

PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ENERGIZAÇÃO DE UM
EQUIPAMENTO DE PESCA COM ELETRICIDADE

Carlos Roberto José da Silva Junior

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

Jorge Luiz do Nascimento, D. Eng.
(Orientador)

Sergio Sami Hazan, Ph. D.

Ricardo Iglesias Rios, Doutor em Ecologia.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Setembro de 2008

Dedicatória

Dedico este projeto a minha família, minha mãe Mara, meu pai Carlos, minha avó Albina e meu irmão Philipe, vocês são o meu porto seguro, minha fortaleza, sei que sempre posso contar com vocês.

Obrigado.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente a Deus, pela oportunidade dada, e que espero ter honrado, aos mentores espirituais que me ajudaram muito durante os momentos difíceis, com conselhos e belas palavras de incentivo.

Agradeço ao professor Jorge Luiz por todos os ensinamentos, não só relacionados a assuntos técnicos, como também aos da vida e, que com o passar do tempo além de professor, tornou-se um grande amigo.

Não poderia deixar de agradecer às pessoas que conheci durante o curso e que se tornaram muito importantes para mim, que de alguma forma me ajudaram e me fizeram crescer como homem. André, Aretha, Bruno, Davi, Danilo, Dudu, Diego, Diogo, Daniel, Douglas, Paulo Vinicius, Paulo Vitor, Sergio, Priscila, Renata, Renato, Wesley e principalmente a Aline Maria que muito me ajudou durante a elaboração desse texto.

Audaces Fortuna Juvat.
Provérbio de Origem Latina.

Resumo

Este texto trás, no primeiro capítulo uma introdução e a motivação deste trabalho. O segundo capítulo trás o histórico sobre a pesca com eletricidade e faz uma análise de todo o processo, abordando as reações produzidas nos peixes e a escolha do melhor tipo de corrente para pesca com eletricidade.

O capítulo três aborda a energia solar fotovoltaica e dos componentes necessários para a implementação de um sistema de geração de energia. O capítulo quatro apresenta uma descrição com maiores detalhes das informações de uma sessão de pesca.

O capítulo cinco efetua os cálculos e considerações necessárias para o projeto de um sistema fotovoltaico que atenda de forma eficiente às motivações supracitadas.

O capítulo seis apresenta acerca dos resultados obtidos, comentários e sugestões de modos de utilização que podem vir a ser temas de trabalhos futuros.

Abstract

This text back in the first chapter an introduction and the motivations of this work, the second chapter, about the history behind the fish with electricity and makes an analysis of the whole process, addressing the reactions produced in fish and the best choice for this type of Fishing with electricity.

Chapter three speaks of solar photovoltaic and components necessary for the implementation of a system for generating energy. Chapter four provides a description presents the details with the information at a meeting of fisheries.

Chapter five makes the calculations and considerations necessary for the design of a photovoltaic system that responds efficiently to the above reasons.

The chapter presents six scenarios about the results, comments and suggestions for ways to use that may be subjects of future work.

Lista de termos biológicos e fisiológicos

- Galvanotaxia (Galvanotaxis)

Uma mudança na direção de locomoção motora de um organismo ou célula que é feita em resposta a um estímulo elétrico. O peixe se fica “lerdo” vindo a ocupar uma posição ao longo da equipotencial.

- Galvanonarcose (Galvanonarcosis)

Estado em que peixes tornam-se inertes e imóveis e mostram pouca ou nenhuma resposta a estímulos externos; neste ponto o peixe poderá deixar de respirar por períodos curtos. Dependendo da espécie, alguns vão afundar e outros irão flutuar. Este é um ponto crítico, longos períodos de exposição ao campo elétrico podem causar a morte e, inversamente, os períodos mais curtos de exposição são ideais, pois o peixe vai se recuperar e voltar ao normal.

- Tetania

A tetania caracteriza-se pelos espasmos musculares e suas complicações.

- Motilidade

É um termo biológico que se refere à capacidade de mover-se de forma espontânea e ativa.

- Curarização

A indução de relaxamento muscular ou paralisia pela administração de corrente elétrica ou de outros compostos que têm a capacidade de bloquear a transmissão dos impulsos nervosos.

- Electrotaxia (Electrotaxis)

É devido ao efeito elétrico sobre os músculos dos peixes (os músculos contraem-se com cada pulso de corrente e, portanto, acentuando o movimento de natação), não como no CC, na qual o efeito elétrico estimula diretamente os nervos. Este tipo de efeito pode aumentar taxas de lesões nos peixes.

Índice

Capítulo 1	<u>Introdução e Motivação</u>	6
Capítulo 2	<u>Pescando com Eletricidade</u>	8
2.1	<u>Histórico da Pesca com Eletricidade</u>	8
2.2	<u>Reações dos Peixes às Correntes Elétricas</u>	10
2.2.1	<u>Reações Produzidas por Corrente Contínua</u>	11
2.2.2	<u>Reações Produzidas por Correntes Pulsantes</u>	14
2.2.3	<u>Reações Produzidas por Corrente Alternada</u>	16
2.3	<u>Comparações entre: Corrente Contínua, Correntes Pulsantes e Corrente Alternada</u>	17
2.3.1	<u>A Diferença Eletrostática e Efeitos de Tetanização</u>	17
2.4	<u>Escolha do Tipo de Corrente Elétrica</u>	18
2.5	<u>Equipamentos para Pesca com Eletricidade e Campos Elétricos</u>	19
2.5.1	<u>Componentes de um Sistema de Pesca com Eletricidade</u>	21
2.5.2	<u>Fontes de Energia</u>	21
2.5.3	<u>Proteção do Circuito de Força</u>	23
2.5.4	<u>Instrumentação</u>	24
Capítulo 3	<u>Energia Solar Fotovoltaica</u>	25
3.1	<u>Introdução</u>	25
3.2	<u>Efeito Fotovoltaico</u>	29
3.3	<u>Célula Fotovoltaica</u>	32
3.3.1	<u>Silício Monocristalino</u>	32
3.3.2	<u>Silício Policristalino</u>	33
3.3.3	<u>Silício Amorfo</u>	34
3.4	<u>Sistema Fotovoltaico</u>	35
3.4.1	<u>Módulo Fotovoltaico</u>	35
3.4.2	<u>Baterias</u>	37
3.4.3	<u>Reguladores de Carga</u>	38
3.4.4	<u>Inversores</u>	39
3.4.5	<u>Outros Componentes</u>	39
3.4.6	<u>Configurações de um Sistema Fotovoltaico</u>	40
3.5	<u>Campos de Utilização</u>	43

3.6	<u>Vantagens e Desvantagens</u>	44
Capítulo 4	<u>Descrição do sistema e do processo de pesca com eletricidade</u>	45
4.1	<u>Descrição da demonstração de uma sessão de pesca com eletricidade</u>	45
Capítulo 5	<u>Estudo, Dimensionamento e avaliação do sistema fotovoltaico como fonte de energia para a pesca com eletricidade</u>	49
5.1	<u>Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos</u>	49
5.2	<u>Dimensionamento do Controlador do Sistema de Cargas</u>	58
Capítulo 6	<u>Conclusão</u>	60
Capítulo 7	<u>Referências Bibliográficas</u>	61

Ilustrações

<u>FIGURA 2.1: Exemplos de Tipos de Formas de Onda de Correntes Pulsantes, que podem ser utilizadas na Pesca com Eletricidade. Fonte: [10].</u>	15
<u>FIGURA 3.1: Célula Fotovoltaica. Fonte: [7].</u>	26
<u>FIGURA 3.2: Constituição de um Módulo Fotovoltaico. Fonte: [6].</u>	27
<u>FIGURA 3.3: Diferenças entre Célula, Módulo e Instalação Fotovoltaica. Fonte: [6].</u>	28
<u>FIGURA 3.4: Faixas de Energia. Fonte: [18].</u>	29
<u>FIGURA 3.5: Corte Transversal de uma Célula Fotovoltaica. Fonte: [17].</u>	30
<u>FIGURA 3.6: Efeito Fotovoltaico na Junção p-n. Fonte: [17].</u>	31
<u>FIGURA 3.7: Célula de Silício Monocristalino. Fonte: [17].</u>	32
<u>FIGURA 3.8: Célula de Silício Policristalino. Fonte: [17].</u>	33
<u>FIGURA 3.9: Conexão de Células em Paralelo. Fonte: [17].</u>	36
<u>FIGURA 3.10: Arranjo das Células em Série. Fonte: [17].</u>	36
<u>FIGURA 3.11: Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico. Fonte: [17].</u>	40
<u>FIGURA 3.12: Diagrama de Sistemas Fotovoltaicos em Função da Carga Utilizada. Fonte: [17].</u>	41
<u>FIGURA 3.13: Exemplo de Sistema Híbrido. Fonte: [17].</u>	42
<u>FIGURA 3.14: Sistema Conectado à Rede. Fonte: [17].</u>	43
<u>FIGURA 4.1: Gerador a gasolina utilizado para pesca com eletricidade. Fonte: [19].</u>	45
<u>FIGURA 4.2: Eletrodo para pesca com eletricidade. Fonte: [19].</u>	46
<u>FIGURA 4.3: Eletrodo para pesca com eletricidade. Fonte: [19].</u>	47
<u>FIGURA 4.4: Proposta de um novo eletrodo para pesca com eletricidade. Fonte: [19].</u>	48
<u>FIGURA 5.1: Curva Característica VxI do módulo escolhido. Fonte: [20].</u>	51
<u>FIGURA 5.2: Curva Característica VxI do módulo escolhido e retas de carga para o menor e maior valor de resistência. Fonte: [20] – adaptado.</u>	53
<u>FIGURA 5.3: Curva Característica VxI do módulo escolhido e retas de carga para diversos valores de condutividade. Valores e condutividade: 1 – 40000 μS; 2 – 1000 μS; 3 – 100 μS; 4 – 20 μS. Fonte: [20] – adaptado.</u>	54
<u>FIGURA 5.4: Curva Característica VxI para a associação de três módulos em série e as retas de carga para o menor e maior valor de resistência. Fonte: [20] – adaptado.</u>	56
<u>FIGURA 5.5: Curva Característica VxI para a associação de três módulos em série e retas de carga para diversos valores de condutividade.</u>	57

Tabelas

<u>Tabela 2.1: Resumo das reações dos peixes aos diversos tipos de campos. Fonte: [1].....</u>	13
<u>Tabela 2.2: Taxa de Atração de Peixes aos Eletrodos. Fonte: [1].....</u>	17
<u>Tabela 3.1: Eficiência de Conversão e Custo de Células Solares. Fonte: [13]</u>	35
<u>Tabela 5.1: Características elétricas levantadas em um ensaio demonstrativo. Fonte: [19]</u>	50
<u>Tabela 5.2: Dados de Radiação Solar Média Diária, em kWh/m². Fonte: [16].....</u>	50
<u>Tabela 5.3: Informações do Módulo Fotovoltaico Escolhido. Fonte: [20]</u>	51
<u>Tabela 5.4: Valores mínimos de Tensão CC para o qual ocorre a primeira corrida ao anodo em relação à condutividade da água. Fonte: [1].....</u>	52
<u>Tabela 5.5: Valores de tensão e potencia consumida para o menor valor de resistência em função da condutividade</u>	54
<u>Tabela 5.6: Dados do Controlador Escolhido. Fonte: [8].....</u>	56
<u>Tabela 5.7: Valores de tensão e potencia consumida para o menor valor de resistência em função da condutividade</u>	57
<u>Tabela 5.8: Valores Escolhidos para o Projeto.....</u>	58
<u>Tabela 5.9: Dimensionamento dos Controladores de Carga.</u>	58
<u>Tabela 5.10: Resumo do Projeto.....</u>	59

Capítulo 1 Introdução e Motivação

A partir de uma interação entre o LAFAE (Laboratório de Fontes alternativas de Energia), na figura do Professor Jorge Luiz do Nascimento, e do professor Ricardo Iglesias, professor do Instituto de Biologia, em uma conversa informal sobre pescaria, surgiu um assunto até então desconhecido do pessoal do LAFAE, o processo de Pesca com Eletricidade. Junto com o novo assunto, apresentaram-se os problemas que o professor Ricardo vinha encontrando; problemas esses que eram quase todos relacionados com logística de equipamentos, obviamente, peça principal no processo de pesca.

A idéia original após esse contato era que esses problemas pudessem ser resolvidos pelos próprios alunos do laboratório. Mas, um novo desafio surgiu aos alunos do LAFAE, além de resolver os problemas relatados pelo biólogo, deveria ser discutida a viabilidade de aplicação de fontes alternativas de energia no processo de pesca, e, uma vez validada essa viabilidade, um projeto básico deveria ser elaborado. Uma justificativa para este desafio está no compromisso do laboratório, que é o da disseminação do conhecimento e popularização das fontes alternativas de energia, mostrando as facilidades criadas.

Tendo como ponto de partida as informações dadas pelo professor Ricardo Iglesias, iniciou-se, primeiramente um estudo sobre o que é, e como é feita, a pesca com eletricidade ou *eletropesca*, como ele costuma chamar. A pesca com eletricidade é uma importante ferramenta de pesquisa para a biologia. Por se tratar de uma atividade complexa, em que muitas variáveis estão envolvidas, tem também problemas bastante complexos, relacionados a diversos fatores ligados ao processo, não só relacionados com temas da área da biologia, como, por exemplo, preservação da integridade do peixe durante o processo, não interferência no ecossistema local, mas também a assuntos que são parte de outras áreas do conhecimento humano, como a garantia da qualidade do tipo de corrente elétrica utilizada no processo, a segurança do operador contra choques elétricos e a logística para execução do processo.

Dentro dos problemas citados anteriormente, serão analisados nesse texto alguns deles, e aqueles que envolvem conhecimento e conceitos de eletricidade e eletromagnetismo, serão tratados com mais detalhes, dentre eles, temos:

- Problemas com a fonte principal de energia:
 - ✓ Geralmente é um gerador a gasolina fornecendo corrente alternada;
 - ✓ Dependendo da necessidade para a pesca, é necessária a transformação da corrente alternada para corrente contínua, através de retificadores.

- Problemas relacionados ao combustível para o gerador:
 - ✓ Transporte e armazenamento;
 - ✓ Oferece uma autonomia limitada para quantidade de sessões de pesca e o tempo de cada uma delas;
 - ✓ Trata-se de uma fonte de energia não renovável.

Espera-se que através deste projeto seja possível atender as expectativas dos usuários quanto aos problemas que envolvem eletricidade, e para tal será proposto o projeto de um sistema fotovoltaico para alimentação do sistema.

A solução proposta é a utilização de módulos fotovoltaicos como fonte de energia do sistema de pesca com eletricidade. Os módulos seriam responsáveis por suprir a energia ao sistema de pesca e é dessa forma que o arranjo será dimensionado.

Capítulo 2 Pescando com Eletricidade

O texto a seguir apresentado é uma transcrição/adaptação do livro “Fishing with electricity”, de I. G. Cowx e P. Lamarque – Londres – 1990, onde todas as referências citadas no decorrer do texto podem ser encontradas.

2.1 Histórico da Pesca com Eletricidade

A pesca com eletricidade se desenvolveu a partir de diferentes origens e em diferentes ambientes, e deste modo tem uma história confusa. Ela se assemelha bastante àqueles tipos de atividades que dependem da exploração de um princípio físico, para o desenvolvimento de um equipamento.

O primeiro registro conhecido de pesca com eletricidade é o da patente de Isham Baggs, no ano de 1863 na cidade de Islington na Inglaterra. Este é um registro notável, que revela minuciosamente a abordagem prática desenvolvida, deve ter sido o resultado de uma experiência muito bem elaborada e conduzida.

Não houve grande desenvolvimento do processo prático, após o trabalho de Isham Baggs, porém, diversos estudos foram iniciados, predominantemente na Alemanha, na orientação e no movimento de peixes expostos a correntes elétricas contínuas (Mach, 1875; Herman, 1885). Na Inglaterra, Loeb e Maxwell (1896) demonstraram que as reações dos peixes eram devido a estímulos forçados nos neurônios motores, isto é, não eram reações voluntárias, isto é, os peixes poderiam ser manipulados. Blasius e Schweitzer (1893), entretanto, descobriram o fenômeno da *galvanonarcose*^[A2], um estado em que o peixe, quando submetido à corrente contínua, aparenta “dormir”, pois fica com o corpo relaxado quando posicionados próximos ao catodo. Em contraste com essa reação, pode ser observado um forte estímulo quando o peixe está posicionado próximo ao anodo, conhecido como *galvanotaxia*^[A3].

Aparentemente a prática da pesca com eletricidade desenvolveu-se bastante na Alemanha com Holzer (1932), utilizando como suporte a pesquisa fisiológica de Schminsky (1924). Entretanto, no início do século, há registros de pescadores japoneses usando bobinas de indução para conduzir enguias para fora de suas tocas em direção a uma rede (Takahashi, 1895, in Meyer-Warden, 1957). Há também uma patente reclamada por

Larssen de 1912, sobre o uso de eletricidade para apanhar uma grande variedade de criaturas aquáticas, desde pequenos peixes até mesmo focas, sugerindo que o reclamante reconheceu o promissor potencial que esta prática ofereceria, porém, o primeiro registro confiável de pesca com eletricidade é de 1917 nos Estados Unidos quando Burkey registrou a primeira de muitas patentes.

Depois da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), o desenvolvimento da pesca com eletricidade continuou na Alemanha, primeiramente tendo Denzer (1956) e Halsband (1959) como principais pesquisadores. Durante esse tempo, na Alemanha, já se estava bastante familiarizado com a forma de se controlar o comportamento do peixe em tanques por aplicação de corrente contínua, enquanto nos Estados Unidos as pesquisas eram conduzidas com a aplicação de corrente alternada. O pós-guerra Americano trabalhou inicialmente se preocupando com a construção de aparatos portáteis, capazes de ser operados por um único indivíduo, e adequados para locais de difícil acesso.

O uso de corrente alternada foi gradativamente substituído pela corrente contínua, proveniente de fontes de corrente alternada. Isto teve um efeito no pensamento subsequente de todo o processo de pesca, introduzindo-se então, certo grau de formalismo, que passou a ser necessário, para se evitar os acidentes fatais que passaram a ocorrer. Os dias de pesca com aparato experimental passaram. Em geral, as novas “máquinas” de pesca elétrica tiveram de ser construídas seguindo algumas normas previamente aprovadas.

A situação na Grã-Bretanha depois de 1945, fim da Segunda Guerra Mundial, forçou o desenvolvimento de um novo modelo de equipamento, a partir das raízes germano-americanas. A região do leste da Inglaterra, onde os rios são predominantemente lentos e de baixa condutividade, é levada a seguir as linhas Americanas e usar corrente alternada. Alternativamente, rios com fluxo rápido e com alta condutividade, existentes no sudeste da Inglaterra, tiveram lugar para as experiências com corrente contínua.

Durante este tempo, pesquisas e desenvolvimentos consideráveis surgiram de outros lugares. Por exemplo, na União Soviética, Strakhov e Nusenbaum (1959) desenvolveram telas elétricas e Schebtiakov (1960) redes elétricas de arrastão em lagos. Na América do Norte, Applegate et al. (1952) produziu uma eficiente tela elétrica contra a invasão de lampreias marinhas aos Grandes Lagos.

Em 1957, em Hamburgo, há uma primeira síntese de problemas com pesca elétrica que foi resolvida no primeiro FAQ Internacional Fishing Gear Congress (Kristjonson, 1959). Este foi seguido por um segundo, o World Fishing Congress em 1963 apesar de neste, a discussão da pesca elétrica ter sido mínima. Daí então, Clanchateau et al. (1961) na França e Nusenbaum e Faleeva (1961) na União Soviética, introduziram os elementos de uma teoria abrangente sobre a pesca com eletricidade, baseado em princípios fisiológicos. Em 1965, O Comitê Consultivo Europeu de Pesca no Interior (CCEPI) organizou um encontro, em Biarritz, França, de trabalhadores em pesca elétrica. Este grupo de trabalho recebeu trabalhos em vários aspectos dessa técnica, na qual foram agrupados em um livro, *Fishing with electricity* (Vibert, 1967a).

Em 1973, o grupo de trabalho se reúne novamente, em Gysisko, Polônia, para comparar a eficiência dos equipamentos portáteis usados pelos participantes na época (CCEPI, 1973), e elaborar testes sobre a fadiga e a mortalidade induzidas nos usuários pelo equipamento. Os resultados foram publicados por Chmielewski (1973a, b). Durante esse período um livro sobre os princípios gerais da pesca elétrica foi produzido por Stermin et al. (1972) e Halsband e Halsband (1984) atualizaram seu livro sobre o assunto.

Maiores avanços foram reportados para o CCEPI, debatidos no Simpósio em Estudos Sobre População de Peixes em Aviemore, Escócia no ano de 1974. Isto proporcionou novos projetos de equipamentos de pesca elétrica e também, instrumentos para a detecção e contagem de peixes migratórios que passam por um ponto de censo em um determinado local de um canal.

Na situação atual, avanços técnicos em conversores CA/CC e CC/CC baseados em eletrônica e eletrônica de potência têm possibilitado o projeto e construção de equipamentos de baixo peso, com virtualmente qualquer característica de corrente, elevando deste modo, o potencial para desenvolvimento no futuro.

2.2 Reações dos Peixes às Correntes Elétricas

Diversos autores têm efetuado classificações sobre as reações dos peixes a campos elétricos, entretanto é difícil obter concordância nas classificações, uma vez que as reações dos peixes variam, mais ou menos, de acordo com a espécie do peixe e com o tipo de

corrente elétrica aplicada. Apenas aqueles que trabalham somente com correntes CC estão de acordo nas classificações.

Para entender os mecanismos por trás das reações dos peixes a diferentes tipos de correntes é necessário perceber que corrente CC, corrente CC pulsante e corrente alternada são bastante diferentes e da mesma forma as reações produzidas por essas correntes são também bastante diferentes.

2.2.1 Reações Produzidas por Corrente Contínua

Essas reações podem ser observadas em tanques ou mesmo grandes calhas no qual um campo elétrico homogêneo (obtido com tensão constante) é criado entre dois eletrodos.

A primeira reação observada, independentemente da orientação do peixe no campo, é um movimento de tremor do corpo evidenciado pelo movimento da barbatana dorsal, que ocorre dentro da zona de atuação do campo elétrico de um dos eletrodos.

Essa reação preliminar não ocorre se o campo elétrico é aplicado/variado lentamente, o limiar dessa reação ocorre para cerca de 20 a 80 mV/cm, dependendo da espécie do peixe, daí então, os peixes dirigem-se para a zona de atuação do campo elétrico do eletrodo.

As reações seguintes correspondem ao aumento da tensão e da densidade de corrente aplicadas, ou da proximidade do anodo, dependendo também da direção que o peixe se encontra em relação ao catodo.

2.2.1.1 Peixes Frente a Frente com o Anodo

Com um campo elétrico de densidade de aproximadamente 120 mV/cm o nado começa a ser inibido. Conforme o gradiente de potencial aumenta, aproximando-se do valor de 150 mV/cm o peixe avança à frente, em direção ao anodo, fazendo-o de forma robusta, com grandes ondulações do corpo. Esta é a chamada “primeira corrida” em direção ao anodo (corrida forçada, uma vez que o nado acontece de maneira forçada).

Esta reação não deve ser considerada como um “*Galvanotaxia Anódica*”, que representa mudança na direção de locomoção em um organismo em resposta a um estímulo

elétrico, mas sim um componente dessa reação que somente ocorre quando o peixe está frente a frente com o anodo.

Com cerca de 340 mV/cm ocorre o fenômeno da *Galvanonarcose*. O peixe torna-se imóvel, e mostra pouca ou nenhuma resposta a estímulos externos; neste ponto o peixe poderá deixar de respirar por períodos curtos. Dependendo da espécie, alguns vão afundar e outros irão flutuar. Um ponto importante é que longos períodos de exposição ao campo elétrico podem causar a morte do peixe, por outro lado, períodos mais curtos são os ideais, pois o peixe logo vai se recuperar e voltar ao normal.

Com cerca de 800 mV/cm o peixe que estava em um estado de *galvanonarcose*, começa a nadar novamente, porém de uma forma descoordenada. Esta é a chamada “segunda corrida” em direção ao anodo (uma pseudo-corrida, uma vez que, o nado acontece de maneira forçada e descoordenada), que muitas vezes é acompanhado por tetania (espasmos musculares, muito comuns em enguias, por exemplo).

Quando o valor de corrente que produz essa reação é atingido o peixe é obrigado a nadar na direção do anodo. Como a reação ocorre após *curarização*, que é a indução de relaxamento ou paralisia muscular pela administração de corrente elétrica ou de outros compostos (químicos, por exemplo) que têm a capacidade de bloquear a transmissão dos impulsos nervosos, conclui-se que, esta tetania é resultado direto da excitação do músculo pela corrente elétrica.

2.2.1.2 Peixes Frente a Frente com o Catodo

Com o peixe frente a frente com o catodo a situação é contrária em termos da polaridade e da excitação nervosa. O aumento da tensão induz duas reações específicas, resultando eventualmente na orientação do peixe em direção ao anodo.

Uma delas é o nado facilitado – acontece junto com a “*Galvanotaxia Catódica*” com aproximadamente 116 mV/cm (o valor de campo em que o nado é inibido quando o peixe está frente a frente ao **anodo**), o peixe tende a nadar para longe do anodo, com ondulações do corpo curtas e rápidas.

Se o gradiente de tensão é aumentado para 150 mV/cm, o peixe se vira, faceando o anodo. Este é o mecanismo de meia-volta em direção ao anodo. Se o peixe não for submetido ao mecanismo de meia-volta, e continuar frente a frente com o catodo um rápido

aumento do gradiente para 350 mV/cm resultará em tetania catódica de origem nervosa (no mesmo valor limite que produz *galvanotaxia* em peixes frente a frente com o anodo), quando o corpo é tetanizado e treme intensamente.

O efeito desaparece depois das *curarização*, a segunda reação, indicando que sua origem é nervosa. Para valores maiores de campo, (acima de 1000 mV/cm) que é seguido por tetania catódica de origem muscular, evidenciado pela ausência de tremor.

2.2.1.3 Peixes Posicionados Lateralmente ao Anodo

Quando o peixe está inicialmente posicionado próximo ao lado do anodo, a diferença de potencial é transversal ao peixe e não ao longo dele. Por conseguinte, o peixe tem de estar bem próximo do anodo para que passe por ele uma corrente suficiente grande para induzir um tipo de reação.

Isso ocorre em uma posição fora da zona tetania e só um comportamento padrão é observado. Os nervos motores do lado “positivo” do peixe são estimulados diretamente, causando um tipo de contração aos músculos desse lado, fazendo os peixes se curvarem na direção do anodo, um processo conhecido como “*Anodic Curvature*” ou curvatura anódica.

Tabela 2.1: Resumo das reações dos peixes aos diversos tipos de campos. Fonte: [1]

	DC			Pulsante	AC
	Frente ao anodo	Frente ao catodo	Entre o catodo e o anodo		
Efeitos	Inibição do nado; Tremor do corpo; Primeira corrida ao anodo; Galvanonarcose (imobilidade do peixe); Segunda corrida ao anodo; Curarização (relaxamento).	Nado facilitado; Mecanismo de Meia-volta; Curarização (relaxamento).	Curvatura anódica.	Mesmas reações que em CC, exceto por: Inibição do nado; Galvanonarcose (imobilidade do peixe); Reações acontecem para um limiar menos de densidade de campo elétrico.	Oscilotaxia (nado em direção a um dos eletrodos); Fuga do peixe em campos fracos e tetania em campos fortes.

2.2.2 Reações Produzidas por Correntes Pulsantes

As reações do peixe para correntes pulsantes são bastante diferentes das provocadas por corrente contínua, e tomar uma por outra leva a uma confusão total do processo de pesca com eletricidade. A análise das reações utilizando mecanismos de impulsos CC torna-se extremamente complicada devido à variedade quase ilimitada de formas de corrente pulsantes que é possível gerar (principalmente devido ao desenvolvimento de dispositivos da eletrônica de potencia), como mostrado na FIGURA 2.1. Para simplificar a análise das reações será considerado o seguinte tipo de corrente: Pulsante de onda quadrada, à frequência de 100 Hz e a duração de pulso de 1 ms.

As seguintes reações produzidas por correntes CC, **não** ocorrem com este tipo de corrente (pulso de onda quadrada).

- Inibição do nado;
- *Galvanonarcose*;
- Segunda corrida ao anodo.

Quando o peixe está frente a frente ao anodo, ele nada normalmente com grandes ondulações, ao invés do nado com ondulações curtas e velozes (reação da corrente CC, com o peixe frente a frente ao anodo). Em comparação com a corrente CC o limiar da reação é consideravelmente reduzido. Por exemplo, para o exemplo de uma enguia: ocorre uma redução de 310 mV/cm em CC para 81 mV/cm, para a onda quadrada. O limiar da tetania também ocorre para valores de campo elétrico bem mais baixos, sem qualquer outra reação intermediária.

Se o peixe está orientado através do campo elétrico, *Curvatura anódica*, ocorre para cerca de 136 mV/cm ao invés de 350 mV/cm em CC. Quando o peixe está frente a frente ao catodo, a primeira corrida ocorre no mesmo limiar do que quando está frente a frente ao anodo, porém é seguido por uma “meia-volta” ao anodo.

No entanto, esta meia-volta não é tão eficaz como em CC. Assim, com corrente pulsante não há uma “meia-volta” completa nem uma verdadeira *Eletrotaxia anódica*, que

tem efeito sobre os músculos dos peixes (os músculos contraem-se com cada pulso de corrente e, portanto, acentuando o movimento de natação).

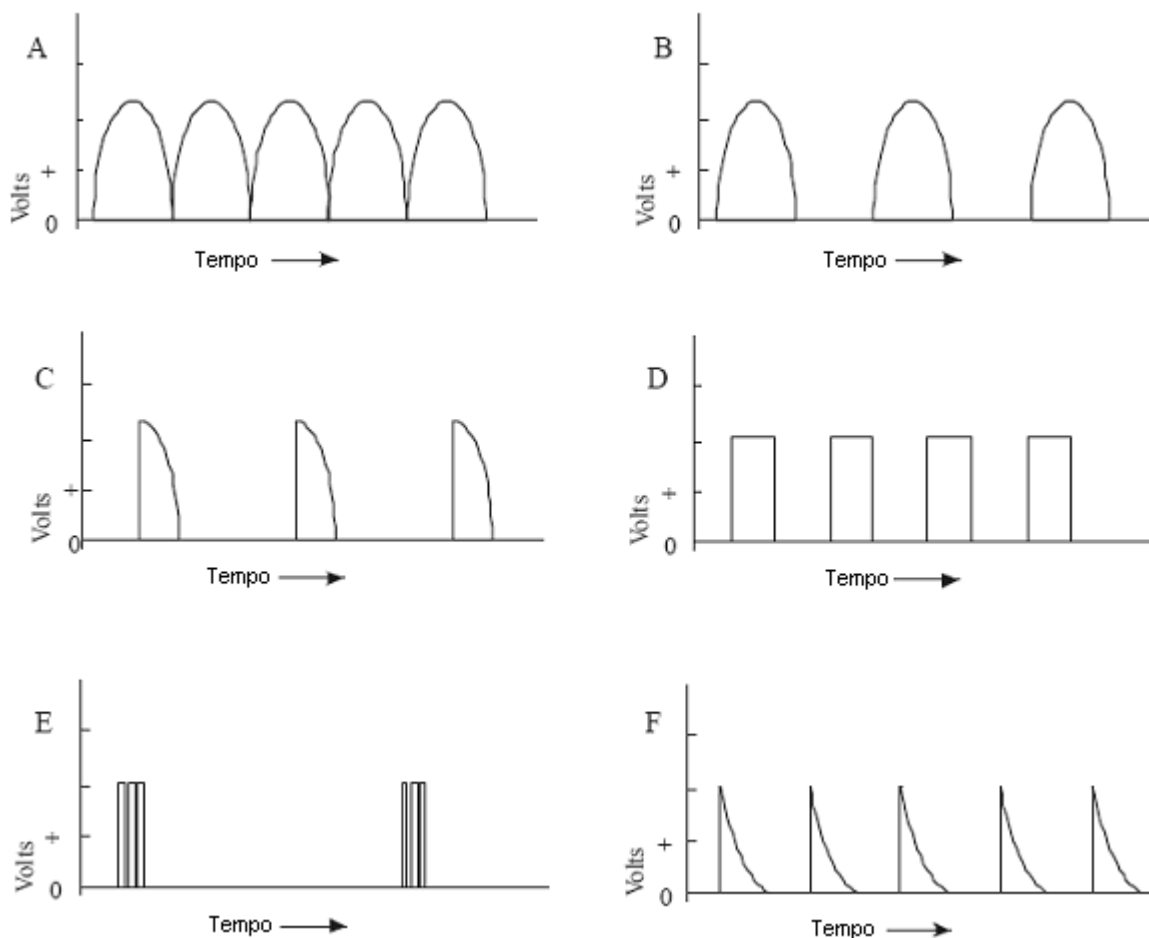


FIGURA 2.1: Exemplos de Tipos de Formas de Onda de Correntes Pulsantes, que podem ser utilizadas na Pesca com Eletricidade. Fonte: [10].

- (A) Corrente pulsante de onda completa gerada por um retificador CC, de onda completa sem filtro;
- (B) Corrente pulsante de onda meia onda gerada por um retificador CC, de meia onda sem filtro;
- (C) Corrente pulsante de um quarto de onda gerada por um retificador de meia onda controlado;
- (D) Corrente pulsante de onda completa gerada pela interrupção suave ou ripple CC;
- (E) Corrente pulsante modulada;
- (F) Corrente pulsante exponencial criada por descarga de capacitor.

[AMO5]

2.2.3 Reações Produzidas por Corrente Alternada

Com este tipo de corrente elétrica é importante ressaltar que a direção da corrente está mudando a cada meio ciclo e não há efeito de polaridade sobre o organismo. Sendo assim o peixe fica frente a frente com o anodo e o catodo, sucessivamente, tantas quantas vezes a corrente alterne.

Em um campo elétrico homogêneo, de baixa densidade, se o peixe está frente a frente com um dos eletrodos ele irá nadar nesse sentido, dado que existe um estímulo geral no seu corpo, semelhante ao da corrente pulsante, essa reação é chamada de *oscilotaxia*. O mecanismo ocorre, por que, para todas as frequências, o limiar da reação é mais baixo quando o peixe está frente a frente ao catodo, e, em um campo alternado o peixe sempre vai reagir como se estivesse em tal posição. Sob estas circunstâncias, sempre há um estímulo geral dos nervos motores pelas cargas negativas. O reflexo da excitação que usualmente ocorre quando o peixe está frente a frente com o anodo não tem lugar durante o semi-ciclo positivo, uma vez que o limiar de reação é alto. Os valores de frequências “ótimas” para induzir *oscilotaxia* em enguias e trutas européias são de 200 e 100 Hz respectivamente.

Após algumas corridas em cada uma das direções o peixe adota uma posição transversal no campo, *Oscilotaxia Transversa*, posição em que permanece. Nesta situação de estímulo em um dos lados do corpo do peixe, que é sempre superior, faz o peixe adotar a posição transversal ao campo. Nesta posição não há *Curvatura anódica* por que o estímulo continua simétrico aos dois lados do corpo, isto é, não há efeito de polaridade com corrente alternada. Se o peixe tenta escapar ele é forçado a retornar e eventualmente ele cai em tetania. Para um pequeno aumento de tensão o peixe é tetanizado no mesmo local onde ele está. Se o peixe está parado o campo que atravessa seu corpo não varia, logo não passa corrente por seu corpo, porém se ele tenta sair de sua posição, o campo varia e uma corrente é induzida em seu corpo, causando a tetania.

Nas condições do campo, um peixe frente a frente a um dos eletrodos com um valor baixo de corrente, nada em sua direção, aproximando-se mais ou menos pela inércia, e então é tetanizado. Para um peixe que não está orientado nessa direção, ele nadará para longe do eletrodo se a densidade de corrente for baixa ou será tetanizado, caso seja alta.

Quando tilápias, por exemplo, são expostas a corrente alternada, sua reação é atípica, cerca de 80% sobem a superfície e permanecem lá, nadando fracamente. Este tipo

de reação é potencialmente útil para apanhar esta espécie de peixe e outras espécies que possuam esta mesma reação. A causa deste tipo de reação é desconhecida.

2.3 Comparações entre: Corrente Contínua, Correntes Pulsantes e Corrente Alternada

A gama de tipos de habitat para se pescar varia consideravelmente, e as respostas dos peixes aos diferentes tipos de corrente são importantes na escolha do equipamento para uso em campo.

- Correntes CC: Têm boa *Galvanotaxia anódica* e induz tetania somente nas imediações do eletrodo.
- Correntes pulsantes: Têm fraca *Eletrotaxia anódica* e tetaniza ainda mais a partir do anodo, prevenindo que algum peixe atinja o eletrodo.
- Correntes CA: Não têm *eletrotaxia*, peixes são tetanizados a maiores distâncias do eletrodo que nas correntes CC e pulsantes.

2.3.1 A Diferença Eletrostática e Efeitos de Tetanização

Com corrente CC os peixes são imobilizados e recolhidos próximo ao anodo, por outro lado são mais dispersados pela corrente CC pulsante. Além disso, com corrente CC pulsante algumas trutas do experimento tiveram a espinha vertebral quebrada, enquanto que com a corrente CC não tiveram ferimentos. O relacionamento entre o limiar da primeira corrida e o limiar da tetania expressa essa variabilidade de *Eletrotaxia anódica*.

Em geral a corrente mais útil é aquela que atrai os peixes de uma grande distância e os mantém perto do anodo. Com corrente CA a taxa de atração (Tabela 1) poderia ter sido consideravelmente menor, porém não foi medida.

Tabela 2.1: Taxa de Atração de Peixes aos Eletrodos. Fonte: [1].

Tipo de Corrente	Taxa
DC	4.54
Onda Quadrada 100 Hz	2.03
Onda Quadrada 100 Hz	2.49

2.4 Escolha do Tipo de Corrente Elétrica

A escolha do melhor tipo de corrente elétrica para a pesca com eletricidade é baseada tanto em razões práticas quanto fisiológicas (que não serão detalhadas). Exemplos de razões práticas podem incluir:

- A combinação da alta condutividade da água e um equipamento portátil implicam no uso de corrente pulsante, que economiza energia e também pode reduzir o peso/tamanho da fonte de tensão;
- Baixa condutividade da água conduz a mesma conclusão acima, uso de corrente pulsante, porém nesta situação é necessário o uso de tensões de maior amplitude;
- Condições adversas no local de pesca podem forçar uma situação em que seja necessário atrair os peixes para perto do eletrodo, neste caso pode-se usar corrente puramente CC ou retificada;
- Uma faixa de condições de pesca na qual necessita, de uma combinação de vários tipos de correntes, algumas vezes usadas simultaneamente.

Do ponto de vista fisiológico a escolha da corrente deverá ser aquela que não fadigue o peixe, que cause o menor dano possível, e os atraia para o eletrodo. Para efeitos fisiológicos as correntes podem ser classificadas, da pior para a melhor, na seguinte ordem:

- Corrente alternada, 50 ou 60 Hz;
- Corrente alternada, 300 Hz;
- Corrente retificada de meia onda, 50 ou 60 Hz, monofásica;
- Corrente retificada de onda completa, 50 ou 60 Hz, monofásica;
- Pulsos de onda quadrada, duração de 1ms, frequência < 200Hz;
- Corrente retificada de meia onda, 300 Hz, monofásica;
- Corrente retificada de onda completa, 600 Hz, monofásica;
- Corrente retificada de meia onda, trifásica;
- Corrente retificada de onda completa, trifásica;
- Corrente puramente CC.

Todos estes tipos de corrente já foram utilizados em testes de campo, para uma gama de espécies e condições de campo. As razões por de trás da sequência podem ser atribuídas aos seguintes fatos: Para produzir boa *eletrotaxia* é necessário evitar a tetania, para tal, é necessário estimular as células nervosas e não as fibras musculares, assim como, proteger os nervos motores contra a hiper-reflexividade. Deste ponto de vista, a corrente puramente CC é a melhor escolha, porém, como indicado anteriormente, o consumo de energia é elevado e, o limiar das reações é obtido com valores de tensão razoavelmente maiores do que com correntes variáveis ou alternadas, além disso, CC não pode ser transformada, portanto, parece necessário usar correntes pulsantes, originadas de uma fonte CA que pode ser transformada.

Com um pulso de duração usual de 1 – 3ms, a qualquer frequência, ocorrerá o pior efeito de estímulo, como as fibras estão totalmente excitadas sem qualquer proteção anódica, uma forte tetania certamente ocorrerá. Com um pulso de duração um pouco menor que o valor usual, ($< 0,25\text{ms}$ para atenção utilizada na pesca com eletricidade) não ocorre estímulo direto das fibras, se a frequência é muito maior que a frequência natural do organismo, entre 400 e 1000Hz, a componente CC de pulsos curtos pode causar um acúmulo nas células do corpo, e uma simulação do mecanismo CC irá acontecer. Tal corrente foi verificada na prática no ano de 1976, mas nunca foi utilizada em campo, apenas em algumas experiências de laboratório.

Para obter o melhor acúmulo de efeito é necessário utilizar correntes com fortes componentes CC, por exemplo, ondas quadradas, com o comportamento da seguinte forma; frequência de 1 KHz, 10% de ciclo de trabalho e duração do pulso de 0.1ms, o comportamento será igual ao da corrente CC, porém o limiar das reações será maior que o CC.

2.5 Equipamentos para Pesca com Eletricidade e Campos Elétricos

A função de um sistema de pesca com eletricidade é produzir no peixe próximo ao eletrodo, estímulos elétricos apropriados que permitam facilmente sua captura ou imobilização, ou estimular o peixe a mover-se ou permanecer em regiões onde redes ou armadilhas podem facilmente ser utilizadas.

Com corrente alternada o estímulo simplesmente imobiliza o peixe, e algumas vezes é suficiente para aumentar a eficácia de uma rede de arraste. No entanto, muitas vezes, os peixes são imobilizados em profundidades superiores ao alcance da rede rebocada não sendo possível sua captura. A forte eletro-tetania associada com a corrente alternada pode facilmente causar lesões aos peixes e como resultado a pesca utilizando corrente alternada não é recomendada. Assim sendo, aqui será tratado de forma superficial.

Em sistemas com corrente contínua ou, em menor escala, com correntes pulsantes, peixes próximos ao anodo apresentam nado forçado (*eletrotaxia*) em direção ao anodo, e por isso são mais facilmente recolhidos ou guiados para uma posição desejada.

É bem sabido que os peixes são mais suscetíveis a corrente alternada do que a corrente contínua, uma vez que o raio de ação da corrente alternada de um sistema de pesca com eletricidade operando a determinada tensão é maior que o da corrente contínua operando à mesma tensão. Uma corrente pulsante adequada é geralmente mais efetiva na pesca com eletricidade do que uma corrente contínua e de certa forma combina com a resposta do nado forçado desejado da corrente contínua com um raio de ação maior associado a corrente alternada.

A principal função dos sistemas de pesca com eletricidade é estabelecer uma corrente elétrica na água próxima ao peixe, uma porção dessa corrente passará pelo peixe e, se sua amplitude for suficientemente grande, induzirá o efeito desejado. O ponto importante é que a corrente é a variável de preocupação. Tensão no eletrodo, espaçamento, tamanho e etc, são parâmetros importantes somente na medida em que influenciam a corrente.

Baseado nesse conceito, para qualquer sistema de pesca com eletricidade existe um valor mínimo de corrente por eletrodo que afetará a pesca até uma distância especificada do eletrodo. Esta corrente mínima dependerá do tamanho e do formato do eletrodo, natureza da corrente (DC, pulsante ou CA), faixa de ação desejada, espécie do peixe, temperatura da água, condutividade da água e provavelmente muitos outros fatores menos óbvios. De todos esses fatores, somente o tamanho e o formato do eletrodo e a natureza da corrente estão sob o controle do projetista. Todos os demais fatores são variáveis externas que devem ser compensadas por ajustes controlados na operação do equipamento.

2.5.1 Componentes de um Sistema de Pesca com Eletricidade

Os componentes de um sistema de pesca com eletricidade podem ser classificados em 6 subsistemas de acordo com as funções, que serão detalhadas mais adiante:

- Fontes de Energia: Fornecer energia para alimentar o sistema;
- Transformador de Energia: Transformar a energia elétrica, de forma a atender a aplicação de forma específica;
- Instrumentação: Fornecer dados sobre o desempenho do sistema;
- Interconexão: Conduzir de forma segura a energia transformada da fonte aos eletrodos;
- Eletrodos: Acoplar propriamente a energia transformada à água;
- Equipamentos auxiliares: Fornecer as funções periféricas necessárias para a pesca com eletricidade (redes, luzes (em caso de pesca noturna), bombas, aeradores e etc).

2.5.2 Fontes de Energia

Consistem desde uma pequena bateria para sistemas portáteis até robustos geradores para grandes unidades.

2.5.2.1 Baterias

Geralmente baterias seladas de chumbo-ácido, de 12V, semelhantes às utilizadas em automóveis são utilizadas em sistemas de pesca com eletricidade. Vale mencionar que reguladores de tensão são utilizados para compensar a queda de tensão devido ao descarregamento da bateria pelo uso.

2.5.2.2 Geradores CC

Diferentemente das baterias, geradores não necessitam de um regulador de tensão para fornecer a excitação ao sistema de pesca com eletricidade. É muito comum encontrar sistemas de pesca com corrente contínua onde o gerador é ligado diretamente aos eletrodos sem qualquer equipamento de transformação ou medição. Nestes casos o gerador é usado

também para alimentar lâmpadas e pequenas cargas, porém, esta prática não deve ser permitida por razões de segurança. Uma pequena fonte de menor capacidade deve ser destinada a atender essas cargas auxiliares. A ausência de instrumentação e capacidade de controle desses sistemas diretamente alimentados limita sua aplicabilidade e eles logo foram substituídos por sistemas mais flexíveis.

Em sistemas onde o gerador CC alimenta diretamente os eletrodos, variações na velocidade da máquina geradora podem fornecer algum controle sobre a tensão de saída, mas na maioria dos casos a faixa de variação é bastante limitada.

Um verdadeiro gerador CC é uma máquina elétrica que emprega um comutador e escovas para mecanicamente converter potência elétrica CA produzida no interior da máquina em potência CC nos terminais da mesma. Há ainda, máquinas que utilizam retificadores eletrônicos para converter corrente CA em CC. Em algumas máquinas a corrente de campo, que estabelece o campo magnético que vai gerar a tensão de saída pode ser variada, para controlar a amplitude da tensão de saída, porém, isto é pouco comum nos pequenos geradores disponíveis comercialmente.

2.5.2.3 Geradores CA

Geradores CA não necessitam de comutador e escovas, então, portanto, são máquinas mais robustas. A forma de onda da saída é tipicamente senoidal com as frequências mais comuns sendo 50, 60, 180 e 400 Hz; podem ser trifásicas ou monofásicas. As tensões de saída de um gerador trifásico são iguais em amplitude e defasadas uma das outras de um terço de ciclo, que é chamada de operação balanceada. Este tipo de operação fornece uma forma melhor de excitação para retificadores, o que resulta em um *ripple* bem menor na saída CC, praticamente dispensando assim o uso de filtros.

Assim como na máquina CC, a tensão de saída de alguns geradores CA pode ser alterada, modificando-se a corrente de campo, sem causar modificações na frequência. Um gerador trifásico é a máquina preferida para a maioria das aplicações de pesca com eletricidade, primeiramente porque ele é menor e mais leve que uma máquina monofásica de mesma potência e melhor adaptada como fonte para a maioria dos retificadores. Um sistema transformador-retificador fornece uma fonte tensão CC controlada sem a

necessidade de grandes filtros, como os que seriam necessários para um gerador monofásico.

Se comparado com o gerador CC, a facilidade do controle da tensão com transformadores para casar o gerador com a condutividade da água é a maior vantagem de um gerador CA.

2.5.2.4 Escolha do Nível da Fonte de Tensão

A escolha do nível de tensão da fonte para pesca com eletricidade, seja em CA ou em CC, é determinado pela máxima condutividade da água, do tamanho do eletrodo a ser utilizado e pelas limitações de peso.

Em geral, a variedade de possibilidades de pesca com eletricidade aumenta conforme se aumenta a potência disponível na fonte, escolhendo-se assim sempre a maior fonte, lembrando-se porem, das limitações de tamanho e peso. No caso da pesca em águas com baixa condutividade, a única limitação na potência da fonte a ser escolhida é a limitação do tamanho do eletrodo. Com correntes pulsantes, a escolha da fonte é ligeiramente diferente, pois a quantidade de potência pode ser alterada modificando-se parâmetros da forma de onda, como por exemplo, o ciclo de trabalho e a frequência do pulso.

2.5.3 Proteção do Circuito de Força

Como em qualquer circuito uma chave seccionadora e um dispositivo de proteção devem ser providenciados. Em um sistema de pesca com eletricidade a carga pode variar consideravelmente por causa de variações na condutividade da água (causado, por exemplo, por uma mudança na intensidade da correnteza).

Tais mudanças podem causar condições de sobrecarga, forçando a atuação do sistema de proteção, ou forçar o sistema a operar em condições bem abaixo das condições normais de carga, por essa razão os disjuntores são os melhores dispositivos para proteção principal do sistema. A proteção dos circuitos auxiliares pode ser feita através de fusíveis, uma vez que a proteção principal não atue.

2.5.4 Instrumentação

Para permitir a melhor utilização do equipamento, provisão de equipamentos de medição adequados é essencial. Alguma forma de indicação da condição ou nível da fonte de energia sempre deve ser fornecida ao operador, para que ele tenha total conhecimento de como o sistema está sendo utilizado e das condições gerais de energia do sistema.

Medidas dos valores de pico das grandezas elétricas são os melhores indicadores do desempenho da pesca com eletricidade. Valores RMS fornecem uma medida do efeito do aquecimento que a tensão e a corrente provocam, e não tem grande importância na pesca com eletricidade, além de fornecer informações da potência consumida.

Instrumentos auxiliares para medição da condutividade da água, intensidade de campo elétrico na água e resistência de isolamento de equipamentos são necessários para o projeto, avaliação e manutenção do sistema.

2.5.4.1 Sistemas CA

Para a operação de um sistema CA, um voltímetro e um conjunto de três amperímetros são suficientes.

2.5.4.2 Sistemas CC

Para a operação de um sistema CC, um voltímetro e um amperímetro para indicar o nível de tensão e corrente da saída é tudo o que se necessita.

2.5.4.3 Sistemas Correntes Pulsantes

No caso de correntes pulsantes, dois voltímetros são úteis; um para medir a tensão de pico e outro para medir a tensão média. A comparação das duas leituras fornece a informação sobre o ciclo de trabalho dos pulsos de saída. Se o sistema é alimentado por uma bateria, um amperímetro e um voltímetro devem ser utilizados.

Capítulo 3 Energia Solar Fotovoltaica

3.1 Introdução

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Edmund Becquerel, numa solução de selênio. Becquerel notou o aparecimento de uma tensão entre os eletrodos de solução condutora, quando esta era iluminada pela luz solar. Mais tarde, por volta do ano de 1870, o efeito fotovoltaico foi estudado em sólidos, tal como o próprio selênio, e por volta de 1880, a primeira célula fotovoltaica foi construída utilizando-se o selênio. A eficiência desta célula era na faixa de 2%.

Pesquisas em aplicações práticas para a tecnologia fotovoltaica foram iniciadas nos Estados Unidos da América na década de 50. Em 1954, o Laboratório Bell produziu a primeira célula fotovoltaica de silício de junção p-n. A partir de então, trabalhou-se na obtenção de um sistema realizável e de longa duração para sistemas de alimentação de satélites.

As células fotovoltaicas rapidamente tornaram-se a escolha preferida para a alimentação de satélites, e permanece assim até nossos dias. A partir dos anos 70, o preço das células fotovoltaicas para aplicações espaciais tem caído, incentivando o uso para a geração de eletricidade em larga escala sobre o planeta.

O efeito fotovoltaico permite a geração de eletricidade diretamente a partir de luz solar, utilizando material semicondutor (comumente o silício) como elemento transformador, conhecido como célula fotovoltaica. A célula fotovoltaica é um disco de material semicondutor, o qual foi dopado com uma pequena quantidade de impurezas, que irão gerar de um lado do disco carga positiva e do outro, carga negativa, (designado como tipo p ou tipo n) formando desta forma um grande diodo.

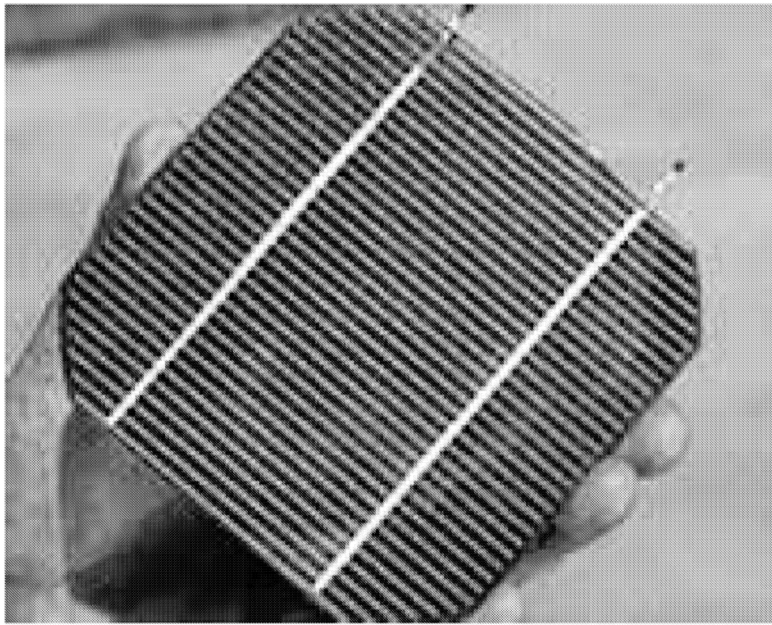


FIGURA 3.1: Célula Fotovoltaica. Fonte: [7].

Ao incidir luz sobre uma célula fotovoltaica, os fótons que a integram chocam-se com os elétrons da estrutura do silício dando-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo eléctrico gerado na união P-N, os eletrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N". Desta forma, então, forma-se à circulação de elétrons.

Para que uma célula solar seja eficiente, é preciso, por um lado, que a maioria dos fótons do espectro solar sejam absorvidos pelo semiconductor e, por outro, que os portadores de carga fotogerados sejam separados internamente e coletados em um circuito exterior.

Um módulo fotovoltaico consiste na interconexão de várias células fotovoltaicas acondicionadas em uma caixa e protegidas com uma película anti-reflexiva e vidro. Para aumentar a potência eléctrica, forma-se um arranjo com vários módulos fotovoltaicos, com ligações série-paralelo. Após serem interligadas, as células são encapsuladas com a finalidade de isolá-las do exterior e protegê-las das intempéries bem como para dar rigidez ao módulo.

O módulo, como mostra a FIGURA 3.2, é constituído das seguintes camadas: vidro de alta transparência e temperado, acetato de etil vinila (EVA), células, EVA e filme de fluoreto de polivinila (*Tedlar*) ou vidro. A seguir, é colocado o marco de alumínio, para dar

o acabamento e facilitar a instalação. A durabilidade destes módulos é superior a 30 anos e atualmente está determinada pela degradação dos materiais usados no encapsulamento, ou seja, a durabilidade das células solares de silício cristalino é bastante superior, por serem encapsulados com materiais de melhor qualidade.

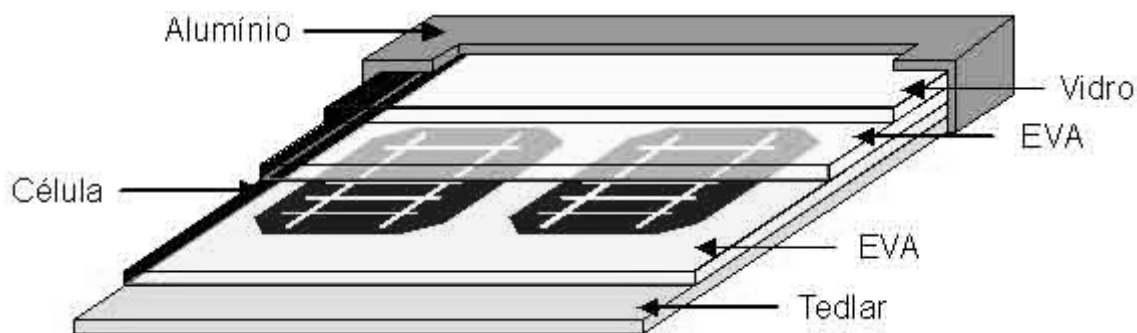


FIGURA 3.2: Constituição de um Módulo Fotovoltaico. Fonte: [6]

Hoje, muitos materiais semicondutores são apropriados para a conversão fotovoltaica. Entre eles, o silício cristalino e o silício amorfo hidrogenado são os mais comumente usados. No primeiro, os átomos ocupam posições regulares no espaço, formando uma rede perfeitamente periódica (cristal). No segundo, que é de utilização mais recente e mais promissora do ponto de vista econômico, essa periodicidade não é respeitada. Alguns dos defeitos que acompanham a estrutura imperfeita são compensados com átomos de hidrogênio. Filmes muito finos de silício amorfo hidrogenados são suficientes para a fabricação de células solares relativamente eficientes. Outros materiais como arseneto de gálio e filmes finos de $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$, e CdS-InP estão sendo pesquisados.

Em laboratório, é possível a fabricação de células solares de silício cristalino com até 20% de eficiência de conversão; as produzidas industrialmente apresentam uma eficiência da ordem de 10% a 12 %. No caso do silício amorfo hidrogenado, obtêm-se de 10 a 12 % de eficiência em laboratório, e de 7 a 8 % nos módulos produzidos maciçamente, porém seu custo de fabricação é menor que o das células de silício cristalino. Muitos laboratórios no mundo estão empenhados em desenvolver tecnologias que otimizem os parâmetros de custo e eficiência.

A geração de eletricidade a partir de um sistema solar fotovoltaico é considerada uma tecnologia energética promissora, ainda mais com a atenção que as questões ambientais vêm recebendo. O processo de geração, executado por dispositivos semicondutores, não tem partes móveis, não produz cinzas nem outros tipos de resíduos e, por não liberar calor residual, não altera o equilíbrio da biosfera, na verdade, se assemelha mais à fotossíntese que aos processos convencionais de produção de energia. Como não envolve queima de combustíveis, não tem qualquer tipo de contribuição para o efeito estufa.

Uma vez que os sistemas são modulares, a eletricidade solar fotovoltaica tem múltiplas aplicações: os módulos necessários à geração da potência requerida podem ser rapidamente instalados. A ampliação da potência é obtida pela simples adição de módulos. Os sistemas são freqüentemente usados nas telecomunicações, como em repetidoras de microondas. Nos países em desenvolvimento, as aplicações ideais encontram-se nas áreas isoladas ou distantes das redes de distribuição de energia elétrica: comunicações, bombeamento d'água, processamento de alimentos, sistemas de refrigeração, sinalização automática ou eletrificação de cercas, são algumas aplicações facilmente encontradas.

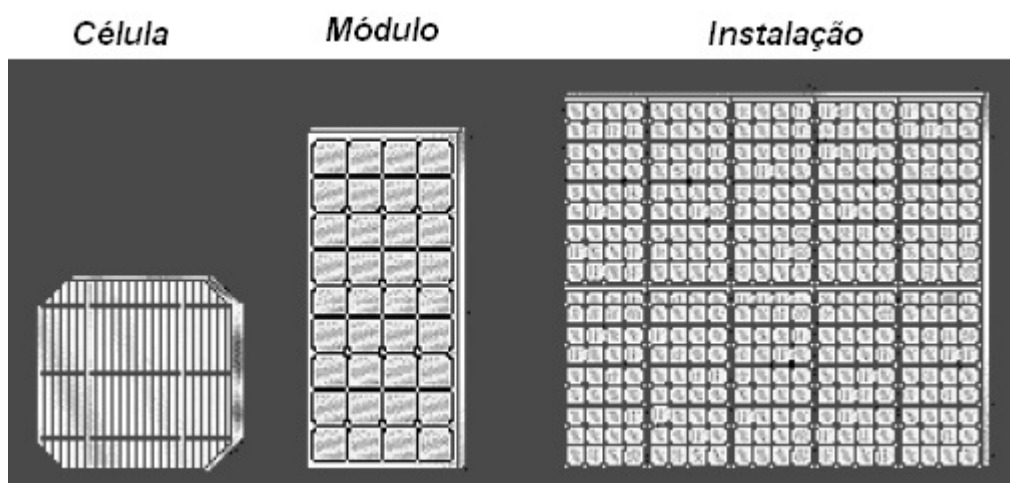


FIGURA 3.3: Diferenças entre Célula, Módulo e Instalação Fotovoltaica. Fonte: [6]

A geração de grandes potências, da ordem de dez megawatts, tem sido empreendida com sucesso nos EUA. Na Europa e no Japão, centrais menores alimentam as redes

comerciais, permitindo economia de combustíveis fósseis. Até o momento, o quilowatt-hora de origem solar custa de dois a quatro vezes mais que o produzido por métodos convencionais. Porém, à medida que as tecnologias evoluem, esses custos tendem a diminuir, e espera-se que dentro dos próximos dez anos possam realmente competir com os de geração de eletricidade pela queima de combustíveis fósseis ou nucleares, o que permitirá a expansão de suas aplicações. A descoberta de novos materiais e tecnologias além da adoção de escalas maciças de produção poderão fazer, sem dúvida, da conversão fotovoltaica, uma das fontes energéticas mais convenientes para a humanidade.

3.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores, que são materiais que conduzem eletricidade de forma mais efetiva que os isolantes e menos do que os condutores. Eles se caracterizam pela presença de faixas de energia onde é permitida a presença de elétrons (faixa de valência) e de outra faixa totalmente "vazia" (faixa de condução). Fótons, na faixa da luz visível, com energia suficiente, podem excitar elétrons da faixa de valência para a faixa de condução.

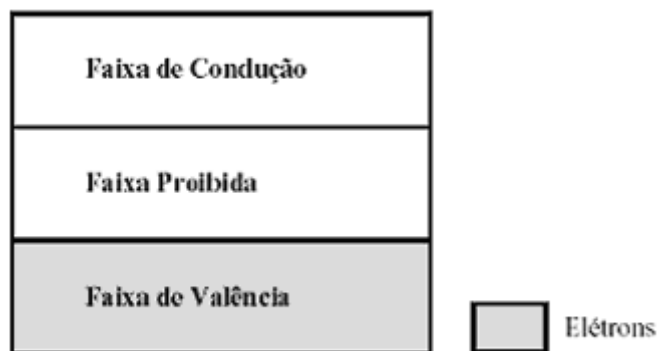


FIGURA 3.1: Faixas de Energia. Fonte: [18]

Entre os semicondutores, o mais usado para a aplicação fotovoltaica é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Se adicionarmos, a esta rede, átomos com cinco elétrons de ligação,

como o Fósforo, haverá um elétron em excesso, fracamente ligado ao átomo. Logo, com pouca energia, pode-se deslocá-lo para a faixa de condução. Diz-se que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se “*dopante n*” ou “*impureza n*”.

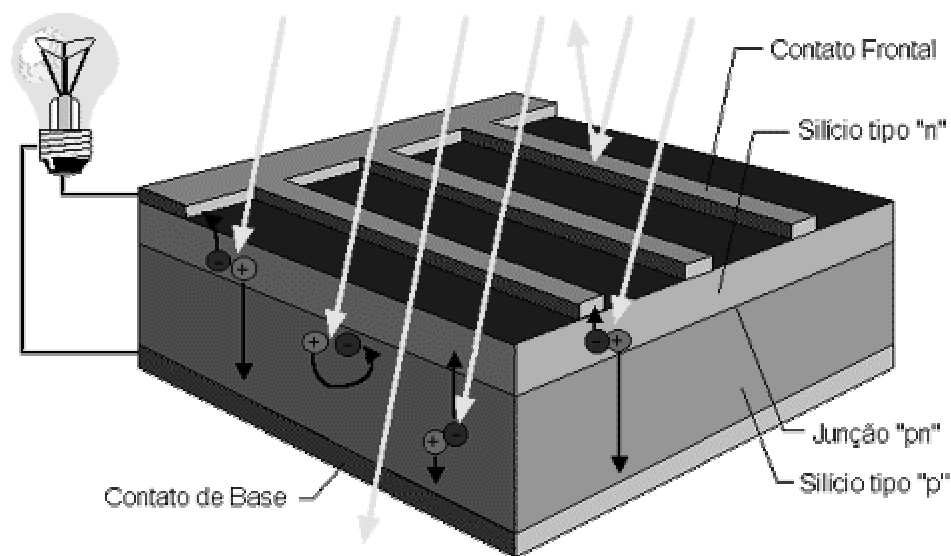


FIGURA 3.2: Corte Transversal de uma Célula Fotovoltaica. Fonte: [17]

Se, por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do Boro, haverá falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada de buraco ou lacuna e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um dopante receptor de elétrons e denomina-se “*dopante p*” ou “*impureza p*”.

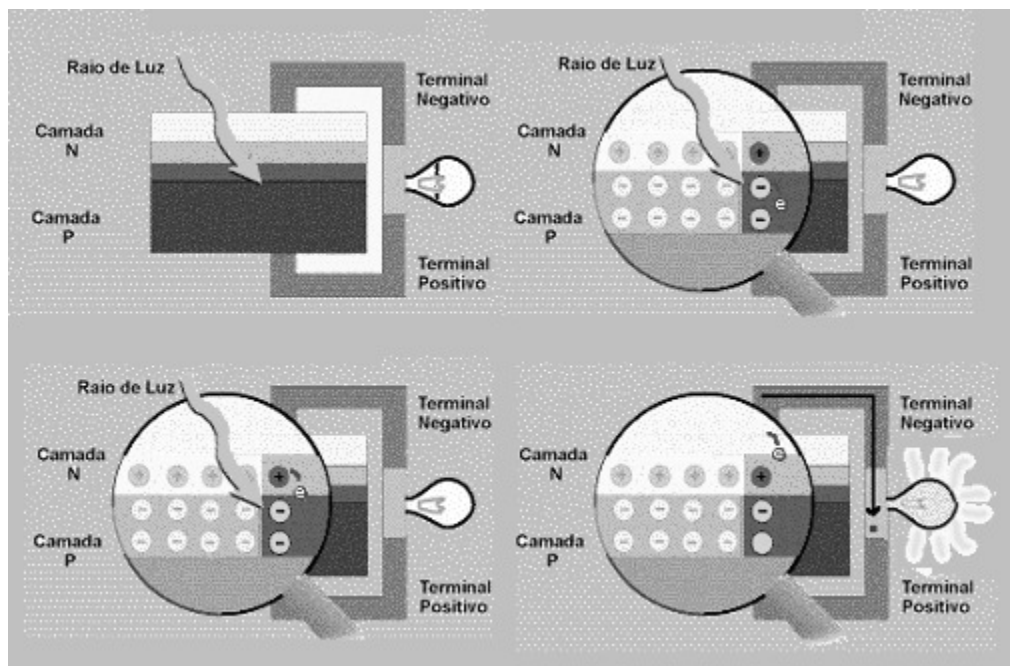


FIGURA 3.3: Efeito Fotovoltaico na Junção p-n. Fonte: [17]

[AMO12]

Partindo de um silício puro e introduzindo-se em uma face átomos de Boro, e na outra, átomos de Fósforo, forma-se uma *junção p-n*. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam. Isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p. Este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n.

Se a junção for exposta a fótons com energia maior que a necessária para um salto eletrônico da camada de valência para a de condução, ocorrerá uma geração de pares elétrons-lacuna. Se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção. Este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial (efeito fotoelétrico). Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas.

3.3 Célula Fotovoltaica

As células fotovoltaicas são os elementos responsáveis pela conversão direta da luz solar em eletricidade. É neles que ocorre o efeito fotoelétrico. As primeiras células produzidas possuíam baixo rendimento, em torno de 2%, e custavam em média U\$ 600/W. Atualmente já se pode encontrar célula com rendimento acima de 10%, podendo atingir 18% dependendo do material utilizado e com custo médio de U\$ 6/W, tendendo a diminuir cada vez mais. Elas podem ser fabricadas usando-se diversos tipos de materiais semicondutores, porém as mais utilizadas são as de silício, que podem ser constituídos e classificados de acordo com a sua estrutura molecular, que são os monocristalinos, policristalinos e silício amorfo.

3.3.1 Silício Monocristalino

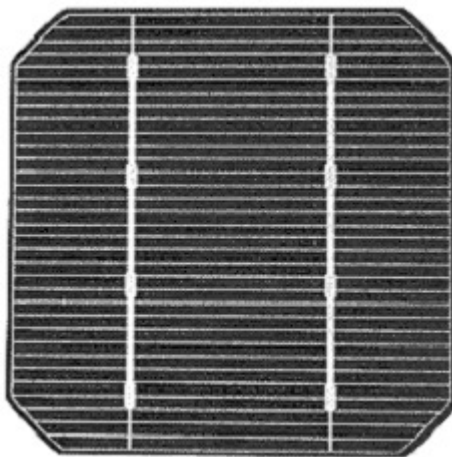


FIGURA 3.1: Célula de Silício Monocristalino. Fonte: [17]

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais usada e comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído. A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza entre 98 e 99%, o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e custo. Este silício para funcionar

como células fotovoltaicas necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior, devendo chegar na faixa de 99,9999%.

O silício é então fundido juntamente com uma pequena quantidade de dopante, normalmente o boro que é do tipo p. Com um fragmento do cristal devidamente orientado e sob rígido controle de temperatura, vai-se extraindo do material fundido um grande cilindro de silício monocristalino levemente dopado. Este cilindro obtido é cortado em fatias finas de aproximadamente 300 μ m.

Após o corte e limpeza das impurezas das fatias, devem-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo em um forno onde a temperatura varia entre 800 a 1000°C.

Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15% podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios.

3.3.2 Silício Policristalino

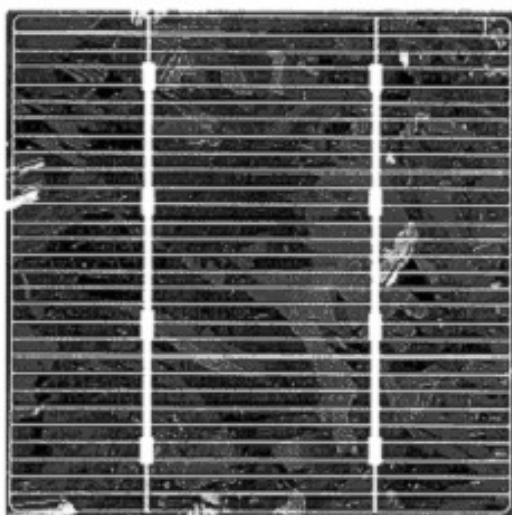


FIGURA 3.1: Célula de Silício Policristalino. Fonte: [17]

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação às células de silício monocristalino.

O processo de pureza do silício utilizado na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do Si monocristalino, o que permite a obtenção de níveis de eficiência compatíveis. Basicamente, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com controle menos rigoroso.

As células policristalinas podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos somente o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas.

3.3.3 Silício Amorfo

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil.

Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citadas, são elas:

- Processo de fabricação relativamente simples e barato;
- Possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;

- Baixo consumo de energia na produção.

Tabela 3.1: Eficiência de Conversão e Custo de Células Solares. Fonte: [13]

Tipo de Célula	Eficiência			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de Cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício Policristalino	26,7	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício Amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	-

3.4 Sistema Fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico de energia é composto por um ou mais módulos fotovoltaicos e por um conjunto de equipamentos complementares, como baterias, controladores de carga, inversores e outros equipamentos de proteção. Esses componentes variam de acordo com a aplicação do sistema fotovoltaico.

3.4.1 Módulo Fotovoltaico

Uma célula fotovoltaica possui baixa tensão e corrente de saída. Para se obter tensão e corrente de saída adequada para a sua utilização faz-se o agrupamento de várias células formando um modulo fotovoltaico (ou painel fotovoltaico). O arranjo das células nos módulos pode ser feito conectando-as em série ou em paralelo.

3.4.1.1 Associação em Paralelo

Ao conectar as células em paralelo, somam-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exatamente a tensão de uma célula. A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é utilizado salvo em condições muito específicas.

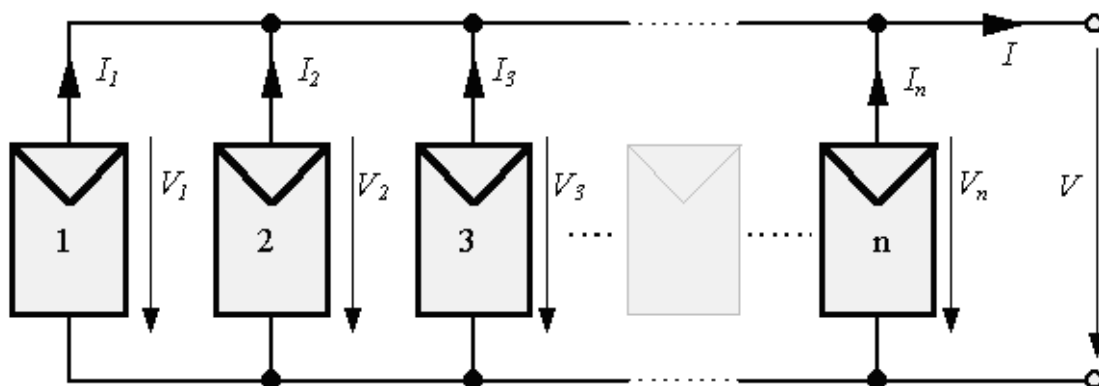


FIGURA 3.1: Conexão de Células em Paralelo. Fonte: [17]

3.4.1.2 Associação em Série

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série. Este consiste em agrupar o maior número de células em série onde se somam às tensões de cada célula chegando a um valor final de 12V o que possibilita a carga de acumuladores (baterias) que também funcionam na faixa dos 12V.

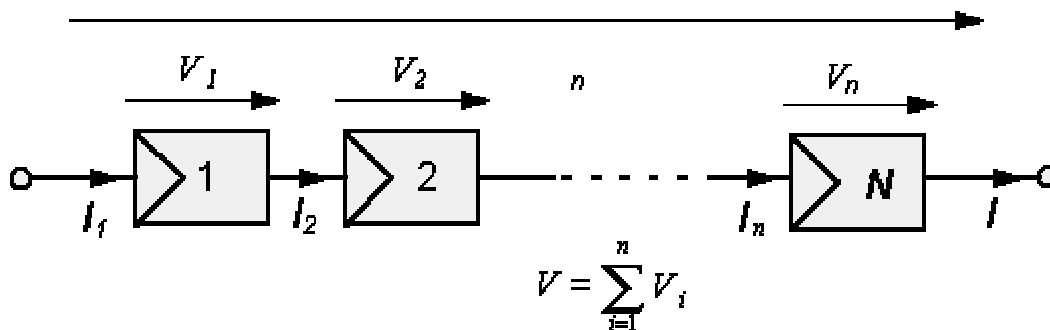


FIGURA 3.1: Arranjo das Células em Série. Fonte: [17]

3.4.2 Baterias

A função prioritária das baterias num sistema de geração fotovoltaico é acumular a energia que se produz durante as horas de luminosidade a fim de poder ser utilizada à noite ou durante períodos prolongados de mau tempo.

Ela também tem a função de prover uma intensidade de corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar. É o caso de um motor que no momento da partida pode exigir uma corrente de 4 a 6 vezes sua corrente nominal durante uns poucos segundos.

3.4.2.1 Tipos de Baterias

Existem diversos tipos de baterias fabricados hoje em dia, cada uma com um projeto específico e características de desempenho ajustadas para aplicações específicas. Cada tipo ou projeto de bateria tem os seus pontos fortes e pontos fracos. Não existe uma bateria ideal e a escolha da melhor bateria irá depender fortemente do tipo de aplicação que será feito.

A seguir, serão expostos alguns dos tipos de baterias mais utilizados em geração fotovoltaica.

3.4.2.1.1 Baterias de Chumbo-Ácido

As baterias de chumbo-ácido aplicam-se amplamente nos sistemas de geração fotovoltaicos. Elas são as mais usadas devido a sua variedade de tamanhos, seu custo baixo e características de desempenho bem estabelecidas. Dentro da categoria chumbo-ácido, as de chumbo-antimônio, chumbo-selênio e chumbo-cálcio são as mais comuns.

3.4.2.1.2 Baterias de Ácido de Chumbo com Eletrólito Captativo

Por vezes as baterias de eletrólito captativo são chamadas de baterias de ácido de chumbo com válvula reguladora (VRLA – Valve Regulated Lead Acid Batteries), denotando o mecanismo de regulação da pressão nos respiradouros das células. As baterias de ácido de chumbo com eletrólito captativo são muito populares em sistemas fotovoltaicos devido ao seu fácil transporte, à ausência de adição de água, o que as torna muito úteis em aplicações em lugares remotos onde a manutenção é pouco frequente ou muito difícil de

fazer. Contudo um ponto de fraqueza destas baterias em sistemas fotovoltaicos é a excessiva sobrecarga e a perda de eletrólito, que acaba sendo acelerado para climas quentes. Por esta razão é extremamente necessário que os pontos de ajuste de regulação dos controladores de carga devam ser ajustados para que não seja possível haver sobrecargas.

3.4.2.1.3 Bateria de Níquel-Cádmio

As baterias de níquel-cádmio (Ni-Cads) possuem inúmeras vantagens relativamente às baterias de chumbo ácido o que as faz atrativas para utilização em sistemas fotovoltaicos isolados. Algumas dessas vantagens são: o seu longo tempo de vida, pequena manutenção, sobrevivência a excessivas sobrecargas, excelente capacidade de retenção a baixas temperaturas e a não necessidade de ter uma tensão de regulação de carga. As desvantagens mais críticas das baterias de níquel-cádmio são o seu elevado custo e sua aplicação ser muito específica em comparação com as baterias de ácido de chumbo.

3.4.3 Reguladores de Carga

Quando um equipamento é ligado à bateria, a quantidade de energia elétrica armazenada nela vai diminuindo à medida que o tempo vai se passando. Para evitar que a bateria se descarregue por completo nos períodos longos sem insolação e de grande consumo, ou seja, tenha uma descarga profunda, é conveniente instalar um controlador de carga.

Este acessório monitora a carga da bateria e impede que a mesma se descarregue completamente, aumentando assim sua vida útil. Já em períodos de grande insolação e pequeno consumo de energia, a bateria tende a se carregar em excesso, aumentando a sua tensão e reduzindo a sua vida útil. O controlador de carga evita este excesso desconectando o módulo.

Os reguladores de carga podem dividir-se em 3 grandes grupos principais:

- Reguladores Série: Incorporam um interruptor entre o gerador e o acumulador, para interromper o fornecimento de energia à carga;
- Reguladores Shunt (derivação): Onde o interruptor “curto-circuita” o gerador solar em fim de carga;
- Reguladores de Ponto de Potência Máxima (MPPT ou Maximum Power Point Tracking): Utilizam um circuito eletrônico especial, de forma a poder captar sempre a potência máxima.

3.4.4 Inversores

Os conversores CC/CA são, normalmente, denominados de inversores. Podem ser utilizados para alimentar uma carga isolada, mas também para interligar um gerador fotovoltaico à rede. O principal papel dos inversores em um sistema de geração fotovoltaico é o de criar corrente CA a partir de corrente CC, visto que uma célula fotovoltaica gera corrente CC. Para gerar esta corrente CA existe um dispositivo no inversor que se chama de comutador cujo papel é o de “quebrar” a corrente continua em pulsos. Estas deformações que são provocados na onda devido às comutações dos interruptores do inversor, podem produzir perturbações mais ou menos importantes nas células fotovoltaicas (Distorções Harmônicas). Existem vários tipos de comutadores entre os quais os comutadores retificadores controlados de silício, transistores darlington, mosfet's (metal oxide semiconducting field effect transistor), IGBT's (insulated gate bipolar transistor), etc.

Os inversores podem ser divididos em três categorias:

- Onda Quadrada: uso não recomendado;
- Onda Senoidal Modificada: aceitável para a maioria das aplicações;
- Onda Senoidal Pura: para aplicações especiais com distorção menor que 5%.

3.4.5 Outros Componentes

Os demais elementos indispensáveis ao bom funcionamento de um sistema fotovoltaico são as proteções contra descargas atmosféricas, os disjuntores e os fusíveis.

Considerando o custo elevado dos painéis fotovoltaicos, eles devem ser protegidos de forma a evitar o máximo de degradação. Os principais agentes são:

- Perturbações induzidas pela comutação dos conversores de potência. Neste caso, podem ser introduzidos filtros de potência para eliminar as harmônicas.
- Funcionamento como receptor: os painéis degradam-se rapidamente quando absorvem energia. Neste caso, podem ser instalados diodos para impedir a inversão do sentido da corrente.
- Descargas atmosféricas.

3.4.6 Configurações de um Sistema Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três configurações principais: isolados, híbridos e interligados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento.

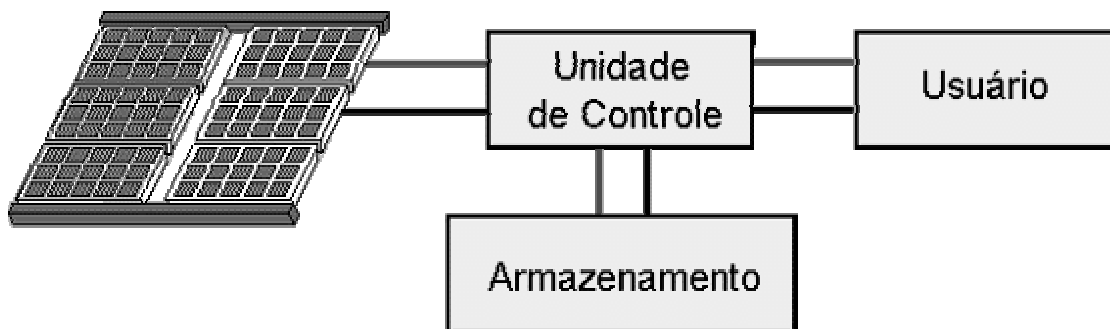


FIGURA 3.1: Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico. Fonte: [17]

3.4.6.1 Sistemas Isolados

Em sistemas isolados, geralmente, utilizam-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazena-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia

água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocada em reservatórios.

Em sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O controlador de carga tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda.

Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

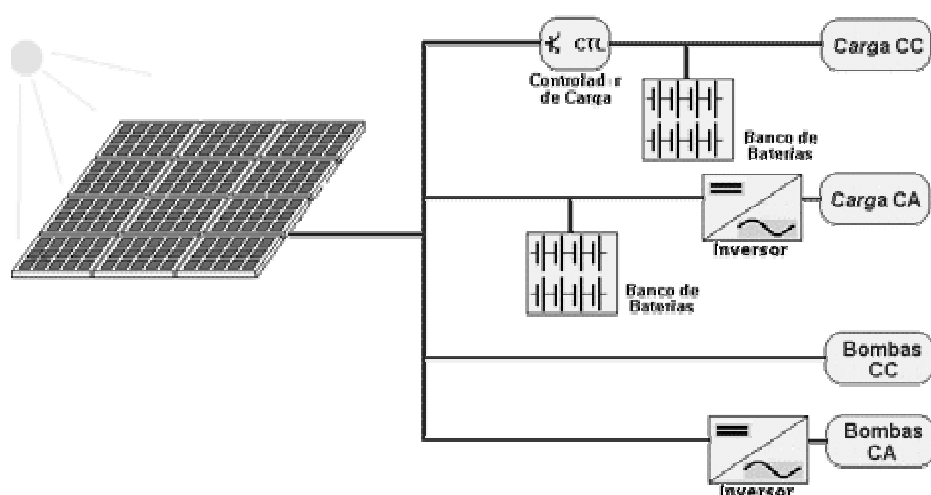


FIGURA 3.1: Diagrama de Sistemas Fotovoltaicos em Função da Carga Utilizada. Fonte: [17]

3.4.6.2 Sistemas Híbridos

Sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia, como, por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica torna-se complexo na necessidade de otimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.

Em geral, os sistemas híbridos são empregados para sistemas de médio a grande porte, vindo a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas de corrente contínua, o sistema híbrido também apresenta um controlador de carga (inversor para CA). Devido a grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso.



FIGURA 3.1: Exemplo de Sistema Híbrido. Fonte: [17]

3.4.6.3 Sistemas Interligados à Rede

Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados diretamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja prejudicada.

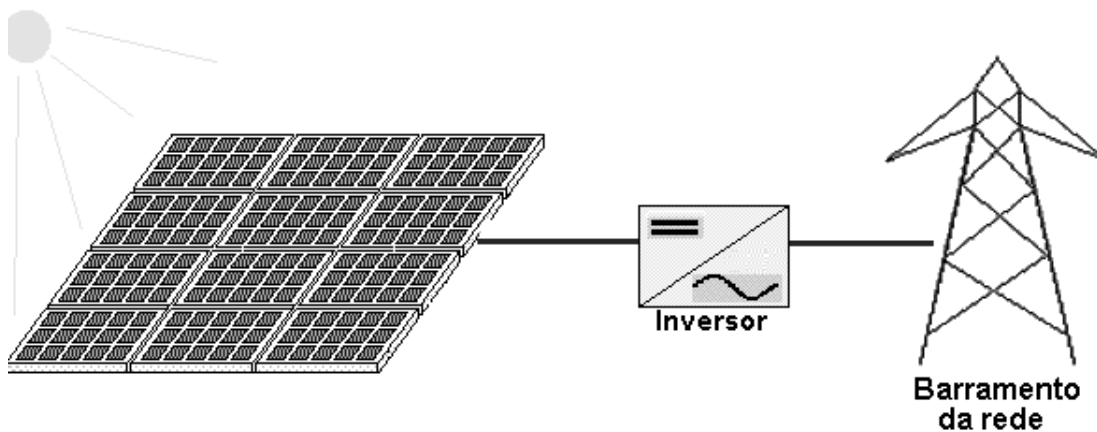


FIGURA 3.1: Sistema Conectado à Rede. Fonte: [17]

3.5 Campos de Utilização

A energia solar fotovoltaica pode ser aplicada de diversas maneiras, e, neste trabalho a aplicação é no processo de pesca com eletricidade, porém há outras formas de utilização bastante conhecidas, tais como:

- Geração de eletricidade para residências, escolas, postos de saúde, postos florestais, locais turísticos, pousadas, restaurantes, e outros locais remotos, distantes da rede elétrica ou com restrições ambientais;
- Bombeamento d'água para comunidades, escolas, fazendas e outras aplicações;
- Suprimento de energia para estações remotas de telecomunicações, telemetria e para embarcações;
- Iluminação pública para estradas, parques, praças, praias, caminhos e outros locais públicos;
- Sinalizações rodoviária, ferroviária e noturna de estruturas elevadas, tais como: torres de transmissão e de telecomunicação e outros obstáculos ao voo como morros e chaminés;
- Geração de eletricidade com sistemas integrados à rede de distribuição para prédios, residências e outras instalações.

3.6 Vantagens e Desvantagens

Quanto às vantagens, a energia solar fotovoltaica apresenta diversas. Trata-se de uma energia limpa, pois não gera nenhum tipo de poluição. A vida útil dos módulos é superior a 25 anos, requerendo mínima manutenção. A instalação é simples e não há consumo algum de combustível.

As vantagens fundamentais:

- Não consome combustível;
- Não produz poluição nem contaminação ambiental;
- É silenciosa;
- Durabilidade: tem uma vida útil da ordem de 25 anos;
- É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade);
- Não tem peças móveis e, portanto, exige pouca manutenção (só a limpeza do painel);
- Permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais.

Já em relação às desvantagens referem-se aos custos de implementação associados às diversas condições que devem ser atendidas, inerentes à natureza da energia solar.

As alterações de luz ao longo das 24 horas, a presença de condições climáticas desfavoráveis (chuva, nuvens) e o sombreamento causado por árvores ou edifícios que reduzem a saída do sistema.

E a necessidade de manutenção e substituição de baterias e os impactos negativos durante as fases de produção, construção e desmantelamento.

Capítulo 4 Descrição do sistema e do processo de pesca com eletricidade

4.1 Descrição da demonstração de uma sessão de pesca com eletricidade

A descrição é feita de acordo com informações colhidas durante uma demonstração do processo de pesca com eletricidade.

A pesca com eletricidade é utilizada como ferramenta na pesquisa, é um de seus objetivos fornecer uma medida da quantidade de peixes em um determinado trecho de rio previamente demarcado, e através dessa medida, estimar a quantidade de peixes em toda extensão do rio através de modelos matemáticos.

O sistema para pesca com eletricidade é composto basicamente de três partes básicas, uma fonte de energia, um par de eletrodos e uma rede de coleta. A fonte de energia utilizada é um gerador CA movido a gasolina. Os eletrodos são hastes metálicas que são manuseadas pelo operador. A rede de coleta consiste de um puçá, equipamento comum de pesca cotidiana.

Uma vez escolhido o local de pesca, os equipamentos devem ser levados até a área de trabalho. A tarefa de transportar o gerador mostra-se bastante dispendiosa, uma vez que o equipamento pesa cerca de 35Kg, e, além disso, deve-se transportar também o combustível, necessário que sempre inspira cuidados especiais com a segurança.



FIGURA 4.1: Gerador a gasolina utilizado para pesca com eletricidade. Fonte: [19]

No caso dos eletrodos, estes não representam um grande problema de logística. Quando em operação, um dos eletrodos é mantido fixo na margem do rio enquanto o outro percorre o trecho do rio no sentido contrário ao da correnteza conforme mostra a Figura 4.2. Quando o eletrodo se aproxima do peixe, este é tetanizado, sendo capturado pela rede (puçá) e colocado em um “recipiente” reservado, para posteriormente, depois de ser contado e catalogado, ser devolvido ao rio, sem qualquer prejuízo para o peixe e para o ecossistema em questão.

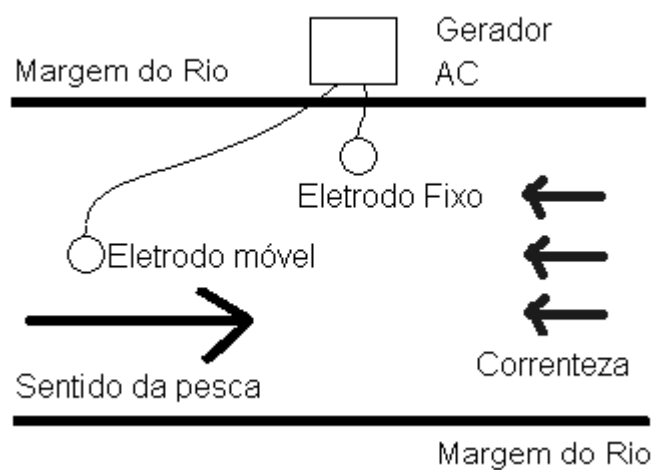


FIGURA 4.2: Eletrodo para pesca com eletricidade. Fonte: [19]

Um eletrodo é uma parte importante para o processo, algumas vezes é fabricado pelo próprio usuário, de acordo com suas necessidades, resultando assim em uma grande variedade de modelos. É preciso observar que eletrodos mal concebidos podem vir a ser a causa de altas taxas de mortalidade de peixes e fraco desempenho no processo de pesca.

É muito importante lembrar que os eletrodos possuam um dispositivo para abertura do circuito de força em caso de emergência, que é a chamada “chave do homem morto”, conferindo maior segurança ao processo de pesca.



FIGURA 4.3: Eletrodo para pesca com eletricidade. Fonte: [19]

Um dia típico de trabalho conta em média com 4 sessões de pesca, em pontos distintos do mesmo rio, sendo cada sessão composta por 3 passagens do eletrodo pela área demarcada, levando cada uma cerca de 30 min., assim sendo podemos admitir que uma sessão de pesca dura cerca de 1,5 h.

É importante ressaltar que a solução para problemas de pesca com eletricidade não é simplesmente trocar a fonte de energia por uma de maior capacidade ou elevar o nível de tensão, e sim, analisar a funcionalidade do sistema e do campo elétrico gerado entre os eletrodos, verificando que tipos de alteração poderiam trazer benefícios para o usuário, e nesse contexto é proposto um novo modelo de eletrodo, conforme a figura abaixo.

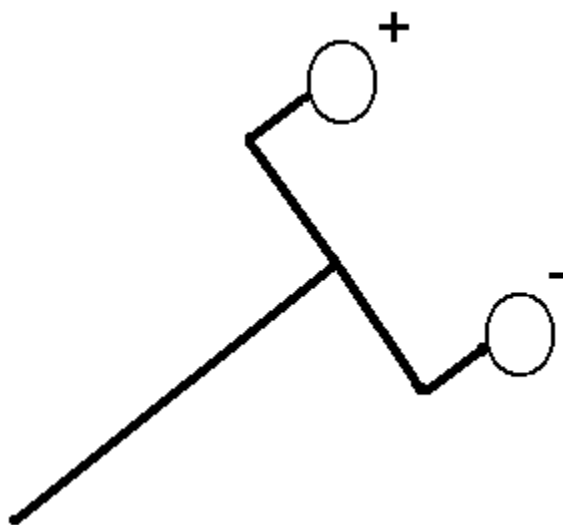


FIGURA 4.4: Proposta de um novo eletrodo para pesca com eletricidade. Fonte: [19]

Capítulo 5 Estudo, Dimensionamento e avaliação do sistema fotovoltaico como fonte de energia para a pesca com eletricidade[a23]

5.1 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Conforme visto anteriormente, o melhor tipo de corrente, que produz os melhores resultados para a pesca com eletricidade, é a corrente puramente CC. O intuito é projetar um sistema de módulos fotovoltaicos que forneçam energia, que será a fonte de energia do sistema de pesca com eletricidade.

Para o correto dimensionamento dos painéis é preciso definir a quantidade de energia que deverá ser atendida por eles, assim como os níveis de tensão e de corrente. Deve-se levar em consideração, todavia, que a quantidade de energia gerada pelo painel depende das condições climáticas e geográficas da região onde foi instalado. Não é parte deste trabalho, explicar de forma detalhada as variáveis que influem no dimensionamento e posicionamento do arranjo fotovoltaico, apesar de utilizar-se dos resultados para obter a melhor solução para o caso estudado. Um detalhamento mais aprofundado pode ser encontrado nas referências [17], [14] e [2].

Segundo as orientações destas três últimas referências, para maximizar o aproveitamento da radiação solar o painel deve ser ajustado de acordo com a latitude local e o período do ano em que se deseja mais energia. Em nosso país, para as cidades localizadas no hemisfério sul, um sistema fotovoltaico deve ser apontado para o norte, com o ângulo de inclinação aproximadamente igual ao da latitude local. Este posicionamento garante, em geral, que níveis de radiação satisfatórios atinjam o painel, caso este não tenha um rastreador solar.

A Tabela 5.1 apresenta as características elétricas do sistema de pesca levantadas durante um ensaio típico de trabalho efetuado como demonstração, tendo como fonte de energia um gerador a gasolina da marca Honda, modelo EX1000, de 220V/900VA. Os valores levantados e os requisitos de campo elétrico, tensão e corrente para pesca, além das constatações experimentais serão aproveitados para os cálculos do projeto e para o dimensionamento do sistema proposto.

Tabela 5.1: Características elétricas levantadas em um ensaio demonstrativo. Fonte: [19]

Descrição	Tensão da Fonte (V)	Corrente máxima observada (A)	Potência máxima observada (W)	Resistência equivalente do circuito (Ω)
Eletrodo de Pesca	220	0.9	198	244
	220	0.1	22	2200

O consumo de energia do ensaio, em Wh/dia, pode ser calculado utilizando-se as informações da Tabela 5.1 e a duração do ensaio – 1,5 h. Considerando uma corrente média de 0.5 A, que resulta em 165 Wh/dia.

Acessando os dados de radiação solar do SunData do CEPEL, temos os valores mostrados, em kWh/m², em função do posicionamento em relação à horizontal do painel. A longitude e latitude de obtenção dos dados são: 22,03S e 42,35W.

As coordenadas acima são da cidade de Cordeiro que fica a 170 Km da cidade de Marica, local onde foi realizado o ensaio.

Tabela 5.2: Dados de Radiação Solar Média Diária, em kWh/m². Fonte: [16]

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Latitude (22N)	5.25	5.31	5.04	4.53	4.57	4.22	4.75	4.91	4.23	4.45	4.47	4.67
Maior Média (20N)	5.31	5.36	5.05	4.52	4.52	4.16	4.68	4.87	4.23	4.47	4.52	4.73
Maior Min(25N):	5.14	5.24	5.01	4.56	4.64	4.30	4.84	4.96	4.22	4.40	4.40	4.57

Para dimensionar os painéis é preciso escolher primeiro pelo tipo de material adotado para sua construção. Foi escolhido o silício policristalino por conseguir, com uma menor área de exposição ao sol produzir maior quantidade de potência levando em conta o seu preço, mais acessível que o de silício monocristalino.

Para efeitos de cálculo, foi escolhido um painel de uma empresa de renome no mercado a Kyocera, o modelo escolhido foi o KC40T-1, que pode fornecer na condição de 1 kW/m², 43 Wp e possui área de 0,34 m².

Tabela 5.3: Informações do Módulo Fotovoltaico Escolhido. Fonte: [20]

Especificações do Módulo Fotovoltaico		
Fabricante/modelo	Kyocera – KC40T-1	
Comprimento (m)	0.65	
Largura (m)	0.52	
Espessura (m)	0.054	
Peso (Kg)	4.5	
Tensão nominal (V)	17.4	
Coefficiente de Temperatura (V/°C)	-0.821	
Tensão (v)	STC	OC
	17.4	21.7
Corrente (A)	STC	SC
	2.48	2.65

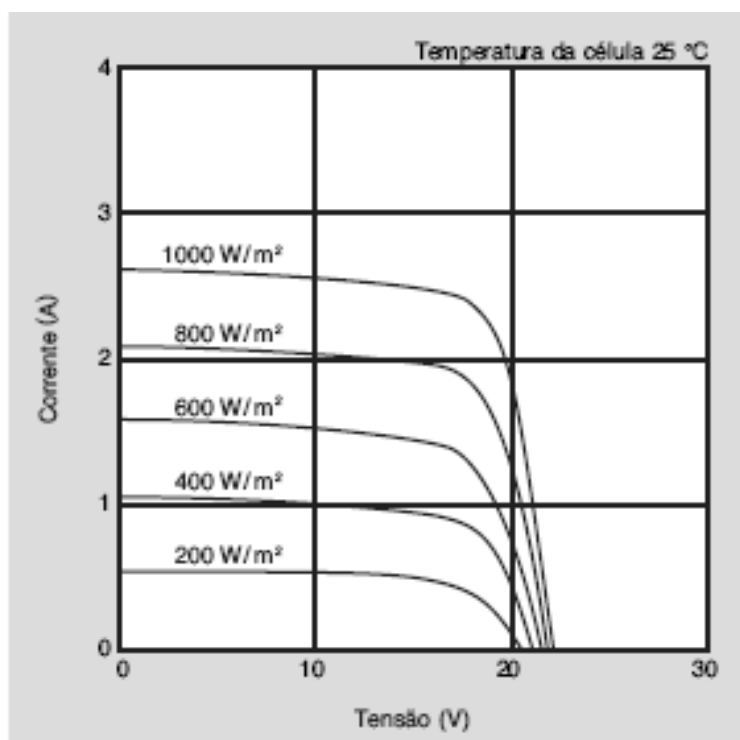


FIGURA 5.1: Curva Característica $V \times I$ do módulo escolhido. Fonte: [20]

Entrando com as coordenadas da cidade no banco de dados do CRESESB e utilizando os dados dos equipamentos escolhidos, pode-se dimensionar previamente o

arranjo dos painéis. Uma vez definida a tensão de projeto, poder-se-á especificar um controlador de carga apropriado.

Tomando como base a energia consumida no ensaio, além das características do painel escolhido, tem-se:

- Potência máxima de consumo observada no ensaio, 198 W;
- Potência máxima do painel, 43Wp.

A potência média captada, por dia em cada módulo, é calculada multiplicando-se a quantidade de horas de sol pleno pela potencia que o módulo pode fornecer. Desta forma temos a potencia máxima que um módulo pode fornecer por dia. Utilizando o menor valor Radiação Solar Média Diária da Tabela 5.2 e o valor de potência que o módulo pode gerar, chega-se então ao valor de 181,5 W, que é ligeiramente menor que a potência observada no ensaio, logo, para atender a potência basta adicionar um segundo módulo ao projeto. Com dois módulos a potência máxima que poderia ser gerada chega à cerca de 380 W, atendendo assim, a potência máxima de consumo observada no ensaio.

Como a proposta de utilização de painéis fotovoltaicos oferece diretamente para a pesca uma tensão CC é necessário observar os valores de tensões mínimas que são fornecidos na Tabela 5.4, relacionando a tensão para qual ocorre a primeira corrida com a condutividade da água.

Tabela 5.4: Valores mínimos de Tensão CC para o qual ocorre a primeira corrida ao anodo em relação à condutividade da água. Fonte: [1]

Condutividade da água (μS)	Limiar de tensão que provoca a primeira corrida ao anodo (V)
40000	22.0
10000	24.3
2000	26.8
1000	27.1
200	30.2
100	31.8
50	34.1
20	38

Considerando o pior caso, onde a condutividade da água é de $20\mu\text{S}$ e a tensão corresponde a 38 V, observa-se a necessidade de no mínimo dois painéis em série conforme especificado na Tabela 5.3.

Considerando os valores de resistência de carga do circuito obtidos no ensaio em corrente alternada, como sendo os mesmos para a aplicação em corrente contínua, pode-se inserir retas representativas de carga ($244\ \Omega$ e $2200\ \Omega$) no gráfico $V \times I$ dos painéis, como mostrado na Figura 5.2.

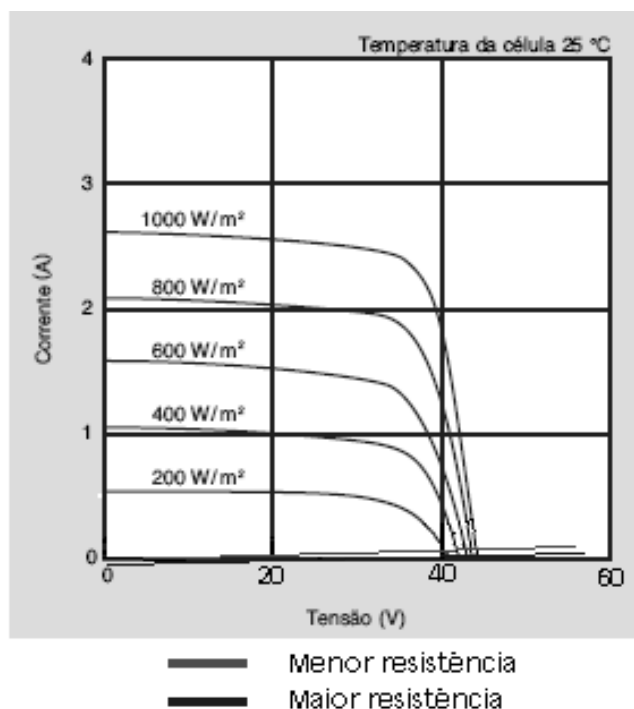


FIGURA 5.2: Curva Característica $V \times I$ do módulo escolhido e retas de carga para o menor e maior valor de resistência. Fonte: [20] – adaptado.

Pelo gráfico pode-se ver que em todos os níveis de insolação o valor da tensão mínima é obtido. No caso da reta de menor resistência, a potência é igual a 5,7 W, enquanto que no de maior resistência 0.646 W.

Considerando que resistência varia inversamente proporcional à condutividade um novo gráfico é montado para a avaliação da capacidade do sistema operar com condutividades maiores. Neste caso foi considerado, para o ensaio realizado, que a condutividade era a mínima.

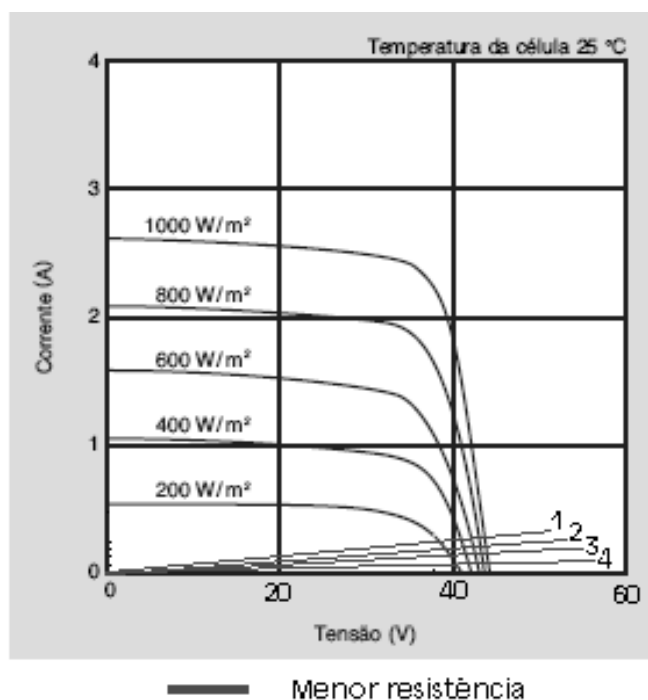


FIGURA 5.3: Curva Característica VxI do módulo escolhido e retas de carga para diversos valores de condutividade. Valores e condutividade: 1 – 40000 μS ; 2 – 1000 μS ; 3 – 100 μS ; 4 – 20 μS .

Fonte: [20] – adaptado.

Tabela 5.5: Valores de tensão e potencia consumida para o menor valor de resistência em função da condutividade .

Condutividade (μS)	Tensão Mínima (V)	Tensão p/ maior Resistência (V)	Potencia Consumida (W)
40000	22	41	3,70
1000	27,1	40	4,44
100	31,8	39	5,08
20	38	38	5,92

Para os maiores valores de condutividade maiores que 20 μS o valor de tensão mínima é atendido para a menor resistência, como os valores de correntes são ainda menores para o maior valor de resistência, neste caso também será atendida.

Até aqui, considerando as hipóteses de variação da resistência inversamente proporcional à condutividade e valores de resistência iguais para aplicações em CA e CC pode-se concluir que:

- A quantidade de energia envolvida é muito menor, e isso é um resultado esperado pelas considerações acima (tensão reduzindo reduz a potência com o quadrado da tensão);
- Não há problema de atendimento da tensão mínima;
- Dois painéis são suficientes para atender a tensão mínima.

Porém, como este trabalho trata de um projeto de engenharia é necessário que se definam parâmetros de projeto que serão objetivos a alcançar. Como principal desses objetivos é o efeito de tetania produzido no peixe, é preciso estabelecer uma tensão de projeto que garanta este intento. Dado que a maior das tensões mínimas apresentadas na Tabela 5.4 é 38 V, tomar-se-á por 50 V a tensão de projeto.

A justificativa deste valor é por ser ligeiramente maior que 48 V, que apresenta multiplicidade em relação à tensão padrão de 24 V de baterias, para o caso de precisar delas. Além disso, ela disponibiliza uma margem razoavelmente afastada e segura (cerca de 32%) em relação à tensão mínima. Este valor está sendo especificado independente da condutividade da água e dos demais valores mínimos de tensão apresentados na Tabela 5.4.

Considerando as informações da Tabela 5.3, para atender tal tensão seriam necessários, no mínimo, três módulos em série, possibilitando uma tensão total de 65 V.

Durante o ensaio foi observado que não havia alteração na corrente do circuito, quando da produção do efeito de tetania nos peixes, evidenciando que o acréscimo de corrente produzido pela presença do peixe era desprezível, posto que o mesmo ocupa uma área muito pequena da sessão transversal da área em condução. Adicionalmente, também ficou claro que a distribuição de campo elétrico nas proximidades dos eletrodos é o fator mais importante. Por sua vez, é bom frisar que este campo depende diretamente da tensão oferecida nos eletrodos.

Entretanto, deve-se ter em mente uma solução de compromisso que atenda ao bom funcionamento do sistema e principalmente a integridade daqueles que o operarão. Acredita-se que este valor atenda aos dois, porém uma medida a mais de segurança deve ser

especificada, e introdução da “chave do homem morto”, dispositivo já comentado anteriormente, e que não existe no equipamento usado atualmente.

Para manutenção do valor de tensão de projeto é utilizado um controlador de carga, conforme descrito na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Dados do Controlador Escolhido. Fonte: [8]

Informações do Controlador de Carga	
Fabricante/Modelo	Sunsaver
Tipo	SS 6
Tensão do Sistema (V)	12

A partir deste gráfico é possível obter para cada um dos valores de condutividade traçar uma reta para cada condutividade e mostrar que atente ao valor de tensão, considerando que o caso acima corresponde à condutividade de $20\mu\text{S}$, valor esse obtido por experiência do biólogo.

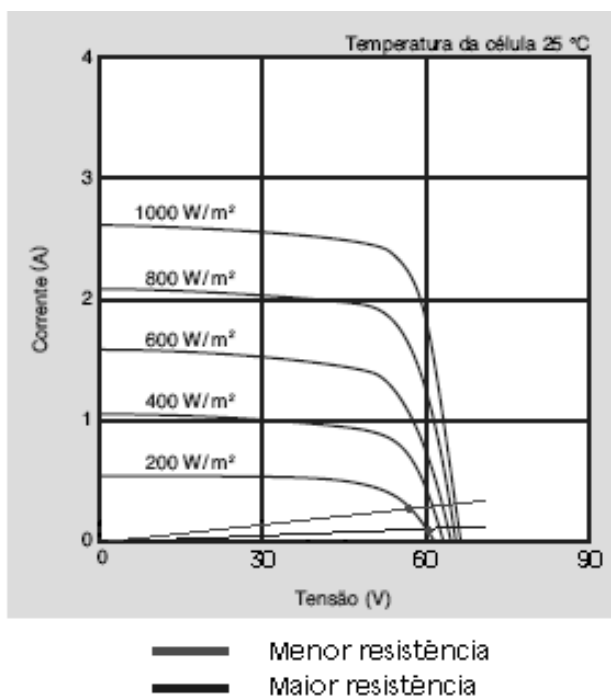


FIGURA 5.4: Curva Característica $V \times I$ para a associação de três módulos em série e as retas de carga para o menor e maior valor de resistência. Fonte: [20] – adaptado.

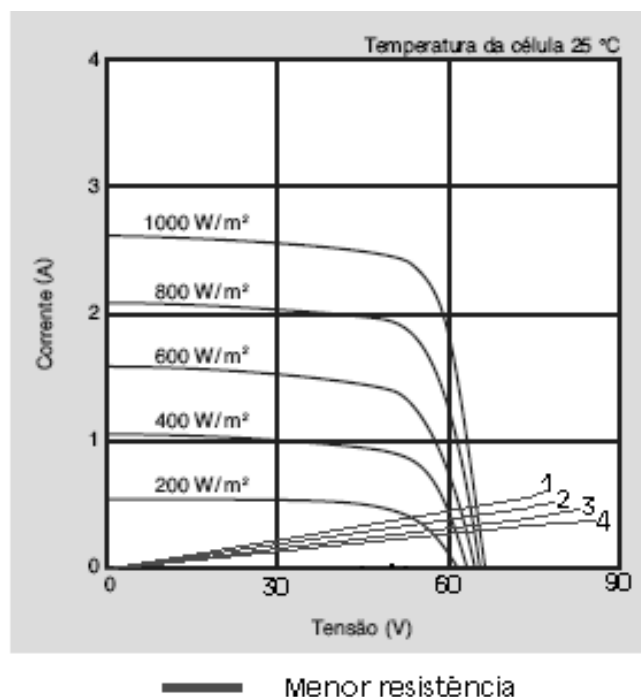


FIGURA 5.5: Curva Característica VxI para a associação de três módulos em série e retas de carga para diversos valores de condutividade.

Valores e condutividade: 1 – 40000 μS ; 2 – 1000 μS ; 3 – 100 μS ; 4 – 20 μS . Fonte: [20] – adaptado.

Tabela 5.7: Valores de tensão e potencia consumida para o menor valor de resistência em função da condutividade .

Condutividade (μS)	Tensão Mínima (V)	Tensão p/ maior Resistência (V)	Potencia Consumida (W)
40000	22	57	20,17
1000	27,1	55,5	15,94
100	31,8	55	13,46
20	38	53	10,86

A inclinação escolhida para o painel deve ser aproximadamente igual à latitude do local, neste caso escolheremos o valor de 25° , pois este valor fornece a menor média diária de horas de radiação, isto é, seria o pior caso a ser atendido.

Tabela 5.8: Valores Escolhidos para o Projeto.

Corrente de Projeto (A)	
Sol Pleno (h/dia)	Ângulo de Inclinação (°)
4.22	25

[a27]

Escolhida a inclinação dos módulos, é necessário dimensionar a quantidade de placas solares e o seu arranjo. Neste caso, para atender aos requisitos de potência e tensão especificados anteriormente, são necessários três módulos em série e dois em paralelo, totalizando seis módulos. Dessa forma, o peso total dos módulos somaria aproximadamente 27,0 kg.

Devem-se utilizar ainda os valores de corrente de curto circuito e de tensão de projeto do módulo fotovoltaico. Esses valores serão utilizados no dimensionamento do controlador de carga.

5.2 Dimensionamento do Controlador do Sistema de Cargas

O controlador será dimensionado de acordo com os dados disponíveis na Tabela 5.6, e os dados da Tabela 5.9, deve ser dimensionado de forma que este não fique sobrecarregado quanto à corrente máxima que ele deve controlar. Esta corrente é a corrente de curto-circuito máxima do arranjo (2,65 A) e devem ser evitadas as condições em que se possa chegar a este caso. A quantidade de controladores é determinada através de sua tensão e características nominais. A tensão de projeto do arranjo dividida pela tensão nominal e fornece o número de controladores de carga necessários. Segue a seguir, este o dimensionamento:

Tabela 5.1: Dimensionamento dos Controladores de Carga.

Tensão de projeto (V)	/	Tensão do Controlador (A)	=	Quantidade de Controladores
50		24		2

[a28]

A Tabela 5.10 mostra um resumo do dimensionamento de todo o sistema fotovoltaico.

Tabela 5.2: Resumo do Projeto.

Resumo do Projeto	
Tensão de projeto (V)	50
Inclinação do Painei (°)	25
Quantidade de Módulos em Série	2
Quantidade de Módulos em Série	2
Quantidade total de Módulos	4
Quantidade de Controladores de Carga	2

[a29]

Capítulo 6 Conclusão

Tendo em vista a intenção de propor soluções para os problemas dos usuários, relativos à fonte de energia e, a logística do processo, a solução proposta mostra que a aplicação de módulos fotovoltaicos é tecnicamente viável, as dificuldades relacionadas à a fonte de tensão e a logística dos equipamentos foram solucionadas, como por exemplo, o gerador que pesa cerca de 35 kg, é substituído por um arranjo fotovoltaico que pesa cerca de 18,0Kg, passando o gerador ser utilizado eventualmente, numa situação de dia chuvoso ou um local de pouco ou nenhuma penetração da luz solar.

A questão financeira pode ser justificada pelos ganhos que os usuários teriam em tempo poupado no processo e produtividade, quando da substituição do gerador à gasolina, e com a vida útil dos módulos.

Mesmo com as novas possibilidades vislumbradas com este projeto, muitas melhorias ainda podem ser feitas, a primeira delas é um estudo em relação ao campo elétrico, que pode ser mapeado entre os eletrodos dentro do rio, e partir deste mapeamento, pode-se desenvolver um sistema de controle para o valor da tensão em função do posicionamento dos eletrodos e da condutividade da água, possibilitando um aproveitamento melhor da energia e uma escolha mais criteriosa do nível de tensão a ser utilizado para a pesca de diferentes espécies e em diferentes condições.

Um outro ponto que representaria uma melhoria da solução proposta é possível a adaptação deste sistema de forma a ser modular, de fácil transporte e montagem, e ainda oferecer um abrigo contra chuva ou sol, podendo assim ser facilmente transferida de um ponto de pesca para outro sem grandes esforços.

Com a implementação da solução proposta, obtemos um sistema com seguintes características: a fonte de energia tradicional será substituída por uma renovável; a nova fonte juntamente com o controlador de carga, garante a possibilidade de uso de corrente contínua, que mostrou os melhores resultados na pesca.

Capítulo 7 Referências Bibliográficas

- [1] COWX, I. G. e LAMARQUE, P. – Fishing with electricity – Londres – 1990.
- [2] CARVALHO, Adriano Araujo – Uma solução envolvendo painéis fotovoltaicos para o suprimento de energia ao LAFAE conforme um Sistema de Gestão Ambiental – Rio de Janeiro, 2007.
- [3] Página Oficial da Encyclopedia, acessado 24/07/2008 às 22:00 h.
Disponível em: <http://www.encyclopedia.com/doc/1O8-galvanotaxis.html>
- [4] Página Oficial da UOL.
Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/ingles/index>
- [5] Página Oficial da Enciclopédia Wikipédia Virtual, acessado 24/07/2008 às 22:00 h.
Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki>
- [6] Página Oficial do Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica – Faculdade de Física da PUC do Rio Grande do Sul, acessado 24/08/2008 às 11:00 h.
Disponível em: <http://www.pucrs.br/cbsolar/ntsolar/energia.php>
- [7] Página Oficial do Portal Ciência Viva – Agência Nacional para a Cultura e Tecnologia (Portugal), acessado 24/08/2008 às 11:30 h.
Disponível em: www.cienciaviva.pt/rede/energia/himalaya2005/home/guia4.pdf
- [8] Página Oficial da Empresa Northwest Power CO, LLC – Equipamento – ProStar™ Charge Controller, acessado 24/08/2008 às 13:30 h.
Disponível em: http://www.nwpwr.com/products/Charge_Controllers/sunsaver.htm

[9] Página Oficial do “The Journal of the General Physiology”, acessado 24/08/2008 às 14:30 h.

Disponível em: www.jgp.org/cgi/reprint/10/4/551.pdf

[10] Página Oficial do “The Environment Agency” (Reino Unido), acessado 24/08/2008 às 15:30h.

Disponível em: <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SW2-054-TR-e-e.pdf>

[11] Página Oficial do “With a view to fisheries”, acessado em 24/7/2008 às 22:00 h.

Disponível em: http://www.fisheriesmanagement.co.uk/respose_to_electricity.htm

[12] Página Oficial do “Biology-Online.org”, acessado 24/08/2008 às 15:30 h.

Disponível em: <http://www.biology-online.org/dictionary/Curarization>

[13] Página Oficial da ANEEL, Atlas de Energia Elétrica – Capítulo 3 – Energia Solar, acessado 24/08/2008 às 11:45 h.

Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)

[14] ALTENER; Energia Fotovoltaica – Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Portugal, 2004 (apostila em PDF).

Disponível em: <http://www.greenpro.de/index.html>

[15] BATERIAS MOURA, Site de apresentação da bateria Moura Clean, acessado 24/08/2008 às 18:00 h.

Disponível em: <http://www.moura.com.br>

[16] CRESESB, Potencial Solar – SunData, acessado 24/08/2008 às 18:00 h.

Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm>

[17] CRESESB; Grupo de Trabalho de Energia Solar Fotovoltaica (CRESESB/CEPEL) - Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, 1994.

[18] SWART, Jacobus W.; Conceitos Básicos para Semicondutores, acessado em: 31/08/2008 às 18:00 h.

Disponível em:

<http://www.ucs.br/ccet/defq/fpmissel/conceitosbasicosparasemicondutores.pdf>

[19] Demonstração do Processo de Pesca com eletricidade realizada na cidade de Maricá no dia 31/08/2008.

[20] Kyocera Kiocera specsheets KC40T-1, acessado em: 11/09/2008 as 0:30 h.

Disponível em: http://www.efapower.efacec.pt/img_upload/DB-P-KC40T-1.pdf