

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

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
PARA USO COMUNITÁRIO: LIÇÕES APREENDIDAS E
PROCEDIMENTOS PARA POTENCIALIZAR SUA DIFUSÃO**

Autora: Maria Cristina Fedrizzi

Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Instituto de Física / Faculdade de Economia e Administração), para concorrer ao Título de Doutor em Energia.

São Paulo
2003

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

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
PARA USO COMUNITÁRIO: LIÇÕES APREENDIDAS¹ E
PROCEDIMENTOS PARA POTENCIALIZAR SUA DIFUSÃO**

Autora: Maria Cristina Fedrizzi

Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Instituto de Física / Faculdade de Economia e Administração), para concorrer ao Título de Doutor em Energia.

Orientador: Ildo Luis Sauer

São Paulo
2003

¹ Apreender – Assimilar mentalmente, abarcar com profundidade; compreender, captar. (HOUAISS, 2001)

Fedrizzi, Maria Cristina

Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições apreendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. 174 p., 2003

Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

1. Bombeamento fotovoltaico
2. Abastecimento de água
3. Eletrificação rural
4. Energia solar

Data da Defesa: 15/09/2003

BANCA EXAMINADORA:

Titulares

Prof. Dr. Ildo Luis Sauer – PIPGE/USP – Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Eduardo Lorenzo Pigueras – Universidade Politécnica de Madri

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Adnei Melges de Andrade – PIPGE/USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Ennio Peres da Silva – UNICAMP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Hiroshi Noda – INPA

Julgamento: Aprovado

Suplentes

Prof. Dr. João Tavares Pinho – UFPA

Prof. Dr. Osvaldo Lívio Soliano Pereira – UNIFACS

Aos meus pais, que me estruturaram como pessoa,
ao Roberto, companheiro de projetos e do projeto de vida,
e ao fruto desse amor, Marina.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ildo Sauer, pela orientação e acolhida na minha jornada acadêmica desde o mestrado. Sua particular forma de observar e acompanhar o desenvolvimento de meu trabalho contribuiu de maneira significativa na minha formação acadêmica.

Ao professor Eduardo Lorenzo, pelas sugestões e acompanhamento em momentos pontuais, e por propiciar atividades de campo conjuntas com pesquisadores da Universidade Politécnica de Madrid, na Espanha e no Marrocos.

Ao CNPq – Programa Trópico Úmido e à equipe do INPA, pela acolhida como bolsista no período anterior a este trabalho, o que, pela experiência adquirida, permitiu a elaboração do projeto de pesquisa que efetivou este doutorado.

À FAPESP, por ter viabilizado o auxílio bolsa DR-II e reserva técnica.

Aos professores do IEE e aos colegas do PIPGE, em especial ao Paulo por sua amizade, pelas preciosas vivências de campo e por seus ensinamentos sobre antropologia aplicada, e ao Serginho, pelo singular convívio no dia a dia.

Aos ribeirinhos do Alto Solimões, aos caiçaras do Vale do Ribeira e a todos os habitantes das comunidades pelas quais passei, pela receptividade e ensinamentos de vida.

Ao Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos IEE-USP, por haver propiciado a utilização de suas instalações e pelo financiamento de viagens de campo e da instalação das bancadas de teste necessárias a este trabalho.

E um agradecimento especial ao Roberto, por sua generosidade, incentivo e companheirismo incondicional em todos os momentos.

SUMÁRIO

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas e siglas

Resumo

Abstract

Introdução	1
Capítulo I - Contextualização	5
1.1 O abastecimento de água	5
1.2 Eletrificação rural e o abastecimento de água	15
Capítulo II - Bombeamento fotovoltaico: experiências no Brasil	18
2.1 O estado da arte do bombeamento fotovoltaico	18
2.2 Histórico das aplicações do bombeamento fotovoltaico e principais projetos	24
2.3 Bombeamento fotovoltaico no Brasil	29
2.3.1 Programas do governo federal	30
2.3.2 Programas estaduais e municipais	35
2.3.3 Cooperação Internacional e Organizações Não Governamentais	36
2.3.4 Iniciativa privada	38
Capítulo III – Recurso hídrico, equipamentos, dimensionamento, gestão e organização institucional: problemas e lições apreendidas	39
3.1 Recurso hídrico	42
3.1.1 Captação de água	42
3.1.2 Água, características e uso	45
3.1.3 Tratamento da água	49

3.1.4 Disposição final da água servida	50
3.2 Equipamentos	52
3.2.1 Equipamentos elétricos	52
3.2.2 Equipamentos hidráulicos	56
3.2.3 Equipamentos complementares	59
3.3 Curiosidades e situações inusitadas	61
3.4 Dimensionamento e dimensões dos equipamentos	63
3.4.1 Dimensionamento	63
3.4.2 Dimensões dos equipamentos	66
3.5 Questões institucionais	68
3.6 Capacitação dos agentes envolvidos	70
Capítulo IV – Etapas de realização de projetos fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário	75
4.1 Concepção	77
4.1.1 Conhecimento do problema	78
4.1.2 Disponibilização da água	79
4.1.3 Avaliação do manancial	79
4.1.4 Configuração/solução técnica	81
4.2 Projeto básico	84
4.2.1 Determinação da demanda	88
4.2.2 O recurso solar	100
4.2.3 Sistema de armazenamento	103
4.2.4 Escolha do conjunto motobomba	104
4.3 Implementação	108
4.3.1 Aquisição dos equipamentos e comprovação de suas características	108
4.3.1.1 Comprovação das características dos módulos fotovoltaicos	109
4.3.1.2 Comprovação das características do grupo motobomba	113
4.3.1.2.1 Instrumentação	114
4.3.1.2.2 Critério de aceitação	115
4.3.1.2.3 Exemplo de aplicação do procedimento	116
4.3.1.3 Teste operacional do sistema	118
4.3.1.3.1 Instrumentação	119
4.3.1.3.2 Critério de aceitação	120

4.3.1.3.3 Exemplo de aplicação do procedimento	121
4.3.2 Introdução da tecnologia	125
4.3.3 Gestão e monitoramento	129
Capítulo V – Síntese e conclusões	132
5.1 Síntese	132
5.1.1 Concepção	132
5.1.2 Projeto básico	133
5.1.3 Implementação	134
5.2 Conclusões	135
Anexo I	139
Anexo II	148
Referências bibliográficas	159
Bibliografia consultada	166
Publicações realizadas ao longo do desenvolvimento da pesquisa	174

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribuição interna de água em Machu Picchu, Peru. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	9
Figura 1.2 Ruínas de Tambomachay, Peru. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	9
Figura 1.3 Fonte São José, datada de 1749, Tiradentes, MG. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	10
Figura 1.4 Fundos da fonte ao lado, divisões para coleta de água, lavagem de roupa, e dessedentação de animais. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)	10
Figura 1.5 Banho público, Lençóis, BA. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)	10
Figura 1.6 Fonte do Ribeirão, construída em 1796, MA. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)	10
Figura 1.7 Coleta-transporte de água em carros de boi, sertão de Pernambuco. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	11
Figura 1.8 Mulheres lavam roupa no rio, sertão da Paraíba. (Foto: E. Fedrizzi Filho, 2003).....	11
Figura 1.9 Paisagem típica do sertão nordestino em época de seca, PE. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	11
Figura 1.10 Ponto de coleta de água e bebedouro, sertão de Pernambuco. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	11
Figura 1.11 Barreiro cavado para utilização doméstica da água, AM. (Foto: M C. Fedrizzi, 1999).....	14
Figura 1.12 Mulheres carregam água para tarefas domésticas, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	14
Figura 1.13 Água de igarapé eutrofisada, na seca, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	14
Figura 1.14 Menina bebe água direto do igarapé, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	14
Figura 2.1 Evolução do preço dos módulos no mercado internacional, entre 1981 e 2000. (Fonte: PARENTE et al., 2002)	19
Figura 2.2 Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água. (Fonte: modificado de FRAINDENRAICH, 2002).....	20
Figura 2.3 Configurações de sistemas de bombeamento fotovoltaico mais utilizadas. (Fonte: modificado de KONER, 1991 apud MALBRANCHE et al., 1994).....	21

Figura 2.4 Diagrama expandido de bomba de deslocamento positivo com diafragma e vista externa da mesma. (Fonte: catálogo comercial Shurflo).....	22
Figura 2.5 Diagrama e vista em corte de bomba centrífuga multiestágio. (Fonte: catálogo comercial Grundfos).....	22
Figura 2.6 Diagrama e vista em corte de bomba de deslocamento positivo helicoidal. (Fonte: catálogo comercial Grundfos).....	22
Figura 2.7 Curvas indicativas de utilização de bombas de deslocamento positivo (A) e centrífugas (B).....	23
Figura 2.8 Interior de motobomba Flex, com eletrônica de potência incorporada na carcaça do motor. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	23
Figura 2.9 Boca do poço de um sistema do Projeto Eldorado em Inajá, PE. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	27
Figura 2.10 Boca do poço, croqui do projeto PRS. (Fonte: LORENZO & EGIDO, 1999).....	27
Figuras 2.11 Sistemas de bombeamento fotovoltaico utilizados para irrigação de olivares, instalados nas proximidades de uma rede de transmissão de energia elétrica em Jaén, Espanha.....	28
Figuras 2.12 Sistemas de bombeamento fotovoltaico utilizados para irrigação de olivares, instalados nas proximidades de uma rede de transmissão de energia elétrica em Jaén, Espanha.....	28
Figura 3.1 Problemas registrados em sistemas de bombeamento fotovoltaico, Mali. (Fonte: MALBRANCHE et al., 1994).....	39
Figura 3.2 Problemas registrados em sistemas de bombeamento fotovoltaico, Marrocos. (Fonte: fichas de monitoramento IES, 2002).....	40
Figura 3.3 Incidência de problemas registrados em sistemas de bombeamento fotovoltaico PRODEEM - Nordeste. (Fonte: BEZERRA, 2002).....	41
Figura 3.4 Parâmetros característicos obtidos com a vazão máxima.....	43
Figura 3.5 Boca de poço tipo cacimba, sem proteção, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	44
Figura 3.6 Boca de poço tubular, lacrada, Projeto Eldorado, PE. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	44
Figura 3.7 Consumo médio de água na comunidade de Guanabara II.....	45
Figura 3.8 Consumo média de água na comunidade de Vera Cruz.....	46

Figura 3.9 Diafragma de bomba danificado pela grande quantidade de areia em suspensão existente na água bombeada, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2003).....	47
Figura 3.10 Interior de reservatório, precário cuidado com a limpeza, PTU, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2001).....	47
Figura 3.11 Água para consumo humano em más condições de acondicionamento, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	47
Figura 3.12 Vasilhame de agrotóxico utilizado para a captação e transporte de água para consumo humano, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	49
Figura 3.13 Vasilhame de agrotóxico utilizado para o armazenamento de água para consumo humano, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	49
Figura 3.14 Utilização de água para tarefas domésticas em residência ribeirinha sem rede de distribuição. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	51
Figura 3.15 Utilização de água para tarefas domésticas em residência ribeirinha com rede de distribuição. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	51
Figura 3.16 Módulo fotovoltaico de silício amorfo apresentando manchas róseas na parte central. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	53
Figura 3.17 Módulo fotovoltaico de silício amorfo apresentando degradação do material verificada manchas brancas circulares. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	53
Figura 3.18 Sombreamento de módulos fotovoltaicos por construção contígua, RO. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	53
Figura 3.19 Sombreamento de módulos fotovoltaicos por vegetação arbórea, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	53
Figura 3.20 Sombreamento de módulos fotovoltaicos por poeira, SP.(Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	54
Figura 3.21 Sombreamento de módulos fotovoltaicos por vegetação rasteira, SP. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	54
Figura 3.22 Detalhe de eixo de bomba helicoidal apresentando corrosão galvânica. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	55
Figura 3.23 Detalhe da caixa de controle de um sistema de bombeamento apresentando conexões oxidadas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	56
Figura 3.24 Detalhe da estrutura de sistema de bombeamento fotovoltaico, fiação e conexões inadequadas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	56
Figura 3.25 Conexão de polietileno apresentando rompimento. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	57

Figura 3.26 Tubulação de ferro galvanizado perfurada por corrosão. (Foto: E. Lorenzo, 1998).....	58
Figura 3.27 Tubulação exposta à intempérie, SP. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	59
Figura 3.28 Rede de distribuição disposta na superfície do solo, SP. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	59
Figura 3.29 Torneira em mal estado de fixação, aldeia Kaiowá, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	59
Figura 3.30 Torneiras bem fixadas, comunidade ribeirinha, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	59
Figura 3.31 Borracha de vedação danificada por insetos, Rondônia. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	62
Figura 3.32 Madeira de suporte dos reservatórios apresentando perfurações, São Paulo. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	62
Figura 3.33 Cabo elétrico da bóia de nível do reservatório danificado pela ação de cupins, Amazonas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	63
Figura 3.34. Mangueira de sucção de bomba flutuante danificada por jacaré (Foto: O.S. Brito, 2000).....	63
Figura 3.35 Poço desativado (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	65
Figura 3.36 Estrutura de ponto de coleta de água abandonada. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	65
Figuras 3.37 Infra-estrutura abandonada: reservatório e suporte para gerador fotovoltaico. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	66
Figura 3.38 Módulo fotovoltaico de grandes dimensões e peso. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2003).....	68
Figuras 3.39 Ausência de infra-estrutura de reservatório. (Foto: H.S. Costa).....	71
Figuras 3.40 Ausência de infra-estrutura de reservatório. (Fonte: COSTA & ARAÚJO, 2001).....	71
Figura 3.41 Captação de água manual, sub-utilização do sistema e recontaminação da água. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	72
Figura 3.42 Vazamento nos ramais secundários. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	73
Figura 4.1 Sistema de bombeamento fotovoltaico de superfície. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	81

Figura 4.2 Sistema de bombeamento fotovoltaico em poço tubular, terra firme. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	82
Figura 4.3 Sistema de bombeamento fotovoltaico de superfície instalado em flutuante. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	82
Figura 4.4 Sistema de bombeamento na várzea, em terreno com baixa permeabilidade, em época de estiagem.(Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	83
Figura 4.5 Esquema ilustrativo do sistema ao lado.....	83
Figura 4.6 Sistema de bombeamento na várzea, em terreno com baixa permeabilidade, em época das chuvas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	83
Figura 4.7 Esquema ilustrativo do sistema ao lado.....	83
Figura 4.8 Parâmetros do poço ao longo de um turno de bombeamento (válido para mananciais não confinados, não artesianos).....	85
Figura 4.9 Aumento do consumo de água com a aproximação dos pontos de coleta às residências, comunidade de Nova Aliança.....	91
Figura 4.10 Aumento do consumo de água com a aproximação dos pontos de coleta às residências, comunidade de Vera Cruz.....	91
Figura 4.11 Flutuação sazonal do consumo de água na comunidade de Vera Cruz.....	92
Figura 4.12 Paisagem típica da região do Vale do Rio Dräa, Marrocos, com a comunidade de Iferd ao fundo. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	92
Figura 4.13 Lavagem de louça em comunidade bérbere, Marrocos. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	94
Figura 4.14 Lavagem das mãos antes das refeições em comunidade bérbere, Marrocos. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	94
Figura 4.15 Utensílios de quarto de banho em comunidade rural marroquina. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	94
Figura 4.16 Jarra metálica utilizada para o aquecimento de água para higiene pessoal. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	94
Figura 4.17 Paisagem típica da região do Alto Rio Solimões. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002).....	95
Figura 4.18 Paisagem da Mata Atlântica Litorânea do estado de São Paulo, nas proximidades da comunidade aqui tratada. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	96
Figura 4.19 Cena típica da vida ribeirinha do Alto Solimões, mulheres lavam roupas e louça, e crianças brincam no rio. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2001).....	96

Figura 4.20 Mulheres caiçaras lavam louça em riacho. (Foto: R. Zilles, 1999).....	96
Figura 4.21 Canoas e barcos são o principal meio de transporte na Região Amazônica. (Foto: M.C.Fedrizzi, 2002).....	97
Figura 4.22 Pintura Ticuna, Museu Magüta. (Autor: G. Meremücü).....	97
Figura 4.23 Distribuição temporal da irradiância ao longo de um dia nublado.....	101
Figura 4.24 Distribuição temporal da irradiância ao longo de um dia ensolarado...	101
Figura 4.25 Irradiação solar diária em superfície horizontal do mês de fevereiro de 2002 na estação do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do IEE-USP.....	101
Figura 4.26 Parâmetros para a determinação da radiação no plano do gerador fotovoltaico.....	102
Figura 4.27 Ferramenta gráfica para a escolha do conjunto motobomba. (Fonte: catálogo comercial).....	105
Figura 4.28 Ferramenta gráfica para a escolha do conjunto motobomba. (Fonte: catálogo comercial.).....	105
Figura 4.29 Curva <i>Corrente x Tensão</i> de uma bomba de diafragma.....	106
Figura 4.30 Intervalo de aplicação para diferentes modelos de bomba centrífuga. (Fonte: Catálogo comercial.).....	107
Figura 4.31 Curva característica I-V, corrente de curto circuito (I_{sc}), tensão de circuito aberto (V_{oc}), corrente de máxima potência (I_m), tensão de máxima (V_m), ponto de máxima potência (P_m).....	110
Figura 4.32 Resultados de medidas de potência nominal de uma amostra de módulos. (ZILLES et al., 1998).....	111
Figura 4.33 Resultados de medidas de potência nominal de uma amostra de módulos. (ZILLES et al., 1998).....	111
Figura 4.34 Vista de bancada simplificada de teste, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, USP. (M.C. Fedrizzi, 2001).....	114
Figura 4.35 Diagrama esquemático de bancada de teste simplificada.....	115
Figura 4.36 Medidas com fonte CC e seus respectivos ajustes, bombas SH 9.3.....	117
Figura 4.37 Medidas a sol real e ajustes obtidos com fonte CC, bombas SH 9.3...	117
Figura 4.38 Resultado de aplicação do procedimento, curvas de catálogo e resultados experimentais bomba helicoidal.....	118

Figura 4.39 Diagrama esquemático de sistema de bombeamento para teste operacional.....	120
Figura 4.40 Irradiação Solar para o dia 22/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.....	121
Figura 4.41 Irradiação Solar para o dia 23/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.....	122
Figura 4.42 Irradiação Solar para o dia 24/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.....	122
Figura 4.43 Irradiação Solar para o dia 29/03/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.....	123
Figura 4.44 Irradiação Solar para o dia 30/03/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.....	123
Figura 4.45 Irradiação Solar para o dia 01/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.....	124
Figura I.1 Principal meio de transporte utilizado pelos habitantes do Varadouro. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	140
Figura I.2 Caminho para o Varadouro. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	140
Figura I.3 Roça de arroz tradicional (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	141
Figura I.4 Remos de madeira feitos artesanalmente (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	141
Figura I.5 Confeção artesanal de farinha de mandioca. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	141
Figura I.6 Confeção artesanal de beiju de farinha de arroz. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	141
Figura I.7 Menina lava roupa no riacho. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	142
Figura I.8 Mulher lava roupa no riacho. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	142
Figura I.9 Mulheres lavam louça no riacho. (Foto R. Zilles, 1998).....	142
Figura I.10 Transporte dos materiais do porto do Barranco Alto até a comunidade. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	143
Figura I.11 Construção das lavanderias coletivas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	143
Figura I.12 Preparação de material para a confecção dos poços. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	144
Figura I.13 Abertura dos poços. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	144

Figura I.14 Instalação dos reservatórios. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	144
Figura I.15 Confeção dos filtros dos poços. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	144
Figura I.16 Instalação dos módulos fotovoltaicos. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	144
Figura I.17 Instalação dos tanques nas lavanderias. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	144
Figura I.18 Consumo médio diário mensal por pessoa por dia do poço jabuticabeira – Varadouro.....	145
Figura I.19 Orientação das mulheres quanto à utilização das lavanderias. (Foto: R. Fedrizzi, 1998).....	146
Figura I.20 Menina aprendendo a lavar roupa no tanque. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	146
Figura I.21 Reunião da Associação dos Moradores da Comunidade do Varadouro. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	146
Figura I.22 Festa de comemoração da instalação das lavanderias. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	146
Figura II.1 Sistema de coleta de água da chuva. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	150
Figura II.2 Manipulação de água da chuva para consumo humano. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	150
Figura II.3 Meninas lavam roupa no Rio Solimões. (foto: M.C. Fedrizzi, 2000).....	151
Figura II.4 Mãe e filhas tomam banho no rio. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	151
Figura II.5 Transporte de materiais para a confecção de poços. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	153
Figura II.6 Perfuração de um poço. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	153
Figura II.7 Montagem da estrutura dos módulos fotovoltaicos. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	153
Figura II.8 Instalação da rede hidráulica. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	153
Figura II.9 Instalação da estrutura dos pontos de coleta de água. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	154
Figura II.10 Instalação de um grupo motobomba. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	154
Figura II.11 Crianças construindo seu sistema de bombeamento fotovoltaico. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	154
Figura II.12 Crianças construindo seu sistema de bombeamento fotovoltaico. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	154

Figura II.13 Ponto de coleta de água de Vera Cruz.(foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	156
Figura II.14 Ponto de coleta de água de Tupi. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999).....	156
Figuras II.15 Desenho realizado pelos habitantes de Novo Paraíso retratando suas comunidades e os sistemas de energização fotovoltaica.....	156
Figuras II.16 Desenho realizado pelos habitantes de Novo Paraíso retratando suas comunidades e os sistemas de energização fotovoltaica.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Levantamento dos sistemas de bombeamento fotovoltaico adquiridos para serem instalados em comunidades rurais no Brasil, entre 1981 e 2002.....	30
Tabela 2.2. Demonstrativo de aquisição de sistemas fotovoltaicos PRODEEM, de 1995 a 2002.....	33
Tabela 3.1 Incidência de problemas em componentes dos sistemas de bombeamento fotovoltaico PRODEEM – Nordeste, por estado.....	55
Tabela 4.1 Valores comparativos de consumo médio de água entre comunidades rurais abastecidas por sistemas de bombeamento fotovoltaico.....	99
Tabela 4.2 Dados de irradiação solar média diária mensal horizontal para Cananéia, SP, latitude -25°	103
Tabela 4.3 Valores da Irradiação solar diária medida, I_{med} , volume diário obtido no teste, Q_{dmed} , volume diário corrigido às condições de referência, Q_{dcor} , e diferença percentual, %.....	122
Tabela 4.4 Valores da Irradiação solar diária medida, I_{med} , volume diário obtido no teste, Q_{dmed} , volume diário corrigido às condições de referência, Q_{dcor} , e diferença percentual, %.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CELPE – Companhia de Eletricidade de Pernambuco
- CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
- CERB – Companhia de Energia Rural da Bahia
- CIEMAT – *Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales Y Tecnológicas de Madrid*
- CILSS – *Comité Permanent Inter.-Estats de Lutte Contre la Sécheresse dans le Sahel*
- COELCE – Companhia de Eletricidade do Ceará
- COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais
- FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
- FUNASA – Fundação nacional da Saúde
- GTZ – *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*
- IEE-USP – Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo
- MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia
- MEDA – Programa de Bombeamento Fotovoltaico em países Mediterrâneos Região Mediterrânea do Marrocos, Argélia e Tunísia
- MME – Ministério de Minas e Energia
- MS – Ministério da Saúde
- PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
- PRODESAS – Programa de Desenvolvimento Sustentável do Alto Solimões
- PRS – Programa Regional Solar
- PTU – Programa do Trópico Úmido
- RDS – Reserva de Desenvolvimento Sustentável
- RDSM – Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá
- UNESCO – Organização das nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
- AM – massa de ar
- CPO – Condições Padrão de Operação
- W – Watt
- Wp – Watt pico
- kWp – quilowatt pico
- MWp – megawatt pico
- W/m² – Watt por metro quadrado

kWh/m² – quilowatt hora por metro quadrado
kWh/m².dia – quilowatt hora por metro quadrado dia
kg - quilograma
m – metro
m² – metro quadrado
m³ – metro cúbico
m³/dia – metro cúbico por dia
” – polegada
% – porcentagem
°C – grau Celsius
R\$ – real
US\$ – dólar
A – corrente (ampére)
V – tensão (Volt)
CC – corrente contínua
CA – corrente alternada
ha – hectare
 H_E – nível estático
 H_D – nível dinâmico
 H_R – altura do reservatório
 H_V – altura vertical
 H_F – perda de carga na tubulação
 H_T – altura total –
 I_{MED} – irradiação medida
 I_{REF} – irradiação de referência
 I_C – nível crítico
 Q – vazão
 Q_h – vazão horária
 Q_d – vazão diária
 Q_M – vazão máxima
 Q_R – capacidade de reposição
 Q_{dcor} – vazão diária corrigida
 Q_{dmed} – vazão diária medida
 Q_{dpro} – vazão diária de projeto

G – irradiância sobre o plano de gerador
 G_{REF} – irradiância de referência
 P_H – potência nominal
 P_{NOM} – potência hidráulica
 P_o – potência mínima de funcionamento do motor
 P_i – potência de arranque do motor
 p_f – perda por atrito
 η_{MP} – eficiência do conjunto motobomba
 η_G – eficiência do gerador
 η_I – eficiência do inversor
 ρ – densidade da água
 γ – azimute
 β – inclinação
 g – aceleração da gravidade

RESUMO

FEDRIZZI, M. C. **Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão.** 2003. 172 p. Tese de doutorado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

Este trabalho faz um levantamento e análise dos principais problemas relacionados ao abastecimento de água a populações rurais remotas, com a utilização da tecnologia de bombeamento solar fotovoltaica. Observa que a ocorrência de problemas está, em grande parte das vezes, relacionada a outros parâmetros que não à confiabilidade da tecnologia propriamente dita. Questões como o tipo de concepção e implementação do projeto, a forma de introdução do sistema na comunidade, o tipo de abastecimento pré-existente, o grau de organização e informação dos usuários, além de características sócio-culturais da população beneficiada têm grande influência na utilização e durabilidade do empreendimento. São analisadas as etapas de realização de projetos fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário e finaliza com orientações e procedimentos para a implementação deste tipo de tecnologia.

Palavras-chave: bombeamento fotovoltaico, abastecimento de água, eletrificação rural, energia solar.

ABSTRACT

FEDRIZZI, M. C. **Community water supply with photovoltaic systems: lessons learned and procedures to improve its diffusion.** 2003. 172 p. Thesis (doctor degree) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

This work develops a survey and performs an analysis of the main problems related to water supply for remotes communities, using photovoltaic pumping systems. Problems detected are mainly related to parameters others than technology reliability and performance. Questions such: project conception and implementation, project introduction to the community, the kind of existing water supply, the level of users organization and information, besides socio-cultural characteristics of the community, decisively influences facility durability and utilization. Community water supply projects design and implementation steps are reviewed and analyzed. Procedures and recommendations for project development and implementation are proposed.

Key-words: photovoltaic pumping, water supply, rural electrification, solar energy.

AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Autora: Maria Cristina Fedrizzi

Instituição: Universidade de São Paulo

Av. prof. Luciano Gualberto, 1289

CEP 05508-900

São Paulo

A pesquisa aqui desenvolvida contou com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, processo nº 98/14782-9.

Planeta Água

Guilherme Arantes

*Água que nasce na fonte serena do mundo e que abre o profundo grotão
Água que faz inocente riacho e deságua na corrente do ribeirão
Águas escuras dos rios que levam a fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias e matam a sede da população
Águas que caem das pedras no véu das cascatas ronco de trovão
E depois dormem tranqüilas no leito dos lagos, no leito dos lagos
Água dos igarapés onde Iara mãe d'água é misteriosa canção
Água que o sol evapora pro céu vai embora virar nuvens de algodão
Gotas de água da chuva alegre arco-íris sobre a plantação
Gotas de água da chuva tão tristes são lágrimas na inundação
Águas que movem moinhos são as mesmas águas que encharcam o chão
E sempre voltam humildes pro fundo da terra, pro fundo da terra
Terra planeta água... terra planeta água
Terra planeta água.*

INTRODUÇÃO

Access to safe water is a fundamental human need and, therefore, a basic human right. Contaminated water jeopardizes both the physical and social health of all people. It is an affront to human dignity¹.

O direito à saúde tem sido a tônica da Organização Mundial da Saúde nos últimos cinquenta anos e foi reconhecido como direito da humanidade no artigo 12.1 da Convenção Internacional de Direito Econômico, Social e Cultural da Organização das Nações Unidas, em vigor desde 1976. Esse direito permeia determinantes de saúde subjacentes, sendo os principais o acesso à água potável e o adequado serviço de saneamento básico. No entanto, dos 6 bilhões de habitantes do planeta, pelo menos 1,2 bilhão não tem acesso à água potável. (WHO, 2003)

A Conferência do Milênio, promovida pelas Nações Unidas em 2000, determinou que seja reduzido à metade o número de pessoas sem acesso à água potável, até o ano de 2015. Para viabilizá-lo, é imperativo prover soluções energéticas que facilitem a difusão do acesso à água, pois grande parte da população com deficiência no abastecimento de água carece de energia para sua captação e transporte. (WHO, 2003)

O meio rural empobrecido necessita, dentre outras coisas, de meios tecnológicos e energéticos para seu desenvolvimento. As tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis (fotovoltaica, eólica, pequenos aproveitamentos hidroelétricos) têm alcançado bons níveis de maturidade e confiabilidade, o que as torna opções viáveis para a solução desse tipo de problema no meio rural. No entanto, a disseminação dessas tecnologias tem sido limitada e pouco eficaz em muitos casos, podendo-se encontrar inúmeros projetos desativados e sucateados. Nesse contexto, tem-se a aplicação da tecnologia fotovoltaica como alternativa para a solução do problema de abastecimento de água em muitas regiões. Contudo, em que pese a maturidade e a confiabilidade dessa tecnologia, muitos problemas de adaptabilidade e

¹ Kofi Annan, secretário-geral da Organização das Nações Unidas. (WHO, 2003)

operação são registrados, revelando debilidade dos procedimentos de transferência da tecnologia.

Conforme a tecnologia avança, as causas de falhas por razões puramente técnicas são cada vez menores, o que sugere a necessidade de revisar o processo de transferência da tecnologia como um elemento crítico para assegurar o bom funcionamento e a durabilidade dos empreendimentos no tempo. Introduzir novas tecnologias para melhorar a qualidade de vida em zonas rurais é um exercício de inovação do entorno social. Como tal, as variáveis do processo de transferência vão além da questão tecnológica, incluindo aspectos sociais, econômicos, políticos, institucionais e ambientais, e, por sua vez, o número e a variedade de atores que participam em iniciativas de melhoria do meio rural se fazem cada vez maiores. Pela variedade de tecnologias existentes, pela ampla gama de condições do entorno físico onde essas vão ser aplicadas, pelo vasto número de parâmetros envolvidos no processo, pela diversidade cultural dos potenciais usuários e pelo crescente número de atores e programas de assistência ao meio rural, observa-se que o processo para a transferência tecnológica em tais condições se torna complexo e requer elementos que costumam estar ausentes dos padrões convencionais de transferência tecnológica. (CYTED, 2003)

O presente trabalho tem como objetivo genérico um aprofundamento da análise da implementação e manutenção de projetos de bombeamento fotovoltaico de uso comunitário. Busca-se, dentre outras coisas, determinar e analisar os problemas mais relevantes que ocorrem nesse tipo de empreendimento, detectando suas causas e conseqüências. A finalidade maior é subsidiar proposições de procedimentos a serem aplicados em programas/projetos dessa natureza, em suas distintas etapas, que reduzam os índices de falhas e incrementem o processo de transferência/adoção, de forma que o usuário faça o melhor uso possível da tecnologia.

A principal motivação para a realização deste trabalho se sustenta na constatação da existência de um grande número de sistemas de bombeamento fotovoltaico de uso comunitário espalhados, principalmente, nas zonas rurais de países em desenvolvimento, e em particular no Brasil, os quais não funcionam adequadamente, gerando assim descontentamento e descrédito na tecnologia. Parte-se da premissa de que a ocorrência de problemas em sistemas de bombeamento de água de uso comunitário com energia solar fotovoltaica, em grande parte das vezes, está relacionada a outros parâmetros que não à confiabilidade técnica propriamente dita.

Questões como o tipo de concepção e implementação do projeto, a forma de introdução do sistema na comunidade, o tipo de abastecimento preexistente, o grau de organização e informação dos usuários, além de características socioculturais, religiosas, ambientais e econômicas da população, têm grande influência no resultado final.

A metodologia de pesquisa contou com uma extensa revisão bibliográfica, com o levantamento do histórico e do estado da arte do bombeamento fotovoltaico, com exaustivo trabalho de campo na forma de questionários, avaliações técnicas e implementações de projetos, bem como com trabalho em laboratório de bombas e participação em eventos científicos relacionados ao tema.

No trabalho de avaliação de projetos foram visitados o Projeto Eldorado em Pernambuco, o Programa Trópico Úmido – Mamirauá, no Amazonas, dezenas de instalações do PRODEEM nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rondônia, instalações da COPASA em Minas Gerais, instalações de abastecimento de água em aldeias indígenas Waiãpi, no Amapá, e instalações de um projeto no Marrocos. Este, por suas características técnicas, organizacionais e culturais, serviu de contraponto aos projetos brasileiros.

Com relação ao trabalho de implementação de sistemas, foram concentrados esforços para a implantação do Proyecto Piloto de Suministro de Agua com Sistemas de Bombeo Fotovoltaico a las Comunidades del Retiro y Varadouro, Cananéia, no estado de São Paulo, e do Projeto de Energização Solar Fotovoltaica de Quatro Comunidades Isoladas na Região do Alto Solimões, ampliado para um total de sete comunidades caboclas e indígenas.

No que diz respeito ao trabalho de laboratório, foi montada uma bancada para teste de bombas no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos IEE-USP, tendo sido os resultados contrastados no laboratório de bombas do Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas de Madrid – CIEMAT.

O texto foi dividido em seis capítulos, sendo que o capítulo I faz uma contextualização da questão do acesso e do abastecimento de água, desde sociedades pré-históricas aos nossos dias.

O capítulo II mostra o estado da arte da tecnologia de bombeamento fotovoltaico, retoma o histórico de suas aplicações e apresenta os principais programas/projetos brasileiros.

O capítulo III promove um levantamento dos problemas mais relevantes encontrados em campo e das lições apreendidas no decorrer da pesquisa.

No capítulo IV, o empreendimento de bombeamento fotovoltaico é dividido em cinco subitens – concepção, dimensionamento, implementação, introdução da tecnologia e gestão e monitoramento –, os quais são analisados em suas particularidades e em sua relação com o todo para o bom funcionamento do empreendimento.

O capítulo V apresenta sugestões de procedimentos a serem tomados com vistas a evitar problemas de comum ocorrência nesse tipo de empreendimento e expõe as principais conclusões extraídas do trabalho de tese.

CAPÍTULO I

ÁGUA E ELETRIFICAÇÃO RURAL

Este capítulo busca fazer uma breve contextualização da questão do abastecimento de água, mostrando que, apesar de muitos povos da Antiguidade terem dominado essa matéria com tecnologias avançadas para a época, hoje em dia o acesso à água potável ainda é uma questão não equacionada para grande parcela da população de países em desenvolvimento que, em grande parte das vezes, esbarra na falta de disponibilidade energética para a prestação do serviço. A ausência do serviço elétrico ocorre em função de dificuldades geográficas (impostas pela grande dispersão ou por particularidades locais como regiões insulares, montanhosas ou alagadiças), econômicas, políticas, dentre outras. Contudo, semelhante condição de contorno revela um nicho para a aplicação de sistemas de geração autônoma de energia a partir de fontes renováveis locais. No leque de opções tecnológicas encontram-se os sistemas fotovoltaicos de bombeamento, foco de atenção deste trabalho, e, conforme será demonstrado, inúmeras questões devem ser consideradas, para que o serviço funcione a contento.

1.1 O abastecimento de água

Sabe-se que tanto a escassez quanto a má qualidade da água podem causar graves problemas sanitários, nutricionais e econômicos às populações afetadas. Assim como o acesso à água é de fundamental importância para a sobrevivência do ser humano, seu bom uso o é em igual medida. Ao longo da história encontram-se inúmeros exemplos de civilizações que prosperaram e sucumbiram por questões relacionadas à água.

A água sempre foi um símbolo importante nas lendas, mitos e histórias de muitas culturas e sociedades tradicionais. É o caso da sociedade Inuit (esquimós), que dependia dos seres aquáticos para sua alimentação e tinha como principal divindade a deusa da água Nuliajuk. Além da alimentação, Nuliajuk forneceu gelo para a construção de suas casas e “(...) quando ela retirasse suas dádivas, ninguém poderia viver” (BARLOW & CLARKE, 2003, p. 4).

Darci Ribeiro (1997), em *O Processo Civilizatório*, com sua magnífica e particular forma de narrar a história, faz um denso apanhado da importância que o domínio da água teve no desenvolvimento tecnológico da civilização, principalmente durante a “Civilização do

Regadio”, que vai desde a Mesopotâmia (2350 a.C.) até as Américas, com a queda dos impérios Maia, Asteca e Inca (o último em 1532 d.C.).

Hèmery et al. (1993) afirmam que, embora não seja possível por um único critério designar a data que separa as comunidades neolíticas das primeiras civilizações históricas, constata-se no início do IV milênio antes da era cristã, no oeste e no sudeste da Ásia, a emergência de um conjunto de focos de civilização que irão influenciar toda a história da humanidade. Esses focos aparecem nos grandes vales aluviais (Indo, Tigre, Eufrates, Nilo) e a técnica privilegiada de desenvolvimento de seus sistemas energéticos é a cultura irrigada de cereais, com o controle da água, suporte obrigatório das primeiras grandes concentrações humanas da história e do surgimento dos primeiros Estados.

Os mesmos autores falam com relação à China – por mais longe que se volte na proto-história, seu modelo energético impressiona pela produtividade alimentar. Esse modelo, baseado em cereais de alto rendimento calórico (milheto e trigo no norte, arroz no centro e no sul), decorre do domínio de uma hidráulica racional e permanente.

Nesse contexto, outros autores salientam a importância da água para alguns povos, como o da Roma Imperial, o que pode ser visto neste trecho:

“Juntamente com os anfiteatros, os aquedutos são, sem dúvida, os monumentos mais representativos do poderio e permanência de Roma. Impressionantes pela quantidade, pela altura e pela aparente solidez de seus arcos que ainda se erguem baixo o céu (...). Na realidade, a água dos aquedutos é antes de tudo a dos usuários; satisfaz às necessidades cotidianas, abastece as indústrias, saneia as latrinas e esgotos, protege do fogo, serve de espetáculo, fomenta o gosto pelo luxo e reúne a cada entardecer milhares de pessoas nas faustuosas termas que lhes oferecem os imperadores. É também a dos engenheiros e técnicos, capazes de fazê-la escorrer corretamente por trajetos muitas vezes acidentados, distribuí-la pelas cidades e evacuá-la. É, por último, a de um poder que se afirma, ao longo da história de Roma, mediante a construção de novas instalações e seu financiamento por uma administração encarregada de reger, manter e supervisionar a traída de águas para regozijo do povo e glória de seus príncipes.” (MALISSARD, 2001, p. 17).

É com esses dizeres que Malissard inicia seu livro sobre os usos e a importância da água na Roma Imperial. Baseado em profunda pesquisa, tanto em estudos arqueológicos e históricos, como nas obras arquitetônicas remanescentes, o autor mostra o significado da água na vida,

saúde, cultura e economia romana de então, o que pode ser transportado, com menor opulência e exageros, mas sem diminuir em importância, para inúmeras outras culturas.

Dizer que “sem água não há vida”, em função das necessidades hídricas dos organismos vivos, é por todos sabido, mas também é certo que da capacidade hídrica de determinado espaço geográfico depende, em grande medida, suas possibilidades de manutenção e de desenvolvimento econômico. Ao longo da história, cada sociedade utilizou-se da água segundo seus meios humanos e técnicos, muitas vezes normatizando seu uso em função da otimização do recurso.

A presença desse imprescindível bem natural condicionou, desde as origens históricas da humanidade, a distribuição dos povoamentos, além de ter estreita relação na sua estrutura social. A exploração energética da água na produção agrária e artesanal européia influenciou decisivamente na expansão econômica operada no Ocidente entre os séculos XI e XIV. Já na época moderna, quando ao longo do século XIX se produziu a Revolução Industrial na Europa, a água constituiu a principal fonte energética nos processos de transformação agroartesanais. Também depois, já que em plena Revolução Industrial a “máquina térmica” utilizava carvão como fonte quente e água como fonte fria. Como as eficiências eram baixas ($\approx 3\%$ na máquina de Watt), grandes quantidades de água evaporavam, por unidade de potência. (MARTÍNEZ et al., 1998)

Além de influenciar estrategicamente na localização de povoamentos humanos, a água decidiu o nome de inúmeras regiões e cidades, direta ou indiretamente, sendo um dos exemplos mais interessantes em termos da permanência de seu significado no tempo, a despeito das inúmeras culturas que por lá passaram, o nome da cidade de Madri.

Como povoação dispersa, Madri já existia desde a época pré-histórica, mas foi na época visigoda, com população dedicada à caça e ao pastoreio, que a aldeia recebeu o nome de *Matrice*, que significava “arroio matriz”. Com a chegada dos árabes, e apesar de existir o caudaloso rio Manzanares em sua parte baixa, por motivos de segurança a cidade permaneceu nos altos, abastecendo-se dos arroios e canais subterrâneos existentes, nessa época conhecida como *Mayrit* ou “mãe de água”, “formadora de água”. Após a reconquista pelos cristãos, apesar de já começar a contar com características climatológicas semi-áridas, a cidade manteve seu nome, agora em latim, *Madrid*. (PRESA, 1979)

Desde a Antiguidade, o controle da água implicou poder no Oriente Médio, onde ela é particularmente rara. Gioda (1985), parafraseando Wittfogel, fala em “civilizações hidráulicas” baseadas na propriedade e no domínio da gestão da água. As civilizações egípcia

e assíria e o reino de Sabá são exemplos disso, florescendo em ambientes tão áridos como o são atualmente.

No século VIII a.C., os *quanats* – canais artificiais subterrâneos que transportavam a água a grandes distâncias – foram inventados pelo povo Urartu, na atual Turquia. Essa exploração das águas, geralmente viabilizada pela drenagem de aquíferos, se difundiria na Pérsia, no Egito, na Índia, na Grécia e no Magreb¹, onde eram conhecidas como *foggaras*, e nas Canárias e Península Ibérica, como *galerías* ou *viajes de agua*. (GIODA, 1985; PRESA, 1979)

Gioda (1985), referenciando Dan Gill, propõe um cenário baseado no Antigo Testamento, no qual a posse de Jerusalém pelo rei Davi teria sido feita pela tomada dos condutos subterrâneos da cidade, alimentados pelas águas da fonte de Gihon. No entanto, o caso registrado que expressa a grande importância da água para a manutenção dos impérios foi a queda do reino de Sabá, atribuída à destruição da única represa de Marib, no século III d.C. (GIODA, 1985)

Na atualidade, Israel é um exemplo da importância da água para um povo, e de sua utilização racional e tecnificada. Cuidadosamente monitorados, seus poucos recursos hídricos são submetidos a uma intrincada rede de uso e reuso, viabilizando não só a vida, como uma alta produtividade agrícola em zonas desérticas.

Outra questão contemporânea bem conhecida são os conflitos existentes com relação aos rios internacionais, em que os países situados a montante podem controlar sua vazão. O Egito, por exemplo, depende da situação política da Etiópia, local de formação do Nilo, cujo aumento do consumo do recurso hídrico poderia pôr em risco a agricultura irrigada por meio da represa de Assuã. (GIODA, 1985)

Nas Américas, alguns povos haviam alcançado, vários séculos antes da chegada dos europeus, um alto grau de desenvolvimento no campo da tecnologia hidráulica. As culturas hidráulicas mais desenvolvidas, as que dominavam técnicas agrícolas de irrigação e armazenamento de água, se encontravam ao longo das regiões mais altas. Devido ao relevo íngreme, os incas construíram terraços com a finalidade de reduzir a velocidade da água e viabilizar a irrigação.

Além disso, ao longo de seu império (do norte do Chile ao sul do Equador), os incas, por exemplo, construíram perfeitas redes hidráulicas em pedra, para o transporte de água a grandes distâncias, as quais, em sua maioria, foram poupadas da destruição pelos espanhóis colonizadores, por serem de grande utilidade para a agricultura e sobrevivência das

¹ O Magreb – “onde o sol se põe” – corresponde à porção ocidental do norte da África.

populações locais. Muitas dessas construções ainda são utilizadas pelos camponeses para a irrigação, ou mantidas como relíquias a céu aberto, tendo sido tombadas pela UNESCO como Patrimônio Cultural da Humanidade. As figuras 1.1 e 1.2 ilustram o sistema de distribuição de água da “*ciudad sagrada de Machu Picchu*” e as ruínas de Tambomachay, também conhecidas como “*baños de las Ñustras y del Inca*”, respectivamente.

No Brasil, um dos mais importantes marcos da arquitetura colonial são as inúmeras fontes construídas nos povoados da época. Era em volta das fontes que a vida local acontecia. Costumeiramente de localização cêntrica, as fontes eram pontos de encontro e local de realização de várias atividades urbanas, como a lavagem de roupas e a dessedentação dos animais de carga. Com a chegada da distribuição da água até o interior das residências, houve uma grande desativação das fontes. No entanto, em muitos locais elas foram mantidas por questões arquitetônicas relacionadas ao patrimônio histórico, sendo ainda utilizadas. Grande reducto dessas fontes encontra-se entre os estados de Minas Gerais e Bahia, mais especificamente nas regiões das “Cidades do Ouro e dos Diamantes” (figuras 1.3, 1.4 e 1.5). Destaca-se, ainda, pela idade e importância cultural de suas fontes, o estado do Maranhão, sendo a fonte do Ribeirão datada de 1796, situada no centro da cidade de São Luís, local onde anualmente tem início a principal festa popular e atração turística daquele estado, o Bumba-meu-boi (figura 1.6).



Figura 1.1 – Distribuição interna de água em Machu Picchu, Peru. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

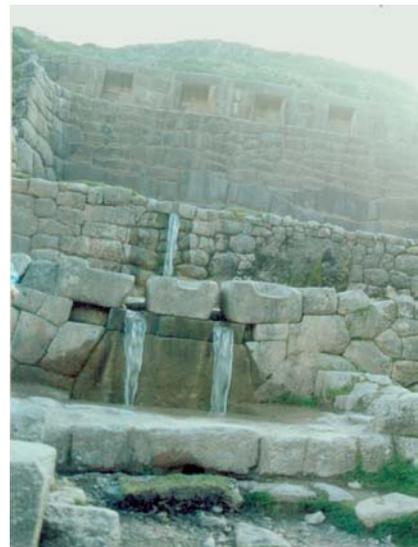


Figura 1.2 – Ruínas de Tambomachay, Peru. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

Em muitas das fontes se observa uma preocupação arquitetônica de caráter não só estético, mas também prático e sanitário, como o cuidado com a orientação e proteção da bica contra o

vento dominante, a existência de base sólida para apoiar os recipientes de coleta, a divisão desta em função de distintas utilizações, e sua localização no povoamento.



Figura 1.3 – Fonte São José, datada de 1749, em Tiradentes, MG. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 1.4 – Fundos da fonte ao lado, com divisões para coleta de água, lavagem de roupa e dessedentação de animais. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 1.5 – Banho público em Lençóis, BA. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 1.6 – Fonte do Ribeirão, construída em 1796, em São Luís, MA. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

No extremo sul do Brasil, foram encontrados importantes remanescentes arquitetônicos das Reduções Jesuítas junto aos Guarani, em São Miguel das Missões. Além dos vestígios do que teria sido a primeira fundição de metais da América, datando de 1676, os achados relatam um importante complexo hidráulico incluindo aquedutos e piscinas públicas (TAVARES, 1999).

Apesar da riqueza hídrica do País², e das informações que se podem obter em estudos

² O Brasil possui uma das maiores redes hidrográficas do mundo, além de extensas reservas de águas subterrâneas. A gigantesca bacia Amazônica, com mais de 7 milhões de quilômetros quadrados, dos quais 3,9 milhões passam pelo território brasileiro, é a maior do planeta. As águas encontradas no subsolo brasileiro têm reservas estimadas de 112 bilhões de metros cúbicos. Só o Aquífero Guarani, principal reserva subterrânea de água doce da América do Sul, do qual dois terços de suas águas encontram-se em subsolo brasileiro, pode fornecer até 43 bilhões de metros cúbicos de água por ano, suficientes para abastecer uma população de 500 milhões de habitantes. (BARLOW & CLARKE, 2003)

historiográficos com relação às formas de solucionar a questão do acesso à água, ainda hoje existe uma vultosa população que não tem esse problema solucionado. No Brasil, as populações das zonas áridas da região Nordeste carecem cronicamente do recurso hídrico, fator de uma grande desagregação social e econômica (figuras 1.7 a 1.10).

Como se não bastasse a escassez de água em algumas regiões, observa-se a paulatina degradação do recurso hídrico mundial, independentemente do grau de desenvolvimento dos países.



Figura 1.7 – Coleta-transporte de água em carros de boi, no sertão de Pernambuco. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura 1.8 – Mulheres lavam roupa no rio, no sertão da Paraíba. (Foto: E. Fedrizzi Filho, 2003)



Figura 1.9 – Paisagem típica do sertão nordestino em época de seca, PE. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

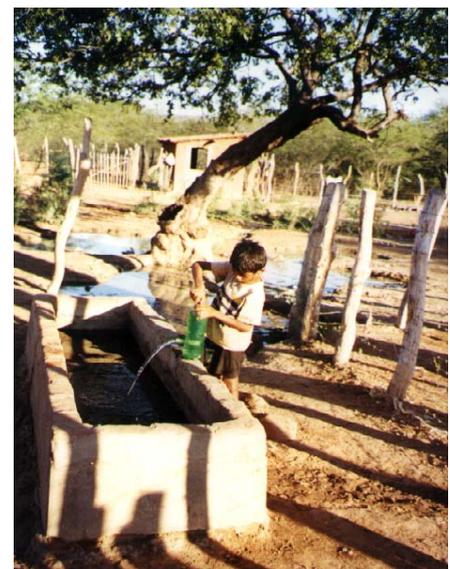


Figura 1.10 – Ponto de coleta de água e bebedouro, no sertão de Pernambuco. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

Inicialmente, a contaminação das águas se dava em pequena escala e era, essencialmente, orgânica, advinda de rejeitos das aglomerações humanas. Com a Revolução Industrial, acrescenta-se uma contaminação em maior escala, predominantemente química. Num passado mais recente, agregaram-se importantes contaminações térmicas e orgânicas, em consequência da geração de energia elétrica, da indústria e da moderna agropecuária, baseada em uma intensiva utilização de adubos e defensivos agrícolas sintéticos. As atuais formas de exploração agropecuária e de expansão urbana são baseadas no desmatamento generalizado de grandes extensões e na compactação e impermeabilização do solo, provocando erosão e inundações, com o conseqüente assoreamento dos recursos hídricos superficiais e com a redução da recarga dos depósitos subterrâneos. A degradação do recurso hídrico está tão avançada que alguns estudiosos afirmam que os próximos conflitos entre povos serão os “conflitos da água”.

Com a industrialização, o crescimento desordenado e localizado das demandas, associado aos processos de degradação da qualidade da água, vem engendrando sérios problemas de escassez – quantitativa e qualitativa – e conflitos de uso, até mesmo nas regiões naturais com excedente hídrico. Por razões de sustentabilidade do recurso hídrico, a extração de água não deve ultrapassar a sua reposição natural, sob risco de uma exaustão irreversível dos mananciais, principalmente quando se tratar de depósitos subterrâneos fósseis. (REBOUÇAS et al., 1999; BROWN, 1993)

A situação mundial é tão séria que, na Conferência Internacional de Água e Desenvolvimento Sustentável, em Dublin, 1992, concluiu-se que a “escassez e mau uso da água doce representam sérios e crescentes problemas que ameaçam o desenvolvimento sustentável e a proteção do ambiente. Saúde humana e bem-estar, produção segura de comida, desenvolvimento industrial e ecossistemas dos quais estes dependem estão todos ameaçados, a menos que os recursos de água doce e solo sejam utilizados de forma mais eficiente nas próximas décadas, muito mais do que têm sido até agora.” (REBOUÇAS et al., 1999).

Como parte da “política de sustentabilidade da vida no planeta”, a Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas realizou em dezembro de 2001, na Alemanha, a International Conference on Freshwater (ICF). Na ocasião, buscou-se o comprometimento dos governos no objetivo do Capítulo 18 da Agenda 21. A urgência do tema também foi enfatizada na Assembléia do Milênio das Nações Unidas, em setembro de 2000, a qual priorizou alguns dos objetivos para a atenuação da pobreza. A Declaração do Milênio reconhece os “princípios humanos de dignidade, igualdade e equidade social”, e pede

para que os governos se comprometam, até o ano de 2015, em: “reduzir pela metade o número de pessoas que passam fome”; “reduzir pela metade o número de pessoas sem acesso a água potável”; “reduzir a dois terços os índices de mortalidade infantil”³ (ICF, 2001).

A Organização Mundial da Saúde afirma que as enfermidades de origem parasitária, bacteriana e viral relacionadas ao uso da água estão grandemente expandidas no planeta. Essas parasitoses de veiculação hídrica dominam amplamente as patologias dos habitantes pobres dos países em desenvolvimento. Segundo a instituição, cerca de 1,2 bilhão de pessoas (um sexto da população mundial) não tem acesso a água potável e 2,4 bilhões vivem sem saneamento básico. Em decorrência disso, atualmente no mundo, cerca de 6 mil crianças morrem diariamente em decorrência de enfermidades associadas ao uso da água. (WHO, 2003; UNDP, 2001)

No Brasil, aproximadamente 28,9 milhões de habitantes (17% da população) não têm acesso a água potável; e sem cobertura de saneamento básico, a cifra chega a 47,6 milhões de habitantes (28% da população). Os índices de mortalidade infantil apresentam uma média nacional de 34 óbitos a cada 1.000 nascidos vivos e de 40 óbitos a cada 1.000 crianças até 5 anos. Em regiões remotas de baixa renda, esse índice ultrapassa os 40 óbitos por 1.000 nascidos vivos, podendo-se concluir que esses dados são maiores, já que uma grande quantidade de crianças nasce e morre ainda na primeira infância, sem ter sido registrada. (UNDP, 2001)

Além da questão relacionada à saúde, a dificuldade de acesso à água em muitos locais tem repercutido de várias maneiras na formação econômica e cultural brasileira. Quanto ao primeiro aspecto, pode-se afirmar que o desenvolvimento do Sudeste, mais especificamente de São Paulo, foi viabilizado, em grande medida, graças ao suprimento de energia elétrica, complementarmente à mão-de-obra refugiada da seca nordestina. Por outro lado, na região Norte se observa um importante sincretismo cultural nortista/nordestino que remonta às primeiras levas dos “soldados da borracha” em 1942. A “retirada” nordestina continua sendo sistemática para inúmeros outros destinos no País, agravando-se ainda mais nos períodos de secas prolongadas.

Mas os problemas relacionados ao acesso à água potável não ocorrem somente nas zonas com reduzido recurso hídrico. Um dos principais problemas das populações ribeirinhas da Amazônia, por exemplo, é a baixa qualidade de suas águas para consumo humano, tendo conseqüência direta na saúde de sua população, principalmente da população infantil e idosa.

³ Por sua importância, 2003 foi decretado pela ONU como o Ano Internacional da Água Doce.

Além da qualidade do recurso hídrico, essas populações dedicam significativa parte de seu tempo ao transporte de água para consumo e uso doméstico. O acesso à energia de outras fontes que não a tração humana é muito restrito, principalmente nas regiões de várzea, onde nem animais de montaria podem ser utilizados, devido às características de alagamento do solo por vários meses do ano. As figuras 1.11 a 1.14 ilustram algumas das atividades da região relacionadas ao uso da água.

Na realidade, essa situação parece ocorrer menos por haver o dito “problema da seca”⁴, e mais por falta de políticas públicas que visem efetivamente tanto ao convívio produtivo da população nordestina em condições de déficit hídrico, como à solução do problema sanitário relacionado ao acesso e ao uso da água no território nacional.



Figura 1.11 – Barreiro cavado para utilização doméstica da água, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

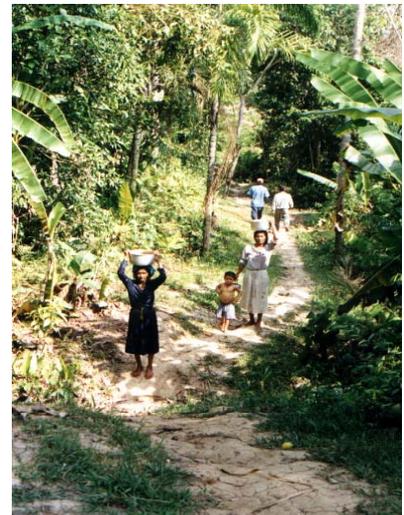


Figura 1.12 – Mulheres carregam água para tarefas domésticas, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 1.13 – Água de igarapé eutrofizada, na seca, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura 1.14 – Menina bebe água direto do igarapé, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

⁴ Uma vez que existem muitos países com maior deficiência hídrica do que o Nordeste brasileiro, com alto nível de qualidade de vida e que chegam a ser, até mesmo, exportadores de produtos agrícolas (exemplo: Espanha).

Por se tratar de regiões remotas em que a energia elétrica convencional tem baixa penetração e reduzida probabilidade de chegar, e onde os combustíveis fósseis são caros e de difícil acesso, alternativas tecnológicas como a opção solar fotovoltaica começam a se tornar uma realidade viável.

1.2 Eletrificação rural e o abastecimento de água

A eletricidade é uma das formas de energia mais versáteis e a que melhor se adequa às necessidades das populações no mundo atual. Sua utilização está tão estendida que não se concebe uma sociedade tecnologicamente avançada que não faça uso dela em larga escala. Uma infinidade de aparelhos é projetada para funcionar alimentada com energia elétrica, podendo-se dizer que todo o parque tecnológico, exceção feita, em parte, ao transporte, está baseado substancialmente na eletricidade.

Apesar disso, há um grande contingente populacional sem acesso à eletricidade, sendo que, no Brasil, a população não assistida está em torno dos 13 milhões (MERCEDES, 2002), encontrando-se mais distantes dos centros urbanos os menos favorecidos. Em grande medida, esse fato se deve aos altos custos envolvidos na construção e manutenção das redes de transmissão e distribuição em regiões de baixa densidade populacional, com a agravante de que as populações rurais remotas e dispersas costumam ter baixo consumo e baixa renda, sendo pouco atraentes para as concessionárias de energia. De certa forma isso explica, também, o grande contingente populacional sem acesso ao serviço de energia elétrica, residente nas proximidades de linhas de transmissão.

Na realidade, o que se deve ter em conta é que, independentemente da tecnologia empregada, um dos grandes problemas da eletrificação rural, se não o maior, é a dispersão da população; por isso, as dificuldades serão maiores quanto mais distantes e inacessíveis forem os locais, e quanto menor for sua densidade populacional.

Até hoje, as opções tecnológicas mais utilizadas para o abastecimento de energia elétrica em regiões remotas no Brasil e no mundo são as dependentes de derivados do petróleo, sendo justamente essas regiões as que apresentam maiores custos e dificuldades de transporte.

Há cerca de três décadas a eletrificação rural conta com a tecnologia de conversão fotovoltaica da energia solar. Tecnicamente consolidada, ela tem sido empregada em muitas partes do mundo, em localidades remotas, sendo uma de suas principais utilizações comunitárias o bombeamento de água. Uma estimativa de profissionais da área conduz a uma

cifra de 70 MWp de potência instalada em sistemas de bombeamento fotovoltaico em todo o mundo, o que proporciona o bombeamento de 2 milhões de metros cúbicos a uma altura manométrica de 20 metros, beneficiando uma população de cerca de 40 milhões de pessoas.

Ainda que pese a barreira de seu alto custo de investimento inicial, a tecnologia de bombeamento fotovoltaico encontra sua competitividade quando calculados e comparados os fluxos de caixa ao longo da vida útil dos projetos com distintas opções tecnológicas. Quanto mais distante dos centros urbanos, mais competitiva é a opção fotovoltaica, sendo que, para sistemas com características de 6.000 m⁴ por dia⁵, a opção fotovoltaica é mais vantajosa do que a opção a Diesel⁶. Essa competitividade apóia-se, ainda, no fato de apresentar alta confiabilidade técnica, renovabilidade e autonomia em termos do recurso energético e reduzida manutenção, sem a emissão de ruídos e poluentes na operação.

Apesar das vantagens mencionadas, problemas existem com relação ao sistema como um todo, entendendo-se como tais o conjunto de componentes e atores de um empreendimento e suas relações. Mesmo sendo os equipamentos fotovoltaicos (módulos, reguladores/inversores e conjunto motobomba) resultantes de uma tecnologia de ponta e, geralmente, de alta qualidade, é comum observar no campo falhas no dimensionamento e nas especificações dos equipamentos, a baixa qualidade de outros elementos, como reservatórios, tubulações, fiação elétrica, bóias de nível, bem como problemas na confecção dos poços, dos testes de capacidade dos mesmos e falhas na instalação dos equipamentos em geral (LSF, 2000). Sendo assim, de nada adianta terem os equipamentos fotovoltaicos alta confiabilidade e eficiência se outros componentes apresentam falhas prematuras, pois essas ocorrências levam a deficiências na prestação do serviço e ao descrédito da tecnologia fotovoltaica.

Paradoxalmente, no meio rural, em que se deveria primar pela excelência dos equipamentos e serviços, devido às dificuldades de acesso e aos altos custos na reparação de avarias, é onde se encontram as maiores negligências relacionadas à qualidade e durabilidade de equipamentos. (LSF, 1999)

Essa argumentação é reforçada por Narvarte (2001), quando comenta que, ao examinar a situação real na qual se encontram muitos programas fotovoltaicos de eletrificação rural, detectam-se problemas que repercutem nos serviços que prestam, e que os estudos realizados

⁵ Metro na quarta potência significa o bombeamento de determinado volume em metros cúbicos, a uma altura manométrica em metros; exemplo: m⁴ = m³ . m.

⁶ Projeto MEDA – Implementation of a PV Water Pumping Program in Mediterranean Countries Mediterranean Region Morocco, Algeria and Tunisia.

em profundidade a respeito revelam que a causa dessas diferenças está não na parte estritamente solar (o módulo fotovoltaico), mas no restante dos componentes.

Isso se deve ao fato de os módulos fotovoltaicos estarem submetidos a uma forte normatização, avalizada por estritos procedimentos internacionais de certificação, mas sem a aplicação de medidas similares para o restante do sistema, mesmo que a qualidade desses componentes influencie de maneira decisiva no serviço final e, portanto, nos custos de manutenção e na satisfação do usuário.

Ao contrário do que acontece com os Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares, para os quais pode haver uma centena de especificações técnicas em vários países, mas que não chegam a ser utilizadas em programas de eletrificação rural, para sistemas fotovoltaicos de bombeamento existem alguns poucos rascunhos de normas que também não são utilizadas, como é o caso da International Standard IEC 1702: 1995 – Rating of Direct Coupled Photovoltaic Pumping Systems. (NARVARTE, 2001)

Após exemplificar inúmeros programas de eletrificação rural fotovoltaica que tiveram problemas estruturais, o pesquisador acima defende que isso se deve ao fato de o paradigma de eletrificação aplicado não corresponder à realidade rural; por isso, enquanto não se desenvolver e se aplicar um paradigma adequado, a energia solar fotovoltaica estará longe de se converter em uma solução.

Ao se levar em conta que as tecnologias em geral só têm êxito quando conseguem satisfazer às demandas e expectativas do usuário, em função de suas condições reais, o posicionamento muda. Não que uma opção tecnológica tenha de satisfazer a todas as expectativas dos usuários, mas dentro de suas limitações, e respeitando peculiaridades locais, ela deve funcionar e se manter no tempo o máximo possível, devendo ser aplicada e moldada a serviço do ser humano, e não o contrário.

Tendo em vista as considerações acima, e transpondo-as ao caso específico do abastecimento de água no meio rural brasileiro, o presente trabalho busca elucidar algumas questões básicas de ordem técnica, conceitual e organizacional relacionadas à implantação e manutenção desse tipo de empreendimento, propondo procedimentos que reduzam os riscos de insucesso.

CAPÍTULO II

BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO: EXPERIÊNCIAS NO BRASIL

Dentre as inúmeras tecnologias de bombeamento de água existentes, a opção fotovoltaica se mostra uma das mais promissora para o abastecimento de populações sem acesso à rede elétrica convencional e localizadas em zonas remotas. A tecnologia fotovoltaica apresenta vantagens em vários aspectos, iniciando pelo fato de o recurso solar ocorrer, com mais ou menos abundância, em todo o globo terrestre, sendo sua utilização uma questão solucionável mediante dimensionamento. Outra importante vantagem é evitar permanentes gastos na aquisição e transporte de combustível, bem como a emissão de gases poluentes e de ruído na geração. Além disso, conta positivamente tratar-se de uma tecnologia consolidada tecnicamente, de alta confiabilidade e com uma vida útil do gerador de mais de 25 anos. O custo de investimento inicial ainda é uma grande barreira a ser superada, em parte, por uma economia de escala, e em parte, por incentivos a sua produção e/ou aquisição.

A seguir apresentam-se o estado da arte da tecnologia de bombeamento fotovoltaico e algumas das experiências mais relevantes levadas a cabo nas duas décadas de sua expansão.

2.1 O estado da arte do bombeamento fotovoltaico

Apesar de o efeito fotovoltaico ter sido observado pela primeira vez pelo físico francês Edmund Becquerel, em 1839 (LORENZO et al., 1994), e de as primeiras aplicações datarem da década de 1950, o bombeamento fotovoltaico somente se deu de forma comercial no final da década de 1970. Até 1994, cerca de 24.000 sistemas haviam sido instalados em todo o mundo (ZAFFARAN & LLOYD, 1994). Na última década, no entanto, o número desses sistemas aumentou sensivelmente e, apesar de não se ter contabilizado, o último estudo de previsão da expansão realizado pela União Européia mostra cifras da ordem de 150.000 sistemas de bombeamento fotovoltaico a serem instalados até o ano de 2010 (EPIA, 1996). Esse incremento, considerando-se uma potência média de 800 Wp por sistema, conduz a cerca de 120 MWp de potência instalada.

Um dos fatores que contribuíram para a disseminação da opção de bombeamento fotovoltaico foi a redução dos preços de seus componentes. Em pesquisa de mercado, a pesquisadora chegou a que a evolução do preço do módulo fotovoltaico no mercado internacional foi de

US\$ 38,00/Wp, em 1978, para US\$ 3,50/Wp¹ em 2003, e para o sistema de bombeamento fotovoltaico como um todo (módulos, condicionamento de potência e conjunto motobomba), passou de US\$ 50,00/Wp, em 1970, para menos de US\$ 9,00/Wp, atualmente (DERRICK, 1993). No Brasil, no entanto, esses valores estão por volta de US\$ 6,00/Wp, para o módulo fotovoltaico, e de US\$ 18,00/Wp, para o sistema de bombeamento completo, pois estão computados os custos de transporte, seguro e imposto de importação. Outro fator decisivo para o crescimento da utilização dessa opção foi a viabilização de projetos piloto implantados em condições reais de operação, proporcionando o aprimoramento tecnológico necessário para sua expansão em larga escala (BARLOW et al., 1991). A figura 2.1 mostra a evolução dos preços do Watt pico ao longo da produção acumulada.

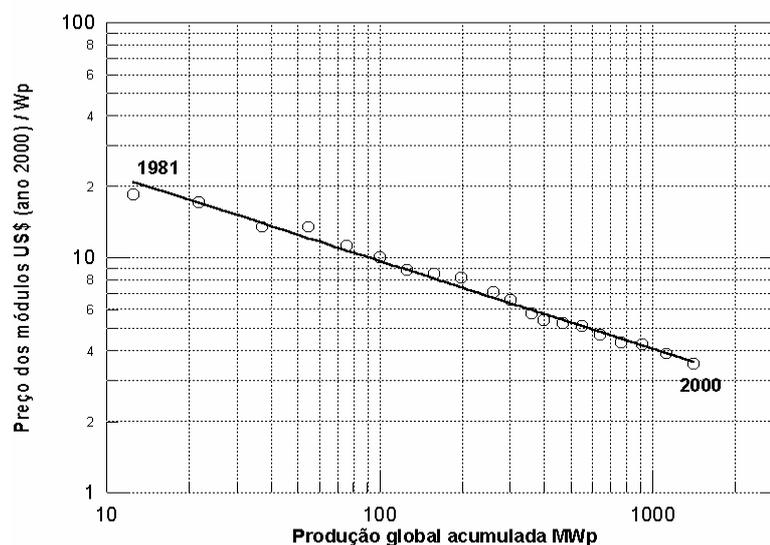


Figura 2.1 – Evolução do preço dos módulos no mercado internacional entre 1981 e 2000. (Fonte: PARENTE et al., 2002)

Adicionalmente ao avanço tecnológico marcado pela priorização da confiabilidade técnica dos equipamentos, houve uma melhora significativa na eficiência dos elementos do sistema. No início da década de 1980, a eficiência média total² de um sistema era de 2%; no entanto, graças ao aumento das eficiências individuais dos equipamentos, sistemas com eficiência média total acima de 5% já são uma realidade. Atualmente, um bom sistema comercial conta com eficiência dos módulos fotovoltaicos entre 12% e 15%, e eficiência do restante do sistema entre 30% e 40%. (BARLOW et al., 1991; MAYER et al., 1995b; GTZ, 1996, apud DUZAT, 2000; PROTEGEROPOULOS & TSELIKIS, 1997)

¹ Dólar, valor de referência em 2/12/2002: US\$ 1,00 = R\$ 3,56.

² Energia radiante do Sol transformada em potência hidráulica útil.

Um sistema de bombeamento fotovoltaico padrão é constituído de gerador fotovoltaico³, mecanismo de condicionamento de potência (inversor, controlador, seguidor do ponto de máxima potência), grupo motobomba e reservatório de água, conforme ilustra a figura 2.2. Diferentemente dos sistemas domiciliares de geração autônoma, não são utilizadas baterias eletrolíticas para o armazenamento de energia elétrica nos horários de maior insolação para sua posterior utilização, exceção feita nos casos em que a bomba é uma carga a mais de um sistema fotovoltaico autônomo. Como regra geral, nos períodos de maior insolação a água é bombeada e armazenada em reservatórios para sua posterior utilização, os quais são dimensionados para prestar determinado serviço, em certo número de dias de autonomia.

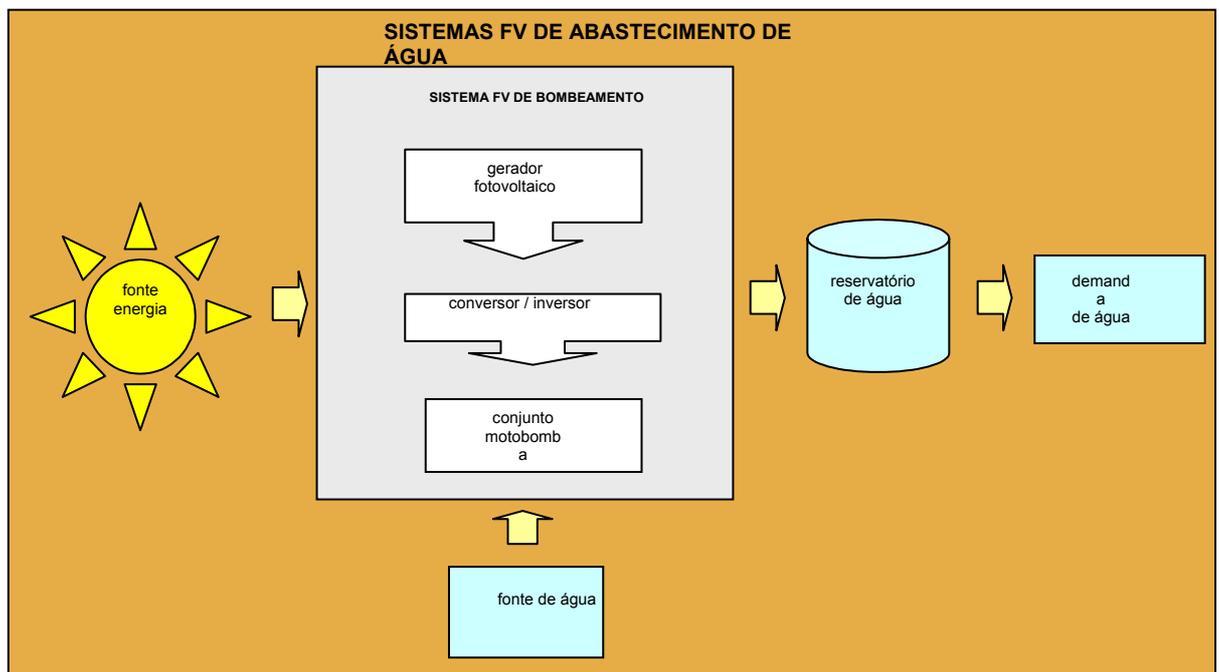


Figura 2.2 – Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água.
(Fonte: Modificado de FRAINDENRAICH, 2002)

Em utilizações comerciais, o gerador fotovoltaico costuma ser fixo, ainda que a utilização de rastreadores solares, os chamados *tracking systems*, otimizem a irradiância solar sobre a superfície do gerador, aumentando a energia útil, com o conseqüente incremento do volume bombeado. Estudo comparativo de sistemas de bombeamento com e sem rastreador, sob determinadas condições de funcionamento, obteve até 41% a mais de água bombeada no primeiro caso (VILELA, 2001).

³ Gerador fotovoltaico – conjunto de módulos fotovoltaicos de um sistema conectados entre si.

A idéia básica para a utilização de rastreadores reside na vantagem de requerer menor potência de gerador para a mesma quantidade de água bombeada, implicando menor investimento em módulos fotovoltaicos, assim como ocupação de menor superfície para sua instalação. Entretanto, a aquisição do mecanismo rastreador, sua colocação em funcionamento, manutenção e reposição ao longo da vida útil do projeto pode não compensar economicamente, quando comparado com os gastos de um sistema fixo. Por esse motivo, a utilização de rastreador deve ser analisada em função das especificidades e dos objetivos de cada projeto.

A evolução dos equipamentos de bombeamento fotovoltaico passou de um sistema no qual a bomba se encontrava em localização submersa e o motor e os demais componentes de condicionamento de potência em superfície, acoplados por um eixo, para um sistema compacto em que todo o mecanismo se encontra em localização submersa ou flutuante, tendo como configurações mais utilizadas as apresentadas na figura 2.3, sendo as linhas em azul-escuro as de maior ocorrência e, em azul-claro, as menos freqüentes.

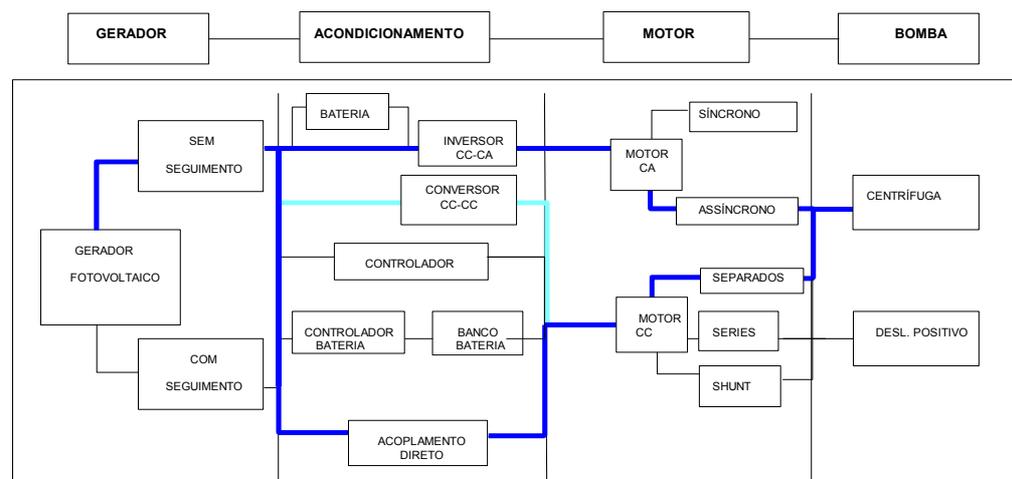


Figura 2.3 – Configurações de sistemas de bombeamento fotovoltaico mais utilizadas. (Fonte: Modificado de KONER, 1991, apud MALBRANCHE et al., 1994)

Para sistemas em corrente contínua (CC), o condicionamento de potência pode ser feito tanto com a utilização de conversor CC-CC, como mediante acoplamento direto gerador-motobomba. Já para sistemas em corrente alternada (CA), são utilizados inversores trifásicos CC-CA; e, ainda, com a finalidade de otimizar a variação das condições de irradiação, são utilizados seguidores do ponto de máxima potência.

Com relação às bombas, para aplicações de pequena potência (até 400 Wp), as mais utilizadas são as de deslocamento positivo de diafragma (figura 2.4) ou, ainda, bombas centrífugas

mono ou de poucos estágios. Para aplicações de grande potência, as bombas utilizadas são as centrífugas multiestágios (figura 2.5) e de deslocamento positivo helicoidais (figura 2.6).

As bombas centrífugas são indicadas para grandes vazões e menores alturas manométricas, pois para alturas manométricas elevadas esse tipo de bomba apresenta redução na eficiência. Já para grandes alturas manométricas e menores vazões, são mais indicadas as bombas de deslocamento positivo, principalmente do tipo helicoidal. No entanto, apesar de apresentarem maior eficiência se comparadas com as bombas centrífugas, as helicoidais oferecem maior torque de arranque do motor, o que deve ser considerado no dimensionamento do gerador (MAYER et al., 1995a). A figura 2.7 apresenta um diagrama esquemático adimensional, indicativo da utilização de cada tipo de bomba, segundo a vazão e a altura manométrica.

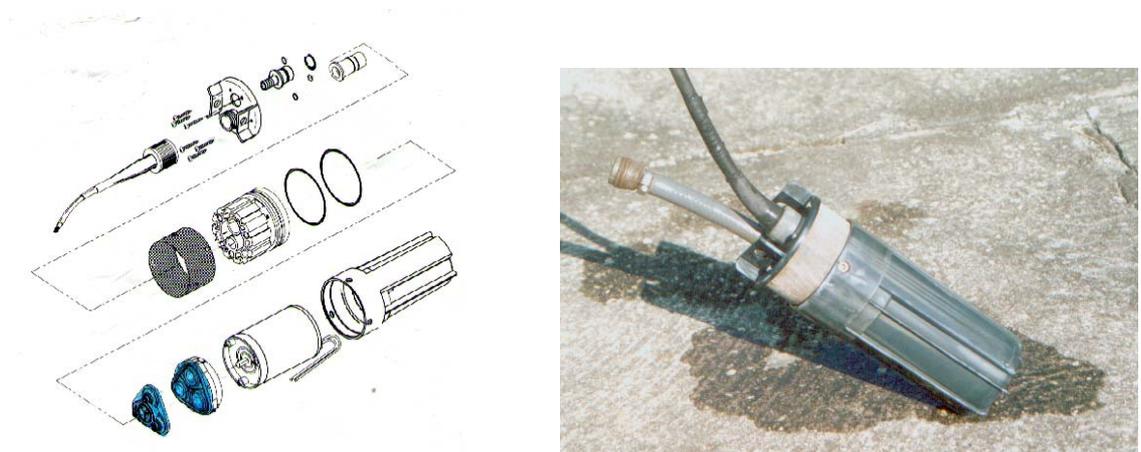


Figura 2.4 – Diagrama expandido de bomba de deslocamento positivo com diafragma e sua vista externa. (Fonte: Catálogo comercial Shurflo)

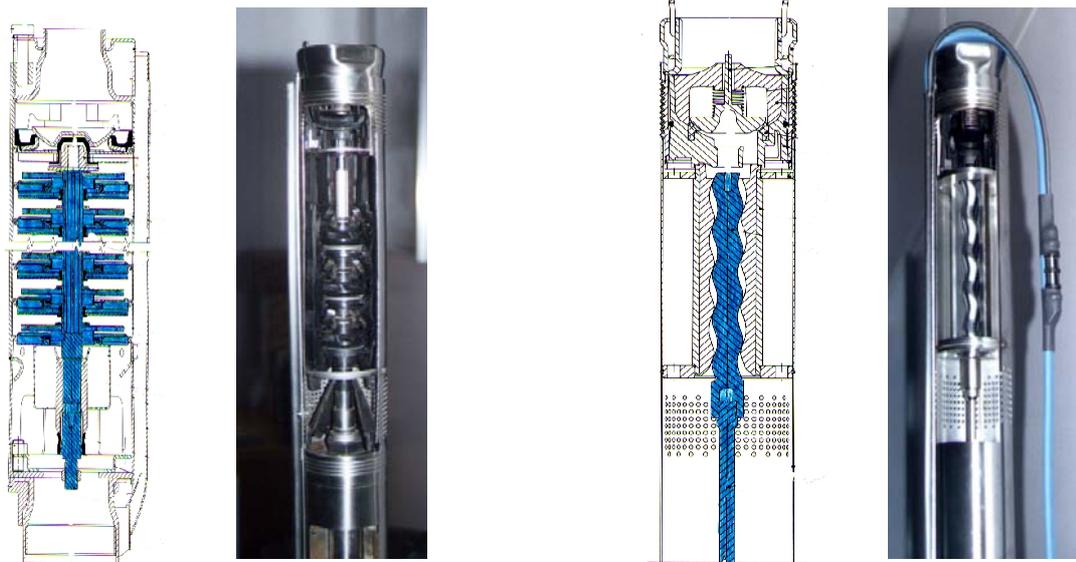


Figura 2.5 – Diagrama e vista em corte de bomba centrífuga multiestágio. (Fonte: Catálogo comercial Grundfos)

Figura 2.6 – Diagrama e vista em corte de bomba de deslocamento positivo helicoidal. (Fonte: Catálogo comercial Grundfos)

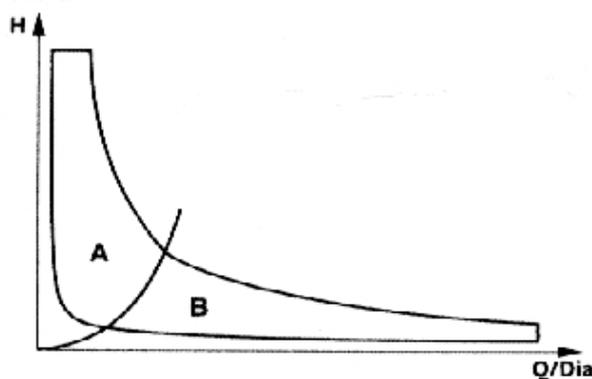


Figura 2.7 – Curvas indicativas de utilização de bombas de deslocamento positivo (A) e centrífugas (B).

No que concerne à otimização (técnica e econômica) de um sistema de bombeamento, além dos cuidados no dimensionamento, deve-se buscar o funcionamento no ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico e priorizar equipamentos com reduzido torque de arranque do motor.

Os sistemas de bombeamento de última geração, além de preservarem a robustez característica dos mais antigos, contam com aprimoramentos da eletrônica de potência, embutidos na carcaça do motor, tais como: inversor CC-CA, seguidor do ponto de máxima potência, sensores de nível do poço e do depósito, e outros dispositivos de proteção. Esses motores compactos são acoplados a bombas submersíveis, centrífugas e helicoidais, cobrindo, assim, as demandas de grandes vazões e de grandes alturas manométricas, respectivamente. Essas bombas (figura 2.8), chamadas pelo nome fantasia de “Flex” por seu caráter flexível de utilização, podem ser utilizadas igualmente em sistemas solares, eólicos, com rede elétrica convencional e com motogeradores a combustão interna, sem a necessidade de qualquer modificação. Tudo indica ser uma tecnologia promissora; no entanto, devido a seu curto período em funcionamento⁴ a campo, é salutar a precaução na sua utilização em larga escala.



Figura 2.8 – Interior de motobomba Flex, com eletrônica de potência incorporada na carcaça do motor. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

⁴ Seu lançamento no mercado data de menos de dois anos.

Outra tendência que vem sendo trabalhada por diversos grupos de pesquisa é a utilização de motobombas elétricas convencionais com a incorporação de variadores de frequência. Apesar de se tratar de um dispositivo a mais a ser adquirido, estudos mostram que pode haver redução no custo final do volume bombeado, por serem utilizadas bombas mais baratas e facilmente encontradas no comércio local, o que favorece também a manutenção e reposição de peças. (ALONSO-ABELLA et al., 1998)

Ainda que a tecnologia ofereça inúmeras possibilidades em termos de potência, a maioria dos sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados na Brasil não ultrapassa os 2 kWp de potência, com altura manométrica média por volta dos 60 mca⁵ e vazão de até 40 m³/dia⁶. Acredita-se que nesse intervalo seguirá o grande nicho de aplicação da tecnologia no País, devido a suas características de utilização, ou seja, fundamentalmente em pequenas povoações localizadas em zonas remotas para abastecimento humano e uso doméstico em geral.

2.2 Histórico do bombeamento fotovoltaico e principais projetos

Apesar de ser uma tecnologia relativamente nova, foi graças a projetos de grande envergadura, na maioria das vezes implantados em zonas rurais de países em desenvolvimento, com o suporte dos países produtores dos equipamentos, que os ganhos tecnológicos foram alcançados, em função da necessidade de adaptação às condições de campo.

As primeiras aplicações comerciais do bombeamento fotovoltaico datam de 1978. Na ilha de Córsega, dando continuidade a sua tese de doutorado, a engenheira Dominique Campana desenvolveu e instalou o primeiro sistema de utilização a campo de que se tem registro. Com módulos da empresa Philips e bomba em corrente contínua desenvolvida em conjunto com engenheiros da empresa Guinard, o sistema abastecia uma fazenda de criação de ovelhas. Após essa primeira experiência, alguns outros sistemas foram instalados na Europa. No entanto, o primeiro empreendimento em larga escala se deu no continente africano, mais especificamente em Mali (BARLOW et al., 1991; MALBRANCH, 1994; PERLIN, 1999).

Encabeçada pelo padre Bernard Vespieren, a entidade Mali Acqua Viva foi criada para aliviar os efeitos da seca que assolava vários países da África. Após inúmeras tentativas de

⁵ mca – metro de coluna de água, também representada em metro (m).

⁶ Média obtida nos projetos que constam da tabela 2.1 e do Projeto PRS.

abastecimento de água com sistemas de bombeamento a Diesel, manual, a pedal e até mesmo com um projeto piloto solar térmico, no final da década de 1970 a entidade conseguiu viabilizar a instalação das primeiras bombas fotovoltaicas no continente africano. Entre 1977 e 1990, mais de 200 sistemas foram instalados em Mali, alavancando inúmeros outros projetos em países vizinhos (PERLIN, 1999).

Pouco depois dessa primeira iniciativa, entre 1979 e 1981, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, com o apoio do Banco Mundial e participação britânica por meio do Grupo de Desenvolvimento de Tecnologias Intermediárias, levou a cabo um projeto piloto que incluía teste e avaliação do funcionamento de sistemas de bombeamento fotovoltaico a campo. O principal objetivo foi a demonstração e avaliação do uso de pequenos sistemas de bombeamento fotovoltaico (de 100 a 300 Wp) para serem utilizados na irrigação de pequenas áreas em propriedades rurais de Mali, Filipinas e Sudão, tendo em vista o aprimoramento da tecnologia para seu uso a campo. As conclusões do trabalho apontaram um grande potencial de utilização dessa tecnologia no meio rural, ainda que nenhum dos produtos testados tenha sido aprovado para a sua imediata difusão em larga escala. As principais recomendações do estudo sugeriram a necessidade de melhora na confiabilidade daqueles equipamentos e de redução de preços, tendo sido a primeira deles amplamente atendida em empreendimentos futuros. (UNDP – Project-GLO/78/004, 1981; HALCROW et al., 1984)

Com a finalidade de demonstrar os custos reais de implementação e a maturidade da tecnologia de bombeamento fotovoltaico, entre 1990 e 1994 a Agência de Cooperação Técnica Alemã (GTZ), no âmbito do Programa PVP⁷, e em cooperação com as autoridades responsáveis pelo abastecimento de água dos países receptores (Argentina, Brasil, Indonésia, Jordânia, Filipinas, Tunísia e Zimbábue), instalou 90 sistemas de bombeamento de grande porte, totalizando cerca de 180 kWp. (ANHALT, 1995; HAHN, 1995)

Com o intuito de aliviar os efeitos de décadas de seca na África saheliana, foi estruturado o Programa Regional Solar (PRS) para o abastecimento de água com energia solar fotovoltaica a populações rurais de oito países do Comitê Permanente Interestados dos Países em Luta Contra a Seca do Sahel (CILSS): Burkina Fasso, Cabo Verde, Gâmbia, Guiné-Bissau, Mauritânia, Nigéria, Senegal e Chade. Com 1.040 sistemas de bombeamento instalados, e perfazendo um total de 1,3 MWp, o projeto buscou melhorar o acesso à água em quantidade e qualidade para um grande contingente de pessoas, além de melhorar suas condições

⁷ Programa de Bombeamento Fotovoltaico.

econômicas, propiciando-lhes recursos complementares por meio da irrigação de hortaliças e frutíferas. (RSP, 1996; HÄNEL et al., 1995)

O Programa Regional Solar representou um marco no que se refere a projetos dessa natureza, tendo em vista que seus procedimentos de implantação alcançaram cotas de confiabilidade muito superiores às que caracterizavam o estado da arte anterior. O programa prestou especial atenção ao quesito qualidade, mediante procedimentos que incluíram definição de especificações técnicas, definição de testes, execução de testes de protótipos em laboratórios independentes e controle no recebimento dos equipamentos. Além da qualidade técnica, houve também uma preocupação com a estética (fiação, cercado, etc.), o que afeta positivamente o grau de aceitação e de satisfação dos usuários e dos demais agentes envolvidos. (LORENZO & EGIDO, 1999)

O “modelo PRS” incluía equipamentos que viabilizavam a execução de testes de funcionamento a campo, bem como a determinação do volume bombeado por meio de hidrômetro de uso permanente, além de outros dispositivos, como receptor para manômetro e orifício na tampa do poço que possibilitava a inserção de sensor de nível utilizado para testes operacionais e de rendimento dos sistemas.

No entanto, a concepção e a implementação de um padrão de qualidade técnica do PRS limitaram-se somente até a entrada dos reservatórios de água, ficando a infra-estrutura restante sob responsabilidade de cada país receptor. A falta de desenvolvimento de um padrão de qualidade da infra-estrutura local resultou em inúmeros problemas, como na baixa qualidade de alguns elementos, produzindo avarias prematuras, e no subdimensionamento dos sistemas de acumulação e distribuição de água, o que gerou impactos negativos na utilização e manutenção de alguns sistemas.

Os esforços empregados no PRS, no sentido de priorizar a qualidade dos elementos de um sistema de bombeamento fotovoltaico, foram aproveitados em inúmeros outros projetos em vários países, inclusive no Brasil, mais especificamente no Projeto Eldorado, resultante dos mecanismos de cooperação entre Alemanha e Brasil, tendo sido implantado o padrão de qualidade PRS, proposto pela parte alemã, a qual havia participado daquele projeto na África. Para ilustrar esse fato, na figura 2.9 observa-se detalhe de um dos sistemas instalados em Pernambuco, onde se encontram elementos idealizados no PRS, tais como a boca do poço lacrada, manômetro, hidrômetro, válvula de retorno e tubulação externa de alumínio. Na figura 2.10, por sua vez, observa-se um croqui da boca do poço, pertencente ao projeto PRS, mostrando a semelhança entre os dois projetos. (LORENZO & EGIDO, 1999)

Apesar de o Projeto Eldorado primar pela qualidade técnica e contar com grande parte da instrumentação necessária para a execução de testes de funcionamento em campo, constatou-se que somente alguns poucos testes foram realizados em um sistema específico (VILELA, 2001), sem que houvesse a incorporação desse procedimento na totalidade dos sistemas, com vistas a um acompanhamento de seu funcionamento ao longo do tempo. Constatou-se, também, que nem sequer o registro do consumo de água é efetuado regularmente, ainda que os sistemas contenham hidrômetros em perfeito estado de funcionamento.



Figura 2.9 – Boca do poço de um sistema do Projeto Eldorado em Inajá, PE.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

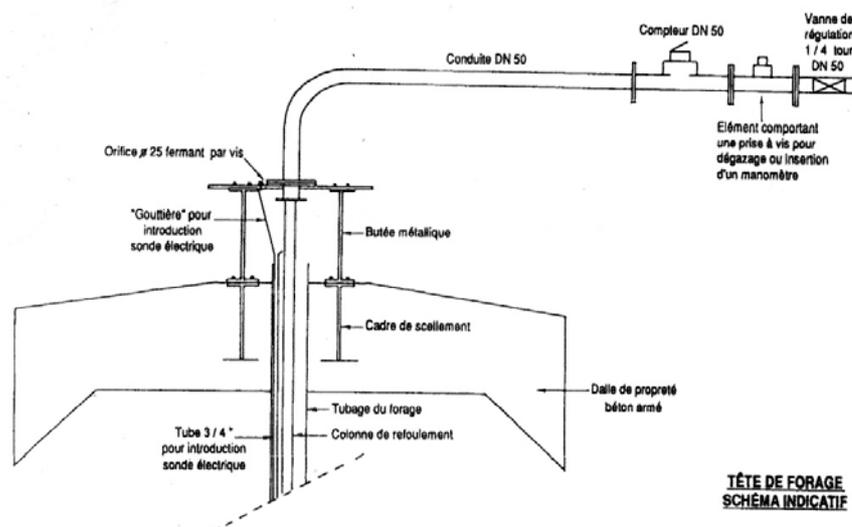


Figura 2.10 – Croqui da boca do poço do Projeto PRS.
(Fonte: LORENZO & EGIDO, 1999)

Atualmente se tem notícia de dois grandes projetos de bombeamento fotovoltaico em andamento, ambos contando com a participação espanhola. O primeiro deles, nas Filipinas, se encontra em implantação, sendo que em sua primeira fase serão instalados 122 sistemas em

comunidades rurais do Programa de Reforma Agrária local (ERA SOLAR, 2001). O segundo – Projeto MEDA⁸, que beneficiará países norte-africanos como Marrocos, Argélia e Tunísia – encontra-se em fase de elaboração e negociação entre as partes e deverá contar com, pelo menos, 90 kWp de potência instalada em comunidades rurais de baixa renda (EUROPAID, 2002). Este projeto tem como embasamento técnico (e inspiração) experiências do Grupo de Sistemas do Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madri (UPM), o qual havia participado, dentre outros, de um projeto fotovoltaico de abastecimento de água a 22 comunidades rurais localizadas no vale do rio Dräa, sudeste do Marrocos⁹.

Além dos inúmeros projetos implantados em países em desenvolvimento para abastecimento de comunidades rurais localizadas em zonas remotas, a Espanha se destaca ainda pela utilização do bombeamento fotovoltaico em seu território, para uso em propriedades particulares. O governo de Andaluzia tem incentivado a aquisição dessa tecnologia para a irrigação de oliveirais, arcando com 40% do investimento a fundo perdido, sendo os 60% restantes pagos pelos proprietários em cinco anos. Com esse programa, está sendo incentivada não somente a produção de azeite de oliva, produto de grande consumo interno e de exportação (com um incremento de até 50% da produção), mas também sua indústria fotovoltaica, uma das mais expressiva no contexto mundial (figuras 2.11 e 2.12).



Figuras 2.11 e 2.12 – Sistemas de bombeamento fotovoltaico utilizados para irrigação de oliveirais, instalados nas proximidades de uma rede de transmissão de energia elétrica em Jaén, Espanha.

⁸ Programa de Bombeamento Fotovoltaico em Países Mediterrâneos, Região Mediterrânea do Marrocos, Argélia e Tunísia (EUROPAID, 2002).

⁹ O projeto do vale do rio Dräa é resultado da cooperação espanhola, contando inicialmente com as ONGs espanholas CIPIE e Ingenieria sin Frontera e outra marroquina, a associação TICHKA, futuramente contando com a participação do Grupo de Sistemas do Instituto de Energia Solar da UPM.

No Brasil, mesmo que a tecnologia de bombeamento fotovoltaico não esteja amplamente difundida pela iniciativa privada, o País conta com uma expressiva quantidade de sistemas instalados por meio de programas institucionais, para o abastecimento de comunidades rurais localizadas em zonas remotas e de baixo poder aquisitivo. A seguir são apresentados alguns desses projetos.

2.3 Bombeamento fotovoltaico no Brasil

Apesar de até pouco tempo não ter tido uma marcada importância na implantação de sistemas de bombeamento fotovoltaico, o Brasil começa a tomar uma posição expressiva no cenário mundial, graças aos projetos institucionais. Os primeiros sistemas instalados no País datam de 1981, e estima-se que até 1994 tenham sido instalados não mais do que 150 unidades¹⁰. Nos últimos nove anos, no entanto, o setor experimentou um considerável crescimento devido à atuação do Ministério de Minas e Energia (MME) com o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM). No âmbito desse programa foram adquiridos cerca de 2.500 sistemas, entre as fases I, II, III, emergencial e fase IV, representando uma potência aproximada de 1,2 MWp (BRASIL, 2001). As demais iniciativas totalizam 806 sistemas, com cerca de 361 kWp de potência instalada.

A tabela 2.1 apresenta um levantamento dos sistemas contemplados nessas iniciativas, devendo-se frisar que os números não representam os sistemas efetivamente instalados e/ou em funcionamento, uma vez que nem todos os equipamentos adquiridos foram instalados e que nem todos os sistemas implantados encontram-se em funcionamento. Há uma grande dificuldade na obtenção de dados precisos, sendo que muitas das instituições responsáveis pela aquisição e instalação dos equipamentos desconhecem o real estado dos projetos em campo.

Apesar do visível crescimento do número de projetos de bombeamento fotovoltaico, a experiência no País vem mostrando que problemas ocorrem recorrentemente, podendo ser de caráter estrutural do próprio planejamento, das especificações técnicas dos equipamentos, das formas de introdução da tecnologia, da adaptação dos usuários à nova tecnologia, da estrutura de operação e manutenção, dentre outros.

¹⁰ Estimativa baseada em informação de profissionais da área que trabalharam no referido período.

Tabela 2.1 – Levantamento dos sistemas de bombeamento fotovoltaico adquiridos para serem instalados em comunidades rurais no Brasil, entre 1981 e 2002.

Instituição/Projeto	Unidades	Potência kWp
De 1981 a 1984 ¹	150	93
MME-PRODEEM Fase I ²	42	77,9
MME-PRODEEM Fase II ²	179	212,6
MME-PRODEEM Fase III ²	224	164,5
MME-PRODEEM Emerg. ²	800	235,2
MME-PRODEEM Fase IV ²	1.240	539,5
MCT-PTU/RDSM ³	29	4,5
MS-FUNASA ⁴	39	31,1
Cooperação Internacional ⁵	54	38,4
Gov. Bahia ⁶	62	34,8
Gov. Minas Gerais ⁷	168	125,5
Pref. Rio do Soto e Belém ⁸	6	5,4
Uso privado ⁹	298	28,3
Total	3.291	1.590,7

¹ Estimativa.

² Ministério de Minas e Energia – PRODEEM.

³ Ministério de Ciência e Tecnologia – PTU/Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá.

⁴ Ministério da Saúde – FUNASA.

⁵ Cooperação alemã, Projeto Eldorado e Projeto PVP, cooperação espanhola Projeto ERA-AEDENAT, cooperação norte-americana Projeto NREL/CEPEL, ONGs Diaconia, Caatinga e Naper Solar.

⁶ Companhia de Engenharia Rural da Bahia – CERB.

⁷ Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA.

⁸ Prefeituras de Rio do Soto (TO) e de Belém do Pará (PA).

⁹ Adquiridos pela iniciativa privada, informação de empresas distribuidoras de equipamentos.

(Fonte: BRASIL, 2001; GALDINO & LIMA, 2002; e contato pessoal com as instituições.)

A seguir são apresentados os principais empreendimentos do setor no País, mostrando suas características e objetivos.

2.3.1 Programas do governo federal

O Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios, hoje com a denominação de Energia das Pequenas Comunidades, incorporado ao Projeto Alvorada e, posteriormente, ao Programa Fome Zero, foi instituído por Decreto Presidencial em 27 de dezembro de 1994, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia, por intermédio do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético. Conforme consta em seu Documento Básico, visava, mais do que o desenvolvimento energético, em sua origem, a um resgate social, com vistas a propiciar a cidadania para um grande número de habitantes do meio rural. O Documento Básico de concepção do PRODEEM toma a responsabilidade do abastecimento de energia elétrica para o Estado, afirmando que a ausência de energia elétrica

não pode ser isentada de responsabilidade na formação dos problemas sociais de comunidades rurais isoladas. (LOREIRO FILHO, 1993)

O programa, explicitamente, chamava à responsabilidade os governantes para a solução de inúmeros problemas sociais mediante a eletrificação rural, reconhecendo as dificuldades em levar energia por meio de rede elétrica convencional para todos os rincões do País. Propunha viabilizar “os energéticos de produção local” não-convencionais, como se pode observar no seguinte texto:

“(...) o subdesenvolvimento encontrado [no meio rural] é um problema afeto também à área energética e da responsabilidade de seus dirigentes, que precisa ser percebido e valorizado antes de tudo pelo seu aspecto sociológico. Isto significa repensar o projeto energético nacional e se começar, para estas localidades, a prestar um serviço que foge às possibilidades do sistema energético convencional (...)” (LOREIRO FILHO, 1993, p. 5).

Inicialmente o PRODEEM tinha os seguintes objetivos:

“I – viabilizar a instalação de microssistemas energéticos de produção e uso locais, em comunidades carentes isoladas não servidas por rede elétrica, destinados a apoiar o atendimento das demandas sociais básicas; II – promover o aproveitamento das fontes de energia descentralizadas no suprimento de energéticos aos pequenos produtores, aos núcleos de colonização e às populações isoladas; III – complementar a oferta de energia dos sistemas convencionais com a utilização de fontes de energia renováveis descentralizadas; IV – promover a capacidade de recursos humanos e o desenvolvimento da tecnologia e da indústria nacionais, imprescindíveis à implantação e à continuidade operacional dos sistemas a serem implantados.” (BRASIL, 1994)

Após algumas mudanças, o programa centrou-se nos seguintes objetivos:

“Atender comunidades carentes isoladas, não supridas de energia elétrica pela rede convencional, utilizando fontes renováveis locais em base auto-sustentável, de modo a promover o desenvolvimento social e econômico dessas localidades. A ação é direcionada para o atendimento energético de escolas, postos de saúde, centros comunitários, bombeamento d’água, etc.” (BRASIL, 2001)

Os benefícios do PRODEEM chegam às comunidades com o apoio dos estados e municípios, por meio da elaboração de convênios entre o Ministério de Minas e Energia e as Secretarias

Estaduais e Municipais. Com o objetivo de ampliar o atendimento do programa, passando do uso exclusivamente comunitário ao uso privado, o PRODEEM vem empenhando-se em criar “mecanismos de desenvolvimento de mercados de serviços de energia” em comunidades rurais isoladas, desenvolvendo o conceito de “Gerência Regional de Mercado”, com o apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BRASIL, 2001). Como se pode ver, os objetivos atuais diferem do Documento Básico, uma vez que há a indicação da entrada do mercado para o abastecimento de energia elétrica às comunidades rurais remotas.

Desde sua instituição, o PRODEEM tem utilizado a energia solar fotovoltaica para a energização de edificações comunitárias (escolas, postos de saúde, etc.) e acionamento de sistemas de bombeamento de água, sendo a aquisição dos equipamentos efetuada via licitação internacional. Até o momento foram adquiridos 2.485 sistemas de bombeamento, perfazendo 1.230 kWp de potência, com um investimento de US\$ 10.077.979,00, o que o fez entrar para o rol dos maiores programas de difusão da tecnologia fotovoltaica para o meio rural, em escala mundial. (BRASIL, 2001)

Por mais expressivos que sejam os números do PRODEEM, não somente no que se refere ao bombeamento, mas em relação aos sistemas de energização em geral, alguns problemas estruturais existem e devem ser equacionados, sob risco de que se torne mais um dos grandes programas brasileiros de assistência social que, apesar das boas intenções, não proporcionaram os benefícios almejados. Os principais problemas detectados estão relacionados com a demora na efetiva implantação dos equipamentos¹¹, a deficiente assistência técnica em função dos custos e/ou da organização de algumas instituições para a prestação desse serviço¹² e a falta de participação dos usuários no processo de introdução da nova tecnologia, o que é fundamental para que possa haver sua aceitação e adoção, com vistas à efetiva operação e manutenção dos sistemas ao longo do tempo. Até o momento seis fases foram licitadas, conforme demonstrativo de aquisição na tabela 2.2.

¹¹ Foi detectada uma grande quantidade de equipamentos adquiridos e armazenados há mais de quatro anos, muitos dos quais começam a ter seu funcionamento comprometido, como é o caso das bombas helicoidais.

¹² Há casos em que o tempo entre a ocorrência do problema e sua reparação é superior a um ano.

Tabela 2.2 – Demonstrativo de aquisição de sistemas fotovoltaicos PRODEEM, de 1995 a 2002.

Fases	Energéticos*			Iluminação Pública*			Bombeamento**			Totalização		
	Qtd.	Potênc. kWp	Total US\$ 1mil	Qtd.	Potênc. kWp	Total US\$ 1mil	Qtd.	Potênc. kWp	Total US\$ 1mil	Qtd.	Potênc. kWp	Total US\$ 1mil
Fase I	173	87	526	130	7,4	76	42	78	480	345	172,4	1.081
Fase II	387	195	1.621	242	17	197	179	213	1.635	808	424,9	3.453
Fase III	843	526	3.495	0	0	0	224	165	1.173	1.067	690,5	4.668
Emerg.	0	0	0	0	0	0	800	235	2.221	800	235,2	2.221
Fase IV	1.660	972	5.456	0	0	0	1.240	539	4.569	2.900	1.511,8	10.026
Fase V	3.000	2.160	15.801	0	0	0	0	0	0	3.000	2.160	15.801
Total	5.914	3.940	26.899	372	24,4	272	2.485	1.230	10.078	8.920	5.194,9	37.250

* Energéticos e iluminação pública incluem módulos, baterias, controladores, inversores e estrutura dos módulos.

** Bombeamento inclui módulos, inversores/controladores, motobombas e estrutura dos módulos.

(Fonte: BRASIL, 2001; GALDINO & LIMA, 2002.)

Até a fase IV, todos os equipamentos eram adquiridos pelo MME e distribuídos aos estados demandantes, para serem instalados, sob coordenação das Secretarias de Infra-estrutura ou órgãos equivalentes. A manutenção, no entanto, é uma questão mais complexa, pois, alegando falta de recursos, muitas instituições não têm equipes técnicas à disposição, ou quando tem, o tempo entre o surgimento do problema e sua reparação é extremamente dilatado, sendo que, em inúmeros casos, simplesmente não há serviço de manutenção.

Na fase V (somente energização de escolas rurais), há duas modalidades de atuação, uma delas compreendendo os estados da Bahia, Alagoas, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Rio Grande do Norte, Piauí, Ceará, Minas Gerais e Paraná, com 1.852 sistemas, os quais foram adquiridos pelo procedimento “chave em mão”¹³. Na segunda situação, para os estados do Maranhão, Acre, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, com 1.148 sistemas, devido à extrema dificuldade em estimar os custos de instalação, em função das dificuldades geográficas e da grande dispersão das comunidades, foi mantida a forma anterior de aquisição, isto é, a empresa ganhadora da licitação somente deve entregar os equipamentos até a data fixada, e a instalação ficou sob responsabilidade da Eletronorte.

O Programa Trópico Úmido (PTU), idealizado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, sob a coordenação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, tem como objetivo, em sua vertente energética, coordenar a contribuição da Ciência e Tecnologia para aprimoramento das condições de vida e da adaptação do ser humano às peculiaridades do Trópico Úmido e à preservação ecológica da Região Amazônica. (BRASIL, 1997)

¹³ A empresa ganhadora da licitação se compromete a entregar os sistemas instalados e funcionando, além de prestar assistência técnica por dois anos.

Utilizando-se da concepção de “projetos piloto” como forma de estudar as opções tecnológicas adaptadas à região, o PTU viabilizou, dentre outras tecnologias, a implantação de sistemas de bombeamento fotovoltaico em 12 comunidades ribeirinhas (indígenas e tradicionais) no Estado do Amazonas. As regiões beneficiadas foram o Alto Solimões, município de Benjamin Constant, e o Médio Solimões, mais precisamente na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá.

O subprojeto intitulado Energização Solar Fotovoltaica de Quatro Comunidades Isoladas na Região do Alto Solimões inseriu-se em uma ação maior, o Programa de Desenvolvimento Sustentável do Alto Solimões (PRODESAS), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), o qual tem por objetivo a estruturação de uma proposta de desenvolvimento para a região. Apesar de ser a agricultura familiar o foco central do programa, o PTU-Energia foi incorporado com vistas à redução do consumo de combustíveis fósseis pelas comunidades ribeirinhas. Com uma proposta de participação dos usuários em todas as etapas do processo, o projeto busca aprimorar conhecimentos práticos na introdução da nova tecnologia em comunidades rurais tradicionais e indígenas, além de propor um rompimento na perniciosa relação de dependência dos ribeirinhos com relação ao poder político local, para o abastecimento de energia elétrica por meio de grupos eletrógenos¹⁴.

Previamente à implantação do projeto foi feita uma avaliação dos sistemas energéticos e de abastecimento de água preexistentes em cada comunidade, buscando melhor adequação da nova tecnologia às necessidades locais e a redução de impactos negativos.

O segundo subprojeto, intitulado Projeto para a Implantação de Sistemas Fotovoltaicos para Uso Comunitário na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, apesar de também ter contado com a participação dos usuários, apresenta algumas diferenças com relação ao primeiro. A Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) é gerenciada por uma administração central, a qual busca pôr em prática um modelo de desenvolvimento compatível com as restrições ambientais vigentes. Nessa ótica, a opção fotovoltaica para o abastecimento de água conta com o apoio incondicional da administração da Reserva, visando à redução do consumo de combustíveis fósseis e à manutenção dos sistemas.

¹⁴ É de amplo conhecimento na região a “compra de votos” em troca da doação de “motores de luz” em época de eleição, e de combustível para seu funcionamento, no restante do tempo.

Com uma experiência anterior de 17 sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados em flutuantes utilizados por pesquisadores, fiscais e visitantes, houve a participação dos usuários na instalação dos sistemas, bem como nas atividades de capacitação para a sua operação e manutenção.

Os principais problemas encontrados em ambos os projetos estão relacionados à manutenção dos sistemas no longo prazo, pois, apesar de ter havido a capacitação das comunidades para a reparação de avarias, a reposição de um equipamento mais oneroso, como no caso de uma bomba ou inversor, pode ficar além da capacidade das populações em pagá-los.

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), mediante a atuação dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas, começou a utilizar sistemas de bombeamento fotovoltaico em aldeias indígenas não atendidas pela rede elétrica convencional. Mas apesar da ampla atuação da FUNASA no território nacional, principalmente em localidades remotas que carecem de rede elétrica convencional, foram catalogados somente 39 sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados em aldeias indígenas nos estados do Pará, Piauí, Tocantins, Mato Grosso, Bahia e Rondônia. Informações oficiais apontam para a instalação de mais 20 sistemas no Estado de Mato Grosso, até o final de 2003. Apesar da confiabilidade técnica comprovada, e da grande vantagem de prescindir de combustível fóssil, o qual dificulta e encarece a prestação do serviço pela FUNASA, a falta de uma rede de assistência técnica regional é o grande impedimento para a disseminação dessa tecnologia em larga escala nas aldeias indígenas não contempladas pela rede elétrica convencional¹⁵.

2.3.2 Programas estaduais e municipais

Além dos programas viabilizados pelo governo federal, governos estaduais e municipais vêm tendo iniciativas de abastecimento de água com a tecnologia fotovoltaica, ainda que sejam casos isolados, como Bahia, Minas Gerais e Pará.

O Estado da Bahia, por meio das Secretarias de Infra-Estrutura e de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação, e da Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), implantou com recursos próprios 62 sistemas de bombeamento em comunidades rurais, totalizando 35 kWp de potência. Sob o mesmo modelo, em Minas Gerais, por iniciativa do governo estadual e sob a coordenação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), outras 168 unidades foram instaladas, com uma potência total de 125,5 kWp.

¹⁵ Informações obtidas com coordenadores da FUNASA nos estados.

O modelo de abastecimento de água para comunidades rurais praticado pelos governos estaduais se assemelha ao urbano, no sentido de que visa ao abastecimento de água de determinada população, sem maiores participações desta no processo. Diferencia-se, no entanto, por não haver cobrança pelo uso de água como ocorre na cidade.

Com relação aos governos municipais, tem-se notícia de duas iniciativas de pequena monta, sendo a primeira delas no Tocantins, no Município de Rio do Soto, com um único sistema de bombeamento de 450 Wp. A segunda encontra-se no Município de Belém do Pará, com cinco sistemas e uma potência total de cerca de 5 kWp. Contando com o apoio de especialistas da Universidade Federal do Pará para determinação das especificações técnicas e instalação dos sistemas, foi possibilitada a participação dos usuários interessados.

2.3.3 Cooperação internacional e organizações não-governamentais

Neste item são apresentados quatro programas de abastecimento de água a comunidades rurais, viabilizados pela cooperação internacional, por intermédio das Relações Internacionais Oficiais e do Terceiro Setor, via entidades locais, alguns deles já mencionados anteriormente.

Com o intuito de melhorar a disseminação da tecnologia fotovoltaica, o governo alemão criou o Programa PVP de cooperação internacional, do qual participaram sete países: Brasil, Argentina, Indonésia, Jordânia, Filipinas, Tunísia e Zimbábue. No Brasil, o convênio entre governos se deu por intermédio da Sociedade Alemã de Cooperação Técnica (GTZ) e do governo do Estado do Ceará, via Companhia de Eletricidade do Ceará (COELCE), implantando, entre os anos de 1990 e 1994, 15 sistemas com uma potência total de 16 kWp. Na instalação, houve participação dos usuários, principalmente no que se refere à infraestrutura, como construção dos depósitos de água, tendo ficado os serviços de manutenção sob responsabilidade da concessionária de energia elétrica local. (ANHALT, 1995; ARAGÃO et al., 1994; CHACON, 1995)

O Projeto Eldorado, entre 1994 e 1997, foi financiado pelo Ministério de Pesquisa e Tecnologia da Alemanha (BMFT), e implementado mediante acordos diretos com a indústria alemã. Com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento das energias renováveis, buscou testar novas tecnologias em condições reais de operação, além de demonstrar em campo a utilização das tecnologias eólica (Eldorado Wind) e fotovoltaica (Eldorado Sun). Participaram do programa países em desenvolvimento, localizados em regiões de clima tropical, sendo que no Brasil o estado contemplado foi Pernambuco, com 15 sistemas de bombeamento fotovoltaico. Esses sistemas, com uma potência total de 16 kWp, foram instalados sob

coordenação local da Companhia de Eletricidade de Pernambuco (CELPE). (GALDINO et al., 1995; FRAIDENRAICH, 1999)

O outro empreendimento do gênero ocorreu por meio de um acordo de colaboração entre o Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos (NREL) e o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), representando o Brasil. O Programa NREL–CEPEL teve como finalidade demonstrar a efetividade das tecnologias eólica e solar fotovoltaica para satisfazer às necessidades da eletrificação rural e estabelecer relações institucionais e comerciais entre os dois países. No que concerne ao bombeamento fotovoltaico, o programa contou com 17 sistemas no Estado da Bahia e com seis em Alagoas, num total de 17,7 kWp de potência instalada. Com a participação da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia e da Companhia Energética de Alagoas, o CEPEL coordenou os trabalhos de implantação e monitoramento da operação nos primeiros quatro anos. (GALDINO & LIMA, 2002)

Entre os anos de 1997 e 2000, foi implementado o Projeto Piloto de Abastecimento de Água com Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico às Comunidades do Retiro e Varadouro. Como primeira iniciativa do gênero no Estado de São Paulo, contou com financiamento espanhol a fundo perdido, por intermédio da organização não-governamental ERA-AEDENAT, e teve a coordenação técnica do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. Além do abastecimento de água para uso doméstico, o projeto contou com a particularidade de implantar lavanderias coletivas, bem como com estreita participação dos usuários em todas as etapas, havendo contrapartida da comunidade na forma de mão-de-obra para o transporte dos equipamentos, perfuração dos poços, corte de madeira para a construção das edificações necessárias e instalação dos equipamentos.

Ainda por iniciativa do Terceiro Setor, outros dois projetos foram implantados nos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte. O primeiro deles, financiado pelas ONGs Diaconia e Caatinga, instalou 12 sistemas de pequeno porte (total de 1,2 kWp) para consumo familiar e criação de animais domésticos. O segundo, financiado pela Universidade Solidária, contou com outros dois sistemas para fins de irrigação de agricultura familiar (total de 240 Wp). Ambos contaram com a participação da ONG Naper Solar, a qual propiciou a capacitação técnica dos usuários.

Observou-se nos projetos de cooperação que, por se tratar de iniciativas pontuais do tipo “projeto piloto”, a principal debilidade está relacionada à reposição dos equipamentos, uma vez que as instituições costumam viabilizar o investimento inicial e, no melhor dos casos, a reposição de alguns equipamentos somente num primeiro momento.

2.3.4 Iniciativa privada

Se a determinação do número de sistemas de bombeamento fotovoltaico adquiridos por instituições públicas não é uma tarefa facilmente realizável, a quantificação dos sistemas adquiridos pela iniciativa privada é ainda mais árdua. Em primeiro lugar, não há veiculação de tais iniciativas em eventos científicos ou mesmo na imprensa de divulgação comercial, e a associação que congrega as empresas do setor não possui publicação periódica a respeito. Adiciona-se a essa dificuldade o fato de que, salvo honrosas exceções, as empresas distribuidoras dos equipamentos relutam em fornecer informações detalhadas, alegando sigilo profissional. Tendo em vista essa problemática, a estimativa do número de sistemas instalados fica profundamente prejudicada, sendo que os poucos dados obtidos registram uma cifra de 298 sistemas, perfazendo uma potência instalada em torno dos 28 kWp, na sua maioria de pequeno porte (até 150 Wp), sendo somente cerca de 20% de médio a grande, mas não ultrapassando 1.200 Wp de potência unitária. Apesar das dificuldades de aquisição dos dados reais, estimativas apontam para cerca de 40% a mais o número de sistemas efetivamente adquiridos pelo setor privado.

CAPÍTULO III

RECURSO HÍDRICO, EQUIPAMENTOS, DIMENSIONAMENTO, GESTÃO E ORGANIZAÇÃO INSTITUCIONAL: PROBLEMAS E LIÇÕES APREENDIDAS

O levantamento do estado da arte da tecnologia de bombeamento fotovoltaico e dos sistemas instalados no Brasil e no mundo, à primeira vista, apresenta um quadro promissor, uma vez que se trata de uma tecnologia já consolidada, com alto grau de confiabilidade técnica e apropriada para localidades remotas. Contudo, uma análise mais detida da real situação dos projetos no campo vem evidenciar a ocorrência de inúmeros problemas que podem comprometer a difusão dessa tecnologia.

A principal constatação refere-se ao fato de que a maior parte dos problemas ocorre não com o elemento estritamente solar, o gerador fotovoltaico, mas com outros elementos da cadeia que conforma o complexo sistema de abastecimento de água como um todo. Por exemplo, o levantamento realizado em 116 sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados em Mali, com bombas submersíveis em funcionamento há mais de quatro anos, reporta a um total de 139 chamadas para reparação de problemas ocorridos em diferentes elementos dos sistemas, sem registrar ocorrências com o gerador fotovoltaico. Os principais problemas ocorreram nas redes hidráulica e elétrica, além dos problemas gerados pela deficiência na limpeza do mecanismo da bomba, sendo mínimos os problemas técnicos ocorridos com o equipamento de bombeamento propriamente dito (motobomba e inversor), conforme ilustra a figura 3.1. (MALBRANCHE et al., 1994)

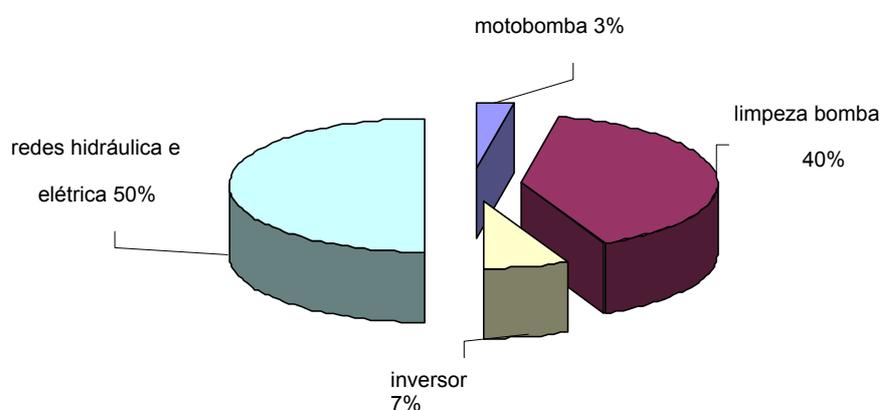


Figura 3.1 – Problemas registrados em sistemas de bombeamento fotovoltaico, Mali. (Fonte: MALBRANCHE et al., 1994)

Analisando-se as fichas técnicas de monitoramento dos 23 sistemas de bombeamento fotovoltaico implantados no vale do rio Drâa, Marrocos, foram registradas 22 ocorrências, com as seguintes características: um problema com instalação de módulos fotovoltaicos; três problemas com equipamentos menores, como clorador, hidrômetro e manômetro; 11 ocorrências por problemas com os poços em função do rebaixamento do lençol freático; e sete problemas ocorridos por gestão indevida ou outros conflitos. Não foram encontrados registros de problemas ocorridos com os equipamentos motobomba e inversores, conforme ilustra a figura 3.2. (IES, 2002.)

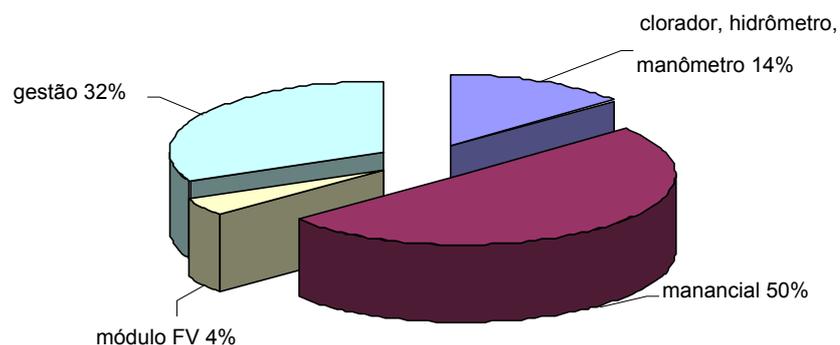


Figura 3.2 – Problemas registrados em sistemas de bombeamento fotovoltaico, Marrocos. (Fonte: Fichas de monitoramento IES, 2002.)

Alta confiabilidade também foi observada em um programa de monitoramento de sete sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados em localidades remotas no norte do Chile, no qual não foi registrada nenhuma avaria nos equipamentos fotovoltaicos nos dois anos de funcionamento dos sistemas. (SAPIAIN et al., 2000)

No Brasil, a experiência mais bem documentada com relação à ocorrência de avarias nos equipamentos é a do PRODEEM-Nordeste, sob a coordenação da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Diferentemente dos casos anteriores, em levantamento da situação dos equipamentos em 801 sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados nos estados do Piauí, Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe, foram registradas 337 ocorrências, sendo que mais da metade aconteceu com os sistemas de motobomba. Mais exatamente, 57% das avarias ocorreram com os grupos motobomba; 41%, com os controladores ou inversores; e 2%, com os módulos fotovoltaicos, conforme figura 3.3 (BEZERRA, 2002). Apesar de ter sido noticiada a ocorrência de problemas em outros elementos do sistema, como nas redes hidráulica e elétrica, essas informações não foram registradas.

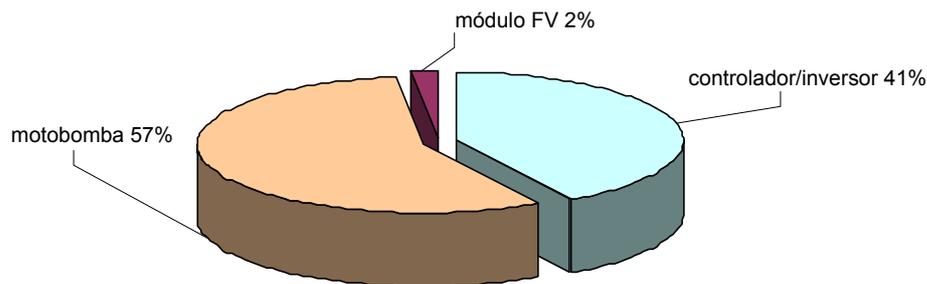


Figura 3.3 – Incidência de problemas registrados em sistemas de bombeamento fotovoltaico PRODEEM-Nordeste. (Fonte: BEZERRA, 2002)

Observa-se que no PRODEEM-Nordeste o número de avarias com os equipamentos de condicionamento de potência (controladores/inversores) e grupos motobomba é extremamente elevado, o que parece contradizer que essa seja uma tecnologia de alta confiabilidade, conforme visto em outras ocasiões. O grande número de avarias aqui apresentado está relacionado a outros fatores que não os de comum ocorrência nesse tipo de empreendimento, ou seja, falhas de caráter excepcional ocorreram, colocando em xeque seu processo de viabilização.

Há que se ressaltar, no entanto, que a grande ocorrência de problemas não se deve somente ao descuido dos organismos implementadores, mas em muito se deve à falta de procedimentos técnicos padrão que visem a qualidade dos sistemas.

No trabalho de campo e na pesquisa bibliográfica realizada no presente trabalho, com o objetivo de determinar os principais problemas que acometem os projetos comunitários de abastecimento de água com a tecnologia fotovoltaica, constatou-se que os problemas têm as mais diversas causas, desde o tipo de concepção dos projetos até questões burocráticas e de interação entre as instituições envolvidas, infra-estrutura local, armazenamento, transporte, qualidade dos diversos materiais, equipamentos e serviços, equipamentos complementares, peculiaridades culturais, geográficas e hidrológicas das comunidades receptoras, forma de introdução da nova tecnologia, falta de uma estrutura de serviço de assistência técnica, entre outros.

Há uma outra debilidade dos projetos rurais, que é a grande dispersão física do mercado, o que dificulta e encarece o processo. A experiência espanhola em eletrificação rural, por exemplo, sugere que para que a assistência técnica funcione, deverá haver, pelo menos, 300 kWp instalados em um raio de 200 quilômetros.

Como se pode ver, esse tipo de empreendimento depende de um conjunto de itens interconectados; e quando algum deles, por menos importante que possa parecer, fica impossibilitado de exercer sua função, a totalidade do serviço é prejudicada. Nesse sentido, buscando embasar a estrutura e as reflexões dos próximos capítulos, são relatados, a seguir, os principais problemas encontrados no campo, seguindo os seguintes tópicos: recurso hídrico; equipamentos elétricos, hidráulicos e complementares; curiosidades; dimensionamento e dimensões dos equipamentos; questões institucionais; e capacitação dos agentes envolvidos.

3.1 Recurso hídrico

Os principais problemas registrados neste item estão relacionados a formas de captação de água e características gerais do manancial, qualidade da água, suas implicações, tratamentos e disposição final da água servida.

A maioria dos sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados no País capta água de recursos hídricos subterrâneos, sendo que a utilização de recursos superficiais (rios, açudes) se dá, geralmente, para sua utilização na irrigação e dessedentação de animais domésticos. As exceções ocorrem nos casos em que a qualidade da água subterrânea é imprópria para o consumo humano¹, ou quando há algum impedimento para a perfuração de poços². No caso de utilização de água superficial, o controle de sua qualidade e tratamento deve ter cuidados redobrados, uma vez que esse tipo de manancial costuma, naturalmente, estar fora dos parâmetros sanitários estipulados para o consumo humano no Brasil.

3.1.1 Captação de água

O conhecimento dos parâmetros da fonte de captação de água (subterrânea ou superficial) para o bombeamento é fundamental não somente para a concepção e para o dimensionamento do sistema, como também para sua manutenção.

O teste de capacidade ou teste de caracterização do poço proporciona parâmetros importantes, tais como os níveis estático (H_E) e dinâmico (H_D) do lençol freático, e a capacidade de reposição do poço (Q_R), conforme indica o diagrama esquemático da figura 3.4. A não

¹ É muito comum em região de várzea a presença de compostos ferrosos em águas subterrâneas de pequena e média profundidades, em concentrações impróprias para o consumo humano, assim como no semi-árido nordestino a alta concentração de sais na formação geológica cristalina.

² Há casos em que as dificuldades geológicas (grandes profundidades do freático ou substrato geológico muito resistente) são incompatíveis com as condições técnicas e/ou financeiras de determinados projetos.

determinação de tais parâmetros ou sua incorreção³ pode implicar na sub ou sobreutilização do recurso e, até mesmo, em danos ao mecanismo de bombeamento. Se a vazão de extração (Q) for muito superior à de recarga do poço (Q_R), o nível dinâmico pode rebaixar excessivamente a ponto de o mecanismo funcionar “em seco”, podendo danificá-lo. Além disso, vazão de extração muito superior à vazão de reposição pode comprometer a estrutura do poço.

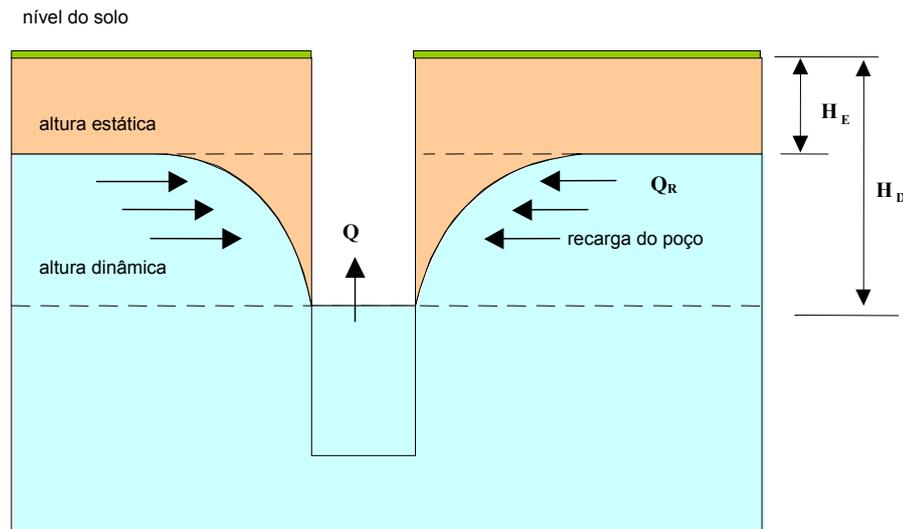


Figura 3.4 – Parâmetros característicos obtidos com a vazão máxima.

Muitos equipamentos avariados no País, principalmente em períodos de baixa pluviometria (maior irradiação solar e menor reposição do aquífero), podem ter sofrido esse tipo de problema sem que a causa fosse determinada, uma vez que, quando o motor pára de funcionar, ocorre reposição natural do aquífero, mascarando a causa do problema. Quanto maior a extração e menor a permeabilidade do terreno, maior o risco de que isso ocorra.

Sobre a relação entre a capacidade do poço e a vazão de extração, uma primeira idéia é que se $Q < Q_R$, não deverá haver problemas. Por este motivo, no processo de dimensionamento, há que se comprovar que esta relação se cumpra, com a obtenção do valor de Q_R . De qualquer forma, como costuma haver incertezas na obtenção deste parâmetro, é importante que os sistemas incluam proteção contra o funcionamento da motobomba em seco.

Mas não basta uma correta perfuração e realização do teste de capacidade do poço; outras questões devem ser levadas em conta para que haja uma boa utilização do sistema.

³ Nem sempre as empresas perfuradoras realizam os testes de caracterização dos poços de forma correta ou padronizada.

É muito comum a existência de poços sem tampas ou com tampas precariamente instaladas, de fácil abertura, no interior dos quais são comumente encontrados inúmeros objetos, tais como cordas, sapatos e brinquedos, jogados ou deixados cair, os quais são importantes fontes de contaminação da água. Além disso, a “boca do poço”⁴ costuma estar a poucos centímetros da superfície do solo, aumentando o risco de que animais ou crianças caiam em seu interior por descuido. Por isso, os poços de pequeno diâmetro, do tipo tubular, reduzem esse problema. Na figura 3.5 observa-se um poço tipo cacimba (diâmetro de 1,2 metro), precariamente tampado com tábuas soltas, com mureta próxima do solo e sem proteção. A figura 3.6 ilustra um poço do tipo tubular (diâmetro de 0,25 metro), devidamente lacrado, protegendo sua integridade, a da bomba, bem como a qualidade da água.



Figura 3.5 – Boca de poço tipo cacimba, sem proteção, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 3.6 – Boca de poço tubular, lacrada, Projeto Eldorado, PE. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

Quando a captação é obtida de recurso hídrico superficial, além da determinação da variação do nível das águas, é salutar conhecer outras peculiaridades do manancial, como os distintos usos que dele se faz, tais como via de transporte, possíveis pontos de contaminação, etc.

Os principais problemas registrados em sistemas de bombeamento flutuantes em rios e igarapés estão relacionados a ocorrências de vandalismo e roubo dos equipamentos, a avarias provocadas por erros de operação e por troncos e ramas de árvores que descem nas águas, além de colisões com embarcações. Problemas decorrentes da existência de focos de contaminação em rios algumas vezes podem ser contornados com a captação de água a montante dos pontos de emissão.

⁴ Parte superior do poço que se encontra acima do solo.

3.1.2 Água, características e uso

Ainda que comumente chamada de “fonte e mantenedora da vida”, a água pode ser um meio transmissor de inúmeras enfermidades. Por esse motivo, quando destinada ao consumo humano, a análise de potabilidade é obrigatória, bem como a realização dos tratamentos pertinentes, devendo seguir o padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde, por meio da Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000.

Em alguns casos, no entanto, mesmo obedecendo aos padrões de qualidade físico-químicos e microbiológicos estipulados, o consumo pode ser prejudicado devido a características organolépticas⁵ indesejáveis, principalmente sabor e odor desagradáveis. Mesmo não implicando, necessariamente, em problemas sanitários, tais características podem ser determinantes para a aceitação e utilização de sistemas de abastecimento de água. Esse fato foi observado em um programa de abastecimento de água em quatro comunidades rurais na Amazônia. Apesar de localizadas próximas umas das outras, em uma delas a água apresentou-se com certo “odor a enxofre”. Ainda que as demais características obedecessem aos padrões estabelecidos, a baixa aceitação da água bombeada foi constatada no registro de consumo, sendo que na comunidade em questão o consumo médio foi inferior a 0,6 litro por habitante/dia, enquanto nas demais foi superior a 25 litros por pessoa/dia, chegando uma das comunidades à média de 48 litros por habitante/dia, conforme ilustram as figuras 3.7 e 3.8.

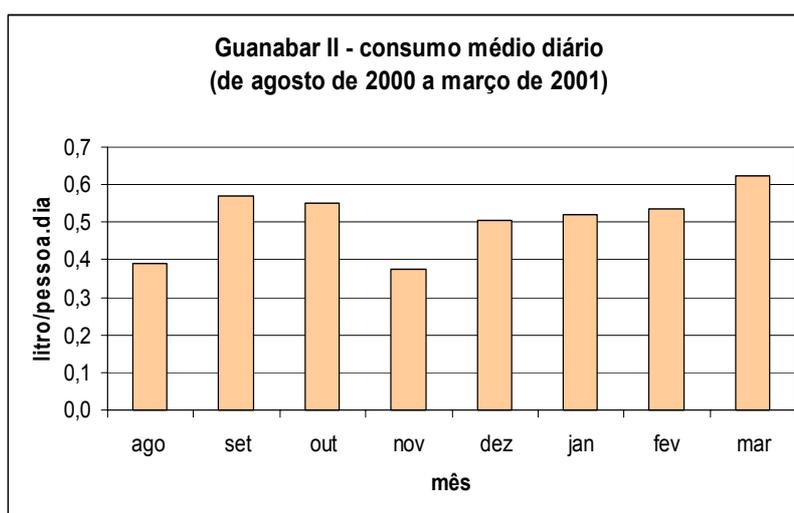


Figura 3.7 – Consumo médio de água na comunidade de Guanabara II.

⁵ Que possui propriedades que atuam sobre os sentidos, tais como cor, turbidez, sabor e odor.



Figura 3.8 – Consumo médio de água na comunidade de Vera Cruz.

Esse tipo de problema, bem como o excesso de alguns elementos químicos, como é o caso de compostos ferrosos e sais, é de difícil e custosa solução, principalmente quando se trata do abastecimento de pequenas populações, pois os equipamentos a serem utilizados no tratamento costumam ser caros e de complexa operacionalização, podendo comprometer o andamento de empreendimentos que não contarem com reservas orçamentárias. Por esse motivo, é aconselhável a execução de “anteprojeto”, com objetivos exploratórios da região que se pretenda abastecer, no qual, além da perfuração e dos testes de capacidade dos poços, seria realizada a análise de potabilidade da água. Esse procedimento propiciaria a elaboração de projetos específicos para cada situação, incluindo a forma de tratamento da água, e evitaria possíveis frustrações dos futuros usuários.

As características da água podem não só influenciar em sua aceitação pelos usuários, como também prejudicar o mecanismo dos equipamentos. Existem várias situações em que isso pode ocorrer; uma delas diz respeito à presença de grande quantidade de particulado sólido em suspensão, causando problemas, principalmente, em bombas de deslocamento positivo do tipo diafragma. O mecanismo de bombas metálicas costuma ser altamente afetado por águas que contenham altas concentrações de sais solúveis; além disso, altas concentrações de carbonatos resultam na deposição de resíduos sólidos internamente aos equipamentos e tubulações, comprometendo o funcionamento e a vida útil de toda a instalação. Daí a importância de conhecer a composição físico-química da água para a determinação do tipo de equipamento a ser utilizado, bem como das possíveis formas de tratamento. A figura 3.9 mostra a membrana de uma bomba de diafragma danificada em virtude da grande quantidade de particulados sólidos em suspensão na água bombeada.



Figura 3.9 – Diafragma de bomba danificado pela grande quantidade de areia em suspensão existente na água bombeada, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2003)

Apesar da importância dos cuidados sugeridos acima, a qualidade da água para consumo humano não está totalmente equacionada apenas levando-se em conta as características do manancial. De nada vale o poço proporcionar uma água de excelente qualidade se esta for contaminada em algum ponto entre a captação e o consumo. O condicionamento, a manutenção e a limpeza dos reservatórios, tubulações e recipientes de coleta, bem como a desinfecção da água, são procedimentos de suma importância e que não costumam ser tratados com a devida relevância, nem pelos idealizadores de projetos, nem pelos próprios usuários. A figura 3.10 ilustra o pouco cuidado com as condições da água de um reservatório de uso comunitário em comunidade no Amazonas. Na figura 3.11 observa-se o tipo de condicionamento da água para consumo da família, com recipientes destampados e animais circulando nas imediações, em comunidade em Mato Grosso do Sul.



Figura 3.10 – Interior de reservatório, precário cuidado com a limpeza, PTU, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2001)



Figura 3.11 – Água para consumo humano em más condições de condicionamento, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

Mais problemática do que a contaminação microbiológica da água, a qual pode facilmente ser detectada e tratada, é a contaminação por elementos tóxicos, ocasionada, por exemplo, por compostos químicos sintéticos utilizados na agricultura e pecuária, amplamente disseminados por todo o País, sem que haja controle do uso e do descarte das embalagens (BATALHA & COSTA, 1994).

Em trabalho de avaliação de sistemas de bombeamento fotovoltaico do PRODEEM, instalados em aldeias indígenas no Estado de Mato Grosso do Sul, foi encontrado um panorama lastimável a que estão expostas aquelas populações, em virtude do descaso, de uns, e do extremo desconhecimento, de outros⁶. Estando entremeadas por latifúndios produtores extensivos de soja, as aldeias são vulneráveis às conseqüências do uso massivo de agrotóxicos ou defensivos agrícolas, apesar de não fazerem uso desses produtos em sua agricultura. Além de serem atingidas diretamente por meio do vento, quando há a aspersão dos produtos na lavoura, seus córregos, açudes, vertentes e poços são permanentemente contaminados pelo escorrimento superficial e pela infiltração dos produtos no freático. Como se não bastasse isso, a população indígena utiliza – para captação, transporte e armazenamento de sua água de consumo – os recipientes plásticos dos produtos químicos utilizados nas fazendas vizinhas e descartados de forma incorreta. Ignorando as reais conseqüências, apesar da presença de organismos responsáveis pela saúde pública local, essa prática é de ampla utilização naquela região. Por se tratar de um processo lento de contaminação/intoxicação, possíveis enfermidades provocadas por essa prática podem ser de difícil diagnóstico e, conseqüentemente, de difícil tratamento e erradicação.

A crença dos usuários de que “a água lava tudo” e a falta de um trabalho de conscientização por parte das instituições responsáveis tornam-se empecilhos para a solução do problema. Ilustrativo do exposto acima foi a resposta de uma senhora residente em uma das comunidades, quando questionada se sabia o que estava fazendo: “(...) quando a gente pega [o recipiente de agrotóxico], tem cheiro bem forte, mas a gente lava com água e sabão, depois deixa de molho e já dá pra usar”, como se a simples lavagem do recipiente fosse retirar todo o resíduo do produto anteriormente utilizado.

Ainda que as embalagens contenham orientações para que os recipientes não sejam reutilizados, o alto índice de analfabetismo entre os adultos naquela região contribui para a continuidade desse quadro lastimável. As figuras 3.12 e 3.13 ilustram a problemática.

⁶ O problema foi detectado no ano de 2000 e não há indícios de que a situação tenha melhorado sensivelmente até o momento.



Figura 3.12 – Vasilhame de agrotóxico utilizado para captação e transporte de água para consumo humano, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 3.13 – Vasilhame de agrotóxico utilizado para armazenamento de água para consumo humano, PRODEEM, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

3.1.3 Tratamento da água

Por razões sanitárias, o estado da arte do abastecimento de água para consumo humano a partir de recurso hídrico subterrâneo busca substituir os poços de tipo cacimba por poços tubulares de pequeno diâmetro, com “boca” do poço lacrada. No entanto, grande parte da população mundial é abastecida por recurso hídrico superficial, que, via de regra, deve contar com tratamentos específicos para propiciar sua potabilidade.

As águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, podem estar sujeitas a diversos tipos de contaminação e, para a grande variedade de contaminantes existentes, há uma série de tratamentos (filtração, decantação, cloração, destilação, osmose reversa, eletrodialise reversa, irradiação por ultravioleta e por raios X, etc.), utilizados em função das características do corpo hídrico de cada manancial e dos recursos financeiros e de mão-de-obra locais. (CYTED, 1999)

Quando se trata do abastecimento de água a grandes populações, a própria escala do atendimento permite a aquisição de equipamentos e a formação de um quadro técnico especializado. No entanto, quando a população a ser atendida é pequena e encontra-se dispersa geograficamente, as dificuldades em propiciar o mesmo serviço crescem e, em função disso, grande parte do abastecimento de água a populações rurais dispersas no Brasil não conta com nenhum tipo de tratamento e sofre suas conseqüências. Na maioria dos casos, quando há tratamento, costuma ser por filtração ou cloração. Entretanto, em localidades onde a salinidade da água alcança níveis elevados, começa a haver a implantação de projetos que

utilizam a tecnologia de osmose reversa para a purificação da água. Por se tratar de uma tecnologia intensiva em energia e, portanto, de alto custo de investimento e/ou operação, vem sendo utilizada, fundamentalmente, para o tratamento de água para consumo humano.

Independentemente do tipo de tecnologia utilizado, os problemas encontrados estão relacionados à gestão, seja em sistemas mais complexos de tratamento centralizado para uma comunidade que contemple rede de distribuição, cujo processo conta com inúmeras etapas a serem rigorosamente seguidas, seja na desinfecção individual realizada em cada residência, pela simples cloração no recipiente de consumo. Em ambos os casos, deve haver um mecanismo permanente de abastecimento dos materiais utilizados no processo, o que nem sempre é tarefa fácil, em se tratando de comunidades remotas. Em segundo lugar, costuma haver dificuldade de aceitação da água clorada, em virtude de seu sabor e odor característicos. Para contornar a rejeição dos usuários, há propostas de introdução paulatina do cloro (partindo de uma menor concentração até a concentração indicada para a total desinfecção), a fim de que os usuários possam acostumar-se ao novo paladar. A não observância desse procedimento pode levar a uma rejeição total da água tratada, com a conseqüente paralisação do tratamento.

As inúmeras modalidades de potabilização da água não são tratadas em profundidade neste trabalho, mas, independentemente da opção tecnológica adotada, o importante é que seja sustentável no tempo e aceita pela população usuária.

3.1.4 Disposição final da água servida

Tão importante quanto o abastecimento de água a uma população é o destino dado à água servida, pois sérios problemas sanitários podem ser causados pelo empoçamento desta nas proximidades das residências ou dos locais de passagem e de convívio.

Usualmente, na idealização de um projeto de abastecimento de água a determinada população, busca-se proporcionar uma água de boa qualidade, em quantidade compatível com suas necessidades e de fácil acesso. Em comunidades rurais desprovidas de rede de abastecimento de água, costuma não haver rede de esgoto ou infra-estrutura de deságüe. Quando não há rede de distribuição, a utilização da água nas proximidades das casas se dá de forma restrita e proporcional à capacidade dos usuários em transportá-la. No entanto, quanto melhor o acesso e a disponibilidade de água, maior costuma ser o consumo, com um conseqüente aumento da quantidade de água servida; e é nesses casos que os cuidados com a disposição dos efluentes devem ser redobrados.

Se a nova forma de abastecimento ocorrer por meio de pontos de coleta comunitários, a quantidade de água empoeçada nas proximidades das casas ainda pode ser moderada, sem agravamento das condições sanitárias locais; entretanto, se o abastecimento ocorrer individualmente em cada residência, pode-se contar com um aumento substancial de água empoeçada, repercutindo desfavoravelmente nas condições sanitárias locais.

Esse fato pode levar a situações nas quais os impactos negativos de projetos de abastecimento de água – aumento de focos de enfermidades – se tornem mais significativos do que os positivos – maior facilidade de acesso à água –, pondo em risco seu real objetivo, que costuma ser a melhora da qualidade de vida da população. Por esse motivo, na impossibilidade de execução de redes de esgoto ou de outro tipo de deságüe em cada residência, é aconselhável que a rede hidráulica se limite a pontos de coleta de água de uso comunitário, os quais devem apresentar algum tipo de drenagem. A afirmação acima, apesar de qualitativa, está fundamentada na experiência acumulada em trabalhos de implantação e avaliação de inúmeros projetos, cujas observações podem ser tomadas como generalidade na matéria em foco.

As figuras 3.14 e 3.15 ilustram a utilização de água em tarefas domésticas em residências ribeirinhas, sem e com rede de distribuição de água, respectivamente, não havendo sistema de deságüe da água servida. Apesar de em ambos os casos haver acúmulo de água servida nas proximidades das residências, a situação da figura 3.15 é mais crítica do ponto de vista sanitário, pela maior quantidade eliminada.



Figura 3.14 – Utilização de água para tarefas domésticas em residência ribeirinha sem rede de distribuição. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)



Figura 3.15 – Utilização de água para tarefas domésticas em residência ribeirinha com rede de distribuição. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

Resumindo o item 3.1 até aqui tratado, os principais problemas encontrados, relacionados ao recurso hídrico, foram a inexistência ou a inconsistência dos parâmetros de caracterização de

poços; o descuido com a vedação de poços e de reservatórios de água; a qualidade microbiológica e físico-química da água, e suas implicações na utilização do sistema; o deságüe da água servida; a captação e utilização de água superficial sem tratamento; e o vandalismo a que estão submetidos os sistemas de bombeamento de superfície ou flutuantes.

3.2 Equipamentos

Neste item são descritos os principais problemas encontrados em campo, com relação aos equipamentos elétricos e hidráulicos, de um modo geral, além de comentários relativos à utilização de equipamentos complementares que, apesar de não serem essenciais ao funcionamento dos sistemas de bombeamento, auxiliam na sua utilização, gestão e monitoramento.

3.2.1 Equipamentos elétricos

Gerador fotovoltaico, controlador/inversor, condutores de corrente elétrica e conexões, além do conjunto motobomba, são chamados, aqui, de equipamentos elétricos. Conforme comentado anteriormente, o gerador fotovoltaico costuma ser o elemento de um sistema de bombeamento fotovoltaico de maior confiabilidade, ou seja, com a menor probabilidade de ocorrência de falhas, sempre que originário de empresa idônea e construído com tecnologia reconhecidamente aprovada. As experiências mais problemáticas verificadas foram as que se arvoraram a utilizar, no campo, novas tecnologias de célula e/ou de encapsulado, as quais ainda não haviam sido devidamente testadas e aprovadas.

Muitos principiantes na implantação de sistemas fotovoltaicos deixam-se convencer por distribuidores de equipamentos de novas tecnologias, sem pesquisar sobre a confiabilidade da tecnologia oferecida, o que chega a pôr em risco a viabilidade de seu projeto a médio e longo prazo. Esse é o caso de dois sistemas, de diferentes procedências e tecnologias, encontrados em comunidades rurais no norte do Estado de Minas Gerais, nos quais, em poucos meses de utilização, os módulos apresentaram degradação do silício e do encapsulado, comprometendo o desempenho do sistema, conforme ilustram as figuras 3.16 e 3.17. Afortunadamente, esse tipo de problema é de baixa ocorrência, em virtude não só de maior informação a respeito da tecnologia, como também do aprimoramento dos novos materiais.

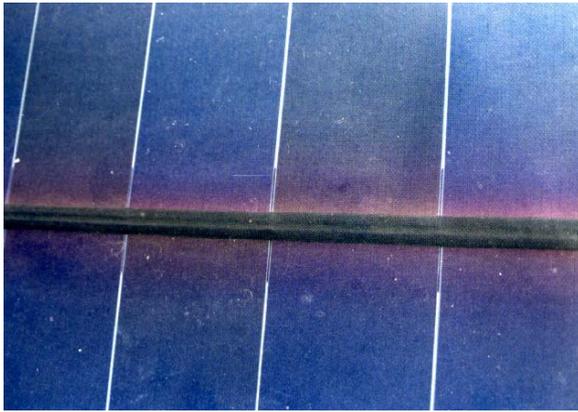


Figura 3.16 – Módulo fotovoltaico de silício amorfo apresentando manchas róseas na parte central. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 3.17 – Módulo fotovoltaico de silício amorfo apresentando degradação do material verificada por manchas brancas circulares. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

Ainda com relação ao gerador fotovoltaico, é muito comum sua instalação em locais inadequados que apresentam sombreamento em algum período do dia. Isso pode ocorrer tanto por desinformação do instalador, como na figura 3.18, onde a construção que sombreia os módulos já existia na ocasião da instalação, quanto por razões involuntárias ao mesmo, como é o caso da figura 3.19, onde, apesar de os módulos terem sido instalados a mais de 2 metros de altura da superfície do solo, o cultivo de bananeiras, ocorrido após sua instalação, provocou um sombreamento considerável. Há ainda o sombreamento por poeira (figura 3.20) e pelo crescimento da vegetação arbustiva (figura 3.21), sendo que ambas as situações ocorrem quando os módulos são instalados muito próximos ao solo. Ainda que de fácil prevenção e solução, esse tipo de problema persiste em inúmeros projetos e acaba comprometendo o desempenho do sistema.



Figura 3.18 – Sombreamento de módulos fotovoltaicos por construção contígua, RO. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

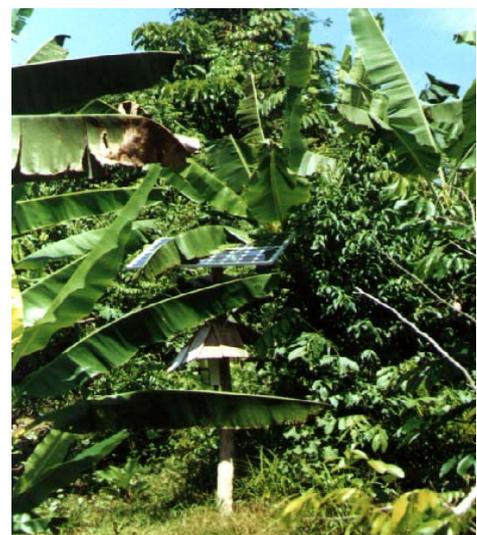


Figura 3.19 – Sombreamento de módulos fotovoltaicos por vegetação arbórea, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)



Figura 3.20 – Sombreamento de módulos fotovoltaicos por poeira, SP.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)



Figura 3.21 – Sombreamento de módulos fotovoltaicos por vegetação rasteira, SP.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

No pequeno universo de problemas com os módulos fotovoltaicos, os de maior ocorrência são os rompimentos por vandalismo ou originados por fixação precária. Além disso, não se deve descartar a ocorrência de furto de módulos, de maior ou menor incidência, dependendo das características da região e da distância dos locais de convívio.

Quanto aos equipamentos de condicionamento de potência, avaliações feitas em inúmeros projetos em campo constataram que, de modo geral, na instalação inicial de sistemas de bombeamento, os conversores CC-CC, conhecidos como *boosters*, encontram-se em correta configuração e bem ajustados com relação ao ponto de trabalho do gerador fotovoltaico e às características do grupo motobomba. No entanto, observou-se que, quando há necessidade de substituição de um dos equipamentos – *booster* ou motobomba –, com grande frequência o equipamento reposto não é o correto, ou os ajustes não são bem-feitos. Esse fato prejudica sobremaneira o funcionamento de todo o sistema, além de causar avarias em seus componentes. De certa forma, essa situação reflete a realidade de inúmeros projetos no País, os quais não conseguem manter a qualidade técnica na manutenção e reposição de equipamentos.

Com relação aos controladores/inversores e aos conjuntos motobomba, conforme já comentado, ainda que considerados equipamentos de alta confiabilidade, registrou-se uma quantidade de ocorrências fora da “normalidade” em um grande programa de abastecimento de água no Brasil. Conforme se pode ver na tabela 3.1, de 801 sistemas de bombeamento fotovoltaico implantados, 140 (18%) controladores e 191 (25%) grupos motobomba apresentaram problemas. Os dados apresentados se referem a equipamentos do PRODEEM-Nordeste, adquiridos entre 1998 e 1999 (instalados em distintos períodos), e refletem a

situação em março de 2002, sendo que o informe técnico anterior advertia que o número de ocorrências tornava-se crescente à medida que os equipamentos aproximavam-se dos dois anos de instalação. (BEZERRA, 2002; BRASIL, 2001)

Tabela 3.1 – Incidência de problemas em componentes dos sistemas de bombeamento fotovoltaico PRODEEM-Nordeste, por estado.

Estado	PI	AL	BA	CE	PB	PE	RN	SE	Total	%
Sistemas instalados	40	79	115	110	134	150	150	23	801	100
Problema c/ contr.-inver.	11	1	13	28	17	44	24	2	140	17
Problema c/ motobomba	3	15	40	23	30	52	22	6	191	24
Problema c/ módulo FV	0	0	6	0	0	0	0	0	6	< 1

(Fonte: Dados obtidos em BEZERRA, 2002.)

Segundo avaliação de especialistas, o problema com as bombas helicoidais consistiu no rompimento do eixo, causado por corrosão galvânica, devido à utilização de liga metálica incompatível com a função proposta para as bombas (figura 3.22). Apesar do comprometimento da empresa responsável em repor os equipamentos avariados, até o momento a reparação não foi concluída. A situação é lastimável, não só por incorrer em descaso de alguns agentes envolvidos e impotência de outros, mas, principalmente, por se tratar de iniciativa financiada com recursos públicos para aliviar os efeitos da seca em comunidades rurais carentes no Nordeste do País.



Figura 3.22 – Detalhe de eixo de bomba helicoidal apresentando corrosão galvânica. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

Outro problema constatado em campo é o descuido com a fiação e com as conexões elétricas, com relação tanto à qualidade do material – parafusos e porcas que oxidam –, quanto à forma de condicionamento, em que a fiação e as conexões entre o gerador fotovoltaico e o grupo motobomba são precárias. As figuras 3.23 e 3.24 ilustram essas ocorrências.

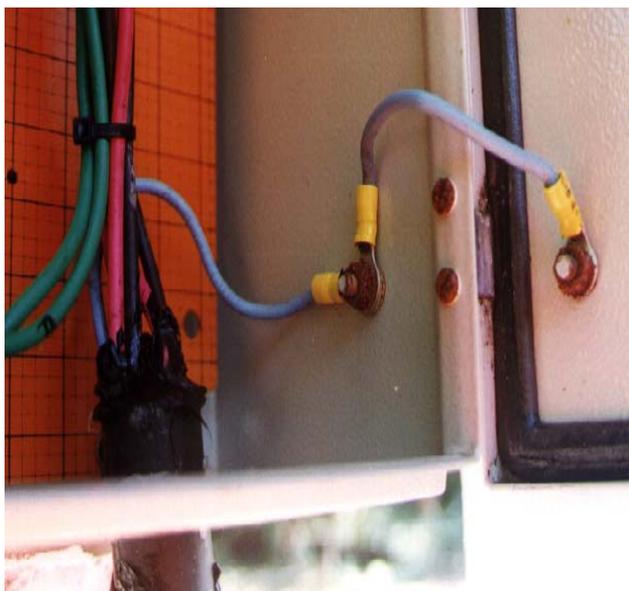


Figura 3.23 – Detalhe da caixa de controle de um sistema de bombeamento apresentando conexões oxidadas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

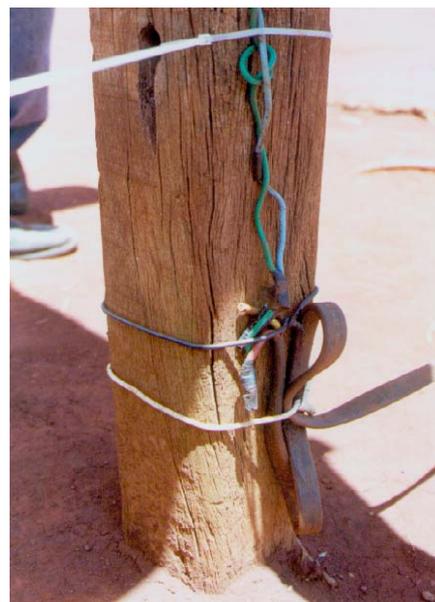


Figura 3.24 – Detalhe da estrutura de sistema de bombeamento fotovoltaico, com fiação e conexões inadequadas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

3.2.2 Equipamentos hidráulicos

Entenda-se por equipamentos hidráulicos como sendo todos aqueles compreendidos entre a captação no manancial e as torneiras, pelos quais passa água bombeada, exceção feita à bomba, por ter sido tratada, no item anterior, como “grupo motobomba”. De modo geral, a confiabilidade dos equipamentos hidráulicos de um sistema de abastecimento de água que utilize a tecnologia fotovoltaica deve ser a mesma de um sistema convencional, uma vez que, excetuando a capacidade de reservatório, em nada se diferenciam um do outro.

Com grande frequência observou-se em campo o pouco cuidado dispensado às tubulações e conexões hidráulicas. Um bom exemplo disso é o sistema de bombeamento de uma comunidade em Mato Grosso do Sul, na qual, em virtude do rompimento de uma pequena conexão, a distribuição de água para a comunidade e para a escola ficou inviabilizada. O

problema foi originado por estar a rede hidráulica desenterrada. O rompimento da conexão, um “T” de polietileno (figura 3.25), de preço inferior a R\$ 1,00 (um real), prejudicou o funcionamento de um sistema estimado em cerca de R\$ 30.000,00 (trinta mil reais), ou seja, a qualidade do serviço e dos materiais não se deve restringir apenas aos equipamentos caros e sofisticados, pois se os mais simples não funcionarem a contento, acabarão por comprometer o desempenho de todo o sistema.



Figura 3.25 – Conexão de polietileno apresentando rompimento.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

Outro problema de comum ocorrência, relacionado ao tipo de material utilizado na rede hidráulica, é a sua degradação prematura em função do tipo de utilização e das características locais. Em um projeto de grande monta realizado no Marrocos, mediante cooperação internacional com a Espanha, a infra-estrutura hidráulica ficou sob responsabilidade das autoridades locais. Apesar de contar com o melhor do estado da arte em termos dos equipamentos fotovoltaicos, o mesmo cuidado não foi tomado com a tubulação interna dos reservatórios. Foram utilizados canos de ferro galvanizado, material não indicado para as características químicas da água e das altas temperaturas no interior dos reservatórios. Ao cabo de um ano de utilização, as tubulações encontravam-se em estado avançado de corrosão, apresentando inúmeras rupturas que colocaram em risco todo o projeto, conforme ilustra a figura 3.26. Esse exemplo reforça a necessidade de conhecer as características da água no momento da concepção técnica do projeto.



Figura 3.26 – Tubulação de ferro galvanizado perfurada por corrosão.
(Foto: E. Lorenzo, 1998)

Em outros casos, no entanto, são utilizados materiais de boa qualidade; porém, se eles não receberem os cuidados devidos, sua durabilidade também ficará comprometida. O problema mais comumente encontrado é a disposição de tubulação de PVC e polietileno diretamente na superfície do solo, exposta à ação dos raios solares e ao trânsito de veículos, pessoas e animais, conforme figuras 3.27 e 3.28. Apesar de ser amplamente conhecida essa questão, e de fácil solução por meio do enterramento da tubulação, projetos seguem sendo implantados sem que haja o devido cuidado com esses materiais.

Outro elemento que costuma causar problemas são as torneiras, as quais, ao apresentarem freqüente desgaste do mecanismo interno de vedação, provocam os chamados “pingamentos”, formadores de poças d’água junto aos pontos de coleta. Por esse motivo, é salutar a utilização de torneiras robustas, que requeiram menos manutenção e reposição. Outra questão relacionada a elas se refere a sua fixação. Ainda que de fácil e barata execução, é muito comum encontrar torneiras mal fixadas, que, com a utilização freqüente, provocam rompimentos. Exemplo disso observa-se na figura 3.29, onde se encontra uma torneira plástica instalada em uma mangueira, a qual foi amarrada a um suporte de madeira precariamente fixado no solo. Antagonicamente a isso, na figura 3.30 encontram-se torneiras metálicas firmemente fixadas a uma simples, porém sólida, estrutura.



Figura 3.27 – Tubulação exposta à intempérie, SP. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

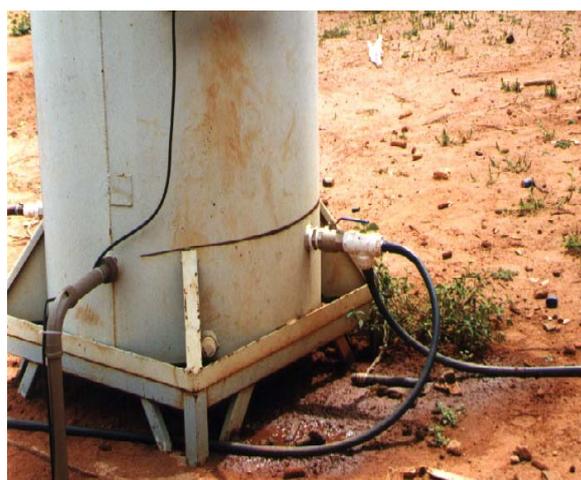


Figura 3.28 – Rede de distribuição disposta na superfície do solo, SP. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura 3.29 – Torneira em mal estado de fixação, em aldeia Kaiowá, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

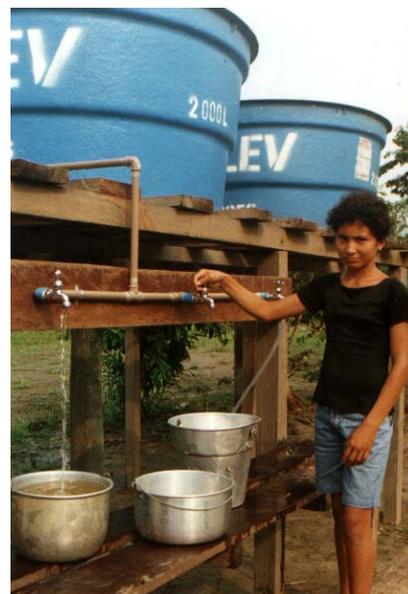


Figura 3.30 – Torneiras bem fixadas, em comunidade ribeirinha, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

3.2.3 Equipamentos complementares

São chamados de complementares os equipamentos que não estão relacionados diretamente com o bombeamento, mas que são necessários para a averiguação do estado de funcionamento do sistema e para a otimização do uso do reservatório.

Em avaliação feita em sistemas de bombeamento do PRODEEM instalados em assentamentos da reforma agrária, no Pontal do Paranapanema, a principal reclamação dos usuários foi relativa à “falta de água”, pois a água bombeada não era suficiente para a demanda local.

Apesar de um dos objetivos do trabalho de campo em questão ter sido a avaliação do funcionamento e da utilização dos sistemas, não foi possível quantificar esses parâmetros em virtude da ausência de hidrômetros nas instalações. A partir dessa experiência, foi constatado que nos editais de licitação do PRODEEM – Bombeamento – não constava a aquisição de hidrômetros e, por sua vez, a maioria das entidades responsáveis pela implantação dos sistemas nos estados não providenciou a instalação desse dispositivo medidor do consumo. Em função disso, a determinação do funcionamento dos sistemas nas condições reais fica prejudicada, bem como qualquer tentativa de gerenciamento do consumo por parte dos usuários.

Foi constatado, também, que, salvo raras exceções, a instalação de hidrômetros em sistemas de abastecimento de água de uso comunitário só ocorre quando há a intenção de cobrança pelo uso da água. Em contraposição a esse tipo de concepção de projeto, existem alguns empreendimentos nos quais, utilizando-se de hidrômetros, os usuários organizam turnos de coleta de água, segundo sua menor ou maior disponibilidade ao longo do ano.

Outro equipamento de grande valia para a boa utilização de sistemas de bombeamento é a bóia reguladora do nível do reservatório. À semelhança do ocorrido com os hidrômetros, boa parte dos sistemas de bombeamento do PRODEEM não conta com esse dispositivo, implicando a necessidade de desligamento manual da bomba quando os reservatórios estão cheios. Quando não ocorre o desligamento manual, nos casos em que o volume diário bombeado é maior do que o consumido e/ou do que a capacidade de acumulação, há um transbordamento do reservatório até o momento em que a irradiação solar diminua, desativando naturalmente o bombeamento. Uma vez desligado manualmente o sistema, ele só volta a funcionar quando religado novamente, o que requer uma organização extra dos usuários. Essa situação se agrava nos casos em que a chave (disjuntor) se mantém distante dos pontos de coleta e utilização da água, dificultando a operação. Grande parte dos sistemas de bombeamento que não contam com bóia de nível superior nos reservatórios apresenta transbordamentos frequentes, provocando problemas tais como erosão e lixiviação do solo, além de empoçamentos. Sendo a bóia reguladora de nível um elemento de baixo custo e que otimiza automaticamente a acumulação de água nos reservatórios, deveria ser de uso compulsório em todos os sistemas de bombeamento, ou outro mecanismo de controle como pode ser a utilização de pressostato quando houver grande distância entre o poço e o depósito.

Tudo indica que essa questão não vem sendo tratada com a relevância devida, pois, quando questionado sobre a ausência de bóias de nível em mais de cem sistemas de bombeamento

fotovoltaico em um programa estadual, um dos engenheiros responsáveis pela implantação respondeu da seguinte forma: “Nós não instalamos as bóias para incentivar a população a fazer um uso produtivo da água excedente, ou seja, quando a população vê a água transbordando, vai querer utilizá-la para outros fins”.

Em nenhum dos sistemas por visitados naquele estado ou no restante do País a população utiliza a água excedente que jorra sem controle pelo ladrão dos reservatórios. A equivocada concepção de projeto acima justificada revela que há necessidade de uma capacitação básica também das equipes técnicas do “primeiro escalão” envolvidas na implantação de projetos.

3.3 Curiosidades e situações inusitadas

Ainda fazendo parte do item **problemas e lições apreendidas**, descrevem-se três casos vivenciados e um quarto problema relatado por um técnico que trabalha em campo, os quais, apesar de relacionados às características intrínsecas de cada local e do seu caráter anedótico, alertam o planejador/projetista para a possível ocorrência de problemas inusitados, principalmente se o empreendimento se encontrar em regiões de natureza exuberante, como é o caso de grande parte do meio rural brasileiro. A peculiaridade dos problemas encontrados decorre do fato de que eles não poderiam ter sido evitados, em virtude da falta de registro de ocorrências similares, e por terem sido causados por animais pertencentes ao ecossistema específico de cada local.

No primeiro deles, em trabalho de avaliação de sistemas instalados na Reserva Extrativista do Lago do Cuniã, em Rondônia, a borracha de vedação das caixas de proteção dos equipamentos eletrônicos (inversores e controladores) havia sido destruída por insetos, pondo em risco a integridade daqueles equipamentos, uma vez que a umidade relativa do ar na região é extremamente elevada, e a eliminação da borracha impedia a total vedação da caixa (figura 3.31).

No segundo caso, em visita de monitoramento de um projeto de bombeamento localizado no Vale do Ribeira, Estado de São Paulo, a equipe técnica deparou com um dos sistemas desligado. Apesar de os equipamentos não apresentarem avarias, o sistema havia sido interditado pelo risco de desabamento da estrutura de sustentação dos reservatórios de água. Ainda que construída em madeira resistente a intempéries, insetos (coleópteros, popularmente conhecidos como mamangavas) haviam feito inúmeras e profundas perfurações no material, pondo em risco a estrutura, até então, supostamente robusta (figura 3.32).

O terceiro caso aconteceu em um sistema instalado em uma comunidade no Alto Rio Solimões, Amazonas, no qual o funcionamento da bóia de nível do reservatório começou a apresentar problemas. O sistema automático de desligamento da bomba parou de funcionar e não foi encontrado problema algum nem na bóia, nem nos contatos elétricos. Tudo indicava ser uma falta de contato elétrico. Mas onde, uma vez que todas as conexões estavam em perfeito estado e não havia marcas visíveis de ocorrência de cortes no cabo elétrico de 250 metros de comprimento entre o poço e o depósito, que havia sido cuidadosamente enterrado? Ao ser desenterrado, constatou-se que o cabo havia sido atacado por cupins em diversos pontos. Apesar de se tratar de um cabo emborrachado de alta qualidade e resistência a intempéries, os cupins não só haviam roído a capa protetora externa de borracha, como também começavam a danificar o isolamento interno, a ponto de impedir o funcionamento da bóia (figura 3.33).



Figura 3.31 – Borracha de vedação danificada por insetos, RO. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 3.32 – Madeira de suporte dos reservatórios perfurada por coleópteros, SP. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

O quarto caso, e quiçá o mais surpreendente, ocorreu na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, no médio Solimões, com um sistema de bombeamento de superfície instalado em um flutuante. O sistema foi atacado por um jacaré, o qual, abocanhando a mangueira de sucção do sistema, arrastou o mecanismo completo para o fundo do igarapé, rompendo conexões e avariando seriamente o motor, por ser tratar de um sistema de superfície. Acredita-se que o que atraiu o jacaré tenha sido o tipo de mangueira transparente e reforçada por fios de *nylon*, os quais são sobrepostos na forma de losangos prateados,

assemelhando-se a escamas de peixes, conforme ilustra figura 3.34. Para evitar novos ataques, a mangueira transparente por uma de material opaco, o qual não mostra a textura prateada.

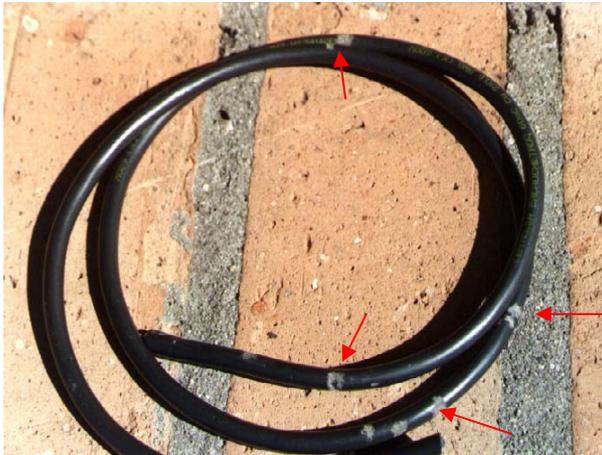


Figura 3.33 – Cabo elétrico da bóia de nível do reservatório danificado pela ação de cupins, AM. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)



Figura 3.34 – mangueira de sucção de bomba flutuante atacada por jacaré, RDS Mamirauá, AM. (Foto: O.S. Brito, 2003)

Esses fatos evidenciam a importância de haver um monitoramento dos sistemas ao cabo de certo período de funcionamento, com vistas a detectar, também, problemas insuspeitados.

3.4 Dimensionamento e dimensões dos equipamentos

O dimensionamento costuma ser uma questão para a qual, sabiamente, o projetista se permite dispensar grande atenção e tempo. No entanto, as características físicas dos equipamentos, como seu peso e dimensionamento, e suas implicações no transporte e instalação costumam passar despercebidas para ele. Este item trata da importância de cada uma delas.

3.4.1 Dimensionamento

A otimização do dimensionamento dos equipamentos de projetos de bombeamento fotovoltaico costuma ser a principal preocupação do projetista, que tem como objetivo o abastecimento da demanda, minimizando os custos de investimento. Essa afirmação parece ser tão mais verdadeira quanto maior for o projeto, uma vez que uma pequena redução de gastos em cada sistema pode implicar uma economia considerável no montante total do projeto. Mas é justamente nos grandes empreendimentos que a aquisição dos equipamentos costuma ser feita na forma de “pacotes” ou “kits” padronizados, muitas vezes sem haver a constatação das reais características do local onde vai ser implantado o projeto. A padronização é feita para “baratear” o projeto e para simplificar as tarefas de

dimensionamento, concepção e determinação dos equipamentos a serem adquiridos, o que é compreensível. Essa conduta pode resultar na redução dos custos do investimento inicial, mas pode, também, incrementar os custos de médio e de longo prazo, e reduzir a vida útil do projeto.

Esse tipo de procedimento é mais indicado em aplicações já padronizadas em sua estrutura, como pode ser a energização de escolas rurais de tamanhos similares, concebidas para determinado tipo de atividade, variando apenas no número de salas de aula. Mas a probabilidade de haver problemas de incompatibilidade é maior quando se trata de sistemas de bombeamento, os quais estão sujeitos a inúmeros parâmetros variáveis, mesmo quando se trata de localidades próximas geograficamente.

Uma grande variação nos parâmetros geológicos foi identificada, por exemplo, em um projeto de bombeamento fotovoltaico no Município de Benjamin Constant, Amazonas, o qual visava beneficiar comunidades ribeirinhas localizadas em ambas as margens do rio Solimões. Além da aquisição dos equipamentos, o projeto contemplava a perfuração dos poços. Com base em informações de poços perfurados em localidades próximas (todas na margem esquerda do rio), o lençol freático estaria a cerca de 15 metros de profundidade. No entanto, uma vez aprovado o projeto e com a equipe a campo, constatou-se que essa profundidade somente era válida para a margem esquerda do rio, sendo que na margem direita o lençol freático encontrava-se a mais de 200 metros de profundidade. Esse fato implicou mudanças profundas na concepção original do projeto, pois, conforme comentado anteriormente, dependendo da altura manométrica total e da vazão requerida, varia não só a potência do gerador e do motor, mas também o tipo de bomba (figura 2.7).

Por essas e outras razões, em casos onde se tenha grande número de poços com diversas características hidrogeológicas, distintas vazões de reposição do poço, além de diferentes demandas de água e incidência de irradiação solar, adquirir equipamentos em grandes blocos pode ser um grande equívoco. Foi o que ocorreu no passado com parte dos sistemas de bombeamento do PRODEEM, quando foram comprados alguns tipos de sistema de bombeamento sem que se tivesse conhecimento das especificações técnicas dos poços. Aconteceu de nem sempre os equipamentos adquiridos cumprirem com as características de determinados locais. Figurativamente, foi como se sapatos tivessem sido comprados aleatoriamente e, posteriormente, enviados aos pés que os calçassem. Em alguns casos, “os sapatos ficaram grandes”, implicando a subutilização do sistema e, em outros, “os sapatos ficaram apertados”, ou “os modelos não eram os mais indicados” para determinadas situações,

prestando um serviço aquém das necessidades locais e, até mesmo, deixando de prestar o serviço.

Quando ocorre a primeira situação, ainda que com gastos desnecessários, não costuma haver problemas quanto à aceitação do serviço, pois muitas vezes os usuários não tomam conhecimento desse fato, e mesmo que tomem conhecimento, ninguém reclama do excedente de água; já na segunda situação, quando o desempenho do sistema fica aquém das necessidades de abastecimento dos usuários, a identificação do problema é mais evidente e pode ser apreciada facilmente no descontentamento dos usuários.

O caso que melhor ilustra essa situação foi encontrado em um trabalho de avaliação em campo de sistemas de bombeamento do PRODEEM Fase I, no Estado de Rondônia, no qual se observou um quadro de abandono da infra-estrutura implantada para o recebimento dos equipamentos, conforme ilustram as figuras 3.35, 3.36 e 3.37.

O desconhecimento das características do poço levou a que os equipamentos destinados à localidade em questão apresentassem uma disparidade tal, em relação às características do local, que o sistema instalado nem sequer conseguia vencer a altura manométrica total e verter água no depósito. Os equipamentos foram retirados, ficando na comunidade somente a promessa de que em breve receberiam um sistema mais potente. Na ocasião da visita da equipe de avaliação, haviam-se passado dois anos do ocorrido sem que novos equipamentos tivessem sido instalados e sem que os usuários houvessem tido qualquer explicação referente ao problema. A reação da comunidade foi de descontentamento e frustração, sendo que as duas comunidades vizinhas haviam sido contempladas com sistemas de bombeamento semelhantes, os quais funcionavam perfeitamente por terem uma altura manométrica total inferior, e compatível com os equipamentos instalados.



Figura 3.35 – Poço desativado.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 3.36 – Estrutura de ponto de coleta de água abandonada. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 3.37 – Infra-estrutura abandonada: reservatório e suporte para gerador fotovoltaico. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

Nesse caso, do ponto de vista da comunidade prejudicada, a possível economia na aquisição dos equipamentos em grandes blocos resultou em um grande prejuízo.

Com essas colocações, não se pretende sugerir um procedimento extremamente conservador, a ponto de se esperar que em projetos com centenas de sistemas seja feito um dimensionamento otimizado para cada caso individual. A proposta vai no sentido da catalogação dos poços, e das características e necessidades das comunidades demandantes, agrupando-os segundo sua similaridade, para, a partir daí, providenciar a aquisição dos equipamentos mais adequados às especificações de cada grupo.

Com a compra padronizada em grandes blocos, pode ser que num primeiro momento haja um benefício na redução dos custos iniciais, mas, em contrapartida, os custos futuros financeiros e sociais das tentativas frustradas de implantação de sistemas não adequados para as reais situações de campo seriam evitados, aumentando, assim, a probabilidade de êxito do empreendimento. Em um país com as dimensões do Brasil, as dificuldades e os custos de transporte podem ser mais impeditivos à manutenção de projetos do que os custos de investimento inicial da tecnologia.

3.4.2 Dimensões dos equipamentos

Além do dimensionamento em si, que seria a determinação do tipo de bomba, da potência do gerador fotovoltaico para prestar o serviço demandado e da capacidade de armazenamento de água, algo que parece irrelevante, mas que pode gerar dificuldades operacionais, são as

dimensões e o peso de determinados equipamentos. Por se tratar de projetos na zona rural, geralmente localizada em regiões remotas e de difícil acesso, a previsão do tamanho e do peso dos equipamentos, em função do meio de transporte disponível, pode evitar inúmeros problemas e gastos extras, conforme pode ser visto nos dois exemplos a seguir.

O primeiro caso trata do transporte de reservatórios em fibra de vidro, com dimensões de cerca de 1,5 metro de altura e 2 metros de diâmetro. Tendo como destino a comunidade de Vera Cruz, Amazonas, localizada no pequeno igarapé do Crajarizinho, o transporte apresentou inúmeras dificuldades e, até mesmo, risco de acidente, por ter sido feito em pequenas canoas – com dimensões médias de 0,7 metro de largura por 3 metros de comprimento – único tipo de embarcação capaz de permitir o acesso à comunidade na época da estiagem. Após o trecho percorrido em canoa, os reservatórios tiveram, ainda, de ser transportados por trilhas estreitas no meio da selva. Vencidas as dificuldades, os equipamentos chegaram ao destino apresentando rachaduras devido às quedas ocorridas no transporte. Essa situação poderia ter sido evitada com a aquisição de reservatórios de menor capacidade, e em maior número, sem comprometer a capacidade total de armazenamento.

O segundo caso refere-se aos problemas causados pelas dimensões dos módulos fotovoltaicos tipo 12A e 12B, adquiridos na fase III do PRODEEM, medindo 1,90 m por 1,30 m e pesando 47 kg (figura 3.38). Para serem instalados em sistemas de pequeno e médio porte, e em comunidades rurais de difícil acesso, esses equipamentos causam grandes transtornos, tanto no transporte quanto na instalação. Em muitos casos, o acesso às comunidades beneficiadas pelo empreendimento fotovoltaico se dá a pé, com animais de carga, ou em pequenas embarcações, o que torna equipamentos com tais dimensões impróprios para essas situações.

Outro problema com tais módulos foi sua falta de homogeneidade, pois, com uma superfície de 2,47 m², foram entregues módulos de 150 Wp e 250 Wp, o que indica uma baixa eficiência de células. No jargão, tais módulos pertencem ao tipo “ponta de estoque”⁷.

⁷ Com características inferiores às de seus pares e que deveriam ser comercializados pelo valor de sua potência efetiva.



Figura 3.38 – Módulo fotovoltaico de grandes dimensões e peso.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 2003)

3.5 Questões institucionais

Os problemas relacionados a questões institucionais são de diversas ordens e variam em função do arranjo institucional envolvido no projeto e da dinâmica de funcionamento de cada instituição. No Brasil, os projetos de abastecimento comunitário que utilizam a tecnologia de bombeamento fotovoltaico obedecem a três arranjos básicos: projetos de iniciativa do governo federal, projetos de iniciativa de governos estaduais e um terceiro grupo que engloba os projetos levados a cabo por instituições de pesquisa, por organizações não-governamentais e pela cooperação internacional.

O programa de iniciativa federal PRODEEM obedece a um arranjo institucional que, à primeira vista, pode parecer de simples e fácil execução, uma vez que sua concepção técnica e a aquisição dos equipamentos ocorrem de forma centralizada e padronizada, sendo os equipamentos posteriormente enviados aos estados para serem instalados nas comunidades demandantes, sob a responsabilidade das instituições regionais ou estaduais. Mas é, provavelmente, na concepção centralizada e na padronização generalizada que os problemas aumentam, começando pela morosidade no processo de obtenção das informações necessárias de cada comunidade e culminando no processo de distribuição, implantação e manutenção dos equipamentos nas comunidades rurais dispersas pelo território brasileiro. Nesse arranjo, há um grande número de agentes envolvidos, com distintos níveis de comprometimento e de recursos humanos e financeiros para as diversas ações demandadas, o que acaba produzindo índices de disponibilidade do sistema extremamente diferentes de um estado para outro.

Foi observado que em muitos casos, a motivação pessoal do técnico responsável pelo projeto está diretamente relacionada com a agilidade/velocidade com que se executa a implantação dos sistemas no campo.

Atualmente passando por uma reestruturação, o PRODEEM esboça a tendência em adquirir os equipamentos na modalidade “chave em mão”, ou seja, a quitação dos equipamentos só ocorre depois de instalados e em funcionamento. Essa forma de aquisição dos equipamentos costumeiramente agiliza o processo.

Os projetos de iniciativa dos estados normalmente ficam sob a responsabilidade dos organismos estaduais responsáveis pelo abastecimento de água, energia elétrica ou infraestrutura. Por serem as mesmas instituições responsáveis pelo abastecimento de água com tecnologias convencionais no meio urbano e rural, costumam manter, para a opção fotovoltaica, o padrão de qualidade consolidado ao longo dos anos. Conforme mostra a tabela 2.1, não são muitos os estados da federação que tiveram essa iniciativa, mas os que o fizeram obtiveram êxito. Alguns estados inseriram o PRODEEM em seu programa de infra-estrutura rural utilizando-se da rede institucional interna aos estados, com excelentes resultados, principalmente no que se refere ao serviço de assistência técnica.

Os projetos de iniciativa de organismos de pesquisa, organizações não-governamentais e da cooperação internacional costumam ser de menor porte que os anteriores. Concentram-se em uma região específica e contam com o conhecimento prévio das características da população a ser beneficiada, mediante parcerias com instituição local. Além disso, é comum haver participação dos usuários no processo, contemplando sua capacitação para a utilização e manutenção básica do sistema. O dimensionamento e a concepção do projeto costumam ser determinados de forma satisfatória. No entanto, o principal problema consiste na dificuldade de manutenção e reposição de equipamentos de custos elevados para o poder aquisitivo das comunidades. Esse tipo de empreendimento costuma propiciar a participação do corpo técnico por um período relativamente curto (normalmente inferior a dois anos); e quando os problemas de maior monta começam a acontecer, normalmente os recursos do projeto acabaram. O principal problema constatado em iniciativas de pequena monta é a dificuldade em estruturar uma rede de assistência técnica especializada que consiga se manter com o próprio projeto. Esta questão só tenderá a se equacionar, a partir da existência de uma certa “massa crítica” de instalações, que justifique o estabelecimento de uma infra-estrutura de assistência técnica que trabalhe de forma estável e a custos razoáveis.

Após os comentários gerais relativos aos arranjos institucionais, aos quais estão submetidos os principais projetos de bombeamento fotovoltaico no País, entra-se em questões mais específicas da realidade encontrada em campo, oferecendo exemplos relativos a questões organizacionais e da capacitação dos agentes envolvidos. Tem-se observado que inúmeras

iniciativas ignoram a importância das questões organizacionais e institucionais para a longevidade dos projetos.

3.6 Capacitação dos agentes envolvidos

A implantação de um sistema de bombeamento fotovoltaico não termina com a instalação dos equipamentos e sua colocação em funcionamento. Um trabalho de informação e capacitação dos usuários é necessário, a fim de propiciar uma boa utilização e manutenção do empreendimento, tendo em vista seu funcionamento no longo prazo. Em grande parte dos casos, os equipamentos são instalados e entregues à população sem que esse trabalho seja feito. Mas os equívocos não acabam aí. Por se tratar de uma tecnologia ainda pouco conhecida, se não forem tomados alguns cuidados básicos relativamente à informação dos agentes técnicos envolvidos, podem ocorrer problemas dos mais diversos, como, por exemplo, quando técnicos e instaladores com inadequada capacitação se arvoram a passar informações equivocadas aos usuários.

Um exemplo que embasa essa afirmação foi encontrado em uma comunidade no interior de Rondônia, na qual vários erros se sucederam por mera desinformação dos agentes responsáveis pela infra-estrutura e instalação dos equipamentos. O problema começou com o dimensionamento do reservatório, uma vez que o sistema instalado tinha capacidade de bombeamento de cerca de 20 metros cúbicos por dia, enquanto a capacidade do reservatório de água era de apenas um metro cúbico, sem que houvesse rede de distribuição até as residências ou outros reservatórios particulares. Como se não bastasse esse fato, o instalador informou à população que quanto menos utilizassem o sistema, maior seria sua vida útil. Por muito valorizar a benfeitoria, e levando a sério essa informação, a população decidiu que a água bombeada deveria ser utilizada somente para o consumo humano, para a preparação de alimentos e para banhar bebês e enfermos, chegando ao ponto de os próprios usuários começarem a “controlar” o consumo uns dos outros, provocando desavenças e constrangimentos, ainda que na maior parte do tempo o sistema permanecesse ocioso.

Em virtude da informação inicial equivocada, e por não contar com um programa de fiscalização e acompanhamento do projeto a campo, a demanda da população não estava sendo satisfeita. A água bombeada nunca fora utilizada para melhorar a produção agrícola ou o beneficiamento de produtos, sendo que a principal fonte de renda da comunidade era a produção de farinha de mandioca para a comercialização, atividade esta que requer água de boa qualidade. Ao invés de utilizar o grande potencial de bombeamento do sistema, em época de “água ruim” – quando o igarapé local está muito baixo ou quando as águas barrentas do rio

Madeira adentram até a comunidade, o que acontece em cerca de cinco meses do ano –, a população tinha de se deslocar em canoas até outro igarapé mais caudaloso para captar água para a produção da farinha, aumentando seu trabalho em, pelo menos, duas horas diárias. Essa comunidade que, potencialmente, tinha excedente de água potável e poderia ter sua produção de farinha incrementada com o simples abrir de uma torneira, havia sido ludibriada pela informação de um técnico mal capacitado. Daí a necessidade de se fazer um mínimo de monitoramento nos projetos, com equipes bem capacitadas, com vistas não só às características técnicas de funcionamento, mas também à sua utilização e gestão.

Outros dois casos lastimáveis são ilustrados nas figuras 3.39 e 3.40, nos quais os sistemas de bombeamento foram instalados e relegados para a utilização sem reservatório. Cada vez que o usuário necessita de água, deve ligar a bomba, quando há irradiação solar suficiente para alimentar o sistema, ou coletá-la diretamente do reservatório improvisado, o que provoca a contaminação da água pela introdução dos recipientes de coleta em seu interior, assim como outras formas de contaminação, como o acesso de animais à água.

A situação apresentada é de comum ocorrência em projetos que contam com recursos de uma fonte financiadora para a aquisição dos equipamentos fotovoltaicos e de outra fonte para o restante da infra-estrutura. Esta última, normalmente de origem local, muitas vezes não executa o que se havia proposto inicialmente. Como resultado dessa prática, começa a haver no País uma grande quantidade de sistemas de bombeamento que contam com equipamentos de alta qualidade, mas que acabam prestando um serviço medíocre, pondo em risco a saúde dos usuários e em descrédito a tecnologia fotovoltaica.



Figura 3.39 – Ausência de infra-estrutura de reservatório. (Foto: H.S. Costa)

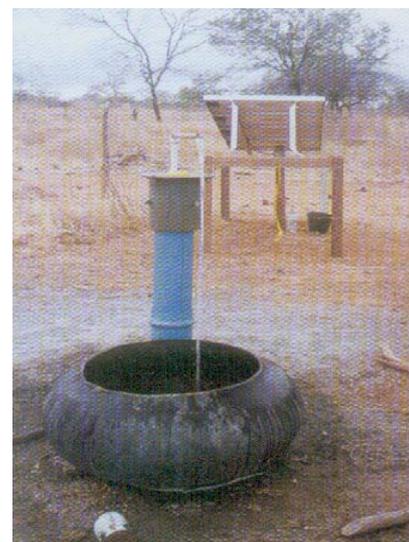


Figura 3.40 – Ausência de infra-estrutura de reservatório. (Fonte: COSTA & ARAÚJO, 2001)

A questão referente ao problema ilustrado na figura 3.25 é retomada aqui, com vistas a uma análise sucinta sobre o tipo de introdução da tecnologia naquela comunidade e suas conseqüências na utilização e gestão do sistema.

Devido ao rompimento de uma conexão situada na tubulação entre o poço e o reservatório, o abastecimento ficou extremamente prejudicado, uma vez que a água que poderia ser bombeada não chegava ao reservatório. A escola também ficou sem o serviço de água encanada para o funcionamento da cozinha e dos sanitários, e a água do poço era constantemente contaminada devido à introdução de recipientes para a captação de água, conforme ilustra a cena da figura 3.41. Por se tratar de uma conexão barata e de fácil aquisição no comércio da sede do município, e por ser um período demasiado longo para que a comunidade ficasse submetida ao consumo de água em más condições sanitárias – cerca de oito meses –, o chefe local foi questionado com o intuito de entender-se a situação. Seu depoimento foi o seguinte: “(...) já fui muitas vezes na cidade pedir pra eles [os técnicos da prefeitura local] arrumar, afinal de contas, a responsabilidade é deles, mas eles prometem, prometem, mas não vem”.

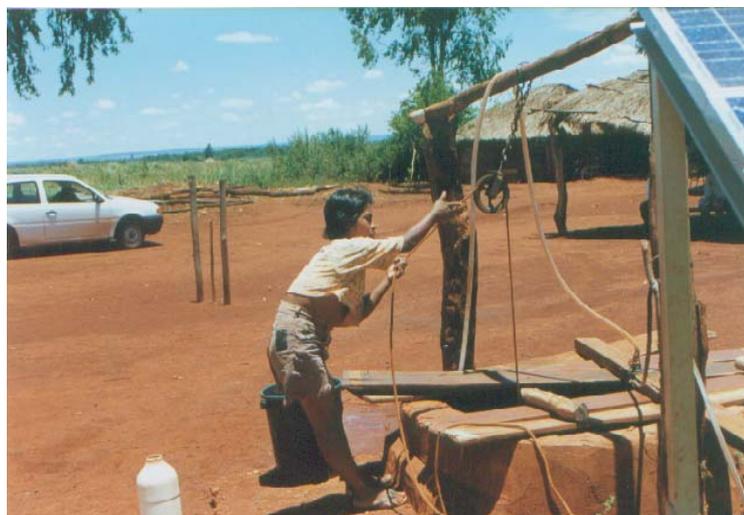


Figura 3.41 – Captação de água manual, subutilização do sistema e contaminação da água, MS. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)

Apesar da morosidade da prefeitura e do descontentamento expresso pelos usuários, a comunidade não havia sido capaz de se organizar para a reparação da avaria, sendo que a maior prejudicada era ela mesma, e o único trabalho consistia em adquirir uma peça nova na cidade mais próxima e substituí-la na rede hidráulica, sem a necessidade de ferramentas especiais para tanto. Esse parece ser mais um caso em que a população está acostumada com

projetos assistencialistas, nos quais a contrapartida dos beneficiários é mínima ou inexistente, e os próprios acabam sofrendo as conseqüências dessa postura.

Em certa medida, o mesmo foi observado na maioria dos sistemas de bombeamento fotovoltaico no Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, onde a população reclamava de que “a bomba dava pouca água”, mas, por outro lado, havia grande quantidade de vazamentos ao longo das redes hidráulicas, por estarem desprotegidas do trânsito de animais de montaria e da maquinaria agrícola por eles mesmos utilizada. Ainda que os próprios usuários sofressem freqüentemente com a falta de água em conseqüência das constantes rupturas das tubulações, a organização local com vistas a providenciar a reparação e proteção definitiva das tubulações era mínima, restringindo-se ao conserto da avaria pontual (figuras 3.42).



Figura 3.42 – Vazamento nos ramais secundários.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

Outra questão problemática a ser equacionada é a aquisição de centenas de sistemas de bombeamento por parte de instituições públicas, os quais são deixados em depósitos por longos períodos – alguns ultrapassando os três anos – até que instituições locais obtenham recursos e vontade política para viabilizar sua instalação. Esse problema vem sendo agravado em alguns casos, pois equipamentos armazenados por longos períodos estão apresentando problemas antes mesmo de serem instalados no campo.

Os problemas mais graves decorrentes dessa prática vêm ocorrendo em sistemas de eletrificação de escolas rurais, com a perda de centenas de baterias eletrolíticas, e em sistemas de abastecimento de água com bombas helicoidais. Esse tipo de bomba possui em seu mecanismo uma peça confeccionada em material vulcanizado, o qual, devido à falta de uso e

de condicionamento adequado por longos períodos, vem apresentando alterações e emperramento do “sem fim”, impossibilitando seu funcionamento.

Para que as bombas voltem a funcionar, é preciso substituir parte do mecanismo, o que implica altos custos, uma vez que o período de garantia expirou e que o equipamento é importado. Sendo assim, é possível que se percam várias dezenas de bombas sem nunca terem sido utilizadas, por deficiências na organização e comunicação dos agentes responsáveis pelos equipamentos.

É nesse ambiente de precária organização, pré e pós-implantação de equipamentos, que, apesar de um expressivo montante financeiro ter sido disponibilizado dos cofres públicos para projetos sociais, um grande número de comunidades demandantes enfrenta problemas crônicos de acesso a água potável, sem que as providências definitivas sejam tomadas pelos responsáveis pela intervenção.

Os casos registrados neste capítulo fazem parte de uma gama de problemas comumente encontrados a campo, os quais, na maior parte das vezes, são previsíveis e podem ser tratados preventivamente. O conhecimento e a análise desses problemas constituem a base da concepção e da implantação de projetos de infra-estrutura para benefícios sociais e, em particular, dos projetos de bombeamento fotovoltaico para o abastecimento comunitário.

CAPÍTULO IV

ETAPAS DE REALIZAÇÃO DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA USO COMUNITÁRIO

Não são poucas as experiências que demonstram que tecnologias energéticas bem consolidadas não conseguiram um funcionamento a contento em certos contextos rurais. Isso pode ocorrer, principalmente, por dois motivos. O primeiro deve-se ao fato de que não se costuma levar em conta que a tecnologia exógena deve acoplar-se ao sistema tecnológico local, sendo que sistemas de bombeamento fotovoltaico de última geração acabam falhando devido à precária infra-estrutura local. O segundo motivo refere-se a que não se considera o fato de que a tecnologia se insere em um contexto social que deve querer e aceitar a inovação que se apresenta, sob pena de que a não aceitação e a falta de organização local levem a grandes fracassos.

É por essas e por outras razões que questões intrínsecas da dinâmica da população local devem ser levadas em conta, independentemente da tecnologia utilizada. Inúmeros estudos são realizados para averiguar a opção tecnológica mais adequada para a energização de determinadas regiões e, muitas vezes, chega-se a conclusão de que o tipo de tecnologia a adotar é menos relevante, desde que se respeitem as especificidades locais na concepção, implantação e manutenção dos empreendimentos.

A importância dessa questão é reforçada pelo caráter descentralizado e extremamente disperso da eletrificação rural, de um modo geral, e, excepcionalmente, em um país de dimensões continentais como o Brasil, o que faz com que a manutenção e assistência técnica sejam extremamente difíceis, morosas e onerosas. Daí a vantagem em priorizar a utilização de equipamentos robustos e uma estrutura local que seja capaz de gerenciar e propiciar serviços de assistência técnica básica.

Para Narvarte (2001), a atual situação da eletrificação rural com sistemas de geração fotovoltaica se deve à ausência de paradigmas que a norteiem. Ele afirma que uma realidade caracterizada pela inexistência de modelos de referência corre o risco da desorientação. Sua crença é de que a “perda de rumo” não reside na ausência de respostas nas quais se deve empenhar as ações, mas, antes disso, na confusão na hora de elaborar as perguntas relacionadas à resolução do problema em questão. Reforça, ainda, que há uma incapacidade

do planejamento para discernir as perguntas “relevantes” das “irrelevantes” na hora de dirigir as ações.

À guisa de ilustração do que parece ocorrer, o autor citado anteriormente compara a atual situação da eletrificação rural fotovoltaica a determinado exército que lutava contra um inimigo invisível, o qual, apesar de dispor de armas de capacidade sem igual, as disparava em todas as direções, sendo eles mesmos atingidos pelos próprios disparos.

De reflexões a respeito da introdução de novas tecnologias e, mais especificamente, da concepção e implementação de projetos de geração fotovoltaica em comunidades rurais, conclui-se que os “inimigos” são perfeitamente visíveis para os que se empenham em ir a campo com o ânimo de entender os reais problemas que afetam esse tipo de empreendimento, antes de propor soluções extraídas da teoria ou de realidades distintas.

Nas análises das atuações do passado, pode-se dizer que, até pouco tempo, quem ditou as regras nesse tipo de empreendimento foram os tecnocratas, principalmente os engenheiros, em detrimento da participação de outros profissionais, como sociólogos, antropólogos e extensionistas.

A questão centra-se na necessidade do trabalho interdisciplinar, na necessidade de formação humanista do engenheiro, para compreender e aceitar a parte do trabalho do cientista social. O importante aqui é criar condições de diálogo entre os profissionais das distintas áreas envolvidos com o empreendimento.

O que muitas vezes é tido como fator “complicador” (por exemplo, diferentes concepções do mesmo projeto em função das características culturais e econômicas de cada situação) pode ser a chave para o sucesso de muitas iniciativas. Coadunar as características da nova tecnologia com as demandas e restrições locais pode ser fator determinante para a aceitação do projeto pelos usuários, e para sua maior duração no tempo. Sendo assim, o que à primeira vista parece onerar e complicar um projeto, poderá barateá-lo e torná-lo mais duradouro quando se analisa não somente o investimento inicial, mas a duração do projeto no tempo, em decorrência das condições de contorno para sua futura utilização e gestão.

Essas constatações revelam que não há uma metodologia pronta para a eletrificação rural, principalmente quando se trata da geração autônoma em localidades dispersas e remotas, pois as singularidades locais, muitas vezes, podem ser determinantes. Nesse sentido, não se pretende aqui encontrar a solução de todos os problemas, mas pôr de manifesto questões relevantes a serem consideradas na idealização e concretização desse tipo de ação.

A seguir, são discutidas questões referentes ao planejamento e à implantação de projetos de bombeamento fotovoltaico para o abastecimento de comunidades rurais remotas, tais como a sua concepção, configuração técnica e dimensionamento, além de ações relacionadas à implementação, como a aquisição dos equipamentos, construção da infra-estrutura local, introdução da nova tecnologia, organização para o uso e gestão, e questões institucionais envolvidas.

4.1 Concepção

A viabilização de um trabalho interdisciplinar deve ocorrer desde a concepção do empreendimento, podendo inclusive principiar já na escolha das populações a serem atendidas.

A concepção de um projeto fotovoltaico de abastecimento de água implica, inicialmente, no conhecimento do problema a ser solucionado, este pautado nas condições específicas locais. Uma vez conhecido o problema e determinados os objetivos, a forma de alcançá-los estará relacionada ao tipo de configuração do sistema, de sua implementação e gestão.

A determinação da qualidade de uma tecnologia pode ser dada em função de sua maior ou menor confiabilidade técnica, entendendo-se por confiabilidade a capacidade de uma unidade funcional desempenhar dada tarefa, sem falhas ou avarias, sob certas condições e dentro de determinado período, podendo ser medida quantitativamente e também qualitativamente (BONNEFOI, 1990; LOGIACO, 1997).

Considerando-se aqui que a confiabilidade de determinada tecnologia depende, essencialmente, da pesquisa desenvolvida e do processo industrial para a confecção dos equipamentos, isto é, do seu aperfeiçoamento tecnológico, para que o usuário disponha do serviço sempre que necessário, o sistema como um todo deve apresentar, também, alta disponibilidade. Como o próprio nome sugere, a disponibilidade está diretamente relacionada ao acesso ao serviço, podendo acontecer de que, mesmo que o equipamento não apresente problemas técnicos, o serviço torne-se indisponível por problemas vinculados a outras questões, muitas delas relacionadas ao tipo de concepção e de gestão do empreendimento. Conforme já comentado, a tecnologia de bombeamento fotovoltaico detém, reconhecidamente, alta confiabilidade, o que significa baixa probabilidade de apresentar problemas técnicos. Mas isso só não basta para que o serviço esteja disponível sempre que o usuário necessitar. É necessário atentar para algumas peculiaridades inerentes a esse tipo de empreendimento – daí a importância de conhecer profundamente o problema a ser resolvido e

as condições de contorno locais, de ordem tanto física como organizacional da comunidade receptora.

4.1.1 Conhecimento do problema

À primeira vista, os problemas de abastecimento de água a populações rurais podem parecer de solução padronizada; no entanto, não é o que a realidade mostra. Conceber um projeto de abastecimento de água para uma população localizada em zona árida, na qual não existe outra fonte de abastecimento local, pode diferir em muito de um projeto de abastecimento a uma população localizada em zona úmida e com recursos hídricos abundantes, como a água da chuva, de açudes, rios e minas d'água. No primeiro caso, reduções ou interrupções do fornecimento de água poderão causar transtornos muito mais graves do que no segundo – por isso a importância em determinar a autonomia¹ do sistema para cada caso.

O tipo de manancial, a geologia local, a qualidade da água, além de características geográficas e culturais, vão ter seu papel na concepção final do projeto e não devem ser negligenciados. Conhecer em profundidade o problema a ser solucionado, bem como as formas de abastecimento preexistentes ao projeto, é de grande utilidade, com vistas à otimização dos recursos, à melhor aceitação do serviço pelos usuários e à redução de impactos negativos do empreendimento.

Outra questão básica para a solução do problema está relacionada às características socioeconômicas e culturais da população envolvida. A forma de introdução da nova tecnologia e as condições materiais e de formação dos usuários desempenham papel importante na utilização e manutenção dos equipamentos. Essa questão também deve ser incluída no quesito “Conhecimento do problema” e deverá subsidiar a determinação do tipo de concepção do projeto. Para tanto, são úteis visitas à comunidade receptora do empreendimento, bem como o contato com entidades que trabalhem com aquela população há mais tempo, tais como instituições de extensão rural, de saúde e educação, organizações religiosas, e distintas organizações não-governamentais, dentre outras.

O princípio de que a solução a ser proposta depende do tipo específico de problema encontrado no campo pode parecer óbvio, mas não é por todos praticado, conforme amplamente exemplificado no capítulo III.

¹ Razão entre a capacidade do reservatório e a demanda diária, dada em número de dias de autonomia.

4.1.2 Disponibilização da água

Para a determinação da forma de disponibilização da água na comunidade, é salutar conhecer as formas de acesso e de utilização da água, como também as formas de disposição final da água servida preexistentes ao projeto. Saber se a captação e uso da água se dão em pontos coletivos ou internamente às residências por meio de uma rede de distribuição, ou ainda se há algum cuidado com a disposição final da água após sua utilização, pode dar indícios da melhor forma de fornecimento. O conhecimento do relevo e da drenagem do terreno também fornece bons subsídios para evitar que a nova forma de abastecimento de água venha a causar problemas sanitários futuros. Aqui o antropólogo tem papel relevante no que diz respeito ao levantamento do “conhecimento tradicional” acerca dos hábitos e costumes relacionados com o recurso hídrico.

Muitas vezes, em função das características locais, a melhor forma de disponibilização da água não será o estado da arte da tecnologia de distribuição, mas a forma sanitariamente recomendável para a situação local. Por exemplo, em localidades situadas em áreas mal drenadas, em virtude do relevo, da composição geológica ou do regime hidrológico (áreas de várzea nas quais o solo fica submerso alguns meses do ano), quando não houver a implantação de um sistema eficiente de drenagem da água servida, pode ser que o mais indicado seja o fornecimento da água em pontos de captação coletivos e não em pontos individuais em cada residência, isto com vistas a reduzir encharcamentos e focos de insetos próximos aos locais de convívio.

Além disso, deve-se atentar para o fato de que, com o fornecimento de água internamente às residências, o consumo costuma ser sensivelmente maior do que quando há pontos coletivos de coleta, conforme trata o item 4.2.1, implicando em uma maior quantidade de água eliminada nas proximidades das residências. Ou seja, o volume de água efetivamente utilizado e eliminado deve acompanhar a capacidade de drenagem e saneamento, sob pena de agravar problemas sanitários na comunidade – algumas vezes, o que define o limite do abastecimento de água é a capacidade de esgotamento da água servida.

4.1.3 Avaliação do manancial

Um dos primeiros procedimentos a se realizar antes mesmo da concepção de qualquer projeto de abastecimento de água é a avaliação do manancial a ser utilizado, pois o fracasso de muitos empreendimentos pode estar relacionado à deficiente informação das características do recurso hídrico local. A realidade mostra que não são poucos os projetos de bombeamento

concebidos sem um mínimo de conhecimento dessa questão, o que pode levar a problemas de difícil solução.

De nada adianta implantar um excelente sistema de abastecimento, se o recurso hídrico for impróprio para o consumo, como é o caso de mananciais que apresentam altas concentrações de sais, muito freqüentes no litoral e no Nordeste do País, ou altas concentrações de compostos ferrosos, comuns em regiões de mangue e de várzea. Além disso, a composição físico-química da água pode danificar os equipamentos de bombeamento e de distribuição, como é o caso dos processos de abrasão e de corrosão interna da bomba, e da sedimentação de compostos calcários no interior dos mecanismos hidráulicos.

A avaliação do manancial para sua utilização deve ser analisada também do ponto de vista do recurso natural que será “tecnologizado”. Isso se aplica, por exemplo, na inviabilização da utilização de mananciais que, apesar de apresentarem excelente qualidade físico-química e microbiológica, são reservados para rituais da cultura local.

Alguns desses problemas podem ser solucionados com certa facilidade. Por exemplo, quando a água apresenta grandes quantidades de sólidos em suspensão, o poço pode ser revestido com material filtrante, a fim de reduzir o processo de abrasão dos mecanismos internos e o entupimento das tubulações. Mas isso só poderá ser feito na construção do poço, ou quando o diâmetro do poço já existente for sensivelmente maior do que o da bomba, pois essa operação reduz em alguns centímetros seu diâmetro interno. O “encamisamento” da bomba com material filtrante pode produzir resultado similar.

Para a redução de particulado em suspensão na água, existem produtos químicos com propriedades floculantes e de decantação (comumente se usa o sulfato de alumínio); no entanto, esse processo costuma ser feito com a água em repouso no reservatório, após sua passagem pela bomba.

A presença de substâncias químicas em quantidades indesejáveis costuma ser de tratamento mais complexo e oneroso, como é o caso das distintas tecnologias de destilação, eletrólise e filtração a altas pressões (osmose reversa), dentre outras. (CYTED, 1999)

A contaminação microbiana é de relativamente fácil e barata execução (utiliza-se hipoclorito de sódio ou similar); no entanto, para tratamento centralizado, são requeridos cuidados na concepção (maior número de depósitos e equipamentos complementares para o tratamento) e na gestão do projeto (capacitação e manutenção de mão-de-obra e aquisição de produtos químicos).

Outro problema de grande ocorrência, principalmente em programas de abastecimento de grande porte, é o desconhecimento dos parâmetros do manancial, como o seu nível estático, dinâmico e capacidade de reposição. Esses parâmetros podem sofrer grandes variações em função da composição do substrato geológico, da pluviometria e do relevo, dentre outros, e podem ser determinantes para uma boa configuração do sistema – daí a necessidade de execução do teste de capacidade do poço anteriormente à configuração dos equipamentos.

4.1.4 Configuração/solução técnica

Conforme comentado anteriormente, para a determinação da configuração técnica de um sistema de bombeamento, não basta conhecer a demanda de água; é necessário, dentre outras coisas, conhecer as características e peculiaridades de cada situação, pois é na etapa de configuração do sistema que serão determinados o tipo e a localização do conjunto motobomba, por exemplo. Para ilustrar essa questão, são apresentadas a seguir quatro situações de campo para as quais são encontradas soluções distintas, de acordo com suas especificidades.

No primeiro caso, o poço é de pequeno diâmetro (2,5 centímetros) e o lençol freático encontra-se a uma profundidade de 3 m da superfície do solo, sofrendo uma variação sazonal de cerca de 1 m para mais e para menos, e a demanda diária é inferior a 1 m³. Devido ao diâmetro do poço e à profundidade do freático, a opção se deu por um sistema de superfície, de pequeno porte, conforme mostra a figura 4.1.



Figura 4.1 – Sistema de bombeamento fotovoltaico de superfície.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

No segundo caso, o poço é do tipo semi-artesiano, tubular ou freático, com diâmetro de 20 centímetros, apresentando uma variação do nível dinâmico de cerca de 15 m e uma demanda diária da ordem de 9 m³. A solução técnica foi a instalação de motobomba submersível em localização abaixo da maior variação máxima do nível dinâmico (figura 4.2).



Figura 4.2 – Sistema de bombeamento fotovoltaico em poço tubular, terra firme.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

No terceiro caso, sendo a água subterrânea quimicamente imprópria para consumo humano, e por estar a comunidade localizada às margens de um rio caudaloso de água própria para consumo humano, sempre que tratada a contaminação microbológica, a opção adotada foi a instalação de sistemas de bombeamento de superfície instalados em pequenos flutuantes, os quais oscilam em altura e distância da margem, segundo a variação sazonal das águas (figura 4.3).



Figura 4.3 – Sistema de bombeamento fotovoltaico de superfície instalado em flutuante. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

No quarto caso, o lençol freático encontra-se a mais de 200 metros de profundidade (CPRM, 1995), o que inviabilizou financeiramente a perfuração de poços profundos e a aquisição de gerador fotovoltaico e dos grupos motobomba de maior potência. Apesar da existência de igarapés no local, a opção de bombeamento com sistemas flutuantes foi inviabilizada devido ao fato de, na época seca, o nível das águas baixar a ponto de torná-las extremamente barrentas e de características organolépticas impróprias para consumo humano (variação de até 12 metros de altura). Com base nesses fatos, a solução encontrada foi a perfuração de poços nas margens dos igarapés, os quais exercem nos poços uma recarga subterrânea. Essa opção permite manter a quantidade e a qualidade da água para o abastecimento ao longo de todo o ano, independentemente do nível do igarapé. As figuras 4.4 e 4.6, juntamente com seus croquis, ilustram esse caso em duas situações distintas, na seca e na cheia, respectivamente.



Figura 4.4 – Sistema de bombeamento na várzea, em terreno com baixa permeabilidade, em época de estiagem. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

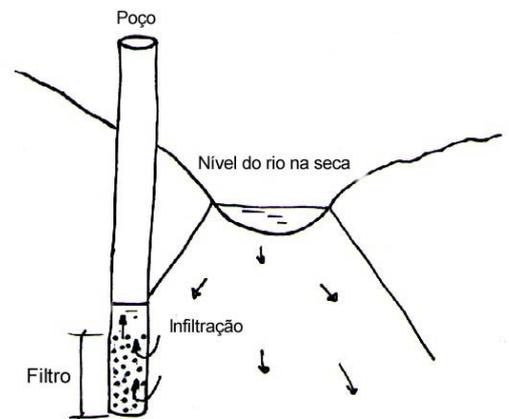


Figura 4.5 – Esquema ilustrativo do sistema ao lado.



Figura 4.6 – Sistema de bombeamento na várzea, em terreno com baixa permeabilidade, em época das chuvas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

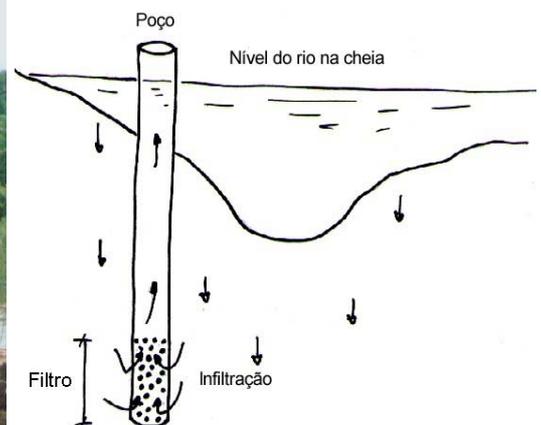


Figura 4.7 – Esquema ilustrativo do sistema ao lado.

Como se pode constatar nos exemplos acima, o tipo de configuração de cada sistema ocorreu após um profundo conhecimento das características e da dinâmica de cada local. Não sendo assim, e praticando-se uma configuração padrão para todos os casos, é provável que inúmeros problemas houvessem surgido.

4.2 Projeto básico

O dimensionamento de um sistema de abastecimento de água consiste na determinação do “tamanho” do sistema que satisfará às necessidades do usuário, buscando-se otimizar os equipamentos para as condições locais. Devido à natureza estocástica da radiação solar, e do comportamento dinâmico, tanto da fonte de água quanto do consumo, alguns cuidados devem ser tomados com o fim de otimizar o sistema de abastecimento como um todo. Em seu diagrama esquemático, Fraidenraich (2002) ilustra de forma didática a dinâmica de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água e os principais elementos envolvidos: o recurso solar como fonte de energia, o manancial como fonte de água, o sistema de bombeamento, formado por gerador, condicionamento de potência e conjunto motobomba, e o reservatório de água, para atender a determinada demanda (figura 2.2). A partir de determinada quantidade de irradiação diária (Wh/m^2) e das características da fonte de água (vazão de recarga, Q_R , e altura manométrica total, H_T), dimensiona-se um sistema tal que permita o abastecimento da demanda (vazão diária, Q_d) para determinado número de dias de autonomia (capacidade do reservatório).

A figura 4.8 ilustra os principais parâmetros de um poço, ao longo de um turno de bombeamento, utilizados no cálculo do dimensionamento de um sistema de bombeamento, sendo: Q , vazão (m^3/h) a ser extraída do poço; Q_R , vazão de recarga do poço pelo aquífero (m^3/h); H_E , nível estático (m) entre a superfície do solo e a altura constante do freático; H_D , nível dinâmico (m) entre a superfície do solo e a altura máxima variável do freático quando extraída uma vazão Q_M ; H_R , altura do reservatório (m) da superfície do solo até a entrada de água no reservatório; H_V , altura vertical (m) do nível do H_D até a entrada do reservatório; H_F , perda de carga na tubulação e conexões expressa em altura manométrica (m); H_T , altura manométrica total (m), sendo $H_T = H_V + H_F$. Devendo-se atentar para que $Q_M \leq Q_R$, e $H_F < 0,05 H_T$ (IES, 1995).

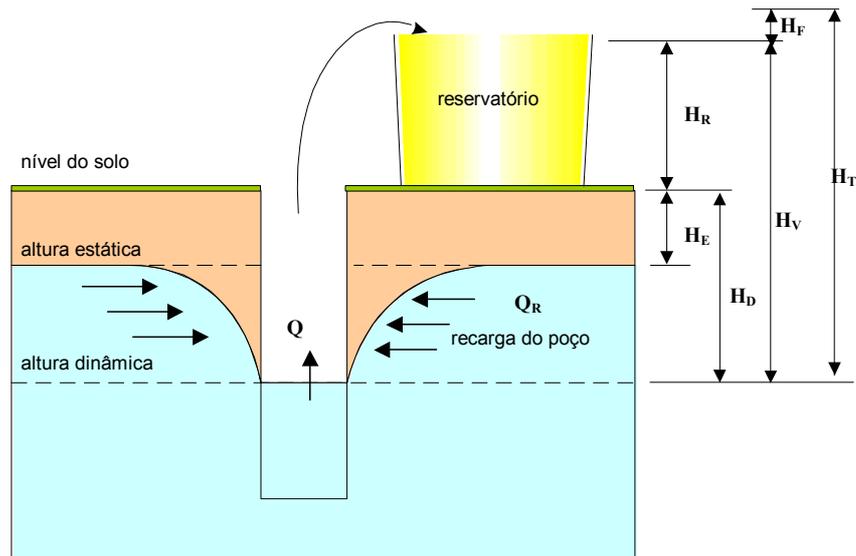


Figura 4.8 – Parâmetros do poço ao longo de um turno de bombeamento (válido para mananciais não confinados, não artesianos).

Em princípio, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água é de simples execução e consiste em um balanço energético, isto é, a energia demandada deve ser igual à gerada, para a realização de determinado trabalho, considerando as eficiências de cada elemento. No entanto, em função da variabilidade dos parâmetros a serem utilizados e de sua determinação, essa pode não ser uma tarefa trivial. Narvarte (2001) sugere um procedimento que busca agregar praticidade a essa tarefa, e as equações 4.1 a 4.5, adaptadas para o presente texto, sintetizam a sugestão.

A potência hidráulica, P_H , necessária para bombear água é uma função da altura manométrica total, H_T , e da vazão, Q ; conforme indica a expressão

$$P_H = g \cdot Q \cdot \rho \cdot H_T \quad (4.1)$$

onde g é a aceleração da gravidade e ρ é a densidade da água. Sendo Q (m^3/h), H_T (m), pode-se expressar a potência hidráulica, P_H (W), da seguinte forma:

$$P_H = 2,725 \cdot Q \cdot H_T \quad (4.2)$$

Assumindo que a velocidade da água não é significativa, a potência de saída da bomba necessita satisfazer P_H . Conseqüentemente, a potência elétrica cedida ao conjunto motobomba, P_{EL} , é dada pela equação 4.3, sendo η_{MP} a eficiência do conjunto motobomba.

$$P_{EL} = \frac{P_H}{\eta_{MP}} \quad (4.3)$$

A potência elétrica de um sistema fotovoltaico composto por um gerador e um inversor é dada pela expressão

$$P_{EL} = P_{NOM} \cdot \frac{G}{G_{REF}} \cdot \eta_G \cdot \eta_I \quad (4.4)$$

onde P_{NOM} é a potência nominal do gerador fotovoltaico nas Condições Padrão de Operação, (CPO - irradiância = 1.000 W/m²; AM² 1,5; temperatura de célula = 25° C), G é a irradiância sobre o plano do gerador, G_{REF} é a irradiância de referência nas CPO , η_G é a eficiência do gerador em função da temperatura das células, das perdas por dispersão e na fiação, e η_I é a eficiência do inversor.

O volume de água bombeado ao longo de um dia é dado pela seguinte expressão:

$$Q_d = \int_{dia} \frac{P_{NOM} \cdot G \cdot \eta_G \cdot \eta_{MP} \cdot \eta_I}{2,725 \cdot G_{REF} \cdot H_T} \quad (4.5)$$

Devido às variações da irradiância e da temperatura ambiente, e também em função do comportamento dinâmico do manancial, os parâmetros mencionados anteriormente (G , η_G , η_{MP} , η_I e H_T) variam ao longo do tempo, o que significa que resolver diretamente a equação 4.5 está longe de ser uma tarefa simples.

Na atualidade existe uma certa quantidade de ferramentas de dimensionamento para sistemas fotovoltaicos autônomos, que utilizam diferentes suposições para calcular a irradiação sobre superfícies inclinadas e para modelar componentes de um sistema fotovoltaico. (DASTPVP, 1993; HADJ ARAB et al. 1997; WINCAPS, 2002)

Há que se atentar para o fato de que métodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos que se valem de cálculos muito refinados, utilizando-se de sofisticado ferramental informático, em pouco resultarão se não for possível alimentá-los com todos os parâmetros necessários para os cálculos. As ferramentas de cálculo podem conduzir a resultados diferentes, em função das distintas aproximações dos parâmetros utilizados, uma vez que muitos deles dependem de leis estatísticas, o que implica certo grau de incerteza, ou seja, um modelo que incorpore cálculos muito sofisticados pode não ser estatisticamente significativo, se os parâmetros a serem utilizados estiverem imbuídos de uma grande margem de erro.

² AM – Espessura da camada atmosférica que os raios solares devem atravessar até atingir a superfície, sendo identificada por um coeficiente denominado Massa de Ar (AM) que está associado com o ângulo de incidência em relação ao zênite pela seguinte expressão: $AM = \sec(\theta) = 1/\cos(\theta)$.

Com o objetivo de facilitar o dimensionamento e a escolha do conjunto motobomba, os fabricantes desses equipamentos põem à disposição ferramental gráfico apresentando o comportamento de cada equipamento, sob distintas condições. Devido a sua extrema simplicidade, o uso do Dia Solar Padrão e da altura manométrica de bombeamento constante é de ampla aplicação, a ponto de servir como referência técnica nos procedimentos de compra de importantes projetos de bombeamento (IT POWER, 1984; CILSS, 1989, apud NARVARTE, 2001). Essa questão será tratada mais detidamente no item 4.2.4 – **Escolha do conjunto motobomba.**

Na realidade, o processo de dimensionamento costuma acontecer em um ambiente de muita incerteza das hipóteses, tanto da demanda de água, quanto das características do poço e da irradiância solar. Em tal contexto, funcionam bem os métodos simples, sempre que suas hipóteses sejam razoáveis. Hahn (1998) propõe uma simples fórmula aritmética que pode ser usada para calcular a potência nominal do gerador, P_{NOM} , (W), conforme a equação 4.6.

$$P_{NOM} = 11,6 \cdot \frac{H_T \cdot Q_d}{I} \quad (4.6)$$

onde altura manométrica total, H_T , (m), vazão diária, Q_d , (m^3/d), e irradiação diária, I , (kWh/m^2). De acordo com o autor, isto permite ao projetista uma estimativa do tamanho do gerador e do custo do sistema.

Independentemente da ferramenta utilizada, para poder dimensionar um sistema fotovoltaico de abastecimento de água é preciso definir, pelo menos, os seguintes parâmetros, ainda que por estimativas: demanda de água, parâmetros do manancial, recurso solar, características do recurso hídrico, dias de autonomia ou probabilidade de déficit; cujas variações ocorrem em função da estação do ano, da sazonalidade do ciclo hidrológico, e do regime de bombeamento e de reposição do manancial. O projetista deve determinar as características de todos os componentes do sistema, para certa probabilidade de déficit (ou dias de autonomia) por ele determinada, o que implica que, para uma menor probabilidade de déficit, maior será o porte do sistema como um todo e, conseqüentemente, maiores os custos envolvidos.

É importante atentar para o fato de que tanto o sub quanto o sobredimensionamento podem ser prejudiciais, o primeiro por implicar uma deficiência no serviço e o segundo, além de resultar em maior custo de investimento, se não houver outro elemento restritivo (conscientização da importância do uso eficiente do recurso, algum controle no consumo, ou cobrança pelo uso da água), por envolver o risco de o valor dado antes à água ser reduzido a ponto de haver seu esbanjamento.

4.2.1 Determinação da demanda

Remetendo às perguntas consideradas irrelevantes no processo de eletrificação fotovoltaica, Narvarte (2001) descreve situações comuns ao “mundo fotovoltaico”. Na primeira, afirma que em cursos, livros e manuais de energia solar fotovoltaica, bem como no discurso de consultores e empresários do setor, há uma só preocupação predominante, ou seja, a minimização dos custos do investimento. Diante dessa questão, pesquisadores se lançam a cálculos cada vez mais complexos para estimar parâmetros como a irradiação futura sobre o plano do gerador, a eficiência do gerador a distintas condições de operação, o modelamento dos diversos componentes, etc. Tudo isso para chegar a um tamanho de sistema que assegure satisfazer à demanda de água determinada, sem se dar conta de que a incerteza na quantificação da demanda é tal (por ser o comportamento do usuário desigual) que pode tornar irrelevante a precisão do cálculo anterior. Tanto esforço no refinamento dos cálculos não é justificado se não se conseguir prever a real demanda dos usuários das zonas rurais de regiões empobrecidas, ou seja, demanda de usuários que, até então, não haviam tido serviços de abastecimento de energia elétrica e de água. A experiência acumulada em anos de eletrificação rural deixa claro que a adequação do empreendimento às demandas dos usuários é uma das principais questões a ser equacionada.

No meio urbano, o parâmetro determinante para o consumo energético e de água familiar está relacionado ao poder aquisitivo, pois há uma tendência à padronização do comportamento. Já no meio rural, inúmeros outros parâmetros devem ser levados em conta, uma vez que o consumo de água para uso doméstico e para uso produtivo costuma ser indissociado e variar em função das especificidades locais.

O grau de utilização de um sistema de abastecimento de água em comunidades rurais vai depender de inúmeros fatores, como do tipo de produção agrícola, da climatologia local, das características socioeconômicas e culturais da população, das características organolépticas da água, dentre outros, variando grandemente em função da distância do ponto de coleta ao local de consumo.

Tentando resolver essa questão, projetistas buscaram determinar uma série de requisitos mínimos de consumo, o que foi convencionalmente chamado de necessidades básicas, que seria a quantidade de água mínima diária necessária por pessoa. A bibliografia aponta para um valor de 5 litros por pessoa/dia a quantidade de água necessária para a sobrevivência³, e de cerca de 20 litros por pessoa/dia a quantidade mínima necessária para que uma pessoa tenha suas

³ Para consumo humano e alimentação.

necessidades básicas satisfeitas. No entanto, sabe-se que, em regiões áridas empobrecidas, o consumo chega a ser inferior a 10 litros por pessoa/dia, contrastando com o consumo de 500 litros por pessoa por dia em países industrializados. (WHO, 2003; WEHAB, 2002; UNDP, 2001; CE, 1996)

Diz-se que a necessidade básica seria a quantidade de água diária para que o usuário tenha suas necessidades vitais e sanitárias satisfeitas (água para beber, cozinhar, higiene pessoal e doméstica). Já a necessidade desejada seria o real uso do sistema, o apreço e a importância dada ao empreendimento, uma vez que ele lhe oferece determinado serviço, determinada comodidade, dos quais o usuário não está disposto a prescindir, como ter água para realizar atividades produtivas, para seu conforto e lazer. No entanto, há casos em que, por exemplo, a dessedentação de animais domésticos ou a irrigação podem fazer parte das necessidades básicas da população, sempre e quando essas atividades forem determinantes para sua sobrevivência no local. Nesses casos, a necessidade básica de água deverá ser substancialmente mais elevada do que os 20 litros diários propostos.

Outra questão a ser levada em conta é a chamada demanda reprimida, ou seja, o incremento do consumo, partindo de uma situação na qual há dificuldades ao acesso à água (em qualidade, quantidade, distância ou custo), para uma situação onde haja menos restrições, sendo que em muitos casos a demanda reprimida significa a possibilidade de um incremento da produção rural, ou uma maior comodidade do usuário. Isso foi observado em várias situações, como na comunidade de Ait Mersid, localizada em região árida marroquina, e no assentamento Palú, no oeste do Estado de São Paulo.

Em Ait Mersid, no sistema tradicional, a água para abastecimento humano era captada de fonte distante, por apresentar melhor sabor, e, para atividades domésticas e criação de gado caprino e ovino, a água provinha de fonte próxima da vila, esta considerada de qualidade inferior devido a seu sabor desagradável. A introdução do novo sistema, com água de sabor agradável e rede de distribuição interna em cada residência, mudou profundamente os hábitos locais. Por propiciar maior comodidade, os animais domésticos também passaram a ser abastecidos com essa água. Isso significou que 75% da água encanada passou a ser consumida pelos animais de criação e somente 25% do montante foi utilizado nas atividades domésticas e para consumo humano. Afortunadamente, o dimensionamento do sistema de bombeamento foi suficiente para permitir tal incremento do consumo. (NARVARTE & LORENZO, 2001)

No assentamento Palú, inicialmente o sistema de bombeamento fotovoltaico havia sido

dimensionado para abastecer nove lotes⁴, o que, com um volume de bombeamento médio diário de cerca de 6,5 m³/dia, perfazia uma média de 772 litros por lote por dia. Considerando uma ocupação média por lote de cinco pessoas e o incremento da produção para cerca de oito cabeças de gado leiteiro, oito suínos, um equino e vinte frangos de corte, a demanda passou a ser superior a 800 litros por lote/dia, sem considerar a irrigação de uma horta de subsistência. Em função da limitação técnica do sistema, a utilização de água no loteamento foi reestruturada, implicando na aquisição de outros sistemas de bombeamento. Esse fato resultou na redução do número de lotes abastecidos por aquele sistema, passando dos nove lotes iniciais para apenas quatro, com uma disponibilidade média diária de 1.600 litros por lote por dia. Daí a importância de se dispor de dados reais e de instalar hidrômetros nos projetos.

É freqüente ocorrer, no entanto, de nem o próprio usuário saber determinar sua demanda reprimida, até que ele tenha maior disponibilidade do recurso hídrico. De todas as formas, o incremento do consumo será tanto maior quanto menor forem as restrições do novo sistema de abastecimento, e isso deve ser levado em conta na concepção e dimensionamento do projeto.

Outra questão importante a ser considerada é o crescimento populacional da comunidade beneficiada. No Brasil, o índice de crescimento populacional médio entre 1991 e 2002 foi de 1,6% ao ano; no entanto, alguns estados apresentaram valores substancialmente mais elevados, como é o caso do Amazonas, com 3,3% ao ano; de Roraima, com 4,6% ao ano; e do Amapá, com 5,8% ao ano (IBGE, 2003).

Além do crescimento demográfico natural, em muitas regiões é comum a mobilidade populacional de grandes contingentes de pessoas que buscam maior acesso a serviços básicos tais como: abastecimento de energia elétrica, água potável, serviços de saúde, educação e transporte. A mobilidade tenderá a ser tanto maior, quanto mais alto for o incremento de infraestrutura/serviços, em determinadas localidades, estas cercadas por populações com baixo acesso a esses benefícios. Isto é, se as localidades de uma grande região recebem os mesmos tipos de benfeitoria, em princípio a mobilidade não deverá ocorrer; no entanto, se nessa região somente uma ou algumas poucas localidades receberem as benfeitorias comentadas, haverá uma grande probabilidade de que estas passem a receber grandes contingentes populacionais originados das áreas menos servidas, o que implicará no incremento significativo da utilização dos serviços – no caso, água potável. Como exemplo, cita-se a comunidade rural de Nova Aliança, no Amazonas, a qual teve um incremento de 60% no número de famílias, num

⁴ Cada lote corresponde a uma parcela de terra de aproximadamente 19 ha, na qual reside uma família.

período de quatro anos, após o recebimento de serviços de água potável, iluminação das edificações de uso comunitário, sistema de radiocomunicação VHF e programa de alfabetização de adultos. (FEDRIZZI & ZILLES, setembro 1999)

Com relação à distância entre o ponto de coleta de água e o local de sua utilização, observou-se que, dependendo do nível de informação, muitas vezes o usuário prefere poupar esforços e utilizar uma fonte mais próxima, de menor qualidade sanitária, em detrimento de uma fonte de melhor qualidade, mas que se encontra a maior distância. Para ilustrar essa questão, apresentam-se dois casos observados na região do Alto Solimões. Trata-se de comunidades localizadas às margens de rios, as quais, apesar de disporem de água sanitariamente imprópria para consumo humano, consumiram muito pouco dos novos sistemas de bombeamento. O baixo consumo da água dos poços nos primeiros meses (de maio de 2000 a agosto de 2001, figura 4.9, e de março de 2000 a junho de 2002, figura 4.10) deveu-se à maior distância encontrada entre os pontos de coleta e as residências (até 400 metros), do que entre o rio e as residências (menos de 100 metros). Com a extensão das redes hidráulicas, os pontos de coleta foram aproximados ao centro das comunidades e, só a partir daí, houve aumento da utilização desses sistemas. No primeiro caso, o consumo passou de menos de 2 litros por pessoa por dia para uma média de 10 litros por pessoa por dia; e no segundo caso, passou de uma média de 18 litros por pessoa por dia para uma média de 49 litros por pessoa por dia, com suas variações sazonais, chegando a consumos superiores a 60 litros por pessoa por dia no período mais seco.

A variação sazonal do consumo de água em uma das comunidades estudadas, entre os meses de novembro de 2000 e junho de 2002, é ilustrada na figura 4.11, na qual se observa uma sensível redução do consumo nos meses de chuva e aumento nos meses de estiagem.

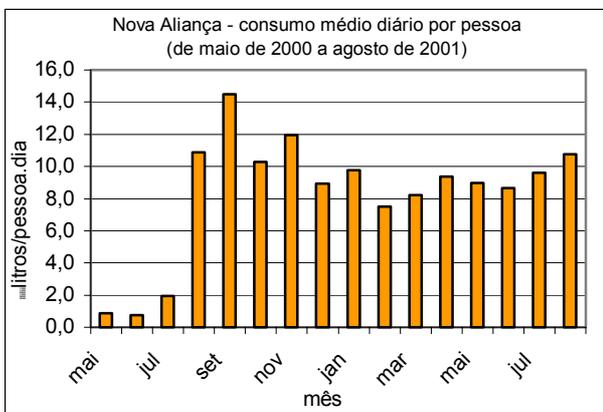


Figura 4.9 – Aumento do consumo de água com a aproximação dos pontos de coleta às residências, comunidade de Nova Aliança.

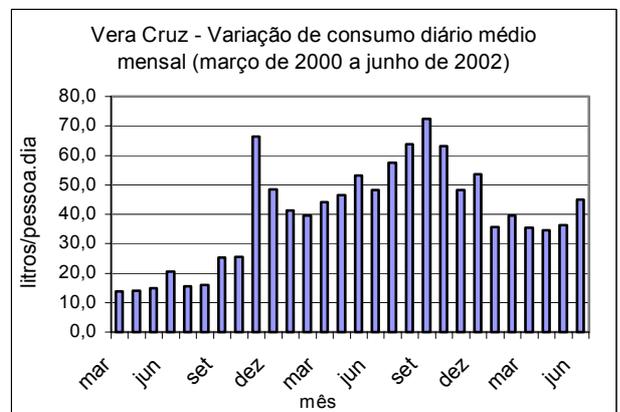


Figura 4.10 – Aumento do consumo de água com a aproximação dos pontos de coleta às residências, comunidade de Vera Cruz.

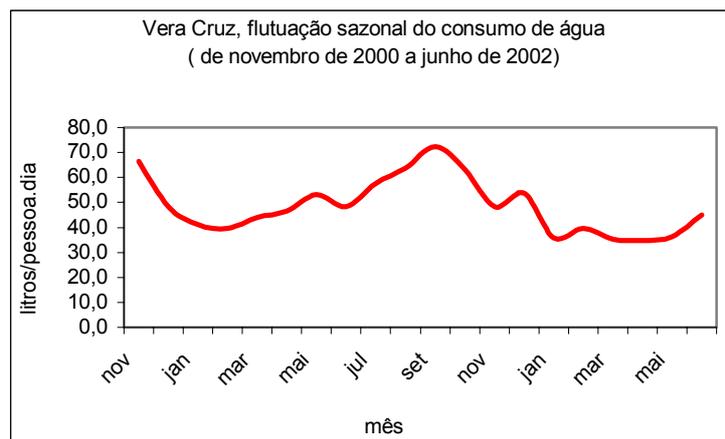


Figura 4.11 – Flutuação sazonal do consumo de água na comunidade de Vera Cruz.

Conforme comentado anteriormente, o consumo de água está relacionado, também, a fatores climatológicos e culturais, o que pôde ser observado com clareza em análise comparativa feita em dois projetos com distintas características. O primeiro deles encontra-se no Marrocos e trata-se de um estudo feito com vinte sistemas de bombeamento fotovoltaico, em um programa de abastecimento de água para cerca de 10.000 pessoas, tendo sido registrados os consumos residenciais mensais entre os anos de 1997 e 2001. Trata-se de comunidades rurais localizadas em região de clima semidesértico, de cultura berbere, com grande influência de padrões socioculturais nômades e praticantes da agropecuária de subsistência, quando as condições hidrológicas o permitem⁵. A figura 4.12 ilustra a extrema aridez da região do vale do rio Dräa, no sudoeste do Marrocos.



Figura 4.12 – Paisagem típica da região do vale do rio Dräa, Marrocos, com a comunidade de Iferd ao fundo. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

⁵ Há cerca de 14 pessoas e 11 animais (cabras e ovelhas) por residência/família nuclear, perfazendo uma média de 0,8 animal por pessoa. (IES, 2002)

Em viagem de campo àquelas comunidades, foi possível conhecer alguns de seus hábitos e formas de utilização da água. Ainda que, atualmente, as comunidades visitadas contem com rede de distribuição interna nas casas, as formas de utilização da água seguem sendo parcimoniosas, conforme ilustram as figuras 4.13 e 4.14, nas quais se observam as tarefas de lavagem de copos utilizados no consumo de chá tradicional e lavagem das mãos antes das refeições, respectivamente. Na primeira, a lavagem da louça ocorre com pouca quantidade de água, conforme se vê na foto: 37 copos ensaboados com pouco mais de um litro de água em uma bacia, e enxaguados em outra, com quantidade de água algo superior. Da mesma forma ocorre com a higiene antes das refeições, onde o “ritual” da lavagem das mãos se dá, inicialmente, umedecendo-se as mãos do visitante com um pequeno jato de água e, após ensaboadas, o anfitrião enxágua-as com outro jato de água, repetindo o gesto com todos os comensais, a ponto de, com cerca de 1 litro de água, ser possível lavar as mãos de 4 a 5 pessoas. Além disso, atentou-se para o fato de que essa população não utiliza talheres ou pratos individuais e que, tradicionalmente, servem-se com as mãos diretamente de um recipiente coletivo colocado no centro da mesa, o que reduz substancialmente o consumo doméstico de água com a lavagem da louça.

Outra questão a destacar é o fato de que as residências não possuem banheiras ou chuveiros, sendo o banho realizado apenas com a utilização de uma bacia d’água, com uma periodicidade semanal e, ainda, toda a água servida das residências é utilizada para regar plantas cultivadas nos pátios internos ou para os sanitários. A figura 4.15 mostra detalhe de quarto de banho típico da região com seus poucos utensílios, e a figura 4.16 mostra jarra metálica em um fogão feito no pátio interno da residência, próximo do quarto de banho, utilizada para o aquecimento de água para a higiene pessoal.

Constatou-se, também, que as vestimentas são trocadas e lavadas esporadicamente, fator importante de redução do consumo doméstico de água. Outra questão importante a destacar é o fato de que essas comunidades praticam a cobrança pelo uso da água, por residência e escalonado, o que faz com que o consumo seja ainda mais racionalizado.



Figura 4.13 – Lavagem de louça em comunidade berbere, Marrocos. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura 4.14 – Lavagem das mãos antes das refeições em comunidade berbere, Marrocos. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura 4.15 – Utensílios de quarto de banho em comunidade rural marroquina. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

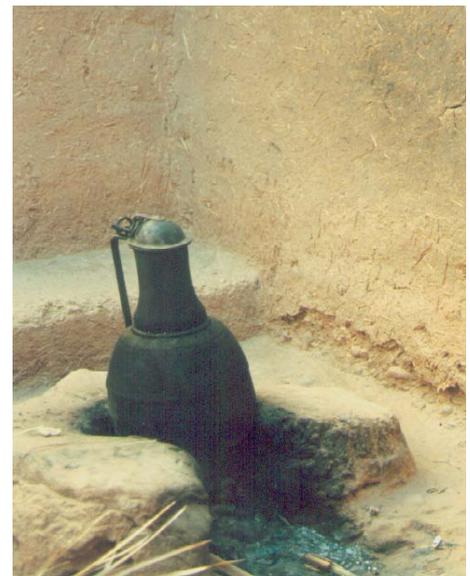


Figura 4.16 – Jarra metálica utilizada para o aquecimento de água para higiene pessoal. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

Por se tratar de elemento vital e escasso, o cuidado e a importância dispensados à água nessa região são expressos em um organizado esquema de proteção do empreendimento. Na comunidade de Iferd, por exemplo, onde o poço e o sistema de bombeamento encontram-se afastados das residências, a associação de usuários organizou-se de forma a propiciar um serviço de guarda 24 horas ao dia. Além de todo o complexo de bombeamento ter sido murado, contíguo ao poço existe uma habitação para o guarda do sistema.

O segundo caso aqui comparado encontra-se no Brasil e engloba oito comunidades rurais

localizadas na região Amazônica e na Mata Atlântica paulista – portanto, com altos índices pluviométricos. De características socioculturais chamadas ribeirinhas e caiçaras⁶, e clima tropical e subtropical, respectivamente, contam com farto recurso hídrico em forma de chuva, rios e igarapés (figuras 4.17 e 4.18), apresentando hábitos radicalmente distintos dos das populações marroquinas, aqui apresentadas, bem como das populações do Semi-Árido brasileiro. Aquelas populações não praticam a criação de animais domésticos, sobrevivendo da caça, pesca, extrativismo vegetal da floresta e agricultura de subsistência.

O banho é uma atividade muito importante, principalmente para as populações amazônicas, ocorrendo no rio várias vezes ao dia, não só para a higienização, mas também para proporcionar melhor conforto térmico, além de servir como ponto de encontro e lazer. Roupas e louças, no sistema tradicional e em parte no atual sistema, são igualmente lavadas no manancial, diariamente, e com água corrente, conforme figuras 4.19 e 4.20. Essas populações, principalmente as da Amazônia, estão voltadas para o rio, como forma de sustento por meio da pesca, para o transporte (figura 4.21) e lazer, sendo sua própria cosmologia estreitamente ligada às águas, conforme contam as lendas de formação desses povos, e as manifestações artísticas Ticuna (exemplo figura 4.22). (MEGGERS, 1987; GONDIM, 1994; RIBEIRO, 1995; NODA, 2000; DIEGUES, 1997; SERPA, 2001)



Figura 4.17 – Paisagem típica da região do Alto Rio Solimões. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2002)

⁶ Ribeirinhos – habitantes das margens dos cursos d'água na zona rural da Amazônia, incluindo população indígena; neste caso, da etnia Ticuna. Caiçaras – populações rurais tradicionais localizadas na faixa litorânea entre o sul do Rio de Janeiro e o norte do Paraná.



Figura 4.18 – Paisagem da Mata Atlântica litorânea do Estado de São Paulo, nas proximidades da comunidade aqui tratada. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura 4.19 – Cena típica da vida ribeirinha do Alto Solimões: mulheres lavam roupas e louça, e crianças brincam no rio. (Foto: M.C. Fedrizzi, 2001)



Figura 4.20 – Mulheres caiçaras lavam louça em riacho. (Foto: R. Zilles, 1999)



Figura 4.21 – Canoas e barcos são o principal meio de transporte na região amazônica. (Foto: M.C.Fedrizzi, 2002)

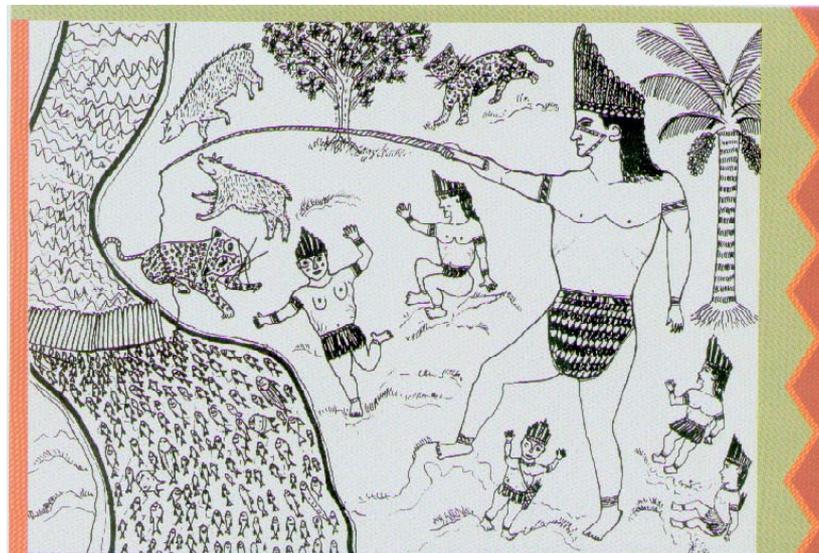


Figura 4.22 – Pintura Ticuna, Museu Magüta⁷. (Autor: G. Meremücü)

A grande utilização da água nessa região se deve à fartura desse elemento no entorno, ainda que a quantidade nem sempre seja proporcional à qualidade. Portanto, se o projeto a ser implantado pretender um abastecimento que vise à substituição da forma tradicional de utilização da água, deverá atentar para os hábitos da região e da cultura. Devido à grande disponibilidade do recurso hídrico e à relação que a população mantém com ele, pode-se dizer de antemão que a cobrança pelo uso da água estaria fadada ao fracasso.

Para a determinação da demanda de água de uma população, muitas vezes, ainda que se faça o levantamento preliminar do uso tradicional da água na região foco do futuro empreendimento, pode haver grandes surpresas quanto ao uso que será feito do novo sistema de abastecimento,

⁷ Museu Magüta, Centro de Documentação e Pesquisa do Alto Solimões, Benjamin Constant (AM).

principalmente quando houver outra fonte de água na comunidade. Isso é o que afirmam vários autores, e o que foi constatado em campo. (HÄNEL et al., 1995; NARVARTE & LORENZO, 2001)

Ainda que localizadas em uma mesma região, a utilização do novo sistema pode variar muito de uma comunidade para outra. Esse é o caso das comunidades ribeirinhas de Nova Aliança e Vera Cruz que, apesar de próximas uma da outra, apresentaram níveis diferenciados de utilização do novo sistema de abastecimento (bombeamento fotovoltaico com pontos de coleta coletivos). Conforme se observa na tabela 4.1, a variação vai de uma média anual de 7,5 litros por pessoa por dia, em Nova Aliança, para 48,6 litros por pessoa por dia em Vera Cruz, o que significa uma diferença no consumo de mais de seis vezes. Por outro lado, o consumo de Vera Cruz se assemelha mais ao da comunidade do Varadouro, localizada na região Sudeste do País.

A diferença de consumo entre comunidades próximas, e aparentemente similares, muitas vezes não tem um motivo aparente, mas, quando observadas mais atentamente, podem-se determinar as nuances de utilização que implicam na diferença de consumo. Em pesquisa realizada nas comunidades acima, constatou-se que a grande diferença no consumo de água devia-se a que a comunidade de Vera Cruz passou a utilizar a água do sistema de bombeamento para a lavagem de roupa, enquanto a de Nova Aliança seguiu com o sistema tradicional, lavando as roupas no rio. Já as demais formas de utilização se assemelhavam nas duas comunidades.

O mesmo foi constatado na comunidade do Varadouro (litoral de São Paulo). Apesar de encontrar-se em região de clima mais ameno, seu consumo de 38,8 litros por pessoa por dia aproximava-se ao de Vera Cruz, e a lavagem de roupa também passou a ser feita com água do sistema de bombeamento. Foi observado, também, que as comunidades que apresentaram consumo superior mantêm maior contato com o meio urbano, tendo incorporado hábitos urbanos, como a lavagem de roupa fora do rio, assim como suas amigas e parentes da cidade.

Tabela 4.1 – Valores comparativos de consumo médio de água entre comunidades rurais abastecidas por sistemas de bombeamento fotovoltaico.

Local	Consumo médio (litros por pessoa/dia)		
	Estação de maior consumo	Estação de menor consumo	Média anual
Varadouro (Vale do Ribeira)*	43,8	33,5	38,8
Vera Cruz (Amazonas)*	52,4	41,6	48,6
Nova Aliança (Amazonas)*	8,7	6,5	7,5

* Com ponto de coleta comunitário.

Os consumos acima relatados pertencem a comunidades rurais que praticam, fundamentalmente, atividades extrativistas, mas quando se trata de comunidade ou propriedade rurais, em que há uma efetiva produção agropecuária com vistas à comercialização, mesmo que de baixa renda, a estimativa de demanda deve levar em conta o tipo e a quantidade de produção local. Por exemplo, em lotes de um assentamento da Reforma Agrária, no Pontal do Paranapanema, Estado de São Paulo, onde é praticada a pecuária leiteira, suína e avícola, ainda que de forma rústica, para a comercialização, o registro do consumo de água é significativamente maior do que nas comunidades rurais que praticam puramente atividades de subsistência. No caso do assentamento Palú, com uma criação média de três animais de grande porte⁸ e cinco aves por pessoa, além da irrigação de pequena horta, o consumo médio diário por pessoa é de 229 litros, com uma média por família/lote de 1.145 litros por dia. Se essa população rural passasse a praticar uma agricultura irrigada, a demanda de água seria consideravelmente maior, pois, apesar de variar muito em função do tipo de cultivo, solo, climatologia e técnica utilizada, a irrigação de um hectare consome, em média, cerca de 25 metros cúbicos por dia (FAO, 1977).

A experiência de campo mostra que, em empreendimentos de abastecimento de água, mesmo que o projetista queira restringir o consumo para algumas utilizações (por exemplo, água somente para consumo humano e uso doméstico), na prática isso não ocorre. Quanto maior a comodidade (rede de distribuição até os locais de utilização da água) e menores as restrições (sem mecanismo de controle do consumo e/ou cobrança pelo uso da água proporcional ao consumo), maiores tenderão a ser as modalidades de utilização da água e o volume em cada uma consumido.

⁸ Gado de leite, eqüinos e suínos.

Conforme comentado anteriormente, há poucos trabalhos de acompanhamento da dinâmica do consumo de água em projetos de abastecimento a comunidades rurais, e a maioria deles diz respeito a projetos localizados em zonas áridas do continente africano.

Narvarte & Lorenzo (2001), de posse dos dados de seu trabalho de campo no Marrocos e de informações de outros pesquisadores, sintetizaram a quantificação da demanda em valores entre 15 e 40 litros por pessoa por dia. A cifra de 15 litros por pessoa/dia seria para a modalidade de abastecimento com fontes públicas ou pontos de coleta comunitário, e de 40 litros por pessoa por dia para o abastecimento com rede de distribuição domiciliar. Cabe ressaltar, ainda, que essas especificações foram feitas para zonas áridas em sistemas onde ocorre cobrança pelo uso da água proporcional ao consumo.

Em nosso trabalho, no entanto, o abastecimento de água em pontos de coleta comunitários, com a existência de outras fontes locais e sem que haja cobrança pelo uso da água, os valores registrados oscilaram de 8 a 49 litros por pessoa por dia, podendo-se considerar cifras de 10 a 50 litros por pessoa por dia para projetos com características similares. Não foram estudados casos com rede de distribuição domiciliar e cobrança pelo uso da água.

4.2.2 O recurso solar

A energia solar disponível na superfície da Terra varia de lugar para lugar, pois depende de fatores geográficos, da época do ano, das condições climatológicas e da orientação da superfície na qual incidem os raios solares. Além da variação diária, a radiação solar recebida ao longo de um dia depende do fluxo de energia radiante recebido por uma superfície, denominado irradiância solar, em W/m^2 . À guisa de exemplo, as figuras 4.23 e 4.24 apresentam, para uma mesma localidade, gráficos da distribuição temporal da irradiância em função do tempo⁹ para dias com distintas condições climatológicas – nublado e ensolarado, respectivamente.

Além da variação da irradiância devido às condições climáticas da localidade, conforme ilustra a figura 4.23, pode-se observar mais claramente, na figura 4.24, o efeito horário devido ao movimento de rotação da Terra em um dia ensolarado. Neste caso, observa-se a máxima irradiância diária ao meio-dia solar, e menor no amanhecer e no entardecer. Estas figuras apresentam a distribuição temporal da irradiação ao longo de um dia no plano do coletor de $2,23 \text{ kWh/m}^2$, no dia 21/04/2003 e de $6,44 \text{ kWh/m}^2$, no dia 24/04/2003. Para fins de dimensionamento, com base em valores

⁹ Irradiância (W/m^2) em função do tempo (h) = irradiação (Wh/m^2).

médios diários mensais (kWh/m^2), faz-se uso da irradiação diária interceptada pela superfície coletora.

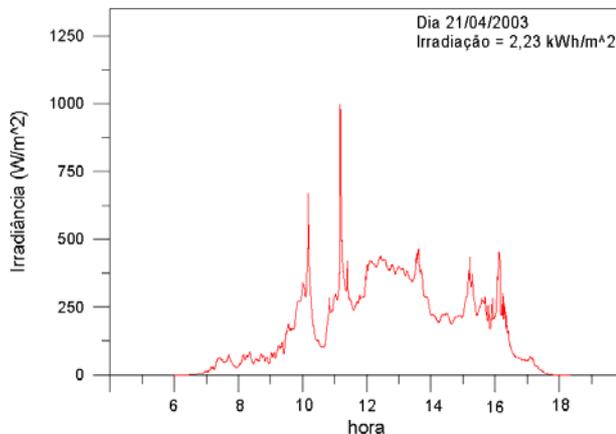


Figura 4.23 – Distribuição temporal da irradiação ao longo de um dia nublado.

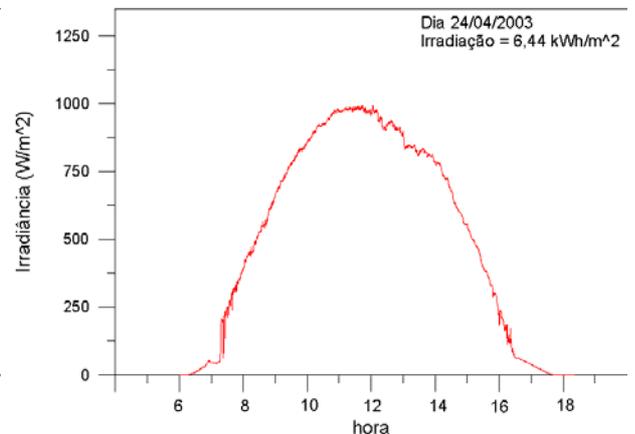


Figura 4.24 – Distribuição temporal da irradiação ao longo de um dia ensolarado.

A figura 4.25 apresenta o comportamento da irradiação solar em superfície horizontal, com uma média diária para o mês de fevereiro de 2002, na estação do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do IEE-USP, de $4,55 \text{ kWh/m}^2$. Acrescentam-se a essas variações diárias os efeitos sazonais devido ao movimento aparente do Sol, e as variações pluviométricas ao longo do ano.

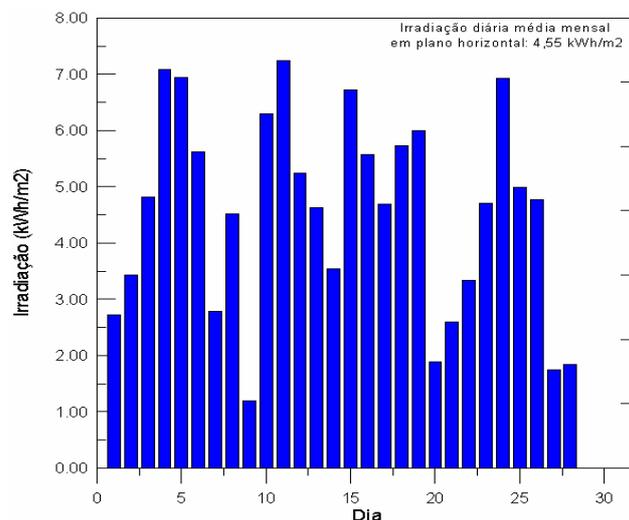


Figura 4.25 – Irradiação solar diária em superfície horizontal do mês de fevereiro de 2002 na estação do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do IEE-USP.

Portanto, a radiação solar captada por uma superfície varia em função de parâmetros como a orientação da superfície em relação ao Sol, a hora do dia, o dia do ano, a latitude e as condições climatológicas. Para maximizar a radiação solar coletada pelo gerador fotovoltaico,

o plano deste deve seguir o movimento do Sol, de tal maneira que os raios solares incidam perpendicularmente à superfície, ao longo de todo o dia. Essa situação é obtida pela utilização de seguidores solares.

Entretanto, para maior captação da radiação solar em plano fixo, o gerador fotovoltaico deve ter certa orientação em relação ao azimute γ^{10} do local e certa inclinação β^{11} , em relação à horizontal (DUFFIE & BECKMAN, 1995), conforme ilustra a figura 4.26.

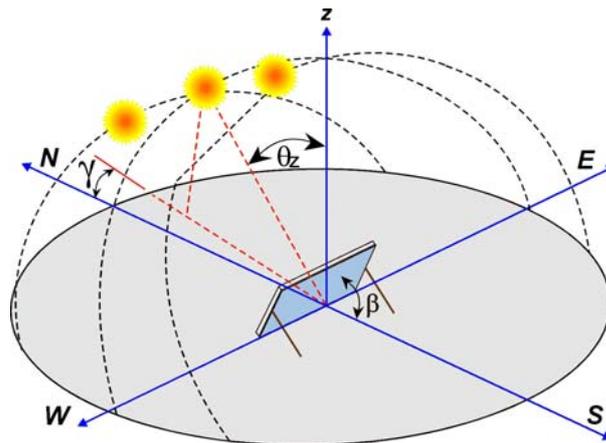


Figura 4.26 – Parâmetros para a determinação da radiação no plano do gerador fotovoltaico.

Essa inclinação se reduz proporcionalmente à latitude do local, de tal forma que, para pequenas latitudes, a melhor inclinação poderá ser, até mesmo, de 0° (zero grau)¹². Contudo, o que determina o ângulo de inclinação são as características específicas de cada empreendimento, ou seja, pode-se determinar um dimensionamento que otimize a irradiação incidente no plano do gerador ao longo do ano, ou que otimize essa irradiação em determinado período específico de maior demanda. No caso de projetos de bombeamento fotovoltaico para uma demanda regular ao longo do ano, deve-se optar pelo primeiro caso; no entanto, se a demanda de água for mais acentuada em determinado período, como é o caso do verão em culturas irrigadas, o dimensionamento deverá maximizar a irradiação no plano do gerador para esse período específico. A tabela 4.2 apresenta uma série representativa da irradiação solar média diária mensal na horizontal ao longo do ano, para Cananéia, SP.

¹⁰ Ângulo entre a projeção da normal à superfície do coletor no plano horizontal e o meridiano local, sendo 0° para o sul, 180° para o norte, leste positivo e oeste negativo ($-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$).

¹¹ Ângulo entre a superfície em questão (neste caso, o coletor) e a horizontal.

¹² Mesmo que a inclinação ideal seja de zero grau, é aconselhável na prática uma inclinação de, pelo menos, cinco graus para evitar acúmulo de material sólido na superfície do coletor.

Tabela 4.2 – Dados de irradiação solar média diária mensal horizontal para Cananéia, SP – 25° de latitude.

Irradiação solar média diária mensal na horizontal												
Mês	jan.	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.
kWh/m ² dia	5,03	4,7	4,36	3,56	3,28	2,78	3,08	3,44	3,33	4,31	4,94	4,75

(Fonte: CENSOLAR, 1993.)

4.2.3 Sistema de armazenamento

Diferentemente das tecnologias a combustíveis fósseis ou elétricas convencionais, as quais possibilitam o bombeamento simultaneamente ao consumo, independentemente do período do dia, a utilização da tecnologia fotovoltaica para bombeamento de água, via de regra, requer maior atenção na determinação da capacidade de armazenamento.

Um sistema de bombeamento fotovoltaico padrão¹³ só funciona no período diurno, e em função da intensidade da irradiância solar que atinge o plano do gerador, e do nível crítico¹⁴ (I_C) do mecanismo motobomba utilizado para determinada situação. Sendo assim, para que o serviço de abastecimento de água não fique prejudicado nos períodos de baixa irradiação solar, é necessário atentar-se para o dimensionamento do sistema de bombeamento e para a capacidade de armazenamento de água, com vistas a aumentar sua autonomia.

Hadj Arab et al. (1997) desenvolveram um programa de simulação para analisar distintas configurações de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água, considerando o arranjo fotovoltaico, a altura manométrica total e a capacidade de armazenamento. Ainda nessa linha, Vilela (2001), baseada em trabalhos anteriores de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos domiciliares autônomos, desenvolveu um procedimento para prever o comportamento a longo prazo de sistemas fotovoltaicos de bombeamento acoplados a um sistema poço/reservatório. A presença de um componente com “memória” (o reservatório de água) e a natureza estocástica da fonte de energia requerem considerar o acoplamento horário entre vazão de água bombeada e água disponível no reservatório, em períodos em que exista a necessidade de complementar a água bombeada para um atendimento pleno da demanda. Ela analisa o comportamento do sistema de bombeamento fotovoltaico como uma relação única entre irradiação solar coletada (*input*) e vazão de água bombeada (*output*), produzindo a chamada curva característica.

¹³ Sem utilização de acumuladores eletrolíticos (baterias).

¹⁴ Nível Crítico (também chamado de umbral) – irradiância sobre o plano do gerador fotovoltaico a partir da qual se dá início à operação do sistema de bombeamento (W/m^2).

Seu procedimento de dimensionamento, inspirado no método da utilizabilidade¹⁵, consiste em calcular o porte do sistema de bombeamento fotovoltaico e do reservatório, capazes de suprir uma demanda de água para um número de dias de autonomia estipulado, e para o nível crítico (I_C) do equipamento em determinada situação. Isso vai comportar um grande número de combinações de “tamanhos” de sistemas de bombeamento e de reservatórios para um mesmo nível de déficit de água, obtidos por meio das linhas de iso-déficit para determinada demanda. Ou seja, a metodologia propõe a confecção de linhas de iso-déficit como ferramenta básica para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água.

Uma vez mais deparamos com ferramentas de cálculo úteis, mas que dependem de alguns parâmetros que podem ser de difícil determinação, como é o caso da determinação do I_C , o qual varia de equipamento para equipamento e com a altura manométrica, e não costuma ser divulgado pelos fabricantes das bombas.

Na prática, o que costuma determinar a capacidade do reservatório de água, ou o período de autonomia do sistema, são, basicamente, duas questões: por um lado, o tipo de abastecimento (humano, animal, irrigação, lazer, etc.) associado à existência ou não de outras fontes locais e, por outro, as restrições financeiras do empreendimento. Tem-se constatado que projetos de abastecimento comunitário, para consumo humano e uso doméstico, apresentam uma capacidade de armazenamento de água entre dois e três dias de autonomia. Em sistemas de pequeno porte e/ou unifamiliar, o período de autonomia costuma ser algo superior, principalmente em locais que não contam com outras fontes de abastecimento.

4.2.4 Escolha do conjunto motobomba

Tendo sido determinada a potência elétrica necessária para bombear a vazão requerida, a uma dada altura manométrica, há que se fazer a escolha do conjunto motobomba propício para o abastecimento do serviço. Trata-se de uma escolha entre as marcas e os modelos dos equipamentos disponíveis no mercado, pois, via de regra, não se fabricam equipamentos especialmente para as peculiaridades de cada projeto.

¹⁵ Utilizabilidade – fração da irradiância solar coletada, acima de determinado nível crítico (I_C) de irradiação, sendo que apenas níveis de irradiância solar maiores a I_C produzem energia útil.

Os fabricantes dos equipamentos disponibilizam material gráfico a fim de facilitar a escolha, sendo que alguns deles fornecem simples tabelas com reduzida informação e outros produzem material muito bem elaborado, com um grande número de parâmetros técnicos e de fácil e precisa utilização. A ferramenta gráfica mais bem elaborada que se tem no mercado atualmente permite “resolver” a equação 4.5, para certas condições de irradiação solar e altura manométrica constante. Como parte dessa ferramenta, as figuras 4.27 e 4.28 mostram curvas de funcionamento de determinada combinação motor/bomba. A ferramenta gráfica da figura 4.28 permite determinar o valor da potência do gerador (P_{NOM}) para certos valores de vazão diária (Q_d), altura manométrica total (H_T) e irradiação solar (I_d), ou seja, permite determinar o “tamanho” do conjunto motobomba para determinada situação. De posse da potência do gerador, e por meio da ferramenta gráfica da figura 4.28, obtém-se a vazão horária (Q_h), a qual deverá ser igual ou inferior à vazão máxima (Q_M), obtida no teste de capacidade do poço.

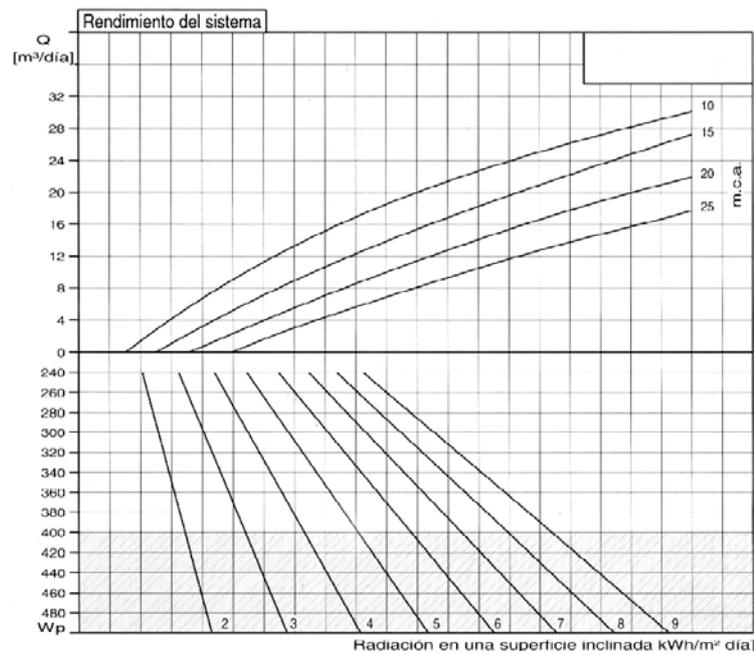


Figura 4.27 – Ferramenta gráfica para a escolha do conjunto motobomba. (Fonte: Catálogo comercial.)

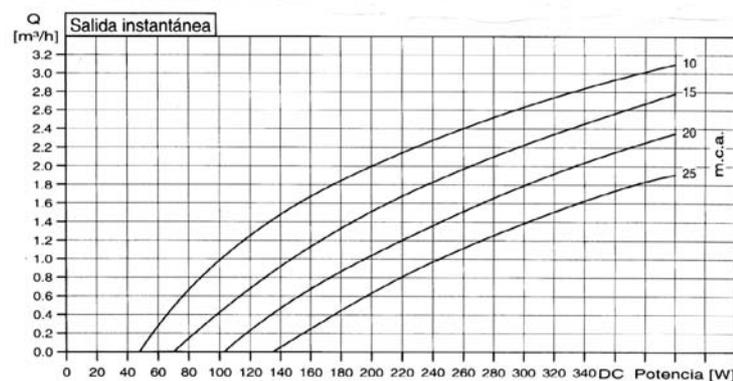


Figura 4.28 – Ferramenta gráfica para a escolha do conjunto motobomba. (Fonte: Catálogo comercial.)

As ferramentas gráficas mais simples não informam com precisão a respeito do nível crítico (I_C) do equipamento, parâmetro fundamental para sistemas fotovoltaicos, principalmente quando se tratar de locais com grande incidência de nuvens, pois, conforme comentado, apenas níveis de irradiância solar maiores do que o I_C produzem energia útil para o bombeamento. Sendo assim, para que o sistema entre em operação, a irradiância solar mínima incidente no plano do gerador deve ser tal que permita vencer o torque de arranque do motor. Nas bombas de deslocamento positivo, essa potência de arranque (P_i) demandada é superior à potência nominal de operação do sistema (P_o), e variar segundo a natureza do mecanismo interno do equipamento e a carga do sistema, ou altura manométrica total.

Conforme se visualiza na figura 4.29, o sistema começará a funcionar somente após atingir a potência de arranque do motor de $P_i = 17 \text{ W}$, ainda que a potência mínima de operação do sistema, para determinada altura manométrica, seja $P_o = 12 \text{ W}$. Neste exemplo, mostra-se um sistema do tipo diafragma, de pequeno porte, onde P_i e P_o estão relativamente próximos um do outro, mas há casos em que essa diferença chega a ser de mais de seis vezes, $P_i = 6.P_o$, onde, para que o sistema funcione conforme as necessidades, a potência do gerador deverá ter a mesma proporção, com relação à potência nominal do motor.

É importante frisar que sistemas com alta potência de arranque do motor não são indicados para localidades com elevada nebulosidade, pois resultaria em um baixo índice de funcionamento e, como medida compensatória, o gerador fotovoltaico teria de ser sobredimensionado em relação à potência nominal de funcionamento do sistema. Como regra geral, o mecanismo de uma bomba helicoidal apresenta um torque de arranque superior ao de uma bomba centrífuga, para uma mesma carga e potência do motor (MAYER et al., 1995a).

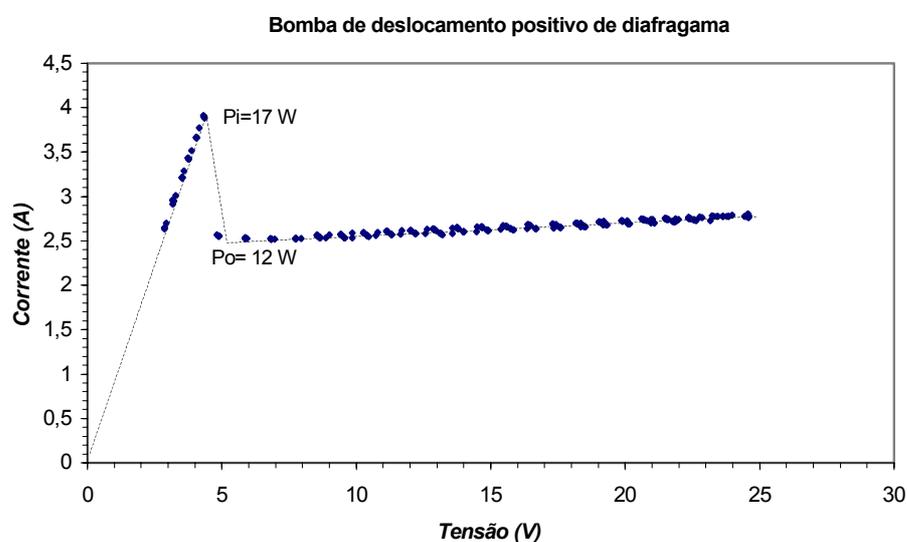


Figura 4.29 – Curva *Corrente x Tensão* de uma bomba de diafragma.

Ainda que se faça uso de um ferramental de dimensionamento de sistemas de bombeamento fotovoltaico com alta sofisticação de cálculos, e que se consiga obter com grande precisão todos os parâmetros requeridos para sua realização, é bem possível que, na escolha tanto do gerador fotovoltaico quanto do conjunto motobomba, haja necessidade de “ajustes” e que o equipamento adquirido acabe por não estar efetivamente de acordo com os cálculos realizados. Isso se deve ao fato de que esses equipamentos não são encontrados no comércio de forma linear em função da potência desejada, mas sim em saltos escalonados de dezenas e centenas de Watts. Exemplificando esse escalonamento, a figura 4.30 apresenta seis modelos de configuração de motor/bomba de determinada marca, os quais cobrem o intervalo de altura manométrica de 5 a 120 m, e vazão de cerca de 10 a 215 m³/dia. Apesar de os conjuntos motobomba cobrirem esse intervalo, a performance e a eficiência ao longo de cada segmento são extremamente variáveis. Essa também é a observação de Duzat (2000), quando afirma que a maioria dos fabricantes de bombas fotovoltaicas ainda oferece produtos com um estreito intervalo de potência hidráulica e que, por esse motivo, muitas vezes o projetista, apesar dos sofisticados cálculos realizados, acaba tendo de escolher equipamentos que apenas se aproximam das necessidades do projeto.

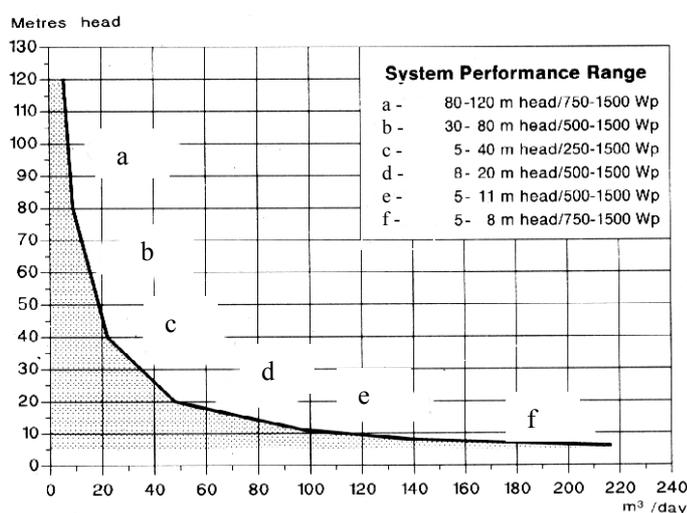


Figura 4.30 – Intervalo de aplicação para diferentes modelos de bomba centrífuga.
(Fonte: Catálogo comercial.)

Tão importante quanto dispensar atenção ao processo de dimensionamento/escolha do grupo motobomba, em função de suas características operacionais, é priorizar a aquisição de equipamentos comprovadamente robustos, ainda que de maior preço, uma vez que os custos com transporte e mão-de-obra para a reparação de problemas no campo costumam ser

elevados¹⁶, podendo ultrapassar em muito o valor do equipamento mais caro do mercado, além de prejudicar o serviço. Daí a necessidade de se rever o princípio das especificações técnicas para as licitações e cartas-consulta quando se trata de recursos públicos, posto que costumam priorizar o menor custo de investimento inicial em detrimento do fluxo de caixa do empreendimento ao longo de sua vida útil.

4.3 Implementação

Por implementação de um projeto de abastecimento de água entende-se como sendo o conjunto de ações que viabilizam o seu funcionamento, compreendendo a aquisição e comprovação da qualidade dos equipamentos, a implantação da infra-estrutura e dos equipamentos no campo, as formas de introdução da tecnologia, bem como a gestão do empreendimento; ou seja, implementação é a materialização do projeto no campo, composta por todos os elementos técnicos e os agentes envolvidos.

4.3.1 Aquisição dos equipamentos e comprovação de suas características

O processo de aquisição dos equipamentos é mais uma parte importante da cadeia que conforma o processo de abastecimento de água com sistemas fotovoltaicos. Dele vai depender não só a escolha dos equipamentos, mas também a garantia de que, em havendo problemas de ordem técnica, haja um mínimo prejuízo do serviço, mediante imediata assistência técnica sem ônus para os contratantes/usuários.

É justamente no processo de aquisição (por escolha direta ou por licitação) que se deve assegurar a garantia de robustez dos equipamentos e que, uma vez adquiridos, eles satisfaçam às especificações técnicas exigidas no termo de referência do processo de compra. É por meio da observância de cláusulas contratuais claras com responsabilidades e penalidades que o contratante poderá ter a garantia da qualidade da prestação do serviço.

Apesar de ser consensual a necessidade de se garantir a qualidade dos equipamentos destinados à eletrificação rural, é notória a falta de aplicação de normativas destinadas a comprovar a qualidade dos equipamentos em programas de abastecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaico. Com exceção dos módulos fotovoltaicos e de alguns poucos elementos, muitos dos componentes do sistema carecem de normatização quanto a sua qualidade técnica e de instalação, que assegure o perfeito funcionamento no longo prazo. Esse

¹⁶ Por exemplo, o custo de transporte e manutenção (Manaus – Alto Solimões, AM) de um técnico para reparar um problema ocorrido em uma motobomba instalada em uma comunidade no Município de Benjamin Constant chega a ser de duas a três vezes o custo do equipamento.

fato leva a situações nas quais os sistemas apresentam problemas prematura e recorrentemente.

Que a confiabilidade da tecnologia de bombeamento fotovoltaico é alta, isso é reconhecido; no entanto, a comprovação de que os sistemas produzidos em escala comercial tenham determinado padrão de qualidade deve ser viabilizada mediante procedimentos técnicos específicos.

Em um primeiro momento, pode-se pensar que os problemas em projetos de bombeamento fotovoltaico ocorrem somente devido à falta de normas técnicas, o que não é de todo errado, pois existem algumas poucas propostas de normas inacabadas¹⁷. Entretanto, conforme lembra Narvarte (2001), para os sistemas fotovoltaicos de energização domiciliar deve existir mais de uma centena de normas, e os problemas ocorrem de forma similar, devido a sua não aplicação. Na prática, de pouco adianta a existência de inúmeras e excelentes normas técnicas, se houver barreiras para sua utilização.

Para a aplicação de muitas das normas existentes, são necessários procedimentos de teste que demandam uma instrumentação sofisticada. Isso implica que, na falta dessa instrumentação, muitas instituições não possuem condições de realizar as comprovações necessárias (justamente as dos países de maior potencial de aplicação da opção fotovoltaica no meio rural), tendo que pender de laboratórios especializados em outros países, onerando e retardando o processo, o que acaba resultando na não execução dos testes em muitos dos programas de eletrificação rural. Em decorrência dessa realidade, e com vistas a garantir maior controle de qualidade dos equipamentos, é necessário propor o estabelecimento de normas de qualidade que, segundo Narvarte (2001), sejam “flexíveis à realidade de cada país”, e que levem em conta a qualidade não somente dos equipamentos estritamente fotovoltaicos, mas também de todos os elementos que compõem o sistema de abastecimento, cujos procedimentos de teste para comprovar a adequação dos componentes à norma sejam reproduzíveis localmente.

Foi partilhando dessa opinião que se elaborou uma série de procedimentos de comprovação de algumas características técnicas básicas dos sistemas de bombeamento, os quais são apresentados a seguir.

4.3.1.1 Comprovação das características dos módulos fotovoltaicos

As características elétricas, conforme ilustra a curva característica de um módulo (figura 4.31), assim como os procedimentos para avaliação da potência entregue pelos

¹⁷ IEC 1702 International Standard, *Evaluation of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems*, 1995.

módulos, foram e deverão seguir se desenvolvendo à medida que o mercado fotovoltaico cresce. Os desenvolvimentos feitos até então foram impulsionados, principalmente, por dois motivos básicos. Primeiro, pela importância de conhecer as propriedades físicas e características elétricas dos módulos, pois os fabricantes necessitam dessa informação para classificar o produto em função de suas características, a fim de confeccionarem os catálogos comerciais. Segundo, pelo fato de que, para os projetistas de sistemas e engenheiros interessados na otimização dos sistemas fotovoltaicos, não é suficiente conhecer somente as características dos catálogos dos fabricantes, pois ainda é freqüente encontrar diferenças entre o valor da potência nominal indicada nos catálogos e a obtida pela comprovação experimental (GUISAN et al., 1992; HECKTHEUER et al., 2001).

No mercado foi convencionado adotar a prática de que a potência real pode oscilar em torno de -10 % e +10 % da potência nominal para um mesmo preço de módulo. Daí a importância de implantar-se controles de qualidade na eletrificação rural, para que esta não fique com a parte baixa da potência.

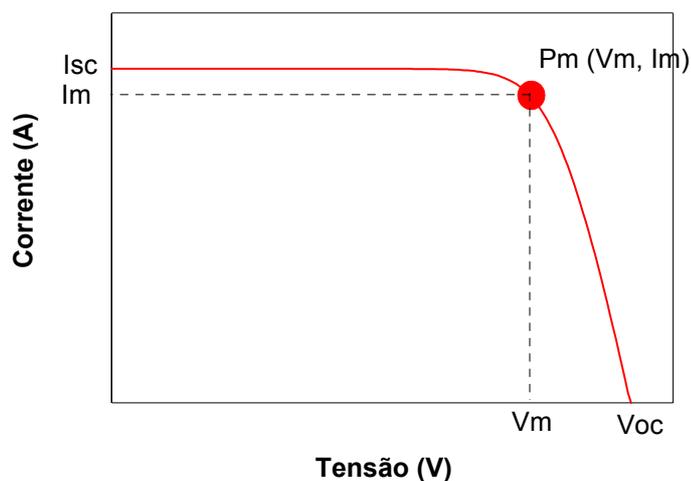


Figura 4.31 – Curva característica I-V, corrente de curto circuito (I_{sc}), tensão de circuito aberto (V_{oc}), corrente de máxima potência (I_m), tensão de máxima potência (V_m), ponto de máxima potência (P_m).

Para ilustrar essa questão, as figuras 4.32 e 4.33 apresentam resultados obtidos por Zilles et al. (1998). Os dados de potência máxima obtidos com módulos do fabricante 1 são inferiores aos da potência nominal de catálogo, porém acima da faixa de -10%. Já os dados obtidos com módulos do fabricante 2 apresentam potência máxima abaixo de -10%, chegando, em alguns casos, a potências inferiores a -20% da potência nominal de catálogo. Esses resultados enfatizam a necessidade da inclusão de procedimentos de averiguação da potência nominal

dos módulos adquiridos. A não realização desse tipo de procedimento pode incorrer em prejuízos no desempenho de sistemas, pois a comercialização de módulos com parâmetros extremamente aquém dos divulgados nos catálogos é mais comum do que se possa imaginar.

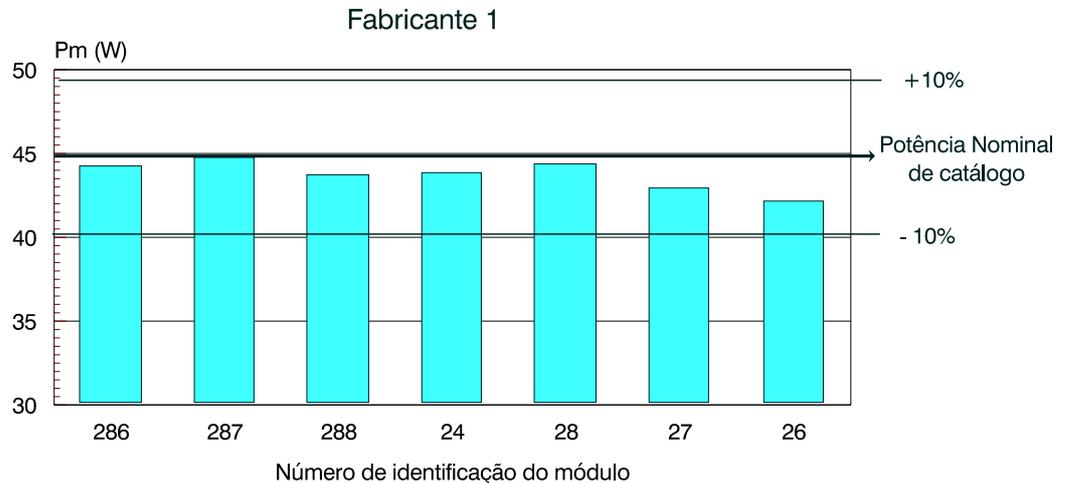


Figura 4.32 – Resultados de medidas de potência nominal de uma amostra de módulos. (ZILLES et al., 1998)

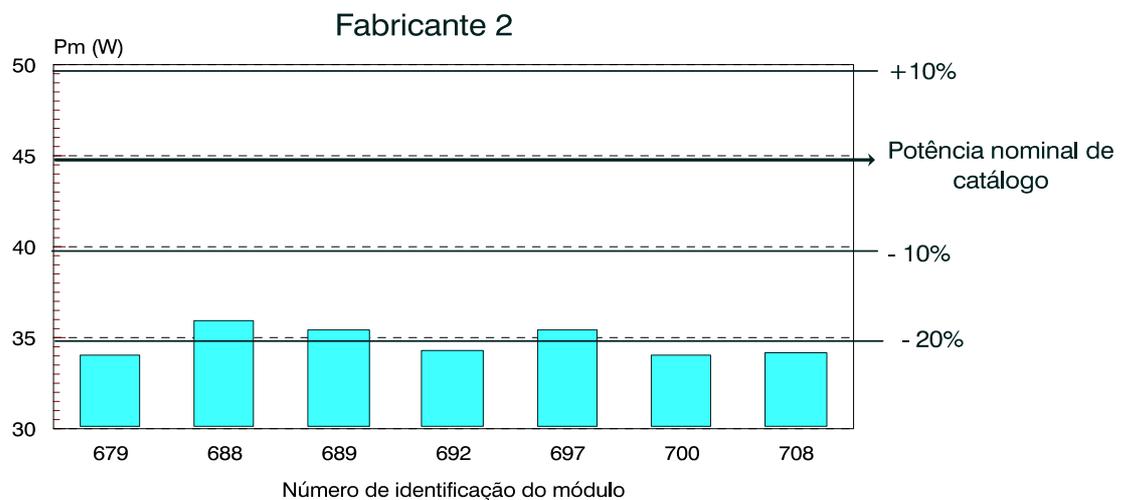


Figura 4.33 – Resultados de medidas de potência nominal de uma amostra de módulos. (ZILLES et al., 1998)

Procedimentos e ferramentas confiáveis para determinar as características dos módulos fotovoltaicos, que sejam de simples execução, têm sido tema de muita discussão nos fóruns pertinentes. Alguns autores têm proposto métodos de caracterização com o *Realistic Reporting Conditions*¹⁸ (BÜCHER, 1993; KLEISS et al., 1994). Entretanto, o procedimento para comparar os valores indicados pelos fabricantes segue sendo o que utiliza resultados medidos nas

¹⁸ Procedimento fundamentado na realização de testes operacionais em determinadas condições de irradiação.

condições padrão de medida, com irradiância de 1.000 W/m^2 , espectro AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C , posto que os resultados obtidos por medidas a sol real e extrapolados para as condições padrão costumam ser questionados no momento de se negociar um valor contratual de compra de módulos (KNAUPP, 1991). Isso faz sentido, devido à incerteza na hora da determinação da temperatura das células e pelo erro ocorrido em função das diferenças espectrais.

Um dos principais problemas desse tipo de medição de módulos fotovoltaicos tem sua origem na distribuição do espectro da irradiância incidente. A distribuição do espectro, por sua vez, depende de forma complexa da composição, espessura e estado da atmosfera, a qual varia em função da localização sobre a superfície terrestre, ao longo do dia e do ano, e, sobretudo, das variações climatológicas. Esse fato dá lugar a dois tipos de problema: o primeiro deles é que se não se fixa o espectro incidente sobre os módulos, os resultados de diferentes medidas podem sofrer grandes variações; no segundo caso, ocorre que as medidas baseadas em um espectro concreto não produzem informação sobre o comportamento do módulo quando o espectro é distinto do medido.

Outro problema significativo é a determinação da temperatura de célula, sendo que essa difere da que se pode medir na superfície do módulo. Sua medida direta é lesiva, porque supõe perfurar o encapsulado, tendo sido, por essa razão, desenvolvidos métodos indiretos para estimar a temperatura de célula a partir de outros parâmetros de mais fácil obtenção.

A essa dependência da temperatura da célula e da distribuição espectral se une outra óbvia, a dependência do valor total da irradiância. Essas dependências obrigam a desenvolver métodos para estimar o comportamento dos módulos fotovoltaicos quando esses parâmetros variam. Existem métodos de extrapolação da curva I-V a outras condições de irradiância e temperatura. Esses métodos, além das aproximações inerentes, não costumam contemplar a seletividade espectral e enfrentam dificuldades devido à variação da irradiância e da temperatura no módulo.

Todas essas dificuldades e algumas mais podem ser a causa de discrepâncias de até 10% entre medidas do mesmo módulo realizadas por diferentes laboratórios. Obviamente, incertezas dessa ordem não são toleráveis no processo de desenvolvimento e planejamento de sistemas fotovoltaicos, podendo confundir o projetista, distorcer a comparação entre produtos de distintos fabricantes e dar lugar a instalações sobre ou subdimensionadas.

Nesse contexto, o Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madri propôs um procedimento fundamentado na utilização de um módulo padrão de referência para obter a potência máxima dos módulos, com o objetivo de ter disponível uma ferramenta confiável para

fins de averiguação da potência de um lote de módulos. Portanto, recomenda-se sua utilização nos procedimentos de aquisição de módulos. Esse procedimento pode ser consultado em detalhe nas publicações de Lorenzo e Zilles (1994), e Caamaño et al. (1999).

4.3.1.2 Comprovação das características do grupo motobomba

A especificação técnica do grupo motobomba é determinada por sua potência hidráulica, a qual é definida em função da demanda de água e da altura manométrica total. A potência elétrica do sistema é dada pela razão entre a potência hidráulica mais as perdas por fricção e a eficiência do mecanismo motor/bomba, conforme as equações 4.1 e 4.3 do item 4.2, reproduzidas abaixo.

$$P_H = 2,725 \cdot Q \cdot H_T \quad (4.1)$$

P_H – Potência hidráulica (W)

Q – Vazão (m³/h)

H_T – Altura manométrica total (m)

$$P_E = \frac{P_H}{\eta_{MP}} \quad (4.3)$$

P_E – Potência elétrica (W)

η_{MP} – Eficiência de acoplamento do conjunto motobomba

Conforme tratado anteriormente, uma vez obtidos os dados acima e conhecendo-se os valores de irradiação solar do local, pode-se, pela utilização de catálogos dos fabricantes, determinar facilmente o equipamento apropriado às condições em questão. No entanto, uma vez obtido o equipamento, é recomendável a verificação de seu funcionamento, principalmente quando forem feitas compras de grande monta e/ou quando se tratar de empreendimento que exija alto grau de confiabilidade/disponibilidade, como é o caso do abastecimento de água para consumo humano.

O principal parâmetro a ser verificado com relação ao grupo motobomba é a comprovação das características instantâneas, vazão *versus* potência CC entregue ao conjunto para as condições de trabalho estipuladas. Para essa comprovação, sem ter de contar com os serviços dos poucos laboratórios qualificados existentes, é de grande auxílio a utilização de procedimentos de fácil, rápida e barata execução, sem prescindir da precisão necessária.

Nesse sentido, propõe-se um procedimento que se tem mostrado de grande utilidade no processo de introdução da tecnologia de bombeamento fotovoltaico, não somente no controle

de qualidade, mas também no que se refere à capacitação de técnicos, instaladores e usuários dos sistemas. A seguir, apresenta-se a instrumentação básica para a montagem de uma bancada de teste simplificada, descrevendo-se os procedimentos de execução. (FEDRIZZI & SAUER, 2001)

4.3.1.2.1 Instrumentação

A bancada proposta possui dois tipos de instrumentação, a hidráulica e a elétrica, como pode ser visto a seguir.

Instrumentação hidráulica – É composta por um depósito de água em circuito fechado¹⁹; um rotâmetro, um manômetro e uma chave de passo para o ajuste manual da altura manométrica desejada, conforme ilustram as figuras 4.34 e 4.35.



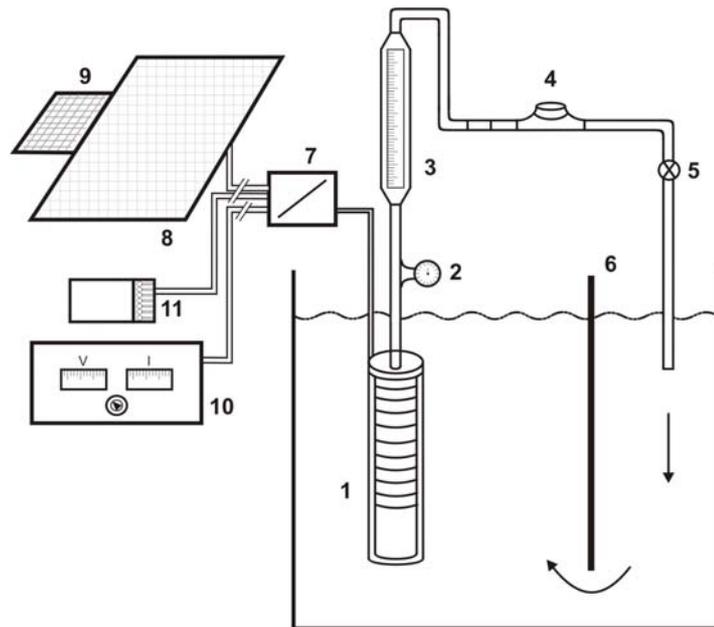
Figura 4.34 – Vista de bancada simplificada de teste, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, USP. (M.C. Fedrizzi, 2001)

Instrumentação elétrica – As medições podem ser feitas tanto a sol real, com a utilização de módulos fotovoltaicos e célula padrão²⁰, como com fonte elétrica CC. No caso de medição a sol real, deve-se atentar para a correta configuração dos módulos, em função do trabalho a ser realizado. A determinação da irradiância, neste caso, é dada pela célula padrão. Para medição com fonte de simulação CC, requer-se uma fonte que fixe os valores de corrente e tensão necessários para cada situação prevista

¹⁹ De preferência, o depósito deve conter uma divisória (chicana) entre o compartimento onde fica a bomba e o compartimento onde ocorre a saída da água bombeada, para evitar possíveis interferências de bolhas de ar formadas pela turbulência da água de retorno.

²⁰ Célula padrão calibrada para medidas da irradiância solar.

de teste. Em ambos os casos são utilizados multímetros para a leitura dos parâmetros elétricos (corrente e tensão). Também é possível utilizar um sistema de aquisição de dados, conforme pode ser visto na figura 4.36. Com relação aos controladores e/ou inversores, segundo o tipo do grupo motobomba, devem ser utilizados nos testes os que tenham sido definidos para o funcionamento em campo, mantendo-se assim o máximo de similaridade entre o sistema a ser instalado no campo e o sistema a ser medido.



1 – motobomba 4 – hidrômetro 7 – controlador/inversor 10 – fonte elétrica CC
 2 – manômetro 5 – válvula 8 – gerador fotovoltaico 11 – aquisição de dados
 3 – rotâmetro 6 – chicana 9 – célula padrão

Figura 4.35 – Diagrama esquemático de bancada de teste simplificada.

4.3.1.2.2 Critério de aceitação

Como critério de aceitação, no levantamento da curva vazão instantânea *versus* potência CC do sistema, sugere-se que os resultados devam estar na faixa de 0,85 a 1,15 da curva fornecida pelo fabricante. Este intervalo de aceitação, embora amplo, permite o uso de instrumentação simplificada. A amplitude do critério de aceitação deve-se, fundamentalmente, à faixa de precisão dos instrumentos de obtenção dos parâmetros tensão, corrente e vazão. O uso de instrumentação mais precisa e sofisticada permite, no entanto, a adoção de intervalos de aceitação menores.

4.3.1.2.3 Exemplo de aplicação do procedimento

Com a finalidade de tornar mais claro o procedimento de medidas, apresenta-se sua aplicação para a bomba de deslocamento positivo do tipo diafragma SH-9.3, submersível, 24 VCC, para campo fotovoltaico de 2 x 52 Wp. Com a mesma bomba, foram feitas medições em um laboratório de referência²¹, com fonte CC, para alturas manométricas de 20 e 30 m; e no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos da Universidade de São Paulo, em bancada de teste simplificada, com fonte CC e a sol real, com medições para alturas manométricas de 10, 20, 30 e 40 m.

Com fonte CC – Conecta-se a fonte na entrada do controlador²² da bomba e, para cada par de pontos (vazão x potência CC), ajustam-se a tensão e a corrente, e fixa-se o valor da potência entregue ao controlador. Uma vez fixada a potência com a fonte elétrica, por meio da chave de passo e do manômetro, ajusta-se a altura manométrica desejada. Com a potência e a altura manométrica fixadas, inicia-se o procedimento de leitura simultânea da tensão, corrente e vazão instantâneas. Para a obtenção de novos pontos da curva (vazão x potência CC), o procedimento é repetido incrementando-se a potência até atingir o limite da bomba e, assim, faz-se a varredura para cada altura manométrica desejada.

A figura 4.36 apresenta os resultados obtidos com o uso de fonte CC para as quatro alturas manométricas, em função da potência, com seus respectivos ajustes; e no requadro em cinza, têm-se os pontos experimentais para duas alturas manométricas obtidas no laboratório de referência, as quais apresentam um bom ajuste com resultados obtidos com a bancada simplificada. Observa-se que o comportamento do sistema de bombeamento obedece a uma função polinomial de segunda ordem, como pode ser comprovado nas equações encontradas na parte inferior da mesma figura.

A sol real com gerador fotovoltaico – Neste caso, conecta-se um gerador fotovoltaico na entrada do controlador²³ e, para cada par de pontos (vazão x potência CC), realizam-se as medidas instantâneas da irradiância solar por meio da célula padrão. Para cada situação de irradiância tem-se um valor de potência CC (aumentando do nascente ao meio-dia solar e diminuindo deste ao poente, em dias ensolarados). Com essa potência e a altura manométrica fixadas por meio da chave de passo, inicia-se a leitura da corrente e da vazão instantânea. Esse procedimento, além de exigir mais tempo para sua execução, tem a limitação da potência do

²¹ CIEMAT – Laboratório de bombas do Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas de Madrid – Espanha.

²² No caso de equipamento em corrente alternada (CA), a conexão é feita na entrada do inversor.

²³ No caso de equipamento em corrente alternada (CA), a conexão é feita na entrada do inversor.

gerador fotovoltaico e da irradiância local no momento do teste. No entanto, revela-se de grande utilidade em medidas de constatação do funcionamento do sistema em campo.

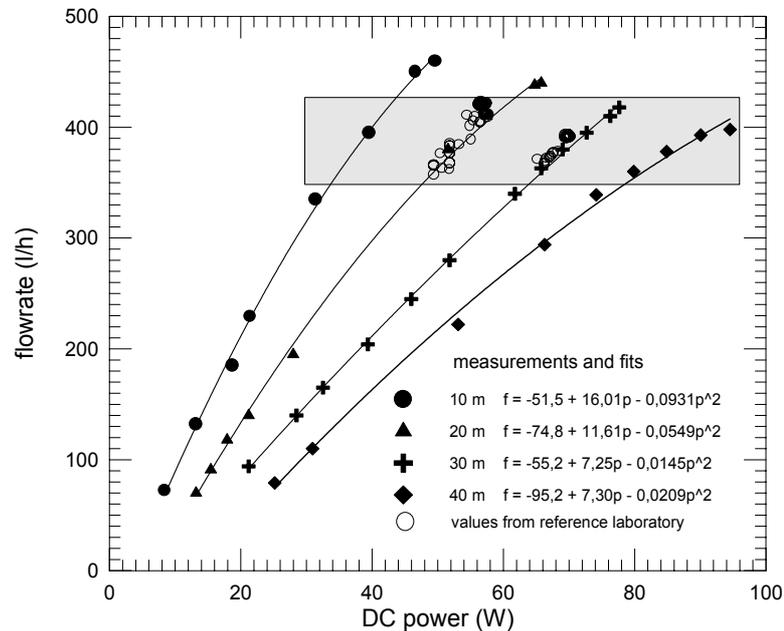


Figura 4.36 – Medidas com fonte CC e seus respectivos ajustes, bomba SH 9.3.

A figura 4.37 apresenta os dados obtidos a sol real para quatro alturas manométricas diferentes, e as curvas representam os ajustes feitos para os resultados obtidos com fonte CC, os mesmos ajustes da figura 4.36, para as respectivas potências e alturas manométricas.

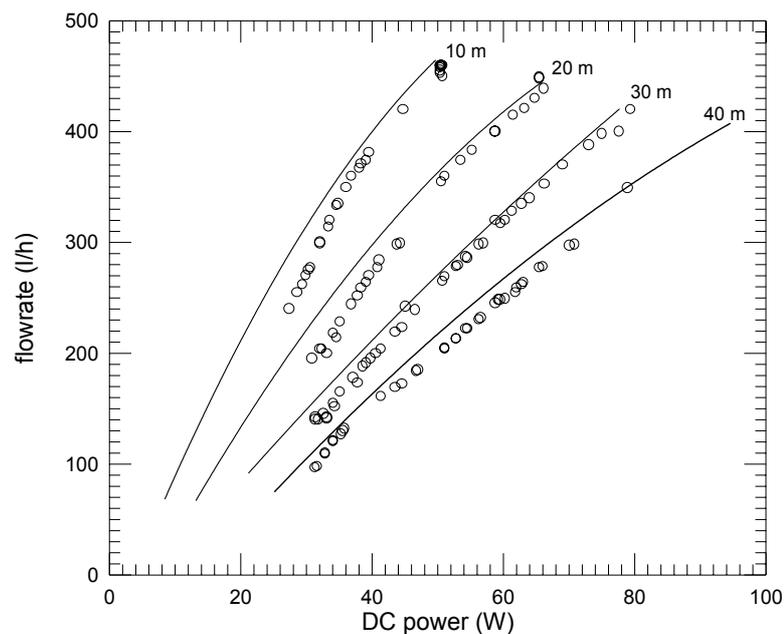


Figura 4.37. – Medidas a sol real e ajustes obtidos com fonte CC, bomba SH 9.3.

Na figura 4.38, apresenta-se o resultado da aplicação do procedimento para uma bomba de deslocamento positivo helicoidal, podendo-se apreciar as curvas fornecidas pelo fabricante e os valores experimentais obtidos. Observa-se que os valores medidos se equiparam aos fornecidos pelo fabricante.

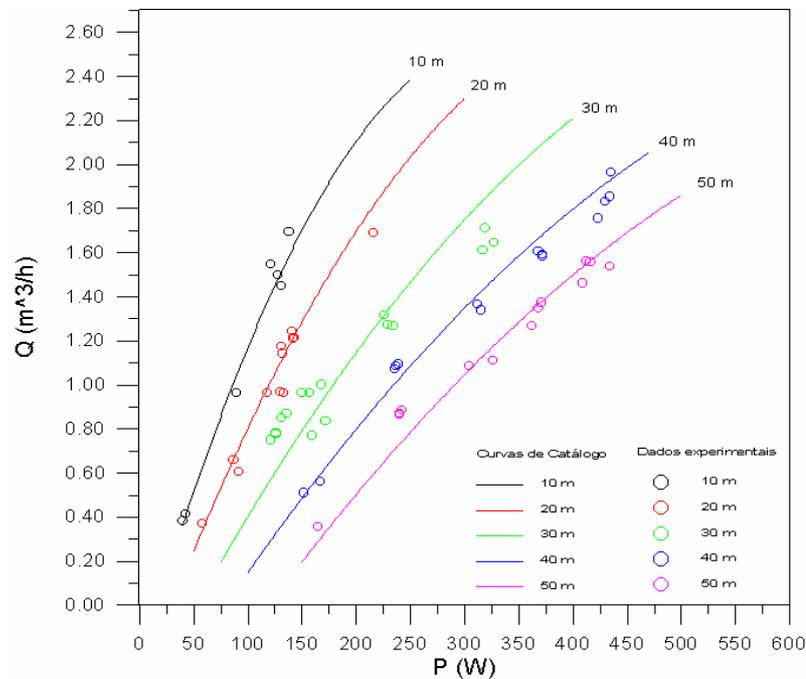


Figura 4.38 – Resultado de aplicação do procedimento, curvas de catálogo e resultados experimentais, bomba helicoidal.

O procedimento aqui exposto de forma sucinta não tem a pretensão de substituir a função dos laboratórios credenciados, mesmo porque a quantidade de informação que pode ser gerada por eles, principalmente no que se refere a parâmetros elétricos de funcionamento, é substancialmente maior, tendo inúmeras outras aplicações. O objetivo principal da proposta da bancada de teste simplificada é propiciar alternativas simples e de baixo custo para a verificação de parâmetros básicos de funcionamento de um grupo motobomba fotovoltaico, que pode ser utilizada tanto por grupos que trabalham com a implementação de projetos, como com o ensino/capacitação da tecnologia em questão.

4.3.1.3 Teste operacional do sistema

A configuração básica de um sistema de bombeamento fotovoltaico, conforme ilustrado na figura 2.2, está constituída pelo gerador fotovoltaico, por equipamentos de condicionamento de potência e pelo grupo motobomba. Esses componentes têm a função de gerar energia elétrica a partir da radiação solar, adaptar as características de

funcionamento do gerador fotovoltaico ao grupo motobomba, e transformar a energia elétrica em hidráulica, respectivamente. Portanto, o exercício desenvolvido pelo projetista é norteado pela busca da configuração de um sistema que opere de forma a satisfazer às condições do projeto, ou seja, escolher a melhor configuração para o atendimento da demanda, tendo em vista as características específicas locais.

À guisa de exemplo, o projetista pode encontrar a seguinte situação para a aquisição de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água com bombas submersíveis, que deverão atender às seguintes características técnicas: captação diária de 20 m³ de água para o transporte a uma altura manométrica total de 10 m, considerando-se uma irradiação solar diária média anual de 5,0 kWh/m².

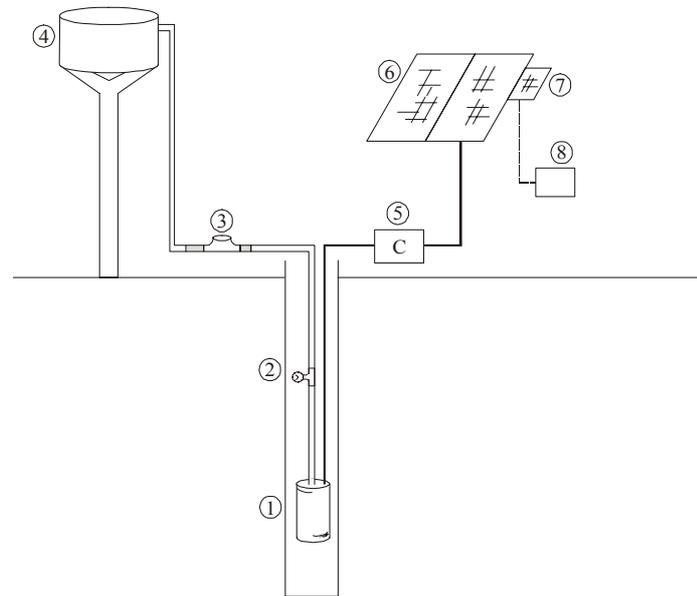
Conforme comentado, além da verificação da potência nominal dos módulos e da comprovação das características instantâneas do grupo motobomba, é importante viabilizar um teste operacional no sistema, o qual pode ser realizado em um laboratório que reúna as condições necessárias para a reprodução das condições indicadas (transporte de determinado volume de água a certa altura manométrica nas condições de irradiação diária média anual especificadas), ou diretamente no campo após a instalação do sistema, fazendo parte do procedimento de averiguação e comissionamento da instalação.

Com vistas a detalhar a aplicação do teste operacional proposto – o qual, conforme comentado, também pode ser realizado em laboratório com auxílio de um sistema eletrônico de aquisição de dados –, monitorando as seguintes grandezas: irradiância solar no plano do gerador fotovoltaico (W/m²), vazão (m³/dia), corrente (A) e tensão (V), apresenta-se a seguir um procedimento que pode ser reproduzido em campo com reduzida instrumentação e de fácil execução.

4.3.1.3.1 Instrumentação

Para a realização do teste operacional em campo, faz-se necessário um manômetro, um hidrômetro instalado entre a bomba e o reservatório, uma célula padrão e um integrador da irradiância solar incidente no plano do gerador fotovoltaico. Esses instrumentos permitem obter o volume total bombeado (m³/dia) e a irradiação diária recebida (kWh/m²) no final de um turno de bombeamento (um dia de bombeamento), chegando-se assim às informações necessárias para constatar se a capacidade de produção média de água do sistema está de acordo com as especificações do projeto. A figura 4.39 apresenta um diagrama esquemático

do sistema com os instrumentos necessários para a averiguação da operacionalidade do sistema em campo.



- | | | |
|----------------|--------------------------|------------------------|
| 1 – motobomba | 4 – reservatório | 7 – célula padrão |
| 2 – manômetro | 5 – controlador/inversor | 8 – aquisição de dados |
| 3 – hidrômetro | 6 – gerador fotovoltaico | |

Figura 4.39 – Diagrama esquemático de sistema de bombeamento para teste operacional.

4.3.1.3.2 Critério de aceitação

Para fins de aceitação, o teste deve ser realizado em dias com irradiação solar superior a 80% do valor de irradiação solar diária de referência indicado nas especificações para o dimensionamento, devendo o volume obtido nessas condições ser corrigido para a condição de irradiação de referência, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{dcor} = \frac{Q_{dmed} \cdot I_{ref}}{I_{med}} \quad (4.7)$$

Sendo Q_{dcor} a vazão diária corrigida para as condições de referência (m^3/dia); Q_{dmed} , a vazão diária obtida no teste (m^3/dia); I_{ref} , a irradiação diária de referência especificada na etapa inicial do projeto ($kWh/m^2.dia$); e I_{med} , a irradiação diária obtida no teste ($kWh/m^2.dia$). A vazão diária de água bombeada corrigida, Q_{dcor} , deverá ser igual ou superior a 0,90 do valor previsto nas especificações para dimensionamento do projeto, Q_{dpro} .

Dado que as condições para consideração do teste operacional exige que a irradiação solar diária seja superior a 80 % do valor de irradiação solar diária de referência – excluindo-se medidas realizadas em dias com excessiva contribuição da irradiação

difusa, aliado a equação de correção 4.11 – sistemas com valores de Q_{dcor} inferiores a 0,90 não devem ser aceitos. Este critério fundamenta-se nas contribuições experimentais obtidas, contudo, sua validação merece um estudo aprofundado que inclua na condição para consideração do teste operacional um limite para a proporção da irradiação difusa.

4.3.1.3.3 Exemplo de aplicação do procedimento

Para exemplificar a aplicação do teste operacional simplificado, considera-se um sistema de bombeamento fotovoltaico com as seguintes especificações: bomba submersível com capacidade de bombeamento de 20 m³/dia, a uma altura manométrica de 10 m, considerando-se uma irradiação solar diária de referência na especificação para dimensionamento de 5,0 kWh/m².dia.

Para essa situação, o projetista/fornecedor apresentou uma configuração de sistema composto por um gerador fotovoltaico de 480 Wp e uma bomba de deslocamento positivo helicoidal modelo SQ25-2.

O teste operacional é aplicado segundo as condições impostas pela climatologia do local. Para a realização do teste operacional, são considerados dias válidos quando a irradiação diária é igual ou superior a 80% da irradiação diária de referência, I_{ref} . Nas figuras 4.40, 4.41 e 4.42, pode-se observar o comportamento da irradiância em cada um dos dias considerados. A tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos para os três dias de monitoramento.

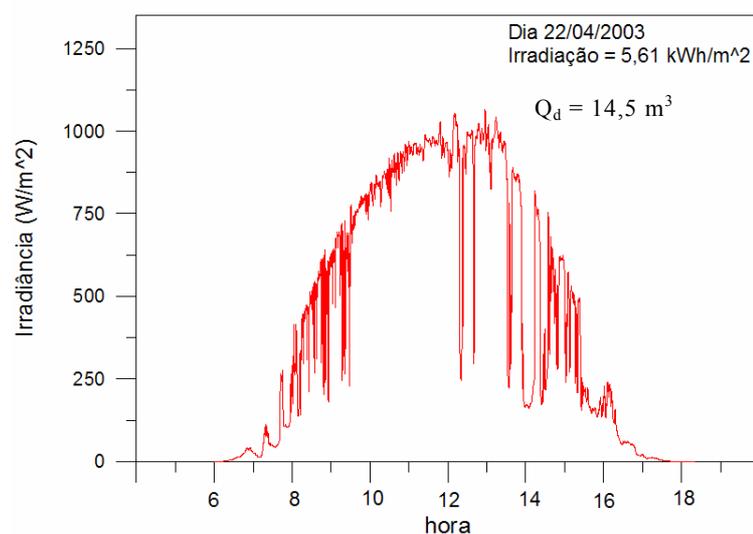


Figura 4.40 – Irradiação solar para o dia 22/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.

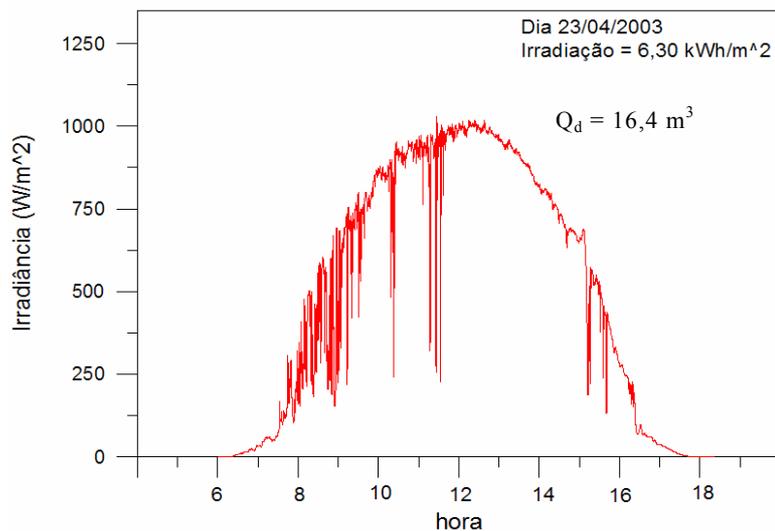


Figura 4.41 – Irradiação solar para o dia 23/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.

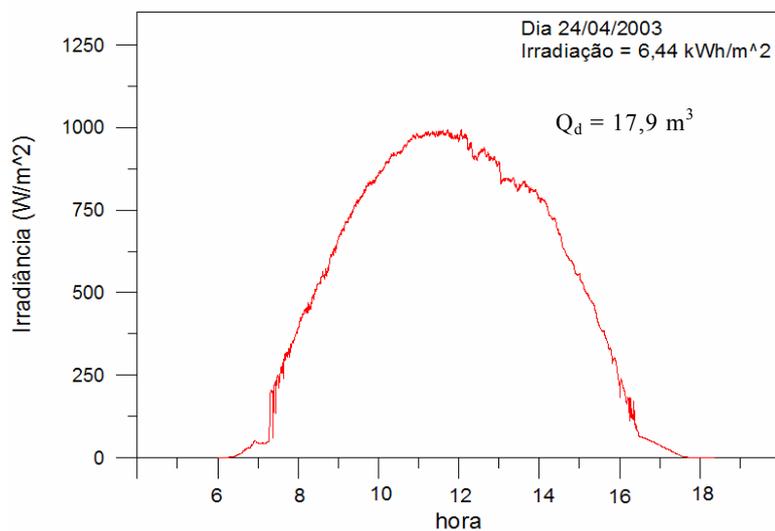


Figura 4.42 – Irradiação solar para o dia 24/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.

Tabela 4.3 – Valores da irradiação solar diária medida (I_{med}), do volume diário obtido no teste (Q_{dmed}), do volume diário corrigido às condições de referência (Q_{dcor}) e percentual da vazão diário de projeto ($\%Q_{dpro}$).

Dia	I_{med} (kWh/m².dia)	Q_{dmed} (m³)	Q_{dcor} (m³)	(% Q_{dpro})
22/04/2003	5,61	14,5	12,9	64,5
23/04/2003	6,30	16,4	13,0	65,0
24/04/2003	6,44	17,9	13,9	69,5

O teste operacional constatou que o volume bombeado foi inferior ao esperado e está fora da faixa de aceitação de $Q_{dcor} \geq 0,90.Q_{dpro}$.

Para a mesma situação, outro projetista/fornecedor apresenta como configuração um sistema composto também por um gerador fotovoltaico de 480 Wp, porém com uma bomba centrífuga, modelo SQ5A-6. O mesmo procedimento de teste operacional foi aplicado neste sistema. As figuras 4.43, 4.44 e 4.45 apresentam o comportamento da irradiância em cada um dos dias considerados e a tabela 4.4 traz os resultados obtidos para três dias de monitoramento.

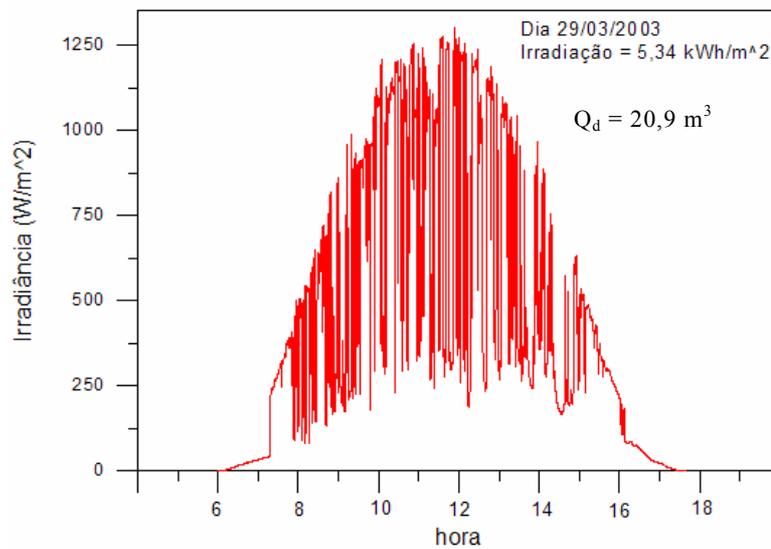


Figura 4.43 – Irradiação solar para o dia 29/03/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.

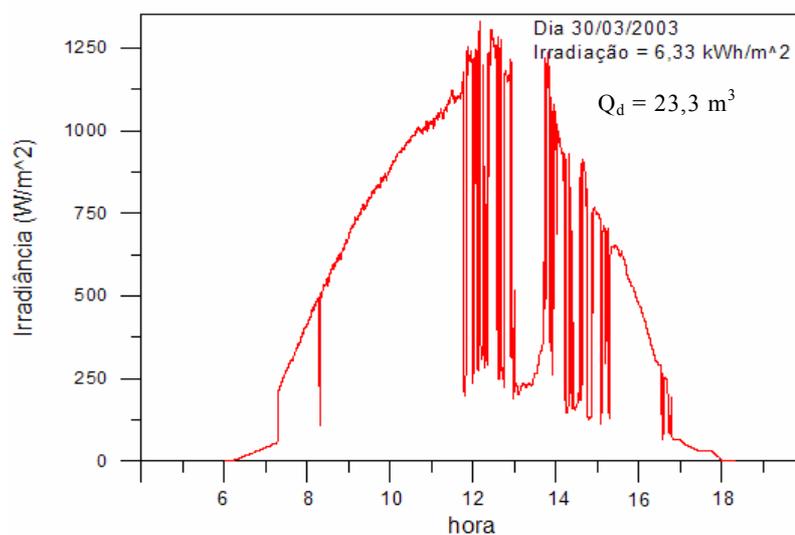


Figura 4.44 – Irradiação solar para o dia 30/03/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.

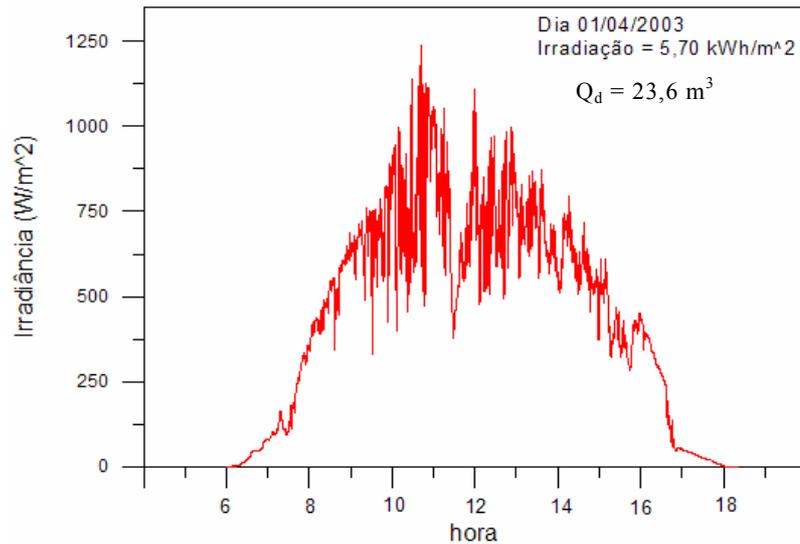


Figura 4.45 – Irradiação solar para o dia 01/04/2003, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – USP.

Tabela 4.4 – Valores da irradiação solar diária medida (I_{med}), do volume diário obtido no teste (Q_{dmed}), do volume diário corrigido às condições de referência (Q_{dcor}) e percentual da vazão diária de projeto ($\%Q_{dpro}$).

Dia	I_{med} (kWh/m ²)	Q_{dmed} (m ³)	Q_{dcor} (m ³)	(% Q_{dpro})
29/03/2003	5,34	20,9	18,7	98,0
30/03/2003	6,33	23,3	18,4	92,0
1º/04/2003	5,70	23,6	20,7	103,5

Constata-se que, para essa configuração, o volume diário bombeado satisfaz às condições de aceitação de $Q_{dcor} \geq 0,90.Q_{dpro}$.

Apesar de o grupo motobomba de deslocamento positivo helicoidal ter sido avaliado em dias mais ensolarados do que o grupo motobomba do tipo centrífuga, observa-se que seus resultados foram piores. Isto pode dever-se ao fato de que o mecanismo do tipo helicoidal apresenta um melhor desempenho a grandes alturas manométricas e pequenas vazões, em detrimento do mecanismo de bomba centrífuga, que apresenta melhor desempenho a pequenas alturas manométricas e grandes vazões. Outra questão a ser levada em consideração é o fato de o grupo helicoidal apresentar um nível crítico (I_c) sensivelmente mais elevado do que o grupo motobomba do tipo centrífuga. Daí a observação feita anteriormente de que este tipo de bomba não é indicado para locais com alta nebulosidade.

4.3.2 Introdução da tecnologia

“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. Movido por um desejo humanitário de ajudar 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.”

Citada por Dom Adams²⁴ (1960) e referenciada por Foster (1964), a fábula acima ilustra as armadilhas insuspeitadas que aguardam o técnico mal orientado que exerce ofício em outra sociedade que não a sua. O autor afirma que, a não ser que seja um estudioso atento de sua própria cultura e da cultura em que trabalha, o técnico extensionista procederá de maneira muito semelhante ao macaco e, com as melhores intenções, poderá tomar atitudes igualmente desastrosas, do ponto de vista técnico e organizacional.

Há situações nas quais não se consegue perceber as peculiaridades e barreiras existentes na natureza e estrutura da sociedade hospedeira, o que pode impedir a concretização dos objetivos dos projetos. A adoção da tecnologia é um processo complexo e mal entendido por muitos, pois ele é muito mais do que a aceitação franca de melhoramentos materiais e técnicos – é, igualmente, um processo cultural, social e psicológico. Além disso, aliada a toda mudança técnica e material, há uma mudança correspondente nas atitudes, nos pensamentos, nos valores, nas crenças e no comportamento das pessoas que são afetadas pela mudança material (FOSTER, 1964).

A introdução de inovações tecnológicas em contextos nos quais se conhece pouco da dinâmica social pode parecer uma questão trivial para o técnico que domina somente sua área de conhecimento, mas os riscos de equívocos residem na tendência natural de utilizar como padrão de referência a formação e o sistema de valores próprios do implementador do projeto, que, com muita frequência, diferem dos valores dos futuros usuários.

Há uma década pesquisadores afirmavam que parecia estar havendo o reconhecimento da importância dos profissionais das ciências sociais na análise prévia de aceitação de produtos e tecnologias a serem introduzidos em determinado ambiente social, mas frisavam que a incorporação desses profissionais só ocorria quando havia interesses de mercado envolvidos com o empreendimento. Afirmavam ainda que, quando a inovação tecnológica era dirigida ao

²⁴ ADAMS, Dom, The monkey and the fish: cultural pitfalls of an educational adviser, *International Development Review*, pp. 241-255, 1960.

mundo rural, e não tinha como objetivo a obtenção de um retorno econômico do investimento, a atitude negligente para com o conhecimento do quadro social se intensificava, e, no melhor dos casos, se recorria ao cientista social como um elemento externo ao próprio processo de introdução da inovação. (MONTERO, 1991)

Ainda hoje, raramente equipes idealizadoras e implementadoras de projetos que contemplam a introdução de novas tecnologias têm uma configuração multidisciplinar técnico-sociológica, na qual o cientista social consiga se integrar efetivamente em todas as suas fases, inclusive na concepção técnica, propondo alterações desta, em função das peculiaridades da população receptora. Isso segue acontecendo, apesar de especialistas no tema afirmarem que o “(...) processo inicial de difusão da tecnologia fotovoltaica tem apresentado problemas de ordem política, econômica, técnica e sociocultural, comprometendo a sustentabilidade dos programas e projetos que, muitas vezes, estão orientados apenas pela relação custo/benefício, esquecendo o papel do usuário, na sua relação de adoção, otimização do uso e satisfação com a tecnologia implantada.” (SERPA, 2001, p. 5).

Serpa afirma que o processo de difusão da tecnologia fotovoltaica, por exemplo, entre populações excluídas, marginalizadas e tradicionais, como índios, quilombolas e caiçaras, é um tema complexo e pouco estudado. Segundo ele, a produção teórica e prática da antropologia aplicada pode vir a contribuir para a mudança de atitude dos agentes transformadores, que, muitas vezes, têm demonstrado a falta de qualquer preparo no processo de difusão do conhecimento. O pesquisador constata, ainda, que muitos dos projetos de eletrificação rural fotovoltaica financiados por agências internacionais ou por órgãos governamentais foram impostos às comunidades e resultaram em conflitos com seus valores e estrutura social, a ponto de os usuários relutarem em operar e manter corretamente as instalações, levando ao malogro da proposta.

A contribuição da antropologia aplicada estende-se à própria metodologia da pesquisa de campo, à qual a literatura tem apresentado várias críticas com relação aos questionários pouco eficientes para obtenção de dados consistentes necessários para a avaliação do sistema preexistente e do projeto, muitas vezes coletados sem controle, em circunstâncias adversas, resumindo-se a um simples código informático, o que impossibilita qualquer compreensão das mudanças vividas pelas comunidades afetadas pelo empreendimento. (LORENZO & MONTERO, 1986; SERPA, 2001)

Ante essas considerações, Serpa (2001) ressalta a necessidade de uma ação inter e multidisciplinar na elaboração e implantação de projetos de eletrificação rural fotovoltaica.

Nessa perspectiva, a antropologia aplicada pode contribuir para fomentar o diálogo entre o profissional da área técnica e o cientista social, e entre eles e as comunidades, mediante desenvolvimento de uma metodologia que possibilite prevenir ou minimizar impactos negativos, observar e analisar os processos de mudança social decorrentes da ação, e propor soluções para os conflitos emergentes e resistências, criados com a introdução da nova tecnologia.

Tratando da questão da introdução de inovações, Freire (1982) analisa o problema da comunicação entre o técnico e o homem do campo, no processo de desenvolvimento da sociedade agrária, mostrando como a ação educadora deve ser a de comunicação, se quiser chegar ao homem inserido em uma realidade histórica. Ele comenta as limitações do conceito de “extensão” e da ação do extensionista, apesar da generosidade e boa vontade daqueles que consagram suas vidas a esse trabalho. Afirma ainda que a falta de resultados mais profundos acerca da introdução de inovações no meio rural se deve, no melhor dos casos, a uma visão ingênua da realidade e, no caso mais comum, a um claro sentido de superioridade e de dominação com que o técnico se aproxima do camponês inserido em uma estrutura rural tradicional.

O conceito de “extensão” como é praticado é visto criticamente pelo autor acima como sendo uma “invasão cultural”, como uma atitude contrária ao diálogo, que é a base de uma autêntica educação. Para ele, extensão está relacionada ao conceito de dominação, que se encontra tão frequentemente no âmago da concepção da educação tradicional e, como esta, em vez de libertar o homem, escraviza-o, manipula-o, não permitindo que ele se afirme como pessoa, que atue como sujeito, que seja ator da própria história e se realize nessa ação. Por último, comenta que é fundamental a análise da relação entre técnica, modernização e humanismo, apontando para a necessidade de se evitar o “tradicionalismo do *status quo*” sem cair no “messianismo tecnológico”. E é desse lugar que afirma que, embora todo desenvolvimento seja modernização, nem toda modernização é desenvolvimento.

Daí a importância de se conhecer a dinâmica das comunidades a serem contempladas com um novo sistema tecnológico, a fim de, em respeitando as particularidades, melhorar suas condições de vida, sem querer transformá-las num “modelo de desenvolvimento” preconcebido.

O autor trata, ainda, da ética relacionada ao desenvolvimento tecnológico, e questiona: até que ponto vai o direito, se algum direito existe, de decidir o que é bom para outrem?; e também: a formação e a competência tecnológica conferem ao técnico sabedoria para decidir o que

outrem deve ser? Sendo que a ética deve permear tanto o processo de concepção do empreendimento, quanto o de introdução da nova tecnologia na comunidade receptora.

Buitron (1966) lembra que a questão relacionada ao “desenvolvimento de comunidades rurais” começou a tomar maior impulso a partir da década de 1930, por meio de projetos modestos de melhoria das condições de vida das comunidades. Ele já enfatizava a importância de haver um caráter democrático no processo, e a necessidade de que a própria comunidade tome iniciativa e participe dos programas de melhoramento de sua condição de vida. Segue com a afirmação de que, nesse processo, não se trata de derramar bens e serviços sobre uma população indiferente; o que importa nos programas dessa natureza é gerar uma nova atitude com relação à vida, que permita à comunidade romper com as amarras. Já na década de 1960, o autor explicitava que as técnicas seguidas nos processos de desenvolvimento de comunidades deviam se apoiar nos conhecimentos das ciências sociais, especialmente da antropologia, da psicologia e da economia, e que já havia passado a época das improvisações dos programas baseados simplesmente em “boas intenções”.

É chamada ainda a atenção para outra importante contribuição da antropologia aplicada, que diz respeito à ética e à responsabilidade social do agente da inovação. Entendendo como ética um compromisso de valores morais que protejam o homem e seu ambiente, espera-se do técnico ou planejador de programas de “desenvolvimento” uma postura não paternalista, mas uma disposição para compreender a cultura dos povos receptores, os seus costumes tradicionais, e uma preparação técnica e emocional equilibrada, para poder trabalhar numa comunidade diferenciada.

A introdução de uma nova tecnologia está relacionada à novidade e pode ser analisada segundo determinados parâmetros tecnológicos (automóvel, televisor, etc.); no entanto, a eletrificação rural deve contar, além do citado acima, com parâmetros relacionados ao ser humano e às condições locais. Observa-se que, muitas vezes, a engenharia busca “eliminar” o ser humano das máquinas, ou seja, sua filosofia ignora a parte humana ligada à utilização da tecnologia e suas conseqüências. Nesse contexto encontram-se muitas das experiências de implantação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água relatadas, as quais tiveram conseqüências desastrosas.

Com vistas a aumentar as possibilidades de êxito dos projetos, é salutar o maior conhecimento possível da dinâmica da população receptora, bem como a existência de um canal de comunicação a fim de que as principais decisões possam ser tomadas em conjunto ou com a anuência da população. Para tanto, é necessário viabilizar algumas atuações, tais como o

levantamento do sistema preexistente e a comunicação das limitações do novo sistema. O levantamento do sistema preexistente com suas particularidades vai permitir, dentre outras coisas, conhecer as formas de utilização tradicional do recurso hídrico, com as nuances culturais e específicas do local; contabilizar o consumo presente e estimar a possível demanda futura com o novo sistema de abastecimento; e configurar melhor os sistemas, levando em conta não só critérios técnicos, mas as necessidades e quereres dos usuários. Além disso, para que não haja frustrações de expectativas, e para propiciar uma organização para a gestão, é necessário que os usuários sejam comunicados das limitações da nova tecnologia e da contrapartida necessária para sua operação e manutenção.

Observando as premissas acima, duas experiências de implantação de sistemas de bombeamento fotovoltaico foram desenvolvidas e acompanhadas em todas as etapas. Essas experiências, totalizando dez sistemas, três em comunidade do Vale do Ribeira, São Paulo, e sete em comunidades do Alto Solimões, Amazonas (Anexos I e II, respectivamente), a partir de seus acertos e desacertos, propiciaram informações importantes a serem consideradas nos procedimentos para implantação de projetos de abastecimento comunitário de água com a tecnologia de bombeamento fotovoltaico. O capítulo V sintetiza uma proposta de procedimentos de implantação com base no conhecimento adquirido ao longo da pesquisa.

4.3.3 Gestão e monitoramento

Conforme comentado anteriormente, para que um projeto fotovoltaico de abastecimento de água tenha êxito, inúmeros passos devem ser dados quanto a sua concepção, dimensionamento, escolha dos equipamentos e introdução no local. Porém, se não for dada a devida atenção para a organização da gestão, o empreendimento poderá sucumbir por problemas triviais que porventura venham a acontecer, e acontecem.

Pode-se dizer que a gestão, entendendo-se como tal o processo de operação, manutenção e reposição de equipamentos, é um dos pontos fracos dos programas de introdução de novas tecnologias no meio rural (ZILLES & FEDRIZZI, 1999; FEDRIZZI & ZILLES, 1999; BRASIL, 2000). Para se ter uma idéia a respeito de como isso funciona, não é necessário sequer ir ao campo; basta ver as planilhas de desembolso de recursos dos referidos projetos. Tais planilhas contam com, no máximo, alocação de recursos para a instalação dos equipamentos, e costumam pecar pela falta de recursos para a capacitação local, monitoramento e gestão do empreendimento ao longo de sua vida útil. Não que necessariamente o financiador do investimento inicial tenha de arcar com a gestão, mas há que se desenhar e viabilizar a organização inicial da gestão, definindo comprometerimentos e

responsabilidades para que ela aconteça, envolvendo os atores segundo suas possibilidades e aptidões.

A participação dos usuários em todas as etapas do processo é de grande valia para melhor organização da gestão; além disso, permite a desmistificação de que somente especialistas são capazes de instalar e fazer a manutenção de sistemas fotovoltaicos e inibe a passividade deles em relação ao desconhecido.

Há inúmeras formas de organizar a gestão desse tipo de empreendimento, e a escolha de uma delas vai depender das particularidades de cada caso. Devem ser levadas em conta questões de ordem econômica, sociocultural, geográfica e organizacional da comunidade, dentre outras. Existem formas de gestão de projetos levadas a cabo totalmente pelo poder público sem a participação da comunidade receptora e formas nas quais existe a participação dos usuários, variando no grau de participação. Por exemplo, no projeto marroquino mostrado neste capítulo, no item 4.2.1, o investimento em equipamentos e instalação foi de responsabilidade de uma ONG espanhola, o investimento em infra-estrutura foi parte do poder público e parte da comunidade, e a operação, manutenção e reposição ocorrem por conta da comunidade, sob orientação de uma ONG marroquina. Para cobrir as despesas decorrentes, pratica-se a cobrança pelo uso da água proporcional ao consumo de cada família. (LORENZO et al., jan. 1998; LORENZO et al., dez. 1998; FEDRIZZI & JORDÁ, 1998)

Ainda descritas no item 4.2.1, outras duas comunidades na Mata Atlântica²⁵ e na Amazônia²⁶ praticam uma forma intermediária de gestão. Na primeira delas, a associação de moradores é atuante e cobra uma mensalidade fixa²⁷ pela utilização de todos os sistemas fotovoltaicos (residenciais, na escola, na igreja e nos sistemas de bombeamento). A mensalidade cobrada é aplicada em uma conta de poupança, a qual possibilita a reposição das baterias, reatores e lâmpadas dos sistemas energéticos, bem como a operação e manutenção dos sistemas de bombeamento, tendo como única restrição a reposição das bombas. Estas vêm sendo repostas pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP.

No segundo caso, apesar de haver associação de moradores, não existe a prática da cobrança de mensalidade, o que implica que, para a troca das baterias dos prédios comunitários, a população se cotiza ou recorre à prefeitura local, que pode ou não repô-las. As bombas e

²⁵ Investimento em equipamentos e custeio pela ONG espanhola ERA-AEDENAT, e capacitação pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP.

²⁶ Investimento em equipamentos e custeio pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, Programa PTU, e capacitação pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP e pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

²⁷ Atualmente um valor de R\$ 5,00 mensais por família.

outros equipamentos mais caros vêm sendo repostos por projetos complementares. O baixo poder aquisitivo dessas comunidades dificulta sobremaneira a reposição dos equipamentos.

Nos sistemas do PRODEEM²⁸, em princípio, o poder público deve executar a manutenção e a reposição dos equipamentos, porém na prática nem sempre isso ocorre. Em levantamento feito em 2000, poucos estados prestavam um serviço de assistência técnica efetivo; na maioria dos casos, esse serviço estava seriamente comprometido. Nesse caso, não há participação da população em nenhuma etapa do processo. (LSF, 1999 e 2000)

Se a gestão não funciona em muitos projetos, menos ainda o serviço de monitoramento dos equipamentos e de sua utilização. Constatou-se que somente os projetos pilotos que têm o apoio de centros de pesquisa é que contam com o monitoramento dos sistemas, os quais auxiliam na manutenção e reposição de equipamentos. Mesmo assim, centros de pesquisa não costumam prestar esse serviço ao longo de toda a vida útil dos projetos. Isso significa que, cedo ou tarde, salvo raras exceções, os empreendimentos ficam relegados à própria sorte.

²⁸ Investimento em equipamentos pelo Ministério de Minas e Energia, e instalação e manutenção pelo poder público regional ou local.

CAPÍTULO V

SÍNTESE E CONCLUSÕES

5.1 Síntese

Ao longo da pesquisa foi possível apreender e registrar lições que permitem sugerir procedimentos para a implantação de projetos de bombeamento fotovoltaico de uso comunitário, como forma de atenuar ou evitar potenciais problemas nesse tipo de empreendimento. Recuperando a estrutura do capítulo anterior, a contribuição deste capítulo é feita de forma sintética, com vistas a oferecer um guia básico de procedimentos de recomendável execução.

5.1.1 Concepção

Para viabilizar a concepção/idealização de um projeto nos moldes aqui propostos, há que se elucidar as seguintes questões:

Conhecimento do problema

- Sempre que possível, visitar o local de implantação do projeto e aplicar questionário quantitativo/qualitativo, visando conhecer a situação preexistente ao projeto, os condicionantes locais e as principais aspirações da comunidade receptora.
- Além do contato com os comunitários, é de grande valia entrevista com outros agentes que estejam ou que tenham trabalhado no local, como agentes de extensão rural, das áreas da saúde e da educação, entidades filantrópicas ou religiosas e organizações não-governamentais, dentre outras.

Disponibilização da água

- A forma de disponibilização da água deverá estar associada às formas de deságüe da água servida. Sempre que houver um sistema eficiente de drenagem, a água poderá ser disponibilizada internamente às residências; do contrário, haverá que se estudar caso a caso. A abundância ou carência de recursos hídrico e financeiro também poderá ser determinante dessa questão.

Avaliação do manancial

- A avaliação qualitativa e quantitativa do manancial é fundamental para que se possa conceber o empreendimento da forma mais ajustada possível a cada situação.

- Nos casos em que não haja poço no momento da concepção do projeto, pode ser útil a verificação das características de poços vizinhos, mas sem esquecer de que surpresas poderão acontecer.

Configuração/solução técnica

- A configuração técnica, entendendo-se como sendo o tipo de sistema de bombeamento e sua localização, dependerá, necessariamente, das características do manancial a ser explorado. Somente com o conhecimento de suas características é que será possível determinar se o sistema será de superfície, flutuante, submerso raso ou submerso profundo.

5.1.2 Projeto básico

Independentemente da metodologia de cálculo utilizada para dimensionar o sistema de bombeamento, é importante conhecer, com o máximo de precisão, as características locais.

Determinação da demanda

- Não que seja uma tarefa trivial, mas sempre que possível o projetista deve conhecer o consumo de água preexistente ao projeto e as aspirações de consumo futuro da população a ser beneficiada, o que normalmente é feito mediante questionários e observação in loco. Quando isso não for possível, é salutar que se tome uma atitude conservadora, pois o sobredimensionamento causará menos problemas do que um subdimensionamento.

O recurso solar

- O ideal seria poder trabalhar com os valores médios de uma longa série histórica da irradiação solar de onde será implantado o projeto, mas como na maioria das vezes isso não é possível, devem-se consultar bases de dados e atlas solarimétricos que contemplem informação da irradiação solar local ou de localidade próxima.

Sistema de armazenamento

- O sistema de armazenamento deve ser a relação entre o consumo previsto e o suprimento garantido pelo potencial energético, mas estará também relacionado à existência de outras fontes de água no local. A autonomia do sistema estará vinculada ao tipo de utilização que se fará da água (consumo humano, produção animal, irrigação, lazer, etc.)

Escolha do conjunto motobomba

- A escolha do conjunto motobomba deve ser feita em função da configuração técnica escolhida, e, além disso, deve-se dar preferência a produtos robustos que apresentem

comprovada confiabilidade técnica no campo, em detrimento de produtos mais baratos e que não assegurem essas características.

5.1.3 Implementação

O conjunto de ações que viabilizam a implantação do sistema no campo e seu efetivo funcionamento ao longo do tempo deve ser tratado com o mesmo grau de importância que as etapas anteriores.

Aquisição dos equipamentos e comprovação de suas características

- Nas especificações técnicas de compra, é importante atentar para a necessidade de comprovação das características desses equipamentos. Os ensaios de aceitação devem fazer parte das condições de compra. No capítulo IV são sugeridos testes de execução simplificada, mas, independentemente desses, outros testes poderão ser realizados, desde que atestem as reais características dos equipamentos adquiridos.

Introdução da tecnologia

- Desenvolver mecanismos e formas para uma aproximação e para o conhecimento das peculiaridades da população foco deve ser de interesse dos responsáveis pela consolidação do projeto.
- Equipes multidisciplinares são indicadas para viabilizar desde a concepção até a implementação do empreendimento.
- A participação dos usuários nas etapas do projeto e sua capacitação técnica irão permitir melhor adequação da solução técnica às reais necessidades locais, induzir uma apropriação da tecnologia por parte da comunidade, além de propiciar maior satisfação dos usuários com relação à nova tecnologia.
- Desde os primeiros contatos com a comunidade deve haver a informação clara das possibilidades e limitações do empreendimento, bem como da necessidade de participação desta para que o empreendimento logre desempenhar a função para a qual foi idealizado.

Gestão e monitoramento

- A organização da gestão deve iniciar nos primeiros contatos com a comunidade, pois como qualquer outro sistema de abastecimento de água, necessitará cuidados na operação e manutenção.

- O idealizador do empreendimento deve desenhar, juntamente com a comunidade, as formas possíveis de gestão e sustentabilidade do projeto, tendo em vista as possibilidades e limitações específicas da própria comunidade e do poder público.

5.2 Conclusões

A água é um elemento essencial para o bem-estar e para o desenvolvimento das populações. No entanto, parte significativa da população mundial convive com a extrema carência desse recurso, o qual costuma apresentar características impróprias ao consumo humano, resultando em baixo nível de qualidade de vida e na grande incidência de enfermidades de veiculação hídrica.

Grande parte das vezes, as dificuldades de acesso à água estão relacionadas à carência de recursos energéticos que viabilizem sua captação e transporte. Nesse sentido, a opção fotovoltaica é uma alternativa viável para geração de energia em zonas remotas, podendo ser utilizada praticamente na totalidade da superfície do planeta.

Essa tecnologia detém alta confiabilidade técnica, e grande parte da ocorrência de problemas resulta de deficiências alheias a ela. Para reverter essa situação, novos padrões de concepção de projetos e de transferência da tecnologia devem ser adotados, considerando-se sempre a adaptação da tecnologia às características do local e às necessidades da população receptora, e não o contrário, conforme costuma acontecer.

No decorrer do trabalho se descreveu uma realidade particularmente relevante, inclusive no cenário internacional, que é a brasileira. Com mais de 3.000 sistemas de bombeamento fotovoltaico adquiridos, e totalizando uma potência superior a 1,5 MWp, a experiência acumulada no país, nos mais variados tipos de equipamentos e formas de implementação, é de extrema importância para o aprimoramento do funcionamento da tecnologia no campo.

No trabalho de campo, foram detectados problemas de comum ocorrência em empreendimentos de abastecimento de água com a tecnologia de bombeamento fotovoltaico, desvelando-se suas causas e as formas de evitá-los ou remediá-los. Os mais representativos são ilustrados por meio de fotografias e fornecem ao leitor uma aproximação à realidade encontrada no campo.

Salvo exceções pontuais encontradas em alguns poucos projetos, conclui-se que a tecnologia de bombeamento fotovoltaico está tecnicamente consolidada para o abastecimento de água a localidades remotas. No entanto, progressos ainda devem ser conquistados com relação ao serviço de pós-venda, supondo um esforço de descentralização dos distribuidores, apoiado nos

empresários locais. A concentração geográfica e uma massa crítica de equipamentos constituem condição necessária à implementação de serviços de pós-venda viáveis e duráveis.

A longevidade tanto almejada em projetos de bombeamento fotovoltaico, muitas vezes, vai depender do tipo de introdução da tecnologia que é feito na comunidade receptora. Apesar da importância da confiabilidade técnica de um sistema de bombeamento fotovoltaico, questões de caráter não técnico, relacionadas a aspectos sociais e organizacionais da cultura receptora, devem ser consideradas com extrema relevância em todas as etapas do projeto. Outra questão relevante a ser considerada, no que concerne à vida útil de projetos, é a necessidade de capacitação dos técnicos envolvidos na implementação, com relação às especificidades da tecnologia fotovoltaica. Equipes bem capacitadas, tanto para efetuar uma correta concepção e dimensionamento, quanto para realizar uma introdução da tecnologia que permita a adoção do sistema por parte dos usuários, vão prevenir inúmeros problemas e instruir a população sobre os procedimentos preventivos e de reparação das avarias.

Uma questão de caráter subjetivo, extremamente significativa para o êxito do empreendimento, é a participação da população beneficiária no processo de implementação do projeto e sua organização para a operação e manutenção do sistema. A adoção da nova tecnologia pelos usuários reduzirá a ocorrência de problemas e agilizará sua solução.

A aquisição de materiais e equipamentos mais robustos, ainda que implique maior investimento inicial, costuma reduzir os custos totais do projeto, em função do menor gasto com avarias e reposições ao longo de sua vida útil. É salutar ter em vista que as grandes distâncias e as dificuldades de acesso a localidades remotas oneram e retardam o processo de assistência técnica.

Foi determinada a necessidade de se comprovar as características dos equipamentos adquiridos e, para tanto, o trabalho propõe uma instrumentação básica para a execução de testes nestes equipamentos, e os respectivos critérios de aceitação. Propõe também, uma metodologia para ensaio do sistema quanto ao seu funcionamento global e o volume de água bombeado sob determinadas condições. Trata-se de metodologia de recomendável aplicação, e passível de aprimoramentos para sua generalização quanto ao critério de aceitação e condições solarimétricas, como a irradiação global no plano do gerador e a proporção da irradiação difusa.

A infra-estrutura local, muitas vezes, é relegada a segundo plano; no entanto, a baixa qualidade dos materiais encontrados no campo e o pouco cuidado com os requisitos técnicos para a instalação dos equipamentos têm causado inúmeros problemas. Cabe ao

projetista/implementador atentar para essa questão, sob pena de comprometer todo o andamento do projeto.

Um dos principais objetivos de um projeto de abastecimento comunitário de água com a tecnologia fotovoltaica deve ser a viabilização de sua operação e manutenção ao longo do tempo. Portanto, é imperativa a inclusão de um mecanismo que sustente os custos de manutenção.

O tratamento da água para consumo humano deve ser viabilizado de acordo com as características do recurso e as particularidades/possibilidades da população. Conclui-se que essa questão não está sendo equacionada na maioria dos empreendimentos existentes.

Ao longo da pesquisa, constatou-se que um importante trabalho ainda resta ser feito para demonstrar aos responsáveis políticos a pertinência do bombeamento fotovoltaico e o lugar que ele pode ocupar na estratégia nacional como política pública para a atenuação das disparidades sociais em algumas regiões do País.

Uma questão a salientar é o respeito e a ética, que devem permear todos os passos e decisões a serem tomados, assumindo-se que a possibilidade de contato com outras culturas não deve passar de um aprendizado mútuo, entre os agentes, sem que haja imposição da mudança de costumes.

Resumidamente, a pesquisa detectou a ocorrência de problemas com relação à utilização do recurso hídrico, à qualidade e instalação dos equipamentos elétricos e hidráulicos, à concepção e dimensionamento dos projetos, à instituição e agentes envolvidos, e ainda; problemas gerados por situações inusitadas específicas de cada local. Análise pormenorizada dos mesmos concluiu que pode-se agir de forma preventiva na maioria dos casos, com vistas a evitar problemas ou, pelo menos, reduzir seus impactos.

A proposta básica do trabalho apresentado vai no sentido de gerar sensibilidade aos realizadores dos projetos, com relação às especificidades de cada situação, ponde assim, a engenharia a serviço do bem estar do usuário final.

Finalmente, o trabalho realizado, apoiado na hipótese de que a ocorrência de problemas em sistemas de bombeamento de água de uso comunitário com energia solar fotovoltaica, em grande parte das vezes, está relacionada a outros parâmetros que não a confiabilidade técnica propriamente dita, sustenta a validade da premissa inicial. Assim, foram propostos procedimentos fundamentados em experiências de avaliação, implantação e acompanhamento de sistemas de bombeamento fotovoltaico, de recomendável aplicação. A prática desses

procedimentos pode não representar um caminho seguro de êxito, mas certamente reduzirá a ocorrência de falhas e incrementará os índices de adoção da solução proposta.

Como todo trabalho de pesquisa, este não teve a pretensão de preencher todas as lacunas existentes; muitas ainda persistem e devem ser perseguidas para aprimorar o conhecimento do processo de introdução da tecnologia de bombeamento fotovoltaico em comunidades remotas. Nesse sentido, recomenda-se para estudos futuros, entre os vários que podem contribuir para a construção do conhecimento sobre o tema, um aprofundamento no monitoramento de sistemas com vistas a levantar índices de consumo, de ocorrência de problemas, e formas de utilização/gestão do sistema. Outra questão de ordem técnica a ser estudada é a análise do uso de inversores de frequências acoplados a bombas centrífugas, de fácil e barata obtenção no mercado nacional. Tal desenvolvimento pode reduzir a dependência de equipamentos importados e incrementar a confiabilidade do sistema, com redução dos custos de aquisição e manutenção.

ANEXO I

COMUNIDADE DO VARADOURO, VALE DO RIO RIBEIRA - SP

O projeto piloto “Projeto de Eletrificação Fotovoltaica e Dinamização Social das Comunidades do Retiro e Varadouro, Cananéia, São Paulo” e complementado pelo “Projeto Piloto de Abastecimento de Água com Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico nas Comunidades do Retiro e Varadouro, Cananéia, Brasil”, teve os equipamentos e parte do custeio financiados pela ONG espanhola ERA_AEDENAT¹ e contrapartida do restante dos investimentos em assistência, transporte e custeio do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP

1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

A comunidade do Varadouro está localizada no litoral sul do estado de São Paulo. Inserida em uma região repleta de estuários, lagunas, mangues, restingas e matas, caracteriza-se como berçário de muitas espécies da fauna e flora do Atlântico Sul. A principal forma de acesso até as proximidades da comunidade se dá por via fluvial, tendo os últimos 6 quilômetros que serem vencidos à pé em uma trilha no meio da restinga. (figuras I.1 e I.2)



Figura I.1 Principal meio de transporte utilizado pelos habitantes do Varadouro. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.2 Caminho para o Varadouro. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

Constituída por agricultores de subsistência que praticam extrativismo de recursos florestais, a população pertence ao tipo denominado de caiçara que, segundo a antropologia, são expressões de culturas tradicionais, “*que desenvolvem formas particulares de manejo de recursos naturais, que não visam diretamente o lucro, mas a reprodução social e cultural, como também percepções e representações em relação ao mundo natural marcadas pela*

¹ Asociación Ecologista de la Rioja, Logroño, Espanha.

idéia de associação com a natureza e dependência de seus ciclos”².

Formada por 7 famílias e dispendo de uma renda mensal entre 30 e 60 dólares, além da produção das roças de arroz e mandioca, e extração de recursos da mata, a renda de algumas famílias é reforçada pela venda de artesanato em madeira e palha. (figuras I.3 a I.6)



Figura I.3 Roça de arroz tradicional
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.4 Remos de madeira feitos
artesanalmente (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.5 Confeção artesanal de farinha de
mandioca. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.6 Confeção artesanal de beiju de
farinha de arroz. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

2. O USO DA ÁGUA

A saúde da população é afetada pela baixa qualidade nutricional de sua alimentação, pela impropriedade da água consumida e pelas condições insalubres do trabalho das mulheres nas

² DIEGUES, A.C.S., *O mito da natureza intocada*, Hucitec, São Paulo, 1996.

atividades domésticas dependentes da água, principalmente nos períodos mais frios do ano.

O levantamento do uso da água preexistente ao projeto mostrou que o consumo ocorria *in natura*, sem qualquer tratamento sanitário, com o agravante de que o mesmo recurso hídrico superficial (um único riacho situado ao longo de toda a comunidade) era utilizado tanto para beber e preparo da alimentação como para coleta da água para uso nas residências, lavagem de roupa e louça, banho, e preparação de animais de caça. Uma das maiores reclamações das mulheres era ter que trabalhar molhada na água fria e a baixa qualidade da água, no entanto, nenhuma medida sanitária vinha sendo tomada e não havia o costume de consumir água recolhida da chuva, conforme fazem populações rurais de outras regiões do país.

A estimação do transporte e uso da água nas residências evidenciou quantidades inferiores a 5 litros por pessoa por dia, uma vez que as mesmas estão localizadas ao longo e próximas do riacho e a maior parte de sua utilização se dava na própria fonte, conforme figuras I.7 a I.9.



Figura I.7 Menina lava roupa no riacho.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.8 Mulher lava roupa no riacho.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

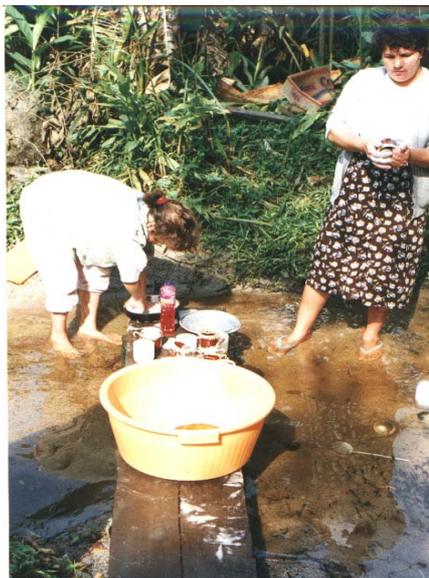


Figura I.9 Mulheres lavam louça no riacho.
(Foto R. Zilles, 1998)

3. CONTATO, ORGANIZAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS

O contato e a proposta do projeto, de iniciativa do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia – USP, se deu em virtude de ser uma região desprovida de atendimento de energia elétrica e, por suas características geográficas e populacionais, não ter entrado nos planos de expansão da rede elétrica, a qual se encontra a cerca de 12 quilômetros, em linha reta, com vários canais e manguezais entre elas.

Inicialmente executando a eletrificação da escola, o Grupo propôs a criação de uma Associação de Moradores e de um fundo rotativo³, os quais viabilizariam a execução do projeto nos moldes propostos.

Criada em 1997 para a autogestão e administração dos sistemas fotovoltaicos domiciliares, a Associação garantiu a elaboração participativa do projeto, a organização do trabalho coletivo (mutirão) para o transporte do material, a instalação dos sistemas domiciliares, a escolha e preparo do terreno para as lavanderias, a perfuração dos poços, a instalação dos sistemas de bombeamento, a construção da infra-estrutura para as lavanderias, bem como a instalação e manutenção de todos os equipamentos. (figuras I.10 a I.17)



Figura I.10 Transporte dos materiais do porto do Barranco Alto até a comunidade.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.11 Construção das lavanderias coletivas. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

³ Os usuários depositam em conta poupança da Associação um determinado valor, o qual é utilizado para a manutenção e reposição de equipamentos e peças dos sistemas.



Figura I.12 Preparação de material para a confecção dos poços. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.13 Abertura dos poços. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.14 Instalação dos reservatórios. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.15 Confecção dos filtros dos poços. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.16 Instalação dos módulos fotovoltaicos. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

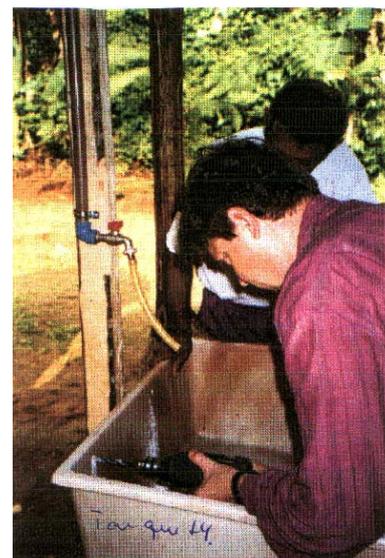


Figura I.17 Instalação dos tanques nas lavanderias. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

4. O NOVO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Inicialmente foi perfurado um poço e instalado um sistema de bombeamento na escola, o qual foi conectado no sistema fotovoltaico existente, como sendo uma carga a mais do mesmo. Após a instalação deste sistema, e com aprovação e participação de toda a comunidade, foram construídas as estruturas para as duas lavanderias coletivas, perfurados outros dois poços e instalados os respectivos sistemas de bombeamento. A decisão da construção de lavanderias de uso coletivo e não somente pontos de coleta de água se deu com a participação ativa das mulheres, uma vez que elas são as que mais fazem uso da água, e as que tinham a saúde prejudicada pelas condições de uso do sistema anterior. A participação das mulheres se deu também no mutirão, como apoio ao trabalho dos homens e preparação da alimentação nos dias de trabalho.

A implantação dos sistemas de bombeamento, e a distribuição de filtros d'água para cada residência, veio garantir uma melhoria nas condições sanitárias da água de consumo, com uma disponibilidade diária de cerca de 2.000 litros de água potável e melhora nas condições de trabalho feminino, principalmente na época mais fria do ano, uma vez que as mulheres entravam no rio para realizar as tarefas de lavagem de roupa e louça.

A aprovação dos sistemas de bombeamento pode ser constatada no consumo registrado semanalmente, o qual atesta uma média de 38 litros por pessoa por dia, conforme figura I.18

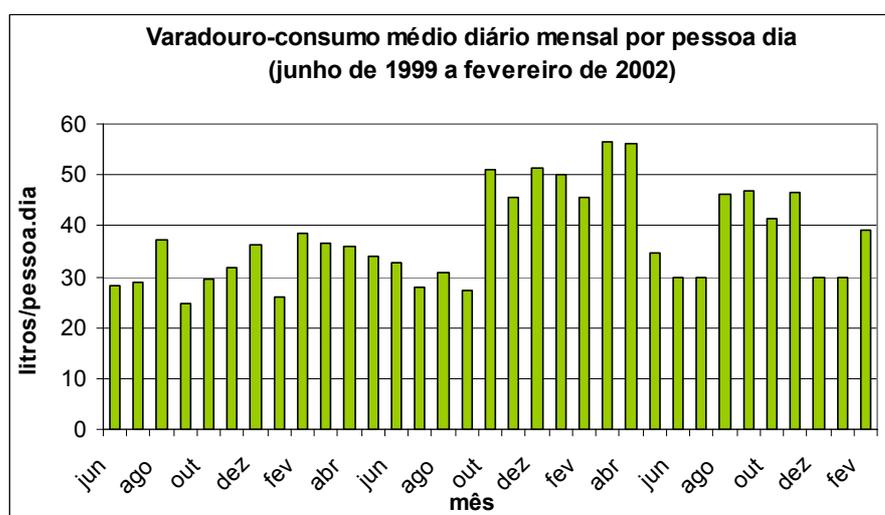


Figura I.18 Consumo médio diário mensal por pessoa por dia do poço jabuticabeira - Varadouro.

As figuras I.19 a I.22 ilustram respectivamente a capacitação das mulheres para a utilização e manutenção das lavanderias, menina aprendendo a lavar roupa em tanque, reunião da Associação dos Moradores do Varadouro, e festa de comemoração da instalação das lavanderias.



Figura I.19 Orientação das mulheres quanto à utilização das lavanderias.
(Foto: R. Fedrizzi, 1998)



Figura I.20 Menina aprendendo a lavar roupa no tanque. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.21 Reunião da Associação dos Moradores da Comunidade do Varadouro.
(Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)



Figura I.22 Festa de comemoração da instalação das lavanderias. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998)

5. COMENTÁRIOS FINAIS

A avaliação do projeto foi extremamente positiva, uma vez que foram realizadas com êxito todas as etapas propostas, no entanto, a viabilização da reposição dos equipamentos mais custosos não foi de todo conseguida. A seguir é feito um apanhado dos principais pontos a ressaltar do projeto em questão.

- A tecnologia de bombeamento fotovoltaico para uso coletivo foi uma solução para o abastecimento de água potável na comunidade do Varadouro.
- A recuperação das formas tradicionais de ajuda mútua (mutirão) é uma estratégia de trabalho

que permite rapidez e diminuição de custos, bem como o aprendizado coletivo das técnicas empregadas na implantação.

- O sucesso da implementação requer o envolvimento dos usuários desde a elaboração do projeto, execução e gerenciamento de seu funcionamento.
- A participação dos usuários viabiliza-se de forma coletiva pelo grau de organização da comunidade, no caso, pela existência de uma associação.
- O papel da mulher, muitas vezes esquecido, é fundamental para a adoção da tecnologia de bombeamento fotovoltaico em todos os aspectos da implementação.
- A metodologia desenvolvida pode ser usada como modelo de trabalho para a inserção da tecnologia em questão em outras comunidades tradicionais.
- A sustentabilidade do projeto depende, além da participação e do grau de organização dos usuários, de uma forma de captação de recursos financeiros que viabilize a reposição dos equipamentos, o que não foi de todo conseguido neste projeto.

ANEXO II

ALTO SOLIMÕES - AM

1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

Com início em 1998, o projeto intitulado “Energização solar fotovoltaica de quatro comunidades isoladas do Alto Rio Solimões”, financiado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia¹, contou com o apoio técnico do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. Tendo por objetivo atender as necessidades energéticas básicas de quatro comunidades rurais localizadas no município de Benjamin Constant, Estado do Amazonas, no âmbito de um projeto mais abrangente chamado de “Programa de Desenvolvimento Sustentável do Alto Solimões”, este projeto foi levado a cabo pelo INPA, UA, DAS, MEB².

As comunidades ribeirinhas^{3, 4} inicialmente contempladas foram Novo Paraíso (69 pessoas em 15 famílias), Nova Aliança (130 pessoas em 25 famílias), Guanabara II (185 pessoas em 37 famílias) e Vera Cruz (38 pessoas em 7 famílias)e, posteriormente, se juntaram a elas as comunidades de Cidade Nova (146 pessoas em 29 famílias), São João (75 pessoas em 15 famílias) e Tupi (196 pessoas em 28 famílias), totalizando 839 pessoas, sendo as duas últimas pertencentes aos municípios de Atalaia e São Paulo de Olivença, respectivamente.

A introdução da inovação tecnológica, energia solar fotovoltaica, segue modelo citado no Anexo I e foi respaldada por uma equipe multidisciplinar de profissionais das áreas técnicas e das ciências sociais.

A população pratica agricultura familiar, além da caça, pesca e extrativismo de outros produtos da floresta, perfazendo uma renda média mensal inferior a um salário mínimo (R\$ 151,00 no início do projeto). Uma das principais deficiências detectadas foi a falta de água potável em todas as comunidades pesquisadas da região.

2. O USO DA ÁGUA

O sistema de utilização da água preexistente ao projeto é similar em todas as comunidades, ou seja, a água costuma ser obtida diretamente de rios e igarapés e é consumida *in natura*, geralmente, sem qualquer tratamento conforme ilustram as

¹ PTU – Programa Trópico Úmido.

² INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, UFA – Universidade Federal do Amazonas, DAS – Diocese do Alto Solimões, MEB – Movimento de Educação de Base.

³ Caboclas e da etnia Ticuna.

⁴ O número de habitantes se refere ao início do projeto.

figuras 1.12 e 1.14 da página 14. Na época úmida, no entanto, parte da população consome água da chuva, mas mesmo esta, acaba sendo contaminada por falta de cuidados na sua captação e manipulação, conforme ilustram as figuras II.1 e II.2. Além disso, a água da chuva não é armazenada em quantidade suficiente para abastecer a população permanentemente, pois há longos períodos de estiagem e os reservatórios são de pequena capacidade (caixas d'água comunitárias de no máximo 200 litros e baldes de 18 litros de propriedade das famílias). Não foram encontradas cisternas coletoras de água da chuva de grande capacidade como as existentes na região nordeste do país.



Figura II.1 Sistema de coleta de água da chuva. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura II.2 Manipulação de água da chuva para consumo humano. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

Constatou-se que a quantidade de água carregada manualmente e efetivamente utilizada nas residências, para beber, cozinhar e lavar alguns utensílios, era de cerca de 50 litros diários por família⁵, o que significa de 3 a 6 “viagens” por dia ao manancial. Este trabalho costuma ser realizado pelas mulheres e crianças de cada família. O banho, e a lavagem de roupa e louça ocorrem diretamente nas margens dos rios e igarapés, bem como a coleta de água para o consumo humano, figuras II.3 e II.4.

⁵ Menos de 10 litros por pessoa.



Figura II.3 Meninas lavam roupa no Rio Solimões. (foto: M.C. Fedrizzi, 2000)



Figura II.4 Mãe e filhas tomam banho no rio. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

Como regra geral, todas as comunidades expressaram grande desejo em obter “água limpa” e mais próxima das residências, principalmente na época de estiagem que, segundo depoimento local, é *“quando a água é lamacenta e tem gosto ruim, gosto de terra, e fica mais longe da casa”*.

No auge da estiagem é necessário a utilização de canoas para a coleta de água no centro do rio, onde a água é corrente. O exemplo mais dramático da dificuldade no abastecimento de água é o caso da comunidade de Novo Paraíso. Estando localizada nas margens de um paraná⁶, o qual tem sua entrada de água assoreada na época de estiagem, a população tinha que navegar em canoa até a margem oposta, em território peruano, e caminhar até algumas lagoas existentes de onde coletavam água para o consumo básico da família. Tal operação costumava tardar até três horas, a qual era realizada pelo menos uma vez ao dia por cada família. Já a lavagem de roupa era feita nas margens do Rio Solimões, o que implicava para as mulheres em uma caminhada de cerca de duas horas, entre ida e volta, com o carregamento de toda a roupa a ser lavada.

3. CONTATO, ORGANIZAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS

De acordo com a filosofia do projeto para a introdução da tecnologia, a participação dos usuários é de fundamental importância. Desde o primeiro contato a equipe propôs aos usuários sua participação, tanto nas reuniões de esclarecimento e capacitação, como na efetiva instalação dos equipamentos e gestão futura do empreendimento. Foram expostas as diferentes etapas pelas quais passaria o projeto, e a forma de participação em cada uma delas.

Foi explicitado que aquela situação era diferente das demais que costumavam ocorrer na região, principalmente em época de eleição quando candidatos a cargos políticos presenteiam as comunidades com os mais variados equipamentos e benfeitorias, os quais não contam com um treinamento para utilização e manutenção. O fato de que a equipe do projeto não queria nada em troca, a não ser a participação dos usuários foi, de certa forma, algo inusitado para a população.

Outro aspecto impulsionador da participação dos usuários nos processos de instalação e treinamento, foi o conhecimento da efemeridade da permanência da equipe técnica no local. Foi comunicado que após a efetiva implementação de todas as etapas do projeto, a participação da equipe técnica acabaria. Com esta perspectiva, a responsabilidade pelo funcionamento e manutenção dos equipamentos ficaria a cargo das comunidades.

Os materiais para a construção dos poços foram entregues pelos fornecedores em uma cidade próxima e desta localidade até os locais navegáveis mais próximos de cada comunidade o transporte ocorreu por conta do projeto (figura II.5). Dos referidos locais até as comunidades os usuários se encarregaram pelo transporte do material, sendo que, por ser época das “águas baixas”, em algumas comunidades o material teve que ser transportado a pé por vários quilômetros no meio da floresta.

Para a perfuração dos poços foi contratada uma empresa local, mas também houve a participação dos usuários em todas as etapas do processo. A empresa entrou com metade da mão-de-obra e cada comunidade se comprometeu a disponibilizar o restante. Para que ninguém ficasse prejudicado em seu trabalho pessoal, os comunitários se organizaram em turnos de meio período, o que permitiu que um grande número de pessoas aprendesse os passos básicos da perfuração de um poço. A figura II.6 ilustra parte deste processo.

⁶ Também chamado de “braço de rio”, sendo um canal que interliga dois cursos d’água mais importantes.



Figura II.5 Transporte de materiais para a confecção de poços. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura II.6 Perfuração de um poço. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

Os usuários participaram da instalação dos sistemas de bombeamento, a qual foi dividida em duas partes, a elétrica e a hidráulica (figuras II.7 a II.10). Como já haviam participado das instalações dos sistemas de iluminação e de rádio comunicação, os comunitários já tinham um conhecimento básico de instalação elétrica, no entanto, desconheciam totalmente o referente à instalação hidráulica. Foi necessário, portanto, um treinamento específico desde os passos mais básicos.



Figura II.7 Montagem da estrutura dos módulos fotovoltaicos. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura II.8 Instalação da rede hidráulica. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura II.9 Instalação da estrutura dos pontos de coleta de água. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura II.10 Instalação de um grupo motobomba. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

Foi interessante observar que o trabalho de instalação e capacitação dos usuários teve uma grande participação, não somente entre os adultos, mas também das crianças por iniciativa própria. Como exemplo ilustrativo desta questão, tem-se que após um dia de trabalho, no qual foi feita a instalação de um sistema de bombeamento, constatou-se que as crianças, após observarem seus pais trabalharem, construíram sozinhas uma réplica do sistema, conforme ilustram as figuras II.11 e II.12.



Figura II.11 Crianças construindo seu sistema de bombeamento fotovoltaico. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura II.12 Crianças construindo seu sistema de bombeamento fotovoltaico. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

4. O NOVO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

No projeto inicial, o abastecimento de água às comunidades contava com a perfuração de poços do tipo semi-artesiano, com profundidades de até 40 metros e em localização cêntrica, com a finalidade de reduzir as distâncias até o ponto de coleta. Surpreendentemente, a formação geológica da margem direita do Rio Solimões, em seu passo pelo município de Benjamin Constant, onde encontram-se seis das sete comunidades⁷, é formada por espessa camada de argila de até 200 metros de profundidade, aparentemente isotrópica, a qual apresenta pouca drenagem e grande retenção de água. Este fato impossibilitou a localização de lençóis de água subterrânea a pouca profundidade, inviabilizando o projeto inicial por problemas técnicos e orçamentários⁸.

A segunda modalidade consistia na captação de água através de sistemas de bombeamento instalados em flutuantes e dispostos ao longo dos cursos d'água. Esta opção foi abandonada em virtude dos altos índices de furtos ocorridos em localidades situadas às margens dos rios na região. Além disso, esta opção requer constante monitoramento dos sistemas em função da dinâmica local das águas, o que implicaria em uma especial organização dos usuários quanto ao posicionamento do flutuante, em função da variação do nível das águas⁹.

A opção finalmente adotada foi a perfuração dos poços dentro de igarapés e açudes, com a captação ocorrendo pela infiltração dos cursos de água para a seção tubular dos poços conforme ilustram as figuras 4.4 a 4.7 do texto da tese. Esta modalidade permitiu a filtragem da água pelo solo e uma velocidade de reposição do poço compatível com a demanda hídrica das populações.

Quanto à disponibilização da água, optou-se pela construção de um ponto comunitário central de coleta (figuras II.13 e II.14), o qual mantém a forma de utilização do recurso hídrico similar à anterior, variando somente o local de captação do mesmo. O fato de que as residências não possuem sistema de deságüe das águas servidas foi determinante para que não se adotasse a opção de distribuição de água para cada uma delas. O risco de acúmulo de água nos pátios ou internamente às casas foi contado

⁷ Exceção feita à comunidade de Novo Paraíso, localizada na Ilha do Bom Intento, com perfil geológico diferenciado.

⁸ Poços profundos tem custos altos na perfuração, bem como na potência a ser instalada em gerador fotovoltaico.

⁹ Na região em questão, o nível do Rio Solimões tem uma variação de até 12 m entre as cheias e a estiagem.

como de grande probabilidade de ocorrência, o que provocaria maiores problemas sanitários associados ao uso da água.

Em função das dificuldades encontradas na organização para a cloração centralizada da água, a opção adotada foi a cloração individual em cada residência, de responsabilidade de seus moradores.



Figura II.13 Ponto de coleta de água de Vera Cruz. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)



Figura II.14 Ponto de coleta de água de Guanabara II. (foto: M.C. Fedrizzi, 1999)

As figuras II.15 e II.16 trazem desenhos realizados pelos habitantes de Novo Paraíso e Vera Cruz, respectivamente, representando a incorporação dos sistemas fotovoltaico em suas comunidades

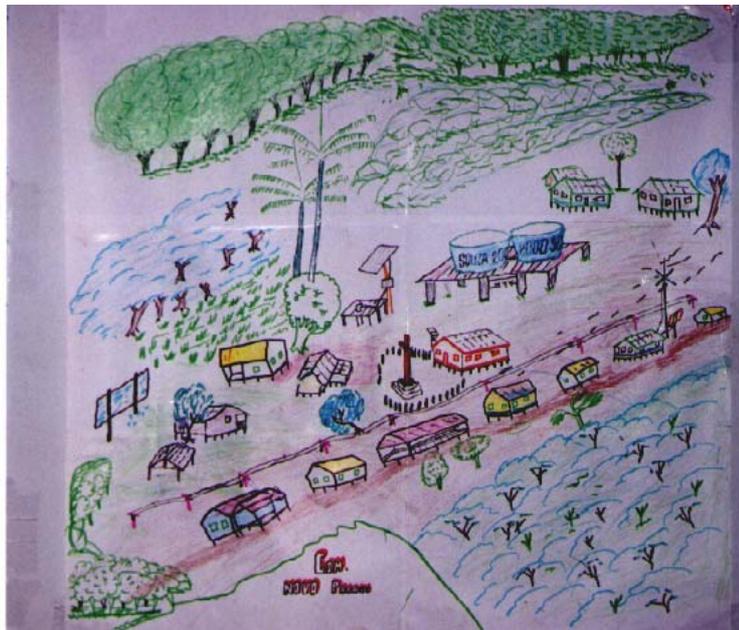


Figura II.15 Desenho realizados pelos habitantes de Novo Paraíso, retratando suas comunidades e os sistemas de energização fotovoltaica.

- Uma vez viabilizado o investimento inicial em equipamentos e implementação, é de fundamental importância a participação e a capacitação dos usuários, para que haja uma real autonomia quanto a sua operação e manutenção.
- A experiência participativa de implementação e gestão do empreendimento mostrou-se eficaz, e deve ser considerada em projetos dessa natureza.
- Grande parte do êxito desta experiência está ancorado e respeita um profundo trabalho, preexistente, de organização social das comunidades, desenvolvido por inúmeros agentes regionais e locais.
- O tempo necessário para a implementação desse tipo de projeto é um elemento a ser levado em conta, principalmente na região em questão, onde o regime hídrico fixa as condições de acesso e de execução das tarefas.
- Os custos envolvidos em empreendimentos localizados em zonas remotas costumam ser sensivelmente superiores aos custos de empreendimentos no meio urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO-ABELLA, Miguel, CHENLO, Faustino, BLANCO, J., MANSO, D. *Use of standard frequency convertes in PV pumping systems*. In: 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Viena, Áustria, 1998. pp. 3254-3257.
- ANHALT, J. *Introdução de sistemas de bombas fotovoltaicas: relatório final sobre a realização de um projeto*. Fortaleza: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ, 1995.
- ARAGÃO, C.A., CARVALHO, A.S., ANHALT, J. *Photovoltaic water pumps for small communities in the semi-arid northeastern region of Brazil*. In: 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdã, Holanda, 1994. pp. 2016-2019.
- BARLOW, Maude, CLARKE, Tony. *O ouro azul*. São Paulo: M. Books do Brasil, 2003.
- BARLOW, R., McNELIS, B., DERRICK, A. *Status and experience of solar PV pumping in developing countries*. In: 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisboa, Portugal, 1991.
- BATALHA, Ben-Hur Luttenbarck, COSTA, Tereza Castro Rocha. *Água, saúde e desinfecção*. São Paulo: Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 1994.
- BEZERRA, Pedro. *Bombeamento de água fotovoltaico – problemas na implementação de um programa de utilização ampla: PRODEEM*. In: VIII Seminário Ibero-Americano de Energia Solar – Abastecimento de Água em Áreas Rurais Mediante Bombeamento Fotovoltaico, Recife, 2002.
- BONNEFOI, P. Introduction to dependability design. *Cahiers Technique Merlin Gerin 144*, Grenoble, France, pp. 1-20, 1990.
- BRASIL. Decreto-lei de 27 de dezembro de 1994. Presidência da República, *Diário oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, abr. 1994.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Programa Trópico Úmido (PTU). *Alternativas energéticas e uso econômico da biodiversidade*. Brasília: MCT/PTU, 1997. [Edital 01/97.]
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. *Avaliação técnica e sócio-econômica da Fase I do PRODEEM: relatório final*. Brasília: FBDS, 2000.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). *Relatório de atividades: agosto 2000-março 2001*. Brasília: MME/PRODEEM, 2001.
- BROWN, L.R. *Qualidade de vida 1993: salve o planeta*. São Paulo: Worldwatch Institute, Globo, 1993.
- BUITRON, A. *Como llego el progreso a Huagrapampa (Peru)*. México: Instituto Indigenista Interamericano, 1966.

- BÜCHER, K. *Do we need site-dependent and climate-dependent module rating?* In: 23th IEEE PVSC Conference, Kentucky, 1993. pp. 1056-1062.
- CAAMAÑO, Estefanía, LORENZO, Eduardo, ZILLES, Roberto. Quality control of wide collections of PV modules: lessons learned from the IES experience. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 7, n. 2, pp. 137-149, 1999.
- CE – Comisión Europea – DG XII. *Manual de energización rural mediante energía fotovoltaica, APAS 94: energías renovables, programa de fortalecimiento de la cooperación global en el campo de las energías renovables, acción estratégica concertada para la aplicación sostenible de tecnologías fotovoltaicas y bioelectricidad en los países de Cono Sur*, 1996.
- CENSOLAR – Centro de Estudios da la Energía Solar. *Valores medios de irradiación sobre suelo horizontal: base de datos internacional H-Word*. Sevilha: Progensa, 1993.
- CHACON, S.S. *Avaliação da sustentabilidade sócio-econômica e financeira do Projeto PVP no Ceará – Brasil*. Fortaleza: GTZ, 1995.
- CILSS. *Appel d'offers restreint: programme regional d'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans les pays du Sahel*, CR-VI FED, Ouagadougou, Burkina Fasso, 1989.
- COSTA, H.S., ARAÚJO, K. *Sistemas fotovoltaicos em comunidades rurais: descrições e comentários*. Recife: Naper Solar, 2001.
- CPRM. *Perfil composto – projeto carvão no Alto Solimões*. Manaus: Serviço Geológico do Brasil, 1995.
- CYTED – Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. *Producción de agua potable para pequeños grupos humanos*. In: I Jornadas Iberoamericanas de Energías Renovables. Santa Cruz de la Sierra, Bolívia: Centro Iberoamericano de Formación-AECI, 1999.
- _____. *Red iberoamericana de transferencia de tecnologías apropiadas con uso de las energías renovables – RITTAER: formulario K, presentación de redes temáticas*, Mendoza, Argentina, 2003.
- DASTPVP. *Design and simulation tool for photovoltaic pumping systems Ver.5.0*. Munique: Universität der Bundeswehr München, 1993.
- DERRICK, A. *A market overview of PV in Europe*, European Directory of Renewable Energy Supplies and Services. James and James Science Publishers, Londres, pp. 114-120, 1993.
- DIEGUES, Antonio Carlos. *O mito da natureza intocada*. São Paulo: Hucitec, 1996.
- _____. (Org.). *Ilhas e sociedades insulares*. São Paulo: NUPAUB-USP, 1997.
- DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A. *Solar engineering of thermal processes*. New York: John Wiley & Sons Publications, 1995.
- DUZAT, Rejane M. *Analytical and experimental investigation of photovoltaic pumping systems*. Tese (Doutorado) – Physics Department of the Carl Von Ossietzky, Universidade de Oldenburg, Alemanha, 2000.

- EPIA. *Photovoltaics in 2010*. In: Commission of the European Communities – Directorate General for Energy, Summary Report, 1996.
- ERA SOLAR. Energías renovables, medioambiente, ahorro energético. *SAPT – Publicaciones Técnicas*, Madri, n. 102, p. 65, 2001.
- EUROPAID/114523/D/S/Multi. *Implementation of a PV water pumping program in Mediterranean countries Mediterranean region Morocco Algeria and Tunisia: annexe II*. [on-line] disponível em <http://europa.eu.int/comm/europeaid/cgi/frame12.pl>, 20 de novembro de 2002.
- FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Las necesidades de agua de los cultivos. *Caderno Técnico*, Roma, n. 24, 1977.
- FEDRIZZI, Maria Cristina, JORDÁ, Almudena. *Relatório de viagem de campo realizada em comunidades rurais no vale do rio Dräa, sudeste marroquino – utilização do recurso hídrico pelas mulheres: relatório interno*. São Paulo: Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP, 1998.
- FEDRIZZI, Maria Cristina, ZILLES, Roberto. *Avaliação dos sistemas de bombeamento fotovoltaico do Pontal do Paranapanema*. São Paulo: Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP, março de 1999.
- _____. *Energização solar fotovoltaica de quatro comunidades isoladas na região do Alto Solimões: relatório de viagem de campo realizada entre os dias 30 de agosto e 15 de setembro de 1999*. São Paulo: Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP, setembro de 1999.
- FEDRIZZI, Maria Cristina, SAUER, Ildo. *Simple and useful instrumentation to determine performance of PV pumping systems*. In: 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munique, Alemanha, 2001.
- FOSTER, George M. *As culturas tradicionais e o impacto da tecnologia*. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1964.
- FRAIDENRAICH, Naum. *Tecnologia solar no Brasil*. Tese (Concurso para professor titular) – Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, 1999. cap. 2, pp. 45-49.
- _____. *Abastecimento de água em áreas rurais mediante bombeo fotovoltaico – Projeto PIPVI.5 CITED*. In: VIII Seminário Ibero-Americano de Energia Solar: Abastecimento de Água em Áreas Rurais Mediante Bombeamento Fotovoltaico, Recife, 2002.
- FREIRE, Paulo. *Extensão ou comunicação?* Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1982.
- GALDINO, Marco Antonio et al. *PV rural electrification in northeast of Brazil*. In: 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, França, 1995. pp. 1123-1126.
- GALDINO, Marco Antonio, LIMA, J.H.G. *PRODEEM – o programa nacional de eletrificação rural baseado em energia solar fotovoltaica*. In: IX Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2002.
- GIODA, A. *Historia del agua*. Cochabamba: Orstom y Senamhi, 1985.
- GONDIM, Neide. *A invenção da Amazônia*. São Paulo: Marco Zero, 1994.

- GUISAN, O., MERMOUD, A., SCHAUB, P. *PV modules characteristics in real conditions*, 11th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreaus, 1992. pp 1348-1350.
- HADJ ARAB, A., CHENLO, F., LORENZO, E. *Analysis of different parameters of PV water pumping systems*. In: 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Espanha, 1997. pp. 2538-2541.
- HAHN, A. *Technical maturity and reliability of photovoltaic pumping systems*. In: 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, França, 1995. pp. 1783-1786.
- HALCROW, W. et al. *Handbook on solar water pumping: intermediate technology power*. Londres: Reading & Swindon, 1984.
- HÄNEL, A., HOANG-GIA, L., KABORÉ, F. SY, B.S. *The performance of PV pumping systems in the CILSS – Regional Solar Programme: one year of monitoring results on 10 systems*. In: 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, França, 1995. pp. 482-485.
- HECKTHEUER, L.A, KRENZINGER, A., PRIEB, C.W.M. *Rated versus measured power of PV modules used in Brazilian rural properties electrification*, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munique, 2001. pp 2083-2086.
- HÈMERY, Daniel, DEBIER, Jean-Claude, DELÈAGE, Jean-Paul. *Uma história da energia*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993.
- HOUAISS, Antônio, VILLAR, Mauro de Salles. *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*, Instituto Antonio Houaiss, Rio de Janeiro, 2001.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *População, tendências demográficas*. [on-line] disponível em http://www.ibge.net/home/estatistica/populacao/tendencia_demografica/tabela01.shtm, 24 de fevereiro de 2003.
- IEC 1702 International Standard, 1995. *Evaluation of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems*.
- IES. *Informe intermédio de Bruxelas: fichas de monitoramento dos sistemas de bombeamento fotovoltaico do vale do rio Dräa, Marrocos*, 2002.
- IT POWER in association with Sir William Halcrow and Partners. *Handbook on solar water pumping*. UNDP – World Bank Project GLO/80/003, 36-49, Washington, 1984.
- KLEISS, G., KUNZELMANN, H., BÜCHER, K. *The need for precise assessment of cells and modules: certified efficiency tables ISE PV-charts and performance under realistic reporting conditions (RRC)*. In: 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdã, Holanda, 1994. pp. 515-518.
- KNAUPP W. *Power rating of photovoltaic modules from outdoor measurements*. In: 22th IEEE PVSC Conference, Kentucky, 1991. pp. 620-624.
- KONER, P.K. A review on the diversity of photovoltaic water pumping systems. *RERIC International Energy Journal*, v. 15, n. 2, 1993.
- LOGIACO, S. Electrical installation dependability studies. *Cahiers Technique Merlin Gerin 184*, Grenoble, France, pp. 2-24, 1997.

- LOREIRO FILHO, I. Documento básico: anexo I. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM)*. Brasília: MME, 1993.
- LORENZO, Eduardo, ZILLES, Roberto. *PV modules and arrays test at IMW Toledo PV plant*. In: 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdã, Holanda, 1994. v. 1, pp. 807-809.
- LORENZO, Eduardo, MONTERO, Mercedes. *The importance of sociology in photovoltaic projects*. In: 7th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Sevilha, Espanha, 1986.
- LORENZO, Eduardo et al. *Electricidad solar: ingeniería de los sistemas fotovoltaicos*. Sevilha: Progensa, 1994.
- LORENZO, Eduardo, NARVARTE, Luis, PIÑEIRO, José. *Evaluación de un proyecto de bombeo fotovoltaico en el sur marroquí*. Madri: Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, jan. 1998.
- _____. *2ª evaluación de un proyecto de bombeo fotovoltaico en el sur marroquí*. Madri: Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, dez. 1998.
- LORENZO, Eduardo, EGIDO, Miguel Angel. *La tecnología europea de bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica frente al PRS-II*. Madri: Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, (Draft), 1999.
- LSF – Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos. *Avaliação PRODEEM – fase I*, São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, dezembro de 1999. [Versão preliminar.]
- _____. *Avaliação PRODEEM – fase I*, Mato Grosso do Sul e Rondônia. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, março de 2000. [Versão preliminar.]
- MALBRANCH, P. et al. *Recent developments in PV pumping applications and research in the European Community*. In: 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdã, Holanda, 1994. pp. 476-481.
- MALISSARD, A. *Los romanos y el agua – la cultura del agua en la Roma antigua*. Barcelona: Herder, 2001.
- MARTÍNEZ, M. et al. *El agua en la historia*. Valladolid: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Valladolid, 1998.
- MAYER, O., ZÄNGERL, H.P., KLEMT, M. *Start up of screw pumps by optimal inverter parameter setting*. In: 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, França, 1995a. pp. 1819-1820.
- MEGGERS, Betty J. *Amazônia, a ilusão de um paraíso*. São Paulo: Edusp, 1987.
- MERCEDES, Sonia Seger P. *Análise comparativa dos serviços públicos de eletricidade e saneamento básico no Brasil: ajustes liberais e desenvolvimento*. Tese (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, 2002.

- MONTERO, Mercedes. Sociedades rurales e inovación tecnológica: reflexiones preliminares. *Política y Sociedad*, v. 9, pp. 29-45, 1991.
- NARVARTE, Luis. *Hacia un paradigma de electrificación rural descentralizada con sistemas fotovoltaicos*. Tese (Doutorado) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación da Universidad Politécnica de Madrid, 2001.
- NARVARTE, Luis, LORENZO, Eduardo. *Suministro de agua potable con energía solar fotovoltaica*. In: I Conferencia Internacional Tecnología para el Desarrollo Humano – Orientaciones para el Diseño y Uso de la Tecnología en la Cooperación para el Desarrollo. Madri: Ingeniería sin Frontera, 2001.
- NODA, Sandra do Nascimento. *Na terra como na água: organização e conservação de recursos naturais terrestres e aquáticos em uma comunidade da Amazônia brasileira*. Tese (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso, 2000.
- PARENTE, Virginia, GOLDEMBERG, José, ZILLES, Roberto. Comments on experience curves for PV modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 10, n. 8, pp. 571-574, 2002.
- PERLIN, J. *From space to earth: the story of solar electricity*. Hardcopy, 1999.
- PRESA, M.T.S. *Los viajes de agua*. In: Ciclo de Conferências sobre el Abastecimiento de Agua en Madrid, Canal de Ysabel II, Madri, Espanha, 1979.
- PROTEGEROUPOLOS, C., TSELIKIS, N. *Technical evaluation of low-cost, low-power photovoltaic water pumping system and comparison with a typical marketed PV pump*. In: 14th European Solar Photovoltaic Energy Conference, Barcelona, Espanha, 1997. pp. 2542-2545.
- REBOUÇAS, A.C., BRAGA, B., TUNDISI, J.G. *Águas doces no Brasil*. São Paulo: Escrituras, 1999.
- RIBEIRO, B.G. *Os índios das águas pretas*. São Paulo: Cia. das Letras/Edusp, 1995.
- RIBEIRO, Darci. *O processo civilizatório: etapas da evolução sociocultural*. São Paulo: Cia. das Letras, 1997.
- RSP – Regional Solar Programme. *Lessons and perspectives*. Bruxelas: European Commission (DG VII), Foundation Energies pour le Monde, 1996.
- SAPIAIN, R., SCHMIDT, R., FLORES, C., TORRES, A. Evaluación técnica de sistemas de bombeo fotovoltaico. *Información Tecnológica*, v. 11, n. 6, pp. 19-26, 2000.
- SERPA, Paulo Marcos Noronha. *Eletrificação fotovoltaica em comunidades caiçaras e seus impactos socioculturais*. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2001.
- TAVARES, Eduardo. *Missões jesuítico-guaranis*. São Leopoldo: Unisinos, 1999.
- UNDP. Project-GLO/78/004. *Small-scale solar-powered irrigation pumping systems: Phase-I Project Report*. Londres: *Intermediate Technology Development Group*, 1981.
- _____. *Human develop report 2001 – making new technologies work for human development*. New York: Oxford University Press, 2001.

- VILELA, Olga de Castro. *Caracterização, simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água*. Tese (Doutorado) – Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, 2001.
- WEHAB Working Group. *A framework for action on water and sanitation*. World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, 2002.
- WHO – The World Health Organization. *The right to water*. Geneva: World Health Organization, 2003. [Health and human rights publication series – 3.]
- WINCAPS. *A guide using: Grundfos international version*, 2002.
- ZAFFARAN, Michel, LLOYD, John. *Solar energy: a strategy for rural health and development*. In: 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdã, Holanda, 1994. pp. 2074-2077.
- ZILLES, Roberto, FEDRIZZI, Maria Cristina. *Avaliação preliminar dos sistemas fotovoltaicos instalados nas residências dos moradores da Ilha do Cardoso*. São Paulo: Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP, 1999.
- ZILLES, Roberto, RIBEIRO, Cláudio, MOSZKOWICZ, Mauricio. *Power rating and the need of photovoltaic modules measurements in Brazilian dissemination program*, 15th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Viena, 1998.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALONSO-ABELLA, M., CHENLO, F., BLANCO, J., *A detailed procedure for performance prediction of PV pumping systems, Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, UK*, pp 2679-2682, 2000
- ALONSO-ABELLA, M. et al., *Impedance matching and new use of speed controllers in PV pumping systems, 14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Espanha*, pp 2276-2279, 1997.
- ALVES, E. *Pobreza rural no brasil*. Ministério da Irrigação, CODEVASF. Brasília, 1988.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J., GEWANDSZNAJDER, F. *O método nas ciências naturais e sociais*. Pioneira, São Paulo, 1998.
- ARAGÃO, Paulo Marcos, CRAVALHO, Antinous Souza, ANHALT, Jörgdieter, *Photovoltaic water pumps for small communities in the semi-arid northeastern region of Brazil. 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam*, 1994.
- AUGÉ, M. *Os não-lugares. Introdução a uma antropologia da supermodernidade*. Papirus, São Paulo, 1994.
- BARLOW, R., McNELIS, B., DERRICK, A., *Status and experience of solar PV pumping in developing countries. 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisboa, Portugal*, 1991.
- BACHELARD, G., *A água e os sonhos*. Martins Fontes, São Paulo, 1998.
- BARBOSA, E., TIBA, C. SALVIANO, C., CARVALHO, A., LYRA, M.F., *Photovoltaic water pumping systems installer training: a partnership experience between the university and São Francisco hydroelectric power plant. Renewable Energy, V. 21*, pp 187-205, 2000.
- BARBOSA, E., TIBA, C., *Photovoltaic energy supply in communities of the Xingó Program in the Brazilian northeast. 16th Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, UK*, pp 3104-3107, 2000
- BASALLA, George, *La evolución de la tecnología*. Editora Crítica, Barcelona, 1991.
- BASTIDE, Roger, *Antropologia aplicada*. Editora perspectiva, São Paulo, 1979.
- BATALHA, B.L., PARLATORE, A. C. *Controle da qualidade da água para consumo humano: Bases Conceituais e Operacionais*. CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento, São Paulo, 1993.
- BÔA NOVA, A. C. *Energia e classes sociais no Brasil*. São Paulo, Loyola 1985.
- BLOOS, H., et al., *Photovoltaic pumping systems - an analysis of two concepts. 14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Espanha*, pp 1608-1611, 1997.
- BOUNWMEESTER, S. et al., *Direct-coupled versus battery backed photovoltaic pumping system. Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, UK*, pp 2505-2507, 2000

- BRANCO, S. M., *Energia e meio ambiente*. Moderna, São Paulo, 1995.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). *Documento básico*. Brasília: MME/PRODEEM, 1993.
- BRASIL, *Lei Federal N° 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Política Nacional de Recursos Hídricos.
- BUCHER, W., *Aspects of solar water pumping in remote regions*. *Energy for Sustainable Development*, V. III, N° 4, pp 8-27, Novembro 1996.
- BURCH, Jay, THOMAS, Karen, *Water disinfection for development countries and potential for solar thermal pasteurisation*. *Solar Energy*, Vol. 64, N° 1-3, pp. 87-97, 1998.
- BURGESS, P.; PRYNN, P. *Solar pumping in the future: A Socio-Economic Assessment*. Halcrow Fox & Associates, Londres, UK, Currie Sunman CSP Economic Publications, England, 1985.
- CALLOU, A. B. F., *Comunicação rural e o novo espaço agrário*. Intercom, Recife, 1999.
- CHAMBOULEYRON, I., MARQUES, F.C., *barriers to the dissemination of photovoltaics in third world countries: the brazilian experience*. *12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Amsterdam, 1994.
- COPPE/Área Interdisciplinar de Energia, *Energia e desenvolvimento, Quais desafios? Quais métodos?* Marco Zero AIE-COPPE, Rio de Janeiro, 1986.
- CUAMBA, B.C. et al., *Monitoring a photovoltaic water pumping systems in Mozambique*. *14th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Barcelona, Espanha, pp 1033-1035, 1997.
- CALDEIRA, T.P. *A presença do autor na pós-modernidade*. Novos Estudos do CEBRAP, São Paulo, 1988.
- COMISSION EUROPEA DG XII, *Manual de energización rural mediante energia fotovoltaica*. APAS 94 Energías Renovables, Programa de Fortalecimiento de la Cooperación Global en el Campo de las Energías Renovables, Acción Estratégica Concertada para la Aplicación Sostenible de tecnologías Fotorvoltaicas y Bioelectricidad en los Países del Cono Sur, 1996.
- CILSS-Comité Permanent Inter-Etats de Luitte Contre la Sécheresse dans le Sahel, *Programme régional solaire. Enseignements et perspectives*. Fondation Energies Pour le Monde, Paris, 1999.
- CRESESB/CEPEL, *Sistemas fotovoltaicos: manual de engenharia*. Grupo de trabalho de Energia Solar Fotovoltaica, Versão 1.0, Brasil, 1995.
- CYTED, *Abastecimento de agua em áreas rurales mediante bombeo fotovoltaico*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo, CIEMAT, Madri, 2000.
- DÍAZ, P., EGIDO, M.A., *Sizing PV pumping systems method based on loss of load probability*. *2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Viena, pp. 3246-3249, 1998.

- DIEGUES, A. C. S., *O mito moderno da natureza intocada*. Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras - USP, São Paulo, 1997.
- _____. *Ilhas e mares, simbolismo e imaginário*. São Paulo: NUPAUB-USP, 1998.
- _____. *Comunidades tradicionais e manejo dos recursos naturais da mata atlântica*. São Paulo: NUPAUB-USP, 2000.
- _____. *A imagem das águas*. Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras - USP, São Paulo, 2000.
- ELIADE, M., *Tratado de História das religiões*. Martins Fontes, São Paulo, 1998.
- ELLIOTT, D., ELLIOTT, R. *El control popular de la tecnologia*. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.
- EUROPEAN COMMISSION, *Regional solar programme- Lessons and perspectives, CILSS-Fondation Energies pour le Monde*, Bruchelas, Bélgica, 1999.
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y alimentación, *Las necesidades de água de los cultivos*, Caderno Técnico nº 24. Roma, Italia, 1977.
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y alimentación *Efeitos da água no rendimento das culturas*. Caderno Técnico Nº 33, Roma, Itália, 1994.
- FEDRIZZI, M. C., SAUER, I. L., ZILLES, R. *Economic analysis of photovoltaic and gasoline pumping systems. Renewable Energy*. V. 8, Nº 1-4, pp.424-427, 1996.
- FEDRIZZI, Maria Cristina. *Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaico – dimensionamento simplificado e análise de competitividade para sistemas de pequeno porte*. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 1997.
- FEDRIZZI, M. C., SAUER, I. L., *Pequenos sistemas de bombeamento fotovoltaico - análise da competitividade com outras opções*. III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, junho 1998.
- FEDRIZZI, Maria Cristina, ZILLES, Roberto. *Energização solar fotovoltaica de quatro comunidades isoladas na região do Alto Solimões: relatório interno de atividades*. São Paulo: PTU-ANEEL-PNUD, 2001.
- FOSTER, Robert, CISNEROS, Gabriela, HANLEY, Charles, *Life-cycle cost analysis for photovoltaic water pumping systems in Mexico. 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Viena, pp. 3021-3024, 1998.
- FRAENKEL, P. *Water-pumping devices: a handbook for users and choosers. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), London, Intermediate Technology*, 1990.
- FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F. *Energia solar: Fundamentos e tecnologias de conversão heliotermoeletrica e fotovoltaica*. Recife, Universitária, 1995.
- FREITAS, M.A.V., et al. *Biomassa Energética Renovável para o Desenvolvimento Sustentável da Amazônia*. Revista brasileira de energia, V. 5, Nº. 1 - 1º sem., pp 71 - 97, 1996.

- GEERTZ, C. *O saber local: novos ensaios em antropologia interpretativa*. Vozes, Petrópolis, RJ, 1998.
- GOLDEMBERG, J.; JOHANSSON, T.B. *Energy as an instrument for socio-economic development. United Nations Development Programme, Nova York, USA, 1995.*
- GONDIN, N., *A invenção da Amazônia*. Marco Zero, São Paulo, 1994.
- GROSSI, M. *Trabalho de campo e subjetividade*. UFSC, Florianópolis, 1992.
- GUZMÁN, E. SERVANT, J.M., *A compact high efficiency three-phase DC/AC inverter for PV pumping systems. 13 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, França, pp 1809-1812, 1995.*
- HAHN, A., *Lessons learned from the international photovoltaic pumping program, 15th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Viena, 1998. pp. 2941-2945.*
- HEALEY, M., *Os desencontros da tradição em Cidade das Mulheres: raça e gênero na etnografia de Ruth Landes*. Cadernos Pagu, Núcleo de Estudos de Gênero/UNICAMP, pp 6-7, Campinas, 1996.
- HERRERA LIEDO, Wilfredo, CALLE MARAVÍ, José, *Bombeo de agua mediante peneles fotovoltaicos aplicado al riego de baja presión. IX Simposio Peruano de Energía Solar, Seminario Internacional de Energías Renovables, Arequipa, Peru, 2001.*
- HIDALGO, E., PONTORIERO, D., BLASCO, I., *Role, responsibility and involvement of end user: the case of Balde de Leyes projects. Eminaire de Marrakech Séminaire, 1995.*
- HOAG-GIA, L., SY, S.B. *Conclusions de l'atelier à la viabilité des projets d'approvisionnement en eau par pompage photovoltaïqu*. In: Workshop on PV Water Supply System Improvement, Marrocos, 1998.
- IEC 61725 International Standard, 1997. *Analytical expression for daily solar profiles.*
- ICF – International Conference on Freshwater. *Innovative strategies for water sanitation for poor: access and affordability*. Secretariat of the International Conference on Freshwater, Bonn, Alemanha, 2001. [on-line] disponível em <http://www.water-2001.de>. [13/11/2001].
- IES. *Optimized pumps: Joule II Project: JOU2-CT92-0161, Draft, 1995.*
- JOHANSSON, T.B. et. al, *Renewable energy: sources for fuels and electricity*. Island Press, United States of America, 1993.
- KLEMT, M., DAUER, O., MAYER, O., SIGFUSSON, G., ZÄNGERL, H.P., *design of a new photovoltaic pump inverter. 15th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Viena, pp. 2074-2077, 1998.*
- KOU, Q., KLEIN, S.A., BECKMAN, W.A., *A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems. Solar Energy, V. 64, N° 1-3, pp. 33-40, 1998.*
- KUHN, T.S. *The structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago, 1962.

- LANDES, R., *A woman anthropologist in Brazil*, apud GOLDE, P. *Women in field: anthropological experience*. Aldine, Chicago, 1970.
- LARSON, E. D. et al, *The technology menu for efficient end use of energy. Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund, V. 1, Sweden, 1989.*
- LÉVI-STRAUSS, C. *Tristes trópicos*. Anhembi, São Paulo, 1957.
- LORENZO, E. *Metodología para la evaluación de proyectos. Instituto de Energia Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, Madri, 1996.*
- LORENZO, E. *Aproximación a una metodología para abordar proyectos de electrificación rural fotovoltaica. Instituto de Energia Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, Madri, Espanha, 1999.*
- LORENZO, E., NARVARTE, L., CAAMAÑO, E., *Manual de bombeo fotovoltaico. Instituto de Energia Solar-Universidad Politécnica de Madrid e Ingeniería Sin Frontera, Madrid, Espanha, outubro 1999.*
- LORENZO, Eduardo, NARVARTE, Luis, ALARTE, E., CAAMAÑO, Estefanía. *Manual de bombeo fotovoltaico*. Madri: Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid e Ingeniería sin Frontera, 1999.
- LORENZO, Eduardo, ZILLES, Roberto, CAAMAÑO, Estefanía. *Cuaderno de campo de electrificación rural fotovoltaica*. Progensa, Sevilha, Espanha, 2001.
- MACAGNAN, M., COPETTI, J., GARCIA, É., *Simulação do desempenho do conjunto motor-bomba em sistemas fotovoltaicos*. Seminário Internacional NUTAU'2000, Universidade de São Paulo, São Paulo, pp 796-803, 2000.
- MICHEL, E., DEVES, A., *Potential use of renewable energies for water and waste water treatment in rural zones. Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, UK, pp 2609-2612, 2000*
- MACINTYRE, A. J. *Bombas e instalações de bombeamento*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1987.
- MALINOWSKI, B. *Um diário no sentido estrito do termo*. Record, Rio de Janeiro, 1997.
- MAYER, O., BAUMEISTER, T., FESTL, T. *Design, simulation and diagnosis of photovoltaic pumping systems with DASTPVPS*. In: 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, França, 1995b. pp. 1915-1917.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-DNDE, *Avaliação técnica e sócio-econômica Fase I do PRODEEM: Relatório Final*. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, Versão 1.0, Rio de Janeiro, 2000.
- MONTEIRO, P. *Reflexões sobre uma antropologia das sociedades complexas*. Revista de Antropologia, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, vol. 34, 1991.
- MONTERO, Mercedes, *Example on the utilization of socio-anthropological techniques in the establishment of photovoltaic systems*. 9th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Freiburg, Alemanha, 1989.

- NARVARTE, L., LORENZO, E., CAAMAÑO, E., *PV pumping analytical design and characteristics of boreholes. Solar Energy, Elsevier Science, Vol 68, No.1, pp. 49-56, 2000.*
- NYMAN, C., *First experience of water pumping system in Yemen. Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, UK, pp 3100-3103, 2000*
- OLIVEIRA, A., *Energia e desenvolvimento sustentável. Instituto de Economia da UFRJ, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 1998.*
- OMER, Abdeen Mustafá, *Solar water pumping clean water for Sudan rural areas. Renewable Energy, 24 pp. 245-258, 2001*
- PALACIOS, S. C., *Tratamiento de agua. Educación y Cultura, Cochabamba, Bolivia, 1999.*
- PARODI, O., PREISER, K., SCHWEIZER-RIES, P., *Clean water with clean energy. Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, UK, pp 2997-3001, 2000*
- PARODI, O., PREIKSCHAT, M., PREISER, K. *PV contra coli-bacteria. 14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Espanha, pp 2025-2028, 1997.*
- PEREIRA, B. B., *Técnica de abastecimento e tratamento de água. Convênio CETESB-ASCETESB, São Paulo, 1987.*
- PITTMAN, R. A., *Agua potable para poblaciones rurales. Servicios Educativos Rurales, Lima, Perú, 1997.*
- PLAZAS, C., et al., *La sociedad hidraulica Zenu. Banco de la Republica, Museo del Oro, Santa Fé de Bogotá, Colombia, 1993.*
- POSORSKI, R., *From aid projects the market introduction of PV systems – experiences and strategies. 12th European Solar Photovoltaic Energy Conference, Amsterdam, 2057-2060, 1994.*
- PRODEEM, *Energia das pequenas comunidades. Relatório de Atividades. (agosto 2000 – março 2001), Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001.*
- RAND, C., *Revolução na paisagem. Gráfica Record, Rio de Janeiro, 1969.*
- RABINOW, P. *Reflexiones sobre un trabajo de campo en Marruecos. Júcar, Madri, 1992.*
- ROGERS, E., *Elementos de cambio social: difusión de innovaciones. Coedición Tercer Mundo e Facultad de Soaciologia da Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1996.*
- ROMEIRO, A.R., REYDON, B.P., LEONARDI, M.L.A. *Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais. UNICAMP, Campinas, SP, 1996.*
- ROSA, L.P., TOLMASQUIM, M.T., PIRES, J.C.L. *A reforma do setor elétrico no Brasil e no mundo: uma visão crítica. Relume Dumará, Rio de Janeiro, 1998.*
- ROYO, E.C., HASTA, C.M. *Bombas centrífugas. Ed. Paraninfo, Madrid, Espanha. 1995.*
- SERVANT, J.M. et al., *Characterisation of a PV piston Pump with matching valve. 13 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, França, pp 1813-1815, 1995.*

- SUWARAWAN, S., et al., *Monitoring of a PV water pumping system at Nong Sanuan village, Phichit province, Thailand. 15th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Viena, PP. 2988-2990, 1998.
- SILVA, J.; REGUSE, W.; RAMOS, A. (CELESC). *Retorno sócio-econômico da eletrificação rural*. XIV Conferência Latinoamericana de Eletrificação Rural. Punta del Leste, Uruguai, 1993.
- SILVA, V.G., REIS, L.V.S., SILVA, J.C. *Antropologia e seus espelhos: a etnografia vista pelos observados*. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP, São Paulo, 1994.
- SILVA, V.G. *Antropologia e sua magia. Trabalho de campo e texto etnográfico nas pesquisas antropológicas sobre religiões afro-brasileiras*. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP, Tese de doutorado, São Paulo, 1998.
- SLIWIANY, R.M. *Sociometria: como avaliar qualidade de vida e projetos sociais*. Vozes, Petrópolis, RJ, 1997.
- SMULDERS, Paul, BOONKKAMP, Joris, BORG, Nico, BEEK, Marco, *Measurements on a PV solar pump equipped with a piston pump with a matching valve*. *Solar Energy*, V. 61, N° 2, pp. 89-95, 1997.
- SOLIANO-PEREIRA, O., REIS, T.V., FIGUEIREDO, M.G., MENDES, M.A., *A ten-year experience in the use of PV for irrigation in Brazil. 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Amsterdam, 1994.
- SPERB, D. *O saber dos antropólogos*. Edições 70, Lisboa, 1992.
- SUEHRCKE, H., APPELBAUM, J., RESHEF, B., *modelling a permanent magnet DC motor/centrifugal pump assembly in a photovoltaic energy system*. *Solar Energy*, V. 59, N° 1-3, pp. 37-42, 1997.
- TASCÓN, I.G, *Ingenieria española en ultramar*. CEHOPU, CEDEX, MOPT, *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, V. 1, Madri, Espanha, 1992.
- THERMIE, B. *Universal technical standard for solar home systems*. European Commission, SUP 995-96, Directorate General for Energy DG XVII, 1998.
- TERÖRDE, A. et al., *DC Bus voltage control for PV-powered water pump systems using permanent magnet synchronous motor without shaft sensor. Sixteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, UK*, pp 2474-2477, 2000.
- UN – ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, *Substantive issues arising in the implementation of the international covenant on economic, social and cultural rights*. (E/C.12/2002/11), *Committee on economic, social and cultural rights, 29th session*, Genebra, 2002.
- UNDP. *Human develop report 2001 – deepening democracy in a fragmented world*. New York: Oxford University Press, 2002.
- VALENTE, Luis Carlos, RIBEIRO, Claudio Moises, CRAVEIRO, Paulo Marcos, AVERBUCH, Isaac, TAYLOR, Roger Willian, *PV rural electrification pilot project in the northeast of Brazil. 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Amsterdam, 1994.

- VERGER, P. *Etnografia religiosa e proibidade científica*. Religião e Sociedade, Rio de Janeiro, 1982.
- VERSCHELLING, J. A., et al., *Stand-alone PV systems for pumping in water management and agriculture*. 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Viena, Áustria, pp 3097-3099, 1998.
- VILELA, O. C., FRAIDENRAICH, N., *Methodology of analysis of photovoltaic pumping systems. Example for a system installed in the northeast of Brazil*. 14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Espanha, pp 2284-2287, 1997.
- WIP, *Workshop on PV water supply system improvement*. Wirtschaft und Infrastruktur GMBH & CO Planungs – KG, STR/ 1229/97-DE, Munique, 1998.
- ZILLES, R., FEDRIZZI, M.C., *Avaliação PRODEEM – Fase I, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rondônia*. Versão preliminar, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável, março de 2000.

Publicações realizadas ao longo do desenvolvimento da pesquisa

- FEDRIZZI, M. C., ZILLES, R., *O processo de introdução e adoção de sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas na região do Alto Solimões, Amazonas*. Coletânea de artigos elaborada pelo CRESESB, no prelo.
- FEDRIZZI, M.C., SAUER, I.L., *Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos*. 4º Encontro de Energia no Meio Rural AGRENER-2002, Campinas, outubro de 2002.
- FEDRIZZI, M.C., SAUER, I.L., LORENZO, E., *What is wrong with those PV pumping systems in Brazil? VII World Renewable Energy Congress*, Colônia, Alemanha, julho de 2002.
- FEDRIZZI, M.C., SAUER, I.L. *Simple and useful instrumentation to determine the performance of PV pumping systems in the field. 17th European Photovoltaic Energy Conference*”, Munique, Alemanha, outubro de 2001.
- FEDRIZZI, M.C., SAUER, I.L., NODA, H. *Sistemas de bombeamento fotovoltaico de uso comunitário: implantação em comunidades isoladas na Amazônia*. 3º Encontro de Energia no Meio Rural, UNICAMP, Campinas, setembro de 2000.
- ZILLES, R., MORANTE, F., FEDRIZZI, M.C., *Avaliação dos sistemas fotovoltaicos instalados nas residências dos moradores da Ilha do Cardoso*. 3º Encontro de Energia no Meio Rural, UNICAMP, Campinas, setembro de 2000.
- FEDRIZZI, M.C., ZILLES, R., NODA, H. *PV systems implementation, experience in the Brazilian Amazon. VI World Renewable Energy Congress, Brighton, UK*, julho de 2000.
- FEDRIZZI, M. C., SERPA, P., *Sistemas Fotovoltaicos para o Abastecimento de Água: Uma Experiência de Adoção da Tecnologia*. VIII Congresso Brasileiro de Energia, pp. 1227-1231, Rio de Janeiro, 1999.