

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



Pierre Rubens Domond

**SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA COM ARMAZENAMENTO HIDRÁULICO: CASO DE
ECOLE NATIONALE DE LACROIX-JACMEL-HAITI**

Florianópolis

2018

Pierre Rubens Domond

**SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA COM ARMAZENAMENTO HIDRÁULICO: CASO DE
ECOLE NATIONALE DE LACROIX- JACMEL-HAITI**

Trabalho de conclusão de curso submetido
ao Programa de Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Engenheiro em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luís Alberto Gómez

Florianópolis

2018

Pierre Rubens Domond

**SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA COM ARMAZENAMENTO HIDRÁULICO: CASO DE
ECOLE NATIONALE DE LACROIX- JACMEL-HAITI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final junto à Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 28 de Novembro de 2018.

Prof^a. Luciana Rohde, Dra.
Coordenadora do Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:

Prof^o. Luis Alberto Gómez, Dr.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Salvio José Vieira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Pierre Rubens Domond


**SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA COM ARMAZENAMENTO HIDRÁULICO: CASO DE
ECOLE NATIONALE DE LACROIX- JACMEL-HAITI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final junto à Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 28 de Novembro de 2018.

Profª. Luciana Rohde, Dra.
Coordenadora do Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:



Profº. Luis Alberto Gómez, Dr.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Profª. Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Salvio José Vieira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

*“Este é o dia que o Senhor fez: seja para
nós dia de alegria e de felicidade.”*

(Salmos 118:24)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me dar forças de continuar a estudar quando muitas vezes eu queria desistir, por me ter dotado de saúde, sabedoria e disposição para alcançar esta grande vitória.

Agradeço a minha mãe, Marie Danielle Florial e meu pai, Ezène Domond pelo incentivo e pela grande preocupação com a formação dos seus filhos.

Agradeço ao professor Luiz Gonzaga Galvão, pelos seus apoios em diversas formas desde que eu cheguei no Brasil.

Agradeço ao Professor e Orientador Dr. Luis Alberto Gómez pela paciência e compreensão que teve comigo durante o período em que me acompanhou.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Água é a fonte da vida, um recurso natural essencial. A sua escassez é um dos dramas em algumas regiões do planeta. Na escala mundial, 99% de água doce em forma de líquido ficam no nosso subsolo. Este recurso participa no desenvolvimento agrícola, industrial, nos serviços domésticos, etc. A energia solar é disponível em qualquer lugar do planeta em graus diferentes e é totalmente renovável. Sua contribuição varia, dependendo do dia e estações, mas sua potência máxima pode chegar a $1 \text{ kw} / \text{ m}^2$. O aumento da utilização desta forma de energia nestes últimos tempos, traz soluções viáveis e sustentáveis para pequenas comunidades onde a escassez de água é evidente. Através dos dados de radiação solar retirados no software RETScreen e dos dados do projeto hidráulico, foi dimensionado um sistema de bombeamento fotovoltaico com armazenamento hidráulico para uma escola de 250 alunos, situada no município de Jacmel- Haiti. Com as análises do potencial do sistema fotovoltaico proposto, observou-se que o sistema é uma alternativa energia limpa e viável para o abastecimento de água em localidades remotas.

Palavras-chave: Bombeamento fotovoltaico; Água subterrânea; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Water is the source of life, an essential natural resource. Its scarcity is one of the dramas in some regions on the planet. Globally, 99% of fresh water in the form of liquid is in our subsoil. This resource is used in agricultural, industrial development, in domestic services, etc. Solar energy is available anywhere on the planet in different degrees and is fully renewable. Its contribution varies, depending on the days and seasons, but its maximum power can reach $1\text{kW} / \text{m}^2$. The acceleration of this form of energy in recent times brings viable and sustainable solutions to small communities where water scarcity is evident. A solar photovoltaic pumping system with hydraulic storage was designed for a school of 250 students, located in the municipality of Jacmel-Haiti, using solar radiation data from the NETScreen software and the hydraulic design data. With the analyzes of the potential of the proposed photovoltaic system, it was observed that the system is an alternative clean and feasible energy for the water supply of the remote localities.

Keywords: Photovoltaic pumping; Groundwater; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Crescimento do uso da energia solar fotovoltaica	7
Figura 2.2. Sistema isolado com armazenamento elétrico	8
Figura 2.3. Sistema isolado sem armazenamento elétrico	8
Figura 2.4. Sistema híbrido	9
Figura 2.5. Sistema conectado à rede on-grid.....	9
Figura 2.6. Espectro da radiação eletromagnética do sol	10
Figura 2.7. Efeito da variação da intensidade da luz na curva característica IxV.....	12
Figura 2.8. Efeito da temperatura da célula na curva característica IxV.....	12
Figura 2.9. Ligações em série.....	13
Figura 2.10. Ligações em paralelo	13
Figura 2.11. Micro-inversor solar	14
Figura 2.12. Aquífero livre ou freático.....	19
Figura 2.13. Aquífero confinado ou artesiano.....	20
Figura 2.14. Formação de cone de depressão.....	20
Figura 3.1. Bombeamento fotovoltaico sem armazenamento	21
Figura 3.2. Fluxograma da metodologia do sistema de bombeamento	22
Figura 4.1. Plataforma do Retscreen	24
Figura 4.2. Exemplo de dados retirados no Retscreen.....	24
Figura 4.3. Sistema de bombeamento fotovoltaico para um poço.....	26

Figura 5.2. Mapa da Republica do Haiti	31
Figura 5.3. Posição da estação em relação ao local do projeto.....	33
Figura 5.4. Dados de radiação do projeto.....	33
Figura 5.5. Projeto hidráulico de Ecole Nationale Lacroix.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Aproveitamento da radiação solar pelas células de silício cristalino	11
Tabela 2.2. Parâmetros de Qualidade da Água do IQA	18
Tabela 4.1. Estimativa de consumo médio de água por uso final	25
Tabela 4.2. Perdas de carga em tubulações de PVC.....	27
Tabela 4.3. Perdas de carga em conexões de PVC	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1. Consumo de água em metro cúbico diário.	32
Quadro 5.2. Capacidade do reservatório em litros.	32
Quadro 5.3. Características do poço.....	34
Quadro 5.4. Calculo da potencia elétrica da bomba.	35
Quadro 5.5. Potencia dos painéis solares.	35
Quadro 5.6. Resumida do projeto elétrico.....	36

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Altura total equivalente.....	28
Equação 2. Energia hidráulica mínima necessária para o bombeamento	28
Equação 3. Potência do gerador fotovoltaico	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ODM- Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

FV- Fotovoltaico

ABAS- Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

IQA- Índice de qualidade da água

HSP - Horas de sol pleno

h_e - Altura estática

h_d - Altura dinâmica

h_r - Altura do reservatório

h_m - Altura manométrica

h_t - Perda de carga nas tubulações

h_c - Perda de carga localizada nas conexões

h_{co} - Altura manométrica corrigida.

H_{Te} - Altura total equivalente

Q -Consumo diário de água

Q_m - Vazão média

Q_{max} - Capacidade máxima do poço

g - constante de gravidade

ρ - densidade da água

R - Rendimento da bomba

P_{fv} - Potência do gerador fotovoltaico

CC – Corrente continua

CA – Corrente Alternada

V - Tensão por módulo

Imax – Intensidade por módulo

SUMÁRIO

1	Motivação.....	1
1.1	Introdução.....	3
1.2	Objetivo geral.....	5
1.3	Objetivos específicos	5
1.4	Estrutura do trabalho.....	5
2	Revisão bibliográfica	7
2.1	Energia solar.....	7
2.1.1	Crescimento da energia solar	7
2.1.2	Sistemas fotovoltaicos	8
2.1.3	Radiação solar	10
2.1.4	Efeito fotovoltaico.....	10
2.1.5	Módulos fotovoltaicos	11
2.1.6	Fatores que influenciam a característica I-V do módulo	11
2.1.7	Arranjo fotovoltaico	13
2.1.8	Micro- inversor solar	14
2.2	Bombas	14
2.2.1	Histórico do bombeamento fotovoltaico	14
2.2.2	Bombas Centrífugas	15
2.2.3	Bombas Volumétricas	15

2.2.4	Tipos de Motores.....	15
2.2.5	Motores CC.....	15
2.2.6	Motores CA.....	16
2.3	Águas Subterrâneas.....	16
2.3.1	Volume das Águas Subterrâneas.....	16
2.3.2	Qualidade das Águas Subterrâneas.....	17
2.3.3	Poluição de águas subterrâneas.....	17
2.3.4	Índice de qualidade da água (IQA)	17
2.3.5	Super-exploração das águas subterrâneas	18
2.3.6	Aquífero	18
2.3.7	Aquífero livre ou freático	19
2.3.8	Aquífero confinado ou artesiano	19
2.3.9	Teste de bombeamento	20
3	Metodologia	21
4	Desenvolvimento.....	23
4.1	Disponibilidades de energia solar	23
4.1.1	Banco de dados do Retscreen	23
4.2	Mapeamento de água subterrânea	25
4.3	Projeto hidráulico.....	25
4.3.1	População e consumo diário de água	25

4.3.2	Características do poço e alturas manométricas.....	26
4.4	Projeto do sistema fotovoltaico.....	28
4.4.1	Energia hidráulica mínima de bombeamento	28
4.4.2	Energia necessária do gerador fotovoltaico	29
5	Caso de estudo: Ecole Nationale de Lacroix	31
5.1	Descrição da escola.....	31
5.2	Radiação solar do projeto	32
5.3	Identificação do poço.....	33
5.4	Projeto hidráulico do sistema	34
5.5	Energia solar fotovoltaica	35
6	Conclusão	39
7	Referências Bibliográficas	41
Anexo 1	41

1 MOTIVAÇÃO

A existência de água potável e de saneamento básico pode promover o desenvolvimento humano. Atualmente cerca três em cada dez pessoas, ou seja, em um total de 2,1 bilhões não têm acesso a água potável em casa no mundo todo segundo o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2013).

O Haiti faz parte dos países que estão enfrentando grandes desafios em termos de água potável e saneamento. O país está ainda distante em termos de cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM. O acesso ao serviço de abastecimento de água é baixo, sendo este é encontrado por maior parte em áreas urbanas. As ONGs desempenham um papel importante neste setor, especialmente nas zonas rurais. A taxa de cobertura nacional no Haiti para água potável é de 64% com uma taxa de 77% nas zonas urbanas e apenas 48% nas zonas rurais. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 33% da população do Haiti, ou quase 3 milhões de pessoas não tem acesso à água potável (UNICEF, 2017).

As condições ligadas com a água e saneamento, que eram precárias, deterioraram se após o terremoto de 12 de janeiro 2010. Em certas zonas, os habitantes recebem a água diariamente, mas na maioria dos casos recebem apenas duas vezes por semana e durante algumas horas por dia. A falta de serviço é atribuída principalmente:

- Às perdas físicas (considerados á 60%) associadas à idade do sistema de distribuição e furto de água.
- Às interrupções da energia, sobretudo no caso dos poços e as bombas.

O setor fotovoltaico na América Latina e no Caribe teve um crescimento acelerado em 2014. Parques fotovoltaicos em larga escala estão começando a tomar forma em diferentes países, bem como projetos de menor escala ligados à rede. Além disso, o uso de energia solar fotovoltaica continua a ser uma opção frequentemente utilizada para o acesso a eletricidade nas áreas mais remotas da região (OLADE, 2015).

Haiti foi um dos primeiros países da zona de caribe a ser eletrificado em 1912. Atualmente, os outros países da zona são muito adiantados em energia renovável em relação ao Haiti que se tornou o último. Os problemas em energia do país tornaram mais graves após o terremoto de janeiro de 2010. A utilização desta energia limpa não é tão explorada enquanto parece que é a única opção válida para resolver muitas dificuldades ligadas com a energia.

Menos de 30% da população haitiana tem acesso á eletricidade. O acesso á eletricidade em meio rural é abaixo de 5% (OLADE, 2015).

Em 2007, o Haiti publicou seu Plano de Desenvolvimento Energético 2007 – 2017, apontando a grande necessidade de expandir o serviço elétrico para a população e melhorar o serviço elétrico atual através da integração de energias renováveis. Mas no setor da energia fotovoltaica a maioria das ações foi tomada por iniciativas de ONGs, agências multilaterais e de cooperação. Por lado do governo, o ex-presidente Martelly, dentro de suas primeiras ações como presidente, criou somente a iniciativa chamada "Ban m Limyè, Ban m Lavi" (Me dê luz, me dê vida), que visa a garantir que cada família haitiana tenha acesso a uma fonte de iluminação elétrica por meio de lâmpadas solares (WORLD WATCH INSTITUTE, 2014).

A capacidade fotovoltaica instalada no Haiti tem muito poucos registros de informações, a publicação mais recente identificada menciona a existência de 3 MWp de FV no país para 2006. Se considerarmos as instalações recentes em 2 hospitais (St. Damien e Mirebalais) que somam até 500kWp, além disso 700 kWp no programa de lâmpadas de iluminação solar (14 000 lâmpadas de 50Wp), milhares de lanternas solares e outras instalações remotas poderiam ser estimadas pelo menos 2 a 3 MWp adicionais desde 2006 (WORLD WATCH INSTITUTE, 2014).

O Haiti possui um excelente recurso solar com valores médios de radiação horizontal direta global de 5 a 7 kWh / m² / dia. Considera-se que seis quilômetros quadrados de painéis solares fotovoltaicos poderiam produzir tanto de eletricidade que produz o Haiti atualmente (WORLD WATCH INSTITUTE, 2014).

A Ecole Nationale de La Croix é uma instituição de ensino fundamental situada na cidade de Jacmel, sudeste do Haiti. Os alunos desta escola estão enfrentando um grande problema em relação à água, pois a escola fica numa zona rural afastada de rede de abastecimento e de rede de distribuição d energia. Não existem atividades industriais na região, tem um potencial de energia solar extremamente forte durante o ano todo, mesmo no inverno, além disso, possui grande reserva de água subterrânea. Desta maneira, visando a melhorar a segurança hídrica desta população de aprendizagem, pode-se elaborar um sistema de abastecimento de água subterrânea, funcionando com a energia solar fotovoltaica sem o uso de banco de baterias. Enfim, este trabalho respondera aos critérios de sustentabilidade visto que contribuirá na redução de demanda de águas superficiais e na geração de uma energia limpa etc.

1.1 Introdução

A gestão adequada dos recursos água e energia são os principais desafios que a sociedade contemporânea tem enfrentado atualmente. Seria impossível garantir a sustentabilidade do planeta sem a racionalização do uso de água e a produção de energias limpas e renováveis. O sistema de bombeamento fotovoltaico representa uma das formas de harmonizar o nexo água-energia. Áreas remotas, onde não há sistema de adução de água e rede de energia pública, são lugares propícios para a instalação deste tipo de sistema.

O artigo 1 da Declaração Universal dos Direitos da Água promulga: a água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos (ONU, 1992).

A água ocupa aproximadamente 75% da superfície da terra e é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, integrando aproximadamente dois terços do corpo humano e atingindo até 98% para certos animais aquáticos, legumes, frutas e verdura (LIBANIO, 2016)

No percentual total da água doce existente, a maior parte encontra-se sob a forma de gelo nas calotas polares e geleiras, parte é gasosa e parte é líquida, representada pelas fontes subterrâneas e superficiais. Já os rios e lagos, que são as principais formas de abastecimento, correspondem a aproximadamente 0,3% desse percentual (SEZERINO E BENTO, 2005)

A relação do ser humano com os corpos de água data de tempos imemoriais. Estima-se que há 10.000 anos, com a revolução da agricultura, o ser humano tenha começado a abandonar a caça como principal fonte de sustento e iniciaram-se as primeiras culturas e a criação dos primeiros rebanhos. Como consequência, renunciou-se progressivamente ao nomadismo, que caracterizava as primeiras comunidades, e a busca por fontes de abastecimento culminou com o estabelecimento do primeiro povoado às margens dos cursos de água, provavelmente na região da Mesopotâmia (Iraque) (LIBANIO, 2016).

Todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades. Países como a Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, Marrocos, Rússia e Suíça atendem de 70 a 90% da demanda para o abastecimento público. A cidade do México atende cerca de 80% da demanda dos quase 20 milhões de habitantes. A Líbia tem a demanda de água em cidades e na irrigação atendida por poços tubulares perfurados em pleno deserto do Saara (LIBANIO, 2016)

Estima-se em 300 milhões o número de poços perfurados no mundo nas três últimas décadas, 100 milhões dos quais nos Estados Unidos, onde são perfurados cerca de 400 mil

poços por ano, com uma extração de mais de 120 bilhões de m³/ano, atendendo mais de 70% do abastecimento público e das indústrias (RODRIGUE, 2000).

As atividades humanas, econômicas ou não, demandam recursos hídricos para a produção industrial, agropecuária, geração de energia, segurança, lazer, alimento e higiene, ou seja, para a própria sobrevivência. Os principais usos da água têm gerado conflitos e os sinais de escassez tornaram-se cada vez mais frequentes com reflexos desastrosos para a sociedade. (FUNASA, 2007)

Estudiosos do mundo inteiro advertem a possibilidade da crise do século XXI ter a água como centro, ocasionado pelo aumento do consumo e pela deterioração de mananciais devido ao crescimento, muitas vezes sem planejamento, das áreas urbanizadas. Kofi Annan, Nobel da paz em 2001, ex Secretário geral das nações unidas avisou que: A competição feroz pela água potável pode se tornar fonte de conflitos e guerras no futuro (RICHTER, 2015).

O Sol é a fonte de energia e responsável pela origem da maioria das fontes de energia renováveis e, mesmo as que não utilizam diretamente a radiação solar têm sua origem neste. As usinas hidrelétricas, por exemplo, se baseiam na energia potencial da água, que precipita em forma de chuva devido à evaporação causada pela luz solar. Já as pás das torres eólicas geram energia através do vento que as gira. O vento só adquire energia cinética, pois a distribuição da luz solar na atmosfera gera diferenças de temperatura e pressão. Os combustíveis como etanol, metanol e biodiesel e até mesmo a madeira, considerados fontes renováveis, são provenientes de plantas que utilizaram a luz solar para realizar fotossíntese e se desenvolver (LAMARCA, 2012).

A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão da radiação solar em eletricidade a partir do uso de materiais semicondutores como intermediário. A história da primeira célula solar começou em Março de 1953, nos Estados Unidos da América. Mas o assunto passou a receber um grande destaque a partir dos anos 60, durante a guerra fria, pois apesar de seu custo elevado, essa tecnologia se mostrou apropriada para suprir as demandas energéticas em missões aeroespaciais bem como para a manutenção de satélites. Mas o pânico criado pela crise petrolífera de 1973 levou a um súbito investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares (BRITO, 2006).

Água e energia são fatores fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades, principalmente aquelas situadas em locais remotos, e nesse cenário, a falta de energia é o aspecto mais preocupante. Os sistemas de bombeamento fotovoltaico apresentam vantagens para a inserção em comunidades isoladas.

1.2 Objetivo geral

Projetar um sistema de bombeamento fotovoltaico de águas subterrâneas com armazenamento hidráulico para a Ecole Nationale de LaCroix -Jacmel-Haiti.

1.3 Objetivos específicos

- Analisar a disponibilidade de energia solar, utilizando os bancos de dados RETScreen.
- Estimar a demanda de água população (consumo diário).
- Projetar o sistema hidráulico.
- Dimensionar o sistema fotovoltaico.
- Propor um método de cálculos usando uma Planilha Eletrônica.
- Aplicar um estudo de caso na Ecole Nationale de Lacroix.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho apresenta características teóricas e práticas. No capítulo 2 é apresentado uma revisão bibliográfica sobre o uso da energia solar, os tipologias de bombas usadas em poço e o aproveitamento da água subterrânea. O capítulo 3 consiste na descrição de uma metodologia genérica para o dimensionamento de um sistema de bombeamento. O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do trabalho a partir da metodologia proposta anteriormente. O capítulo 5 é voltado em um estudo de caso para a Ecole Nationale de Lacroix (Jacmel, Haiti) usando o roteiro de cálculo visto no capítulo anterior. Por fim, o capítulo 6 apresenta uma breve conclusão do trabalho em geral.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia solar

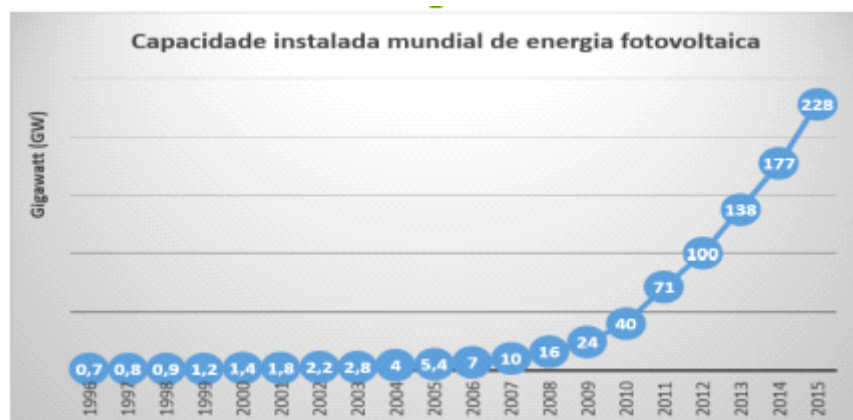
A energia solar é a fonte de energia menos poluente e menos finita conhecida até o momento. Disponível para a humanidade desde o surgimento da vida na terra, nunca foi aproveitada de forma tão eficiente quantos as demais, considerando-se que as outras fontes de energia renováveis sempre apresentam alguma desvantagem. Providenciar um sistema de suprimento de energia solar confiável é uma tarefa que encontra algumas dificuldades e certo grau de complexidade (LOPEZ, 2013).

Esta energia é uma excelente fonte de eletricidade para telecomunicação, iluminação, televisores, micro-onda, ferramentas, computador, rádios, refrigeração de vacina, ventiladores, bombas, telefones e eletrônicos (LOPEZ, 2013).

2.1.1 Crescimento da energia solar

O ano de 2015 foi extraordinário para a energia solar fotovoltaica: diminuição no preço dos painéis fotovoltaicos, o seu mercado cresceu de 25% em relação a 2014, com um aumento recorde de 50 GW, elevando o total global para 227 GW, quase 10 vezes a capacidade mundial acumulada de energia solar de uma década antes. A figura 2.1 mostra o crescimento da energia fotovoltaica no mundo (REN21, 2016).

Figura 2.1. Crescimento do uso da energia solar fotovoltaica



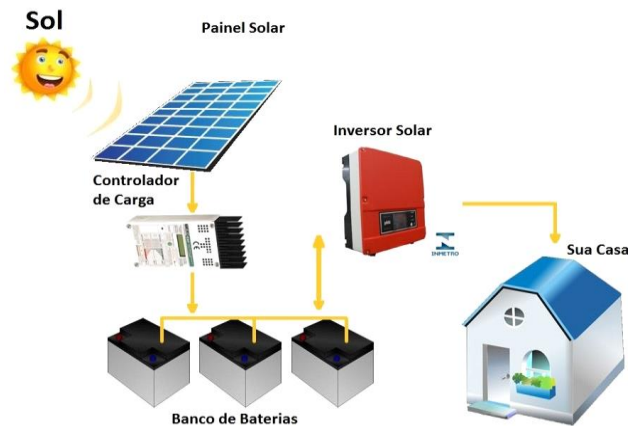
Fonte: EPIA (2015).

2.1.2 Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser implantados em qualquer localidade que tenha radiação solar suficiente e são classificados em três categorias principais: isolados, híbridos ou conectados à rede.

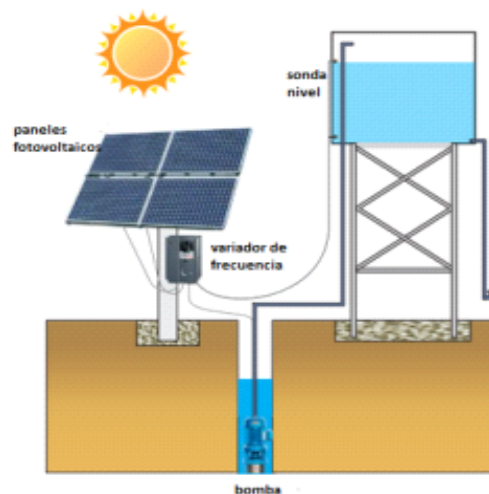
- **Sistema isolado**- que pode ser com ou sem armazenamento elétrico. Indicado pelas figuras 2.2 e 2.3, é aquele que é puramente fotovoltaico e não tem contato com a rede de eletricidade das concessionárias.

Figura 2.2. Sistema isolado com armazenamento elétrico



Fonte: CRS Energia Solar (2014)

Figura 2.3. Sistema isolado sem armazenamento elétrico



Fonte: Blue Sol (2009)

- **Sistema híbrido** – Conforme mostrado na figura 2.4, são sistemas onde a configuração não se restringe apenas à geração fotovoltaica. São sistemas que, estando isolados da rede elétrica, existe mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, gerador diesel, turbinas eólicas e módulos fotovoltaicas. Estes sistemas são mais complexos e necessitam de algum tipo de controle capaz de integrar os vários geradores, de forma a aperfeiçoar a operação para o usuário.

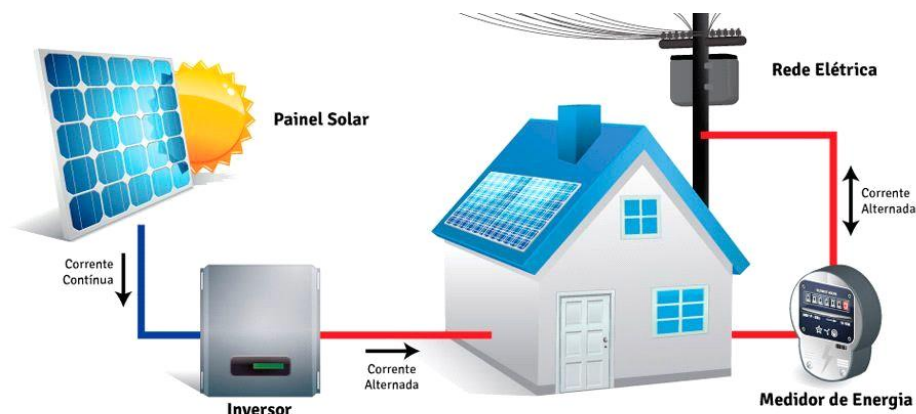
Figura 2.4. Sistema híbrido



Fonte: GEPEA-USP (2008)

- **Sistema conectado à rede** - Também chamado de *on-grid*, fornece energia para a rede de distribuição, geralmente ele dispensa o uso de dispositivos para o armazenamento de energia. Veja a demonstração na figura 2.5.

Figura 2.5. Sistema conectado à rede on-grid

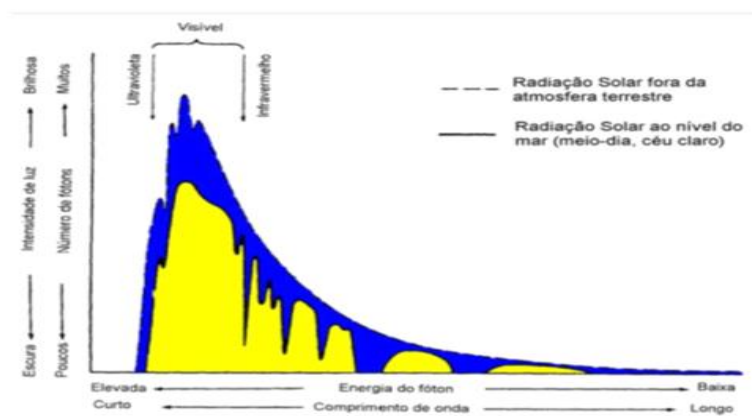


Fonte: CRS Energia Solar(2014)

2.1.3 Radiação solar

A transmissão da energia do Sol para a Terra se dá através da radiação, devido a grande distância que existe entre o Sol e a Terra, somente uma mínima parte de radiação emitida pelo sol consegue atingir a superfície terrestre. Esta radiação é estimada a uma quantidade de energia de 1×10^{18} KWh/ano e vale aproximadamente dez mil vezes da demanda global de energia. Assim, teríamos que utilizar apenas 0,01 % desta energia para suprir a demanda energética total da humanidade. Em fim a radiação solar é radiação eletromagnética que tem distribuição espectral conforme a figura 2.6 (PORTAL ENERGIA, 2004).

Figura 2.6. Espectro da radiação eletromagnética do sol



Fonte: (CRESESB, 2004)

2.1.4 Efeito fotovoltaico

O termo fotovoltaico significa a conversão direta da radiação solar em corrente elétrica, utilizando-se a células solares. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais utilizada. Atualmente, cerca de 95% de todas as células solares do mundo são de silício. Depois do oxigênio, é o segundo elemento químico mais frequentemente utilizado na Terra. O silício apresenta uma disponibilidade quase ilimitada. A tabela 2.1 apresenta a percentagem de aproveitamento em radiação das células de silício cristalino. Este material não existe como um elemento químico. Existe apenas associado à areia de sílica (PORTAL ENERGIA, 2004).

Tabela 2.1. Aproveitamento da radiação solar pelas células de silício cristalino

Porcentagem	Irradiação Solar Total
-3,0%	Reflexão e sombreamento dos contatos frontais
-23,0%	Fótons com energia insuficiente na Irradiância de ondas compridas
-32,0%	Fótons com energia excedente na Irradiância de ondas curtas
-8,5%	Recombinação de elétrons
-20,0%	Gradiente elétrica, especialmente na região do campo elétrico
-0,5%	Resistência em série (perdas térmicas na condução elétrica)
= 13,0%	Energia elétrica utilizável.

Fonte: Portal Energia (2004)

2.1.5 Módulos fotovoltaicos

Uma célula fotovoltaica de silício cristalizado produz uma tensão de aproximadamente 0,46 a 0,56 volts e uma corrente aproximadamente 30 mA/cm². As células comerciais geram em torno de 1A, 2,5A, 3A, 5A e 7A. No objetivo de alcançar as potências comerciais, os fabricantes de módulos fotovoltaicos conectam as células fotovoltaicas entre si, geralmente em série. Para construir um módulo ou painel de tensão nominal em 12 volts, serão conectadas entre 30 e 40 células.

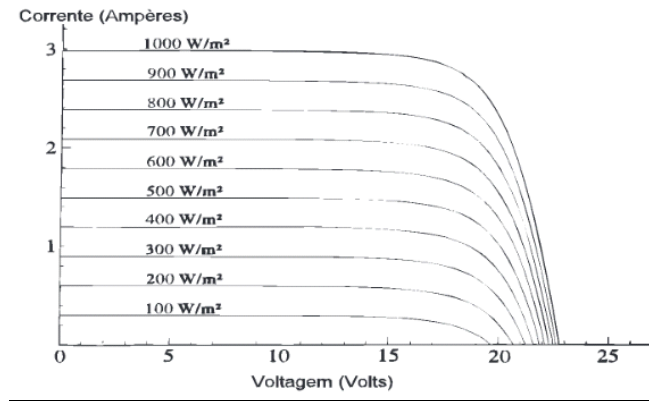
2.1.6 Fatores que influenciam a característica I-V do modulo

A intensidade de iluminação (irradiância) e a temperatura são os principais fatores que afetam a característica I-V do modulo fotovoltaico. A condição padrão para plotagem das curvas características e testes dos módulos é definida para a radiação de 1000 W/m², e temperatura de 25°C (CRESESB, 2014).

- **Irradiância:** O sol possui movimento aparente no céu de acordo com a hora do dia e com o dia do ano. Afeta principalmente a corrente, de modo que em uma primeira aproximação é possível considerar que a corrente é proporcional à mesma. Ver figura 2.7. Entretanto, os módulos normalmente são instalados em posição fixa, devido ao elevado custo dos equipamentos que permitem sua movimentação. Dessa forma, é

fundamental determinar a melhor inclinação para cada região em função da latitude local e das características da demanda (CRESESB, 2014).

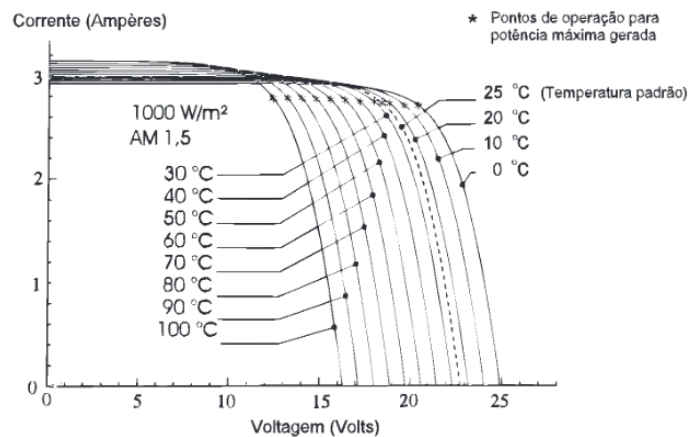
Figura 2.7. Efeito da variação da intensidade da luz na curva característica IxV



Fonte : CRESESB (2004)

- Temperatura:** O aumento do nível de insolação eleva a temperatura da célula e, conseqüentemente, tende a reduzir a eficiência do módulo. Tal fato pode ser constatado na Figura 2.8. Isto se deve ao fato de que a tensão diminui significativamente com o aumento da temperatura, enquanto a corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível. Os módulos de silício amorfo apresentam uma menor influência da temperatura na potência de pico, embora também sofram redução no seu desempenho. A temperatura tem um efeito mais destacado sobre a tensão e a potência, de modo que ao aumentar a temperatura, estas diminuem (CRESESB, 2014).

Figura 2.8. Efeito da temperatura da célula na curva característica IxV



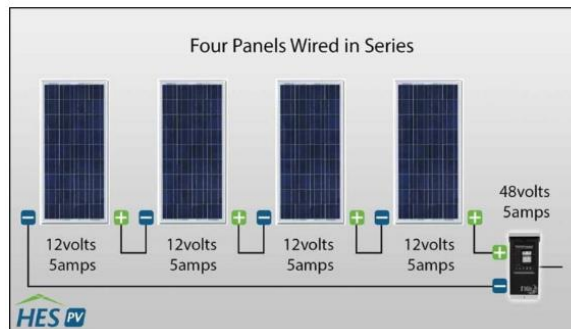
Fonte: CRESESB (2004)

2.1.7 Arranjo fotovoltaico

O objetivo do sistema fotovoltaico é atender a demanda da bomba elétrica, por isso o arranjo correto dos painéis é decisivo. Para formar os arranjos fotovoltaicos são utilizadas ligações em Série e ligações em Paralelo. É importante que a tensão de saída do arranjo seja compatível com a tensão de entrada do componente seguinte ao arranjo fotovoltaico.

- **Ligações em série-** Na figura 2.9 pode-se ver quatro módulos onde o terminal negativo de cada um é conectado ao terminal positivo do módulo subsequente. A este tipo de ligação, negativo para o positivo entre os módulos dá o nome de “conexão em série”. As tensões dos módulos se somam e as correntes permanecem constantes (KRINAT SOLAR 2010).

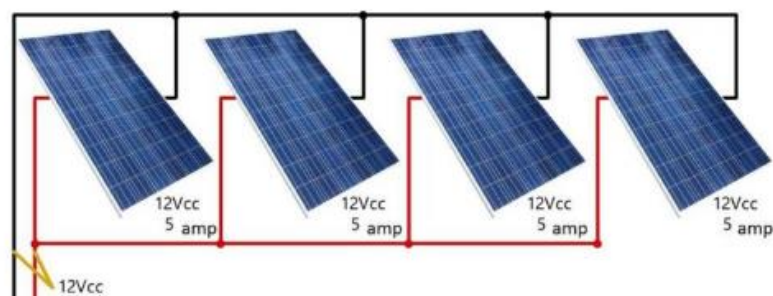
Figura 2.9. Ligações em série.



Fonte: Krinat solar(2010).

- **Ligações em paralelo-** Já na figura 2.10, podem-se observar os módulos ligados em paralelo onde o terminal positivo de um módulo, em vermelho, é conectado ao terminal positivo do outro módulo e o terminal negativo em preto, é ligado ao terminal negativo do outro módulo. Quando conectados em paralelo, as correntes dos módulos se somam e as tensões permanecem constantes (KRINAT SOLAR 2010).

Figura 2.10. Ligações em paralelo

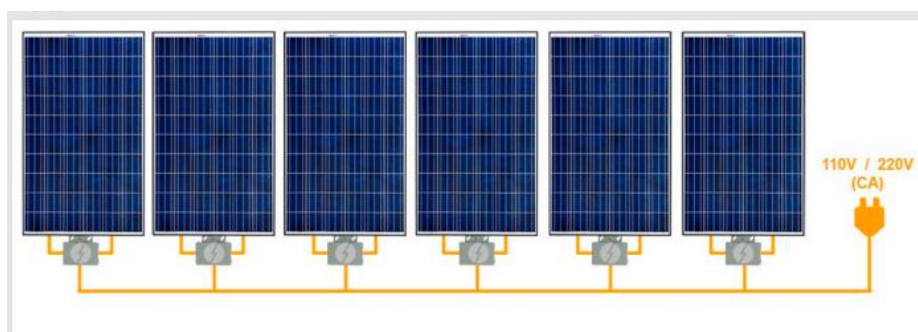


Fonte: Krinat solar (2010).

2.1.8 Micro- inversor solar

O Micro-Inversor é simplesmente um inversor solar *grid tie* miniaturizado, dimensionado para atender painéis solares individualmente em vez de uma série de painéis solares. Ele permite o fácil dimensionamento de uma instalação fotovoltaica de autoconsumo, permitindo ampliar a sua instalação a qualquer momento. As saídas de energia são completamente independentes umas das outras, por isso a sombra em apenas um deles não pode afetar drasticamente toda a matriz de painéis reduzindo bastante a energia produzida por todo o sistema fotovoltaico. Ver a figura 2.11 (PORTAL SOLAR, 2014).

Figura 2.11. Micro-inversor solar



Fonte: portal solar (2014)

2.2 Bombas

Existem duas categorias principais de bombas: centrífugas e volumétricas. Elas têm características e princípios de funcionamento diferentes.

2.2.1 Histórico do bombeamento fotovoltaico

O bombeamento de água, utilizando energia fotovoltaica, iniciou-se na década de 70, na África, Ásia e América do Sul. Esses sistemas utilizavam bombas para a movimentação de água potável de poços até o reservatório principal.

As primeiras aplicações comerciais do bombeamento fotovoltaico datam de 1978. Na ilha de Córsega, dando continuidade a sua tese de doutorado, Dominique Campana desenvolveu e instalou o primeiro sistema de utilização a campo de que se tem registro. Com módulos da empresa Philips e bomba em corrente contínua desenvolvida em conjunto com engenheiros da empresa Guinard, o sistema abastecia uma fazenda de criação de ovelhas. Após este primeiro sistema, alguns outros foram instalados na Europa. No entanto, o primeiro empreendimento em larga escala noticiado se deu no continente africano, mais especificamente em Mali (FREDRIZZI, 1997).

2.2.2 Bombas Centrífugas

Em geral, as bombas centrífugas são adequadas para aplicações que exigem grandes volumes de água (vazões elevadas) e pequenas alturas manométricas (reservatórios superficiais ou cisternas). Possuem pás que giram em alta velocidade, criando pressão e forçando o fluxo de água. Elas podem ser conectadas diretamente ao arranjo fotovoltaico. Entretanto, uma boa relação entre a bomba e o arranjo fotovoltaico é necessária para um eficiente funcionamento. Existem duas classes principais de bombas centrífugas: as submersas e as de superfície (CRESESB, 2004).

- **As bombas submersas-** são equipamentos que funcionam dentro da água. Uma vez que são afogadas, elas dispensam a utilização de cano de sucção que implica uma força menor para elevação da água.
- **As bombas de superfície-** necessitam de um tubo para sucção e válvula. Elas têm sido usadas para capacidades de bombeamento de até 1.200 m³/dia e alturas manométricas até 5 a 6 metros.

2.2.3 Bombas Volumétricas

As bombas volumétricas, também chamadas de bombas de deslocamento positivo, são adequadas quando se deseja atingir grandes alturas manométricas com pequenos ou moderados volumes de água. A eficiência das bombas volumétricas aumenta com o aumento da altura manométrica. Além disso, a saída de água das bombas volumétricas é quase independente da altura manométrica. As características de operação das bombas volumétricas não se ajustam tão bem com a saída do arranjo fotovoltaico quanto as das centrífugas. Por isso, não são muito adequadas para ligação direta aos arranjos fotovoltaicos, uma vez que a corrente necessária muda a cada ciclo da bomba (CRESESB, 2004).

2.2.4 Tipos de Motores

As bombas centrífugas e volumétricas podem ser acionadas tanto por motores de corrente contínua quanto por motores de corrente alternada. A seleção do motor mais adequado depende dos volumes de água envolvidos, das alturas manométricas, das características do poço etc. Mas os critérios básicos são eficiência, preço, confiabilidade e disponibilidade. De maneira geral, é a potência que determina o tipo de motor.

2.2.5 Motores CC

Os motores de corrente contínua têm eficiência elevada e são compatíveis com a natureza da eletricidade contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos. Entretanto, seu custo inicial é relativamente elevado. São mais usados em aplicações de menor potência, abaixo de

7.500W. Os motores de corrente contínua em termos de manutenção e peças, são bastante complexos. Eles exigem conhecimento, habilidade e um programa de manutenção eficiente (CRESESB, 2014).

2.2.6 Motores CA

Os motores de corrente alternada são mais indicados para potências maiores, mas têm sido usados para todas as faixas de potência. São motores mais simples e baratos, mas exigem a instalação de um inversor, de custo elevado, que transforme a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada de frequência variável. Eles têm uma manutenção menos custosa em comparação aos motores de corrente contínua (CRESESB, 2014).

2.3 Águas Subterrâneas

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (adesão e gravidade) desempenhando um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios e lagos.

2.3.1 Volume das Águas Subterrâneas

Assim como a distribuição das águas superficiais é muito variável, a das águas subterrâneas também é, uma vez que elas se inter-relacionam no ciclo hidrológico e dependem das condições climatológicas. Entretanto, as águas subterrâneas com reservas de $10.360.230 \text{ km}^3$ são aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais dos rios e lagos (92.168 km^3). Embora elas encontrem-se armazenadas nos poros e fissuras milimétricas das rochas, estas ocorrem em grandes extensões, gerando grandes volumes de águas subterrâneas na ordem de, aproximadamente, 23.400 km^3 , distribuídas em uma área aproximada de 134,8 milhões de km^2 , constituindo-se em importantes reservas de água doce (ABAS).

2.3.2 Qualidade das Águas Subterrâneas

Durante o percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a depuração da mesma através de uma série de processos físico-químicos e bacteriológicos que agindo sobre a água, modificam as suas características adquiridas anteriormente, tornando-a particularmente mais adequada ao consumo humano. Deste modo as águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas dos rios: são filtradas e purificadas naturalmente através da percolação; não ocupam espaço em superfície; possuem temperatura constante; têm maior quantidade de reservas etc (SILVA, 2011).

2.3.3 Poluição de águas subterrâneas

A poluição ocorre pela ocupação inadequada de uma área que não considera a sua vulnerabilidade, ou seja, a capacidade do solo em degradar as substâncias tóxicas introduzidas no ambiente. A poluição pode se dar por fossas sépticas; infiltração de efluentes industriais; fugas da rede de esgoto e galerias de águas pluviais; vazamentos de postos de serviços; poluição por água salina, aterros sanitários e lixões; uso indevido de fertilizantes nitrogenados; entre outros (ABAS).

2.3.4 Índice de qualidade da água (IQA)

O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. O IQA é composto por nove parâmetros, com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água. Veja a descrição dos parâmetros do IQA na tabela 2.2 (BASTOS, 2013).

Tabela 2.2. Parâmetros de Qualidade da Água do IQA

PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	PESO (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO5.20	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

(Fonte: ANA)

2.3.5 Super-exploração das águas subterrâneas

A super-exploração ocorre quando a extração de água subterrânea ultrapassa os limites de produção do aquífero, provocando danos ao meio ambiente ou para o próprio recurso, como aumento nos custos de bombeamento, escassez de água, avanço da água do mar sobre a água doce. Portanto, a água subterrânea pode ser retirada de forma permanente e em volumes constantes, por muitos anos, desde que esteja condicionada a estudos prévios do volume armazenado no subsolo e das condições climáticas e geológicas de reposição (BORGUETTI E FILHO, 2004).

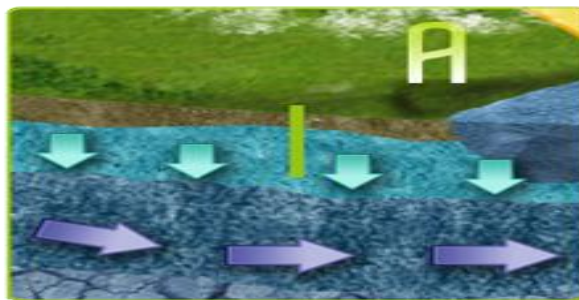
2.3.6 Aquífero

Aquífero é nome dado para um reservatório subterrâneo de água. A capacidade de armazenamento de água de um aquífero depende da extensão e espessura da camada de rochas permeáveis à água ou de material não consolidado (seixos, areia ou silte) do qual se pode extrair água por meio de um poço.

2.3.7 Aquífero livre ou freático

Os aquíferos livres ou freáticos foram os primeiros explorados pelo ser humano. Apresentam a porção inferior delimitada por rochas permeáveis ou semipermeáveis e a porção superior livre. Em locais como altos de morros e serras, o nível de água pode ser bastante profundo; próximo aos rios, o nível é mais baixo. Sua recarga ocorre de forma livre pela infiltração direta da água das chuvas, sendo que o tipo de cobertura do solo (vegetação, pavimentação, plantações, entre outros) e a inclinação do terreno são fatores que tornam o processo de infiltração variável. A descarga se dá em áreas de contato com rios, lagos, mares e nas nascentes, quando a água brota naturalmente do aquífero freático para a superfície, originando um córrego. Em função da sua pouca profundidade, os aquíferos freáticos são facilmente contaminados. Ver figura 2.12 (CLEARY, 2007).

Figura 2.12. Aquífero livre ou freático

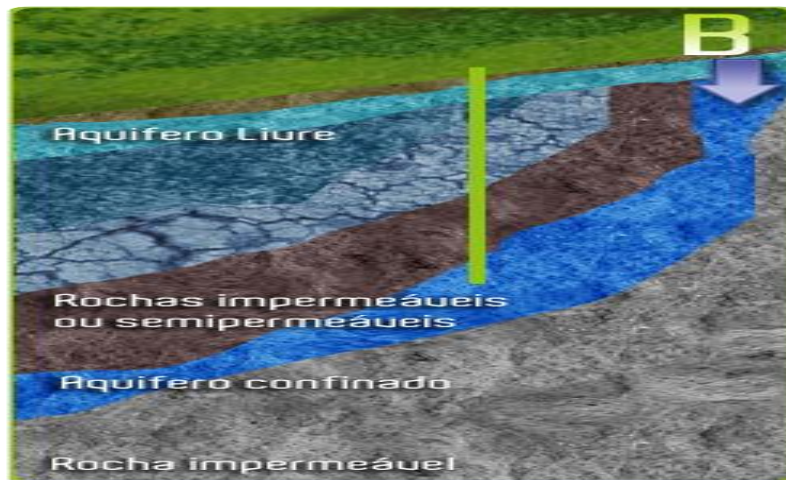


Fonte: educacional

2.3.8 Aquífero confinado ou artesiano

Os aquíferos artesianos são aqueles que estão entre camadas de rochas permeáveis ou semipermeáveis a profundidades maiores, onde a circulação de água é menos intensa que nos aquíferos freáticos. Em função da grande profundidade e da pressão exercida pelas camadas adjacentes de rocha, a pressão nos aquíferos artesianos é maior que a pressão atmosférica, portanto a maioria dos poços perfurados nesse tipo de aquífero tende a jorrar. Ver a figura 2.13 (CLEARY, 2007).

Figura 2.13. Aquífero confinado ou artesiano

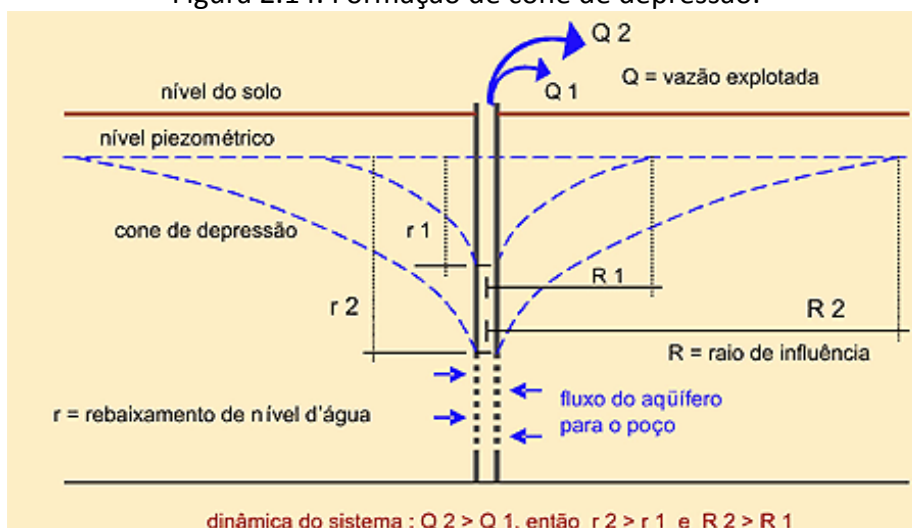


Fonte: educacional

2.3.9 Teste de bombeamento

Conforme visto, de acordo com o aquífero do qual se promove o bombeamento da água, o poço pode ser denominado freático ou artesiano. O bombeamento produz as depressões do nível d'água do aquífero (ou da superfície piezométrica, em caso de artesiano) para que a água flua para o poço em regime laminar, constituindo o chamado “*cone de depressão*”. O raio desse cone, denominado raio de influência, é função da vazão de bombeamento, e também varia com o tempo de bombeamento. O raio de influência, bem como a depressão de nível, cresce com o tempo de bombeamento, em taxas decrescentes, até que a capacidade de recarregamento do aquífero se equilibre com a vazão de bombeamento. Todos esses movimentos podem ser acompanhados na figura 2.14 (CLEARY, 2007).

Figura 2.14. Formação de cone de depressão.

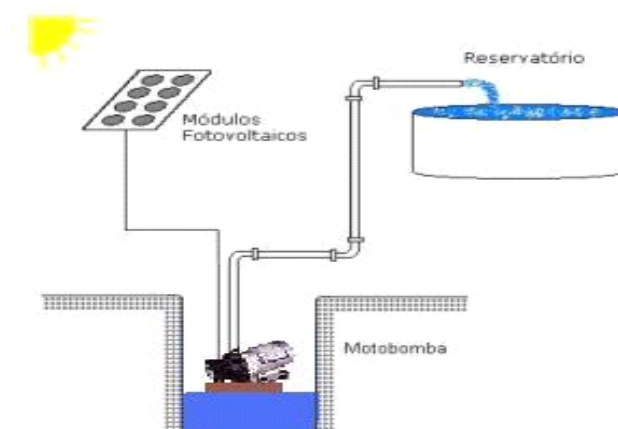


Fonte: Acquasolo

3 METODOLOGIA

Um sistema de bombeamento fotovoltaico sem armazenamento elétrico é constituído de: módulos fotovoltaicos, moto-bomba e reservatório de água. Como pode-se observar na figura 3.1 o sistema é semelhante aos sistemas convencionais, com a diferença básica que o acionamento do motor da bomba é feito por um conjunto de módulos fotovoltaicos.

Figura 3.1. Bombeamento fotovoltaico sem armazenamento



Fonte: Solenerg

O gerador solar somente gera energia quando há radiação solar incidindo nas placas. Devido à ausência de baterias, a moto-bomba só funciona durante o dia, quando há insolação. Não bombeia em períodos nublados, chuvosos. Para isso será feita uma avaliação da disponibilidade de energia solar do local, usando banco de dados da NASA via o software RETScreen.

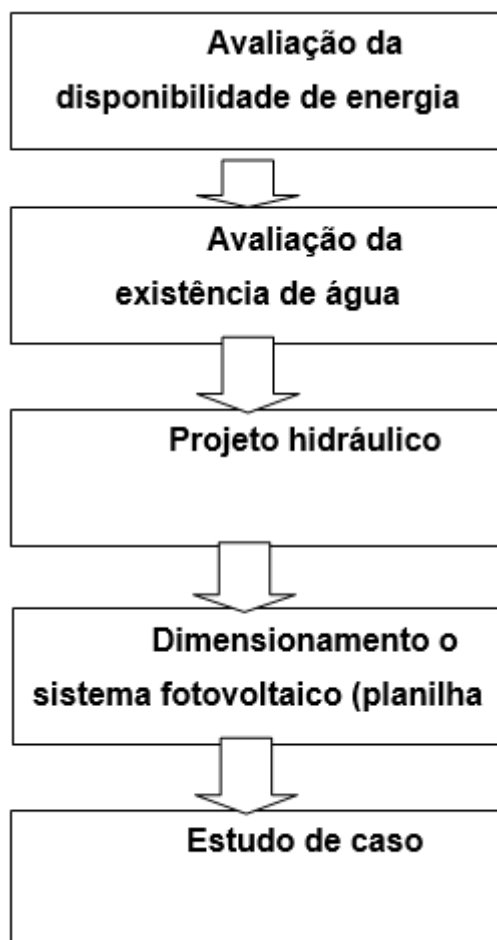
A perfuração de poços para captação de água subterrânea deve ser executada conforme a norma da região depois de conjuntos de estudos que comprovam a existência de água e a boa qualidade para o consumo. Para auxiliar neste processo pode-se usar o mapa hidrogeológico do país no qual está sendo realizado o projeto.

Sabendo as características do poço, será realizado o projetohidráulico determinando o consumo diário e o correto dimensionamento da bomba. É importante ressaltar que no sistema de bombeamento solar, a vazão se expressa em m^3 (ou litros) por dia e não m^3 (ou litros) por hora como nos sistemas convencionais.

Sabendo as características de tensão e corrente da bomba, o ultimo passo é o dimensionamento a través de uma planilha eletrônica do sistema fotovoltaico que pode suprir a sua demanda energética.

Aplicar um estudo de caso para Ecole Nationale de Lacroix, situada no município Jacmel, sudeste do Haiti. A figura 3.2 mostra o fluxograma da metodologia do sistema.

Figura 3.2. Fluxograma da metodologia do sistema de bombeamento



Fonte: Elaboração do autor

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Disponibilidades de energia solar

O sol é uma estrela, que concentra a maioria, senão todos os elementos presentes na Terra. A terra gira em torno do próprio eixo e tem duração aproximada de 24 horas e também gira em torno do sol, com duração aproximada de 365 dias. Devido a essas mudanças de posicionamento, a cada instante, um mesmo local recebe quantidades de radiação diferentes.

4.1.1 Banco de dados do Retscreen

Para a análise do recurso solar será usado o banco de dados do Retscreen , Software de análise de projetos de energia limpa, disponibilizado pelo governo canadense. Ele foi um produto de destaque no Encontro Ministerial de Energia Limpa em 2016, que ocorreu em São Francisco, EUA, pois integra várias bases de dados de suporte ao usuário, incluindo um banco de dados de condições climáticas obtidas a partir de 6.700 estações terrestres e satélites da NASA.

RETScreen Expert é a versão atual do software, lançada ao público em 19 de setembro de 2016. O software possibilita a total identificação, avaliação e otimização da viabilidade técnica e financeira de possíveis projetos de energia renovável e de eficiência energética, assim como a medição e verificação do desempenho real das dependências e a identificação de oportunidades de economia/produção de energia.

O “Modo Visualizar” do RETScreen Expert é gratuito e dá acesso a toda a funcionalidade do software. Algo diferente das versões anteriores do RETScreen é o novo “Modo Profissional” (que permite aos usuários salvar, imprimir, etc.) que agora encontra-se disponível mediante assinatura anual. O software inclui uma ampla variedade de material de treinamento integrado, além de um livro texto eletrônico. A figura 4.1 mostra a plataforma do Retscreen.

Figura 4.1. Plataforma do Retscreen



Fonte: Retscreen (2016)

RETScreen permite aos tomadores de decisão e profissionais do setor avaliar se um determinado projeto de energia renovável, eficiência energética ou cogeração possui viabilidade financeira. Seja o projeto viável ou não, RETScreen ajudará o tomador da decisão a compreendê-lo: rapidamente, inequivocamente, com um formato de fácil utilização e um custo relativamente reduzido. O Software RETScreen reduz significativamente os custos (tanto financeiros como temporais) associados à identificação e acesso a potenciais projetos energéticos. Estes custos, que se manifestam nas fases de pré-viabilidade, viabilidade, desenvolvimento e engenharia, podem constituir barreiras substanciais à implantação de Tecnologias de Energias Renováveis e Eficiência Energética. Ajudando a quebrar essas barreiras, RETScreen reduz os custos associados à implantação de projetos no terreno e à negociação de soluções em energia limpa. A figura 4.2 mostra um exemplo de dados retirados no Retscreen.

Figura 4.2. Exemplo de dados retirados no Retscreen.

Mois	Température de l'air		Humidité relative	Précipitation	Rayonnement solaire quotidien - horizontal		Pression atmosphérique	Vitesse du vent	Température du sol		Degrés-jours de chauffage 18 °C	Degrés-jours de climatisation 10 °C
	°C	%			mm	kWh/m ² /j			kPa	m/s		
Janvier	24,6	67,4%	27,70	4,71	99,3	5,4	26,2	0	453			
Février	25,0	64,2%	22,30	5,17	99,3	5,3	26,9	0	420			
Mars	25,7	62,9%	39,36	5,51	99,2	5,0	28,2	0	487			
Avril	26,1	65,2%	83,14	5,88	99,1	4,4	29,0	0	483			
Mai	26,3	71,1%	123,34	5,85	99,1	4,5	28,8	0	505			
Juin	26,3	74,8%	149,17	6,22	99,2	4,9	28,2	0	489			
Juillet	26,0	75,5%	201,73	6,27	99,3	5,4	27,6	0	496			
Août	26,1	76,5%	223,04	6,09	99,2	5,0	27,7	0	499			
Septembre	25,9	78,0%	196,18	5,42	99,0	4,3	27,7	0	477			
Octobre	25,7	77,6%	177,71	4,86	99,0	4,1	27,5	0	487			
Novembre	25,2	74,6%	99,51	4,46	99,1	5,0	26,8	0	456			
Décembre	24,8	70,3%	60,90	4,40	99,2	5,4	26,3	0	459			
Annuel	25,6	71,6%	1.404,08	5,40	99,2	4,9	27,6	0	5.710			
Source	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA			
Mesuré à					m	10	0					

Données climatiques

Fonte: Retscreen (2016)

O software não disponibiliza número de horas de sol pleno (HSP):tempo em horas em que a irradiância solar deve ser igual o superior a 1000 W/m^2 . Quando não se dispõe deste dado pode-se considerar $\text{HSP} = 5\text{h/dia}$ segundo PROCEL-Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

4.2 Mapeamento de água subterrânea

Antes de iniciar a construção de um poço é necessária que se faça estudo hidrogeológico que leva em consideração a espessura da formação geológica, seu grau de permeabilidade, a quantidade disponível de águas etc. Todas essas informações vão permitir de planejar a exploração do aquífero e prevenir as ocorrências indesejadas. A segunda opção, a mais fácil é dispor do mapa hidrogeológico do aquífero a ser explorado. Basicamente quase todos os países tem este mapa de registro hidrológico, agilizando os projetos de perfuração de poço.

4.3 Projeto hidráulico

4.3.1 População e consumo diário de água

A primeira etapa de um projeto de abastecimento de água fotovoltaico é a estimativa do consumo diário de água (Q). Esta etapa é muito importante para um correto dimensionamento dos geradores fotovoltaicos, tubulações, reservatórios e conjunto de bombas. O bombeamento pode ser utilizado por diversos fins, e o número de consumo vai variando para cada um deles. A tabela 4.1 apresenta o consumo diário para cada finalidade.

Tabela 4.1. Estimativa de consumo médio de água por uso final

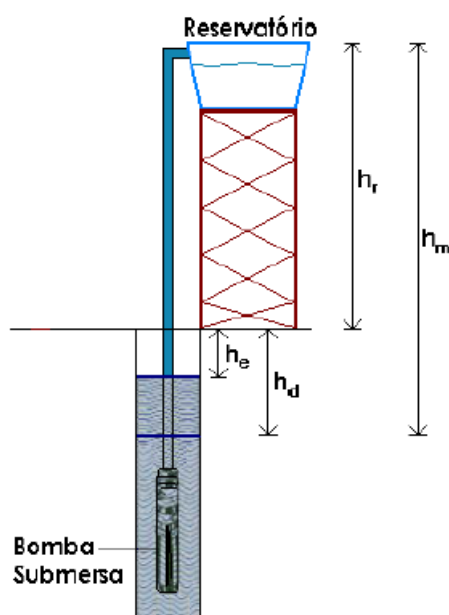
Consumo humano⁶	litros/(pessoa.dia)
Sobrevivência	5
Pequenas propriedades rurais	40 - 70
Grandes centros urbanos	100 - 400
Consumo animal⁷	litros/(cabeça.dia)
Gado (leite)	70
Gado (corte)	40
Ovinos/caprinos	5
Suínos	15
Equinos	40
Frango (corte)	0,15
Cultivo⁸	litros/(ha.dia)
Horta para subsistência	25.000
Banana	46.500
Milho	50.000
Feijão	48.000
Amendoim	47.000
Cebola	45.000
Ervilha verde	68.500
Abacaxi	23.000

(Fonte: FAO)

4.3.2 Características do poço e alturas manométricas

É importante que sejam levantadas as características do poço, principalmente o nível estático e dinâmico, e as capacidades de fornecimento de água para as épocas mais críticas do ano, confrontando-as com as necessidades de água da comunidade. Cuidar para que as necessidades de água não sejam superiores à capacidade do poço. Para uma melhor compreensão a figura 4.3 apresenta um esquema típico de um sistema de bombeamento fotovoltaico para um poço (SCHILLER, 2008).

Figura 4.3. Sistema de bombeamento fotovoltaico para um poço.



Fonte: Cresesb (2004)

- **Altura estática (h_e)** - Distância vertical em metros, entre o nível do solo e o nível da água em repouso no poço.
- **Altura dinâmica (h_d)** - Distância vertical em metros, entre o nível do solo e o nível da água durante o bombeamento da vazão desejada.
- **Altura do reservatório (h_r)** - Distância vertical em metros, entre o nível do solo e o nível do ponto mais alto do reservatório.
- **Altura manométrica (h_m)** – Soma do nível dinâmico e do nível do reservatório.

Perda de carga nas tubulações (h_t) - Atrito exercido na parede interna do tubo pela passagem da água no seu interior. É mensurada obtendo-se, através de coeficientes, um valor percentual sobre o comprimento total da tubulação, em função do diâmetro interno da tubulação e da vazão desejada. A tabela 4.2 apresenta a perda de carga em tubulações. A tabela 4.3 apresenta a perda de carga em conexões.

O tipo de tubulação usada na distribuição e captação de água mais usada atualmente é o tubo PVC, uma vez que apresenta uma perda menor que os tubos de ferro, que apresentam mais problemas com ferrugem, apresentando uma vida útil menor, podendo variar o diâmetro dependendo da vazão e potência do sistema (CRESESB, 2014).

Tabela 4.2. Perdas de carga em tubulações de PVC

Perdas de Carga (perda equivalente em metros de altura manométrica para cada 100 m de tubulação)							
Vazão (L/h)	Diâmetro interno da tubulação (mm)						
	19	26	32	38	50	63	75
500	1,15						
1.000	4,65	1,15	0,23				
2.000	22,40	5,30	1,43	0,55			
3.000		9,90	2,50	1,00	0,50	0,18	
4.000		16,25	4,55	2,00	0,83	0,38	0,14
5.000			6,45	2,60	1,15	0,48	0,17
6.000			9,25	4,30	1,55	0,58	0,20
7.000			12,85	5,45	2,00	0,68	0,25
8.000			16,60	7,50	2,50	0,90	0,30
9.000				9,45	3,05	1,13	0,40
10.000				12,50	4,25	1,40	0,58
12.000				15,45	5,45	1,90	0,75
15.000				23,50	8,10	3,00	1,18

Fonte: Creder (2006).

- **Perda de carga localizada nas conexões (h_c)-** Atrito exercido na parede interna das conexões, registros, válvulas, dentre outros, quando da passagem do fluido. É mensurada obtendo-se, através de coeficientes, um comprimento equivalente em metros de tubulação, definido em função do diâmetro nominal e do material da conexão. Veja as perdas de cargas nas conexões segundo a tabela 05.

Tabela 4.3. Perdas de carga em conexões de PVC

Perdas de Carga (m) por tipo de conexão – Equivalência em metros lineares de tubulação de mesmo diâmetro interno			
Conexão	Diâmetro interno da tubulação (mm)		
	32	50	63
Joelho 45°	0,274	0,457	0,610
Joelho 90°	0,457	0,762	1,067
T	0,762	1,067	1,524
Válvula Globo	7,620	13,716	16,764
Válvula Gaveta	0,183	0,305	0,396
Válvula de Retenção	0,914	1,524	2,134

Fonte: Creder (2006)

- **Altura manométrica corrigida (h_{co})** – Soma da altura manométrica, perda de carga nas tubulações e perda de carga nas conexões.
- **Princípio de altura equivalente** – Sempre que possível, é indicado que se disponha do teste de capacidade do poço, que fornece o valor de sua capacidade máxima disponível (Q_{Max}). Esse valor é utilizado para se determinar a altura total equivalente (H_{TE}), dada em metros, que pode substituir a altura manométrica corrigida, nos cálculos de projeto. Esse procedimento é tomado para que seja respeitado o limite máximo de extração de água do poço, em função de seu regime de reposição. Dessa forma, evita-se uma situação não indicada para bombas submersas, na qual o rebaixamento do poço atinge a tomada de água da bomba, de forma que esta aspira uma mistura de ar e água, resultando em danos por superaquecimento. A equação 1 permite de calcular a altura total equivalente (CRESESB, 2014).

$$H_{TE} = h_e + h_r + \left(\frac{h_d - h_e}{Q_{Max}} \right) Q_m + h_t(Q_m) + h_c(Q_m) \quad (1)$$

- ✓ H_{Te} (m): Altura total equivalente
- ✓ Q_m (m^3/h): Vazão média em
- ✓ Q_{max} (m^3/h): Capacidade máxima do poço
- ✓ $h_e h_t$ (m): Perdas de cargas nas conexões e na tubulação e conexões
- ✓ h_e (m): Altura estática
- ✓ h_r (m): Altura do reservatório

O valor da altura manométrica corrigida e da altura total equivalente iguala-se apenas quando a vazão média Q_m e a capacidade máxima do poço Q_{max} são iguais.

4.4 Projeto do sistema fotovoltaico

4.4.1 Energia hidráulica mínima de bombeamento

De posse da vazão de água requerida, em m^3/dia , e da altura manométrica corrigida (ou altura total equivalente), em metros, a energia hidráulica mínima necessária para o bombeamento, é dada pela equação 2 (SCHILLER, 2008).

$$E_{elet}(kWh) = \frac{\text{Constante hidráulica} \times \text{Vazão diária} \times \text{Altura manométrica corrigida}}{\text{Rendimento do moto-bomba}} \quad (2)$$

$$E_{\text{elet}} = \frac{C \times Q_m \times h_c}{R} \quad (2)$$

Onde, $C = g \times \rho = \frac{9,81(m.s^2) \times 1000(kg/m^3)}{3600s} = \frac{2,725Kg.s.h}{m^2}$

- $g = \text{constante de gravidade } (9,82m/s^2)$
- $\rho = \text{densidade da água } (1000kg/m^3)$
- $R = \text{Rendimento da bomba normalmente entre } 30\% \text{ e } 45\%$

4.4.2 Energia necessária do gerador fotovoltaico

Finalmente, a potencia do gerador fotovoltaico (P_{fv}), dada em W_p , é calculada a partir da equação 3. Ela é obtida através da relação entre a energia hidráulica, numero de Hora do sol pleno médio anual de radiação no plano do gerador (HSP) e da perda em função da temperatura e das poeiras (SCHILLER, 2008).

$$P_{fv}(W_p) = \frac{E_{\text{elet.}}}{HSP \times (1 - \text{perda})} \quad (3)$$

Considerando a eficiência típica do conjunto moto-bomba quando trabalhando com energias solar FV, 25%, a energia elétrica mínima necessária.

5 CASO DE ESTUDO: ECOLE NATIONALE DE LACROIX

5.1 Descrição da escola

A Ecole Nationale de Lacroix, localizada na região sudeste do HAITI, ao redor do município Jacmel possui cerca de 250 alunos. A localidade onde fica a escola nunca foi conectada à rede pública de energia elétrica e de abastecimento de água. Segundo o Diretor da escola o consumo mensal é de 30m³ de água e gastou em torno de US\$560. Figura 5.1 a) mostra a localização da escola, Figura 5.1 b) mostra uma vista do ambiente escolar e a figura 5.2 é o mapa do Haiti.

5.1 a) localização da escola



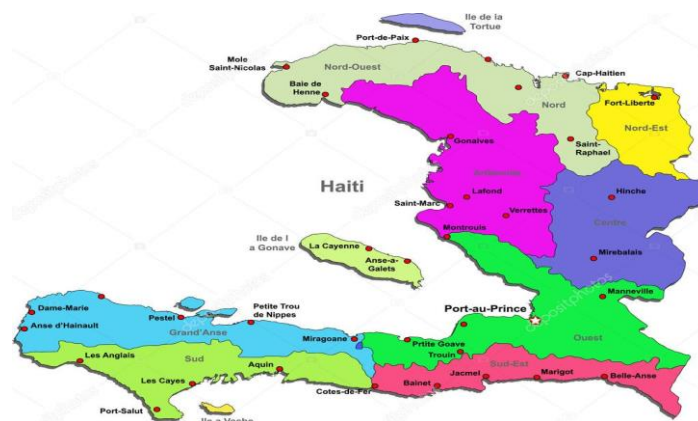
Fonte: Google maps

5.1 b) Vista do ambiente escolar



Fonte: Do autor

Figura 5.1. Mapa da Republica do Haiti



Fonte: MENFP (2017)

O objetivo atual é bombear a água a partir de um poço existente para um reservatório superior e posteriormente a escola será abastecida por gravidade. Para acionar o motor da bomba optou-se para energia solar fotovoltaica, devido á disponibilidade do recurso solar. Todos os cálculos vão ser feito a traves de uma planilha eletrônica de Excel. Os valores de entrada estão em azul e os cálculos em vermelho.

- **Cálculo de consumo diário**

A demanda de água deve ser levantada como em um sistema convencional, levando-se em conta que quanto maior é a quantidade de água bombeada maiores serão os custos, principalmente do gerador fotovoltaico. Neste caso trata-se de uma escola de 250 *alunos* em meio rural, então considera-se 50litros/aluno /dia referente ao quadro 5.1 e achamos o consumo diário de 12,50 m³.

Quadro 5.1. Consumo de água em metro cúbico diário.

Número de pessoas	250
Consumo [litros/pessoa/dia] (#)	50
Consumo diário [m ³]	12,50

Fonte: Elaboração do autor

Neste sistema de bombeamento de água, o armazenamento é realizado em reservatório de água sem necessidade de baterias, então o tamanho do reservatório deve ser proporcional ao numero de dias de autonomia solicitado pela norma da região.

Quadro 5.2. Capacidade do reservatório em litros.

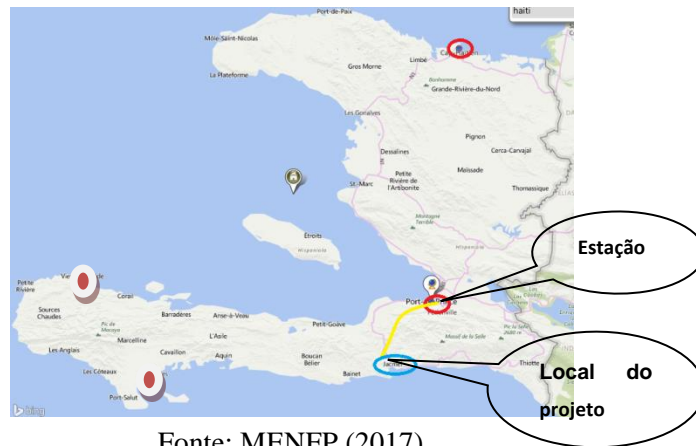
Numero de dia de autonomia	3
Consumo diário [m ³]	12,5
Capacidade do reservatório (l)	37.500

Fonte: Elaboração do autor

5.2 Radiação solar do projeto

Os dados da radiação solar foram levantados a partir do Retscreen. No Haiti a NASA se disponibiliza de 4 estações nas seguintes municípios: Port-au-Prince, Cap-Haitien, Les Cayes e Jeremie. Como pode-se perceber na figura 5.3 que a cidade de Jacmel, local do projeto fica mais perto da estação do Port-au-Prince por isso que nos usamos os dados daquela estação. O mês de Dezembro tem a menor radiação solar: 4,40 kWh/m²/d. A figura 5.4 mostra os dados de radiação do projeto.

Figura 5.2. Posição da estação em relação ao local do projeto



Fonte: MENFP (2017)

Figura 5.3. Dados de radiação do projeto

Mois	Température de l'air	Humidité relative	Précipitation	Rayonnement solaire quotidien horizontal	Pression atmosphérique	Vitesse du vent	Température du sol	Degrés-jours de chauffage 18 °C	Degrés-jours de climatisation 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m ² /j	kPa	m/s	°C	°C-j	°C-j
Janvier	24,6	67,4%	27,70	4,71	99,3	5,4	26,2	0	453
Février	25,0	64,2%	22,30	5,17	99,3	5,3	26,9	0	420
Mars	25,7	62,9%	39,36	5,51	99,2	5,0	28,2	0	487
Avril	26,1	65,2%	83,14	5,88	99,1	4,4	29,0	0	483
Mai	26,3	71,1%	123,34	5,85	99,1	4,5	28,8	0	505
Juin	26,3	74,8%	149,17	6,22	99,2	4,9	28,2	0	489
Juillet	26,0	75,5%	201,73	6,27	99,3	5,4	27,6	0	496
Août	26,1	76,5%	223,04	6,09	99,2	5,0	27,7	0	499
Septembre	25,9	78,0%	196,18	5,42	99,0	4,3	27,7	0	477
Octobre	25,7	77,6%	177,71	4,86	99,0	4,1	27,5	0	487
Novembre	25,2	74,6%	99,51	4,46	99,1	5,0	26,8	0	456
Décembre	24,8	70,3%	60,90	4,40	99,2	5,4	26,3	0	459
Annual	25,6	71,6%	1.404,08	5,40	99,2	4,9	27,6	0	5.710
Source	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Mesuré à					m	10	0		

Fonte: Retscren (2016)

5.3 Identificação do poço

A construção de um poço deve ser executada dentro da norma da localidade em questão. A final a empresa construtora deve fornecer o relatório final do poço contendo os dados construtivos, geologia, teste de vazão, análise da qualidade da água e equipamentos adequados para a sua exploração. É necessário ressaltar que recentemente que foi construído um poço próximo da escola. Como este estudo de caso é mais voltado para o dimensionamento do sistema hidráulico e elétrico, então são extraídos os seguintes dados: Profundidade, Nível estático e nível dinâmico. O quadro 03 mostra as características do poço.

Quadro 5.3. Características do poço.

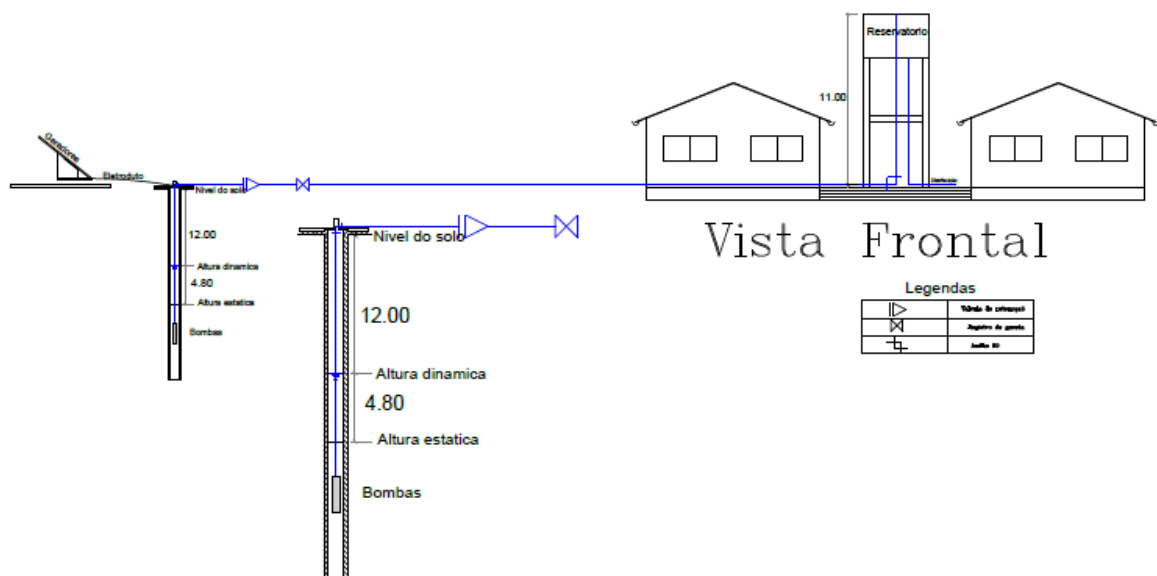
Proprietário: Josias Lafleur Cota:	
Departamento: Sud`est	Profundidade: 24 m
Município: Jacmel	Nível Estático: 16,80 m
Coordenadas:	Nível dinâmico: 12 m

Fonte: Elaboração do autor.

5.4 Projeto hidráulico do sistema

A captação de água será feita através do poço existente e a água será bombeada até o reservatório. Nesta fase será calculada a potência elétrica da bomba levando em consideração as características do poço (o nível estático e dinâmico), altura de bombeamento, perda de carga nas tubulações, altura manométrica e a vazão necessária. No final a bomba submersa que vai ser escolhida é do fabricante Schneider e rede de água será executada com tubos de PVC, tipo soldável, na bitola de, DN32mm que é também o diâmetro da saída da boca da bomba. A figura 5.5 mostra o projeto hidráulico da escola e o quadro 5.4 mostra o cálculo da potência elétrica da bomba.

Figura 5.4. Projeto hidráulico de Ecole Nationale Lacroix.



Fonte: Elaboração do autor

Quadro 5.4. Calculo da potencia elétrica da bomba.

Horas de sol de funcionamento Bombas	5
Número de bombas	1
Altura de bombeamento [m]	24,6
Perda de carga hidráulica [mca]	8
Altura manométrica da bomba [mca]	32,6
Vazão bomba [m ³ /seg]	0,0007
Potencia da bomba [W]	221,86
Rendimento da bomba (&)	0,44
Energia da bomba [Wh]	2523,7
Potencia Elétrica da bomba [W]	504,74

Fonte: Elaboração do autor.

Visto que: $1 \text{ CV} = 735,4987 \text{ W}$. Então a potência adotada é $\frac{3}{4}$ CV por questão de padronização (seguir no anexo 1).

5.5 Energia solar fotovoltaica

Para este caso de estudo, o objetivo do sistema fotovoltaico é atender a demanda da bomba elétrica que opera em CA, na frequência de 60 hz e na tensão de 100v. Será calculada a potência de pico do gerador fotovoltaico, considerando as perdas. Não é necessário fazer o cálculo de dimensionamento do inversor, pois este já vem acoplado um micro inversor em painel fotovoltaico. O quadro 5.5 mostra o resultado do calculo da potencia do sistema.

Quadro 5.5. Potencia dos painéis solares.

Perdas pela temperatura e inversores [%]	20
Potencia do Sistema PV [W]	630,93
Imax sistema (@100V) [A]	6,3093
Geração [Wp/m ²] (\$)	100
Tensão por módulo [V]	30
Imax por mudulo [A]	3,3
Área da placa escolhida [m ²]	1

Fonte: Elaboração do autor.

No projeto elétrico serão consideradas chaves de nível para o poço, para evitar que a bomba trabalhe ao seco (sem agua) e no reservatório superior para evitar extravaso e disjuntores para a proteção da bomba. Ver o quadro 5.6 que mostra o resumo do projeto elétrico.

Quadro 5.6. Resumida do projeto elétrico.

Nro de placas série	3,33	4
Nro de placas Paralelo	0,7	1
Nro total de placas	4	
Potencia min de cada placa[W]	158	
Imax sistema PV [A]	9	
Vmax sistema PV [V]	120	
Pmax sistema PV [W]	1080	

Fonte: Elaboração do autor

- **Descrição**
 - 4 painéis solares 270 W;
- **Especificações do painel solar**
 - Potência: 270 W
 - Voltagem de circuito aberto (Voc): 37,40V
 - Corrente de curto circuito (Isc): 9,24A
 - Voltagem em máxima potência (Vmp): 30,40V
 - Corrente em máxima potência (Imp): 8,56A
 - Eficiência energética: 16%
 - Voltagem máxima do sistema: DC1000V
 - Fusível máximo: 15A
 - Temperatura de funcionamento: -40 ~ +85 °C
 - Coeficiente de temperatura (Pmax): -0,42% / °C
 - Coeficiente de temperatura (Voc): -0,32% / °C
 - Coeficiente de temperatura (Isc): -0,04% / °C
 - Modelo: poli cristalino
 - Moldura: alumínio anodizado
 - Peso: 19,2kG
 - Células solares: 60 peças de 156 x 156mm
- **Especificações do Micro Inversor**
 - Modelo MI-250
 - Dados de entrada (DC)
 - Advise components on STC
 - power range [W] 200-310
 - voltage range[V] 27-48
 - Operating voltage range[V] 16-60
 - maximum input voltage [V] 60
 - maximum input current [A] 10.5

- Dados de saída (AC)
- Rated output power[W] 250
- Rated output current [A] 1.09
- Nominal output voltage 220V
- Nominal frequency 60 Hz
- Power factor>0.99
- Output current harmonic distortion<3%
- Efficiency Peak inverter efficiency 96.7%

6 CONCLUSÃO

As aplicações mais importantes para o sistema de bombeamento solar estão nas pequenas comunidades remotas distantes da rede elétrica. O consumo de água, a altura manométrica e o perfil de radiação solar de uma determinada localidade são fundamentais para o dimensionamento adequado de sistemas de bombeamento fotovoltaico.

Visto que o sistema se projeta sem o uso de banco de baterias, o volume de água bombeada é muito variável ao longo do dia. Quanto maior a profundidade da água e a elevação do reservatório, menor será a quantidade de água bombeada ou maior será a quantidade de energia necessária.

O bombeamento de água utilizando o sistema fotovoltaico consome uma energia gratuita e também traz grandes benefícios ambientais em termo de redução da emissão de gases a efeito estufa, quanto a essa energia não há preocupação de esgotamento, pois ela é uma energia renovável. Durante o seu uso a energia não polui, a poluição proveniente da fabricação dos equipamentos necessários para a construção dos painéis solares é controlável. Uma instalação fotovoltaica necessita uma manutenção mínima.

A escassez de água é um dos riscos sistêmicos globais mais preocupantes. Finalmente, o bombeamento fotovoltaico além de ser uma maneira limpa de acessar a água subterrânea para comunidades em crise hídrica, é também uma opção ecológica, sustentável e vantajosa em longo prazo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGUAS SUBTERRANEAS (ABAS). **Águas subterrâneas, o que são?** <<<http://www.abas.org.br/>>>

BASTOS M. L. **Caracterização da Qualidade da Água Subterrânea– Estudo de caso no município de Cruz da Almas – BAHIA** . Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA. 2011

BLUE SOL. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica.**

BORGUETTI N. R. B, José Roberto Borghetti e Ernani Francisco da Rosa Filho. **O Aquífero Guarani.** 2004

BRIAN RICHTER. **Em Busca da Água.** Um guia para passar da escassez á sustentabilidade. 2015

CENTRO DE REFERÊNCIA EM ENERGIA SOLAR (CRESESB). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** 2004

CENTRO DE REFERÊNCIA EM ENERGIA SOLAR (CRESESB). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** 2014

CLEARY ROBERT W. **Águas Subterrâneas.** 2007

ELETROBRAS. **Energia Solar Aplicada Aos Centros Comunitários de Produção-** Guia para a Elaboração de projetos. 1ª Ed. Volume 2. 2011.

FADIGAS, E.A.F.A. Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo(GEPEA).**Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica.**

Fredrizzi, M. C. **Fornecimento de Água com Sistemas de Bombeamentos Fotovoltaicos.** Dissertação de Pós- Graduação em Energia da Universidade de São Paulo 1997.

FUNASA. **Manual de Saneamento.** 2007

KRITNA SOLAR. **O Universo da Energia Solar Fotovoltaica.** <<<https://krinatsolar.com.br/>>>

LAMARCA JUNIOR, M. R. **Políticas públicas globais de incentivo ao uso da energia solar para geração de eletricidade.** 2012. (Tese de Doutorado em Ciências Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC-SP

LIBANIO. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Agua**4 Ed. 2015.

LOPEZ, RICARDO ALDABÓ. **Qualidade na energia elétrica - Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções.** 2. Ed.2013

- Miguel Centeno Brito. **Meio século de historia fotovoltaico**. 2006
- MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas**. Programa de Águas Subterrâneas. 2001
- MORLEY A. DUPUY **Rainwater Harvesting in Maténwa, Haiti**. 2011- Worcester Polytechnic Institute.
- NASCIMENTO, ROGERIO LUIZ, HAUSMANN, ROMEU. **Sistema de Bombeamento de Água Pluvial com Estudo da Viabilidade da Utilização de Energia Solar Fotovoltaica**. 2015
- OLADE. **Estado Actual de la Energia Solar Fotovoltaica Em LatinoAmerica y El Caribe**.2015
- OMS / UNICEF. **Programa Conjunto de Monitoramento de Abastecimento de Água e Saneamento**, 2012.
- OMS / UNICEF. **Programa Conjunto de Monitoramento de Abastecimento de Água e Saneamento**, 2013.
- ONUDI. **Programa de capacitação em Energias Renováveis**.2015
- PORTAL ENERGIA. **Energia Fotovoltaica. Manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. 2004
- REN.21 **Energias Renováveis 2016 (Relatório da situação mundial)**
- ROYER J, DJIAKO T , SCHILLER E. e SADASY B. **Le Pompage Photovoltaïque**. Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens. IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA. 2008
- SEZERINO E BENTO. **Qualidade da Água e Controle de poluição**. Apostila de departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFSC. 2005
- SILVA M. V. A. **Aspectos Hidrogeológicos Conceituais da região do Condomínio Riviera do Lago – Araxá MG**. 2011
- UNICEF. **La nuit de l'eau 2017**.2. Ed.
- WORLD WATCH INSTITUTWE **.Haiti Sustainable Energy Roadmap**.2014

ANEXO 1

Motobombas Submersas 4"

Rotor fechado

Aplicações Gerais:

Bombeamento de águas subterrâneas em poços tubulares com diâmetro interno a partir de 4".



SUB 7



SUB 10

Nomenclatura

SUB 10 - 05 S 4 E6

- SUB** = Submersa
- 10** = Série (7 e 10)
- 05** = Potência (1/2 a 5 cv)
- S** = Inox
- 4** = Diâmetro (4")
- E6** = Número de Estágios (5 a 39)

Série	Modelo	Potência (cv)	Estágios	Monofásico	Trifásico	Ø Peçaque (p/d)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																																						
								ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m c.a.)																																						
								20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460				
								VAZÃO (m³/h)																																						
SUB 7	SUB7-05S4E7	1/2	7	x	x	1 1/4	92	*	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9	1,6	1,3	0,8																														
	SUB7-07S4E10	3/4	10	x	x	1 1/4	131	*	*	*	*	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8	1,5	1,3	1,0	0,6																										
	SUB7-10S4E13	1	13	x	x	1 1/4	170	*	*	*	*	*	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,0	0,8	0,4																						
	SUB7-15S4E18	1,5	18	x	x	1 1/4	239	*	*	*	*	*	*	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6																
	SUB7-20S4E24	2	24	x	x	1 1/4	312	*	*	*	*	*	*	*	*	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,2	0,9	0,6													
	SUB7-30S4E32	3	32	x	x	1 1/4	417	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,5									

