



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharias

Implementação de sistema "SmartGrid" na FGA integrado com fontes alternativas de energia

Autor: Turma C
Orientador: Juliana Petrocchi Rodrigues

Brasília, DF
2016



Turma C

Implementação de sistema "SmartGrid" na FGA integrado com fontes alternativas de energia

Relatório submetido para a avaliação do ponto de controle 3 referente à matéria Projeto Integrador 1 do grupo responsável pelo projeto de uma SmartGrid para a UnB - FGA.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Juliana Petrocchi Rodrigues

Coorientador: Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília, DF

2016

Lista de ilustrações

Figura 1 – Interface do programa RETScreen Expert	11
Figura 2 – Cálculo da geração do biogás – RETScreen Expert	12
Figura 3 – Resultados obtidos – RETScreen Expert	12
Figura 4 – Foto aérea do campus FGA. Marcação laranja indica o posicionamento do biodigestor	16
Figura 5 – Esquema de associação de células fotovoltaicas em série	22
Figura 6 – Esquema de associação de células fotovoltaicas em paralelo	22
Figura 7 – Esquema de energia híbrida (Fotovoltaica e Eólica)	25
Figura 8 – Representação esquemática do sistema On-Grid. Cores Fantasia.	25
Figura 9 – Fonte: (COLLE; PEREIRA, 1998)	26
Figura 10 – Gráfico de irradiação solar da UnB campus Gama	27
Figura 11 – Desenho esquemático da manutenção de placas fotovoltaicas	28
Figura 12 – Painel Solar Monocristalino	29
Figura 13 – Painel Solar Policristalino	30
Figura 14 – Painel Solar silício amorfo	30
Figura 15 – Tabela ilustrativa de sensores térmicos	37
Figura 16 – Quadro comparativo dos modelos de sensores de presença	38
Figura 17 – Quadro comparativo entre sensores receptores fotossintéticos	39
Figura 18 – Quadro comparativo entre sensores receptores fotossintéticos	39
Figura 19 – Quadro de medidores inteligentes	41
Figura 20 – Linha de medidores inteligentes SMW	42
Figura 21 – Fluxograma ordem de funcionamento	42
Figura 22 – Gerador BAT - 5000 BIO [5]	43
Figura 23 – Quadro de transferência automática da Strazmaq [6]	44
Figura 24 – Esquematização do sistema de banco de dados	46

Sumário

Introdução	5
I BIOGÁS COMO FONTE RENOVÁVEL DE ENERGIA	7
1 BIOGÁS COMO FONTE RENOVÁVEL DE ENERGIA	9
1.1 Definição	9
1.2 Funcionamento	10
1.3 Aplicação na FGA	14
1.3.1 Desenho Esquemático	15
II ENERGIA FOTOVOLTAICA	17
2 ENERGIA FOTOVOLTAICA	19
2.1 Introdução	19
Efeito fotovoltaico	19
Vantagens e Desvantagens	20
2.2 Funcionamento de um Sistema Fotovoltaico	21
Bloco Gerador	22
Bloco de condicionamento de potência	23
Bloco Armazenador	24
Configurações de sistemas fotovoltaicos	24
2.3 Incidência solar na FGA	26
2.4 Manutenção das placas	27
2.5 Tipos de painéis solares fotovoltaicos	27
Painel Solar Monocristalino	28
Painel Solar Policristalino	28
Painel de silício amorfo (a-Si)	29
III SMART GRID	31
3 SMART GRID	33
3.1 Introdução	33
Resumo	33
Sensoriamento e controle	34
Análise avançada de dados	34

3.1.4	Automação e TI	35
3.1.5	Transmissão de dados	35
3.2	Desenvolvimento	36
3.2.1	Sensores de temperatura	36
3.2.2	Sensores de presença	37
3.2.3	Sensores de comunicação	38
3.2.4	Medidores Inteligentes	40
3.2.5	Automação dos componentes do Biogás	42
3.2.6	Sincronização	44
3.2.7	Softwares de gerenciamento	45
	Conclusão	49
	REFERÊNCIAS	51

Introdução

Este documento apresenta o trabalho realizado pela turma C da disciplina Projeto Integrador 1, no que diz respeitos à entrega do desenvolvimento do trabalho até o terceiro ponto de controle. Este documento foi dividido em três partes principais: SmartGrid, energia fotovoltaica e biogás. A parte denominada como SmartGrid trata das questões para o desenvolvimento do mesmo e as outras duas partes dizem respeito às fontes de alternativas de energia que serão utilizadas para o desenvolvimento do projeto. Há também uma última parte, denominada payback, que diz respeito ao tempo que a energia economizada com o projeto leva para pagar os gastos de implementação.

Parte I

Biogás como fonte renovável de energia

1 Biogás como fonte renovável de energia

1.1 Definição

A compreensão do biogás como fonte renovável de energia traz como necessário o entendimento da biomassa como recurso com potencial energético. Biomassa pode ser designada como a massa total de matéria orgânica acumulada num espaço. Desta forma pertencem à biomassa todos os vegetais e animais, bem como os seus resíduos. Além disso, os resíduos industriais dos segmentos madeireiro e alimentício e os resíduos urbanos, como esgoto doméstico. Esta abrangência de biomassa pode ser transformada pelas tecnologias convenientes de conversão em biocombustíveis e energias térmica, mecânica e elétrica (STAIISS; PEREIRA, 2001).

O biogás é produzido a partir da digestão anaeróbia de matéria orgânica. Basicamente o processo é constituído pela aglomeração destes resíduos em uma estrutura fechada, denominada biodigestor. No biodigestor as bactérias inerentes aos dejetos obtêm, dentro de condições adequadas de trabalho, suas energias a partir da atuação fermentativa nos resíduos orgânicos, que traz como produtos o biogás, o efluente líquido mineralizado (após tratamento) e biofertilizantes.

Os microrganismos atuantes neste processo precisam de condições adequadas para a eficiência do trabalho fermentativo, como baixo teor de substâncias tóxicas e poder calorífico adequado da matéria orgânica, temperatura na faixa de 30-35°C e pH entre 7-7,5. Essas restrições, junto a escolha adequada do tipo de biodigestor, não expõem os microrganismos a condições estressantes, promovendo um bom aproveitamento da aglomeração orgânica.

O biodigestor é o local onde a matéria orgânica é depositada e sofre a digestão anaeróbia bacteriana. Esta construção é basicamente constituída por um canal de entrada de resíduos, uma câmara de digestão, um canal de remoção do biofertilizante, por um desnível coletor dos efluentes líquidos e por uma canalização para saída do gás. O biodigestor do tipo indiano é designado por este projeto, em virtude da sua simplicidade tecnológica e do posicionamento subterrâneo da sua câmara de digestão, que contribui na regulação das condições térmicas da atuação bacteriana.

O produto de maior relevância, neste estudo, a ser obtido é o biogás. Este por sua vez, é uma mistura de outros gases cujas características qualitativas e quantitativas dependem dos tipos residuais postos à atividade de digestão anaeróbia. Normalmente o gás metano (CH₄) aparece como constituinte em maior percentual no biogás – de 50 a 80% (TEXIER; FARGE; GRANIER, 1979). A relevância do biogás, aqui, é devido ao interesse

no produto final energia elétrica. A energia química do gás, por um processo controlado de combustão, é convertida em energia mecânica que ativa um gerador elétrico.

1.2 Funcionamento

A biomassa adotada neste estudo é a proveniente de resíduos orgânicos produzidos pelo restaurante universitário do Campus Faculdade do Gama, da Universidade de Brasília. O objetivo é a redução da dependência energética da concessionária de energia elétrica da região, o incentivo ao estudo e desenvolvimento de fontes renováveis de energia.

Para este fim, administração do restaurante universitário da UnB, campus Gama, foi contatada para que se pudesse obter dados sobre a quantidade de dejetos orgânicos jogados fora. O controle documentado sobre essas informações não existe, porém de acordo com os dados fornecidos pela administração do restaurante pôde-se estimar a quantidade de resíduo orgânico produzido diariamente. A quantidade é de aproximadamente 240 kg de resíduo orgânico.

Para a definição da quantidade de energia a ser produzida a partir do biogás gerado, tem-se que primeiramente estimar a quantidade de biogás liberada na digestão anaeróbica dos resíduos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário. O controle documentado dos resíduos é inexistente, e os dados obtidos na administração do restaurante permite estimar a quantidade de resíduo orgânico gerada diariamente. São produzidos, em média, 4 sacos de lixo orgânico na unidade instalada na FGA, sendo que cada saco de lixo comporta 100 litros, e proporcionalmente 60 quilos de restos de alimentos.

Ao inserir os resíduos orgânicos no sistema de biodigestores, existem 4 fatores que afetam, majoritariamente, na produção do biogás, o produto desejado:

- Temperatura: As bactérias, que exercem o papel de decompor os alimentos, são sensíveis a altas temperaturas. Por isso a biomassa deve ficar em uma faixa de temperatura entre 25° e 35° C.
- Quantidade de água: a proporção de água na mistura vai agir no tempo em que as bactérias anaeróbicas vão trabalhar e começar a liberar gases.
- pH da Água: o pH da água tem uma grande importância para as condições ideais para que as bactérias não morram.
- Presença de Oxigênio: Para que a digestão anaeróbica aconteça é imprescindível que a câmara de digestão seja totalmente lacrada, pois as bactérias que irão atuar na decomposição dos resíduos são do tipo anaeróbicos, ou seja, não necessitam de oxigênio para sobreviver usam a fermentação ou a quimiossíntese. Para isso a

tubulação deve estar construída de forma que impeça a entrada de oxigênio no biodigestor na hora que o gás for ser liberado.

A visão do projeto é maximizar a economia da energia e gerar uma diminuição da conta de energia, as condições que afetam a produção do biogás serão consideradas ideais.

Sabendo a quantidade de quilogramas (kg), pode-se estimar a quantidade de gás metano que será liberada no biodigestor.

Dados coletados: 4 sacos de lixo de segunda a sexta, 2 sacos de lixo sábado

$$60 \text{ quilos} * 4 \text{ sacos} = 240 \text{ quilos de resíduos (segunda a sexta)}$$

$$60 * 2 \text{ sacos} = 120 \text{ quilos de resíduos (sábado)}$$

$$\text{Total de resíduos por semana (quilos)} = 240 + 120 = 360 \text{ quilos}$$

$$360 * 4 \text{ semanas} = 1440 \text{ quilos/mês}$$

$$1440 * 12 \text{ meses} = 17280 \text{ quilos/ano}$$

Foi feita uma estimativa da quantidade de biogás a ser gerada por meio de um software de simulação chamado RETScreen. Esse software, cuja interface é mostrada nas figuras 1 e 2, é aberto ao público e é disponibilizado online pelo governo do Canadá com o intuito de auxiliar na construção de usinas, mini-usinas e até instalações residenciais de fontes limpas de energia.

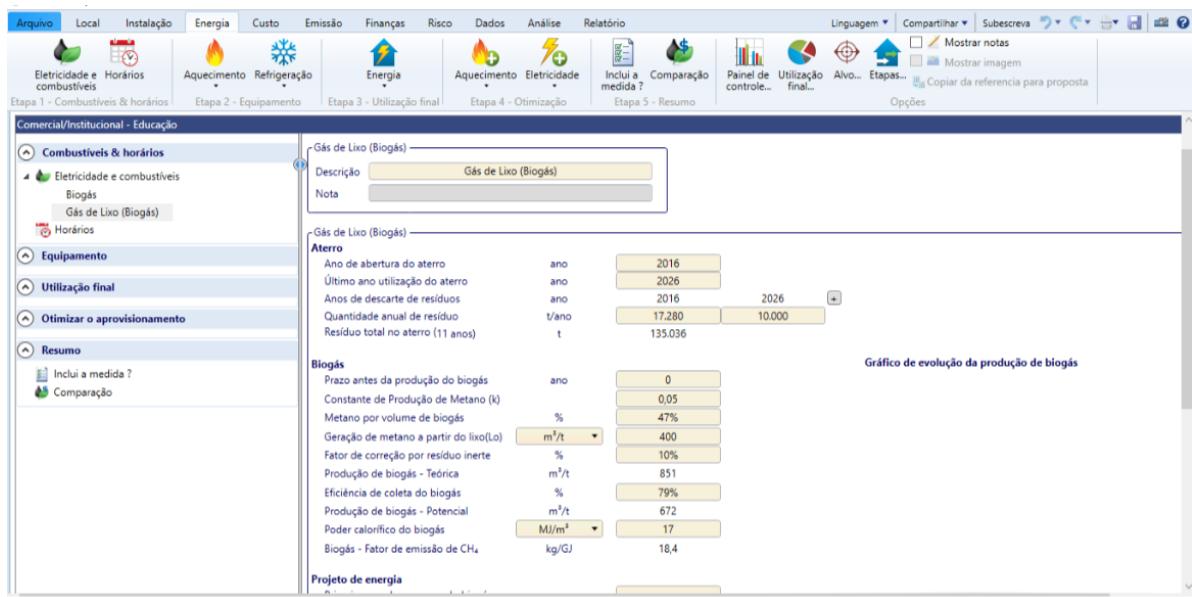


Figura 1 – Interface do programa RETScreen Expert

Nesta simulação, o aterro é o biodigestor na FGA. O ano de abertura considerado foi 2016, ano atual, considerando que o projeto está sendo realizado no mesmo. A estimativa de vida do biodigestor foi assumida como 10 anos. Tendo em vista a média de resíduo do ano presente, foi previsto que a cada ano que passa a tendência é que a quantidade

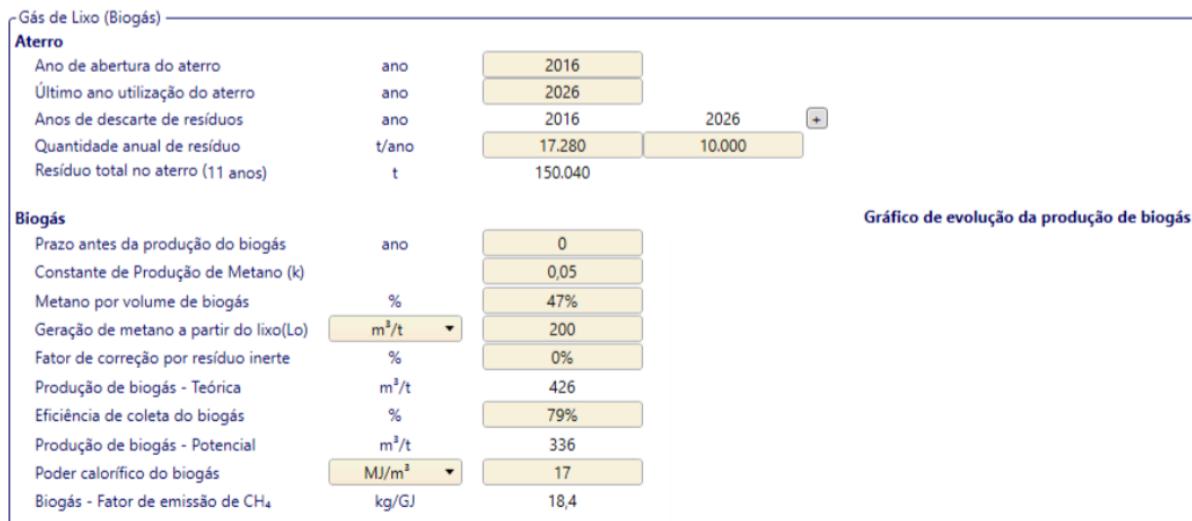


Figura 2 – Cálculo da geração do biogás – RETScreen Expert

do mesmo diminua devido a políticas de conscientização e um sentimento ecológico estar crescendo na sociedade.

As variáveis constantes de produção de metano (k) e geração de metano a partir do lixo (L₀), dependem diretamente dos 4 fatores que afetam a geração do biogás, mas podem ser retirados do estudo do Banco Central “Manual para a preparação de gás de aterro sanitário para projetos de energia na América Latina e Caribe” e dos dados ofertados ao público pelo órgão EPA dos EUA (Agencia de Proteção Ambiental). Os valores, conservadores, de k e L₀ são respectivamente 0,05 e 400 m³/t.

Após serem inseridos os dados necessários, temos os resultados apresentados na figura 3:

Produção de biogás - Teórica	m ³ /t	426
Eficiência de coleta do biogás	%	79%
Produção de biogás - Potencial	m ³ /t	336

Figura 3 – Resultados obtidos – RETScreen Expert

A produção teórica não considera eventuais perdas no sistema e mostra o que as fórmulas matemáticas indicam o que será gerado. Já a potencial considera as perdas e, provavelmente, chegará mais perto da realidade. O resultado indica a quantidade em m³ de biogás que será gerado a cada tonelada de resíduo. Assim, para descobrir a quantidade disponível de gás no ano, multiplica-se pela quantidade total de resíduos, 17,82 toneladas:

$$336 * 17,82 = 5980,8 \text{ m}^3$$

Desses $5980,8\ m^3$ de biogás terão $498,4\ m^3$ disponíveis para a utilização no motor gerados de ciclo Otto, por mês.

O processo de conversão do biogás em energia elétrica é necessário ao entendimento do funcionamento deste projeto. Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica aciona um gerador que a converte em energia elétrica.

Após a conclusão da construção do biodigestor e do sistema de armazenamento de biogás, a matéria orgânica se compõe e o biogás proveniente da decomposição é enviado através de uma tubulação para ser utilizado como combustível para o conjunto motor-gerador. O conjunto gerador consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto adaptada para o uso do biogás como combustível, acoplado a um gerador de eletricidade, gerando energia.

1. Entrada dos resíduos orgânicos:

Os resíduos que irão alimentar o biodigestor serão os restos de alimentos gerados no restaurante universitário da faculdade. A geração do biogás, vai se realizar através da digestão desses resíduos, fontes da biomassa.

2. Biodigestor:

É no biodigestor onde ocorre a fermentação da biomassa. Essa unidade pode ser composta por uma caixa, uma vala (revestida e coberta por um material impermeável) ou um tanque. É de extrema importância, que o biodigestor seja vedado, criando um ambiente anaeróbico (sem a presença de oxigênio) para que os microrganismos sejam estimulados na degradação da biomassa, gerando o biogás.

a) Fermentação da biomassa:

Desintegração da biomassa por bactérias anaeróbicas (fermentativas) que passa por diversas fases de transformação até que forme uma mistura que contém majoritariamente metano e dióxido de carbono.

b) Produção e saída do biogás:

Os gases produzidos através da fermentação inflam a cúpula do biodigestor e, através da pressão, eles escapam pela tubulação de saída. Essa tubulação dirige o biogás até o motor-gerador que transformará sua energia em eletricidade.

c) Caixa coletora:

O processo de biodigestão gera uma outra matéria orgânica residual que é conduzida a uma caixa coletora (pode ser de alvenaria e deve cuidadosamente tampada).

3. Geração de energia elétrica:

O motor escolhido para a conversão do biogás em energia elétrica foi o Ciclo de Otto. Esse motor trabalha por combustão interna que aspira ou absorve uma mistura ar-combustível, e a comprime num local denominado câmara de combustão. A partir da centelha produzida na vela de ignição é gerada a combustão. Também conhecido como motor de quatro tempos, pois seu funcionamento decorre de quatro etapas sequenciais: admissão da mistura ar-combustível, compressão da mistura e geração de faísca, combustão para explosão da mistura, e exaustão para escape dos gases. Em funcionamento com a queima do biogás, o motor Otto alimenta o gerador de energia elétrica.

1.3 Aplicação na FGA

A instalação do biodigestor nos arredores do campus traz a discussão de uma nova questão. Para a viabilidade do projeto não é suficiente provar numericamente a eficiência energética da proposta. É necessário avaliar e resolver os possíveis transtornos que sua instalação traria à comunidade da FGA.

Durante o processo de obtenção do Biogás — que é um gás composto em sua maioria por Gás Metano —, são gerados vários outros gases (como o dióxido de carbono, nitrogênio, hidrogênio, gás sulfídrico e amônia) ([OLIVER et al., 2008](#)). Alguns desses, trazem mau odor ao ambiente (como é o caso do gás sulfídrico). Este, mesmo em pequenas porcentagens, gera bastante desconforto devido ao seu odor pútrido) ([CAPATAN et al., 2012](#)).

Um recurso utilizado para diminuição de odores, é a aplicação de agentes químicos oxidantes, como Ozônio e Peróxido de Hidrogênio. Ou até mesmo agentes aromáticos capazes de sobressair seu cheiro agradável ao cheiro produzido pelo biodigestor ([MCCROY; HOBBS, 2001](#)) ([CAPATAN et al., 2012](#)).

Há também, a possibilidade de neutralizar esses odores ao utilizar artifícios mais comuns em esgotos. Como a adsorção, onde há a ligação fraca entre moléculas, de compostos orgânicos e uma superfície sólida de adsorvente. Essa superfície, é caracterizada por ser produzida por sólidos porosos. Um dos materiais mais utilizados nesse tipo de processo, é o carvão ativado ([CHERNICHARO et al., 2010](#)).

A separação por membrana também é um recurso para a contenção de gases mau cheirosos, e se dá quando alguns gases são retidos por uma espécie de membrana delgada. Geralmente, as mesmas são construídas a partir de fibras ocas. Essas fibras são capazes de absorver alguns gases, e infelizmente não possuem o poder de extinguir todo e qualquer cheiro ([CHERNICHARO et al., 2010](#)).

É válido ressaltar que apesar da fonte de resíduos orgânicos adotada ser da FGA, outras alternativas foram colocadas em pauta durante a realização desta pesquisa. A utilização dos insumos orgânicos advindos da Região Administrativa do Gama, Distrito Federal, foi uma opção levada em consideração. A princípio seria feito o contato com a administração do Gama para que o destino do lixo orgânico gerado na cidade fosse direcionado para o grupo de trabalho responsável pelos biodigestores na FGA. Um grande empecilho encontrado, contudo, no possível relacionamento com a administração são as questões burocráticas e processos licitatórios necessários à exploração do lixo orgânico.

Esta decisão foi tomada pela burocracia a respeito da utilização de resíduos sólidos urbanos, pois conforme a lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010, o direito sobre o uso e o descarte do lixo e do titular dos serviços públicos de limpeza urbana e do gerador do resíduo, isto é, as instituições que podem alterar o descarte do lixo em aterros sanitários é a empresa que presta serviços para o município, ou no caso para o Distrito Federal.

Desta forma, por exemplo, para usar os resíduos dos moradores da cidade do Gama ou de qualquer outra cidade, seria necessária uma aprovação de todos os moradores, ou uma licitação pública com o objetivo de obter a autorização para a coleta dos resíduos, o que está, de imediato, além das fronteiras projeto.

Segundo o decreto Nº 5.940, de 25 de outubro de 2006, todas a entidades de administração pública federal direta e indireta deverão separar o lixo em resíduos orgânicos e materiais recicláveis.

A escolha da Universidade de Brasília campus Gama, se baseou no decreto nº 5.940 e na lei nº12.305, pois como a diretoria da faculdade é um stakeholder e também é uma geradora de resíduos, através de um acordo os resíduos orgânicos gerados dentro do campus podem ser utilizados como massa reativa do biodigestor. Devido ao decreto nº 5.940 deve haver uma separação, que aumentará a eficiência do biodigestor e reduzirá a quantidade de matéria não reativa, que será retirada no fim do processo.

1.3.1 Desenho Esquemático

Neste projeto foi idealizada a utilização de apenas um biodigestor do tipo indiano, e para a sua localização no campus foi considerada a norma ABNT NBR 13.591 que trata sobre a compostagem de resíduos sólidos domiciliares, a norma ABNT NBR 15526/2009 que aborda os regulamentos para as redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais – projeto e execução e a norma ABNT NBR 13523/2008 que aborda, por sua vez, sobre instalações de uma central de gás liquefeito de petróleo.

Além das normas ABNT consideradas, é importante ressaltar que o projeto de construção do campus, ainda não concluído, também foi considerado a fim de não interferir

na estrutura do projeto e trazer obstáculos à construção de um novo prédio ou de um estacionamento, por exemplo. A figura 4 identifica o posicionamento do biodigestor no campus da FGA.



Figura 4 – Foto aérea do campus FGA. Marcação laranja indica o posicionamento do biodigestor

Parte II

Energia Fotovoltaica

2 Energia Fotovoltaica

2.1 Introdução

O efeito fotovoltaico foi observado em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel. Quando incidindo, sobre uma superfície semicondutora, uma luz ele observou a diferença de potencial entre suas extremidades.

As primeiras células fotovoltaicas surgiram em 1956, com o grande desenvolvimento da microeletrônica, mas o alto custo já tornava a popularização de sua utilização inviável, eram empregadas comumente em sistemas espaciais para o fornecimento de energia elétrica. Essa utilização se dava pelo balanço de custo das placas em relação ao sistema espacial como um todo que tornava as placas não tão inviáveis, além de seu baixo peso e bom desempenho em ambiente espacial.

Com a crise do petróleo em 1973 foi impulsionada fortemente a pesquisa e desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica para diversas aplicações, esse tipo de produção de energia elétrica passou a atrair uma maior atenção dos governos. Entretanto, um fator ainda preocupante era a baixa eficiência das células fotovoltaicas em relação ao seu custo de produção, nisso o mercado tem ainda um desenvolvimento muito lento. Em 1978 a produção das células chegava a 1 Mwp/ano, quinze anos depois já alcançava 60 Mwp/ano, já em 1998 a produção prevista era em torno de 100 Mwp/ano ([NASCIMENTO, 2004](#)).

Atualmente a viabilidade de utilização das placas fotovoltaicas não está em necessariamente criar uma grande usina para abastecimento geral, mas em pequenas instalações em locais urbanos (casas, prédios, parques) que são capazes de suprir a demanda pontual e até mesmo fornecer energia elétrica gerada excedente, ou locais rurais que ainda dependem de fontes como carvão e biomassa para diminuir a dependência de fontes muito poluentes.

2.1.1 Efeito fotovoltaico

Células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, um material que possui características intermediárias entre condutor e isolante. Para essas células é utilizado, basicamente, o silício como material semicondutor.

O silício é um material bastante abundante na superfície terrestre, normalmente encontrado na areia e, para utilização na fabricação das células fotovoltaicas é extraído, muitas vezes, de forma mais pura possível através de métodos adequados. O cristal de silício puro é um mal condutor pela ausência de elétrons livres em sua composição, para

que estre passe a conduzir acrescenta-se quantidades de outros elementos ao cristal, este processo é denominado dopagem.

A dopagem do silício com fósforo gera um material com elétrons livre, portadores de cargas negativas excedentes, denominado silício tipo N. Já a dopagem do silício com o elemento boro gera um material com características inversas, este é portador de cargas positivas excedentes, silício tipo P.

As células fotovoltaicas são compostas por uma placa fina de silício tipo N acoplada à uma placa com maior espessura de silício tipo P, unidas formam uma região P-N, onde há um campo elétrico devido a diferença de potencial entre as placas, naturalmente os elétrons fluirão no sentido N para P até que o equilíbrio seja atingido. Quando a célula é exposta à luz, os fótons excitam os elétrons da região N, fazendo com que continuem a fluir para a região P, gerando, assim, uma corrente contínua. A figura 11 apresenta informações mais detalhadas a respeito das células fotovoltaicas, os tipos de painéis, a eficiência e a duração.

2.1.2 Vantagens e Desvantagens

São muitas as vantagens da utilização de um sistema fotovoltaico, pois ele é uma geração não prejudicial ao meio ambiente e durante sua produção de energia elétrica não há nenhum tipo de poluição. As placas possuem vida útil muitas vezes superior a 25 anos com uma manutenção adequada e a utilização de uma fonte inesgotável, o Sol.

As principais vantagens são:

- Não consome combustível;
- Não produz poluição;
- É uma fonte silenciosa;
- A vida útil é superior a 25 anos;
- Resistente a condições climáticas (umidade, altas temperaturas, vento, chuvas);
- Manutenção simples (a limpeza dos painéis é a única manutenção realmente rotineira);
- Capacidade de geração até em dias não ensolarados (mesmo com eficiência baixa);
- Possibilidade de ajustes na potência instalada através da incorporação ou retirada de módulos;

A geração de energia elétrica através do efeito fotoelétrico, em comparação a outras fontes, apresenta uma série de desvantagens. A eficiência é baixa quando analisada a

possibilidade de aproveitamento, pois há muitos fatores que reduzem a eficiência, como exemplo: reflexão e sombreamento na placa, excedência e insuficiência de energia do fóton nas radiações de onda curta e longa, respectivamente, entre outros. Ainda há a questão ambiental envolvendo não a produção da energia elétrica, mas a fabricação das células, o processo de purificação do silício é tão prejudicial ao meio ambiente quanto qualquer outro processo industrial.

As principais desvantagens são:

- As células fotovoltaicas necessitam de tecnologia sofisticada para sua produção;
- O custo para implementação de um sistema fotovoltaico é elevado;
- A eficiência das células não alcança índices muito altos;
- O rendimento depende de fatores sempre presentes, como nuvens e radiação solar;
- Não há produção de energia elétrica durante a noite para abastecimento.

(BRAGA, 2008).

2.2 Funcionamento de um Sistema Fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico é um conjunto de componentes que possibilitam a transformação de energia luminosa (cuja fonte é o sol) em energia elétrica ([ECYCLE...](#),). O sistema é dividido em três blocos principais:

- Bloco Gerador: É o responsável pela transformação de energia
- Bloco de condicionamento de potência: É responsável por adaptar a energia gerada para a utilização final.
- Bloco Armazenador: Responsável pelo armazenamento da energia elétrica.

Além disso, os sistemas fotovoltaicos podem se apresentar em diferentes configurações, sendo elas de acordo com ([CRESESB...](#),):

- Sistemas Isolados: Desconectado da rede de energia
- Sistemas Híbridos: Diferentes tipos de geração de energia ligados a uma mesma rede.
- Sistemas conectados à rede: A energia gerada pelo sistema é distribuída diretamente na rede convencional.

A junção dos três blocos citados acima, colocados em uma configuração adequada ao local de instalação do complexo compõem o Sistema Fotovoltaico.

2.2.1 Bloco Gerador

O bloco gerador é composto por módulos fotovoltaicos, estruturas de suporte e cabeamento.

O funcionamento da energia solar fotovoltaica ocorre quando os painéis fotovoltaicos são expostos a partículas de luz solar, essas partículas são chamadas de fótons. Eles fazem a trajetória entre o Sol e a Terra por cerca de 9 minutos. Ao atingir as células fotovoltaicas, os elétrons que são transportados pelo semicondutor e circulam em torno dos átomos se desprendem deixando espaços vazios. Durante a exposição, através de corrente elétrica, esses se deslocam em direção constante a célula de silício, que está com ausência de elétrons. Este fluxo intenso de elétrons, gera a energia solar fotovoltaica. Os elétrons continuam a se livrar dos átomos, enquanto há incidência de luz solar.

Um módulo fotovoltaico é um conjunto de placas fotovoltaicas, ligadas em série ou em paralelo, que fornecem certa corrente e tensão final. O módulo fotovoltaico também é chamado de painel fotovoltaico.

A ligação de módulo pode ser feita de duas formas, em série ou em paralelo. O arranjo em série consiste em agrupar o maior número de células possível até alcançar a tensão de 12V, a tensão final será a soma da tensão de cada uma das células. Esse arranjo é o mais comum em sistemas fotovoltaicos.

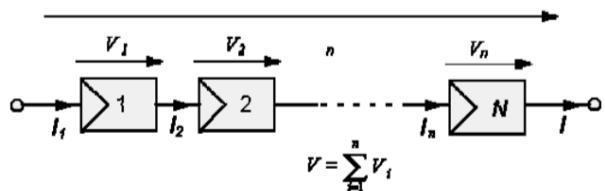


Figura 5 – Esquema de associação de células fotovoltaicas em série

Já o arranjo em paralelo fornece a corrente contínua final como a soma das correntes de cada placa e a tensão como a tensão de uma única placa. Esse arranjo é pouco utilizado já que a tensão fica em torno de 0,7V e a corrente máxima em 3A (JUNIOR, 2008).

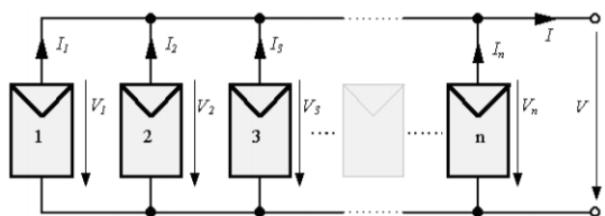


Figura 6 – Esquema de associação de células fotovoltaicas em paralelo

As estruturas de suporte são estruturas que suportam os módulos solares, eles

podem ser fixos e sem angulação, voltados constantemente para cima. Podem ser móveis com angulação que é mudada manualmente de acordo com as condições anuais. E podem ser dispositivos tracker, estruturas automatizadas que mudam de angulação segundo a posição do sol durante os dias ([ECYCLE...](#),).

Já o cabeamento corresponde a todo o conjunto de cabos que são necessários para a interligação dos componentes do sistema fotovoltaico. Em geral, são utilizados cabos do tipo módulo ou fileira, que protegem o sistema contra curto-circuitos e falhas ([ECYCLE...](#),).

2.2.2 Bloco de condicionamento de potência

O bloco de condicionamento de potência é composto por um inversor e um controlador de carga.

Os inversores são conversores de corrente contínua em corrente alternada (CC/CA). A maioria dos aparelhos utiliza corrente alternada enquanto o módulo fotovoltaico produz corrente contínua, por isso a necessidade de se instalar um no sistema fotovoltaico. O inversor funciona “quebrando” a corrente contínua em pulsos, isso permite que ela se torne alternada. Eles podem ser divididos em seis categorias de acordo com ([NEOSOLAR...](#), a):

1. Onda Quadrada: são os mais baratos e econômicos, geram pulsos alternados, mas são pouco recomendados. Usados apenas para pequenas aplicações.
2. Inversores de onda senoidal modificada: Muito utilizado, recomendado para pequenas instalações. Possui uma onda entre a senoidal pura e a quadrada.
3. Inversores de onda senoidal pura: Tem sido cada vez mais utilizado por ter preço parecido com os de onda senoidal modificada, pode ser ligado a qualquer aparelho. E possui um tipo de onda senoidal quase pura.
4. Inversores para conexão à rede (Grid-Tie): Necessário se o sistema for interligado à rede. Além de produzir uma onda senoidal quase pura, alinha a frequência com a frequência da rede elétrica.
5. Microinversores para conexão à rede (Grid-Tie): Cada vez mais utilizado, por ser de mais fácil instalação, ligado a cada placa individualmente, além de ter uma maior durabilidade.
6. Inversor/Carregador: Além de agir como um inversor é capaz de agir carregando uma bateria ligada à uma fonte de CC, isso permite reduzir a quantidade de baterias necessárias no bloco de armazenamento.

Os controladores de carga são ligados ao bloco de armazenamento e controla a carga e a descarga das baterias, aumentando assim a vida útil das mesmas. Se a bateria descarrega rapidamente em longos períodos sem insolação o controlador impede que a bateria se descarregue completamente, já em períodos de grande insolação, o controlador impede a carga excessiva.

Os controladores de carga podem ser divididos em três grandes grupos principais ([JUNIOR, 2008](#)):

1. Reguladores Série: Incorporam um interruptor entre o gerador e o acumulador, para interromper o fluxo e energia para a carga.
2. Reguladores Shunt (derivação): O interruptor curta-circuita o gerador solar em fim de carga.
3. Reguladores de ponto de potência máxima (MPPT): Utilizam um circuito eletrônico que sempre tende a captar a potência máxima.

2.2.3 Bloco Armazenador

O bloco armazenador é composto por baterias que armazenam a energia produzida para ser utilizada em períodos de mau tempo ou durante a noite. Existem vários tipo de bateria, cada uma adequada a situações específicas. Segundo ([ECYCLE...](#)), dentre elas temos:

1. Baterias de Chumbo-Ácido: São as mais utilizadas para sistemas fotovoltaicos devido à grande variedade de tamanhos, baixo custo e bom desempenho. As mais comuns são: Chumbo-Antimônio, Chumbo-Selênio e Chumbo-Cálcio.
2. Baterias de Chumbo-Ácido com eletrolito captativo: Também chamadas de baterias de chumbo-ácido com válvula reguladora. São de fácil transporte e podem ser instaladas em locais isolados. O ponto fraco é a excessiva sobrecarga e a perda do eletrólito , que é acelerado para clima quentes.
3. Baterias de Níquel-Cádmio: São utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados devido ao seu longo tempo de vida, pequena manutenção, sobrevivencia a excessivas sobrecargas, excelente capacidade de retenção a baixas temperaturas e não necessidade de ter uma tensão de regulação de carga. As desvantagens são o grande custo e a necessidade de aplicação específica.

2.2.4 Configurações de sistemas fotovoltaicos

Já em relação à configuração de um sistema fotovoltaico temos três tipos:

1. Sistema Isolado: Também chamado de off-grid, se caracteriza por não se conectar à rede elétrica. É construído com lugar e propósito específico abastecendo diretamente o aparelho a ser utilizado. Um exemplo de sistema isolado é a iluminação pública ([NEOSOLAR...](#), c).
2. Sistema Híbrido: Consiste de duas ou mais fontes de energia renováveis utilizadas em conjunto para proporcionar uma maior eficiência no sistema, bem como um maior equilíbrio no fornecimento de energia. Um exemplo é a utilização de energia fotovoltaica e eólica em um mesmo sistema ([ECOPLANETENERGY...](#),).
3. Sistema conectado à rede: Também chamado de On-Grid, o sistema é interligado à rede comum de distribuição de energia, assim não é necessário um sistema de armazenamento. Durante o período de pouca insolação ou durante à noite, a energia utilizada para abastecer o local passa a ser da rede comum. Já se a produção da energia solar excede à consumida, essa energia passa para a rede compartilhada e produz uma diminuição no consumo de energia ([SOLAR...](#),).

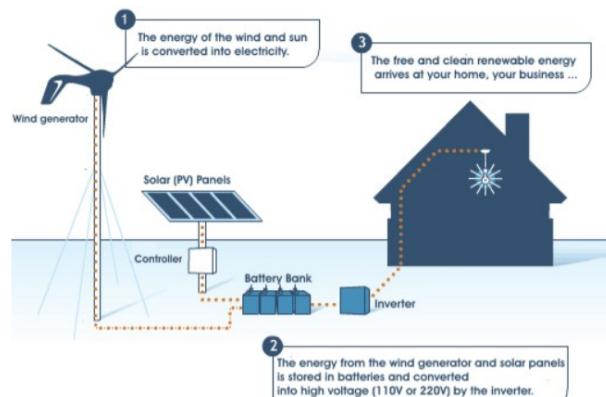


Figura 7 – Esquema de energia híbrida (Fotovoltaica e Eólica)



Figura 8 – Representação esquemática do sistema On-Grid. Cores Fantasia.

2.3 Incidência solar na FGA

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar, ou energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e do ano).

Segundo dados do ([COLLE; PEREIRA, 1998](#)) mostrado na figura 9, Brasília é uma região que recebe aproximadamente de 5700 a 5900 Wh por m^2 todos os dias, o que representa uma alta quantidade de energia solar recebida também na região onde se concentra a Faculdade UnB Gama.

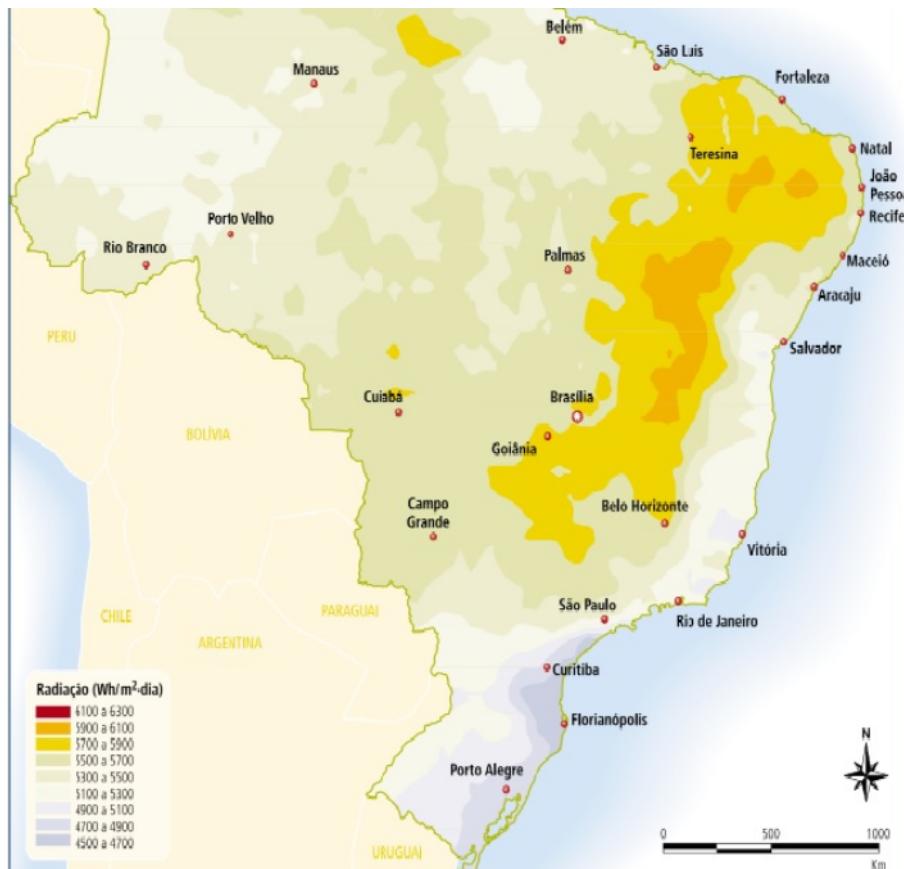


Figura 9 – Fonte: ([COLLE; PEREIRA, 1998](#))

Outro dado importante diagnosticado pelo ATLAS Solarimétrico do Brasil, Brasília recebe em média anualmente 6 horas de insolação por dia.

Para tornar máximo o aproveitamento da radiação solar, o sistema solar fotovoltaico pode ser instalado com uma angulação específica para a localidade, que depende da latitude do local e do período do ano que se deseja obter mais energia. Como podemos ver na figura 10, o gráfico de irradiação solar da UNB campus Gama:

Neste gráfico estão contido valores de radiação solar que será absorvido (KWh/m^2 dia) ao longo dos meses a partir do SunData do CRESES, no qual já pode ser verificado a melhor angulação a serem colocadas as placas conforme a coordenada do campus. Verifica-

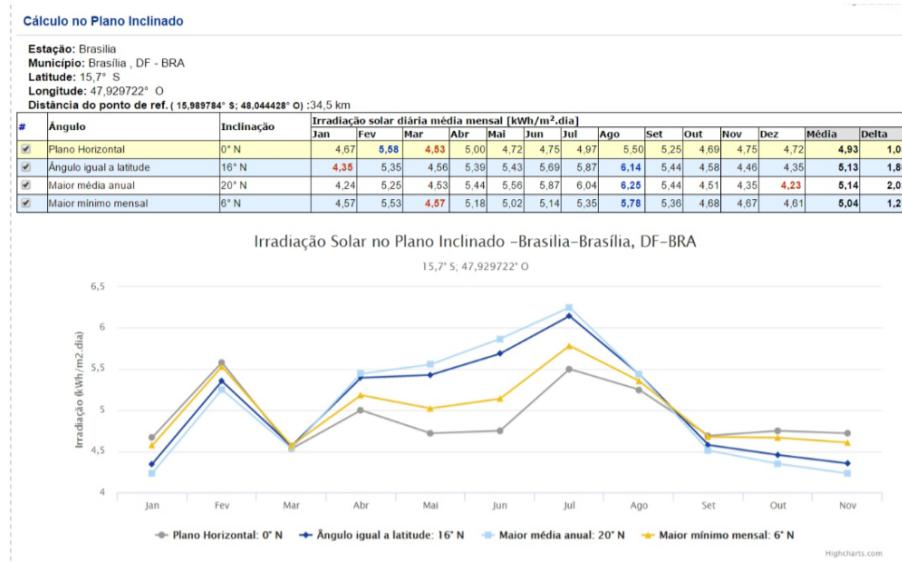


Figura 10 – Gráfico de irradiação solar da UnB campus Gama

se a partir deste gráfico que a angulação de 20º é a melhor, pois possui um delta total (diferença da maior irradiação para a menor irradiação) e média anual de irradiação maior que as demais angulações. A aplicação que será feita está de forma detalhada no desenho.

2.4 Manutenção das placas

A manutenção das placas se dará de forma simples e manual, visto que a poeira do local de instalação das placas é considerada bastante acentuada e que, se essa poeira revestir os painéis fotovoltaicos, o rendimento na geração de energia será muito baixo ou quase nenhum. Essa limpeza acontecerá de acordo com a quantidade de poeira existente nas placas e a diminuição de rendimento. Ter-se-á todo controle de rendimento e quando este diminuir a limpeza será feita. Inicialmente, os funcionários da limpeza poderão lavar as placas com água e sabão neutro. Posteriormente, e se houver iniciativa de alunos e professores do curso de energia, alunos participantes de projeto poderão fazer a limpeza das placas, visto que, de acordo com alguns estudantes, não se tem muita prática nas aulas de fontes de energia, além da facilidade de se fazer tal limpeza. Essa iniciativa poderia ajudar alunos que se interessam na área de energia fotovoltaica a medir eficiência na prática e ajudar na manutenção dessas placas.

2.5 Tipos de painéis solares fotovoltaicos

O painel solar é o componente principal de um sistema de geração de energia solar, formado por um conjunto de células fotovoltaicas que geram energia através da luz solar. Quando as células são atingidas pelos raios solares, os elétrons se movimentam, gerando

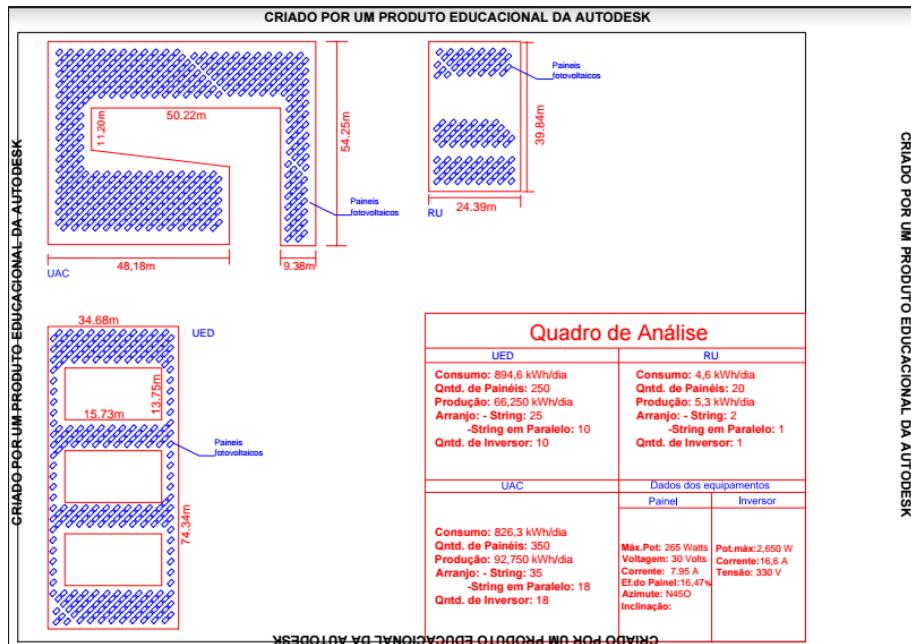


Figura 11 – Desenho esquemático da manutenção de placas fotovoltaicas

a corrente elétrica.

A escolha do tipo e da quantidade de painéis adequados depende da demanda de uso e do local de instalação. Dentre vários tipos existentes, foi escolhido três distintos, porém básicos, sendo eles: Monocristalino, Policristalino e Silício amorfo (a-Si).

2.5.1 Painel Solar Monocristalino

É mais eficiente e produzido de células monocristalinas de silício. O silício deve ter um elevado grau de pureza que torna o processo complexo para a produção de cristais únicos para cada célula. Os painéis possuem uma eficiência média de 14% - 21%, estão disponíveis nas cores: azul escuro ou quase preto (com anti reflexo), cinza ou azul acinzentada(sem anti reflexo) e possuem formato arredondado. São mais caros que o policristalino e possuem vida útil maior que 30 anos, com garantia de fábrica de 25 anos. As vantagens do painel monocristalino é que possui a eficiência mais alta dentre as tecnologias comercialmente viáveis atualmente e ocupam menor espaço. As desvantagens se dão por conta dos custos serem maiores e por desperdiçar uma certa quantia de silício na hora da produção ([NEOSOLAR...](#), b).

2.5.2 Painel Solar Policristalino

São menos eficiente que os monocristalinos e são formadas por diversas células, tornando-os diferente dos monocristalinos, o que dá uma aparência de vidro quebrado à célula. Tem eficiência média de 13% - 16,5%, está disponível na cor azul e é encontrado na forma quadrada. Possui vida útil de 30 anos e com garantia do fabricante de 25 anos. As



Figura 12 – Painel Solar Monocristalino

suas vantagens se dão pelo fato da quantidade de resíduos de silício gerado ser menor que os monocristalinos e por ter um custo menor. Já as desvantagens: Serem menos eficientes que os monocristalinos, e precisarem de uma área maior para gerar a mesma quantidade de energia que os painéis monocristalinos ([NEOSOLAR... b](#)).

2.5.3 Painel de silício amorfo (a-Si)

A produção de energia nessa tecnologia é baixa, as células solares de silício amorfo eram usadas para aplicações de pequenas escalas, tais como: calculadoras de bolso. Portanto, hoje já está sendo disponível para ser utilizada em larga escala. Utiliza de uma técnica chamada de empilhamento, na qual várias camadas de células solares de silício amorfo são combinadas, resultando numa taxa de 6% - 9% de eficiência. A vantagem é que são necessários apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino. Já a desvantagem é que a técnica do empilhamento tem custos elevados ([NEOSOLAR... b](#)).



Figura 13 – Painel Solar Policristalino



Figura 14 – Painel Solar silício amorfo

Parte III

Smart Grid

3 Smart Grid

3.1 Introdução

3.1.1 Resumo

Smart Grid (Rede inteligente) é um sistema de controle inteligente da energia elétrica, que é utilizado em um determinado local, com o objetivo principal de otimizar o consumo de energia elétrica e promover o controle por meio de ações inteligentes. Essa otimização da rede pode se dar pela utilização da rede já presente, promovendo apenas automações e controles, ou pela utilização de uma geração distribuída de energia com a adição de fontes renováveis aliadas à automação e controle. Busca-se, com o uso dessas tecnologias, proporcionar um uso eficiente, sustentável e racional dos recursos energéticos, podendo trazer benefícios financeiros ou não.

Esses sistemas permitem a implementação de duas formas principais de geração distribuída: *On grid* e *Off Grid*. Os sistemas On grid são ligados à rede elétrica e a energia gerada é armazenada na rede de distribuição. A economia de eletricidade se dá por meio de descontos na fatura de energia elétrica ou pela compensação. Caso a eletricidade gerada não for o suficiente, a rede elétrica externa compensa o consumo excedente. O sistema Off Grid, ou sistema isolado, não é conectado à rede elétrica externa, sendo utilizável para uso local e isolado de rede elétrica, abastecendo diretamente os aparelhos que utilizarão a energia. Além disso, sistemas Off Grid necessitam de unidades de armazenamento local, tais como baterias, visto que a variação na fonte geradora não pode causar alterações na corrente elétrica local.

As tecnologias que compõem um sistema Smart Grid possuem complexidade elevada e um alto nível de integração entre seus diversos componentes, que podem ser divididos em quatro importantes setores que se interagem. São eles: o sensoriamento e controle, transmissão de dados, automatização e TI e a análise avançada dos dados. Eles estão intimamente ligados em todas as aplicações no sistema e procuram encontrar formas mais efetivas para evoluir continuamente o sistema, não ficando presos às primeiras modificações. O sistema inteligente é monitorado em todas as suas fases, permitindo um maior controle sobre o sistema e podendo ser identificado à pronta mão, onde estão os maiores problemas e riscos ao sistema, dando uma maior segurança aos usuários.

3.1.2 Sensoriamento e controle

Sensores e transdutores podem ser caracterizados como todo e qualquer dispositivo capaz de analisar grandezas físicas e convertê-las em um indicativo visível ou em grandezas mensuráveis de tensão e corrente, no caso de transdutores. Portanto, os sensores e transdutores são dispositivos muito utilizados em circuitos eletroeletrônicos para o monitoramento, transmissão de dados, automação e controle de ações a partir de condições físicas externas ou internas a esses sistemas, tais como tensão, corrente elétrica, potência, temperatura, pressão, radiações eletromagnéticas, temperatura, dentre outros (SVOBODA; DORF, 2008).

Diversos sensores são utilizados para o monitoramento e controle. Os sensores de linha, que analisam características elétricas da rede elétrica (tensão, corrente, defasagem, potência), são utilizados na construção de medidores inteligentes. **Sensores de temperatura** e piranômetros, que medem a irradiação solar e sensações térmicas, são sensores geralmente utilizados para realizar análises gráficas quanto às condições ambientais externas e internas do sistema, os quais podem ser guardados em bancos de dados.

Dentre os sensores a serem utilizados na automação interna de sistemas Smart Grids destacam-se os sensores de luminosidade, sensores infravermelho e sensores de presença, que serão descritos posteriormente.

Além desses tipos de sensores, vale ressaltar os **sensores de comunicação** e transmissão de dados, que constituem-se de sensores fotoelétricos, infravermelhos ou por meio de sensores ultrassonoros.

3.1.3 Análise avançada de dados

Aplicações avançadas que permitem aos operadores, projetistas de redes e executivos analisarem e extraírem informações úteis da rede de forma funcional e flexível. Aqui se incluem as técnicas de visualização de grande quantidade de dados, os quais são reduzidos a formatos visuais de fácil entendimento, softwares capazes de oferecer múltiplas opções para o operador da rede tomar uma ação quando requerida e simuladores para treinamento operacional e análises de casos.

Consiste, portanto, em uma solução de software avançada que controla e armazena dados referentes aos sensores de controle, tais como os de temperatura e de linha. Para essa análise a recepção de dados é feita a partir de hardwares, por meio da comunicação sem fio ou serial por meio de processadores ou microcontroladores embarcados.

3.1.4 Automação e TI

Dentro de uma estrutura Smart Grid, os componentes de automação e TI (tecnologias da informação) permitem diagnósticos rápidos e soluções precisas para interrupções na rede ou grandes desligamentos. Essas tecnologias baseiam-se e contribuem para as demais partes, tais como sensores, comunicação, análise de dados e fontes de energia. Sistemas nessa área incluem agentes inteligentes distribuídos, algoritmos e supercomputadores, sistemas SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition, automação de subestações e resposta da demanda (TOMASIN et al., 2014).

Sistemas SCADA constituem-se de soluções de software voltadas para a análise e exibição de dados por meio de uma interface de comunicação com o usuário em tempo real, o que permite a configuração e ajuste para resolução de problemas de forma visual e o monitoramento de processos. Tal solução baseia-se na tecnologia da informação, muitas vezes associado também à *internet das coisas* (IoT). Possui uma vida útil finita, visto que a tecnologia de informação evolui de forma rápida, tornando o software defasado em alguns anos, tornando um desafio a aplicação dessa tecnologia em projetos de longa vida útil (GALLOWAY; HANCKE, 2013).

A aplicação de agentes inteligentes em ambientes Smart Grid é comum, principalmente na medição do consumo de energia. Nessa vertente, existem dois conceitos ligados ao desenvolvimento de medidores inteligentes: AMR (Automated Meter Reading) e AMI (Advanced Metering Infrastructure).

AMR é um sistema de medidores inteligentes que transfere os dados armazenados pelos medidores eletrônicos de forma automatizada quando integrado a um sistema de processamento de dados. Ou seja, não se faz necessária a presença humana para a leitura da medição. AMI é uma evolução do AMR, pois além de prover os dados obtidos na medição, esse sistema também faz a análise da demanda. Esse processo requer um processamento de dados mais sofisticado, visto que a atuação é direta nas instalações do consumidor, permitindo o planejamento mensal de consumo (KUP, 2015).

3.1.5 Transmissão de dados

Dentro de um sistema, é essencial que todos os componentes se comuniquem de forma adequada para que tudo funcione corretamente. Para definir a melhor forma de se transmitir os dados, podemos analisar a distância física que eles precisam percorrer e a quantidade de bits por segundo que se deseja transmitir. A comunicação entre os componentes envolve também alguns aspectos minuciosos como os protocolos, que consistem em um conjunto de regras no processo de interpretação e transmissão de dados de um componente. Dependendo dos sensores escolhidos, por exemplo, pode não ser tão simples elaborar essa linha de transmissão de forma efetiva. Será visto mais a frente que uma

alternativa é utilizar um sistema já existente no mercado com suporte para diferentes tipos de componentes.

3.2 Desenvolvimento

Descritas as ferramentas utilizadas em soluções Smart Grids, propõe-se a integração das fontes renováveis, a automação das redes e processos, comunicação, controle e sensoriamento a partir da comparação de sistemas, de modo com que haja interconexão entre as diferentes vertentes. Para tanto, a seguir serão comparadas características de operações, compatibilidade com o restante do projeto e adaptabilidade ao local de instalação (FGA).

3.2.1 Sensores de temperatura

A utilização dos sensores de temperatura será baseada no monitoramento de ambientes e para automação interna (acionamento de exaustores/ventiladores) e no monitoramento de sobreaquecimento de equipamentos e condutores. Dentre os sensores térmicos existentes, diferenciam-se no funcionamento os termistores, termopares, termorresistores, eletrônicos e pirômetros. Termistores são compostos por dispositivos que variam a resistência elétrica em função da temperatura, que pode ser inversamente proporcional a ela (NTC) ou diretamente proporcional (PTC). Termopares consistem de uma junção de dois materiais de condutividades elétricas distintas pela qual irá passar uma corrente que provocará uma queda de tensão proporcional à temperatura de sua superfície. PT RTD são sensores cuja variação na resistência se dá por meio da dilatação do material, que é proporcional ao aumento de temperatura. Termosensores de circuitos integrados constituem de sensores compostos por diversos componentes de modo que a sua saída não necessita de muitos hardwares para o condicionamento do sinal ([THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005](#)).

A tabela abaixo ilustra os diferentes tipos de sensores e suas características de funcionamento.

Dentre os sensores listados na Figura 15, conclui-se que os termistores serão utilizados para o gerenciamento de sobreaquecimentos, visto que a sua faixa de temperatura de trabalho não ultrapassa os limites do projeto e visto que a precisão de temperatura adquirida, que é um aspecto relevante no monitoramento de temperatura, é melhor em comparação com outros tipos de sensores.

Tipo de Sensor	PT RTD	Termistor (NTC)	Termopar	Circuito integrado(LM35)
Material do elemento sensor	Platina	Semicondutor cerâmico	Junção de dois metais	Semicondutor de silício
Princípio de Funcionamento	Variação da resistência Ôhmica	Variação da resistência Ôhmica	Junta quente (FEM - Força Eletromotriz)	Variação proporcional da tensão e corrente com a junção de componentes e sensor
Custo do sensor	Moderado a baixo	Moderado a baixo	Baixo	Alto
Custo do hardware	Moderado	Moderado a baixo	Alto	Baixo
Faixa de Temperatura	-200°C até +1000°C (660°C max. tip.)	-100°C até +300°C, tipos especiais até +500 °C (125°C max.tip.)	-270°C até +1800°C, dependendo do tipo.	-55°C até +155°C
Valores Fundamentais	50 a 10.000W	1KW a 1MW	10 mV @ 25 °C	250mV @ 25 °C
Precisão	0,03°C	Típica ± 1% em resistência	Para classe 2 dependendo do tipo ± 2.5°C ou 0.0075 t	Típica ± 5%, melhor precisão em resistência ± 0,5%
Intercambiabilidade	±0.06%, ±0.2°C	±10%, ±2°C tip.	±0.5%, ±2°C	±1%, ±3°C
Estabilidade	Excelente	Moderada	Baixa	Moderada
Sensibilidade	0.39% /°C	-4% /°C	40mV / °C	10mV / °C
Linearidade	Excelente	baixa (logarítmica)	Moderada	Moderada
Coeficiente (α)	Positivo	Negativo	Positivo	Positivo
Sensibilidade a Ruídos	Muito Baixa	Baixa	Alta	Baixa
Requisitos Especiais	-	Linearização	Junta de Referência	-

Figura 15 – Tabela ilustrativa de sensores térmicos

3.2.2 Sensores de presença

Quanto ao projeto de Smart Grid, os sensores de presença serão fundamentais na diminuição do consumo de energia elétrica na Universidade no que diz respeito à automação interna dos prédios e salas. Propõe-se a automação de banheiros, pois as luzes ficam acesas em determinados momentos em que não há ninguém presente no local e em salas de aula, pelo mesmo motivo. Esses sensores têm como objetivo a automação interna de ambientes com alto fluxo de pessoas, onde funcionam tanto para o monitoramento ou quanto para o acionamento de lâmpadas/exaustores com a entrada ou saída de pessoas. Dentre os tipos de sensores de presença, destacam-se os modelos de parede, embutidos e os de teto. Na figura 16 é possível observar as diferenças e semelhanças entre os modelos.

O sensor a ser utilizado no projeto será o modelo SLEP/ST-39, pois é o que utiliza um menor consumo de energia elétrica dentre os sensores de presenças comerciais listados acima. Como os ambientes em que vão ser utilizados os sensores são no geral salas com uma área relativamente pequena, o alcance deste sensor é o suficiente para esse projeto.



MODELO	SLEP/ST-39	SLMP-04	SLEI-03	SLEI-02	SLET	SLMT-04
APLICAÇÃO	PAREDE	PAREDE	EMBUTIR	EMBUTIR	TETO	TETO
TENSÃO	127/220VCA	127/220VCA	127/220VCA	127/220VCA	127/220VCA	127/220VCA
BIVOLT	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
CONSUMO	30,00mA	32,50mA	30,00mA	15,00mA	30,00mA	32,50mA
POTÊNCIA MAX.	600W	600W	600W	300W	600W	600W
	127VCA 3 FIOS	3 FIOS	3 FIOS	2 FIOS	3 FIOS	3 FIOS
	220VCA 3 FIOS	1100W	1100W	600W	1100W	1100W
LÂMPADA	QUALQUER TIPO*	QUALQUER TIPO*	QUALQUER TIPO*	INCANDESCENTES**	QUALQUER TIPO*	QUALQUER TIPO*
FUSÍVEL	5A	5A	5A	3A	5A	5A
TEMPERATURA	-10 a +44°C	-10 a +44°C	-10 a +44°C	-10 a +44°C	-10 a +44°C	-10 a +44°C
AJUSTE DE TEMPO	JUMPER 10s, 1, 5, 10min. 20min.	JUMPER 10s, 1, 3, 5, 7, 10 20min.	JUMPER 10s, 1, 5, 10min.	JUMPER 10s, 1, 5, 10min.	JUMPER 10s, 1, 5, 10min.	JUMPER 10s, 1, 3, 5, 7, 10 20min.
AJUSTE DE FOTOCÉLULA	JUMPER LIGADA/DESLIGADA	JUMPER LIGADA/DESLIGADA	JUMPER LIGADA/DESLIGADA	JUMPER LIGADA/DESLIGADA	JUMPER LIGADA/DESLIGADA	JUMPER LIGADA/DESLIGADA
LED INDICADOR	SIM	SIM	SIM	NAO	SIM	SIM
ALCANCE MAX.	12,00m (25°C)	15,00m (25°C)	6,00m (25°C)	6,00m (25°C)	DIÂM. 6,00m (25°C)	DIÂM. 6,00m (25°C)
ÂNGULO	110°	110°	120°	120°	360°	360°
DIRECIONÁVEL	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM
AMBIENTE	INTERNO	INTERNO	INTERNO	INTERNO	INTERNO	INTERNO
GRAU PROTEÇÃO						
GARANTIA	1 ANO	2 ANOS	1 ANO	1 ANO	1 ANO	2 ANOS
DIMENSÕES	56 x 89 x 81	56 x 89 x 81	80 x 120 x 48	80 x 120 x 48	92 x 40	107 x 85
L x C x P (mm)						
PESO (gr)	115,00	120,00	115,00	95,00	115,00	115,00

Figura 16 – Quadro comparativo dos modelos de sensores de presença

3.2.3 Sensores de comunicação

Sensores de comunicação infravermelho são componentes que se baseiam na emissão e recepção de ondas eletromagnéticas. No Conceito de Smart Grid, sensores infravermelhos e ultrassonoros podem ser utilizados como meios de transmissão de dados a distâncias curtas, porém sensores ultrassonoros possuem distâncias limitadas e são destinados apenas para aplicações de detecção de passagem. A transmissão de dados por meio de sensores infravermelhos se dá de forma serial e depende do protocolo de comunicação desses sensores com os respectivos emissores.

Dentre os sensores infravermelhos utilizados em comunicação e transmissão de dados, destacam-se os sensores PIN e os sensores AFD. Sensores PIN são sensores receptores fotossintéticos que tem a vantagem de se adaptar melhor às condições climáticas e ter uma vida útil maior, além de possuir um menor custo. Sensores AFD ou APD são sensores receptores fotossintéticos que fornecem uma melhor adaptação quanto ao ruído, mesmo que o seu custo de produção seja maior (PINHEIRO, 2002).

Diferenças entre os fotodiodos PIN e AFD:

Além das características técnicas referentes aos dois tipos de sensores presentes na Figura 17, sensores APD possuem as desvantagens de possuírem desempenho limitado por ruídos quânticos, a complexidade da estrutura, sensibilidade elevada quanto à variações de temperatura e uma menor fiabilidade.(ISCTE, Fotodetectores).

Além de fotodetectores tais como PIN e APD, em uma comunicação de dados

Características	PIN	AFD
Sensibilidade	menor	Muito maior
Linearidade	maior	menor
Relação Sinal/Ruído	pior	melhor
Custo	baixo	alto
Vida Útil	maior	menor
Tempo de Resposta	maior	menor
Círcuito de polarização	simples	complexo

Figura 17 – Quadro comparativo entre sensores receptores fotossintéticos

infravermelhos, necessitam-se de emissores de radiação infravermelha. Dentre os principais tipos de emissores infravermelhos, caracterizam-se os LEDs infravermelhos (Light Emitting Diodes) e LDs (Lases Diodes) ([PINHEIRO, 2002](#)).

As principais diferenças são expostas no quadro presente na Figura 18.

Características	Diodo LASER	LED
Potencia Óptica	Alta	baixa
Custo	alto	baixo
Utilização	complexa	Simples
Largura do espectro	estreita	Larga
Tempo de vida	menor	Maior
Velocidade	rápido	Lento
Divergência na emissão	menor	Maior
Acoplamento na fibra monomodal	melhor	Pior
Sensibilidade à temperatura	maior	menor

Figura 18 – Quadro comparativo entre sensores receptores fotossintéticos

Para fins de comunicação de distâncias médias de até 200m, e pela velocidade de resposta, a aplicação de diodos laser são mais eficientes e melhor adaptáveis para elementos de comunicação de dados devido também pela potência óptica associada a esses emissores.

A associação de elementos de emissão e recepção dos elementos tais quais descritos acima, referentes a radiações infravermelhas, é possível formar conjuntos de comunicação infravermelha. Para a comunicação entre prédios de dados referentes à análise de dados e controle, existem conjuntos de comunicação que atendem tanto os requisitos de emissão quanto os de recepção de dados. Conjuntos propostos pela Leuze Eletronic possuem comunicação serial, fotodetectores baseados em AFD e PIN e emissão por LDs. Dentre eles, destacam-se as séries DDLS 500 E DDLS200.

DDLS 500 São dispositivos de transmissão de dados em tempo real e a distâncias médias. Permitem a tele-manutenção e a integração de redes PROFINET. Suas principais características são:

- Taxa de transmissão: 100Mbit/s;
- Interfaces de comunicação: Ethernet, PROFINET, EtherCat;
- Possibilidades de tele-manutenção por rede.

DDLS 200 São séries cujo foco é na eliminação de interferências, podendo operar a temperaturas altas e distâncias relativamente elevadas, cerca de 500m. Suas características principais são:

- Taxas de transferências : 2Mbit/s;
- Interfaces de repeater integrada;
- Elevada imunidade à luz ambiente;
- Comunicação via PROFIBUS, interbus e CAN/DeviceNet.

Se levar em consideração que a distâncias entre prédios no estabelecimento a ser instalado não ultrapassariam 500m, além da não necessidade de velocidades rápidas de transmissão e, devido ao fato dos conjuntos DDLS 200 apresentarem características de resistências a temperatura e de luminosidade altas, que são fatores determinantes nos locais de instalações, foram escolhidos os modelos da série DDLS 200.

3.2.4 Medidores Inteligentes

Para a automatização do sistema Smart Grid a ser implementado na Faculdade Gama da Universidade de Brasília serão instalados medidores de energia inteligentes. Este novo conceito traz grandes vantagens que excedem as funcionalidades básicas dos medidores eletromecânicos ou eletrônicos convencionais e respondem às necessidades de melhoria de gestão e eficiência da medição, como detecção de fraude, corte e religamento remoto, comunicação bidirecional e medição à distância.

Em todos os prédios (UAC, UED E MESP) serão instalados medidores inteligentes por meio dos quais será possível monitorar a quantidade de energia elétrica que cada sistema produzir e, posteriormente, analisar os resultados obtidos por meio do compartilhamento dos dados. Segue o quadro comparativo entre dois possíveis modelos de medidores a serem utilizados:

O medidor SMW 300 possui uma gama maior de funcionalidades, e por isso será o modelo escolhido para o projeto. Tal equipamento é trifásico, ideal para a rede da FGA, e possui as seguintes características (Manual do Usuário - SMW):

- Flexibilidade para mudança de tarifa convencional para tarifa branca com diferenciação tarifária;

Modelo	Empresa fornecedora	Corrente	Tensão	Registros instantâneos
SMW 300	WEG	15 (120) A	120/240 V	<ul style="list-style-type: none"> • Potência ativa, reativa e aparente nos sentidos direto e reverso • Corrente por fase • Tensão por fase • Fator de potência trifásico e por fase • Defasagem angular entre as tensões • Frequência da rede • Temperatura • Condição da bateria
MD3400	Ecil Energia	15 (120) A	120/240 V	<ul style="list-style-type: none"> • Medição de corrente de neutro • Medição de energia ativa e reativa • Medição de temperatura interna

Figura 19 – Quadro de medidores inteligentes

- Flexibilidade para mudança da comunicação (meio físico e protocolo);
- Relé de corte e religa integrado;
- Relógio de tempo real alimentado por bateria e supercapacitor, com monitoramento individual;
- Memória de massa integrada para registro de até 37 dias de informações;
- Flexibilidade de configuração dos dados a serem enviados via comunicação e apresentados no display;
- Mecanismos de segurança para garantia de sigilo e integridade, baseado na autenticação e criptografia de dados;
- Atualização local ou remota do firmware da metrologia ou comunicação, com implementação de segurança contra acesso mal intencionado.



Figura 20 – Linha de medidores inteligentes SMW

3.2.5 Automação dos componentes do Biogás

Como explicado na parte de biogás, para a conversão do gás produzido para energia elétrica será necessário a utilização de um motor Ciclo de Otto, um alternador síncrono, em que o mesmo converte a energia mecânica em energia elétrica, um quadro de transferência automática para sincronização e um medidor de energia elétrica, porém, como medida simplificadora vamos utilizar um grupo gerador, em que este, tem a finalidade de unir o motor Ciclo de Otto e o alternador em apenas um equipamento, formando o seguinte esquema:



Figura 21 – Fluxograma ordem de funcionamento

Para se determinar um grupo gerador eficiente, primeiramente, precisamos calcular a quantidade de biogás que poderá ser gerado considerando apenas a utilização dos 240 kg de lixo orgânicos produzidos diariamente. O processo de decomposição de lixo orgânico dura aproximadamente 3 meses, com isso após o processo de deposição contínua e decomposição, podemos estimar que após 3 meses teremos 12 m^3 de biogás para uso diário como fonte de energia, considerando que 20 kg de lixo orgânico produza 1 m^3 de biogás.

Após os cálculos podemos notar que precisaremos de um grupo gerador que consiga consumir os $12\ m^3$ de biogás diários.

Com isso podemos definir uma escolha, o gerador BAT - 5000 BIO, da fabricante Branco, de 3,6 kW e com um consumo de $2\ m^3$ por hora [11], informados pelo fabricante. A partir desses dados podemos definir quanto de energia se espera gerar utilizando a fórmula:

$$E = P \times T \quad (3.1)$$

Em que, E é a energia em kWh, P a potência do gerador e T o tempo de uso. Como possuímos $12\ m^3$ de biogás, concluímos então que o gerador será utilizado 6 horas por dia, tendo então uma geração de 21,6 kWh por dia, a ser utilizada pelos aquecedores dos restaurante universitário.



Figura 22 – Gerador BAT - 5000 BIO [5]

Vale ressaltar que as saídas do gerador são 220V (fase-neutro) [12], ou seja monofásica, o que nos permite ligar diretamente no quadro de transferência automática e consequentemente distribuir para a cozinha sem a necessidade da utilização de um transformador trifásico para monofásico.

3.2.6 Sincronização

Para a utilização da energia gerada nos equipamentos de aquecimento do restaurante universitário, optamos por utilizar um quadro de transferência automática de transição aberta, que permite fazer a troca do fornecedor primário para o fornecedor secundário (e vice-versa) em momentos de necessidade e pré-programadas. No nosso caso, iremos optar pelas configurações pré-programadas, em que o quadro de transferência automática quando programado o tempo de uso, dá a partida no gerador e o mantém ligado fornecendo energia durante o tempo determinado e gerando assim um desconto relativo.

Caso os equipamentos que utilizam a energia elétrica ao serem alternadas para a energia dos geradores não possam sofrer nenhum tipo de interrupção, uma possível solução seria a utilização de quadros de transferência automática baseados em tiristores que permitem uma rápida transição que é imperceptível para a maioria das cargas elétricas.

Os quadros de transferência automática também possuem a finalidade de correção da angulação da fase, frequência e magnitude da tensão caso seja necessário.

A escolha do quadro de transferência foi baseada em seu tempo de resposta após a troca da utilização da energia proveniente da concessionária de energia para a do gerador, pela capacidade de conservação do gerador, pois o liga em tempo programado apenas para evitar acúmulo de sujeira que podem comprometer o uso do gerador. Além dos seus parâmetros se encaixar com os fornecidos pelo gerador.

Portanto um modelo que serve como opção é o da marca Strazmaq, modelo QTASTZ-MONO-8K-30A.



Figura 23 – Quadro de transferência automática da Strazmaq [6]

3.2.7 Softwares de gerenciamento

A importância da informação para a tomada de decisões nas organizações tem impulsionado o desenvolvimento dos sistemas de processamento de informações. Algumas ferramentas importantes para esse processo são: processadores de texto (edição eletrônica), planilhas (cálculos com tabelas de valores) e Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados - SGBDs (armazenamento de grandes volumes de dados, estruturados em registros e tabelas, com recursos para acesso e processamento das informações) ([ROCHA; DIAS, 2015](#)).

Por definição, banco de dados é uma coleção de dados interrelacionados, representando informações sobre um domínio específico. Por exemplo: lista telefônica, controle do acervo de uma biblioteca, sistema de controle dos recursos humanos de uma empresa.

Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBD) é um conceito diferente, mas que se relaciona com banco de dados. Por definição, é um software com recursos específicos para facilitar a manipulação das informações dos bancos de dados e o desenvolvimento de programas aplicativos.

Para o projeto em desenvolvimento, é necessário possuir e consultar uma base de dados ligada a distribuição de energia elétrica. Também é importante desenvolver um ambiente de interface homem-máquina que inclui algumas aplicações, como análise e otimização de redes elétricas, cálculo e balanço de perdas técnicas e não técnicas.

Além disso, é interessante existir um módulo encarregado da gestão de eventos causados por alterações topológicas na rede elétrica. Tal sistema registraria os blecautes, mostraria graficamente o estado de energização ou não energização da rede elétrica e permitiria simulações de manobras e falhas.

A melhor solução encontrada foi o sistema ActionoGRID, da empresa Spin Engenharia de Automação, que é um conjunto completo de módulos de software com diversas funcionalidades que facilitam o processo de geração, manutenção e operação da rede de distribuição de energia elétrica.

O software SCADA utilizado nesse sistema é o Action.NET que faz a aquisição de dados e controle de supervisão do processo controlado. Trabalha em plataforma de 64 bits, que suporta todos os protocolos da área elétrica, o que anula o risco de não compatibilidade entre os dispositivos da automação.

Tal sistema possui uma infra-estrutura flexível para gerenciamento de dados em tempo real, com aplicações ao setor elétrico, em geração, transmissão e distribuição, energia renovável, e outras plantas distribuídas como o gerenciamento de distribuição de água e sistemas de automação predial. Essas características suprem as principais demandas de automação e análise de dados de um sistema smart grid em ambiente universitário.

Além disso, inclui um banco de dados com os tags em tempo real, os níveis hierárquicos de ativos e modelos, alarmes e eventos, historiador, receitas, consultas SQL e acesso de dados, elaboração de relatórios, lógicas em scripts em linguagem .NET, cliente e servidor OPC, WCF e protocolos nativos da indústria, gráficos dinâmicos criados em WPF e acessível a partir de desktops, clientes remotos inteligentes, navegador e iOS clientes nativos em iPads e iPhones.

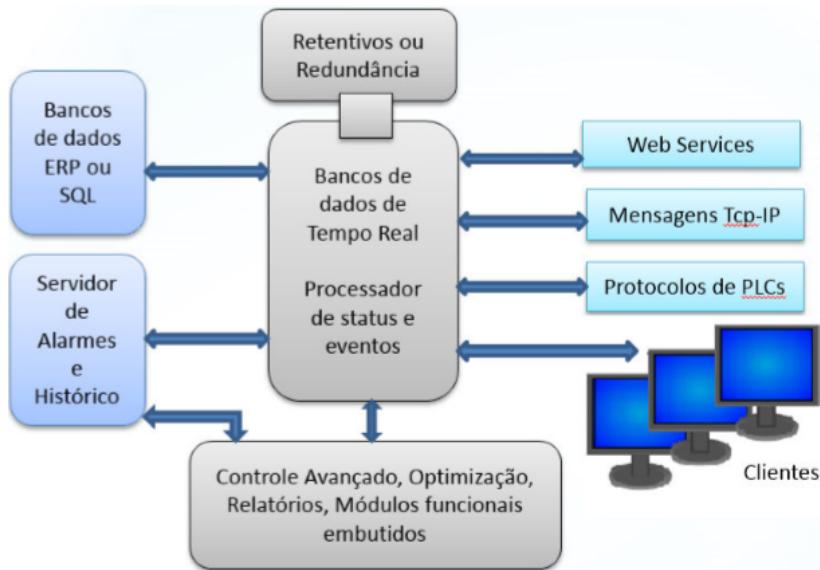


Figura 24 – Esquematização do sistema de banco de dados

Action.NET suporta acesso SQL, Web-Services, XML e outras interfaces de intercâmbio de dados para fornecer informações para ferramentas de relatórios externos. Além disso, ele tem o seu próprio editor de relatório.

O Action.NET pode ser aplicado em diferentes cenários e topologias de rede. As aplicações mais comuns, desde o chão de fábrica até a TI, incluem [Manual – Action.NET: Manual do Usuário]:

- Painel HMI local ou dispositivo embutido, funcionando para aquisição de dados por protocolos nativos e operação local;
- Servidor OPC e gateway de dados;
- Supervisão e sistema SCADA em ilhas de automação;
- Servidor Central para Centros de Operações e Controle Integrado de Salas;
- Servidor de Dados prontos para “cloud” independente da fonte da camada de apresentação;

- PMIS - painel em tempo real e Plant Information;
- Gestão de Aplicações de Informações de Plantas.

Por fim, os requisitos técnicos para se utilizar o sistema são [Manual – Action.NET: Manual do Usuário]:

- Microsoft dotNET Framework v4.0;
- Sistemas operacionais: qualquer sistema operacional capaz de executar o Microsoft .NET Framework 4.0 ou máquinas virtuais compatíveis com o Microsoft .NET Framework;
- Windows 7, Windows 8, Windows Vista, Windows Server 2008 e Windows Server 2012 todos vêm com a
- Microsoft. Instalado Net;
- Memória RAM: Runtime 1 GB; Engenharia 2 GB;
- Espaço em disco-150 MB;
- Resolução da tela:
 - Para o desenvolvimento de aplicações de mínima de 1024 x 768;
 - Para a aplicação de tempo real: As Telas são independentes da resolução, para que você possa criar aplicações que vão desde pequenos HMI de 6” até grandes monitores de alta definição;
- Para ter acesso às instalações baseadas na web, Internet Explorer v8 ou posterior.

Conclusão

A automatização do sistema de gerenciamento de energia da Faculdade Gama da Universidade de Brasília é uma iniciativa que irá otimizar o consumo e controle da energia elétrica utilizada no campus. A instalações de sensores de temperatura, presença e transmissão, a utilização de medidores inteligentes de energia e a implementação de um software de gerenciamento são processos necessários para que o projeto tenha sucesso.

As fontes de energia alternativas desempenham papel fundamental no processo, pois aproveitam características do local, como boa incidência solar e a geração de biomassa devido ao Restaurante Universitário para gerar eletricidade e contribuir com o sistema geral a ser implementado. Tais processos também são automatizados e são controlados e monitorados pelo sistema de gerenciamento do sistema.

Portanto, um sistema “SmartGrid” na FGA integrado com fontes alternativas de energia é possível tecnicamente e pode solucionar as problemáticas levantadas no relatório do Ponto de Controle 1. A viabilidade econômica será analisada na próxima etapa, e assim poderá ser concluído se o projeto é realmente viável de ser implementado.

Referências

- BRAGA, R. P. Energia solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações. *Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Elétrica*, 2008. Citado na página 21.
- CAPATAN, D. et al. Análise da viabilidade financeira da produção de biogás através de dejetos de equinos. 2012. Citado na página 14.
- CHERNICHARO, C. A. de L. et al. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. *Eng Sanit Ambient*, SciELO Brasil, v. 15, n. 3, p. 229–236, 2010. Citado na página 14.
- COLLE, S.; PEREIRA, E. B. Atlas de irradiação solar do brasil. *LABSOLAR/INMET, UFSC*, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 26.
- CRESESB. Energia Solar: Princípios e Aplicações. Ilha do Fundão, CEPEL, 2006. <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. 03-11-2016. Citado na página 21.
- ECOPLANETENERGY. Energia Híbrida. <<https://goo.gl/tik9hb>>>. 28-10-2016. Citado na página 25.
- ECYCLE. Conheça todos os componentes do sistema solar fotovoltaico. <<https://goo.gl/KKmRpE>>. 28-10-2016. Citado 3 vezes nas páginas 21, 23 e 24.
- GALLOWAY, B.; HANCKE, G. P. Introduction to industrial control networks. *IEEE Communications surveys & tutorials*, IEEE, v. 15, n. 2, p. 860–880, 2013. Citado na página 35.
- JUNIOR, C. R. J. da S. *Projeto de um sistema fotovoltaico para energização de um equipamento de pesca com eletricidade*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.
- KUP, M. T. *Estudo da medição inteligente para consumidores residenciais no Brasil*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Citado na página 35.
- MCCROY, D. F.; HOBBS, P. J. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. *Journal of environmental quality*. madison. v. 30, p. 345–355, 2001. Citado na página 14.
- NASCIMENTO, C. A. do. *Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Lavras, 2004. Citado na página 19.
- NEOSOLAR, Inversores ou Conversores. <<https://goo.gl/ba5lqV>>. 28-10-2016. Citado na página 23.
- NEOSOLAR, Painel solar fotovoltaico. <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/painel-solar-fotovoltaico>>. 31-10-2016. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.

NEOSOLAR, Sistemas Isolados - Off-Grid. <<https://goo.gl/9AbAi6>>. 28-10-2016. Citado na página 25.

OLIVER, A. d. P. M. et al. Manual de treinamento em biodigestão. instituto winrock, universidade do estado da bahia, brasil. 2008. Citado na página 14.

PINHEIRO, J. M. S. *Sistema de Transmissão e Meios Ópticos*. 2002. <<http://www.eeec.ufg.br/~lguedes/moodle/txdados/fo.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.

ROCHA, J. F.; DIAS, J. W. *Importância dos Bancos de Dados nas aplicações*. 2015. <http://web.unipar.br/~seinpar/2015/_include/artigos/Julio_Fernandes_Rocha.pdf>. Citado na página 45.

SOLAR BRASIL. O que são sistemas conectados à rede (On-Grid)? <<https://goo.gl/TrncMp>>>. 28-10-2016. Citado na página 25.

STAIISS, C.; PEREIRA, H. Biomassa, energia renovável na agricultura e no sector florestal. *Revista Agros, Instituto Superior de Agronomia, Portugal*, v. 13, n. 1, p. 21–28, 2001. Citado na página 9.

SVOBODA, J. A.; DORF, R. C. *Introdução aos Circuitos Elétricos*. [S.l.]: LTC Editora, Rio de Janeiro, 2008. Citado na página 34.

TEXIER, C.; FARGE, B. d. L.; GRANIER, R. Influence des variations des principaux facteurs de l'ambiance an porcherie d'engraissement. *Journées de la Recherche Porcine en France, Paris*, n. 11, p. 153–164, 1979. Citado na página 9.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. d. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. *São Paulo*, v. 3, p. 32, 2005. Citado na página 36.

TOMASIN, S. G. et al. *Smart Grids - Uma visão geral com enfoque em condicionamento e qualidade de energia elétrica*. 2014. <<https://goo.gl/BdE9yC>>. Citado na página 35.