por cada configuração, percebe-se que não existe uma relação direta entre a energia excedente e o CCV dos sistemas. A configuração 1, por exemplo, que apresentou os valores mais baixos de energia excedente para o período de fornecimento de 24 horas, ao mesmo tempo apresenta os valores mais altos de CCV.

A estratégia de despacho que combina o acionamento do grupo gerador pelo estado de carga do banco de baterias e a potência crítica, onde, supostamente seria mais econômico acionar o grupo gerador independentemente do EDC, não se mostrou adequada para a utilização no sistema de Marujá. As seis estratégias que utilizavam a potência crítica como parâmetro de despacho apresentaram os seis valores de CCV mais elevados. Isto se deve principalmente ao perfil da carga da comunidade, como já explicado na seção 4.2.2.

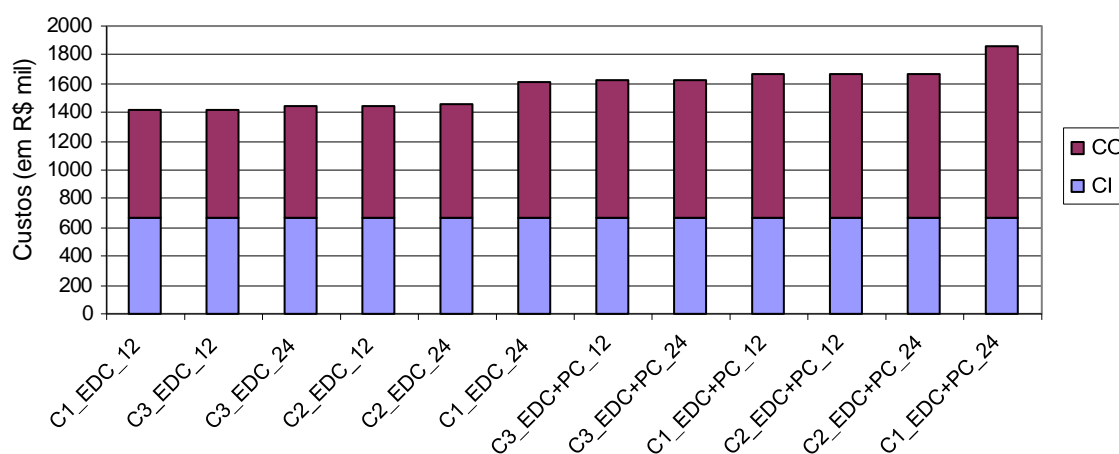


Figura 4.5 – CCV do sistema de Marujá (30 m)

A variação na altura do gerador de 30 para 50 metros, e subsequente aumento da contribuição por parte das fontes renováveis de energia, ocasionou apenas uma mudança na ordem das estratégias com menor CCV. A estratégia C1\_EDC+PC\_12 que aparecia como a nona estratégia com mais baixo CCV, passou a ocupar a sétima posição com o aerogerador colocado a 50 metros de altura. Esta mudança ocorreu devido a uma melhor utilização do banco de baterias, que resultou em uma substituição a menos do mesmo ao longo do período avaliado de 20 anos.

Também pode-se observar uma redução dos custos totais devido à mudança de altura de 30 para 50 metros. Uma maior contribuição da energia proveniente dos aerogeradores contribuiu para a redução dos custos operacionais do grupo gerador, sem ter aumentado significativamente os custos de investimento, visto que a diferença de preços de uma torre de 30 e 50 metros não é muito grande.

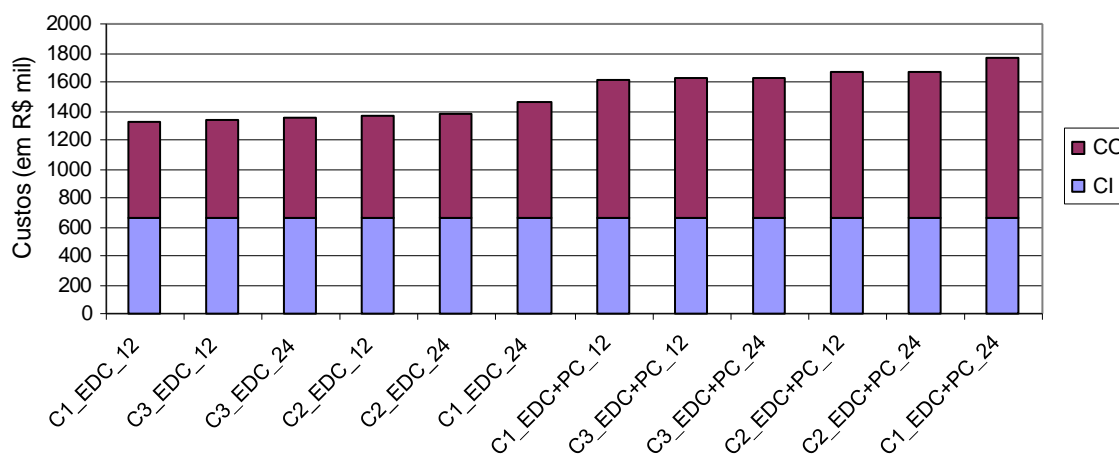


Figura 4.6 – CCV do sistema de Marujá (50 m)

Já nos sistemas do Núcleo Perequê, pode-se observar que a adição da estratégia de despacho pela potência crítica contribuiu para a redução do CCV dos sistemas. Das seis estratégias que apresentaram os CCV mais baixos, quatro delas utilizaram a estratégia da potência crítica combinada com a estratégia de estado de carga.

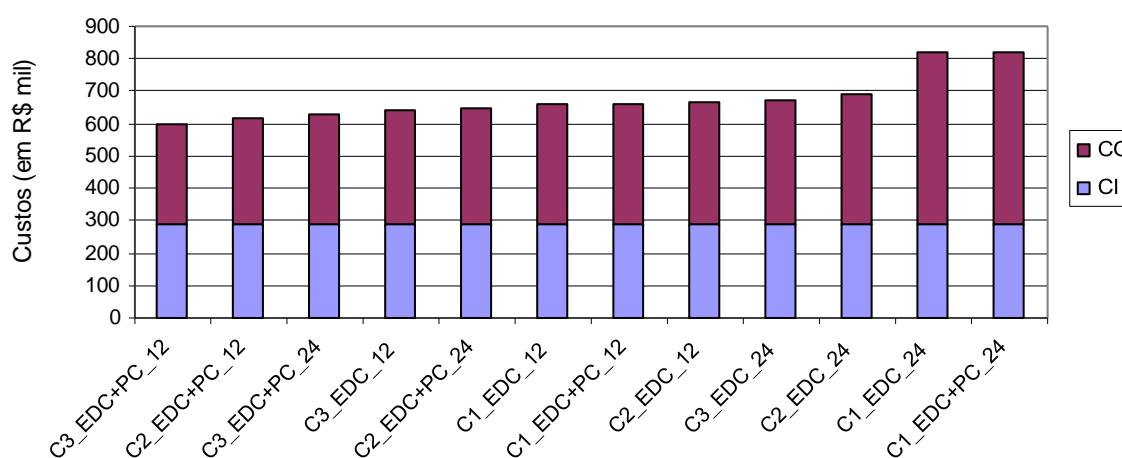


Figura 4.7 – CCV do sistema do Perequê (12,5 kW<sub>p</sub>)

O aumento da potência instalada do gerador FV de 12,5 kW<sub>p</sub> para 18,75 kW<sub>p</sub> não provocou nenhuma alteração na ordem dos CCV dos dois sistemas. O aumento da potência do gerador FV ocasionou uma significativa redução dos custos operacionais; porém, devido ao alto custo dos módulos fotovoltaicos, houve um pequeno aumento nos custos totais de todos os sistemas.

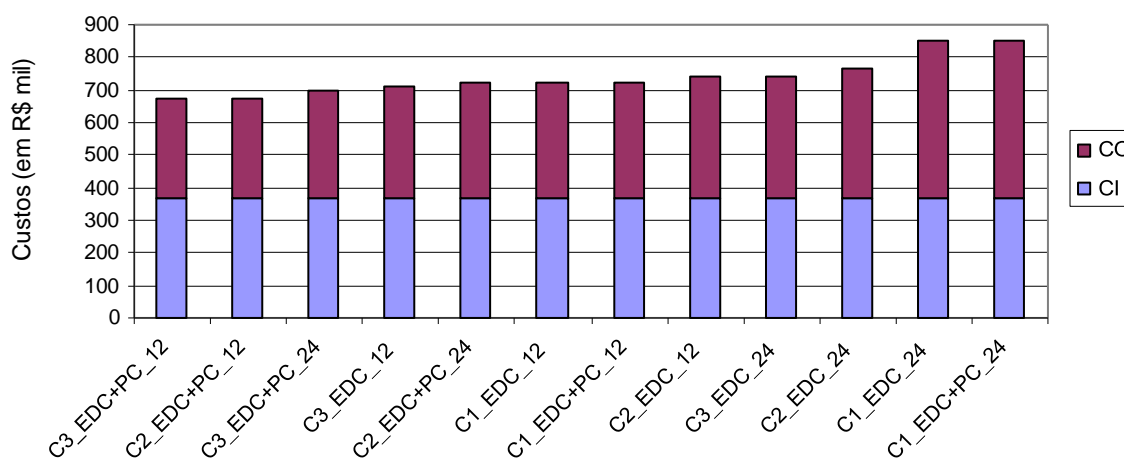


Figura 4.8 – CCV do sistema do Perequê (18,75 kW<sub>p</sub>)

Ao se avaliar as figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8, quanto ao período de fornecimento, percebe-se que o atendimento da carga durante 24 horas não acarreta em um aumento significativo nos custos do sistema, em comparação com um período de atendimento de 12 horas. Neste sentido, a configuração 3 apresentou os melhores resultados, estando sempre entre as três melhores opções, mesmo com o período de fornecimento de 24 horas por dia. Este resultado se deve ao perfil da curva de carga dos dois sistemas, que apresentam baixo consumo durante o dia.

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Esta dissertação apresenta uma avaliação de estratégias de operação de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-diesel, aplicada a dois estudos de casos de localidades do litoral sul do estado de São Paulo. Esta avaliação foi feita a partir de dados coletados nas próprias localidades, desde o levantamento da curva de carga até o levantamento do potencial solar e eólico. Com esses dados foram feitas simulações com diferentes estratégias de operação e diferentes graus de participação das energias renováveis na energia total produzida pelo sistema, a fim de se obter resultados da operação do sistema, como consumo de óleo diesel e profundidade de descarga do banco de baterias. A partir dos resultados das simulações foi feita uma análise econômica, utilizando a figura de mérito do ciclo de custo de vida (CCV), a fim de se determinar qual das estratégias é a mais adequada para a operação de sistemas híbridos de fornecimento de energia elétrica.

A configuração em que a energia proveniente do grupo gerador não é utilizada para carregar o banco de baterias, defendida por alguns autores como a única forma viável de se utilizar um grupo gerador em sistemas híbridos não foi a que apresentou os menores custos de ciclo de vida. Esta configuração mostra-se inviável para o fornecimento de energia elétrica ininterruptamente a comunidades isoladas, pois apresenta custos demasiadamente elevados. No entanto, observou-se que, para a comunidade de Marujá, para um período de fornecimento de 12 horas por dia, esta configuração apresentou os melhores resultados.

Ao se conectar o grupo gerador somente ao barramento de corrente contínua, formando uma configuração com acoplamento puramente CC, consegue-se melhorar o fator de capacidade da potência demandada do grupo gerador. Desta forma, o grupo gerador opera em melhores condições e com menor consumo específico de óleo diesel (litros por kWh). Porém, o fato de a carga ser atendida através de dois conversores, CA-CC e CC-CA, faz com que a potência demandada pela carga, vista pelo gerador, aumente significativamente e, conseqüentemente, há também um aumento no consumo total de óleo diesel.

A terceira configuração avaliada neste trabalho, onde o grupo gerador fica conectado diretamente à mini-rede de distribuição e ao mesmo tempo carrega o banco de baterias por meio de um conversor CA-CC, apresentou os melhores resultados. Com este resultado, pode-

se concluir que a afirmação de Schmitt et al. (2003): “Em nenhum caso nós vislumbramos carregar as baterias com o gerador diesel. O desempenho do sistema nestas circunstâncias é pobre demais”, não é válida para todos os perfis de consumo e de disponibilidade de recursos energéticos renováveis.

Ao se aplicar a estratégia de despacho da potência crítica (onde o grupo gerador é acionado toda vez que uma determinada potência demandada é atingida, independente do estado de carga do banco de baterias) em conjunto com a estratégia de despacho de estado de carga do banco de baterias (também conhecida como estratégia de *set-points*) obteve-se resultados distintos para os dois estudos de caso. Enquanto que para o caso da comunidade de Marujá as duas estratégias combinadas apresentaram os piores resultados, no caso do Núcleo Perequê a adição da estratégia de potência crítica à estratégia de estado de carga melhorou significativamente o desempenho do sistema, obtendo-se com elas os menores custos de ciclo de vida para o atendimento da localidade.

Quanto ao período de fornecimento de energia elétrica, pode-se concluir que não existem vantagens muito significativas ao se adotar um período de apenas 12 horas por dia. O perfil da curva de carga da maioria das comunidades isoladas apresenta características muito parecidas com as dos dois estudos de caso deste trabalho, onde a demanda diurna é baixa.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que não existe uma melhor estratégia de operação genérica para sistemas híbridos, e sim estratégias de operação que se adaptam melhor a determinadas condições de oferta e demanda de energia. A aplicação de diferentes estratégias de operação para um mesmo sistema, com mesma curva de carga e mesmo potencial renovável disponível, ocasionou variações de até 30% nos custos de ciclo de vida do sistema. Com o cenário que se apresenta atualmente, onde os preços dos derivados de petróleo tendem a subir cada vez mais, a escolha de uma estratégia de operação adequada para sistemas híbridos que utilizam grupos geradores como fonte auxiliar mostra-se de fundamental importância. Numa situação onde os preços se encontrarem num patamar mais elevado que o atual, o aumento da capacidade de geração das fontes renováveis, mesmo que acarrete elevados custos de investimento, mostrar-se-á economicamente mais atrativa ao se avaliarem os custos de ciclo de vida desses sistemas.

A partir da experiência acumulada com a realização deste estudo, recomendam-se os seguintes temas para futuros trabalhos:

- realizar o mesmo tipo de avaliação aqui apresentada para outros estudos de caso, com diferentes perfis de demanda de energia elétrica e com diferentes potenciais solar e eólico;
- avaliar outras estratégias de operação, que utilizem algoritmos de controle mais sofisticados, como lógica difusa e dados de previsão de carga e disponibilidade das fontes renováveis, e compará-las com os resultados obtidos neste trabalho;
- fazer uma avaliação técnico-econômica de estratégias de operação com o acoplamento das fontes renováveis no barramento de corrente alternada, em comparação com o acoplamento no barramento de corrente contínua;
- fazer estudos mais detalhados sobre a dependência entre a estratégia de operação e o dimensionamento do sistema;
- avaliar as condições em que os sistemas que utilizam mini-redes de distribuição têm um desempenho melhor que os sistemas individuais e vice-versa;
- fazer estudos mais detalhados quanto à degradação de grupos geradores, devido ao número de acionamentos e ao fator de capacidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHARI, M.; NAYAR, C. V. An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system. *Solar Energy*, Vol. 66, No 1, p. 1-9, 1999.

BARBOSA, C. F. O.; PINHO, J. T.; PEREIRA, E. J. S.; GALHARDO, M. A. B.; VALE, S. B.; MARANHÃO, W. M. A. Situação da Geração Elétrica através de Sistemas Híbridos no Estados do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Elétrica. *AGRENER GD – 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída*, Campinas. 2004a.

BARBOSA, C. F. O.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; CRUZ, D. P.; ARAÚJO, R. G. Implantação e operação do primeiro sistema de pré-pagamento de eletricidade no Brasil, instalado em uma localidade isolada da Região Amazônica. *IEEE-PES T&D Latin America*, São Paulo, 2004b.

BARLEY, C. D.; WINN, C. B. Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems. *Solar Energy*. Vol. 58, nº 4-6, p. 165-179, 1996.

BLASQUES, L. C. M. Estudo de viabilidade técnico-econômica de sistemas híbridos para geração de eletricidade. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Pará. 2005.

BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, E. *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons Ltd, 2001.

CANELAS, A. L. S.; CAVALCANTI, M. C. B. Análise da viabilidade da energia fotovoltaica. *X Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro, 2004.

CARTAXO, E. F. Fornecimento de Serviço de Energia Elétrica para Comunidades Isoladas da Amazônia: reflexões a partir de um estudo de caso. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 2000.

CELIK, A. N. Techno-economic analysis of autonomous PV-wind hybrid energy systems using different sizing methods. *Energy Conversion and Management*, vol. 44, p. 1951-1968, 2003.

CRAMER, G.; REEKERS, J.; ROTHERT, M.; WOLLNY, M. The future of village electrification. SMA Regelsysteme GmbH, 2004.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Energia eólica: princípios e aplicações. [http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial\\_eolica.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_eolica.pdf). Acessado em 20 de setembro de 2005.

DALBON, W.; LEVA, S.; ROSCIA, M.; ZANINELLI, D. H. Hybrid photovoltaic system control for enhancing sustainable energy. IEEE, p. 134-139, 2002.

ELHADIDY, M. A.; SHAAHID, S. M. Promoting applications of hybrid (wind + photovoltaic + diesel + battery) power systems in hot regions. Renewable Energy, vol. 29, p. 517-528, 2003.

ENGLER, A.; HARDT, C.; BECHTEL, N.; ROTHERT, M. Next generation of AC coupled hybrid systems. 2<sup>nd</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference. Kassel, Alemanha. 2003.

FOSTER, G. M. As culturas tradicionais e o impacto da tecnologia. Editora Fundo de Cultura, Rio de Janeiro, 1962.

FULLER, S. K.; PETERSON, S. R. Life-cycle costing workshop for energy conservation in buildings: student manual. U. S. Department of Commerce, 1998.

GABLER, H. Autonomous power supply with photovoltaics: photovoltaics for rural electrification – reality and vision. Renewable Energy, 15, p. 512-518, 1998.

GARCÍA, F. H. Análise experimental e simulação de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004.

GUIANET. Mapa do estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.guinet.com.br/sp/>>. Acesso em 22 de março de 2006.

HAUSCHILD, L.; ZILLES, R. Photovoltaic individual solar home systems versus photovoltaic centralized mini-grid systems. 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Espanha. 2005.



HIRSCHFELD, H. Engenharia econômica e análise de custos. Editora Atlas, 7ª Edição. São Paulo, 2000.

HOLLAND, R. Appropriate technology – rural electrification in developing countries. IEE Review, vol. 35, issue 7, p. 251-254, 1989.

IEA. International Energy Agency. World Energy Outlook 2004.

LEI 10.438. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Publicado no D.O de 29 de abril de 2002, seção 1, p.1, v.139, n. 89-A.

LORENZO, E. et al. Electricidad solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. Espanha, Artes Gráficas Gala, 1994.

LOUNINEAU, J. P. Rural Lighting. Intermediate Technology Publications, Londres, 1994.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. Handbook of photovoltaic science and engineering. John Wiley & Sons Ltd, 2003.

MACÊDO, W. N. Estudo de sistemas de geração de eletricidade utilizando as energias solar fotovoltaica e eólica. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Pará. 2002.

MACÊDO, W. N.; OLIVEIRA, L. G. M.; BRITO, A. U.; ZILLES, R.; PINHO, J. T. Metodologia de avaliação do problema de suprimento de energia elétrica em comunidades não atendidas: o caso da comunidade de Marujá. X Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2004.

MME. Ministério de Minas e Energia. Manual de Operacionalização. Luz para Todos – Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica. Revisão 1.0, 2004.

MOURA. Especificações técnicas da bateria Moura Clean. Página na internet ([www.moura.com.br](http://www.moura.com.br)), acessada em 11 de novembro de 2005.

OMARI, O.; ORTJOHANN, E.; SAIJU, R.; HAMSICH, N.; MORTON, D. A simulation model for expandable hybrid power systems. 2<sup>nd</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference. Kassel, Alemanha, 2003.

PINHO, J. T.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; VALE, S. B. Operation strategies of wind-diesel systems for electricity generation using intelligent systems. Proceedings. Global Wind Power. Chicago, EUA, 2004a.

PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; ARAÚJO, R. G. Sistema híbrido eólico-fotovoltaico-diesel para eletrificação da comunidade de São Tomé, município de Maracanã, Pará. X Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, 2004b.

PINHO, J. T. Entrevista sobre sistemas híbridos, realizada na Universidade Federal do Pará, em outubro, 2004c.

PROVEN. Tabela de preço de aerogerador. Disponível em <<http://www.provenenergy.com>>. Acesso em 2 de março de 2006.

QUASCHNING, V.; ZEHNER, M. Simulate it in English. Sun & Wind Energy. Issue 1, p. 50-56, 2004.

RESOLUÇÃO 83. Resolução Normativa nº 83, de 20 de setembro de 2004. Publicado no D.O de 24 de setembro de 2004, seção 1, p. 126, v. 141, n. 185.

RÜTHER, R.; MARTINS, D. C.; BAZZO, E. Hybrid Diesel / Photovoltaic Systems without Storage for Isolated Mini-grids in Northern Brazil. Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p. 1567-1570, Anchorage, USA, 2000.

RÜTHER, R. Comunicação via correio eletrônico em 9 de dezembro, 2004.

SANTOS, R. R. Procedimentos para eletrificação rural fotovoltaica domiciliar no Brasil: uma contribuição a partir de observações de campo. Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2002.

SCHMITT, A.; HUARD, G.; e KWIATKOWSKI. PV-hybrid micro-powerplants and mini-grids for decentralised rural electrification in developing countries. 2<sup>nd</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference. Kassel, Alemanha. 2003.

SCHUMACHER, J. Digitale Simulation regenerativer elektrischer Energieversorgungssysteme. Tese de Doutorado. Univerdade de Oldenburg, Alemanha, 1991.

SEELING, G. C. A combined optimisation concept for the design and operation strategy of hybrid-PV energy systems. Proceeding of the Solar World Congress 1995, Harare, Zimbabwe.

SENTELHAS, R. Instrumento de software para apoio à pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso de energia elétrica. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2004.

SKARSTEIN, O.; UHLEN, K. Design considerations with respect to long-term diesel saving in wind/diesel plants. *Wind Engineering*. Vol. 13, Nº 2, p. 72-87, 1989.

TIGROSO, F. B. M. Demanda de energia elétrica e desenvolvimento socioeconômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2004.

VANDENBERGH, M.; GEIPEL, R.; LANDAU, M.; STRAUSS, P. Five years experience in mini-grids with AC coupled PV. 2<sup>nd</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference. Kassel, Alemanha. 2003.

VOSELER, I.; RAMÍREZ, E.; VALLVÉ, X.; CARRERAS, J. M. Electrificación rural FV híbrida en España: 6 años de experiencia com MGS (microredes con generación solar híbrida). XII Congreso Ibérico y VII Congreso Íbero Americano de Energia Solar. Vigo, Espanha, 2004.

WALKER, J. F.; JENKINS, N. *Wind Energy Technology*. John Wiley & Sons, 1997.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – Dados de irradiância e velocidade de vento (2004)

Legenda: Hora – hora do ano (de 1 a 8784), Irrad – irradiância no plano inclinado a 30° (W/m<sup>2</sup>), V.Ve – velocidade do vento a 30 m (m/s).

| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 1    | 0     | 5,88 | 71   | 1     | 7,92 | 141  | 0     | 4,4  | 211  | 29    | 3,75 | 281  | 329   | 7,25 | 351  | 205   | 4,78 | 421  | 979   | 4,77 | 491  | 428   | 3,22 |
| 2    | 0     | 11,1 | 72   | 0     | 4,6  | 142  | 0     | 3,65 | 212  | 0     | 1,35 | 282  | 142   | 7,42 | 352  | 117   | 4,77 | 422  | 926   | 5,08 | 492  | 303   | 4,42 |
| 3    | 0     | 11   | 73   | 0     | 6,67 | 143  | 0     | 2,55 | 213  | 0     | 0,5  | 283  | 21    | 5,83 | 353  | 179   | 3,92 | 423  | 782   | 5,67 | 493  | 194   | 5,33 |
| 4    | 0     | 12   | 74   | 0     | 6,3  | 144  | 0     | 3,37 | 214  | 0     | 0,6  | 284  | 0     | 7,8  | 354  | 137   | 3,88 | 424  | 585   | 5,97 | 494  | 259   | 5,1  |
| 5    | 0     | 13   | 75   | 0     | 5,17 | 145  | 0     | 4,28 | 215  | 0     | 0,52 | 285  | 0     | 7,02 | 355  | 10    | 4,22 | 425  | 352   | 6,18 | 495  | 395   | 6,42 |
| 6    | 0     | 11,2 | 76   | 0     | 5    | 146  | 0     | 4,25 | 216  | 0     | 0,53 | 286  | 0     | 7,58 | 356  | 2     | 2,72 | 426  | 129   | 6,18 | 496  | 438   | 6,63 |
| 7    | 9     | 10,7 | 77   | 0     | 7,05 | 147  | 0     | 2,97 | 217  | 0     | 0,55 | 287  | 0     | 6,25 | 357  | 0     | 3,18 | 427  | 36    | 5,93 | 497  | 203   | 6,52 |
| 8    | 19    | 9,73 | 78   | 7     | 7,4  | 148  | 0     | 0,78 | 218  | 0     | 0,8  | 288  | 0     | 5,97 | 358  | 0     | 1,75 | 428  | 1     | 6,5  | 498  | 102   | 5,48 |
| 9    | 61    | 9,58 | 79   | 35    | 4,73 | 149  | 0     | 0,82 | 219  | 0     | 0,8  | 289  | 0     | 5,9  | 359  | 0     | 2,6  | 429  | 0     | 6,03 | 499  | 27    | 4,77 |
| 10   | 105   | 9,12 | 80   | 42    | 2,07 | 150  | 1     | 0,73 | 220  | 0     | 0,52 | 290  | 0     | 5,2  | 360  | 1     | 7,07 | 430  | 0     | 6,12 | 500  | 0     | 6    |
| 11   | 161   | 8,98 | 81   | 206   | 1,68 | 151  | 16    | 0,5  | 221  | 0     | 0,52 | 291  | 0     | 4,32 | 361  | 0     | 7,38 | 431  | 0     | 6,2  | 501  | 0     | 4,45 |
| 12   | 150   | 8,12 | 82   | 328   | 1,28 | 152  | 38    | 0,53 | 222  | 5     | 0,52 | 292  | 0     | 2,58 | 362  | 0     | 6    | 432  | 0     | 6,17 | 502  | 0     | 2,82 |
| 13   | 118   | 7,22 | 83   | 350   | 2,53 | 153  | 76    | 0,5  | 223  | 69    | 0,52 | 293  | 0     | 4,77 | 363  | 0     | 4,55 | 433  | 0     | 6,12 | 503  | 0     | 1,58 |
| 14   | 97    | 6,83 | 84   | 794   | 2,73 | 154  | 114   | 0,5  | 224  | 319   | 2,62 | 294  | 4     | 1,32 | 364  | 0     | 4,73 | 434  | 0     | 3,22 | 504  | 0     | 0,88 |
| 15   | 128   | 8,08 | 85   | 542   | 3,18 | 155  | 168   | 0,63 | 225  | 536   | 3,35 | 295  | 78    | 0,53 | 365  | 0     | 4,9  | 435  | 0     | 0,73 | 505  | 0     | 0,57 |
| 16   | 126   | 7,55 | 86   | 471   | 6,88 | 156  | 123   | 3,22 | 226  | 738   | 3,2  | 296  | 237   | 1,65 | 366  | 6     | 2,43 | 436  | 0     | 1,83 | 506  | 0     | 0,5  |
| 17   | 58    | 7,8  | 87   | 547   | 4,73 | 157  | 193   | 6,8  | 227  | 862   | 4,03 | 297  | 359   | 5,25 | 367  | 106   | 1,33 | 437  | 0     | 2,15 | 507  | 0     | 0,77 |
| 18   | 17    | 8,42 | 88   | 308   | 6,05 | 158  | 185   | 9,8  | 228  | 907   | 3,8  | 298  | 561   | 4,3  | 368  | 316   | 3,48 | 438  | 2     | 2,58 | 508  | 0     | 0,5  |
| 19   | 6     | 6,2  | 89   | 202   | 7,25 | 159  | 34    | 6,93 | 229  | 859   | 3,97 | 299  | 792   | 3,75 | 369  | 532   | 4,35 | 439  | 40    | 1,43 | 509  | 0     | 0,5  |
| 20   | 0     | 5,48 | 90   | 109   | 4,7  | 160  | 37    | 3    | 230  | 890   | 4,52 | 300  | 955   | 4,88 | 370  | 616   | 4,48 | 440  | 305   | 0,5  | 510  | 1     | 0,5  |
| 21   | 0     | 5,27 | 91   | 11    | 2,35 | 161  | 131   | 1,58 | 231  | 744   | 5,13 | 301  | 867   | 5,92 | 371  | 830   | 4,7  | 441  | 511   | 1,62 | 511  | 9     | 0,63 |
| 22   | 0     | 4,45 | 92   | 1     | 9,73 | 162  | 117   | 1,95 | 232  | 554   | 5,97 | 302  | 621   | 5,85 | 372  | 959   | 5,32 | 442  | 758   | 1,98 | 512  | 49    | 0,72 |
| 23   | 0     | 1,03 | 93   | 0     | 10,3 | 163  | 15    | 4,73 | 233  | 328   | 6,23 | 303  | 430   | 6,07 | 373  | 942   | 6,62 | 443  | 870   | 2,27 | 513  | 99    | 0,52 |
| 24   | 0     | 3,43 | 94   | 0     | 10,5 | 164  | 0     | 4    | 234  | 116   | 6,63 | 304  | 533   | 5,18 | 374  | 817   | 6,9  | 444  | 959   | 4,2  | 514  | 102   | 1,27 |
| 25   | 0     | 3,15 | 95   | 0     | 10,7 | 165  | 0     | 1,52 | 235  | 28    | 6,47 | 305  | 246   | 4,4  | 375  | 769   | 6,42 | 445  | 935   | 4,87 | 515  | 384   | 0,6  |
| 26   | 0     | 2,22 | 96   | 0     | 9,22 | 166  | 0     | 1,07 | 236  | 1     | 4,93 | 306  | 84    | 4,2  | 376  | 523   | 6,5  | 446  | 879   | 4,07 | 516  | 530   | 0,78 |
| 27   | 0     | 0,65 | 97   | 0     | 7,62 | 167  | 0     | 0,7  | 237  | 0     | 4,1  | 307  | 27    | 4,17 | 377  | 355   | 5,72 | 447  | 793   | 5,23 | 517  | 697   | 3,8  |
| 28   | 0     | 0,53 | 98   | 0     | 10,1 | 168  | 0     | 0,8  | 238  | 0     | 3,25 | 308  | 0     | 5,5  | 378  | 133   | 5,72 | 448  | 500   | 5,88 | 518  | 566   | 4,67 |
| 29   | 0     | 2,22 | 99   | 0     | 8,35 | 169  | 0     | 0,5  | 239  | 0     | 1,13 | 309  | 0     | 5,3  | 379  | 30    | 6,35 | 449  | 214   | 7,13 | 519  | 423   | 4,22 |
| 30   | 2     | 4,55 | 100  | 0     | 7,67 | 170  | 0     | 0,73 | 240  | 0     | 1,57 | 310  | 0     | 2,98 | 380  | 0     | 6,53 | 450  | 52    | 4,25 | 520  | 518   | 5,45 |
| 31   | 24    | 2,53 | 101  | 0     | 7,9  | 171  | 0     | 0,68 | 241  | 0     | 0,95 | 311  | 0     | 2,18 | 381  | 0     | 7,7  | 451  | 18    | 6,67 | 521  | 321   | 5,35 |
| 32   | 91    | 1,7  | 102  | 9     | 5,63 | 172  | 0     | 1,77 | 242  | 0     | 0,87 | 312  | 0     | 1,72 | 382  | 0     | 6,92 | 452  | 1     | 9,18 | 522  | 130   | 5,15 |
| 33   | 153   | 0,73 | 103  | 82    | 5,82 | 173  | 0     | 0,78 | 243  | 0     | 1,53 | 313  | 0     | 2,33 | 383  | 0     | 5,87 | 453  | 0     | 7,53 | 523  | 32    | 4,88 |
| 34   | 207   | 1,72 | 104  | 260   | 6,65 | 174  | 8     | 0,5  | 244  | 0     | 1,77 | 314  | 0     | 2,37 | 384  | 0     | 5,1  | 454  | 0     | 7,57 | 524  | 0     | 5,83 |
| 35   | 492   | 3,1  | 105  | 553   | 7,12 | 175  | 44    | 0,57 | 245  | 0     | 1,48 | 315  | 0     | 0,82 | 385  | 0     | 3    | 455  | 0     | 7,67 | 525  | 0     | 7,13 |
| 36   | 518   | 3,88 | 106  | 800   | 6,88 | 176  | 77    | 0,72 | 246  | 4     | 2,95 | 316  | 0     | 1,12 | 386  | 0     | 0,52 | 456  | 0     | 9,67 | 526  | 0     | 7,48 |
| 37   | 470   | 4,22 | 107  | 911   | 7,28 | 177  | 216   | 1,58 | 247  | 67    | 1,9  | 317  | 0     | 2,37 | 387  | 0     | 0,62 | 457  | 0     | 8,95 | 527  | 0     | 6,47 |
| 38   | 314   | 3,97 | 108  | 978   | 7,8  | 178  | 148   | 2,38 | 248  | 310   | 0,85 | 318  | 2     | 2,1  | 388  | 0     | 1,27 | 458  | 0     | 7,72 | 528  | 0     | 6,27 |
| 39   | 121   | 0,9  | 109  | 820   | 8,25 | 179  | 80    | 1,65 | 249  | 497   | 1,07 | 319  | 47    | 0,5  | 389  | 0     | 0,92 | 459  | 0     | 7,33 | 529  | 0     | 5,65 |
| 40   | 130   | 0,5  | 110  | 497   | 8,05 | 180  | 400   | 1,12 | 250  | 674   | 2,82 | 320  | 193   | 0,5  | 390  | 3     | 1,92 | 460  | 0     | 7,07 | 530  | 0     | 4,05 |
| 41   | 123   | 0,5  | 111  | 526   | 7,88 | 181  | 762   | 0,97 | 251  | 768   | 4,98 | 321  | 507   | 1,05 | 391  | 44    | 0,85 | 461  | 0     | 4,05 | 531  | 0     | 5,28 |
| 42   | 61    | 0,9  | 112  | 496   | 7,85 | 182  | 615   | 0,82 | 252  | 914   | 7,37 | 322  | 686   | 2,18 | 392  | 162   | 1,13 | 462  | 2     | 3,77 | 532  | 0     | 4,12 |
| 43   | 14    | 0,87 | 113  | 310   | 8,07 | 183  | 586   | 3,6  | 253  | 957   | 8,28 | 323  | 779   | 3,25 | 393  | 329   | 2,5  | 463  | 76    | 0,87 | 533  | 0     | 1,7  |
| 44   | 0     | 2,17 | 114  | 110   | 7,9  | 184  | 312   | 5,02 | 254  | 842   | 9,67 | 324  | 859   | 3,98 | 394  | 357   | 3,47 | 464  | 298   | 7,7  | 534  | 2     | 0,53 |
| 45   | 0     | 4,9  | 115  | 28    | 7,9  | 185  | 150   | 6,9  | 255  | 241   | 10   | 325  | 974   | 5    | 395  | 524   | 2,97 | 465  | 135   | 5,7  | 535  | 17    | 1,95 |
| 46   | 0     | 5,77 | 116  | 0     | 8,47 | 186  | 85    | 6,28 | 256  | 172   | 8,98 | 326  | 810   | 5,97 | 396  | 859   | 3,88 | 466  | 83    | 0,85 | 536  | 78    | 6,05 |
| 47   | 0     | 7,07 | 117  | 0     | 7,68 | 187  | 16    | 3,78 | 257  | 116   | 6,35 | 327  | 507   | 5,72 | 397  | 988   | 4,92 | 467  | 331   | 0,52 | 537  | 65    | 7,83 |
| 48   | 0     | 6,75 | 118  | 0     | 7,78 | 188  | 0     | 1,38 | 258  | 92    | 6,12 | 328  | 260   | 6,12 | 398  | 906   | 4,5  | 468  | 609   | 3,02 | 538  | 322   | 2,93 |
| 49   | 0     | 7,63 | 119  | 0     | 8,48 | 189  | 0     | 2,22 | 259  | 22    | 2,23 | 329  | 196   | 7,92 | 399  | 551   | 4,02 | 469  | 834   | 8,23 | 539  | 73    | 4,1  |
| 50   | 0     | 7,85 | 120  | 0     | 8,23 | 190  | 0     | 1,87 | 260  | 0     | 4,8  | 330  | 70    | 8,48 | 400  | 365   | 4,67 | 470  | 605   | 9,5  | 540  | 118   | 6,15 |
| 51   | 0     | 7,12 | 121  | 0     | 7,18 | 191  | 0     | 1,92 | 261  | 0     | 0,77 | 331  | 20    | 9,52 | 401  | 348   | 5,32 | 471  | 445   | 9,58 | 541  | 68    | 6,72 |
| 52   | 0     | 2,75 | 122  | 0     | 3,03 | 192  | 0     | 1,23 | 262  | 0     | 5,83 | 332  | 0     | 9,27 | 402  | 108   | 5,28 | 472  | 577   | 9,08 | 542  | 39    | 6,93 |
| 53   | 0     | 0,68 | 123  | 0     | 0,63 | 193  | 0     | 1,18 | 263  | 0     | 5,25 | 333  | 0     | 8,92 | 403  | 29    | 5,85 | 473  | 256   | 8,35 | 543  | 37    | 7,05 |
| 54   | 7     | 0,8  | 124  | 0     | 0,73 | 194  | 0     | 0,77 | 264  | 0     | 1,58 | 334  | 0     | 6,77 | 404  | 0     | 8,2  | 474  | 114   | 8,08 | 544  | 110   | 5,52 |
| 55   | 80    | 0,8  | 125  | 0     | 0,72 | 195  | 0     | 1,22 | 265  | 0     | 2,38 | 335  | 0     | 6,77 | 405  | 0     | 9,93 | 475  | 36    | 8,38 | 545  | 119   | 6,28 |
| 56   | 301   | 1,25 | 126  | 4     | 0,5  | 196  | 0     | 3    | 266  | 0     | 9,6  | 336  | 0     | 3,18 | 406  | 0     | 9,12 | 476  | 1     | 8,87 | 546  | 143   | 6,97 |
| 57   | 486   | 1,93 | 127  | 82    | 0,5  | 197  | 0     | 1,1  | 267  | 0     | 6,05 | 337  | 0     | 5,03 | 407  | 0     | 9,93 | 477  | 0     | 8,22 | 547  | 32    | 7,32 |
| 58   | 745   | 4,1  | 128  | 140   | 0,5  | 198  | 5     | 0,65 | 268  | 0     | 4,43 | 338  | 0     | 1,65 | 408  | 0     | 7,85 | 478  | 0     | 8,27 | 548  | 0     | 6,65 |
| 59   | 687   | 4,92 | 129  | 519   | 0,95 | 199  | 94    | 1,15 | 269  | 0     | 2,35 | 339  | 0     | 0,7  | 409  | 0     | 1,58 | 479  | 0     | 6,22 | 549  | 0     | 6,67 |
| 60   | 692   | 5,07 | 130  | 445   | 2,92 | 200  | 228   | 0,95 | 270  | 2     | 2,73 | 340  | 0     | 3,15 | 410  | 0     | 1,18 | 480  | 0     | 4,32 | 550  | 0     | 5,47 |
| 61   | 718   | 5,55 | 131  | 160   | 3,43 | 201  | 309   | 1,4  | 271  | 35    | 1,8  | 341  | 0     | 2,32 | 411  | 0     | 4,97 | 481  | 0     | 3,87 | 551  | 0     | 3,98 |
| 62   | 693   | 5,9  | 132  | 255   | 4,53 | 202  | 527   | 3,72 | 272  | 116   | 2,52 | 342  | 4     | 1,73 | 412  | 0     | 6,83 | 482  | 0     | 3,5  | 552  | 0     | 3,72 |
| 63   | 368   | 6,73 | 133  | 322   | 5,32 |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |



| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 1201 | 0     | 3,02 | 1281 | 69    | 6,17 | 1361 | 291   | 8,78 | 1441 | 0     | 7,07 | 1521 | 145   | 7,02 | 1601 | 306   | 9,45 | 1681 | 0     | 1,17 | 1761 | 15    | 1,67 |
| 1202 | 0     | 0,65 | 1282 | 193   | 4,73 | 1362 | 105   | 7,62 | 1442 | 0     | 2,6  | 1522 | 255   | 6,6  | 1602 | 123   | 8,67 | 1682 | 0     | 0,97 | 1762 | 57    | 0,6  |
| 1203 | 0     | 1,42 | 1283 | 469   | 5,32 | 1363 | 11    | 5,73 | 1443 | 0     | 0,77 | 1523 | 285   | 6,75 | 1603 | 4     | 7,07 | 1683 | 0     | 0,52 | 1763 | 118   | 4,33 |
| 1204 | 0     | 0,77 | 1284 | 839   | 6,25 | 1364 | 0     | 4,55 | 1444 | 0     | 0,52 | 1524 | 609   | 6,63 | 1604 | 0     | 5,85 | 1684 | 0     | 1,98 | 1764 | 64    | 5,3  |
| 1205 | 0     | 1,32 | 1285 | 981   | 6,78 | 1365 | 0     | 4,73 | 1445 | 0     | 1,87 | 1525 | 644   | 5,78 | 1605 | 0     | 2,92 | 1685 | 0     | 4,07 | 1765 | 34    | 2,97 |
| 1206 | 0     | 1,08 | 1286 | 815   | 6,35 | 1366 | 0     | 10,5 | 1446 | 0     | 0,65 | 1526 | 430   | 5,8  | 1606 | 0     | 0,85 | 1686 | 0     | 1,82 | 1766 | 73    | 5,22 |
| 1207 | 14    | 0,75 | 1287 | 361   | 5,42 | 1367 | 0     | 3,35 | 1447 | 4     | 0,5  | 1527 | 257   | 5,72 | 1607 | 0     | 1,55 | 1687 | 21    | 0,5  | 1767 | 64    | 7,93 |
| 1208 | 71    | 2,68 | 1288 | 130   | 5,92 | 1368 | 0     | 5,07 | 1448 | 71    | 0,5  | 1528 | 99    | 5,4  | 1608 | 0     | 1,13 | 1688 | 28    | 0,67 | 1768 | 53    | 4,27 |
| 1209 | 78    | 2,92 | 1289 | 36    | 2,27 | 1369 | 0     | 4,08 | 1449 | 172   | 0,52 | 1529 | 111   | 5,05 | 1609 | 0     | 0,67 | 1689 | 196   | 5,87 | 1769 | 57    | 4,02 |
| 1210 | 145   | 4,02 | 1290 | 45    | 0,5  | 1370 | 0     | 4,87 | 1450 | 222   | 0,73 | 1530 | 43    | 5,3  | 1610 | 0     | 1,97 | 1690 | 250   | 7,15 | 1770 | 43    | 4,57 |
| 1211 | 125   | 4,57 | 1291 | 11    | 5,03 | 1371 | 0     | 4,83 | 1451 | 107   | 2,92 | 1531 | 5     | 5,73 | 1611 | 0     | 0,73 | 1691 | 579   | 8,3  | 1771 | 2     | 3,75 |
| 1212 | 40    | 3,92 | 1292 | 0     | 4,98 | 1372 | 0     | 4,25 | 1452 | 412   | 1,32 | 1532 | 0     | 4,87 | 1612 | 0     | 0,75 | 1692 | 168   | 9,25 | 1772 | 0     | 2,55 |
| 1213 | 65    | 4,82 | 1293 | 0     | 5,03 | 1373 | 0     | 2,57 | 1453 | 770   | 3,3  | 1533 | 0     | 5,75 | 1613 | 0     | 0,5  | 1693 | 119   | 7,88 | 1773 | 0     | 3,58 |
| 1214 | 96    | 4,72 | 1294 | 0     | 4,7  | 1374 | 0     | 1,27 | 1454 | 663   | 3,83 | 1534 | 0     | 4,93 | 1614 | 0     | 0,5  | 1694 | 112   | 7,73 | 1774 | 0     | 3,83 |
| 1215 | 85    | 3,18 | 1295 | 0     | 3,85 | 1375 | 20    | 2,35 | 1455 | 621   | 3,7  | 1535 | 0     | 3,33 | 1615 | 19    | 0,62 | 1695 | 107   | 6,73 | 1775 | 0     | 3,65 |
| 1216 | 75    | 3,42 | 1296 | 0     | 5    | 1376 | 264   | 2,35 | 1456 | 395   | 3,1  | 1536 | 1     | 7,07 | 1616 | 204   | 0,53 | 1696 | 113   | 6,57 | 1776 | 0     | 3,77 |
| 1217 | 55    | 1,95 | 1297 | 0     | 4,27 | 1377 | 542   | 0,55 | 1457 | 97    | 3,35 | 1537 | 0     | 6,78 | 1617 | 513   | 0,52 | 1697 | 99    | 6,33 | 1777 | 0     | 4,83 |
| 1218 | 23    | 2,32 | 1298 | 0     | 5,43 | 1378 | 752   | 1,83 | 1458 | 53    | 4,97 | 1538 | 0     | 6,1  | 1618 | 740   | 0,63 | 1698 | 22    | 6,45 | 1778 | 0     | 5,43 |
| 1219 | 2     | 2    | 1299 | 0     | 2,82 | 1379 | 903   | 3,58 | 1459 | 2     | 5,5  | 1539 | 0     | 4,43 | 1619 | 899   | 1,55 | 1699 | 0     | 7,47 | 1779 | 0     | 4,6  |
| 1220 | 0     | 1,53 | 1300 | 0     | 0,62 | 1380 | 941   | 3,73 | 1460 | 0     | 8,15 | 1540 | 0     | 2,47 | 1620 | 970   | 2,92 | 1700 | 0     | 7,22 | 1780 | 0     | 4,88 |
| 1221 | 0     | 1,35 | 1301 | 0     | 1,12 | 1381 | 951   | 4,17 | 1461 | 0     | 6,53 | 1541 | 0     | 3,78 | 1621 | 869   | 3,5  | 1701 | 0     | 6,73 | 1781 | 0     | 3,18 |
| 1222 | 0     | 1,63 | 1302 | 0     | 2,72 | 1382 | 948   | 5,43 | 1462 | 0     | 7,23 | 1542 | 0     | 2,28 | 1622 | 867   | 4,83 | 1702 | 0     | 5,45 | 1782 | 0     | 3,53 |
| 1223 | 0     | 1,12 | 1303 | 19    | 2,02 | 1383 | 606   | 6,52 | 1463 | 0     | 6,72 | 1543 | 20    | 0,77 | 1623 | 756   | 6,33 | 1703 | 0     | 4,17 | 1783 | 14    | 2,57 |
| 1224 | 0     | 1,08 | 1304 | 66    | 0,85 | 1384 | 294   | 7,37 | 1464 | 0     | 7,27 | 1544 | 211   | 0,65 | 1624 | 530   | 8,05 | 1704 | 0     | 0,57 | 1784 | 267   | 2,83 |
| 1225 | 0     | 2,33 | 1305 | 326   | 0,52 | 1385 | 228   | 7,1  | 1465 | 0     | 6,1  | 1545 | 390   | 1,73 | 1625 | 173   | 8,07 | 1705 | 0     | 1,72 | 1785 | 555   | 3,57 |
| 1226 | 0     | 1,73 | 1306 | 587   | 0,82 | 1386 | 38    | 6,33 | 1466 | 0     | 4,68 | 1546 | 607   | 2,57 | 1626 | 34    | 6,72 | 1706 | 0     | 0,97 | 1786 | 761   | 3,7  |
| 1227 | 0     | 3,87 | 1307 | 772   | 2,12 | 1387 | 5     | 2,47 | 1467 | 0     | 2,75 | 1547 | 768   | 3,17 | 1627 | 5     | 4,6  | 1707 | 0     | 0,82 | 1787 | 922   | 4,53 |
| 1228 | 0     | 1,97 | 1308 | 880   | 3    | 1388 | 0     | 2,35 | 1468 | 0     | 2    | 1548 | 879   | 3,25 | 1628 | 0     | 1,52 | 1708 | 0     | 1,3  | 1788 | 972   | 4,5  |
| 1229 | 0     | 0,55 | 1309 | 905   | 2,18 | 1389 | 0     | 8,67 | 1469 | 0     | 2,3  | 1549 | 987   | 2,83 | 1629 | 0     | 0,52 | 1709 | 0     | 1,45 | 1789 | 919   | 7,22 |
| 1230 | 0     | 0,63 | 1310 | 924   | 3,45 | 1390 | 0     | 9,02 | 1470 | 0     | 1,83 | 1550 | 974   | 3    | 1630 | 0     | 0,5  | 1710 | 0     | 1,52 | 1790 | 886   | 6,95 |
| 1231 | 16    | 0,78 | 1311 | 723   | 4    | 1391 | 0     | 4,35 | 1471 | 25    | 0,5  | 1551 | 281   | 2,98 | 1631 | 0     | 0,5  | 1711 | 7     | 0,77 | 1791 | 802   | 5,22 |
| 1232 | 69    | 0,53 | 1312 | 486   | 4,55 | 1392 | 0     | 5,23 | 1472 | 239   | 0,57 | 1552 | 87    | 2,88 | 1632 | 0     | 1,62 | 1712 | 28    | 2,12 | 1792 | 599   | 3,12 |
| 1233 | 164   | 0,5  | 1313 | 300   | 4,6  | 1393 | 0     | 7,97 | 1473 | 509   | 0,55 | 1553 | 121   | 4,38 | 1633 | 0     | 1,42 | 1713 | 83    | 2,07 | 1793 | 322   | 1,52 |
| 1234 | 226   | 1,1  | 1314 | 112   | 4,75 | 1394 | 0     | 6,72 | 1474 | 655   | 2,02 | 1554 | 61    | 4,82 | 1634 | 0     | 1,35 | 1714 | 141   | 1,37 | 1794 | 91    | 0,57 |
| 1235 | 295   | 2,95 | 1315 | 22    | 5,1  | 1395 | 0     | 8,32 | 1475 | 720   | 5,27 | 1555 | 14    | 5,12 | 1635 | 0     | 0,5  | 1715 | 119   | 0,52 | 1795 | 3     | 0,5  |
| 1236 | 465   | 2,97 | 1316 | 0     | 5,15 | 1396 | 0     | 2,22 | 1476 | 910   | 7,1  | 1556 | 0     | 4,78 | 1636 | 0     | 1,02 | 1716 | 129   | 1,47 | 1796 | 0     | 0,5  |
| 1237 | 458   | 2,6  | 1317 | 0     | 5,55 | 1397 | 0     | 4,63 | 1477 | 976   | 8,18 | 1557 | 0     | 4,07 | 1637 | 0     | 1,67 | 1717 | 62    | 3,35 | 1797 | 0     | 0,5  |
| 1238 | 605   | 3,37 | 1318 | 0     | 5,58 | 1398 | 0     | 2,72 | 1478 | 915   | 8,37 | 1558 | 0     | 3,87 | 1638 | 0     | 0,5  | 1718 | 104   | 3,8  | 1798 | 0     | 0,5  |
| 1239 | 371   | 3,2  | 1319 | 0     | 5,12 | 1399 | 18    | 3,53 | 1479 | 775   | 9,53 | 1559 | 0     | 1,12 | 1639 | 18    | 0,68 | 1719 | 124   | 3,4  | 1799 | 0     | 0,5  |
| 1240 | 270   | 3,63 | 1320 | 0     | 3,32 | 1400 | 261   | 4    | 1480 | 578   | 10,2 | 1560 | 0     | 1,37 | 1640 | 76    | 1,32 | 1720 | 103   | 3,87 | 1800 | 0     | 2,1  |
| 1241 | 123   | 2,98 | 1321 | 0     | 2,02 | 1401 | 537   | 1,67 | 1481 | 354   | 10,9 | 1561 | 0     | 1,28 | 1641 | 221   | 0,52 | 1721 | 43    | 3,03 | 1801 | 0     | 4,48 |
| 1242 | 87    | 3,4  | 1322 | 0     | 0,73 | 1402 | 752   | 1,98 | 1482 | 109   | 10,1 | 1562 | 0     | 1,92 | 1642 | 319   | 0,5  | 1722 | 18    | 2,27 | 1802 | 0     | 4,57 |
| 1243 | 17    | 3,08 | 1323 | 0     | 0,72 | 1403 | 922   | 2,78 | 1483 | 16    | 7,68 | 1563 | 0     | 2,4  | 1643 | 355   | 1,23 | 1723 | 1     | 6,45 | 1803 | 0     | 6,53 |
| 1244 | 0     | 3,8  | 1324 | 0     | 1,57 | 1404 | 971   | 3,13 | 1484 | 0     | 3,03 | 1564 | 0     | 2,35 | 1644 | 343   | 2,43 | 1724 | 0     | 7,17 | 1804 | 0     | 6,82 |
| 1245 | 0     | 1,77 | 1325 | 0     | 1,2  | 1405 | 946   | 3,98 | 1485 | 0     | 1,88 | 1565 | 0     | 1,2  | 1645 | 526   | 1,88 | 1725 | 0     | 6,55 | 1805 | 0     | 3,73 |
| 1246 | 0     | 0,5  | 1326 | 0     | 0,57 | 1406 | 934   | 5,27 | 1486 | 0     | 0,87 | 1566 | 0     | 2,65 | 1646 | 388   | 3,87 | 1726 | 0     | 5,37 | 1806 | 0     | 3,43 |
| 1247 | 0     | 0,52 | 1327 | 20    | 0,65 | 1407 | 820   | 5,65 | 1487 | 0     | 0,53 | 1567 | 15    | 1,05 | 1647 | 744   | 5    | 1727 | 0     | 0,75 | 1807 | 13    | 3,47 |
| 1248 | 0     | 0,5  | 1328 | 173   | 0,55 | 1408 | 610   | 5,37 | 1488 | 0     | 0,52 | 1568 | 77    | 2,53 | 1648 | 464   | 5,73 | 1728 | 0     | 0,5  | 1808 | 167   | 3,72 |
| 1249 | 0     | 0,73 | 1329 | 493   | 1,03 | 1409 | 364   | 5,82 | 1489 | 0     | 2,77 | 1569 | 279   | 4,77 | 1649 | 95    | 6,02 | 1729 | 0     | 1,98 | 1809 | 314   | 5,08 |
| 1250 | 0     | 2,13 | 1330 | 784   | 2,85 | 1410 | 128   | 4,87 | 1490 | 0     | 0,92 | 1570 | 206   | 6,7  | 1650 | 7     | 1,73 | 1730 | 0     | 3,27 | 1810 | 667   | 9,4  |
| 1251 | 0     | 2,4  | 1331 | 928   | 3,1  | 1411 | 10    | 2,38 | 1491 | 0     | 2,48 | 1571 | 672   | 6,8  | 1651 | 0     | 0,68 | 1731 | 0     | 1,78 | 1811 | 955   | 10,4 |
| 1252 | 0     | 1,42 | 1332 | 930   | 3,9  | 1412 | 0     | 1,27 | 1492 | 0     | 4,1  | 1572 | 655   | 5,75 | 1652 | 0     | 1,65 | 1732 | 0     | 1,88 | 1812 | 1014  | 9,22 |
| 1253 | 0     | 0,58 | 1333 | 969   | 3,85 | 1413 | 0     | 0,78 | 1493 | 0     | 2,37 | 1573 | 1008  | 4,93 | 1653 | 0     | 1,68 | 1733 | 0     | 1,57 | 1813 | 983   | 8,57 |
| 1254 | 0     | 0,92 | 1334 | 840   | 3,78 | 1414 | 0     | 2,07 | 1494 | 0     | 1,2  | 1574 | 790   | 4,77 | 1654 | 0     | 1,58 | 1734 | 0     | 1,13 | 1814 | 888   | 7,58 |
| 1255 | 3     | 1,55 | 1335 | 833   | 4,17 | 1415 | 0     | 2,4  | 1495 | 18    | 1,77 | 1575 | 664   | 3,85 | 1655 | 0     | 0,87 | 1735 | 6     | 2,57 | 1815 | 711   | 7,83 |
| 1256 | 16    | 5,57 | 1336 | 517   | 5,17 | 1416 | 0     | 2,1  | 1496 | 124   | 1,57 | 1576 | 607   | 4    | 1656 | 0     | 1,43 | 1736 | 51    | 2,1  | 1816 | 598   | 7,33 |
| 1257 | 35    | 3,78 | 1337 | 345   | 5,68 | 1417 | 0     | 2,73 | 1497 | 306   | 4,18 | 1577 | 347   | 4,37 | 1657 | 0     | 0,73 | 1737 | 59    | 1,02 | 1817 | 330   | 7,32 |
| 1258 | 96    | 1,47 | 1338 | 95    | 4,6  | 1418 | 0     | 3,35 | 1498 | 288   | 5,48 | 1578 | 69    | 5,72 | 1658 | 0     | 1,47 | 1738 | 146   | 2,48 | 1818 | 54    | 6    |
| 1259 | 278   | 2,98 | 1339 | 13    | 4,95 | 1419 | 0     | 3,38 | 1499 | 337   | 3,95 | 1579 | 8     | 4,28 | 1659 | 0     | 0,52 | 1739 | 422   | 5,17 | 1819 | 3     | 6,68 |
| 1260 | 346   | 5,4  | 1340 | 0     | 5,33 | 1420 | 0     | 3,7  | 1500 | 239   | 5,05 | 1580 | 0     | 4,02 | 1660 | 0     | 2,73 | 1740 | 199   | 8,43 | 1820 | 0     | 7,42 |

| Hora   | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|--------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 1841   | 284   | 5,23 | 1921 | 0     | 6,7  | 2001 | 260   | 1,53 | 2081 | 302   | 7,53 | 2161 | 0     | 0,52 | 2241 | 209   | 1,1  | 2321 | 156   | 5,68 | 2401 | 0     | 5,97 |
| 1842   | 94    | 4,23 | 1922 | 0     | 6,38 | 2002 | 507   | 3,27 | 2082 | 84    | 8,1  | 2162 | 0     | 0,5  | 2242 | 691   | 0,7  | 2322 | 27    | 5,82 | 2402 | 0     | 5,25 |
| 1843   | 4     | 3,15 | 1923 | 0     | 4,8  | 2003 | 635   | 4,68 | 2083 | 2     | 7,22 | 2163 | 0     | 0,52 | 2243 | 326   | 2,12 | 2323 | 0     | 4,4  | 2403 | 0     | 5,48 |
| 1844   | 0     | 3,87 | 1924 | 0     | 2,28 | 2004 | 1046  | 5,05 | 2084 | 0     | 7,85 | 2164 | 0     | 0,67 | 2244 | 211   | 2,27 | 2324 | 0     | 0,53 | 2404 | 0     | 5,03 |
| 1845   | 0     | 4,27 | 1925 | 0     | 2,93 | 2005 | 895   | 4,85 | 2085 | 0     | 6,82 | 2165 | 0     | 2,58 | 2245 | 157   | 0,67 | 2325 | 0     | 0,53 | 2405 | 0     | 5,13 |
| 1846   | 0     | 4,18 | 1926 | 0     | 2,12 | 2006 | 886   | 5,18 | 2086 | 0     | 4,57 | 2166 | 0     | 2,22 | 2246 | 100   | 1,07 | 2326 | 0     | 2,33 | 2406 | 0     | 5,87 |
| 1847   | 0     | 1,05 | 1927 | 6     | 4,87 | 2007 | 806   | 5,15 | 2087 | 0     | 1,7  | 2167 | 19    | 2,48 | 2247 | 92    | 3,57 | 2327 | 0     | 1,43 | 2407 | 11    | 5,78 |
| 1848   | 0     | 0,87 | 1928 | 17    | 3,72 | 2008 | 512   | 5,82 | 2088 | 0     | 2,78 | 2168 | 75    | 1,57 | 2248 | 89    | 3,57 | 2328 | 0     | 0,77 | 2408 | 165   | 5,13 |
| 1849   | 0     | 0,97 | 1929 | 92    | 7,57 | 2009 | 278   | 5,65 | 2089 | 0     | 1,28 | 2169 | 123   | 0,77 | 2249 | 53    | 4,72 | 2329 | 0     | 1,78 | 2409 | 534   | 4,9  |
| 1850   | 0     | 1,9  | 1930 | 65    | 3,87 | 2010 | 80    | 4,8  | 2090 | 0     | 1,87 | 2170 | 341   | 0,58 | 2250 | 13    | 5,4  | 2330 | 0     | 2,05 | 2410 | 514   | 4,95 |
| 1851   | 0     | 1,3  | 1931 | 97    | 1,32 | 2011 | 2     | 5,3  | 2091 | 0     | 2,65 | 2171 | 163   | 2,15 | 2251 | 0     | 4,75 | 2331 | 0     | 2,97 | 2411 | 660   | 4,32 |
| 1852   | 0     | 1,65 | 1932 | 245   | 6,18 | 2012 | 0     | 5,25 | 2092 | 0     | 1,82 | 2172 | 498   | 3,22 | 2252 | 0     | 4,68 | 2332 | 0     | 3,2  | 2412 | 986   | 3,6  |
| 1853   | 0     | 1,35 | 1933 | 950   | 7,98 | 2013 | 0     | 4,43 | 2093 | 0     | 1,93 | 2173 | 668   | 0,98 | 2253 | 0     | 3,58 | 2333 | 0     | 3,9  | 2413 | 487   | 6,05 |
| 1854   | 0     | 0,92 | 1934 | 953   | 7,98 | 2014 | 0     | 1,5  | 2094 | 0     | 1,97 | 2174 | 797   | 3,32 | 2254 | 0     | 4,72 | 2334 | 0     | 1,87 | 2414 | 687   | 5,87 |
| 1855   | 20    | 0,55 | 1935 | 794   | 7,75 | 2015 | 0     | 1,1  | 2095 | 13    | 2,93 | 2175 | 772   | 3,32 | 2255 | 0     | 3,83 | 2335 | 11    | 1,17 | 2415 | 398   | 7,08 |
| 1856   | 240   | 0,97 | 1936 | 597   | 6,82 | 2016 | 0     | 0,9  | 2096 | 206   | 2,5  | 2176 | 572   | 3,63 | 2256 | 0     | 2,18 | 2336 | 272   | 1,05 | 2416 | 45    | 6,62 |
| 1857   | 473   | 4,3  | 1937 | 344   | 6,47 | 2017 | 0     | 1,7  | 2097 | 540   | 0,52 | 2177 | 307   | 3,7  | 2257 | 0     | 2,02 | 2337 | 544   | 0,87 | 2417 | 33    | 6,08 |
| 1858   | 599   | 4,2  | 1938 | 97    | 6,13 | 2018 | 0     | 3,23 | 2098 | 714   | 4,68 | 2178 | 80    | 2,68 | 2258 | 0     | 2,6  | 2338 | 732   | 3,08 | 2418 | 17    | 10,1 |
| 1859   | 453   | 1,48 | 1939 | 2     | 6,07 | 2019 | 0     | 2,73 | 2099 | 818   | 8,52 | 2179 | 0     | 2,27 | 2259 | 0     | 3,23 | 2339 | 867   | 4,68 | 2419 | 0     | 9,28 |
| 1860   | 470   | 3,18 | 1940 | 0     | 6,25 | 2020 | 0     | 3,03 | 2100 | 917   | 9,07 | 2180 | 0     | 2,17 | 2260 | 0     | 3,13 | 2340 | 917   | 4,08 | 2420 | 0     | 10,7 |
| 1861   | 872   | 3,58 | 1941 | 0     | 7,08 | 2021 | 0     | 1,62 | 2101 | 865   | 9,23 | 2181 | 0     | 1,35 | 2261 | 0     | 3,55 | 2341 | 924   | 4,35 | 2421 | 0     | 9,87 |
| 1862   | 726   | 3,28 | 1942 | 0     | 7,32 | 2022 | 0     | 0,57 | 2102 | 393   | 9,97 | 2182 | 0     | 2,48 | 2262 | 0     | 2,87 | 2342 | 877   | 4,07 | 2422 | 1     | 11,4 |
| 1863   | 447   | 4,03 | 1943 | 0     | 7,23 | 2023 | 15    | 1,28 | 2103 | 256   | 9,52 | 2183 | 0     | 2,92 | 2263 | 3     | 2,28 | 2343 | 727   | 3,58 | 2423 | 0     | 10,2 |
| 1864   | 515   | 4,4  | 1944 | 0     | 7    | 2024 | 84    | 0,7  | 2104 | 522   | 9,13 | 2184 | 0     | 1,88 | 2264 | 23    | 3,67 | 2344 | 526   | 3,4  | 2424 | 0     | 9,67 |
| 1865   | 144   | 4,7  | 1945 | 0     | 5,87 | 2025 | 188   | 1,12 | 2105 | 119   | 7,67 | 2185 | 0     | 2,12 | 2265 | 80    | 3,12 | 2345 | 290   | 2,3  | 2425 | 0     | 8,62 |
| 1866   | 32    | 4,43 | 1946 | 0     | 6,97 | 2026 | 443   | 4,62 | 2106 | 23    | 7,73 | 2186 | 0     | 3,33 | 2266 | 86    | 0,63 | 2346 | 48    | 0,5  | 2426 | 0     | 10,1 |
| 1867   | 3     | 3,37 | 1947 | 0     | 6,85 | 2027 | 412   | 5,02 | 2107 | 0     | 4,48 | 2187 | 0     | 2,73 | 2267 | 96    | 2,67 | 2347 | 0     | 0,5  | 2427 | 0     | 11   |
| 1868   | 0     | 2,22 | 1948 | 0     | 5,72 | 2028 | 609   | 5,67 | 2108 | 0     | 2,62 | 2188 | 0     | 2,28 | 2268 | 132   | 4,1  | 2348 | 0     | 1,3  | 2428 | 0     | 10   |
| 1869   | 0     | 1,72 | 1949 | 0     | 2,92 | 2029 | 646   | 6,47 | 2109 | 0     | 0,88 | 2189 | 0     | 3,13 | 2269 | 133   | 3,93 | 2349 | 0     | 2,15 | 2429 | 0     | 9,88 |
| 1870   | 0     | 0,5  | 1950 | 0     | 5,97 | 2030 | 785   | 5,25 | 2110 | 0     | 0,52 | 2190 | 0     | 3,15 | 2270 | 241   | 3,83 | 2350 | 0     | 3,77 | 2430 | 0     | 9,93 |
| 1871   | 0     | 1,18 | 1951 | 11    | 4,3  | 2031 | 677   | 5,25 | 2111 | 0     | 2,93 | 2191 | 12    | 3,45 | 2271 | 354   | 3,22 | 2351 | 0     | 3,62 | 2431 | 8     | 9,8  |
| 1872   | 0     | 1,28 | 1952 | 73    | 3,27 | 2032 | 475   | 5,62 | 2112 | 0     | 2,68 | 2192 | 303   | 2,5  | 2272 | 142   | 1,12 | 2352 | 0     | 1,48 | 2432 | 53    | 9,87 |
| 1873   | 0     | 1    | 1953 | 175   | 4,18 | 2033 | 331   | 5,37 | 2113 | 0     | 1,78 | 2193 | 569   | 0,68 | 2273 | 142   | 0,52 | 2353 | 0     | 2,6  | 2433 | 163   | 10,3 |
| 1874   | 0     | 1,53 | 1954 | 186   | 4,72 | 2034 | 73    | 4,77 | 2114 | 0     | 3,2  | 2194 | 775   | 0,78 | 2274 | 84    | 1,73 | 2354 | 0     | 1,73 | 2434 | 100   | 9,65 |
| 1875   | 0     | 3,87 | 1955 | 335   | 5,93 | 2035 | 1     | 4,02 | 2115 | 0     | 0,6  | 2195 | 928   | 2,53 | 2275 | 0     | 3,93 | 2355 | 0     | 2,92 | 2435 | 51    | 11,1 |
| 1876   | 0     | 1,18 | 1956 | 539   | 8,38 | 2036 | 0     | 3,57 | 2116 | 0     | 0,53 | 2196 | 973   | 3,7  | 2276 | 0     | 2,33 | 2356 | 0     | 3,05 | 2436 | 89    | 11,9 |
| 1877   | 0     | 1,27 | 1957 | 271   | 5,87 | 2037 | 0     | 3,95 | 2117 | 0     | 1,02 | 2197 | 933   | 5,15 | 2277 | 0     | 1,78 | 2357 | 0     | 3,38 | 2437 | 178   | 11,1 |
| 1878   | 0     | 1,85 | 1958 | 486   | 6,2  | 2038 | 0     | 2,2  | 2118 | 0     | 1,23 | 2198 | 876   | 6,52 | 2278 | 0     | 1,12 | 2358 | 0     | 3,4  | 2438 | 172   | 9,7  |
| 1879   | 23    | 1,85 | 1959 | 679   | 8,23 | 2039 | 0     | 0,65 | 2119 | 3     | 2,63 | 2199 | 780   | 6,92 | 2279 | 0     | 0,92 | 2359 | 13    | 3,42 | 2439 | 73    | 10,3 |
| 1880   | 131   | 1,63 | 1960 | 540   | 8,82 | 2040 | 0     | 0,78 | 2120 | 30    | 3,05 | 2200 | 560   | 8    | 2280 | 0     | 0,65 | 2360 | 257   | 0,5  | 2440 | 14    | 9,73 |
| 1881   | 129   | 1,03 | 1961 | 254   | 8,7  | 2041 | 0     | 0,62 | 2121 | 123   | 0,97 | 2201 | 318   | 8,7  | 2281 | 0     | 0,93 | 2361 | 539   | 0,5  | 2441 | 2     | 11,9 |
| 1882   | 454   | 1,08 | 1962 | 25    | 8,73 | 2042 | 0     | 1,45 | 2122 | 420   | 0,55 | 2202 | 86    | 8,22 | 2282 | 0     | 2,17 | 2362 | 716   | 2,58 | 2442 | 0     | 8,6  |
| 1883   | 437   | 5,77 | 1963 | 1     | 8,18 | 2043 | 0     | 3,12 | 2123 | 833   | 1,03 | 2203 | 2     | 6,93 | 2283 | 0     | 2,25 | 2363 | 848   | 4,12 | 2443 | 0     | 5,88 |
| 1884   | 204   | 4,83 | 1964 | 0     | 7,05 | 2044 | 0     | 3,12 | 2124 | 860   | 1,67 | 2204 | 0     | 5,9  | 2284 | 0     | 1,58 | 2364 | 948   | 3,83 | 2444 | 0     | 6,15 |
| 1885   | 505   | 4,27 | 1965 | 0     | 7,1  | 2045 | 0     | 2,75 | 2125 | 991   | 4,55 | 2205 | 0     | 3,28 | 2285 | 0     | 0,83 | 2365 | 914   | 4,65 | 2445 | 0     | 2,85 |
| 1886   | 920   | 5,77 | 1966 | 0     | 6,97 | 2046 | 0     | 4,07 | 2126 | 372   | 4,13 | 2206 | 0     | 2,53 | 2286 | 0     | 2,3  | 2366 | 822   | 4,15 | 2446 | 0     | 2,95 |
| 1887   | 771   | 8,12 | 1967 | 0     | 6,52 | 2047 | 17    | 3,7  | 2127 | 736   | 3,33 | 2207 | 0     | 2,62 | 2287 | 10    | 1,95 | 2367 | 512   | 4,05 | 2447 | 0     | 6,5  |
| 1888   | 573   | 9,4  | 1968 | 0     | 6,07 | 2048 | 259   | 3,33 | 2128 | 555   | 3,02 | 2208 | 0     | 2,7  | 2288 | 204   | 0,77 | 2368 | 564   | 3,48 | 2448 | 0     | 5,88 |
| 1889   | 267   | 9,58 | 1969 | 0     | 4,78 | 2049 | 468   | 2,72 | 2129 | 127   | 1,4  | 2209 | 0     | 2,1  | 2289 | 368   | 2,73 | 2369 | 178   | 3,2  | 2449 | 0     | 8,53 |
| 1890   | 47    | 10,4 | 1970 | 0     | 7,03 | 2050 | 712   | 4,8  | 2130 | 28    | 0,7  | 2210 | 0     | 1,27 | 2290 | 406   | 4,32 | 2370 | 57    | 1,25 | 2450 | 0     | 3,28 |
| 1891   | 1     | 10,9 | 1971 | 0     | 7,63 | 2051 | 956   | 5,77 | 2131 | 1     | 0,5  | 2211 | 0     | 1,8  | 2291 | 236   | 4,82 | 2371 | 0     | 3,45 | 2451 | 0     | 3,65 |
| 1892   | 0     | 8,18 | 1972 | 0     | 7,52 | 2052 | 1013  | 6,27 | 2132 | 0     | 0,5  | 2212 | 0     | 0,85 | 2292 | 307   | 5,22 | 2372 | 0     | 3,57 | 2452 | 0     | 5,77 |
| 1893   | 0     | 4,93 | 1973 | 0     | 7,2  | 2053 | 955   | 5,88 | 2133 | 0     | 0,5  | 2213 | 0     | 1,13 | 2293 | 605   | 5,47 | 2373 | 0     | 3,13 | 2453 | 0     | 3,6  |
| 1894   | 0     | 3,7  | 1974 | 0     | 6,1  | 2054 | 913   | 5,95 | 2134 | 0     | 1,52 | 2214 | 0     | 3,52 | 2294 | 779   | 3,63 | 2374 | 0     | 3,18 | 2454 | 0     | 2,53 |
| 1895   | 0     | 3,93 | 1975 | 26    | 4,98 | 2055 | 801   | 6,1  | 2135 | 0     | 2,1  | 2215 | 14    | 3,38 | 2295 | 646   | 3,2  | 2375 | 0     | 1,07 | 2455 | 3     | 1,65 |
| 1896   | 0     | 3,63 | 1976 | 181   | 4,2  | 2056 | 592   | 5,9  | 2136 | 0     | 2,28 | 2216 | 313   | 1,77 | 2296 | 521   | 2,48 | 2376 | 0     | 0,5  | 2456 | 166   | 2,15 |
| 1897   | 0     | 2,4  | 1977 | 520   | 4,63 | 2057 | 340   | 4,32 | 2137 | 0     | 2,13 | 2217 | 551   | 0,73 | 2297 | 243   | 2,3  | 2377 | 0     | 0,52 | 2457 | 518   | 3,75 |
| 1898   | 0     | 2,18 | 1978 | 555   | 4,83 | 2058 | 92    | 3,32 | 2138 | 0     | 2,35 | 2218 | 761   | 2,13 | 2298 | 58    | 3,68 | 2378 | 0     | 1,63 | 2458 | 501   | 4,68 |
| 1899   | 0     | 1,5  | 1979 | 639   | 7,38 | 2059 | 1     | 1,37 | 2139 | 0     | 1,38 | 2219 | 907   | 4,32 | 2299 | 0     | 4,07 | 2379 | 0     | 1,92 | 2459 | 622   | 5,17 |
| 1900   | 0     | 2,05 | 1980 | 1051  | 6,92 | 2060 | 0     | 0,7  | 2140 | 0     | 0,82 | 2220 | 942   | 4,57 | 2300 | 0     | 4,27 | 2380 | 0     | 0,52 | 2460 | 937   | 5,38 |
| 1901</ |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |



| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 2481 | 530   | 1,3  | 2561 | 265   | 3,4  | 2641 | 0     | 3,4  | 2721 | 109   | 1,07 | 2801 | 94    | 5,83 | 2881 | 0     | 3,43 | 2961 | 303   | 0,63 | 3041 | 59    | 4,95 |
| 2482 | 783   | 3,5  | 2562 | 36    | 9,18 | 2642 | 0     | 7,57 | 2722 | 439   | 3,28 | 2802 | 14    | 2,73 | 2882 | 0     | 3,22 | 2962 | 514   | 2,05 | 3042 | 15    | 3,98 |
| 2483 | 934   | 3,72 | 2563 | 0     | 9,08 | 2643 | 0     | 6,82 | 2723 | 129   | 5,42 | 2803 | 0     | 1,12 | 2883 | 0     | 3,15 | 2963 | 361   | 0,62 | 3043 | 0     | 3,62 |
| 2484 | 924   | 3,35 | 2564 | 0     | 3,72 | 2644 | 0     | 5    | 2724 | 169   | 8,62 | 2804 | 0     | 1,12 | 2884 | 0     | 1,67 | 2964 | 762   | 0,98 | 3044 | 0     | 3,42 |
| 2485 | 963   | 3,22 | 2565 | 0     | 2    | 2645 | 0     | 4,82 | 2725 | 84    | 8,28 | 2805 | 0     | 2,63 | 2885 | 0     | 1,03 | 2965 | 295   | 2,95 | 3045 | 0     | 3,5  |
| 2486 | 734   | 4,12 | 2566 | 0     | 1,38 | 2646 | 0     | 2,98 | 2726 | 132   | 1,92 | 2806 | 0     | 1,13 | 2886 | 0     | 2,87 | 2966 | 226   | 3,07 | 3046 | 0     | 3,3  |
| 2487 | 640   | 4,67 | 2567 | 0     | 3,83 | 2647 | 1     | 5,52 | 2727 | 92    | 4,85 | 2807 | 0     | 1,72 | 2887 | 5     | 2,97 | 2967 | 127   | 4,65 | 3047 | 0     | 3,25 |
| 2488 | 492   | 4,08 | 2568 | 0     | 5,72 | 2648 | 5     | 6,32 | 2728 | 67    | 4,4  | 2808 | 0     | 1,8  | 2888 | 251   | 2,7  | 2968 | 75    | 4,15 | 3048 | 0     | 2,68 |
| 2489 | 155   | 4,75 | 2569 | 0     | 6,37 | 2649 | 24    | 4,12 | 2729 | 57    | 2,97 | 2809 | 0     | 1,85 | 2889 | 540   | 2,25 | 2969 | 22    | 3,07 | 3049 | 0     | 3,13 |
| 2490 | 22    | 4,8  | 2570 | 0     | 4,32 | 2650 | 74    | 0,5  | 2730 | 15    | 1,23 | 2810 | 0     | 0,83 | 2890 | 744   | 0,7  | 2970 | 7     | 2,12 | 3050 | 0     | 1,75 |
| 2491 | 0     | 4,15 | 2571 | 0     | 4,57 | 2651 | 46    | 0,5  | 2731 | 0     | 2,3  | 2811 | 0     | 0,52 | 2891 | 844   | 1,85 | 2971 | 0     | 2,78 | 3051 | 0     | 2,97 |
| 2492 | 0     | 4,15 | 2572 | 0     | 4,75 | 2652 | 107   | 1,93 | 2732 | 0     | 1,23 | 2812 | 0     | 0,97 | 2892 | 905   | 3,55 | 2972 | 0     | 3,82 | 3052 | 0     | 2,08 |
| 2493 | 0     | 4,43 | 2573 | 0     | 4,88 | 2653 | 70    | 4,53 | 2733 | 0     | 4,03 | 2813 | 0     | 0,92 | 2893 | 866   | 7,07 | 2973 | 0     | 2,13 | 3053 | 0     | 1,07 |
| 2494 | 0     | 3,88 | 2574 | 0     | 4,68 | 2654 | 93    | 3,5  | 2734 | 0     | 3,1  | 2814 | 0     | 0,53 | 2894 | 776   | 6,93 | 2974 | 0     | 6,6  | 3054 | 0     | 0,95 |
| 2495 | 0     | 0,63 | 2575 | 10    | 3,2  | 2655 | 64    | 8,17 | 2735 | 0     | 0,65 | 2815 | 3     | 0,62 | 2895 | 645   | 6,95 | 2975 | 0     | 1,35 | 3055 | 1     | 3,3  |
| 2496 | 0     | 1,75 | 2576 | 251   | 4,13 | 2656 | 56    | 6,32 | 2736 | 0     | 2,75 | 2816 | 150   | 1,97 | 2896 | 398   | 5,97 | 2976 | 0     | 2,97 | 3056 | 19    | 2,52 |
| 2497 | 0     | 2,13 | 2577 | 552   | 5,57 | 2657 | 19    | 3,75 | 2737 | 0     | 3,85 | 2817 | 352   | 4,63 | 2897 | 177   | 4,18 | 2977 | 0     | 3,15 | 3057 | 66    | 2,25 |
| 2498 | 0     | 0,5  | 2578 | 565   | 3,92 | 2658 | 4     | 6,88 | 2738 | 0     | 1,93 | 2818 | 491   | 6,17 | 2898 | 27    | 3,98 | 2978 | 0     | 3,38 | 3058 | 68    | 1,47 |
| 2499 | 0     | 0,52 | 2579 | 874   | 3,12 | 2659 | 0     | 7,05 | 2739 | 0     | 0,75 | 2819 | 633   | 7,15 | 2899 | 0     | 2,83 | 2979 | 0     | 3,97 | 3059 | 130   | 0,78 |
| 2500 | 0     | 0,82 | 2580 | 928   | 3,4  | 2660 | 0     | 8,52 | 2740 | 0     | 3,77 | 2820 | 245   | 6,05 | 2900 | 0     | 0,87 | 2980 | 0     | 3,1  | 3060 | 137   | 3,82 |
| 2501 | 0     | 1,12 | 2581 | 913   | 3,87 | 2661 | 0     | 8,73 | 2741 | 0     | 4,97 | 2821 | 491   | 5,62 | 2901 | 0     | 3,85 | 2981 | 0     | 2,17 | 3061 | 285   | 4,68 |
| 2502 | 0     | 0,88 | 2582 | 844   | 3,7  | 2662 | 0     | 8,32 | 2742 | 0     | 3,52 | 2822 | 373   | 5,08 | 2902 | 0     | 2,62 | 2982 | 0     | 2,78 | 3062 | 189   | 3,08 |
| 2503 | 1     | 0,95 | 2583 | 466   | 3,88 | 2663 | 0     | 6,98 | 2743 | 3     | 1,35 | 2823 | 395   | 5,05 | 2903 | 0     | 2,33 | 2983 | 3     | 0,88 | 3063 | 270   | 0,73 |
| 2504 | 6     | 1,23 | 2584 | 459   | 3,67 | 2664 | 0     | 1,8  | 2744 | 25    | 0,97 | 2824 | 74    | 6,58 | 2904 | 0     | 1,12 | 2984 | 39    | 0,75 | 3064 | 294   | 2,08 |
| 2505 | 39    | 0,75 | 2585 | 241   | 2,73 | 2665 | 0     | 1,42 | 2745 | 110   | 2,8  | 2825 | 194   | 6,07 | 2905 | 0     | 0,67 | 2985 | 100   | 2,13 | 3065 | 162   | 2,47 |
| 2506 | 92    | 0,5  | 2586 | 29    | 3,55 | 2666 | 0     | 5,38 | 2746 | 126   | 3,73 | 2826 | 19    | 5,9  | 2906 | 0     | 1,08 | 2986 | 129   | 1,03 | 3066 | 10    | 2,52 |
| 2507 | 233   | 0,8  | 2587 | 0     | 1,5  | 2667 | 0     | 2,1  | 2747 | 372   | 0,57 | 2827 | 0     | 5,13 | 2907 | 0     | 2,5  | 2987 | 165   | 2,67 | 3067 | 0     | 0,55 |
| 2508 | 175   | 1,2  | 2588 | 0     | 2,28 | 2668 | 0     | 2,02 | 2748 | 337   | 0,5  | 2828 | 0     | 3,37 | 2908 | 0     | 1,15 | 2988 | 226   | 4,83 | 3068 | 0     | 0,92 |
| 2509 | 201   | 2,1  | 2589 | 0     | 0,5  | 2669 | 0     | 1,92 | 2749 | 711   | 0,97 | 2829 | 0     | 1,68 | 2909 | 0     | 2,88 | 2989 | 209   | 6,33 | 3069 | 0     | 1,42 |
| 2510 | 175   | 2,97 | 2590 | 0     | 0,5  | 2670 | 0     | 1,22 | 2750 | 299   | 3,52 | 2830 | 0     | 0,6  | 2910 | 0     | 2    | 2990 | 91    | 7,5  | 3070 | 0     | 0,8  |
| 2511 | 207   | 1,92 | 2591 | 0     | 5,83 | 2671 | 3     | 0,75 | 2751 | 114   | 6,5  | 2831 | 0     | 0,72 | 2911 | 5     | 1,98 | 2991 | 75    | 7,77 | 3071 | 0     | 0,87 |
| 2512 | 102   | 3,18 | 2592 | 0     | 9,42 | 2672 | 35    | 0,5  | 2752 | 54    | 8,18 | 2832 | 0     | 0,5  | 2912 | 52    | 1,53 | 2992 | 54    | 8,18 | 3072 | 0     | 0,97 |
| 2513 | 21    | 3,82 | 2593 | 0     | 7,18 | 2673 | 182   | 0,5  | 2753 | 22    | 7,42 | 2833 | 0     | 1,23 | 2913 | 112   | 0,55 | 2993 | 11    | 10,1 | 3073 | 0     | 1,52 |
| 2514 | 1     | 4,08 | 2594 | 0     | 5,6  | 2674 | 130   | 0,98 | 2754 | 3     | 9,07 | 2834 | 0     | 1,8  | 2914 | 253   | 0,75 | 2994 | 4     | 10,1 | 3074 | 0     | 2,8  |
| 2515 | 0     | 2,73 | 2595 | 0     | 3,27 | 2675 | 125   | 3    | 2755 | 0     | 6,82 | 2835 | 0     | 2,63 | 2915 | 269   | 0,98 | 2995 | 0     | 10,1 | 3075 | 0     | 3,43 |
| 2516 | 0     | 1,57 | 2596 | 0     | 0,67 | 2676 | 144   | 2,88 | 2756 | 0     | 10,5 | 2836 | 0     | 2,25 | 2916 | 277   | 3,75 | 2996 | 0     | 7,58 | 3076 | 0     | 4,9  |
| 2517 | 0     | 0,52 | 2597 | 0     | 1,17 | 2677 | 148   | 1,87 | 2757 | 0     | 12,9 | 2837 | 0     | 1,87 | 2917 | 861   | 5,45 | 2997 | 0     | 6,55 | 3077 | 0     | 3,67 |
| 2518 | 0     | 1,45 | 2598 | 0     | 2,4  | 2678 | 129   | 2,13 | 2758 | 0     | 10,8 | 2838 | 0     | 1    | 2918 | 434   | 5,13 | 2998 | 0     | 6,42 | 3078 | 0     | 1,07 |
| 2519 | 0     | 1,55 | 2599 | 8     | 1,33 | 2679 | 71    | 5,02 | 2759 | 0     | 6,32 | 2839 | 1     | 1,55 | 2919 | 109   | 4,28 | 2999 | 0     | 6,78 | 3079 | 3     | 0,7  |
| 2520 | 0     | 2,17 | 2600 | 63    | 2,65 | 2680 | 54    | 5,48 | 2760 | 0     | 6,6  | 2840 | 33    | 2,82 | 2920 | 31    | 9,15 | 3000 | 0     | 6,27 | 3080 | 182   | 3,12 |
| 2521 | 0     | 1,58 | 2601 | 91    | 3,38 | 2681 | 17    | 6,7  | 2761 | 0     | 7,57 | 2841 | 83    | 1,92 | 2921 | 13    | 9,65 | 3001 | 0     | 7,83 | 3081 | 553   | 4,48 |
| 2522 | 0     | 1,93 | 2602 | 137   | 2,93 | 2682 | 4     | 9,45 | 2762 | 0     | 8,78 | 2842 | 135   | 2,3  | 2922 | 4     | 3,73 | 3002 | 0     | 8,42 | 3082 | 715   | 6,18 |
| 2523 | 0     | 1,07 | 2603 | 169   | 3,88 | 2683 | 0     | 13,2 | 2763 | 0     | 9,13 | 2843 | 392   | 3,47 | 2923 | 0     | 1,27 | 3003 | 0     | 7,18 | 3083 | 891   | 3,82 |
| 2524 | 0     | 3,18 | 2604 | 248   | 5,87 | 2684 | 1     | 13,9 | 2764 | 0     | 8,1  | 2844 | 994   | 3,65 | 2924 | 0     | 0,6  | 3004 | 0     | 10,5 | 3084 | 942   | 3,87 |
| 2525 | 0     | 3,57 | 2605 | 411   | 2,32 | 2685 | 0     | 13,1 | 2765 | 0     | 7,42 | 2845 | 871   | 4,65 | 2925 | 0     | 0,5  | 3005 | 0     | 9,32 | 3085 | 924   | 5,02 |
| 2526 | 0     | 2,93 | 2606 | 638   | 2,65 | 2686 | 0     | 11,7 | 2766 | 0     | 5,72 | 2846 | 739   | 3,17 | 2926 | 0     | 1,28 | 3006 | 0     | 8,22 | 3086 | 858   | 5,18 |
| 2527 | 13    | 2,55 | 2607 | 399   | 3,28 | 2687 | 0     | 11,3 | 2767 | 0     | 8,72 | 2847 | 595   | 1,62 | 2927 | 0     | 1,75 | 3007 | 2     | 6,45 | 3087 | 717   | 4,23 |
| 2528 | 277   | 1    | 2608 | 422   | 1,73 | 2688 | 0     | 12,2 | 2768 | 12    | 8,22 | 2848 | 494   | 0,6  | 2928 | 0     | 1,75 | 3008 | 27    | 5,92 | 3088 | 502   | 4,48 |
| 2529 | 471   | 0,5  | 2609 | 94    | 2,33 | 2689 | 0     | 12,3 | 2769 | 44    | 6,97 | 2849 | 247   | 0,5  | 2929 | 0     | 1,23 | 3009 | 131   | 6,08 | 3089 | 248   | 2,32 |
| 2530 | 743   | 0,62 | 2610 | 13    | 0,57 | 2690 | 0     | 11,7 | 2770 | 65    | 5,97 | 2850 | 23    | 6,1  | 2930 | 0     | 0,6  | 3010 | 294   | 6,13 | 3090 | 17    | 0,52 |
| 2531 | 864   | 1,23 | 2611 | 0     | 0,5  | 2691 | 0     | 11,6 | 2771 | 81    | 5,2  | 2851 | 0     | 6,82 | 2931 | 0     | 0,55 | 3011 | 226   | 5,58 | 3091 | 0     | 3,53 |
| 2532 | 925   | 3,43 | 2612 | 0     | 0,57 | 2692 | 0     | 11,1 | 2772 | 105   | 7,93 | 2852 | 0     | 8,07 | 2932 | 0     | 1,12 | 3012 | 304   | 5,77 | 3092 | 0     | 3,42 |
| 2533 | 921   | 6,52 | 2613 | 0     | 0,57 | 2693 | 0     | 10,5 | 2773 | 107   | 6,8  | 2853 | 0     | 8,3  | 2933 | 0     | 0,55 | 3013 | 275   | 5,67 | 3093 | 0     | 4,45 |
| 2534 | 828   | 7,05 | 2614 | 0     | 1,02 | 2694 | 0     | 10,8 | 2774 | 107   | 7,37 | 2854 | 0     | 8,98 | 2934 | 0     | 0,5  | 3014 | 236   | 6,18 | 3094 | 0     | 3,4  |
| 2535 | 457   | 7,38 | 2615 | 0     | 1,83 | 2695 | 4     | 9,97 | 2775 | 53    | 7,42 | 2855 | 0     | 9,08 | 2935 | 4     | 0,5  | 3015 | 79    | 7,8  | 3095 | 0     | 0,9  |
| 2536 | 274   | 8,6  | 2616 | 0     | 1,77 | 2696 | 92    | 7,67 | 2776 | 23    | 7,52 | 2856 | 0     | 8,82 | 2936 | 57    | 0,5  | 3016 | 49    | 5,78 | 3096 | 0     | 0,92 |
| 2537 | 106   | 8,37 | 2617 | 0     | 1,68 | 2697 | 281   | 6,08 | 2777 | 16    | 2,78 | 2857 | 0     | 5,53 | 2937 | 151   | 0,5  | 3017 | 26    | 9,88 | 3097 | 0     | 0,53 |
| 2538 | 32    | 8,2  | 2618 | 0     | 1,07 | 2698 | 134   | 6,77 | 2778 | 1     | 2,42 | 2858 | 0     | 2,57 | 2938 | 429   | 0,5  | 3018 | 2     | 9,68 | 3098 | 0     | 2,02 |
| 2539 | 0     | 5    | 2619 | 0     | 0,87 | 2699 | 179   | 5,97 | 2779 | 0     | 2,95 | 2859 | 0     | 1,47 | 2939 | 681   | 0,73 | 3019 | 0     | 9,55 | 3099 | 0     | 1    |
| 2540 | 0     | 2,48 | 2620 | 0     | 1,12 | 2700 | 548   | 7,25 | 2780 | 0     | 2,45 | 2860 | 0     | 1,35 | 2940 | 563   | 3,45 | 3020 | 0     | 11,8 | 3100 | 0     | 0,53 |
| 2541 | 0     | 4,33 | 2621 | 0     | 1,75 | 2701 | 5     |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |



| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 3761 | 185   | 3,84 | 3841 | 0     | 2,64 | 3921 | 22    | 8,76 | 4001 | 148   | 3,76 | 4081 | 0     | 1,7  | 4161 | 74    | 0,49 | 4241 | 63    | 0,8  | 4321 | 0     | 1,61 |
| 3762 | 9     | 1,25 | 3842 | 0     | 3,53 | 3922 | 34    | 10,4 | 4002 | 9     | 4,11 | 4082 | 0     | 1,12 | 4162 | 99    | 0,49 | 4242 | 5     | 0,49 | 4322 | 0     | 1,43 |
| 3763 | 0     | 0,49 | 3843 | 0     | 3,62 | 3923 | 41    | 10,5 | 4003 | 0     | 1,16 | 4083 | 0     | 0,72 | 4163 | 170   | 0,49 | 4243 | 0     | 0,49 | 4323 | 0     | 1,61 |
| 3764 | 0     | 0,85 | 3844 | 0     | 1,74 | 3924 | 67    | 8,81 | 4004 | 0     | 0,63 | 4084 | 0     | 0,54 | 4164 | 622   | 0,72 | 4244 | 0     | 0,49 | 4324 | 0     | 0,49 |
| 3765 | 0     | 3,17 | 3845 | 0     | 1,92 | 3925 | 100   | 1,88 | 4005 | 0     | 1,92 | 4085 | 0     | 0,72 | 4165 | 577   | 1,74 | 4245 | 0     | 0,49 | 4325 | 0     | 1,07 |
| 3766 | 0     | 4,2  | 3846 | 0     | 3,53 | 3926 | 338   | 1,7  | 4006 | 0     | 1,88 | 4086 | 0     | 2,19 | 4166 | 385   | 3,13 | 4246 | 0     | 0,49 | 4326 | 0     | 2,64 |
| 3767 | 0     | 3,8  | 3847 | 0     | 4,07 | 3927 | 474   | 2,55 | 4007 | 0     | 3,08 | 4087 | 0     | 1,88 | 4167 | 168   | 2,46 | 4247 | 0     | 0,58 | 4327 | 0     | 1,83 |
| 3768 | 0     | 4,16 | 3848 | 19    | 3,49 | 3928 | 367   | 3,89 | 4008 | 0     | 3,22 | 4088 | 16    | 0,54 | 4168 | 86    | 2,01 | 4248 | 0     | 0,94 | 4328 | 15    | 2,01 |
| 3769 | 0     | 4,29 | 3849 | 40    | 5,19 | 3929 | 214   | 4,34 | 4009 | 0     | 3    | 4089 | 60    | 0,49 | 4169 | 24    | 0,94 | 4249 | 0     | 0,49 | 4329 | 67    | 1,07 |
| 3770 | 0     | 4,43 | 3850 | 38    | 3,76 | 3930 | 9     | 5,1  | 4010 | 0     | 3,13 | 4090 | 162   | 0,85 | 4170 | 2     | 3,08 | 4250 | 0     | 0,49 | 4330 | 201   | 0,49 |
| 3771 | 0     | 4,29 | 3851 | 36    | 2,59 | 3931 | 0     | 2,19 | 4011 | 0     | 3,22 | 4091 | 285   | 2,95 | 4171 | 0     | 3,22 | 4251 | 0     | 0,85 | 4331 | 482   | 1,25 |
| 3772 | 0     | 4,74 | 3852 | 112   | 1,7  | 3932 | 0     | 4,11 | 4012 | 0     | 3,31 | 4092 | 507   | 3,49 | 4172 | 0     | 1,61 | 4252 | 0     | 0,49 | 4332 | 808   | 2,95 |
| 3773 | 0     | 4,43 | 3853 | 234   | 1,39 | 3933 | 0     | 2,55 | 4013 | 0     | 2,73 | 4093 | 204   | 3,4  | 4173 | 0     | 4,25 | 4253 | 0     | 0,98 | 4333 | 533   | 4,16 |
| 3774 | 0     | 4,56 | 3854 | 188   | 3,26 | 3934 | 0     | 2,95 | 4014 | 0     | 2,68 | 4094 | 162   | 4,02 | 4174 | 0     | 3,31 | 4254 | 0     | 0,8  | 4334 | 420   | 4,29 |
| 3775 | 0     | 4,2  | 3855 | 168   | 5,72 | 3935 | 0     | 4,87 | 4015 | 0     | 2,15 | 4095 | 193   | 3,49 | 4175 | 0     | 2,95 | 4255 | 0     | 1,25 | 4335 | 612   | 5,32 |
| 3776 | 157   | 3,44 | 3856 | 94    | 5,1  | 3936 | 0     | 4,38 | 4016 | 23    | 0,49 | 4096 | 152   | 2,46 | 4176 | 0     | 1,52 | 4256 | 16    | 0,94 | 4336 | 418   | 5,86 |
| 3777 | 499   | 3,22 | 3857 | 47    | 3,62 | 3937 | 0     | 4,16 | 4017 | 75    | 1,25 | 4097 | 53    | 0,49 | 4177 | 0     | 0,54 | 4257 | 61    | 1,07 | 4337 | 173   | 5,41 |
| 3778 | 718   | 5,1  | 3858 | 4     | 2,06 | 3938 | 0     | 4,29 | 4018 | 136   | 0,49 | 4098 | 6     | 1,25 | 4178 | 0     | 0,63 | 4258 | 222   | 1,88 | 4338 | 12    | 4,96 |
| 3779 | 850   | 4,87 | 3859 | 0     | 3,62 | 3939 | 0     | 5,14 | 4019 | 249   | 0,49 | 4099 | 0     | 2,15 | 4179 | 0     | 0,49 | 4259 | 415   | 1,16 | 4339 | 0     | 1,25 |
| 3780 | 910   | 4,38 | 3860 | 0     | 3,49 | 3940 | 0     | 4,02 | 4020 | 274   | 0,54 | 4100 | 0     | 0,63 | 4180 | 0     | 0,49 | 4260 | 768   | 1,7  | 4340 | 0     | 0,58 |
| 3781 | 900   | 2,64 | 3861 | 0     | 3,04 | 3941 | 0     | 4,38 | 4021 | 529   | 0,94 | 4101 | 0     | 1,52 | 4181 | 0     | 0,8  | 4261 | 295   | 0,54 | 4341 | 0     | 0,49 |
| 3782 | 832   | 4,56 | 3862 | 0     | 3,53 | 3942 | 0     | 3,62 | 4022 | 751   | 1,25 | 4102 | 0     | 0,85 | 4182 | 0     | 2,32 | 4262 | 398   | 0,8  | 4342 | 0     | 0,49 |
| 3783 | 693   | 5,05 | 3863 | 0     | 3,98 | 3943 | 0     | 2,86 | 4023 | 618   | 3,35 | 4103 | 0     | 0,54 | 4183 | 0     | 2,28 | 4263 | 187   | 0,49 | 4343 | 0     | 0,49 |
| 3784 | 475   | 5,28 | 3864 | 0     | 3,22 | 3944 | 180   | 1,88 | 4024 | 422   | 4,96 | 4104 | 0     | 0,49 | 4184 | 10    | 1,48 | 4264 | 176   | 0,89 | 4344 | 0     | 0,49 |
| 3785 | 211   | 5,81 | 3865 | 0     | 4,29 | 3945 | 515   | 2,64 | 4025 | 182   | 5,63 | 4105 | 0     | 0,49 | 4185 | 48    | 0,67 | 4265 | 78    | 4,43 | 4345 | 0     | 0,49 |
| 3786 | 10    | 4,02 | 3866 | 0     | 1,12 | 3946 | 731   | 4,38 | 4026 | 8     | 5,5  | 4106 | 0     | 0,49 | 4186 | 108   | 0,49 | 4266 | 6     | 2,59 | 4346 | 0     | 0,49 |
| 3787 | 0     | 2,59 | 3867 | 0     | 1,34 | 3947 | 865   | 4,43 | 4027 | 0     | 3,84 | 4107 | 0     | 0,49 | 4187 | 315   | 0,49 | 4267 | 0     | 3,58 | 4347 | 0     | 0,76 |
| 3788 | 0     | 3,76 | 3868 | 0     | 1,39 | 3948 | 930   | 4,07 | 4028 | 0     | 1,43 | 4108 | 0     | 0,49 | 4188 | 649   | 2,37 | 4268 | 0     | 1,3  | 4348 | 0     | 1,88 |
| 3789 | 0     | 3,49 | 3869 | 0     | 1,97 | 3949 | 921   | 3,84 | 4029 | 0     | 0,54 | 4109 | 0     | 0,49 | 4189 | 822   | 4,52 | 4269 | 0     | 0,89 | 4349 | 0     | 1,97 |
| 3790 | 0     | 4,29 | 3870 | 0     | 4,56 | 3950 | 856   | 2,86 | 4030 | 0     | 1,3  | 4110 | 0     | 0,49 | 4190 | 776   | 4,56 | 4270 | 0     | 1,74 | 4350 | 0     | 1,52 |
| 3791 | 0     | 4,34 | 3871 | 0     | 2,86 | 3951 | 710   | 2,95 | 4031 | 0     | 0,58 | 4111 | 0     | 0,63 | 4191 | 648   | 5,72 | 4271 | 0     | 2,37 | 4351 | 0     | 1,48 |
| 3792 | 0     | 2,73 | 3872 | 7     | 3,4  | 3952 | 494   | 1,16 | 4032 | 0     | 2,24 | 4112 | 22    | 0,54 | 4192 | 448   | 5,95 | 4272 | 0     | 2,24 | 4352 | 15    | 2,77 |
| 3793 | 0     | 1,07 | 3873 | 35    | 2,59 | 3953 | 234   | 1,65 | 4033 | 0     | 2,82 | 4113 | 183   | 0,49 | 4193 | 200   | 5,68 | 4273 | 0     | 2,77 | 4353 | 68    | 1,79 |
| 3794 | 0     | 3,44 | 3874 | 51    | 2,73 | 3954 | 10    | 2,68 | 4034 | 0     | 0,98 | 4114 | 363   | 0,49 | 4194 | 11    | 6,53 | 4274 | 0     | 2,59 | 4354 | 200   | 0,85 |
| 3795 | 0     | 2,19 | 3875 | 59    | 4,02 | 3955 | 0     | 1,07 | 4035 | 0     | 0,63 | 4115 | 561   | 0,94 | 4195 | 0     | 6,66 | 4275 | 0     | 2,77 | 4355 | 213   | 0,72 |
| 3796 | 0     | 2,32 | 3876 | 78    | 4,65 | 3956 | 0     | 2,19 | 4036 | 0     | 0,72 | 4116 | 396   | 0,67 | 4196 | 0     | 5,41 | 4276 | 0     | 2,73 | 4356 | 267   | 1,25 |
| 3797 | 0     | 3,53 | 3877 | 87    | 5,14 | 3957 | 0     | 4,34 | 4037 | 0     | 0,49 | 4117 | 822   | 1,97 | 4197 | 0     | 3,17 | 4277 | 0     | 3,35 | 4357 | 516   | 3,89 |
| 3798 | 0     | 3,31 | 3878 | 120   | 2,64 | 3958 | 0     | 4,29 | 4038 | 0     | 0,89 | 4118 | 764   | 5,41 | 4198 | 0     | 0,49 | 4278 | 0     | 1,43 | 4358 | 731   | 3,31 |
| 3799 | 1     | 1,7  | 3879 | 163   | 0,85 | 3959 | 0     | 4,16 | 4039 | 1     | 0,54 | 4119 | 630   | 5,81 | 4199 | 0     | 0,58 | 4279 | 0     | 1,61 | 4359 | 599   | 3,22 |
| 3800 | 166   | 3,08 | 3880 | 85    | 0,49 | 3960 | 0     | 3,93 | 4040 | 19    | 0,49 | 4120 | 429   | 6,35 | 4200 | 0     | 0,72 | 4280 | 12    | 3,53 | 4360 | 400   | 3,58 |
| 3801 | 476   | 1,3  | 3881 | 41    | 0,49 | 3961 | 0     | 3,84 | 4041 | 97    | 0,49 | 4121 | 187   | 6,84 | 4201 | 0     | 1,07 | 4281 | 25    | 2,15 | 4361 | 172   | 3,58 |
| 3802 | 682   | 1,16 | 3882 | 1     | 0,8  | 3962 | 0     | 3,67 | 4042 | 262   | 0,49 | 4122 | 9     | 6,48 | 4202 | 0     | 2,28 | 4282 | 149   | 3,08 | 4362 | 9     | 3,62 |
| 3803 | 817   | 3,08 | 3883 | 0     | 3,84 | 3963 | 0     | 4,11 | 4043 | 455   | 1,43 | 4123 | 0     | 4,87 | 4203 | 0     | 1,34 | 4283 | 518   | 2,28 | 4363 | 0     | 3    |
| 3804 | 874   | 2,77 | 3884 | 0     | 8,45 | 3964 | 0     | 4,16 | 4044 | 791   | 3,62 | 4124 | 0     | 1,39 | 4204 | 0     | 1,79 | 4284 | 554   | 2,95 | 4364 | 0     | 3,44 |
| 3805 | 868   | 3,08 | 3885 | 0     | 2,82 | 3965 | 0     | 3,08 | 4045 | 821   | 4,74 | 4125 | 0     | 0,72 | 4205 | 0     | 1,3  | 4285 | 243   | 4,25 | 4365 | 0     | 0,85 |
| 3806 | 796   | 4,34 | 3886 | 0     | 8,45 | 3966 | 0     | 1,21 | 4046 | 775   | 5,19 | 4126 | 0     | 0,49 | 4206 | 0     | 2,24 | 4286 | 97    | 2,64 | 4366 | 0     | 0,49 |
| 3807 | 662   | 5,59 | 3887 | 0     | 7,91 | 3967 | 0     | 3,31 | 4047 | 645   | 4,29 | 4127 | 0     | 0,98 | 4207 | 0     | 0,8  | 4287 | 58    | 1,48 | 4367 | 0     | 0,72 |
| 3808 | 456   | 6,04 | 3888 | 0     | 7,73 | 3968 | 179   | 2,1  | 4048 | 446   | 3,08 | 4128 | 0     | 0,8  | 4208 | 10    | 3,13 | 4288 | 24    | 1,16 | 4368 | 0     | 1,3  |
| 3809 | 209   | 6,39 | 3889 | 0     | 6,21 | 3969 | 510   | 0,63 | 4049 | 205   | 0,72 | 4129 | 0     | 1,74 | 4209 | 43    | 3,4  | 4289 | 15    | 1,7  | 4369 | 0     | 0,49 |
| 3810 | 9     | 5,45 | 3890 | 0     | 2,77 | 3970 | 592   | 0,49 | 4050 | 9     | 2,5  | 4130 | 0     | 2,68 | 4210 | 65    | 2,28 | 4290 | 2     | 3,31 | 4370 | 0     | 0,49 |
| 3811 | 0     | 4,34 | 3891 | 0     | 3,62 | 3971 | 451   | 0,98 | 4051 | 0     | 5,1  | 4131 | 0     | 1,16 | 4211 | 101   | 0,94 | 4291 | 0     | 3,98 | 4371 | 0     | 0,49 |
| 3812 | 0     | 1,21 | 3892 | 0     | 7,24 | 3972 | 357   | 3,22 | 4052 | 0     | 5,63 | 4132 | 0     | 0,67 | 4212 | 121   | 0,67 | 4292 | 0     | 3,67 | 4372 | 0     | 1,56 |
| 3813 | 0     | 0,8  | 3893 | 0     | 4,52 | 3973 | 261   | 1,97 | 4053 | 0     | 5,41 | 4133 | 0     | 0,49 | 4213 | 191   | 0,54 | 4293 | 0     | 3,22 | 4373 | 0     | 2,06 |
| 3814 | 0     | 2,64 | 3894 | 0     | 4,87 | 3974 | 203   | 0,89 | 4054 | 0     | 4,96 | 4134 | 0     | 0,49 | 4214 | 150   | 0,54 | 4294 | 0     | 2,19 | 4374 | 0     | 3,22 |
| 3815 | 0     | 3,76 | 3895 | 0     | 2,73 | 3975 | 134   | 0,49 | 4055 | 0     | 4,96 | 4135 | 0     | 0,49 | 4215 | 230   | 0,89 | 4295 | 0     | 0,54 | 4375 | 0     | 1,7  |
| 3816 | 0     | 3,67 | 3896 | 17    | 1,83 | 3976 | 84    | 1,34 | 4056 | 0     | 5,23 | 4136 | 8     | 0,49 | 4216 | 124   | 0,85 | 4296 | 0     | 3,35 | 4376 | 25    | 1,83 |
| 3817 | 0     | 3,62 | 3897 | 71    | 0,98 | 3977 | 32    | 0,58 | 4057 | 0     | 2,32 | 4137 | 35    | 0,49 | 4217 | 32    | 0,58 | 4297 | 0     | 0,94 | 4377 | 121   | 0,8  |
| 3818 | 0     | 4,07 | 3898 | 91    | 2,37 | 3978 | 2     | 0,54 | 4058 | 0     | 5,01 | 4138 | 85    | 0,49 | 4218 | 5     | 0,85 | 4298 | 0     | 3,17 | 4378 | 171   | 1,12 |
| 3819 | 0     | 3,67 | 3899 | 46    | 1,03 | 3979 | 0     | 0,54 | 4059 | 0     | 4,83 | 4139 | 132   | 0,49 | 4219 | 0     | 0,85 | 4299 | 0     | 3,13 | 4379 | 648   | 1,07 |
| 3820 | 0     | 3,93 | 3900 | 52    | 1,07 | 3980 | 0     | 0,85 | 4060 | 0     | 2,77 | 4140 | 218   | 1,52 | 4220 | 0     | 0,54 | 4300 | 0     | 2,82 | 4380 | 825   | 3,17 |
| 3821 | 0     | 3,49 |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |

| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve  | Hora | Irrad | V.Ve |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|
| 4401 | 386   | 0,49 | 4481 | 6     | 2,73 | 4561 | 0     | 6,66 | 4641 | 116   | 0,49 | 4721 | 19    | 4,6  | 4801 | 0     | 0,62 | 4881 | 263   | 6,58 | 4961 | 270   | 5,2   | 4402 | 595   | 0,54 | 4482 | 0   | 4,43 | 4562 | 0   | 7,06 | 4642 | 139 | 0,94 | 4722 | 0   | 3,93 | 4802 | 0   | 1,03 | 4882 | 317 | 6,32 | 4962 | 30  | 2,7  |
| 4403 | 736   | 1,43 | 4483 | 0     | 6,04 | 4563 | 0     | 9,3  | 4643 | 208   | 1,07 | 4723 | 0     | 3,42 | 4803 | 0     | 2,7  | 4883 | 275   | 6,42 | 4963 | 0     | 3,4   | 4404 | 813   | 1,7  | 4484 | 0   | 5,32 | 4564 | 0   | 8,99 | 4644 | 243 | 1,79 | 4724 | 0   | 5,2  | 4804 | 0   | 1,98 | 4884 | 404 | 3,23 | 4964 | 0   | 2,98 |
| 4405 | 821   | 2,5  | 4485 | 0     | 4,78 | 4565 | 0     | 8,4  | 4645 | 230   | 3,04 | 4725 | 0     | 6,1  | 4805 | 0     | 2,1  | 4885 | 836   | 4,07 | 4965 | 0     | 7,58  | 4406 | 764   | 3,44 | 4486 | 0   | 1,88 | 4566 | 0   | 7,64 | 4646 | 119 | 2,01 | 4726 | 0   | 5,52 | 4806 | 0   | 1,5  | 4886 | 720 | 4,67 | 4966 | 0   | 7,55 |
| 4407 | 625   | 3,08 | 4487 | 0     | 0,58 | 4567 | 0     | 6,53 | 4647 | 108   | 1,74 | 4727 | 0     | 6,85 | 4807 | 0     | 7,6  | 4887 | 722   | 4,73 | 4967 | 0     | 5,23  | 4408 | 427   | 2,37 | 4488 | 0   | 0,49 | 4568 | 4   | 6,88 | 4648 | 60  | 1,43 | 4728 | 0   | 5,17 | 4808 | 4   | 8,2  | 4888 | 517 | 4,92 | 4968 | 0   | 4,15 |
| 4409 | 190   | 1,61 | 4489 | 0     | 0,8  | 4569 | 21    | 5,72 | 4649 | 18    | 2,55 | 4729 | 0     | 5,18 | 4809 | 15    | 10,2 | 4889 | 270   | 4,98 | 4969 | 0     | 4,57  | 4410 | 7     | 0,76 | 4490 | 0   | 3,31 | 4570 | 36  | 2,59 | 4650 | 1   | 1,83 | 4730 | 0   | 2,98 | 4810 | 36  | 9,53 | 4890 | 34  | 6,75 | 4970 | 0   | 2,47 |
| 4411 | 0     | 1,3  | 4491 | 0     | 4,78 | 4571 | 67    | 0,63 | 4651 | 0     | 1,48 | 4731 | 0     | 2,93 | 4811 | 60    | 9,62 | 4891 | 0     | 7,47 | 4971 | 0     | 1,3   | 4412 | 0     | 2,24 | 4492 | 0   | 4,29 | 4572 | 74  | 2,73 | 4652 | 0   | 0,54 | 4732 | 0   | 5,32 | 4812 | 74  | 8,58 | 4892 | 0   | 6,85 | 4972 | 0   | 1,95 |
| 4413 | 0     | 4,11 | 4493 | 0     | 2,41 | 4573 | 111   | 4,87 | 4653 | 0     | 0,49 | 4733 | 0     | 7,35 | 4813 | 65    | 8,85 | 4893 | 0     | 5,83 | 4973 | 0     | 1,85  | 4414 | 0     | 4,47 | 4494 | 0   | 0,72 | 4574 | 140 | 5,23 | 4654 | 0   | 0,49 | 4734 | 0   | 7,83 | 4814 | 74  | 7,33 | 4894 | 0   | 4,92 | 4974 | 0   | 0,67 |
| 4415 | 0     | 4,38 | 4495 | 0     | 0,72 | 4575 | 86    | 5,41 | 4655 | 0     | 0,54 | 4735 | 0     | 7,38 | 4815 | 47    | 6,73 | 4895 | 0     | 4,5  | 4975 | 0     | 0,5   | 4416 | 0     | 4,07 | 4496 | 13  | 0,49 | 4576 | 68  | 4,2  | 4656 | 0   | 0,58 | 4736 | 8   | 5,75 | 4816 | 37  | 4,45 | 4896 | 0   | 2,23 | 4976 | 30  | 1,27 |
| 4417 | 0     | 3,89 | 4497 | 47    | 0,63 | 4577 | 18    | 4,92 | 4657 | 0     | 0,49 | 4737 | 24    | 6,37 | 4817 | 19    | 6,78 | 4897 | 0     | 1,93 | 4977 | 98    | 0,68  | 4418 | 0     | 4,2  | 4498 | 91  | 0,76 | 4578 | 2   | 4,2  | 4658 | 0   | 0,49 | 4738 | 36  | 6,9  | 4818 | 2   | 8,13 | 4898 | 0   | 0,5  | 4978 | 208 | 0,5  |
| 4419 | 0     | 3,22 | 4499 | 134   | 0,49 | 4579 | 0     | 2,46 | 4659 | 0     | 0,49 | 4739 | 66    | 6,8  | 4819 | 0     | 7,33 | 4899 | 0     | 1,25 | 4979 | 356   | 0,53  | 4420 | 0     | 2,19 | 4500 | 119 | 0,94 | 4580 | 0   | 1,25 | 4660 | 0   | 0,49 | 4740 | 94  | 7,62 | 4820 | 0   | 10,2 | 4900 | 0   | 2,52 | 4980 | 424 | 4,75 |
| 4421 | 0     | 1,7  | 4501 | 108   | 0,54 | 4581 | 0     | 0,49 | 4661 | 0     | 0,49 | 4741 | 130   | 7,67 | 4821 | 0     | 8,75 | 4901 | 0     | 0,58 | 4981 | 480   | 6,2   | 4422 | 0     | 2,15 | 4502 | 219 | 1,21 | 4582 | 0   | 0,76 | 4662 | 0   | 0,49 | 4742 | 109 | 8,43 | 4822 | 0   | 7,02 | 4902 | 0   | 0,77 | 4982 | 538 | 6,4  |
| 4423 | 0     | 1,65 | 4503 | 127   | 0,63 | 4583 | 0     | 0,58 | 4663 | 0     | 0,49 | 4743 | 74    | 9,38 | 4823 | 0     | 8,32 | 4903 | 0     | 2,35 | 4983 | 631   | 5,85  | 4424 | 124   | 3,22 | 4504 | 120 | 0,49 | 4584 | 0   | 0,49 | 4664 | 26  | 0,63 | 4744 | 33  | 9,67 | 4824 | 0   | 8,68 | 4904 | 27  | 3,02 | 4984 | 250 | 5,6  |
| 4425 | 356   | 2,59 | 4505 | 56    | 0,49 | 4585 | 0     | 0,49 | 4665 | 153   | 0,49 | 4745 | 7     | 11,7 | 4825 | 0     | 10,6 | 4905 | 140   | 9,27 | 4985 | 298   | 5,63  | 4426 | 615   | 2,86 | 4506 | 5   | 0,49 | 4586 | 0   | 1,12 | 4666 | 492 | 0,72 | 4746 | 0   | 10,3 | 4826 | 0   | 10,6 | 4906 | 361 | 8,03 | 4986 | 21  | 4,53 |
| 4427 | 753   | 3,13 | 4507 | 0     | 0,49 | 4587 | 0     | 1,83 | 4667 | 621   | 4,07 | 4747 | 0     | 8,52 | 4827 | 0     | 9,92 | 4907 | 815   | 6,37 | 4987 | 0     | 3,27  | 4428 | 819   | 3,08 | 4508 | 0   | 0,49 | 4588 | 0   | 1,16 | 4668 | 798 | 6,97 | 4748 | 0   | 8,75 | 4828 | 0   | 9,65 | 4908 | 891 | 4,53 | 4988 | 0   | 3,65 |
| 4429 | 820   | 0,8  | 4509 | 0     | 0,63 | 4589 | 0     | 0,49 | 4669 | 809   | 8,05 | 4749 | 0     | 9,48 | 4829 | 0     | 8,92 | 4909 | 896   | 3,88 | 4989 | 0     | 2,47  | 4430 | 756   | 1,07 | 4510 | 0   | 2,59 | 4590 | 0   | 0,54 | 4670 | 511 | 7,96 | 4750 | 0   | 9,73 | 4830 | 0   | 7,6  | 4910 | 725 | 5,53 | 4990 | 0   | 3,3  |
| 4431 | 618   | 2,59 | 4511 | 0     | 2,37 | 4591 | 1     | 0,8  | 4671 | 408   | 7,69 | 4751 | 0     | 12,4 | 4831 | 0     | 5,62 | 4911 | 428   | 6,07 | 4991 | 0     | 0,9   | 4432 | 419   | 4,16 | 4512 | 0   | 2,86 | 4592 | 12  | 0,89 | 4672 | 255 | 8,09 | 4752 | 0   | 12,1 | 4832 | 17  | 7,23 | 4912 | 477 | 5,45 | 4992 | 0   | 3,33 |
| 4433 | 188   | 1,83 | 4513 | 0     | 2,64 | 4593 | 46    | 2,55 | 4673 | 221   | 8,18 | 4753 | 0     | 10,8 | 4833 | 88    | 7,58 | 4913 | 234   | 4,67 | 4993 | 0     | 0,77  | 4434 | 15    | 1,34 | 4514 | 0   | 4,29 | 4594 | 44  | 2,68 | 4674 | 18  | 6,08 | 4754 | 0   | 9,58 | 4834 | 264 | 7,47 | 4914 | 36  | 4,88 | 4994 | 0   | 0,77 |
| 4435 | 0     | 3,93 | 4515 | 0     | 3,84 | 4595 | 31    | 1,74 | 4675 | 0     | 4,65 | 4755 | 0     | 10,7 | 4835 | 261   | 8,02 | 4915 | 0     | 4,52 | 4995 | 0     | 0,57  | 4436 | 0     | 5,81 | 4516 | 0   | 4,56 | 4596 | 78  | 1,83 | 4676 | 0   | 0,49 | 4756 | 0   | 10,1 | 4836 | 149 | 8,5  | 4916 | 0   | 1,73 | 4996 | 0   | 0,97 |
| 4437 | 0     | 4,83 | 4517 | 0     | 4,34 | 4597 | 165   | 0,8  | 4677 | 0     | 0,8  | 4757 | 0     | 9,33 | 4837 | 135   | 8,73 | 4917 | 0     | 0,62 | 4997 | 0     | 1,33  | 4438 | 0     | 1,39 | 4518 | 0   | 3,93 | 4598 | 36  | 5,19 | 4678 | 0   | 1,65 | 4758 | 0   | 8,02 | 4838 | 161 | 8,47 | 4918 | 0   | 0,5  | 4998 | 0   | 2,35 |
| 4439 | 0     | 1,48 | 4519 | 1     | 4,34 | 4599 | 38    | 6,71 | 4679 | 0     | 1,07 | 4759 | 0     | 9,33 | 4839 | 107   | 6,62 | 4919 | 0     | 0,5  | 4999 | 1     | 3,15  | 4440 | 0     | 1,34 | 4520 | 123 | 3,62 | 4600 | 24  | 6,62 | 4680 | 0   | 2,77 | 4760 | 10  | 10,2 | 4840 | 133 | 5,93 | 4920 | 0   | 0,88 | 5000 | 172 | 0,57 |
| 4441 | 0     | 5,23 | 4521 | 239   | 2,24 | 4601 | 21    | 6,88 | 4681 | 0     | 3,93 | 4761 | 37    | 11,3 | 4841 | 56    | 7,5  | 4921 | 0     | 0,57 | 5001 | 492   | 0,5   | 4442 | 0     | 5,41 | 4522 | 321 | 1,3  | 4602 | 2   | 7,38 | 4682 | 0   | 5,63 | 4762 | 66  | 11   | 4842 | 8   | 8,43 | 4922 | 0   | 0,82 | 5002 | 697 | 0,52 |
| 4443 | 0     | 3,53 | 4523 | 169   | 0,63 | 4603 | 0     | 5,86 | 4683 | 0     | 0,54 | 4763 | 97    | 9,97 | 4843 | 0     | 9,33 | 4923 | 0     | 0,95 | 5003 | 848   | 2,28  | 4444 | 0     | 1,7  | 4524 | 225 | 1,52 | 4604 | 0   | 3,4  | 4684 | 0   | 1,56 | 4764 | 143 | 10,5 | 4844 | 0   | 8,02 | 4924 | 0   | 0,58 | 5004 | 919 | 4,55 |
| 4445 | 0     | 3,17 | 4525 | 567   | 2,06 | 4605 | 0     | 0,8  | 4685 | 0     | 0,94 | 4765 | 131   | 10,2 | 4845 | 0     | 7,45 | 4925 | 0     | 0,55 | 5005 | 923   | 4,7   | 4446 | 0     | 4,96 | 4526 | 281 | 1,03 | 4606 | 0   | 2,73 | 4686 | 0   | 2,24 | 4766 | 119 | 10   | 4846 | 0   | 8,17 | 4926 | 0   | 0,5  | 5006 | 866 | 4,32 |
| 4447 | 0     | 2,46 | 4527 | 183   | 1,16 | 4607 | 0     | 4,52 | 4687 | 0     | 0,76 | 4767 | 88    | 9,38 | 4847 | 0     | 8,35 | 4927 | 0     | 0,5  | 5007 | 732   | 4,2   | 4448 | 7     | 4,87 | 4528 | 70  | 0,63 | 4608 | 0   | 3,84 | 4688 | 75  | 0,49 | 4768 | 87  | 8,87 | 4848 | 0   | 7,43 | 4928 | 43  | 0,5  | 5008 | 525 | 4,52 |
| 4449 | 48    | 4,11 | 4529 | 14    | 0,98 | 4609 | 0     | 3,26 | 4689 | 171   | 0,49 | 4769 | 30    | 8,7  | 4849 | 0     | 7,22 | 4929 | 437   | 0,72 | 5009 | 258   | 3,65  | 4450 | 152   | 0,8  | 4530 | 1   | 0,85 | 4610 | 0   | 7,42 | 4690 | 581 | 1,48 | 4770 | 4   | 8,68 | 4850 | 0   | 7,08 | 4930 | 650 | 2,53 | 5010 | 28  | 0,83 |
| 4451 | 221   | 1,52 | 4531 | 0     | 2,28 | 4611 | 0     | 8,99 | 4691 | 604   | 1,07 | 4771 | 0     | 8,47 | 4851 | 0     | 6,98 | 4931 | 815   | 4,22 | 5011 | 0     | 0,5   | 4452 | 95    | 3,58 | 4532 | 0   | 3,93 | 4612 | 0   | 10,7 | 4692 | 858 | 1,83 | 4772 | 0   | 9,03 | 4852 | 0   | 7,45 | 4932 | 720 | 3,82 | 5012 | 0   | 0,5  |
| 4453 | 73    | 5,99 | 4533 | 0     | 3,89 | 4613 | 0     | 12,7 | 4693 | 873   | 1,83 | 4773 | 0     | 8,42 | 4853 | 0     | 7,25 | 4933 | 887   | 3,47 | 5013 | 0     | 0,5   | 4454 | 77    | 7,87 | 4534 | 0   | 2,5  | 4614 | 0   | 11,8 | 4694 | 648 | 1,25 | 4774 | 0   | 8,13 | 4854 | 0   | 6,28 | 4934 | 856 | 3,95 | 5014 | 0   | 0,57 |
| 4455 | 50    | 8,54 | 4535 | 0     | 1,43 | 4615 | 0     | 10,2 | 4695 | 169   | 0,8  | 4775 | 0     | 8,25 | 4855 | 0     | 6,8  | 4935 | 722   | 3,82 | 5015 | 0     | 2,5   | 4456 | 33    | 6,62 | 4536 | 0   | 3,67 | 4616 | 73  | 9,39 | 4696 | 240 | 0,6  | 4776 | 0   | 8,45 | 4856 | 112 | 6,77 | 4936 | 513 | 4,05 | 5016 | 0   | 6,43 |
| 4457 | 7     | 4,74 | 4537 | 0     | 3,84 | 4617 | 331   | 9,92 | 4697 | 137   | 1,82 | 4777 | 0     | 8,75 | 4857 | 286   | 7,52 | 4937 | 226   | 4,65 | 5017 | 0     | 5,67  | 4458 | 1     | 4,38 | 4538 | 0   | 2,5  | 4618 | 243 | 9,61 | 4698 | 15  | 0,63 | 4778 | 0   | 8,75 | 4858 | 586 | 5,97 | 4938 | 27  | 3    | 5018 | 0   | 1,02 |
| 4459 | 0     | 4,56 | 4539 | 0     | 2,77 | 4619 | 367   | 8,9  | 4699 | 0     | 3,8  | 4779 | 0     | 8,57 | 4859 | 762   | 6,22 | 4939 | 0     | 0,5  | 5019 | 0     | 3,5   | 4460 | 0     | 4,38 | 4540 | 0   | 3,67 | 4620 | 379 | 8,4  | 4700 | 0   | 8,58 | 4780 | 0   | 8,05 | 4860 | 915 | 5,83 | 4940 | 0   | 0,5  | 5020 | 0   | 4,3  |
| 4461 | 0     | 3,93 | 4541 | 0     | 6,35 | 4621 | 459   | 7,64 | 4701 | 0     | 2,72 | 4781 | 0     | 6,77 | 4861 | 795   | 5,92 | 4941 | 0     | 0,5  | 5021 | 0     | 3,8</ |      |       |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |

| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 5041 | 0     | 0,52 | 5121 | 254   | 2,07 | 5201 | 119   | 3,03 | 5281 | 0     | 7,3  | 5361 | 529   | 0,5  | 5441 | 275   | 9,2  | 5521 | 0     | 0,5  | 5601 | 96    | 0,5  |
| 5042 | 0     | 0,83 | 5122 | 438   | 4,92 | 5202 | 9     | 1,95 | 5282 | 0     | 8,97 | 5362 | 735   | 0,62 | 5442 | 21    | 7,55 | 5522 | 0     | 0,5  | 5602 | 203   | 0,5  |
| 5043 | 0     | 3,02 | 5123 | 846   | 4,75 | 5203 | 0     | 2,52 | 5283 | 0     | 9,43 | 5363 | 857   | 3,12 | 5443 | 0     | 4,37 | 5523 | 0     | 0,5  | 5603 | 366   | 0,88 |
| 5044 | 0     | 2,33 | 5124 | 921   | 4,58 | 5204 | 0     | 3,88 | 5284 | 0     | 9,42 | 5364 | 906   | 4,4  | 5444 | 0     | 3,85 | 5524 | 0     | 1,53 | 5604 | 579   | 3,42 |
| 5045 | 0     | 0,57 | 5125 | 849   | 4,2  | 5205 | 0     | 3,03 | 5285 | 0     | 10,6 | 5365 | 954   | 4,88 | 5445 | 0     | 4,5  | 5525 | 0     | 1,05 | 5605 | 700   | 5,9  |
| 5046 | 0     | 0,62 | 5126 | 754   | 3,93 | 5206 | 0     | 1,12 | 5286 | 0     | 10,1 | 5366 | 877   | 4,87 | 5446 | 0     | 3,42 | 5526 | 0     | 0,5  | 5606 | 693   | 4,77 |
| 5047 | 2     | 2,97 | 5127 | 236   | 4,13 | 5207 | 0     | 3,75 | 5287 | 0     | 10,3 | 5367 | 734   | 3,93 | 5447 | 0     | 3,18 | 5527 | 2     | 0,72 | 5607 | 478   | 4,57 |
| 5048 | 97    | 2,95 | 5128 | 83    | 4,22 | 5208 | 0     | 1,87 | 5288 | 12    | 10,6 | 5368 | 524   | 3,77 | 5448 | 0     | 4,27 | 5528 | 46    | 1,82 | 5608 | 381   | 2,75 |
| 5049 | 424   | 1,22 | 5129 | 26    | 4,32 | 5209 | 0     | 1,37 | 5289 | 47    | 11,2 | 5369 | 218   | 3,67 | 5449 | 0     | 5,27 | 5529 | 87    | 0,62 | 5609 | 105   | 1,85 |
| 5050 | 530   | 0,97 | 5130 | 4     | 3,88 | 5210 | 0     | 0,5  | 5290 | 112   | 10,8 | 5370 | 24    | 3,17 | 5450 | 0     | 5,47 | 5530 | 142   | 0,97 | 5610 | 24    | 4,18 |
| 5051 | 745   | 2,68 | 5131 | 0     | 3,52 | 5211 | 0     | 0,5  | 5291 | 171   | 10,3 | 5371 | 0     | 1,42 | 5451 | 0     | 5,98 | 5531 | 309   | 0,83 | 5611 | 0     | 9,55 |
| 5052 | 803   | 2,15 | 5132 | 0     | 3,1  | 5212 | 0     | 1,67 | 5292 | 250   | 9,83 | 5372 | 0     | 1,43 | 5452 | 0     | 6,03 | 5532 | 568   | 3,05 | 5612 | 0     | 7,55 |
| 5053 | 878   | 4,07 | 5133 | 0     | 2,2  | 5213 | 0     | 3,8  | 5293 | 232   | 9,38 | 5373 | 0     | 0,5  | 5453 | 0     | 3,82 | 5533 | 755   | 4,63 | 5613 | 0     | 7,77 |
| 5054 | 828   | 4,38 | 5134 | 0     | 0,67 | 5214 | 0     | 3,92 | 5294 | 228   | 7,82 | 5374 | 0     | 0,97 | 5454 | 0     | 0,68 | 5534 | 840   | 6,27 | 5614 | 0     | 8,2  |
| 5055 | 683   | 5,62 | 5135 | 0     | 0,5  | 5215 | 1     | 0,57 | 5295 | 272   | 7,35 | 5375 | 0     | 1,4  | 5455 | 3     | 0,58 | 5535 | 710   | 6,88 | 5615 | 0     | 8,45 |
| 5056 | 385   | 6,6  | 5136 | 0     | 0,62 | 5216 | 27    | 0,65 | 5296 | 236   | 6,38 | 5376 | 0     | 1,65 | 5456 | 187   | 0,5  | 5536 | 504   | 7,45 | 5616 | 0     | 7,45 |
| 5057 | 142   | 6,83 | 5137 | 0     | 0,95 | 5217 | 108   | 0,5  | 5297 | 210   | 5,45 | 5377 | 0     | 0,53 | 5457 | 433   | 2,52 | 5537 | 259   | 7,48 | 5617 | 0     | 6,1  |
| 5058 | 13    | 5,07 | 5138 | 0     | 2,48 | 5218 | 318   | 0,58 | 5298 | 26    | 5    | 5378 | 0     | 0,82 | 5458 | 677   | 6,42 | 5538 | 38    | 6,2  | 5618 | 0     | 6,3  |
| 5059 | 0     | 4,03 | 5139 | 0     | 2,08 | 5219 | 774   | 0,67 | 5299 | 0     | 3,35 | 5379 | 0     | 1,72 | 5459 | 848   | 5,38 | 5539 | 0     | 3,52 | 5619 | 0     | 5,75 |
| 5060 | 0     | 1,02 | 5140 | 0     | 2,88 | 5220 | 883   | 2,47 | 5300 | 0     | 2,38 | 5380 | 0     | 2,55 | 5460 | 890   | 4,7  | 5540 | 0     | 0,55 | 5620 | 0     | 5,5  |
| 5061 | 0     | 1,62 | 5141 | 0     | 3,25 | 5221 | 856   | 2,73 | 5301 | 0     | 3,3  | 5381 | 0     | 1,52 | 5461 | 927   | 5,18 | 5541 | 0     | 0,73 | 5621 | 0     | 3,85 |
| 5062 | 0     | 2,85 | 5142 | 0     | 3,52 | 5222 | 794   | 3,33 | 5302 | 0     | 4,8  | 5382 | 0     | 1,12 | 5462 | 868   | 5,35 | 5542 | 0     | 0,7  | 5622 | 0     | 2,95 |
| 5063 | 0     | 1,15 | 5143 | 2     | 1,62 | 5223 | 663   | 3,8  | 5303 | 0     | 4,45 | 5383 | 3     | 1,15 | 5463 | 741   | 6,57 | 5543 | 0     | 0,5  | 5623 | 0     | 6    |
| 5064 | 0     | 2,55 | 5144 | 179   | 0,5  | 5224 | 464   | 4,62 | 5304 | 0     | 4,6  | 5384 | 196   | 0,78 | 5464 | 534   | 4,87 | 5544 | 0     | 2    | 5624 | 14    | 6,77 |
| 5065 | 0     | 2,85 | 5145 | 438   | 0,5  | 5225 | 232   | 5,4  | 5305 | 0     | 4,33 | 5385 | 458   | 2,93 | 5465 | 314   | 5,93 | 5545 | 0     | 1,58 | 5625 | 28    | 5,33 |
| 5066 | 0     | 0,62 | 5146 | 410   | 0,5  | 5226 | 34    | 5,75 | 5306 | 0     | 2,75 | 5386 | 648   | 3,98 | 5466 | 46    | 5,9  | 5546 | 0     | 0,6  | 5626 | 44    | 3,42 |
| 5067 | 0     | 0,53 | 5147 | 489   | 0,57 | 5227 | 0     | 4,35 | 5307 | 0     | 1,93 | 5387 | 828   | 4,43 | 5467 | 0     | 4,87 | 5547 | 0     | 1,2  | 5627 | 61    | 1,23 |
| 5068 | 0     | 0,5  | 5148 | 363   | 1,97 | 5228 | 0     | 1,22 | 5308 | 0     | 2,33 | 5388 | 927   | 5,33 | 5468 | 0     | 5,5  | 5548 | 0     | 2,65 | 5628 | 94    | 1,48 |
| 5069 | 0     | 2,73 | 5149 | 575   | 3,08 | 5229 | 0     | 0,5  | 5309 | 0     | 1,2  | 5389 | 742   | 5,87 | 5469 | 0     | 5,1  | 5549 | 0     | 2    | 5629 | 158   | 0,82 |
| 5070 | 0     | 3,65 | 5150 | 835   | 4,1  | 5230 | 0     | 0,53 | 5310 | 0     | 1,4  | 5390 | 849   | 5,97 | 5470 | 0     | 5,5  | 5550 | 0     | 2,15 | 5630 | 105   | 1,98 |
| 5071 | 0     | 3,03 | 5151 | 700   | 4,68 | 5231 | 0     | 0,6  | 5311 | 1     | 1,33 | 5391 | 622   | 5,28 | 5471 | 0     | 5,97 | 5551 | 5     | 2,8  | 5631 | 52    | 1,75 |
| 5072 | 42    | 1,85 | 5152 | 498   | 5,53 | 5232 | 0     | 1,18 | 5312 | 56    | 3,33 | 5392 | 533   | 5,12 | 5472 | 0     | 5,93 | 5552 | 27    | 3,45 | 5632 | 41    | 0,77 |
| 5073 | 158   | 0,55 | 5153 | 197   | 6,3  | 5233 | 0     | 0,92 | 5313 | 115   | 3,23 | 5393 | 284   | 4,38 | 5473 | 0     | 6,12 | 5553 | 136   | 4,37 | 5633 | 19    | 2,03 |
| 5074 | 298   | 0,5  | 5154 | 30    | 5,95 | 5234 | 0     | 1,47 | 5314 | 243   | 4,32 | 5394 | 39    | 4,13 | 5474 | 0     | 3,63 | 5554 | 271   | 4,05 | 5634 | 3     | 3,7  |
| 5075 | 339   | 0,5  | 5155 | 0     | 4,87 | 5235 | 0     | 0,5  | 5315 | 333   | 6,62 | 5395 | 0     | 3,13 | 5475 | 0     | 2,35 | 5555 | 431   | 4,43 | 5635 | 0     | 3,68 |
| 5076 | 244   | 0,63 | 5156 | 0     | 3,27 | 5236 | 0     | 0,68 | 5316 | 182   | 7,02 | 5396 | 0     | 0,68 | 5476 | 0     | 0,57 | 5556 | 657   | 4,38 | 5636 | 0     | 2,93 |
| 5077 | 196   | 2,4  | 5157 | 0     | 1,52 | 5237 | 0     | 2,23 | 5317 | 253   | 5,27 | 5397 | 0     | 1,22 | 5477 | 0     | 0,93 | 5557 | 892   | 1,47 | 5637 | 0     | 2,45 |
| 5078 | 194   | 4,58 | 5158 | 0     | 0,5  | 5238 | 0     | 0,6  | 5318 | 407   | 5,12 | 5398 | 0     | 1,9  | 5478 | 0     | 0,7  | 5558 | 821   | 2,28 | 5638 | 0     | 2,53 |
| 5079 | 423   | 5,48 | 5159 | 0     | 0,5  | 5239 | 1     | 0,72 | 5319 | 167   | 4,83 | 5399 | 0     | 1,53 | 5479 | 3     | 0,5  | 5559 | 671   | 3,92 | 5639 | 0     | 1,8  |
| 5080 | 448   | 7,22 | 5160 | 0     | 0,5  | 5240 | 22    | 0,5  | 5320 | 37    | 2,97 | 5400 | 0     | 3,03 | 5480 | 125   | 0,5  | 5560 | 481   | 4,45 | 5640 | 0     | 3,58 |
| 5081 | 214   | 1,82 | 5161 | 0     | 0,5  | 5241 | 81    | 0,5  | 5321 | 23    | 1,12 | 5401 | 0     | 2,72 | 5481 | 347   | 0,55 | 5561 | 240   | 4,62 | 5641 | 0     | 3,62 |
| 5082 | 33    | 1,57 | 5162 | 0     | 0,63 | 5242 | 132   | 1,08 | 5322 | 4     | 2,33 | 5402 | 0     | 2,9  | 5482 | 680   | 2,47 | 5562 | 38    | 3,98 | 5642 | 0     | 2,2  |
| 5083 | 0     | 3,55 | 5163 | 0     | 0,7  | 5243 | 302   | 1,23 | 5323 | 0     | 1,75 | 5403 | 0     | 3,13 | 5483 | 775   | 3,12 | 5563 | 0     | 3,35 | 5643 | 0     | 1,53 |
| 5084 | 0     | 1,23 | 5164 | 0     | 0,5  | 5244 | 664   | 1,43 | 5324 | 0     | 2,95 | 5404 | 0     | 2,1  | 5484 | 815   | 3,27 | 5564 | 0     | 1,95 | 5644 | 0     | 0,5  |
| 5085 | 0     | 1,32 | 5165 | 0     | 0,5  | 5245 | 652   | 3,2  | 5325 | 0     | 1,87 | 5405 | 0     | 1,8  | 5485 | 925   | 4,13 | 5565 | 0     | 1,18 | 5645 | 0     | 0,5  |
| 5086 | 0     | 2,18 | 5166 | 0     | 0,5  | 5246 | 823   | 4,97 | 5326 | 0     | 0,53 | 5406 | 0     | 1,87 | 5486 | 869   | 4,82 | 5566 | 0     | 0,82 | 5646 | 0     | 0,5  |
| 5087 | 0     | 2,95 | 5167 | 1     | 0,5  | 5247 | 691   | 7,13 | 5327 | 0     | 1    | 5407 | 4     | 0,5  | 5487 | 733   | 5,67 | 5567 | 0     | 2,48 | 5647 | 2     | 1,12 |
| 5088 | 0     | 3,98 | 5168 | 27    | 0,5  | 5248 | 495   | 7,93 | 5328 | 0     | 0,5  | 5408 | 226   | 0,5  | 5488 | 527   | 5,68 | 5568 | 0     | 1,78 | 5648 | 22    | 3,2  |
| 5089 | 0     | 3,3  | 5169 | 63    | 0,5  | 5249 | 261   | 6,33 | 5329 | 0     | 1,97 | 5409 | 442   | 1,1  | 5489 | 275   | 7,9  | 5569 | 0     | 0,68 | 5649 | 48    | 3    |
| 5090 | 0     | 2,9  | 5170 | 220   | 0,5  | 5250 | 37    | 5,18 | 5330 | 0     | 0,67 | 5410 | 753   | 1,62 | 5490 | 36    | 7,38 | 5570 | 0     | 1,25 | 5650 | 86    | 3,03 |
| 5091 | 0     | 3,48 | 5171 | 130   | 0,5  | 5251 | 0     | 1,28 | 5331 | 0     | 0,75 | 5411 | 896   | 2    | 5491 | 0     | 6,42 | 5571 | 0     | 2,95 | 5651 | 174   | 2,97 |
| 5092 | 0     | 5,83 | 5172 | 208   | 0,52 | 5252 | 0     | 1,17 | 5332 | 0     | 2,38 | 5412 | 961   | 2,03 | 5492 | 0     | 4,53 | 5572 | 0     | 1,92 | 5652 | 161   | 4,57 |
| 5093 | 0     | 2,3  | 5173 | 117   | 0,57 | 5253 | 0     | 2,33 | 5333 | 0     | 2,22 | 5413 | 962   | 2,13 | 5493 | 0     | 1,13 | 5573 | 0     | 1,1  | 5653 | 167   | 5,65 |
| 5094 | 0     | 6,88 | 5174 | 153   | 3,43 | 5254 | 0     | 3,18 | 5334 | 0     | 1,62 | 5414 | 892   | 2,6  | 5494 | 0     | 0,8  | 5574 | 0     | 1,52 | 5654 | 167   | 4,43 |
| 5095 | 1     | 5,82 | 5175 | 120   | 3,98 | 5255 | 0     | 4,03 | 5335 | 1     | 1,3  | 5415 | 759   | 2,78 | 5495 | 0     | 0,75 | 5575 | 2     | 3,18 | 5655 | 82    | 3,32 |
| 5096 | 70    | 3,87 | 5176 | 164   | 4,85 | 5256 | 0     | 4,13 | 5336 | 20    | 0,55 | 5416 | 542   | 3    | 5496 | 0     | 0,72 | 5576 | 40    | 3,45 | 5656 | 47    | 4,2  |
| 5097 | 117   | 2,97 | 5177 | 77    | 4,85 | 5257 | 0     | 4,12 | 5337 | 98    | 0,52 | 5417 | 281   | 3,55 | 5497 | 0     | 1,92 | 5577 | 127   | 2,75 | 5657 | 23    | 4,3  |
| 5098 | 107   | 4,23 | 5178 | 11    | 3,78 | 5258 | 0     | 4,32 | 5338 | 221   | 0,5  | 5418 | 42    | 4,5  | 5498 | 0     | 1,27 | 5578 | 343   | 2,98 | 5658 | 9     | 5,08 |
| 5099 | 110   | 4,47 | 5179 | 0     | 1,8  | 5259 | 0     | 4,32 | 5339 | 503   | 1,4  | 5419 | 0     | 3,37 | 5499 | 0     | 2,3  | 5579 | 438   | 1,28 | 5659 | 0     | 5,93 |
| 5100 | 185   | 2,43 | 5180 | 0     | 0,5  | 5260 | 0     | 4,1  | 5340 | 289   | 1,37 | 5420 | 0     | 0,5  | 5500 | 0     | 2,93 | 5580 | 789   | 4,58 | 5660 | 0     | 6,38 |
| 5101 | 520   | 1,22 | 5181 | 0     | 0,5  | 5261 | 0     |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |

| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora   | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|--------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 5681 | 43    | 2,22 | 5761 | 0     | 0,63 | 5841 | 557   | 0,52 | 5921   | 71    | 2,52 | 6001 | 0     | 0,5  | 6081 | 95    | 0,5  | 6161 | 27    | 9,15 | 6241 | 0     | 1,43 |
| 5682 | 11    | 2,13 | 5762 | 0     | 0,63 | 5842 | 750   | 2,28 | 5922   | 27    | 4,87 | 6002 | 0     | 0,5  | 6082 | 401   | 1,77 | 6162 | 2     | 8,42 | 6242 | 0     | 0,82 |
| 5683 | 0     | 3,15 | 5763 | 0     | 2,1  | 5843 | 918   | 3,05 | 5923   | 0     | 1,23 | 6003 | 0     | 0,5  | 6083 | 350   | 3,17 | 6163 | 0     | 7,4  | 6243 | 0     | 4,18 |
| 5684 | 0     | 3,28 | 5764 | 0     | 0,67 | 5844 | 856   | 3,52 | 5924   | 0     | 1,63 | 6004 | 0     | 0,5  | 6084 | 419   | 4,88 | 6164 | 0     | 7,78 | 6244 | 0     | 6,85 |
| 5685 | 0     | 3,93 | 5765 | 0     | 1,55 | 5845 | 939   | 5,1  | 5925   | 0     | 3,55 | 6005 | 0     | 0,5  | 6085 | 446   | 5,37 | 6165 | 0     | 6,8  | 6245 | 0     | 7,12 |
| 5686 | 0     | 4,25 | 5766 | 0     | 5,35 | 5846 | 883   | 6,37 | 5926   | 0     | 4,4  | 6006 | 0     | 0,63 | 6086 | 281   | 4,55 | 6166 | 0     | 8,55 | 6246 | 0     | 7,55 |
| 5687 | 0     | 4,02 | 5767 | 1     | 2,78 | 5847 | 738   | 7,92 | 5927   | 0     | 3,92 | 6007 | 10    | 0,67 | 6087 | 259   | 4,78 | 6167 | 0     | 13,7 | 6247 | 11    | 7,55 |
| 5688 | 0     | 3,22 | 5768 | 10    | 2,12 | 5848 | 531   | 8,63 | 5928   | 0     | 3,33 | 6008 | 66    | 0,63 | 6088 | 194   | 5,5  | 6168 | 0     | 9,97 | 6248 | 26    | 7,35 |
| 5689 | 0     | 2,87 | 5769 | 26    | 1,98 | 5849 | 282   | 8,63 | 5929   | 0     | 3,08 | 6009 | 366   | 0,5  | 6089 | 95    | 5,15 | 6169 | 0     | 11,2 | 6249 | 36    | 7,75 |
| 5690 | 0     | 2,13 | 5770 | 167   | 0,57 | 5850 | 57    | 7,5  | 5930   | 0     | 3,32 | 6010 | 612   | 0,83 | 6090 | 20    | 3,25 | 6170 | 0     | 10,1 | 6250 | 66    | 8,3  |
| 5691 | 0     | 2,85 | 5771 | 382   | 1,3  | 5851 | 0     | 5,73 | 5931   | 0     | 2,22 | 6011 | 389   | 2,97 | 6091 | 0     | 1,03 | 6171 | 0     | 9,07 | 6251 | 72    | 8,58 |
| 5692 | 0     | 1,62 | 5772 | 776   | 3,32 | 5852 | 0     | 4,55 | 5932   | 0     | 4,03 | 6012 | 566   | 3,13 | 6092 | 0     | 0,5  | 6172 | 0     | 8,05 | 6252 | 61    | 8,55 |
| 5693 | 0     | 2,65 | 5773 | 873   | 4    | 5853 | 0     | 3,25 | 5933   | 0     | 4,22 | 6013 | 903   | 3,75 | 6093 | 0     | 0,5  | 6173 | 0     | 7,73 | 6253 | 106   | 7,07 |
| 5694 | 0     | 2,12 | 5774 | 834   | 4,08 | 5854 | 0     | 1,43 | 5934   | 0     | 4,47 | 6014 | 825   | 4,22 | 6094 | 0     | 0,5  | 6174 | 0     | 9,73 | 6254 | 62    | 7,92 |
| 5695 | 3     | 2,93 | 5775 | 704   | 4,55 | 5855 | 0     | 0,65 | 5935   | 4     | 5,03 | 6015 | 667   | 5,13 | 6095 | 0     | 0,52 | 6175 | 15    | 9,63 | 6255 | 68    | 7,42 |
| 5696 | 74    | 3,55 | 5776 | 289   | 6,38 | 5856 | 0     | 0,95 | 5936   | 37    | 3,88 | 6016 | 461   | 5,37 | 6096 | 0     | 2,78 | 6176 | 118   | 8,73 | 6256 | 48    | 7,77 |
| 5697 | 353   | 3,35 | 5777 | 65    | 4,42 | 5857 | 0     | 0,68 | 5937   | 57    | 0,78 | 6017 | 230   | 6,22 | 6097 | 0     | 4,35 | 6177 | 376   | 8,12 | 6257 | 33    | 7,55 |
| 5698 | 528   | 0,78 | 5778 | 29    | 1,75 | 5858 | 0     | 1,18 | 5938   | 52    | 0,63 | 6018 | 45    | 6,82 | 6098 | 0     | 3,22 | 6178 | 425   | 8,13 | 6258 | 8     | 5,73 |
| 5699 | 662   | 2,13 | 5779 | 0     | 0,85 | 5859 | 0     | 4,53 | 5939   | 142   | 3,68 | 6019 | 0     | 5,83 | 6099 | 0     | 0,5  | 6179 | 819   | 8,5  | 6259 | 0     | 4,82 |
| 5700 | 746   | 1,6  | 5780 | 0     | 0,5  | 5860 | 0     | 4,83 | 5940   | 265   | 5,12 | 6020 | 0     | 3,9  | 6100 | 0     | 0,5  | 6180 | 694   | 8,47 | 6260 | 0     | 5,2  |
| 5701 | 748   | 4,8  | 5781 | 0     | 3,08 | 5861 | 0     | 5,2  | 5941   | 131   | 4,93 | 6021 | 0     | 1,6  | 6101 | 0     | 0,5  | 6181 | 523   | 7,8  | 6261 | 0     | 4,97 |
| 5702 | 664   | 5,88 | 5782 | 0     | 7,3  | 5862 | 0     | 5,53 | 5942   | 180   | 6,13 | 6022 | 0     | 0,57 | 6102 | 0     | 0,5  | 6182 | 201   | 6,37 | 6262 | 0     | 3,75 |
| 5703 | 547   | 6,43 | 5783 | 0     | 7,28 | 5863 | 4     | 5,82 | 5943   | 103   | 6,52 | 6023 | 0     | 0,52 | 6103 | 6     | 0,5  | 6183 | 49    | 5,33 | 6263 | 0     | 1,55 |
| 5704 | 336   | 7,37 | 5784 | 0     | 5,25 | 5864 | 35    | 3,38 | 5944   | 168   | 7,38 | 6024 | 0     | 0,53 | 6104 | 25    | 3,2  | 6184 | 11    | 5,53 | 6264 | 0     | 0,93 |
| 5705 | 213   | 8,2  | 5785 | 0     | 4,78 | 5865 | 183   | 4,07 | 5945   | 89    | 7,8  | 6025 | 0     | 0,58 | 6105 | 54    | 4,7  | 6185 | 41    | 4,93 | 6265 | 0     | 0,63 |
| 5706 | 39    | 7,05 | 5786 | 0     | 5,7  | 5866 | 292   | 4,98 | 5946   | 14    | 7,85 | 6026 | 0     | 0,52 | 6106 | 68    | 10,8 | 6186 | 18    | 3,07 | 6266 | 0     | 0,52 |
| 5707 | 0     | 3,83 | 5787 | 0     | 2,57 | 5867 | 605   | 5,98 | 5947   | 0     | 7,42 | 6027 | 0     | 0,5  | 6107 | 69    | 11,4 | 6187 | 0     | 2,78 | 6267 | 0     | 0,5  |
| 5708 | 0     | 1,08 | 5788 | 0     | 0,83 | 5868 | 644   | 6,33 | 5948   | 0     | 7,02 | 6028 | 0     | 0,52 | 6108 | 92    | 12,3 | 6188 | 0     | 1,53 | 6268 | 0     | 0,6  |
| 5709 | 0     | 2,03 | 5789 | 0     | 1,97 | 5869 | 481   | 7,37 | 5949   | 0     | 6,28 | 6029 | 0     | 0,5  | 6109 | 73    | 13,2 | 6189 | 0     | 2,92 | 6269 | 0     | 0,82 |
| 5710 | 0     | 2,38 | 5790 | 0     | 0,65 | 5870 | 567   | 7,5  | 5950   | 0     | 5,53 | 6030 | 0     | 0,5  | 6110 | 58    | 11,7 | 6190 | 0     | 4,02 | 6270 | 0     | 0,88 |
| 5711 | 0     | 2,68 | 5791 | 10    | 0,52 | 5871 | 442   | 6,98 | 5951   | 0     | 4,15 | 6031 | 3     | 0,5  | 6111 | 41    | 13,3 | 6191 | 0     | 1,65 | 6271 | 15    | 0,53 |
| 5712 | 0     | 2,27 | 5792 | 191   | 1,33 | 5872 | 105   | 6,6  | 5952   | 0     | 1,02 | 6032 | 29    | 0,5  | 6112 | 33    | 15,1 | 6192 | 0     | 1,38 | 6272 | 78    | 0,5  |
| 5713 | 0     | 2,4  | 5793 | 466   | 2,5  | 5873 | 36    | 7,98 | 5953   | 0     | 0,63 | 6033 | 61    | 0,5  | 6113 | 20    | 13,8 | 6193 | 0     | 1,15 | 6273 | 134   | 1,47 |
| 5714 | 0     | 4,3  | 5794 | 745   | 3,72 | 5874 | 9     | 7,67 | 5954   | 0     | 0,5  | 6034 | 109   | 0,5  | 6114 | 7     | 13,8 | 6194 | 0     | 2,87 | 6274 | 273   | 0,8  |
| 5715 | 0     | 3,8  | 5795 | 903   | 3,38 | 5875 | 0     | 5,97 | 5955   | 0     | 0,6  | 6035 | 92    | 0,5  | 6115 | 0     | 13,7 | 6195 | 0     | 2,98 | 6275 | 428   | 1,93 |
| 5716 | 0     | 6,25 | 5796 | 961   | 4,12 | 5876 | 0     | 5,08 | 5956   | 0     | 1,97 | 6036 | 187   | 0,5  | 6116 | 0     | 12,8 | 6196 | 0     | 4,23 | 6276 | 311   | 2,62 |
| 5717 | 0     | 6,32 | 5797 | 946   | 4,2  | 5877 | 0     | 4,22 | 5957   | 0     | 1,47 | 6037 | 309   | 0,5  | 6117 | 0     | 14   | 6197 | 0     | 4,28 | 6277 | 115   | 1,77 |
| 5718 | 0     | 7,53 | 5798 | 884   | 4,72 | 5878 | 0     | 3,95 | 5958   | 0     | 1,48 | 6038 | 313   | 1,05 | 6118 | 0     | 12   | 6198 | 0     | 5,17 | 6278 | 55    | 0,75 |
| 5719 | 3     | 7,33 | 5799 | 746   | 4,87 | 5879 | 0     | 4,4  | 5959   | 3     | 1,22 | 6039 | 239   | 3    | 6119 | 0     | 11,4 | 6199 | 42    | 4,73 | 6279 | 42    | 1,48 |
| 5720 | 72    | 4,52 | 5800 | 538   | 5,4  | 5880 | 0     | 5,18 | 5960   | 36    | 0,77 | 6040 | 184   | 4,28 | 6120 | 0     | 10,5 | 6200 | 358   | 4,5  | 6280 | 81    | 2,95 |
| 5721 | 322   | 6,97 | 5801 | 286   | 6,37 | 5881 | 0     | 4,13 | 5961   | 90    | 1    | 6041 | 94    | 5,25 | 6121 | 0     | 9,98 | 6201 | 615   | 3,05 | 6281 | 30    | 2,9  |
| 5722 | 552   | 7,63 | 5802 | 58    | 6,88 | 5882 | 0     | 2,97 | 5962   | 187   | 4,77 | 6042 | 21    | 5,28 | 6122 | 0     | 7,7  | 6202 | 816   | 3,88 | 6282 | 9     | 1,13 |
| 5723 | 615   | 6,97 | 5803 | 0     | 4,82 | 5883 | 0     | 1,53 | 5963   | 220   | 5,77 | 6043 | 0     | 4,58 | 6123 | 0     | 8,35 | 6203 | 948   | 4,92 | 6283 | 0     | 0,5  |
| 5724 | 773   | 6,28 | 5804 | 0     | 2,8  | 5884 | 0     | 0,5  | 5964   | 164   | 3,67 | 6044 | 0     | 3,82 | 6124 | 0     | 8,77 | 6204 | 986   | 3,95 | 6284 | 0     | 0,58 |
| 5725 | 745   | 6,2  | 5805 | 0     | 2,62 | 5885 | 0     | 0,55 | 5965   | 238   | 4,07 | 6045 | 0     | 2,52 | 6125 | 0     | 6,65 | 6205 | 954   | 4,7  | 6285 | 0     | 1,3  |
| 5726 | 621   | 6,2  | 5806 | 0     | 1,67 | 5886 | 0     | 0,5  | 5966   | 346   | 6,12 | 6046 | 0     | 2,17 | 6126 | 0     | 7,43 | 6206 | 896   | 5,72 | 6286 | 0     | 0,7  |
| 5727 | 524   | 5,6  | 5807 | 0     | 3,17 | 5887 | 6     | 0,5  | 5967   | 509   | 7,37 | 6047 | 0     | 0,53 | 6127 | 3     | 8,67 | 6207 | 747   | 6,52 | 6287 | 0     | 0,55 |
| 5728 | 330   | 5,57 | 5808 | 0     | 3,02 | 5888 | 81    | 0,5  | 5968   | 447   | 8,6  | 6048 | 0     | 1,38 | 6128 | 11    | 9,6  | 6208 | 534   | 6,55 | 6288 | 0     | 0,9  |
| 5729 | 158   | 4,72 | 5809 | 0     | 1,82 | 5889 | 308   | 1,37 | 5969   | 208   | 9,37 | 6049 | 0     | 0,5  | 6129 | 16    | 9,73 | 6209 | 284   | 6,88 | 6289 | 0     | 1,12 |
| 5730 | 24    | 3,73 | 5810 | 0     | 2,07 | 5890 | 636   | 3,02 | 5970   | 40    | 9,03 | 6050 | 0     | 0,52 | 6130 | 32    | 10,1 | 6210 | 55    | 6,58 | 6290 | 0     | 0,5  |
| 5731 | 0     | 2,65 | 5811 | 0     | 2,38 | 5891 | 700   | 3,57 | 5971   | 0     | 8,67 | 6051 | 0     | 1,42 | 6131 | 63    | 10,7 | 6211 | 0     | 4,13 | 6291 | 0     | 1,45 |
| 5732 | 0     | 1,03 | 5812 | 0     | 0,5  | 5892 | 914   | 3,77 | 5972   | 0     | 6,82 | 6052 | 0     | 0,53 | 6132 | 93    | 10,8 | 6212 | 0     | 1,3  | 6292 | 0     | 1,35 |
| 5733 | 0     | 0,75 | 5813 | 0     | 2,1  | 5893 | 895   | 3,03 | 5973   | 0     | 5,92 | 6053 | 0     | 0,65 | 6133 | 161   | 11,3 | 6213 | 0     | 0,72 | 6293 | 0     | 0,5  |
| 5734 | 0     | 3,47 | 5814 | 0     | 3,63 | 5894 | 747   | 3,3  | 5974   | 0     | 3,52 | 6054 | 0     | 0,9  | 6134 | 150   | 9,63 | 6214 | 0     | 1,33 | 6294 | 0     | 0,55 |
| 5735 | 0     | 1,12 | 5815 | 8     | 3,53 | 5895 | 678   | 2,12 | 5975   | 0     | 2,27 | 6055 | 3     | 1,83 | 6135 | 116   | 9    | 6215 | 0     | 3,67 | 6295 | 37    | 0,5  |
| 5736 | 0     | 2,08 | 5816 | 295   | 3,8  | 5896 | 443   | 4,88 | 5976   | 0     | 0,52 | 6056 | 24    | 0,77 | 6136 | 49    | 9,55 | 6216 | 0     | 4,25 | 6296 | 125   | 0,83 |
| 5737 | 0     | 3,18 | 5817 | 576   | 3,7  | 5897 | 162   | 4,78 | 5977   | 0     | 1,75 | 6057 | 66    | 2,72 | 6137 | 27    | 10,5 | 6217 | 0     | 4,52 | 6297 | 465   | 0,55 |
| 5738 | 0     | 1,15 | 5818 | 778   | 1,68 | 5898 | 21    | 7,52 | 5978   | 0     | 0,85 | 6058 | 134   | 3,18 | 6138 | 6     | 8,58 | 6218 | 0     | 4,52 | 6298 | 707   | 3,1  |
| 5739 | 0     | 0,5  | 5819 | 919   | 2,28 | 5899 | 0     | 1,53 | 5979   | 0     | 2,4  | 6059 | 282   | 0,57 | 6139 | 0     | 7,7  | 6219 | 0     | 3,72 | 6299 | 851   | 3,62 |
| 5740 | 0     | 0,5  | 5820 | 968   | 1,92 | 5900 | 0     | 4,45 | 5980   | 0     | 2,47 | 6060 | 328   | 2,6  | 6140 | 0     | 7,6  | 6220 | 0     | 3,53 | 6300 | 913   | 3,5  |
| 5741 | 0     | 0,5  | 5821 | 954   | 4,28 | 5901 | 0     | 3,07 | 5981</ |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |

| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 6321 | 484   | 1,38 | 6401 | 67    | 7,57 | 6481 | 0     | 2,47 | 6561 | 44    | 8,13 | 6641 | 108   | 4,9  | 6721 | 0     | 5,65 | 6801 | 64    | 11,2 | 6881 | 47    | 4,82 |
| 6322 | 633   | 4,48 | 6402 | 16    | 7,32 | 6482 | 0     | 2,55 | 6562 | 67    | 8,53 | 6642 | 30    | 4,75 | 6722 | 0     | 5,28 | 6802 | 50    | 6,43 | 6882 | 37    | 4,53 |
| 6323 | 804   | 6,3  | 6403 | 0     | 6,43 | 6483 | 0     | 1,37 | 6563 | 143   | 6,2  | 6643 | 1     | 4,15 | 6723 | 0     | 2,35 | 6803 | 142   | 1,67 | 6883 | 1     | 1,92 |
| 6324 | 828   | 6,78 | 6404 | 0     | 6,27 | 6484 | 0     | 0,97 | 6564 | 107   | 6,97 | 6644 | 0     | 3,8  | 6724 | 0     | 1,72 | 6804 | 53    | 2,5  | 6884 | 0     | 4,2  |
| 6325 | 885   | 6,28 | 6405 | 0     | 5,73 | 6485 | 0     | 2,87 | 6565 | 129   | 5,27 | 6645 | 0     | 3,72 | 6725 | 0     | 1,88 | 6805 | 33    | 6,3  | 6885 | 0     | 5,05 |
| 6326 | 807   | 5,63 | 6406 | 0     | 3,5  | 6486 | 0     | 6,28 | 6566 | 110   | 5,93 | 6646 | 0     | 3,73 | 6726 | 1     | 1,97 | 6806 | 33    | 2,5  | 6886 | 0     | 3,85 |
| 6327 | 690   | 5,22 | 6407 | 0     | 2,35 | 6487 | 38    | 6,03 | 6567 | 78    | 5,5  | 6647 | 0     | 3,67 | 6727 | 95    | 8,9  | 6807 | 66    | 1,37 | 6887 | 0     | 3,28 |
| 6328 | 369   | 4,37 | 6408 | 0     | 1,18 | 6488 | 271   | 4,4  | 6568 | 66    | 5,45 | 6648 | 0     | 3,55 | 6728 | 105   | 9,05 | 6808 | 25    | 5,13 | 6888 | 0     | 0,55 |
| 6329 | 37    | 5,98 | 6409 | 0     | 4,03 | 6489 | 478   | 5,57 | 6569 | 37    | 5,07 | 6649 | 0     | 3,1  | 6729 | 150   | 9,08 | 6809 | 16    | 3,93 | 6889 | 0     | 2,25 |
| 6330 | 7     | 6,98 | 6410 | 0     | 2,38 | 6490 | 675   | 3,73 | 6570 | 6     | 5,23 | 6650 | 0     | 2,98 | 6730 | 261   | 9,08 | 6810 | 5     | 1,98 | 6890 | 0     | 3,7  |
| 6331 | 0     | 5,85 | 6411 | 0     | 1,48 | 6491 | 810   | 4,18 | 6571 | 0     | 3,42 | 6651 | 0     | 3,6  | 6731 | 200   | 8,47 | 6811 | 0     | 5,5  | 6891 | 0     | 2,93 |
| 6332 | 0     | 4,3  | 6412 | 0     | 1,08 | 6492 | 882   | 3,95 | 6572 | 0     | 0,55 | 6652 | 0     | 2,87 | 6732 | 185   | 5,67 | 6812 | 0     | 9,2  | 6892 | 0     | 3,18 |
| 6333 | 0     | 4,1  | 6413 | 0     | 2,27 | 6493 | 880   | 4,57 | 6573 | 0     | 0,8  | 6653 | 0     | 2,7  | 6733 | 881   | 7,82 | 6813 | 0     | 5,2  | 6893 | 0     | 1,88 |
| 6334 | 0     | 5,07 | 6414 | 0     | 2,82 | 6494 | 805   | 4,8  | 6574 | 0     | 2,78 | 6654 | 0     | 3,85 | 6734 | 659   | 7,08 | 6814 | 0     | 5,58 | 6894 | 2     | 0,75 |
| 6335 | 0     | 4,23 | 6415 | 7     | 1,7  | 6495 | 647   | 5,35 | 6575 | 0     | 2,58 | 6655 | 13    | 3,92 | 6735 | 526   | 6,37 | 6815 | 0     | 4,1  | 6895 | 53    | 1,55 |
| 6336 | 0     | 4,57 | 6416 | 46    | 1,8  | 6496 | 406   | 4,5  | 6576 | 0     | 0,75 | 6656 | 34    | 3,38 | 6736 | 245   | 6,5  | 6816 | 0     | 4,13 | 6896 | 134   | 2,72 |
| 6337 | 0     | 3,43 | 6417 | 115   | 2,22 | 6497 | 85    | 5,27 | 6577 | 0     | 0,7  | 6657 | 126   | 0,83 | 6737 | 163   | 6,5  | 6817 | 0     | 2,58 | 6897 | 178   | 5,38 |
| 6338 | 0     | 3,05 | 6418 | 158   | 2,32 | 6498 | 33    | 3,88 | 6578 | 0     | 1,12 | 6658 | 606   | 2,3  | 6738 | 37    | 5,97 | 6818 | 0     | 1,83 | 6898 | 189   | 4,77 |
| 6339 | 0     | 4,25 | 6419 | 392   | 3,2  | 6499 | 0     | 0,82 | 6579 | 0     | 0,62 | 6659 | 943   | 3,37 | 6739 | 1     | 5,75 | 6819 | 0     | 0,5  | 6899 | 468   | 4,88 |
| 6340 | 0     | 1,52 | 6420 | 218   | 0,92 | 6500 | 0     | 1,35 | 6580 | 0     | 1,08 | 6660 | 972   | 4,58 | 6740 | 0     | 5,47 | 6820 | 0     | 0,5  | 6900 | 283   | 4,78 |
| 6341 | 0     | 0,5  | 6421 | 381   | 3,53 | 6501 | 0     | 2,27 | 6581 | 0     | 1,73 | 6661 | 971   | 4,95 | 6741 | 0     | 4,62 | 6821 | 0     | 1,37 | 6901 | 90    | 4,45 |
| 6342 | 0     | 0,5  | 6422 | 175   | 4,55 | 6502 | 0     | 2,52 | 6582 | 0     | 1,77 | 6662 | 875   | 5,08 | 6742 | 0     | 4,25 | 6822 | 1     | 2,8  | 6902 | 142   | 3,82 |
| 6343 | 22    | 0,7  | 6423 | 227   | 2,43 | 6503 | 0     | 0,67 | 6583 | 15    | 0,73 | 6663 | 689   | 6    | 6743 | 0     | 0,52 | 6823 | 18    | 2,52 | 6903 | 133   | 3,2  |
| 6344 | 254   | 0,9  | 6424 | 171   | 3,17 | 6504 | 0     | 0,75 | 6584 | 99    | 0,6  | 6664 | 241   | 6,05 | 6744 | 0     | 2,78 | 6824 | 46    | 2,25 | 6904 | 73    | 3,23 |
| 6345 | 494   | 3,9  | 6425 | 120   | 4,1  | 6505 | 0     | 0,75 | 6585 | 85    | 0,82 | 6665 | 127   | 5,65 | 6745 | 0     | 2,73 | 6825 | 139   | 0,5  | 6905 | 29    | 3,63 |
| 6346 | 702   | 4,65 | 6426 | 40    | 2,93 | 6506 | 0     | 0,5  | 6586 | 176   | 3,13 | 6666 | 23    | 5,08 | 6746 | 0     | 3,15 | 6826 | 306   | 3,22 | 6906 | 11    | 4,18 |
| 6347 | 836   | 6,17 | 6427 | 0     | 2,65 | 6507 | 0     | 0,73 | 6587 | 361   | 4,72 | 6667 | 0     | 6    | 6747 | 0     | 2,78 | 6827 | 447   | 4,1  | 6907 | 1     | 4,4  |
| 6348 | 890   | 6,58 | 6428 | 0     | 2,6  | 6508 | 0     | 4,12 | 6588 | 190   | 5,85 | 6668 | 0     | 5,3  | 6748 | 0     | 2,55 | 6828 | 376   | 5,15 | 6908 | 0     | 4,42 |
| 6349 | 871   | 6,92 | 6429 | 0     | 3,1  | 6509 | 0     | 2,83 | 6589 | 154   | 5,98 | 6669 | 0     | 5,08 | 6749 | 0     | 1,75 | 6829 | 404   | 4,05 | 6909 | 0     | 4,22 |
| 6350 | 795   | 6,9  | 6430 | 0     | 2,78 | 6510 | 0     | 2,78 | 6590 | 178   | 5,8  | 6670 | 0     | 4,92 | 6750 | 2     | 2,73 | 6830 | 408   | 4,87 | 6910 | 0     | 5,12 |
| 6351 | 646   | 8,22 | 6431 | 0     | 2,45 | 6511 | 20    | 3,63 | 6591 | 155   | 4,93 | 6671 | 0     | 5,18 | 6751 | 67    | 1,55 | 6831 | 400   | 4,47 | 6911 | 0     | 5,25 |
| 6352 | 437   | 9,23 | 6432 | 0     | 0,87 | 6512 | 20    | 4,43 | 6592 | 238   | 4,35 | 6672 | 0     | 4,9  | 6752 | 436   | 1,83 | 6832 | 268   | 3,6  | 6912 | 0     | 4,2  |
| 6353 | 214   | 9,97 | 6433 | 0     | 3,18 | 6513 | 50    | 3,88 | 6593 | 128   | 3,53 | 6673 | 0     | 2,65 | 6753 | 515   | 3,6  | 6833 | 123   | 2,75 | 6913 | 0     | 3,65 |
| 6354 | 48    | 9,57 | 6434 | 0     | 3,92 | 6514 | 81    | 3,85 | 6594 | 28    | 2,3  | 6674 | 0     | 6,87 | 6754 | 865   | 4,22 | 6834 | 26    | 1,67 | 6914 | 0     | 2,23 |
| 6355 | 0     | 6,47 | 6435 | 0     | 4,62 | 6515 | 179   | 3,32 | 6595 | 0     | 0,63 | 6675 | 0     | 9,47 | 6755 | 998   | 4,23 | 6835 | 1     | 1,35 | 6915 | 0     | 0,5  |
| 6356 | 0     | 0,53 | 6436 | 0     | 5,23 | 6516 | 288   | 3,12 | 6596 | 0     | 0,5  | 6676 | 0     | 4,88 | 6756 | 1017  | 4,67 | 6836 | 0     | 1,98 | 6916 | 0     | 0,5  |
| 6357 | 0     | 0,5  | 6437 | 0     | 4,17 | 6517 | 150   | 3,7  | 6597 | 0     | 0,5  | 6677 | 0     | 1,45 | 6757 | 939   | 5,27 | 6837 | 0     | 0,5  | 6917 | 0     | 0,5  |
| 6358 | 0     | 0,6  | 6438 | 0     | 3,2  | 6518 | 175   | 4,42 | 6598 | 0     | 0,5  | 6678 | 0     | 1,88 | 6758 | 678   | 4,88 | 6838 | 0     | 0,5  | 6918 | 2     | 0,55 |
| 6359 | 0     | 0,52 | 6439 | 8     | 3,17 | 6519 | 222   | 2,88 | 6599 | 0     | 0,5  | 6679 | 42    | 1,07 | 6759 | 743   | 5,38 | 6839 | 0     | 0,5  | 6919 | 40    | 0,5  |
| 6360 | 0     | 0,57 | 6440 | 29    | 6,17 | 6520 | 378   | 0,65 | 6600 | 0     | 0,57 | 6680 | 107   | 2,97 | 6760 | 524   | 5,55 | 6840 | 0     | 1,35 | 6920 | 124   | 0,5  |
| 6361 | 0     | 0,5  | 6441 | 50    | 5,95 | 6521 | 146   | 1,42 | 6601 | 0     | 0,5  | 6681 | 99    | 2,12 | 6761 | 266   | 4,8  | 6841 | 0     | 0,68 | 6921 | 162   | 0,52 |
| 6362 | 0     | 0,5  | 6442 | 121   | 5,97 | 6522 | 67    | 3,92 | 6602 | 0     | 0,5  | 6682 | 188   | 3,7  | 6762 | 53    | 4,28 | 6842 | 0     | 0,6  | 6922 | 153   | 0,55 |
| 6363 | 0     | 0,5  | 6443 | 161   | 5,57 | 6523 | 0     | 4,63 | 6603 | 0     | 0,5  | 6683 | 211   | 5,57 | 6763 | 1     | 4,42 | 6843 | 0     | 0,5  | 6923 | 111   | 1,45 |
| 6364 | 0     | 0,52 | 6444 | 249   | 4,77 | 6524 | 0     | 2,45 | 6604 | 0     | 1,52 | 6684 | 165   | 6,22 | 6764 | 0     | 3,03 | 6844 | 0     | 0,52 | 6924 | 382   | 0,52 |
| 6365 | 0     | 0,5  | 6445 | 210   | 4,48 | 6525 | 0     | 1,35 | 6605 | 0     | 1,15 | 6685 | 162   | 6,27 | 6765 | 0     | 1,93 | 6845 | 0     | 2,63 | 6925 | 426   | 0,6  |
| 6366 | 0     | 0,5  | 6446 | 162   | 4,82 | 6526 | 0     | 1,27 | 6606 | 0     | 0,57 | 6686 | 131   | 6,28 | 6766 | 0     | 3,33 | 6846 | 0     | 1,63 | 6926 | 389   | 0,63 |
| 6367 | 18    | 0,5  | 6447 | 157   | 5,2  | 6527 | 0     | 2,13 | 6607 | 25    | 0,5  | 6687 | 83    | 5,78 | 6767 | 0     | 3,28 | 6847 | 6     | 0,62 | 6927 | 234   | 2,07 |
| 6368 | 95    | 0,5  | 6448 | 65    | 5,65 | 6528 | 0     | 1,32 | 6608 | 117   | 0,5  | 6688 | 63    | 5,97 | 6768 | 0     | 3,23 | 6848 | 29    | 0,93 | 6928 | 149   | 4,95 |
| 6369 | 436   | 1,32 | 6449 | 28    | 5,72 | 6529 | 0     | 3,08 | 6609 | 235   | 0,87 | 6689 | 39    | 5,48 | 6769 | 0     | 3,05 | 6849 | 37    | 1,28 | 6929 | 108   | 4,92 |
| 6370 | 622   | 1,85 | 6450 | 8     | 5,13 | 6530 | 0     | 2,93 | 6610 | 514   | 2,82 | 6690 | 9     | 4,67 | 6770 | 0     | 2,47 | 6850 | 48    | 0,5  | 6930 | 27    | 4,88 |
| 6371 | 829   | 4,62 | 6451 | 0     | 4,37 | 6531 | 0     | 1,37 | 6611 | 536   | 2,47 | 6691 | 0     | 4,97 | 6771 | 0     | 3,08 | 6851 | 161   | 0,5  | 6931 | 1     | 5,15 |
| 6372 | 740   | 4,65 | 6452 | 0     | 4,08 | 6532 | 0     | 3,45 | 6612 | 403   | 2,68 | 6692 | 0     | 5,47 | 6772 | 0     | 3,05 | 6852 | 116   | 1    | 6932 | 0     | 5,57 |
| 6373 | 822   | 2,95 | 6453 | 0     | 2,72 | 6533 | 0     | 2,68 | 6613 | 558   | 1,5  | 6693 | 0     | 4,18 | 6773 | 0     | 3,68 | 6853 | 125   | 1,95 | 6933 | 0     | 5,57 |
| 6374 | 754   | 3,2  | 6454 | 0     | 2,87 | 6534 | 0     | 1,45 | 6614 | 439   | 2,65 | 6694 | 0     | 3,13 | 6774 | 2     | 2,85 | 6854 | 149   | 3,95 | 6934 | 0     | 4,9  |
| 6375 | 593   | 2,63 | 6455 | 0     | 3,02 | 6535 | 8     | 2,05 | 6615 | 320   | 2,72 | 6695 | 0     | 3,53 | 6775 | 59    | 2,02 | 6855 | 108   | 4,87 | 6935 | 0     | 3,07 |
| 6376 | 390   | 4,1  | 6456 | 0     | 1,28 | 6536 | 39    | 2,53 | 6616 | 175   | 3,45 | 6696 | 0     | 3,03 | 6776 | 421   | 3,58 | 6856 | 150   | 4,92 | 6936 | 0     | 0,7  |
| 6377 | 152   | 6,13 | 6457 | 0     | 0,67 | 6537 | 48    | 5,1  | 6617 | 92    | 1,35 | 6697 | 0     | 3,05 | 6777 | 657   | 3,32 | 6857 | 47    | 5,35 | 6937 | 0     | 0,5  |
| 6378 | 18    | 7,37 | 6458 | 0     | 0,93 | 6538 | 31    | 11,5 | 6618 | 26    | 0,67 | 6698 | 0     | 4,43 | 6778 | 862   | 7,57 | 6858 | 15    | 7,25 | 6938 | 0     | 1,77 |
| 6379 | 0     | 6,33 | 6459 | 0     | 1,47 | 6539 | 47    | 9,73 | 6619 | 1     | 0,52 | 6699 | 0     | 4,7  | 6779 | 837   | 9,82 | 6859 | 0     | 7,3  | 6939 | 0     | 2,97 |
| 6380 | 0     | 5,83 | 6460 | 0     | 0,52 | 6540 | 38    | 8,6  | 6620 | 0     | 0,9  | 6700 | 0     | 5,83 | 6780 | 721   | 10,5 | 6860 | 0     | 8,17 | 6940 | 0     | 1,33 |
| 6381 | 0     | 9,6  | 6461 | 0     | 0,5  |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |

| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 6961 | 0     | 0,95 | 7041 | 110   | 9,17 | 7121 | 218   | 11,4 | 7201 | 0     | 0,5  | 7281 | 379   | 1,78 | 7361 | 172   | 0,83 | 7441 | 0     | 4,97 | 7521 | 196   | 8,62 |
| 6962 | 0     | 9,97 | 7042 | 120   | 8,63 | 7122 | 49    | 7,92 | 7202 | 0     | 0,52 | 7282 | 749   | 1,57 | 7362 | 41    | 0,5  | 7442 | 0     | 1,42 | 7522 | 158   | 9,18 |
| 6963 | 0     | 14,5 | 7043 | 279   | 7,05 | 7123 | 2     | 7,72 | 7203 | 0     | 2    | 7283 | 887   | 3,72 | 7363 | 1     | 0,5  | 7443 | 0     | 4,85 | 7523 | 237   | 8,22 |
| 6964 | 0     | 4,95 | 7044 | 243   | 6,78 | 7124 | 0     | 4,53 | 7204 | 0     | 0,85 | 7284 | 942   | 5    | 7364 | 0     | 0,5  | 7444 | 0     | 3,42 | 7524 | 166   | 9,52 |
| 6965 | 0     | 4,02 | 7045 | 329   | 6,83 | 7125 | 0     | 0,8  | 7205 | 0     | 0,88 | 7285 | 958   | 5,73 | 7365 | 0     | 1,12 | 7445 | 0     | 2,23 | 7525 | 159   | 9,68 |
| 6966 | 0     | 4,3  | 7046 | 191   | 7,12 | 7126 | 0     | 0,77 | 7206 | 8     | 0,85 | 7286 | 863   | 5,18 | 7366 | 0     | 2,78 | 7446 | 10    | 1,25 | 7526 | 204   | 9,73 |
| 6967 | 7     | 5,27 | 7047 | 165   | 7,03 | 7127 | 0     | 0,68 | 7207 | 133   | 1,03 | 7287 | 671   | 6,05 | 7367 | 0     | 1,35 | 7447 | 106   | 0,8  | 7527 | 210   | 9,6  |
| 6968 | 51    | 5,43 | 7048 | 50    | 7,27 | 7128 | 0     | 0,5  | 7208 | 397   | 0,75 | 7288 | 449   | 7,53 | 7368 | 0     | 0,65 | 7448 | 416   | 3,25 | 7528 | 154   | 9,75 |
| 6969 | 224   | 8,73 | 7049 | 49    | 7,1  | 7129 | 0     | 0,65 | 7209 | 650   | 2,6  | 7289 | 226   | 8,25 | 7369 | 0     | 0,5  | 7449 | 209   | 11,5 | 7529 | 103   | 9,88 |
| 6970 | 675   | 7,05 | 7050 | 16    | 6,97 | 7130 | 0     | 2,23 | 7210 | 834   | 3,37 | 7290 | 73    | 7,75 | 7370 | 0     | 0,5  | 7450 | 146   | 9,35 | 7530 | 68    | 9,58 |
| 6971 | 894   | 4,63 | 7051 | 1     | 7,23 | 7131 | 0     | 3,37 | 7211 | 942   | 2,72 | 7291 | 4     | 6,37 | 7371 | 0     | 0,52 | 7451 | 63    | 6,8  | 7531 | 5     | 8,98 |
| 6972 | 581   | 8,52 | 7052 | 0     | 7,67 | 7132 | 0     | 3,1  | 7212 | 952   | 5,05 | 7292 | 0     | 2,65 | 7372 | 0     | 0,52 | 7452 | 81    | 6,83 | 7532 | 0     | 9,27 |
| 6973 | 317   | 3,92 | 7053 | 0     | 7,67 | 7133 | 0     | 1,37 | 7213 | 933   | 6,23 | 7293 | 0     | 1,62 | 7373 | 0     | 0,55 | 7453 | 143   | 6,67 | 7533 | 0     | 9,23 |
| 6974 | 299   | 3,08 | 7054 | 0     | 7,58 | 7134 | 1     | 1,47 | 7214 | 736   | 7,15 | 7294 | 0     | 2,25 | 7374 | 13    | 0,5  | 7454 | 87    | 6,17 | 7534 | 0     | 9,9  |
| 6975 | 224   | 0,83 | 7055 | 0     | 8,3  | 7135 | 41    | 1,35 | 7215 | 693   | 10,3 | 7295 | 0     | 1,62 | 7375 | 146   | 0,52 | 7455 | 78    | 6,23 | 7535 | 0     | 8,72 |
| 6976 | 108   | 0,87 | 7056 | 0     | 8,15 | 7136 | 160   | 2,28 | 7216 | 353   | 8,67 | 7296 | 0     | 0,5  | 7376 | 369   | 0,5  | 7456 | 48    | 6,75 | 7536 | 0     | 7,97 |
| 6977 | 80    | 0,5  | 7057 | 0     | 8,37 | 7137 | 407   | 4,18 | 7217 | 233   | 9,78 | 7297 | 0     | 0,5  | 7377 | 544   | 1,83 | 7457 | 21    | 6,72 | 7537 | 0     | 7,72 |
| 6978 | 39    | 1    | 7058 | 0     | 7,47 | 7138 | 286   | 3,6  | 7218 | 61    | 10,8 | 7298 | 0     | 0,57 | 7378 | 735   | 5,67 | 7458 | 11    | 8,43 | 7538 | 0     | 6,9  |
| 6979 | 1     | 2,22 | 7059 | 0     | 7,53 | 7139 | 316   | 3,15 | 7219 | 3     | 9,87 | 7299 | 0     | 0,63 | 7379 | 905   | 7,18 | 7459 | 1     | 8,25 | 7539 | 0     | 6,03 |
| 6980 | 0     | 1,92 | 7060 | 0     | 6,9  | 7140 | 256   | 1,47 | 7220 | 0     | 9,17 | 7300 | 0     | 1,13 | 7380 | 955   | 8,77 | 7460 | 0     | 8,45 | 7540 | 0     | 4,73 |
| 6981 | 0     | 2,65 | 7061 | 0     | 6,55 | 7141 | 290   | 5,53 | 7221 | 0     | 8,63 | 7301 | 0     | 0,52 | 7381 | 948   | 10,8 | 7461 | 0     | 9,25 | 7541 | 0     | 2,5  |
| 6982 | 0     | 2    | 7062 | 5     | 6,4  | 7142 | 76    | 8,28 | 7222 | 0     | 8    | 7302 | 6     | 0,5  | 7382 | 825   | 11,4 | 7462 | 0     | 8,78 | 7542 | 4     | 0,5  |
| 6983 | 0     | 0,72 | 7063 | 46    | 7,07 | 7143 | 69    | 6,97 | 7223 | 0     | 7,48 | 7303 | 56    | 1,05 | 7383 | 650   | 11,7 | 7463 | 0     | 7,92 | 7543 | 26    | 0,5  |
| 6984 | 0     | 3,03 | 7064 | 79    | 7,37 | 7144 | 36    | 6,37 | 7224 | 0     | 7,23 | 7304 | 289   | 0,7  | 7384 | 448   | 12,5 | 7464 | 0     | 5,52 | 7544 | 134   | 0,53 |
| 6985 | 0     | 2,25 | 7065 | 211   | 8,32 | 7145 | 11    | 6,67 | 7225 | 0     | 6,87 | 7305 | 350   | 0,98 | 7385 | 225   | 9,87 | 7465 | 0     | 6,35 | 7545 | 320   | 0,53 |
| 6986 | 0     | 3,22 | 7066 | 130   | 4,17 | 7146 | 4     | 5,88 | 7226 | 0     | 7,25 | 7306 | 366   | 3,87 | 7386 | 58    | 10,9 | 7466 | 0     | 4,57 | 7546 | 311   | 4,15 |
| 6987 | 0     | 4,88 | 7067 | 231   | 1,48 | 7147 | 0     | 6,45 | 7227 | 0     | 6,78 | 7307 | 222   | 8,12 | 7387 | 4     | 1,83 | 7467 | 0     | 6,72 | 7547 | 640   | 6,93 |
| 6988 | 0     | 5,03 | 7068 | 143   | 1,65 | 7148 | 0     | 7,57 | 7228 | 0     | 6,8  | 7308 | 117   | 8,3  | 7388 | 0     | 1,45 | 7468 | 0     | 3,27 | 7548 | 882   | 7,7  |
| 6989 | 0     | 4,55 | 7069 | 283   | 4,07 | 7149 | 0     | 7,5  | 7229 | 0     | 6,45 | 7309 | 140   | 6,88 | 7389 | 0     | 3    | 7469 | 0     | 4,35 | 7549 | 552   | 6,43 |
| 6990 | 3     | 4,48 | 7070 | 172   | 5,38 | 7150 | 0     | 6,5  | 7230 | 12    | 5,77 | 7310 | 130   | 6,05 | 7390 | 0     | 3,3  | 7470 | 1     | 6,03 | 7550 | 217   | 3,67 |
| 6991 | 80    | 3,88 | 7071 | 184   | 7,77 | 7151 | 0     | 5,72 | 7231 | 111   | 5,48 | 7311 | 246   | 5,85 | 7391 | 0     | 0,97 | 7471 | 19    | 4,33 | 7551 | 469   | 4,82 |
| 6992 | 138   | 3,08 | 7072 | 163   | 7,45 | 7152 | 0     | 5,37 | 7232 | 372   | 5,03 | 7312 | 165   | 5,85 | 7392 | 0     | 14,2 | 7472 | 51    | 1,25 | 7552 | 309   | 7,82 |
| 6993 | 123   | 4    | 7073 | 126   | 7,37 | 7153 | 0     | 2,5  | 7233 | 371   | 4,65 | 7313 | 26    | 4,8  | 7393 | 0     | 8,35 | 7473 | 88    | 5,88 | 7553 | 138   | 7,72 |
| 6994 | 204   | 4,35 | 7074 | 30    | 8,72 | 7154 | 0     | 0,77 | 7234 | 587   | 4,1  | 7314 | 3     | 2,88 | 7394 | 0     | 4,27 | 7474 | 157   | 7,02 | 7554 | 69    | 7,22 |
| 6995 | 316   | 3,42 | 7075 | 1     | 7,82 | 7155 | 0     | 1,48 | 7235 | 966   | 4,1  | 7315 | 0     | 1,1  | 7395 | 0     | 3,83 | 7475 | 141   | 9,02 | 7555 | 4     | 5,47 |
| 6996 | 265   | 1,9  | 7076 | 0     | 5,08 | 7156 | 0     | 0,5  | 7236 | 973   | 3,48 | 7316 | 0     | 0,5  | 7396 | 0     | 1,4  | 7476 | 142   | 7,05 | 7556 | 0     | 1,3  |
| 6997 | 311   | 1,23 | 7077 | 0     | 4,37 | 7157 | 0     | 0,63 | 7237 | 994   | 3,5  | 7317 | 0     | 0,5  | 7397 | 0     | 1,4  | 7477 | 214   | 5,85 | 7557 | 0     | 2,75 |
| 6998 | 243   | 1,87 | 7078 | 0     | 3,27 | 7158 | 1     | 1,2  | 7238 | 909   | 3,75 | 7318 | 0     | 0,5  | 7398 | 4     | 3,83 | 7478 | 146   | 1,88 | 7558 | 0     | 3,7  |
| 6999 | 176   | 2,65 | 7079 | 0     | 8,9  | 7159 | 8     | 3,05 | 7239 | 721   | 3,35 | 7319 | 0     | 2,68 | 7399 | 46    | 6,02 | 7479 | 140   | 0,73 | 7559 | 0     | 3,3  |
| 7000 | 91    | 2,03 | 7080 | 0     | 10,2 | 7160 | 15    | 6,92 | 7240 | 322   | 2,58 | 7320 | 0     | 4,75 | 7400 | 159   | 4,1  | 7480 | 106   | 0,5  | 7560 | 0     | 2,53 |
| 7001 | 22    | 0,5  | 7081 | 0     | 9,98 | 7161 | 33    | 7,78 | 7241 | 277   | 3,33 | 7321 | 0     | 1,82 | 7401 | 303   | 2,32 | 7481 | 56    | 0,5  | 7561 | 0     | 2,03 |
| 7002 | 3     | 0,82 | 7082 | 0     | 8,78 | 7162 | 70    | 6,22 | 7242 | 55    | 3,17 | 7322 | 0     | 4,05 | 7402 | 451   | 0,6  | 7482 | 9     | 4,75 | 7562 | 0     | 0,95 |
| 7003 | 0     | 0,5  | 7083 | 0     | 8,75 | 7163 | 104   | 3,15 | 7243 | 3     | 3,28 | 7323 | 0     | 5,62 | 7403 | 918   | 1,38 | 7483 | 1     | 5,02 | 7563 | 0     | 5,02 |
| 7004 | 0     | 0,88 | 7084 | 0     | 7,88 | 7164 | 389   | 3,25 | 7244 | 0     | 1,63 | 7324 | 0     | 6,43 | 7404 | 851   | 3,97 | 7484 | 0     | 1,52 | 7564 | 0     | 1,73 |
| 7005 | 0     | 0,5  | 7085 | 0     | 10,3 | 7165 | 326   | 4,35 | 7245 | 0     | 0,5  | 7325 | 0     | 8,18 | 7405 | 788   | 4,52 | 7485 | 0     | 1,03 | 7565 | 0     | 4,17 |
| 7006 | 0     | 0,52 | 7086 | 2     | 11   | 7166 | 546   | 3,03 | 7246 | 0     | 1,32 | 7326 | 1     | 8,33 | 7406 | 709   | 3,75 | 7486 | 0     | 1,18 | 7566 | 3     | 3,2  |
| 7007 | 0     | 0,5  | 7087 | 26    | 11,6 | 7167 | 650   | 3,42 | 7247 | 0     | 2,58 | 7327 | 11    | 7,1  | 7407 | 432   | 2,88 | 7487 | 0     | 3,93 | 7567 | 20    | 4,73 |
| 7008 | 0     | 1,88 | 7088 | 81    | 11,4 | 7168 | 298   | 3,18 | 7248 | 0     | 3,22 | 7328 | 44    | 6,63 | 7408 | 169   | 2,68 | 7488 | 0     | 1,93 | 7568 | 75    | 3,2  |
| 7009 | 0     | 0,5  | 7089 | 197   | 11,7 | 7169 | 108   | 2,18 | 7249 | 0     | 3,12 | 7329 | 94    | 6,32 | 7409 | 75    | 3    | 7489 | 0     | 1,92 | 7569 | 128   | 6,08 |
| 7010 | 0     | 2,45 | 7090 | 219   | 10,8 | 7170 | 52    | 4,22 | 7250 | 0     | 1,05 | 7330 | 236   | 6,75 | 7410 | 29    | 3,92 | 7490 | 0     | 0,5  | 7570 | 180   | 4,02 |
| 7011 | 0     | 0,88 | 7091 | 248   | 9,35 | 7171 | 1     | 6,05 | 7251 | 0     | 2,33 | 7331 | 258   | 6,88 | 7411 | 3     | 4,53 | 7491 | 0     | 0,58 | 7571 | 245   | 1,83 |
| 7012 | 0     | 4,63 | 7092 | 237   | 9,87 | 7172 | 0     | 7,07 | 7252 | 0     | 0,53 | 7332 | 367   | 7,15 | 7412 | 0     | 3,83 | 7492 | 0     | 3,3  | 7572 | 256   | 4,38 |
| 7013 | 0     | 2,7  | 7093 | 183   | 9,35 | 7173 | 0     | 8,48 | 7253 | 0     | 0,88 | 7333 | 276   | 7,95 | 7413 | 0     | 1,15 | 7493 | 0     | 1,72 | 7573 | 170   | 5,05 |
| 7014 | 5     | 2,97 | 7094 | 169   | 9,53 | 7174 | 0     | 8,87 | 7254 | 17    | 0,52 | 7334 | 286   | 6,32 | 7414 | 0     | 0,6  | 7494 | 3     | 1,63 | 7574 | 240   | 4,85 |
| 7015 | 50    | 2,6  | 7095 | 155   | 9,83 | 7175 | 0     | 9,93 | 7255 | 75    | 1,17 | 7335 | 343   | 5,7  | 7415 | 0     | 0,8  | 7495 | 19    | 2,05 | 7575 | 102   | 3,25 |
| 7016 | 319   | 5,98 | 7096 | 117   | 10,1 | 7176 | 0     | 10,5 | 7256 | 315   | 0,53 | 7336 | 282   | 5,08 | 7416 | 0     | 0,92 | 7496 | 47    | 3,35 | 7576 | 67    | 0,78 |
| 7017 | 653   | 8    | 7097 | 89    | 10,4 | 7177 | 0     | 9,42 | 7257 | 493   | 2    | 7337 | 127   | 5,33 | 7417 | 0     | 2,77 | 7497 | 124   | 4,27 | 7577 | 59    | 2,37 |
| 7018 | 316   | 8,87 | 7098 | 37    | 9,48 | 7178 | 0     | 8,78 | 7258 | 608   | 2,87 | 7338 | 59    | 5,73 | 7418 | 0     | 0,53 | 7498 | 186   | 3,85 | 7578 | 48    | 4,57 |
| 7019 | 134   | 10,3 | 7099 | 2     | 9,57 | 7179 | 0     | 7,27 | 7259 | 771   | 2,48 | 7339 | 1     | 5,8  | 7419 | 0     | 1,52 | 7499 | 267   | 2    | 7579 | 5     | 4,92 |
| 7020 | 212   | 10,9 | 7100 | 0     | 8,7  | 7180 | 0     | 6,8  | 7260 | 717   | 3,98 | 7340 | 0     | 5,2  | 7420 | 0     | 2,82 | 7500 | 264   | 3,17 | 7580 | 0     | 6,92 |
| 7021 | 410   |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |





| Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve | Hora | Irrad | V.Ve |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 8241 | 29    | 6,68 | 8321 | 189   | 6,68 | 8401 | 0     | 0,75 | 8481 | 312   | 1,2  | 8561 | 49    | 6,28 | 8641 | 0     | 1,17 | 8721 | 314   | 2,27 |
| 8242 | 82    | 5,33 | 8322 | 117   | 5,67 | 8402 | 0     | 0,73 | 8482 | 233   | 2,55 | 8562 | 21    | 8,38 | 8642 | 0     | 2,32 | 8722 | 350   | 1,7  |
| 8243 | 164   | 6,15 | 8323 | 33    | 4,07 | 8403 | 0     | 0,72 | 8483 | 443   | 1,27 | 8563 | 3     | 8,62 | 8643 | 0     | 3,02 | 8723 | 326   | 1,68 |
| 8244 | 153   | 6,05 | 8324 | 0     | 1,88 | 8404 | 0     | 0,72 | 8484 | 372   | 3,17 | 8564 | 0     | 8,07 | 8644 | 0     | 2,77 | 8724 | 806   | 3,85 |
| 8245 | 162   | 6,87 | 8325 | 0     | 2    | 8405 | 0     | 0,58 | 8485 | 529   | 3,43 | 8565 | 1     | 9,98 | 8645 | 0     | 3,82 | 8725 | 976   | 5,07 |
| 8246 | 103   | 6,25 | 8326 | 0     | 2,38 | 8406 | 12    | 0,85 | 8486 | 472   | 4,08 | 8566 | 0     | 11,7 | 8646 | 4     | 2,73 | 8726 | 859   | 6,85 |
| 8247 | 85    | 6,65 | 8327 | 0     | 3,22 | 8407 | 96    | 0,5  | 8487 | 558   | 4,48 | 8567 | 0     | 11,4 | 8647 | 38    | 1,38 | 8727 | 726   | 7,53 |
| 8248 | 81    | 6,48 | 8328 | 0     | 3,27 | 8408 | 275   | 0,52 | 8488 | 410   | 5,92 | 8568 | 0     | 11,4 | 8648 | 70    | 0,53 | 8728 | 510   | 7,88 |
| 8249 | 43    | 5,27 | 8329 | 0     | 3,38 | 8409 | 457   | 2,42 | 8489 | 255   | 8,27 | 8569 | 0     | 10,4 | 8649 | 90    | 1,95 | 8729 | 287   | 9,18 |
| 8250 | 23    | 6,63 | 8330 | 0     | 2,93 | 8410 | 693   | 3,7  | 8490 | 87    | 8,82 | 8570 | 0     | 10,1 | 8650 | 85    | 4    | 8730 | 88    | 8,7  |
| 8251 | 3     | 8,97 | 8331 | 0     | 3,23 | 8411 | 688   | 5,05 | 8491 | 24    | 7,85 | 8571 | 0     | 8,58 | 8651 | 127   | 1,07 | 8731 | 17    | 9,2  |
| 8252 | 0     | 9,57 | 8332 | 0     | 3,72 | 8412 | 909   | 6,95 | 8492 | 0     | 6,42 | 8572 | 0     | 8,33 | 8652 | 284   | 3,58 | 8732 | 0     | 8,92 |
| 8253 | 0     | 5,77 | 8333 | 0     | 3,93 | 8413 | 915   | 8,1  | 8493 | 0     | 4,53 | 8573 | 0     | 7,08 | 8653 | 232   | 1,78 | 8733 | 0     | 8,45 |
| 8254 | 0     | 2,95 | 8334 | 12    | 3,82 | 8414 | 827   | 7,72 | 8494 | 0     | 3,67 | 8574 | 2     | 7,23 | 8654 | 284   | 4,27 | 8734 | 0     | 7,72 |
| 8255 | 0     | 1,3  | 8335 | 103   | 3    | 8415 | 665   | 8,88 | 8495 | 0     | 1,32 | 8575 | 16    | 7,75 | 8655 | 270   | 3,98 | 8735 | 0     | 5,65 |
| 8256 | 0     | 3,05 | 8336 | 351   | 1,55 | 8416 | 475   | 10,1 | 8496 | 0     | 3,47 | 8576 | 53    | 9,62 | 8656 | 189   | 2,47 | 8736 | 0     | 4,4  |
| 8257 | 0     | 4,1  | 8337 | 577   | 3,45 | 8417 | 268   | 11,1 | 8497 | 0     | 2,22 | 8577 | 68    | 9,25 | 8657 | 123   | 0,68 | 8737 | 0     | 1,22 |
| 8258 | 0     | 2,28 | 8338 | 760   | 3,57 | 8418 | 87    | 9,42 | 8498 | 0     | 5,28 | 8578 | 134   | 11   | 8658 | 70    | 0,52 | 8738 | 0     | 2,08 |
| 8259 | 0     | 2,5  | 8339 | 884   | 3,82 | 8419 | 23    | 6,15 | 8499 | 0     | 4,8  | 8579 | 96    | 10,5 | 8659 | 11    | 1,58 | 8739 | 0     | 2,53 |
| 8260 | 0     | 2,85 | 8340 | 934   | 5,2  | 8420 | 0     | 1,57 | 8500 | 0     | 3,3  | 8580 | 131   | 9,38 | 8660 | 0     | 5,28 | 8740 | 0     | 2,1  |
| 8261 | 0     | 5,73 | 8341 | 944   | 6,82 | 8421 | 0     | 0,5  | 8501 | 0     | 0,85 | 8581 | 109   | 11,8 | 8661 | 0     | 6,58 | 8741 | 0     | 1,35 |
| 8262 | 5     | 3,47 | 8342 | 871   | 7,87 | 8422 | 0     | 2,2  | 8502 | 11    | 0,5  | 8582 | 148   | 14,1 | 8662 | 0     | 6,68 | 8742 | 12    | 2,85 |
| 8263 | 78    | 3,12 | 8343 | 702   | 8,47 | 8423 | 0     | 7,72 | 8503 | 88    | 0,73 | 8583 | 92    | 11,7 | 8663 | 0     | 5,92 | 8743 | 93    | 1,38 |
| 8264 | 167   | 3,5  | 8344 | 497   | 8,3  | 8424 | 0     | 8,73 | 8504 | 343   | 0,65 | 8584 | 61    | 9,73 | 8664 | 0     | 5,05 | 8744 | 298   | 0,5  |
| 8265 | 257   | 3,42 | 8345 | 275   | 7,72 | 8425 | 0     | 6,85 | 8505 | 557   | 4,23 | 8585 | 59    | 10,9 | 8665 | 0     | 5,13 | 8745 | 514   | 2,32 |
| 8266 | 268   | 4,82 | 8346 | 86    | 6,88 | 8426 | 0     | 2,47 | 8506 | 734   | 4,63 | 8586 | 20    | 10,8 | 8666 | 0     | 5,63 | 8746 | 734   | 3,7  |
| 8267 | 265   | 3,02 | 8347 | 18    | 5,98 | 8427 | 0     | 6,43 | 8507 | 858   | 4,4  | 8587 | 5     | 11,4 | 8667 | 0     | 4,42 | 8747 | 859   | 4,58 |
| 8268 | 214   | 2,67 | 8348 | 0     | 4,98 | 8428 | 0     | 2,15 | 8508 | 906   | 3,97 | 8588 | 0     | 11,8 | 8668 | 0     | 8,07 | 8748 | 880   | 4,78 |
| 8269 | 323   | 6,02 | 8349 | 0     | 3,92 | 8429 | 0     | 1,5  | 8509 | 903   | 4,38 | 8589 | 0     | 11,1 | 8669 | 0     | 8,35 | 8749 | 932   | 6,18 |
| 8270 | 385   | 4,37 | 8350 | 0     | 4,22 | 8430 | 3     | 0,52 | 8510 | 880   | 4,57 | 8590 | 0     | 8,9  | 8670 | 3     | 7    | 8750 | 864   | 7,1  |
| 8271 | 175   | 3,08 | 8351 | 0     | 4,63 | 8431 | 43    | 1,48 | 8511 | 718   | 4,87 | 8591 | 0     | 7,52 | 8671 | 29    | 5,3  | 8751 | 703   | 8,17 |
| 8272 | 127   | 4,25 | 8352 | 0     | 5,1  | 8432 | 26    | 1,1  | 8512 | 457   | 4,43 | 8592 | 0     | 5,87 | 8672 | 123   | 5,72 | 8752 | 495   | 9,63 |
| 8273 | 46    | 6,18 | 8353 | 0     | 5,42 | 8433 | 44    | 0,73 | 8513 | 67    | 2,22 | 8593 | 0     | 6,93 | 8673 | 358   | 4,78 | 8753 | 205   | 10,2 |
| 8274 | 17    | 7,78 | 8354 | 0     | 5,4  | 8434 | 15    | 1,38 | 8514 | 9     | 4,8  | 8594 | 0     | 6,1  | 8674 | 609   | 3,43 | 8754 | 118   | 9,37 |
| 8275 | 2     | 10,8 | 8355 | 0     | 6,77 | 8435 | 37    | 4,07 | 8515 | 1     | 4,33 | 8595 | 0     | 7,95 | 8675 | 824   | 2,98 | 8755 | 32    | 8,37 |
| 8276 | 0     | 10,4 | 8356 | 0     | 6,77 | 8436 | 60    | 3,67 | 8516 | 0     | 9,13 | 8596 | 0     | 6,97 | 8676 | 930   | 3,53 | 8756 | 0     | 7,23 |
| 8277 | 0     | 11,8 | 8357 | 0     | 3,98 | 8437 | 64    | 5,63 | 8517 | 0     | 7,83 | 8597 | 0     | 6,43 | 8677 | 926   | 4,35 | 8757 | 0     | 6,27 |
| 8278 | 0     | 12,2 | 8358 | 10    | 1,9  | 8438 | 54    | 3,65 | 8518 | 0     | 7,18 | 8598 | 10    | 6,88 | 8678 | 876   | 5,55 | 8758 | 0     | 4,13 |
| 8279 | 0     | 11,1 | 8359 | 80    | 1,02 | 8439 | 67    | 5,7  | 8519 | 0     | 6,78 | 8599 | 51    | 6,57 | 8679 | 734   | 6,43 | 8759 | 0     | 2,57 |
| 8280 | 0     | 10,2 | 8360 | 150   | 1,22 | 8440 | 54    | 7,98 | 8520 | 0     | 5,83 | 8600 | 140   | 6,45 | 8680 | 519   | 6,93 | 8760 | 0     | 1,65 |
| 8281 | 0     | 10,9 | 8361 | 267   | 2,22 | 8441 | 29    | 8,87 | 8521 | 0     | 4,88 | 8601 | 285   | 5,67 | 8681 | 298   | 7,38 | 8761 | 0     | 1,95 |
| 8282 | 0     | 10,5 | 8362 | 610   | 3,27 | 8442 | 10    | 8,4  | 8522 | 0     | 3,67 | 8602 | 436   | 5,15 | 8682 | 99    | 6,73 | 8762 | 0     | 1,67 |
| 8283 | 0     | 9,28 | 8363 | 864   | 6,27 | 8443 | 2     | 11,7 | 8523 | 0     | 4,42 | 8603 | 828   | 4,6  | 8683 | 21    | 6,17 | 8763 | 0     | 2,47 |
| 8284 | 0     | 9,58 | 8364 | 949   | 6,58 | 8444 | 0     | 7,32 | 8524 | 0     | 5,98 | 8604 | 812   | 4,67 | 8684 | 0     | 4,8  | 8764 | 0     | 1,32 |
| 8285 | 0     | 12,9 | 8365 | 856   | 6,57 | 8445 | 0     | 1,8  | 8525 | 0     | 7    | 8605 | 871   | 4,53 | 8685 | 0     | 4,45 | 8765 | 0     | 1,27 |
| 8286 | 1     | 12,8 | 8366 | 877   | 6,87 | 8446 | 0     | 0,98 | 8526 | 4     | 7,98 | 8606 | 854   | 4,7  | 8686 | 0     | 4,95 | 8766 | 9     | 2,08 |
| 8287 | 11    | 12,2 | 8367 | 640   | 7    | 8447 | 0     | 0,55 | 8527 | 17    | 8,68 | 8607 | 702   | 5,47 | 8687 | 0     | 4,88 | 8767 | 77    | 0,52 |
| 8288 | 36    | 13   | 8368 | 470   | 7,55 | 8448 | 0     | 0,5  | 8528 | 47    | 8,87 | 8608 | 526   | 5,17 | 8688 | 0     | 5,97 | 8768 | 224   | 0,6  |
| 8289 | 78    | 11,7 | 8369 | 280   | 7,93 | 8449 | 0     | 0,5  | 8529 | 106   | 8,43 | 8609 | 294   | 4,48 | 8689 | 0     | 5,18 | 8769 | 522   | 4,07 |
| 8290 | 98    | 12,2 | 8370 | 93    | 7,7  | 8450 | 0     | 0,5  | 8530 | 176   | 8,05 | 8610 | 99    | 4,63 | 8690 | 0     | 5    | 8770 | 702   | 5,45 |
| 8291 | 167   | 11,6 | 8371 | 19    | 6,88 | 8451 | 0     | 2    | 8531 | 221   | 8,02 | 8611 | 19    | 5,08 | 8691 | 0     | 4,97 | 8771 | 847   | 4,67 |
| 8292 | 144   | 10,8 | 8372 | 0     | 7,6  | 8452 | 0     | 0,65 | 8532 | 125   | 8,78 | 8612 | 0     | 4,83 | 8692 | 0     | 4,42 | 8772 | 879   | 3,42 |
| 8293 | 92    | 11,2 | 8373 | 0     | 7,4  | 8453 | 0     | 0,53 | 8533 | 183   | 10   | 8613 | 0     | 4,12 | 8693 | 0     | 3,88 | 8773 | 895   | 3,13 |
| 8294 | 121   | 11,9 | 8374 | 0     | 5,65 | 8454 | 12    | 0,53 | 8534 | 103   | 12   | 8614 | 0     | 3,02 | 8694 | 3     | 3,73 | 8774 | 844   | 3,93 |
| 8295 | 82    | 11,7 | 8375 | 0     | 5,33 | 8455 | 49    | 0,5  | 8535 | 98    | 10,2 | 8615 | 0     | 0,65 | 8695 | 88    | 1,32 | 8775 | 688   | 5,35 |
| 8296 | 109   | 11,7 | 8376 | 0     | 4,97 | 8456 | 133   | 1,85 | 8536 | 79    | 10,3 | 8616 | 0     | 1,7  | 8696 | 256   | 0,83 | 8776 | 157   | 4,82 |
| 8297 | 96    | 12,3 | 8377 | 0     | 4,3  | 8457 | 192   | 2,35 | 8537 | 53    | 10,8 | 8617 | 0     | 2,97 | 8697 | 529   | 3,05 | 8777 | 49    | 1,63 |
| 8298 | 23    | 11,6 | 8378 | 0     | 3,43 | 8458 | 518   | 5,13 | 8538 | 41    | 9,73 | 8618 | 0     | 2,98 | 8698 | 444   | 2,28 | 8778 | 32    | 2,08 |
| 8299 | 10    | 9,13 | 8379 | 0     | 3,55 | 8459 | 229   | 3,62 | 8539 | 8     | 9,17 | 8619 | 0     | 2    | 8699 | 449   | 3,32 | 8779 | 36    | 4,87 |
| 8300 | 0     | 8,53 | 8380 | 0     | 4,78 | 8460 | 324   | 3,63 | 8540 | 0     | 9,33 | 8620 | 0     | 3,4  | 8700 | 821   | 3,68 | 8780 | 0     | 7,35 |
| 8301 | 0     | 9,12 | 8381 | 0     | 6,37 | 8461 | 159   | 1,22 | 8541 | 0     | 8,43 | 8621 | 0     | 3,3  | 8701 | 877   | 4,25 | 8781 | 0     | 7,03 |
| 8302 | 1     | 9,33 | 8382 | 14    | 2,22 | 8462 | 258   | 0,9  | 8542 | 0     | 7,22 | 8622 | 9     | 3,87 | 8702 | 794   | 4,73 | 8782 | 0     | 6,52 |
| 8303 | 0     | 9,13 | 8383 | 92    | 1,77 | 8463 | 100   | 1,62 | 8543 | 0     | 9,68 | 8623 | 81    | 2,58 | 8703 | 728   | 4,82 | 8783 | 0     | 5,45 |
| 8304 | 0     | 9,12 | 8384 | 341   | 4,53 | 8464 | 149   | 0,93 | 8544 | 0     | 4,07 | 8624 | 346   | 0,62 | 8704 | 521   | 5,85 | 8784 | 0     | 4,52 |
| 8305 | 0     | 7,43 | 8385 | 668   | 6,85 | 8465 | 82    | 2,77 | 8545 | 0     | 1,25 | 8625 | 562   | 2,22 | 8705 | 257   | 6,23 |      |       |      |
| 8306 | 0     | 4,27 | 8386 | 799   | 6,78 | 8466 | 28    | 0,62 | 8546 | 0     | 0,5  | 8626 | 738   | 3,48 | 8706 | 124   | 6,03 |      |       |      |
| 8307 | 0     | 3,42 | 8387 | 863   | 6,68 | 8467 | 5     | 2,15 | 8547 | 0     | 3,07 | 8627 | 870   | 4,45 | 8707 | 24    | 5,98 |      |       |      |
| 8308 | 0     | 2,55 | 8388 | 817   | 7,05 | 8468 | 0     | 3,15 | 8548 | 0     | 5,8  | 8628 | 926   | 6,05 | 8708 | 0     | 4,62 |      |       |      |
| 8309 | 0     | 1,17 | 8389 | 987   | 7,38 | 8469 | 0     | 1,38 | 8549 | 0     | 4,95 | 8629 |       |      |      |       |      |      |       |      |

## ANEXO B – Especificações dos equipamentos

Lista de equipamentos utilizados nas simulações e possíveis de serem utilizados na implementação dos sistemas, com suas respectivas especificações técnicas.

### GERADOR FV (módulo)

Fabricante: Siemens

Modelo: SM55

#### Especificações Técnicas

|   |                |
|---|----------------|
| Potência máxima nominal                                 | 55 W           |
| Corrente nominal  | 3,15 A         |
| Tensão nominal  | 17,4 V         |
| Corrente de curto circuito                              | 3,45 A         |
| Tensão de circuito aberto                               | 21,7 V         |
| NOCT*   | 45 ± 2 °C      |
| Coefficiente de temperatura: corrente de curto circuito | 1,2 mA / °C    |
| Coefficiente de temperatura: tensão de circuito aberto  | - 0,077 V / °C |
| Dimensões   | 1293x329x34 mm |
| Peso  | 5,5 kg         |

As curvas I-V do módulo podem ser vistas na figura 2.4.

### AEROGERADOR

Fabricante: Proven

Modelo: WT15000

#### Especificações Técnicas

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| Potência nominal            | 15 kW   |
| Velocidade de partida       | 2,5 m/s |
| Velocidade de corte         | nenhuma |
| Velocidade de sobrevivência | 65 m/s  |
| Velocidade nominal          | 12 m/s  |
| Diâmetro do rotor           | 9 m     |
| Rotação nominal             | 140 rpm |
| Peso                        | 1100 kg |
| Ruído a 5 m/s               | 48 dBA  |

A curva de potência do aerogerador pode ser vista na figura 4.2.

---

\* Normal Operating Cell Temperature: irradiância = 800 W/m<sup>2</sup>, temp. ambiente = 20 °C, velocidade do vento = 1 m/s.

## GRUPO GERADOR

Fabricante: Stemac  
Combustível: diesel

### Especificações Técnicas

| Intermitente |     | Contínua |     | Motor |        |    |         | Grupo Gerador  |       |      |            |
|--------------|-----|----------|-----|-------|--------|----|---------|----------------|-------|------|------------|
| kVA          | kWe | kVA      | kWe | Marca | Modelo | CV | Nº Cil. | Dimensões (mm) |       |      | Massa (kg) |
|              |     |          |     |       |        |    |         | Comp.          | Larg. | Alt. |            |
| 40           | 32  | 37       | 30  | MWM   | D229-3 | 50 | 3       | 1745           | 720   | 1170 | 765        |
| 55           | 44  | 50       | 40  | MWM   | D229-4 | 67 | 4       | 1880           | 720   | 1170 | 840        |

## BANCO DE BATERIAS (bateria de chumbo-ácido)

Fabricante: Saturnia  
Modelo: OPzS

### Especificações Técnicas

| Tipo      | Capacidade em Ah<br>Descarga até 1,75 V/elem. ref. 25°C |     |     |     |     | Dimensões do Elemento (mm) |       |      | Peso (kg) | Volume de Eletrólito (l) |
|-----------|---|-----|-----|-----|-----|----------------------------|-------|------|-----------|--------------------------|
|           | C10   | C8  | C5  | C3  | C1  | Comp.                      | Larg. | Alt. |           |                          |
| OPzS 500  | 500   | 470 | 421 | 355 | 235 | 166                        | 206   | 530  | 38,6      | 8,9                      |
| OPzS 1000 | 1000  | 950 | 850 | 710 | 436 | 233                        | 210   | 707  | 79,8      | 21,8                     |

## CONTROLADOR

Fabricante: Novus  
Modelo: N1100

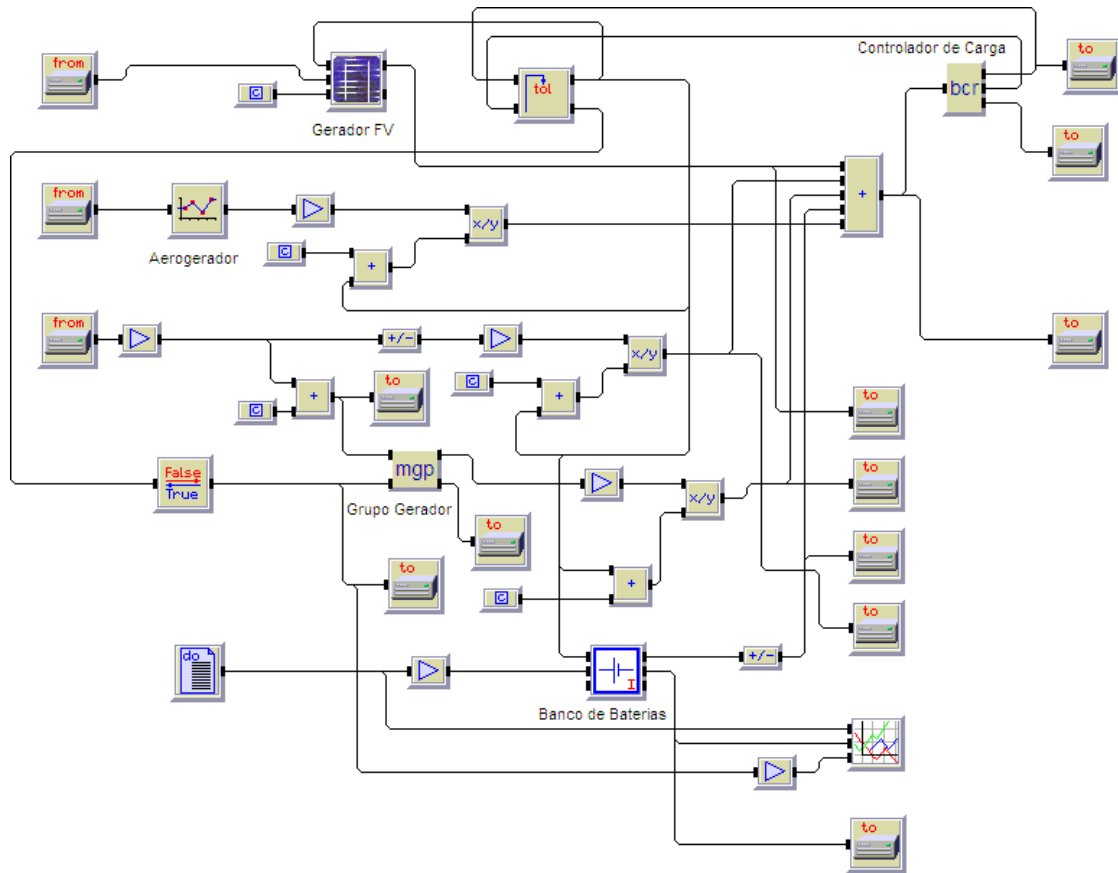
### Especificações Técnicas

|                 |  |
|-----------------|--|
| Alimentação     | 85 a 264 Vca, 50/60 Hz (fonte chaveada) ou 18-30 Vcc |
| Peso aproximado | 150 g  |
| Dimensões       | 48x48x106 mm   |

- Entrada universal multi-sensor, sem alteração de *software*;
- Função automático/manual com transferência “*bumpless*”;
- Três saídas de alarme na versão básica, com funções de mínimo, máximo, diferencial (desvio), sensor aberto e evento;
- *Soft-start* programável.

## ANEXO C – Diagramas dos sistemas utilizados nas simulações

Sistema da comunidade de Marujá nas configurações 2 e 3



Sistema do núcleo Perequê na configuração 1

