

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SOLAR-BIOMASSA CONECTADO À REDE EM FRIGORÍFICOS DE SUÍNOS

Esp. Reginaldo Alves de Andrade – reginaldoandrade@ifg.edu.br

Dr. Elder Geraldo Domingues – elder.domingues@ifg.edu.br

Dr. José Luís Domingos – josé.domingos@ifg.edu.br

Dr. Wesley Pacheco Calixto - wpcalixto@ifg.edu.br

Dr. Aylton José Alves – aylton.alves@ifg.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Resumo. Este artigo apresenta a análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica renovável. O estudo utiliza da combinação da geração solar fotovoltaica e motor de combustão interna a biogás, conectados à rede local. A simulação foi realizada em um frigorífico de suínos localizado na região metropolitana da cidade de Goiânia, Goiás. Sistemas híbridos, que inicialmente eram utilizados praticamente em aplicações remotas, hoje se colocam como uma extensão e uma solução de rede de abastecimento, conhecida como miniredes e microredes distribuídas. Os módulos fotovoltaicos foram dimensionados de acordo com a área disponível. Esta potência extra de geração pode diminuir o custo de implantação. Grupos geradores de energia a biomassa, com aproveitamento da produção de metano, produzido localmente através de biodigestores, possuem um elevado potencial para geração de energia elétrica em frigoríficos. A simulação indica que o projeto pode produzir excedente de produção para geração de créditos junto à distribuidora local de energia elétrica e para suprir a falta ou intermitência da luz do Sol. Os resultados de simulação, otimizados através do software HOMER Energy, mostram que o sistema híbrido, fotovoltaico-biomassa conectada à rede elétrica local, é uma alternativa de investimento economicamente viável.

Palavras-chave: Viabilidade Econômica, Energias Renováveis, Sistemas Híbridos, Sistemas Fotovoltaicos e Biomassa.

1 INTRODUÇÃO

O suprimento da crescente demanda de energia para manter a sofisticada infraestrutura social é baseado na queima de combustíveis fósseis, responsáveis por sérios impactos socioambientais e as alterações climáticas ocorridas com o lançamento contínuo dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera. Dentro deste contexto, a comunidade científica vem discutindo e pesquisando novas fontes de energias alternativas e renováveis. A produção de energia, no futuro, deve ser limpa e mais eficiente que a atual, de acordo com o conceito de desenvolvimento sustentável (Reis, 2002; PNUMA, 2011).

Dentre as mais diversas fontes de energia alternativa que podem diversificar e incrementar a matriz energética atualmente existente no Brasil pode citar, entre outras, a energia eólica, solar, células a combustível e a biomassa moderna (Tolmasquim, 2003).

Neste contexto, programas governamentais e sociais, preocupados com os crescentes problemas ambientais, têm sido responsáveis por profundas e importantes mudanças na busca do desenvolvimento sustentável. Entretanto, não constitui opção principal da energia elétrica gerada no Brasil, visto que as hidrelétricas, mesmo com declínio de 3,39% de 2011 para 2012, são responsáveis por 70,1% da energia gerada, causando relevantes impactos ambientais, de um total de 81% de fontes renováveis. A geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 16,7% do total nacional, contra 11,9% em 2011. A geração de autoprodutores em 2012 participou com 14,1% do total produzido (Rosa, 2007; Bronzatti, 2008; Pinho, 2008; Rio + 20, 2012; BEM, 2013).

As fontes de energia renováveis oferecem ao nosso planeta a chance de, além da redução das emissões de GEE, colocar a nossa civilização em base mais sustentável. Sistemas híbridos de geração de energias renováveis, isolados ou conectados à rede elétrica, melhoram a segurança energética e promovem o desenvolvimento econômico (Balamurugan, 2011). Dentro deste contexto, muitos projetos de sistemas híbridos foram e estão sendo instalados em todas as partes do mundo.

Um estudo realizado para a Região Nordeste do Brasil, apresenta uma configuração de sistema híbrido de energia alternativa Solar-Biomassa que combina módulos fotovoltaicos e biodigestores alimentados por esterco de cabra, para o desenvolvimento sustentável rural. O volume de 1 m³ de biogás de estrume de cabras equivale a 0,75 litros de gasolina. A produção de biogás por quilograma de estrume de cabras é de 54 l/kg, e uma cabra produz 1,3 kg de estrume dia. Assim, o biogás produzido foi suficiente para substituir a 30% da necessidade total da gasolina utilizada nos geradores elétricos para a irrigação de 1 hectare. O estudo sugere que outros países de natureza semelhante se beneficiem com sistemas híbridos de geração de energia elétrica renovável Solar-Biomassa (Neto, 2010).

O estudo de caso a ser apresentado neste trabalho foi feito para um frigorífico de suínos, localizado na região metropolitana de Goiânia. Pesquisas iniciais já foram desenvolvidas no referido frigorífico (Oliveira et al., 2010). Estes estudos contribuíram para: i) o levantamento dos impactos ambientais, ii) a proposição de ações mitigadoras e ii) a avaliação técnica e econômica do aproveitamento energético do biogás a partir dos resíduos gerados pelo frigorífico em questão, levando em consideração as receitas de créditos de carbono a serem obtidas.

O estudo proposto por Oliveira et al., (2010), mostrou que cerca de 80 a 95% da água consumida no abatedouro é descarregada como efluente líquido, portanto, o alto consumo de água acarreta grande volume de efluentes. Os efluentes caracterizam-se principalmente por ter: DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) elevada (variando de 800 mg/L a 32.000 mg/L), grande presença de óleos, graxas e gordura, alta concentração de sólidos sedimentáveis e suspensos, e concentração de nitrogênio orgânico, além de presença de sólidos grosseiros e presença de microrganismos patogênicos. A DBO é tida como um dos parâmetros mais importantes por expressar a fração de matéria orgânica de rápida degradação biológica presente na amostra.

Este trabalho está focado na avaliação técnica e econômica de implantação de sistemas híbridos conectados à rede elétrica local atendendo parcialmente o consumo. Serão apresentados três casos. O primeiro deles considera o sistema biomassa-rede a partir do biogás produzido no frigorífico de suínos. O segundo é composto pelo sistema fotovoltaico-rede, escolhido devido a fatores favoráveis de produção deste tipo energia elétrica renovável na região. O terceiro é formado pelo sistema híbrido fotovoltaico-biomassa, conectado à rede. O sistema deverá atender parte do consumo interno do frigorífico em questão no período de maior consumo. O aproveitamento do excedente de energia elétrica gerado no período de menor consumo, pode ser comercializado com cliente livre, localizado nas proximidades (através de contratos bilaterais), ou à rede de distribuição local como a geração de crédito de energia elétrica, de acordo com a Resolução da nº 482/ANEEL, de 17 de abril de 2012. Esta resolução estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como, o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2008; PRODIST, 2013).

Para realizar os estudos propostos neste trabalho, foi utilizado o HOMER Energy 2013 (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*), software de simulação de sistemas híbridos de geração de energia elétrica, desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, o qual permite analisar a viabilidade técnica e econômica de sistemas híbridos de geração de energia elétrica conectados à rede. O software leva em conta a configuração idealizada do sistema com os componentes que foram incluídos, os painéis fotovoltaicos, os inversores e Grupos de Motores Geradores (GMG). Considera as especificações de carga e dos recursos energéticos disponíveis para o frigorífico. O HOMER simula o sistema híbrido ideal e avalia a viabilidade econômica de acordo com a sensibilidade escolhida do projeto.

Para que se possa analisar de forma criteriosa em que situação e qual o tipo de configuração de sistema híbrido é o mais viável para determinada aplicação, foram levados em considerações os aspectos, políticos, técnicos, econômicos e ambientais. Estes empreendimentos se enquadram no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto (Greenpeace, 2012), podendo gerar créditos de carbono devido às emissões evitadas e créditos de energia elétrica se o sistema for conectado na rede elétrica da distribuidora local.

2 POLÍTICA BRASILEIRA DE INCENTIVO À INSERÇÃO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E USO DAS FONTES RENOVÁVEIS

A Geração Distribuída (GD) atualmente passa a ser vista como a solução para diversos problemas e fonte de vários benefícios nos âmbitos de confiabilidade, qualidade da energia e meio ambiente. Trata-se da geração de energia elétrica a partir do uso de geração descentralizada, instalada próximo aos locais de consumo (Villalva e Zilles, 2012).

Dentro deste contexto, a tendência futura, é o aumento da geração distribuída e a descentralização do sistema elétrico. No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, responsável pelo estabelecimento do marco regulatório do setor elétrico nacional, é o órgão responsável também por propor projetos de Pesquisa & Desenvolvimento nas principais áreas de interesse da sociedade, dentre estas, aquelas relacionadas ao maior e melhor aproveitamento energético de fontes de energia renováveis.

O avanço do uso das fontes de energias renováveis e alternativas requer o estabelecimento de procedimentos para a inserção da geração distribuída na rede elétrica. Em Abril de 2012 foi aprovado pela ANEEL, a Resolução Normativa nº 482. Esta regulamentação beneficia a sociedade e obriga as concessionárias a se adaptarem à entrada da geração distribuída a partir das fontes alternativas e renováveis (ANEEL, 2012).

Em dezembro de 2012, a concessionária CELG Distribuição S/A publicou através do Setor de Normatização técnica a NTC-71 “Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CELG D”, atendendo à resolução nº 482 da ANEEL.

Conforme definido nos Procedimentos de Rede da Distribuição, PRODIST, a geração distribuída é caracterizada pelo uso de sistemas de geração de energia, cujas instalações são conectadas diretamente ao sistema de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada à rede elétrica, e despachadas ou não pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (PRODIST, 2013).

A política de incentivo à microgeração e minigeração elétrica através do uso de fontes de energias renováveis proporcionará o aumento da disponibilidade de eletricidade no setor elétrico. A geração distribuída possibilita

pulverizar investimentos e recursos, criando assim milhares de empregos diretos e indiretos, impulsionando o desenvolvimento tecnológico e o crescimento econômico (Villalva e Zilles, 2012).

3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O levantamento do potencial de energia solar, através do Atlas Solarimétrico do Brasil, mostra que tanto o Brasil, quanto a região Centro-Oeste e o estado de Goiás possuem fatores adequados para produção de energia elétrica fotovoltaica. O sul do Mato Grosso, o centro norte do Mato Grosso do Sul e o centro sul e nordeste de Goiás possuem insolação com média anual, superior a 5500 Wh/m²/dia. Maiores valores de radiação solar no Brasil podem ser encontrados no triângulo nordestino (Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco), no nordeste de Minas Gerais e sudoeste e centro da Bahia (Tiba, 2000; CEPEL, 2004; ANEEL, 2008; Villalva e Zilles, 2012; HOMER, 2013).

As células fotovoltaicas, como qualquer outra fonte de energia elétrica, não transforma toda energia incidente em energia elétrica, devido a limitações de tecnologia e das perdas inerentes do próprio sistema. Assim, é necessário caracterizar o balanço de conversão de energia de irradiação solar em energia elétrica fotovoltaica. Nos últimos 40 anos foram várias tecnologias que surgiram de células fotovoltaicas com diferentes eficiências de conversão (Zilles, 2012; NREL, 2013).

Após a avaliação do recurso solar, do levantamento da curva de carga e do cálculo da área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos, pode-se determinar a quantidade de módulos, conforme Eq. (1) e Eq. (2), e a capacidade máxima de geração de energia elétrica “kWp”. Os módulos fotovoltaicos escolhidos para o projeto, foram os da Tecnometal Energia Solar, SuryaVolt, série DSV230D20, potência de 240Wp, ilustrados na Fig. 1. Estes módulos foram orçados por empresa local e a um custo unitário linear de R\$ 7,40/Wp, que engloba os custos do projetos (instalação, conversores, estrutura, reposição e O&M).

$$N_{PV} = (C_{INST} \div C_{PV}) \times (L_{INST} \div (L_{PV} \cos \alpha + D_{PV})) \quad (1)$$

Onde:

N_{PV} = Quantidade máxima de módulos instalada.

L_{INST} = Largura disponível da área pra instalação.

C_{INST} = Comprimento disponível da área pra instalação.

L_{PV} = Largura do módulo fotovoltaico SuryaVolt 1,645m.

C_{PV} = Comprimento do módulo fotovoltaico SuryaVolt 0,981m.

α = Ângulo de inclinação do módulo 16° (Villalva, 2012; HOMER, 2013).

Em (1) D_{PV} é o coeficiente de espaçamento entre fileiras dado por (Villalva, 2012):

$$D_{PV} = 3,5 \times L_{PV} \times \sin \alpha \quad (2)$$



Figura 1: Módulos instalados no laboratório de energia elétrica fotovoltaica do IFG

O projeto contempla duas configurações de plantas. A primeira opção possui potência de geração de 16,8 kWp, 70 módulos fotovoltaicos e inversor trifásico SUNWAY de 17 kWp. A segunda opção, possui 112 módulos e inversor trifásico SUNWAY de 27 kWp. Os custos, de investimento das duas opções são: R\$ 124.332,00 para a primeira e R\$ 198.912,00 para a segunda. As potências dos inversores trifásicos e as características técnicas são descritas nos *Datashets* dos modelos SUNWAY™ TG 600V STD e SUNWAY™ TG 800V STD, disponível em Sunway (2013).

4 BIOMASSA

O aproveitamento do biogás, tanto pode gerar créditos de kWh, junto às distribuidoras elétricas locais, quanto receita com créditos de carbono, viabilizando economicamente o projeto.

O tratamento de esgoto, como parte do processo, possui lagoas de estabilização que utilizam de digestão aeróbia e anaeróbia dos dejetos de matéria orgânica. Estações de tratamento de efluentes (ETE) reduzem o potencial de contaminação e produzem biogás como um dos resíduos do processo. O biogás é composto principalmente de metano (CH_4), gás poluente apresentando potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2). Como recurso energético, fundamentalmente o metano com 100% de concentração, possui em condições normais de pressão (1atm) e temperatura (0°) poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. O biogás possui concentração de CH_4 variando entre 50% e 80% e PCI entre 4,95 kWh/m³ e 7,92 kWh/m³ (CGEE, 2010).

Grupo motor gerador (GMG) é composto por uma máquina primária acoplada ao eixo do gerador, podendo ser um motor hidráulico, turbina eólica, motor a vapor ou motor a explosão. Ao girar o eixo do gerador surgem tensões em seus terminais elétricos, que dependendo do dimensionamento, podem alimentar cargas como residências, escolas, indústrias e até cidades inteiras. Os GMG a biogás, biodiesel e biomassa, projetos de fonte de geração de energia elétrica renovável, tornaram solução para atender a instabilidade de fontes de energias alternativas, como eólicas, fotovoltaicas e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), e estão dentro dos propósitos do MDL (Pinho, 2008).

O projeto proposto por Pecora (2010) aproveitou os resíduos sólidos urbanos para geração de biogás. Os sistemas de geração de energia elétrica e de iluminação a partir do biogás foram instalados no aterro sanitário do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Caieiras - São Paulo. O estudo propôs 7 postes de iluminação, com uma luminária em cada poste. O consumo por lâmpada de 0,40 m³/h, cada luminária possuía quatro lâmpadas, que gerou consumo de 11,2 m³/h de biogás. O grupo gerador instalado, é de 200 kW, e o seu consumo foi de aproximadamente 181 m³ biogás/h. Para este sistema, o consumo total de biogás é de 192,2 m³/h. Como a porcentagem de metano no biogás foi de 40%, tem-se consumo de metano de aproximadamente 77 m³/h, resultando em excedente de 4.541,35 m³ CH_4 /h (Pecora, 2010).

O estudo proposto por Oliveira et al. (2010), utilizou biodigestor com 80 m de comprimento, 40 m de largura e 5 m de profundidade/altura. Este biodigestor formado por uma vala aberta no solo, vedado com lona de revestimento, tem ao seu lado o gasômetro construído com Lona Bio do tipo inflável feito de material plástico (PVC). O biogás gerado é queimado gerando CO_2 que é menos poluente que o CH_4 . Os autores propõem para estudo futuro, o uso do CH_4 como combustível para GMG a biogás.

Foi utilizado, para estimativa de produção de biogás no frigorífico, o software Geração e Uso Energético versão 1.0, disponível no site da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A Ep. (1), disponível no software, calcula a quantidade de CH_4 gerado em ETE (vazão de CH_4 m³/mês) para o caso de abatedouros e suinoculturas.

$$Q_i = 30 \times VE^{-1} \times \sum (Pb_i \times Conc_i \times Qt_i \times Mt_i) \quad (1)$$

Onde:

VE = Volume específico do metano, sendo este igual a 0,670 kg CH_4 /m³ CH_4 ;

Pb_i = Produção de biogás [kg_{biogás}/kg_{esterco}];

$Conc_i$ = Concentração de metano no biogás [%];

Qt_i = Quantidade de unidades geradoras;

Mt_i = Esterco total [kg esterco/(dia unidade geradora)].

Segundo Coelho (2012), a geração de metano (em m³) corresponde à quantidade de metano gerada contida no biogás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras e abatedoras de suíno. As concentrações do CH_4 , resultante da origem do material. A Tab. 2 apresenta valores para conversão energética para diferentes tipos de efluentes.

Tabela 2: Valores de conversão energética para diferentes tipos de efluentes (CETESB, 2006).

ORIGEM DO MATERIAL	[KG ESTERCO/DIA X UNIDADE GERADORA]	(KG BIOGÁS/KG ESTERCO)	CONCENTRAÇÃO DE CH_4
Suínos	2,25	0,062	66%
Bovinos	10	0,037	60%
Equinos	10	0,048	60%
Aves	0,18	0,055	60%
Abatedouro	1,00	0,100	60%

A Região Centro-Oeste possui parte da economia voltada para o agronegócio, possibilitando parte desta economia ser inserida na geração de energia elétrica. O Atlas de Bioenergia do Brasil, pontualmente, define os locais com potencial bioenergético com a produção de CH_4 , e também kWh/t cana. A secretaria da fazenda do estado de Goiás possui cadastro de 486 frigoríficos e 38 usinas sucroalcooleiras em pleno funcionamento. Estes dados mostram a capacidade de geração de energia elétrica renovável através da biomassa no estado de Goiás.

5 SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema híbrido de geração de energia elétrica renovável produz energia através de mais de uma usina geradora, podendo ser através de painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, geradores a biogás, geradores a biodiesel, ou queima de biomassa para geração de calor em caldeiras. O projeto pode contemplar não somente a geração de energia elétrica como também armazenar o excedente através de banco de baterias ou gerar créditos junto à concessionária elétrica local, quando conectado à rede, seguindo os procedimentos de distribuição da concessionária (PRODIST, 2013).

Para Viana (2009), sistemas híbridos bem projetados evitam o desperdício de geração e contribuem para a redução dos custos do kWh e do projeto, tornando a geração combinada mais competitiva em relação aos sistemas de geração tradicionais. Afgan (2008), em seu estudo concluiu que o excedente da produção da energia elétrica pode ser guardado em dispositivos de armazenamento. Desta forma, pode-se utilizar o excedente nos horários em que o consumo é maior que a geração. Recorrendo assim, aos sistemas eólicos e fotovoltaicos. Cada sistema híbrido deve ser adaptado para atender as necessidades de geração de energia e dos recursos energéticos específicos disponíveis no local (Afgan, 2008; Viana, 2009).

Dentre os fatores que objetivaram a escolha do sistema híbrido solar-biomassa, para o estudo, está diretamente ligado o potencial energético de irradiação solar e a bioenergia da região Centro Oeste. Esta região possui: uma enorme capacidade de produção energética renovável solar, com média anual de irradiação solar global superior a 18MJ/m² dia. Além disso, apresenta grande potencial energético através da biomassa, com dados do centro sul do estado de Goiás. Permitindo a aplicação com aproveitamento desta energia sendo em alguns casos superiores a 4 m³ de produção de biogás/mês por unidade de suíno e de 70 kWh/t cana para geração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro (Tiba, 2000; Coelho, 2012).

6 HOMER ENERGY

O HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*) é um software de simulação de sistemas híbridos de geração de energia, desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratory*. O HOMER simula Micro Centrais de Energias (MCE), modela, otimiza e sugere alterações nas plantas propostas de sistemas híbridos de geração de energia elétrica (SHGEE) conectadas ou não na rede elétrica local. O projeto de um sistema híbrido leva em conta a configuração idealizada do sistema com os componentes que serão inclusos, considerando as especificações de carga e recursos energéticos.

Com várias bibliotecas de dados incluindo: dados solarimétricos, dados de velocidade dos ventos, variações de temperatura ao longo do dia, dados estatísticos de temperatura e algoritmos de análise de sensibilidade, o HOMER simula funcionamento de um sistema híbrido, fazendo cálculos de equilíbrio de energia, a cada hora do dia, durante a vida do projeto. Para cada intervalo, o HOMER compara a energia que cada sistema pode fornecer ao projeto, e calcula o fluxo de energia, a partir de cada componente do sistema. Para os sistemas que incluem baterias ou geradores a combustível, o software decide o tempo de operação dos geradores e se o sistema deve carregar ou descarregar as baterias.

O HOMER executa cálculos do balanço de energia, para cada configuração do sistema considerado, determina uma a uma qual configuração é viável, ou seja, se pode atender a demanda de carga nas condições específicas e estima Custo Presente Líquido Total (CPL), do inglês, *Total Net Present Cost (Total NPC)*, que englobam os custos de instalação, operação e manutenção do sistema. Além disso, leva em consideração a taxa mínima de atratividade, substituição de equipamentos e custo dos combustíveis (HOMER, 2013).

A simulação possibilita otimizar várias configurações do sistema, cada uma com as suas particularidades de sensibilidade. O software exibe uma lista de configurações, classificadas em ordem crescente de Custo Presente Líquido Total. Este custo é usado para comparar opções de projeto do sistema. A análise de sensibilidade, que determinará a quantidade de simulações, é definida através das variáveis de sensibilidade de entradas. O programa repete o processo de simulação para cada variável sensibilidade especificada.

A concepção de sistemas híbridos de energia elétrica renovável, no HOMER, é dividida nas etapas de seleção de carga, cogeração conectados ou não à rede e dos componentes do sistema. Os componentes do sistema híbrido podem ser módulos fotovoltaicos, geradores, turbinas eólicas, banco de baterias e inversores, e cada sistema destes com entradas de sensibilidade. Os componentes do sistema deverão ser alimentados com detalhes que descrevem as opções de tecnologia, custos de componentes, potência e quantidades de cada componente, utilizadas para as simulações.

Dados de potência de pico de geração (*Size KW*), os custos de aquisição e instalação (*Capital \$*), reposição (*Replacement \$*) e operação e manutenção anuais (*O&M \$/y*) são inseridos no componente fotovoltaico (*PV*), sendo dados de sensibilidade do projeto e as configurações são aproveitadas para simulações, a cada inserção de um novo projeto.

A configuração da carga começa com a escolha do tipo de carga, em corrente alternada ou em corrente contínua "*Load type*" (*AC ou DC*). Digitam-se os valores de carga, para cada uma das 24 horas do dia na tabela de carga "*Baseline data*", podendo também importar do recurso "*Random Variability*", caso possua uma base de dados de carga, através da função "*Import time series data*". Abaixo da planilha deve-se informar o desvio de consumos, sendo diário "*day-to-day*" e por hora "*Time-to-step-Time-step*". O HOMER replica este perfil ao longo do ano, define diferentes perfis de carga para os diferentes meses e quantidades de dias em cada mês. Gera vários gráficos entre eles o "*Daily*

profile” que é o perfil diário dos dados inseridos, o “*Seasonal profile*” que é o perfil gerado de carga para os diferentes meses do ano e o “*Dmap*”, gráfico hora/mês, que cruza as informações do perfil diário com as sazonalidades dos desvios da curva de carga inseridos hora a hora e dia a dia.

A partir da simulação das configurações do sistema, com todas as combinações de componentes, o HOMER descarta, a partir dos resultados, todas as configurações do sistema inviáveis, que são aqueles que não atendem adequadamente a carga. São mostrados apenas as configurações que atendem em ordem de análise de viabilidade do projeto (*Total NPC*) e custo do kWh (*COE \$/kWh*). O melhor projeto, ou recurso, ou restrições disponíveis e resultado da melhor configuração do sistema híbrido, é mostrado na janela “*Optimization Results*”.

Outros detalhes dos componentes, como, por exemplo, a escolha de corrente de saída dos módulos, tempo de vida útil do módulo para o projeto específico, fator de redução que reduz a produção de energia do módulo em função da operação real do local instalado. O declive β , que é o ângulo ideal que os módulos deverão ser montados, ajustados em caso de sistema fixo, sem rastreamento solar, bem como o azimute γ , ângulo de direção em que os painéis serão instalados com relação ao posicionamento do Sol ao longo do dia, com variação de 180°, são também inseridos no programa. No caso do hemisfério sul os módulos devem estar voltados para o norte. Outra variável é a refletância, ρ_G , que é a incidência refletiva do solo nos módulos fotovoltaicos.

Outras entradas de variáveis que podem ser inseridas, no componente “*PV*”, são de rastreamento solar com ajustes diários azimutais, semanais, mensais, coeficiente de temperatura, tipos de módulos (monocristalinos, policristalinos e amorfos) e suas eficiências. O recurso solar também é disponível através de um banco de dados do HOMER, sendo inserido através do ícone “*Get Data Via Internet*”, disponível nas entradas de variáveis de recursos solares “*Resources/Solar Resources*”. A base de dados possui a série de tempo de um ano, o que representa a média global de radiação solar sobre a superfície horizontal, expressa em kWh/m², para cada intervalo de tempo do ano.

Entradas dos dados do GMG a biogás, “*Generator Inputs*”, são inseridos com os seguintes dados: potência de pico de geração, (*Size kW*), custos de aquisição e instalação (*Capital \$*), custo de (*Replacement \$*) para troca de depois do tempo de vida útil “*Lifetime*” que é dada em horas, o custo de operação e manutenção anual (*O&M \$/y*) e o custo do metano. Note-se que o custo de capital inclui os custos de instalação, e que o custo de O&M é expresso na moeda adotada do projeto, por hora de funcionamento, durante o período de um ano.

O custo de instalação do GMG poderá incluir o custo do biodigestor, quando incluso, o valor do m³ de metano deverá ser considerado como zero, pois a produção do biogás proveniente de geração própria, inserido o custo de produção na implantação do biodigestor.

A proposta do HOMER de simular, prever e adequar uma microssistema elétrica, composta de vários sistemas de geração de energia elétrica renovável, com interatividade, contribui com a análise do projeto proposto, que consiste num sistema híbrido de cogeração de energia renovável solar-biomassa conecta a rede, para um frigorífico de suínos localizado na região metropolitana da cidade de Goiânia. A análise feita pelo HOMER é comparada com os cálculos de viabilidade econômica do projeto com os créditos de kWh gerados pela concessionária elétrica local e ainda propõe a geração de créditos de carbono.

7 ESTUDO DE CASO

Este trabalho realiza a análise de viabilidade técnica e econômica de três alternativas de investimento para uma Estação de Tratamento de Efluentes de um frigorífico de suínos localizado na região metropolitana de Goiânia, Goiás. As alternativas de projeto propostas são: sistema biomassa conectado à rede a partir do biogás produzido no frigorífico de suínos, o sistema fotovoltaico conectado à rede e o sistema híbrido fotovoltaico-biomassa, conectado à rede. As simulações são realizadas no software de simulação HOMER. Trata-se de uma proposta inovadora para a região Centro-Oeste, com aproveitamento de crédito de energia elétrica em conformidade com a RN Aneel 482/2012 (PRODIST, 2013). Pesquisas iniciais neste frigorífico foram por Oliveira et al. (2010), sugerindo o aproveitamento energético dos resíduos gerados no frigorífico.

O frigorífico em estudo, em operação desde 1995, é uma indústria de carne de suínos abatidos no local e com armazenamento de carne para posterior distribuição. O abatedouro funciona durante seis dias da semana e os equipamentos de refrigeração e alojamento dos suínos funcionam todos os dias do ano. O Processo de abate funciona sete horas por dia, ocorrendo das 5:00 às 11:00 horas, e na última hora de funcionamento inicia-se a limpeza e sanitização. O frigorífico abate, em média, 200 cabeças ao dia, apesar de possuir capacidade de abate de até 370 cabeças.

Oliveira et al. (2010), projetou um Biodigestor de Fluxo Tubular (modelo canadense), com 80m comprimento, 40m de largura e 5m profundidade/altura, com o objetivo de melhorar o rendimento da instalação de tratamento de esgoto e de mitigar emissões de GEE. O custo do biodigestor projetado foi de R\$ 161.780,00, Oliveira et al. (2010). Após esta primeira fase de tratamento, o resíduo segue para as outras duas lagoas existentes no local para o tratamento secundário e terciário, antes de ser lançado no rio local.

O consumo médio diário de eletricidade da instalação é relativamente alto, em virtude da quantidade de equipamentos de refrigeração, que funcionam continuamente 24 horas por dia, e de equipamentos de bombeamento de água. A figura Fig. 2 ilustra a curva de carga diária e mensal do frigorífico em questão. As medições foram feitas nos horários: 5:00, 11:00, 12:00, 18:00 e 21:00 horas. Os desvios padrões dos picos de consumo diários e horários foram considerados iguais a 5% e 3%, respectivamente.

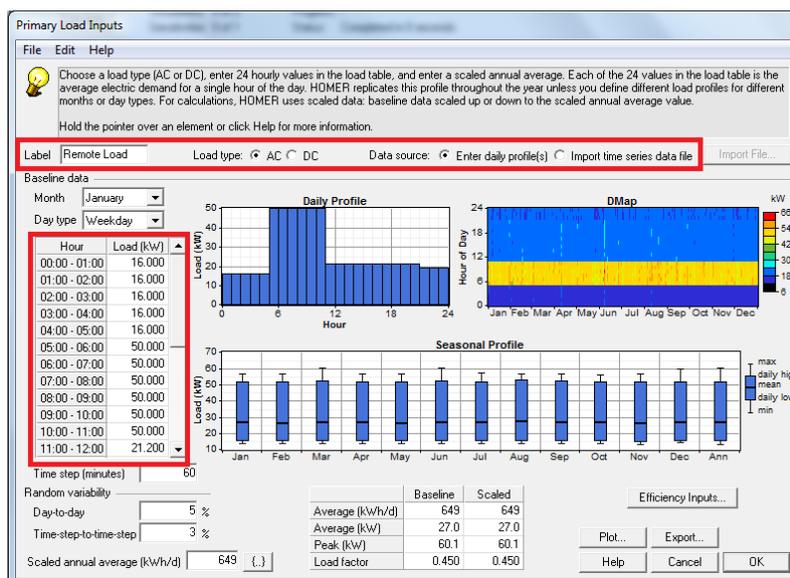


Figura 2: Curva de carga em kW, diária e mensal, do frigorífico.

A seguir são apresentados os resultados de simulação para as alternativas propostas.

7.1 Sistema biomassa-rede

Dentre as diversas tecnologias disponíveis, optou-se pelo GMG com potência de 30 kWp, modelo GG3.0L da Cummins Power Generation, para atender à demanda total de produção de biogás. O custo do GMG a biogás é de R\$ 51.537,00, orçado na DCCO Distribuidora Cummins Centro Oeste, instalado e configurado para o biogás captado diretamente no biodigestor. As entradas consideradas para a avaliação econômica do projeto são: taxa de inflação igual a 6% a.a. e taxa mínima de atratividade igual 12% a.a..

A Tab. 3 mostra a estimativa de produção de biogás, calculada através do software Biogás e Uso Energético, a estimativa de produção de energia elétrica do GMG, os custos de implantação do sistema e a média dos consumos dos meses de dezembro de 2013, janeiro e fevereiro de 2014.

Tabela 3: Variáveis calculadas à geração de biogás e produção elétrica do GMG. Fonte: Autor

VARIÁVEL / PARÂMETRO	VALOR E UNIDADE
Estimativa de biogás gerado pelos resíduos do alojamento - CNTP	824,507 m ³ / mês
Estimativa de biogás gerado pelos resíduos do abatedouro - CNTP	537,313 m ³ / mês
Estimativa de um poder calorífico inferior (PCI) biogás - CNTP	5,94 kWh / m ³
Estimativa de produção de energia elétrica - CNTP	8089,22 kWh / mês
Estimativa de custo de instalação do GMG – 30 kWp	R\$ 51.537,00
Estimativa de custo do biodigestor	R\$ 161.780,00
Consumo de Ponta – 18:00 as 21:00 horas	1.551,83 kWh / mês
Consumo Fora de Ponta	11.918,18 kWh / mês
Consumo HR – Sábados, Domingos e Feriados	3.185,20 kWh / mês
Consumo Total	16.687,22 kWh / mês

Para simulação foi considerado que a vida útil do projeto é de 25 anos. Além disso, foram inseridas informações, tais como: estimativa de custos de implantação do GMG, custo de implantação do biodigestor, custo de O&M do GMG e do biodigestor (R\$ 1,30/h) e estimativa de produção mensal de biogás. Para análise de sensibilidade foi determinados horários fixos de funcionamento do GMG sendo: 5:00 as 12:00 horas de segunda a sábado, horária de abate e limpeza, 18:00 as 21:00 horas de segunda-feira a sexta-feira para o consumo de ponta e produção aleatória para inserção da energia elétrica á rede, esta, para completar o consumo diário do biogás.

A figura 3 ilustra os resultados obtidos para esta simulação. De acordo com os resultados, há uma sinalização da viabilidade econômica do projeto com investimento inicial estimado de R\$ 213.329,00, custo anual de operação e manutenção de R\$ 49.292,00, custo presente líquido total igual a R\$ 843.441,00 e custo unitário de R\$ 0,268/kWh. O kWh com custo inferior ao contratado viabiliza o projeto economicamente, ameniza o impacto ambiental do biogás na atmosfera e diminui o consumo de energia elétrica contratada, enquadra-se no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto (MDL).

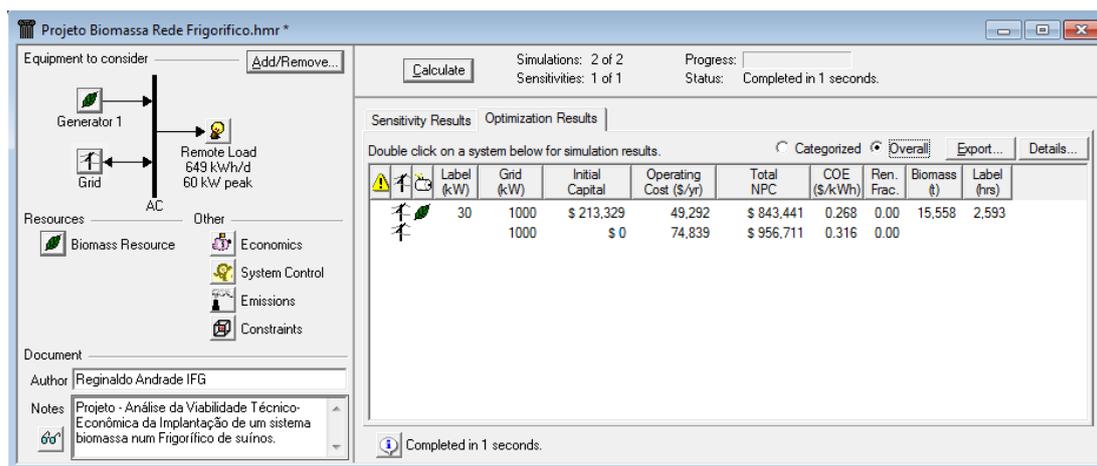


Figura 3: Resultados de simulação - Sistema Biomassa conectado à rede – HOMER 2013.

7.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede - SFCR

O galpão de abate de suínos, possui uma cobertura de 12 m de largura por 40 m de comprimento, totalizando uma área de 480 m², com possibilidade de instalação de 147 módulos fotovoltaicos SuryaVolt SV-230D20, módulo fotovoltaicos com potência de 240 Wp, por unidade, e dimensões de 1,645 m de largura e 0,981 m de comprimento. O programa HOMER, através da sua biblioteca, forneceu os dados solarimétricos do local de instalação. A estimativa de irradiação está em conformidade com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil, com valor médio anual em 5,5 kW/m²/dia.

Foram considerados os seguintes dados para os SFCRs em estudo: vida útil de 25 anos, ângulo de posicionamento dos painéis com relação ao solo de 16°, voltados para o norte geográfico e sem rastreamento, configurações de duas plantas de projeto, 16,8 kWp e 26,88 kWp. Os custos de instalação, configuração e O&M, foram orçados em R\$ 7,40/Wp para plantas a partir de 17kWp, os projetos não contemplam módulos de armazenamento de energia elétrica ou banco de baterias.

A figura 3 ilustra os resultados de simulação para esta alternativa. A melhor opção de planta, otimizada pelo HOMER, foi para a geração de 16,8 kWp, com investimento inicial de R\$ 124.332,00, custo anual de operação e manutenção de R\$ 68.593,00, Custo Presente Líquido Total "NPC" igual a R\$ 1.001.185,00 e custo unitário "COE" igual a R\$ 0,331/kWh, sendo maior que o valor de kWh contratado e assim tornando-se inviável economicamente.

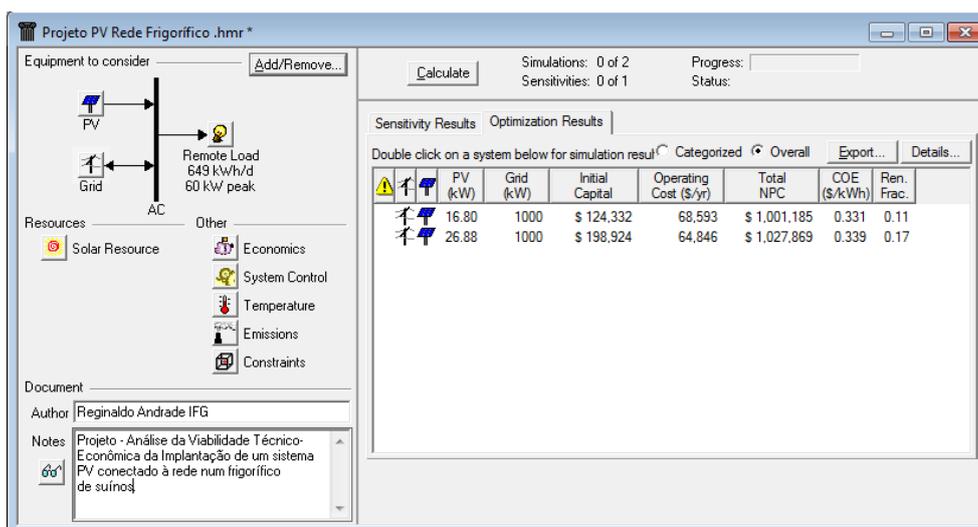


Figura 4: Resultados simulado - Sistema Fotovoltaico conectado à rede – HOMER 2013.

7.3 Sistema híbrido solar-biomassa conectado à rede

As próximas simulações contaram com as entradas de dados e sensibilidade dos SFCR e do sistema biomassa-rede. O HOMER proporciona otimizações, aproveitando entrada de dados e sensibilidade com referências idênticas mesmo em sistemas separados e projetos distintos, bastando pra isso, estar com os projetos sendo executados na mesma

tela de trabalho. Ferramenta, esta, que facilita as simulações e evita discrepâncias de entradas e análise de sensibilidade e perda de tempo entrando com todos os dados novamente e conferindo se estão realmente iguais.

A Fig. 5, trás 4 simulações de projetos, com seus respectivos custos. A planta com projeto híbrido fotovoltaico-biomassa, com potência de geração PV de 16,8 kWp, foi a que resultou na alternativa de sistemas híbridos mais viável economicamente, com investimento inicial de R\$ 337.649,00, custo anual de operação e manutenção de R\$ 43.236,00, custo presente líquido total de R\$ 890.34,005 e custo unitário do kWh de R\$ 0,277 menor que o valor contratado.

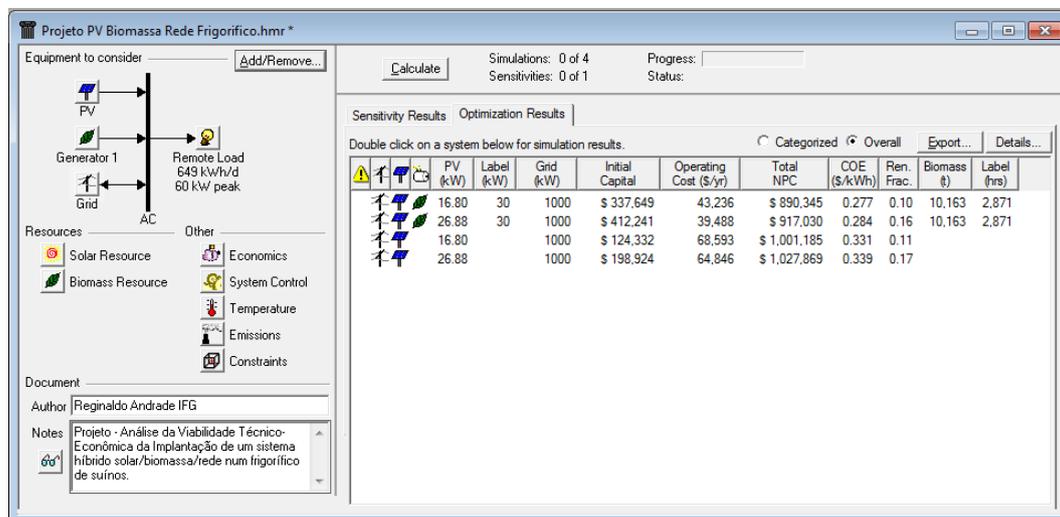


Figura 5: Resultados da Simulação - Comparação da viabilidade do projeto solar-biomassa-rede, frigorífico de suínos, inserido o custo do biodigestor e o metano sem custo de geração.

8 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de alternativas tecnológicas sustentáveis, voltada à geração de energia elétrica a custos competitivos, encontra-se dentro dos propósitos do MDL, geram impactos socioeconômicos e ambientais positivos, diminui a sobrecarga das concessionárias e a emissão de gases de efeito estufa. A utilização do biogás, proveniente de ETE, promove benefícios para a indústria local, estimula a adoção de práticas que maximizam a geração, coleta e reduz riscos ambientais irreversíveis.

O software HOMER Energy, com os resultados obtidos com simulações e otimizações dos projetos, facilitou a idealização dos SFCRs, dos sistemas biomassa-rede e dos sistemas híbridos fotovoltaico-biomassa conectados à rede. Assim, com maior análise, foi observado cada projeto. Os SFCR foram considerados economicamente inviáveis e foi responsável por elevar o custo dos sistemas híbridos, mesmo sendo viáveis economicamente com custo do kWh menor que o contratado. A melhor alternativa econômica foi do sistema biomassa-rede com custo kWh mais atraente dentre os simulados, e mais barato, que o contratado, e podendo ser melhorado com o aumento de produção industrial do frigorífico. O HOMER, ainda, propõe o cálculo para emissões de linha de base e geração de créditos de carbono, estudo esse que será discutido em outro artigo.

As simulações, apresentadas, geraram resultados que demonstram a viabilidade econômica de diferentes projetos de sistemas de geração de energia elétrica renovável. Projetos de sistemas híbridos, solar-biomassa-rede e biomassa-rede, para frigoríficos e granja de suínos, possuem uma grande capacidade de produção energética, e retorno financeiro com resultados positivos e diminui a instabilidade, e o investimento do SFCR sem a necessidade de armazenamento de energia elétrica em banco de baterias.

A geração distribuída, atualmente, passa a ser vista como solução para diversos problemas, fonte de vários benefícios nos âmbitos de confiabilidade, qualidade da energia e meio ambiente. A produção excedente, sendo usados posteriormente como créditos de energia elétrica, viabiliza projetos de sistemas híbridos de geração de energia limpa, diminui custos de instalação e atende os picos de consumo.

REFERÊNCIAS

- Afgan, Nain H.. Sustainability assessment of a hybrid energy system. Elsevier - Energy Policy 36 (2008) 2903– 2910.
 ANEEL . Atlas de energia elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. ed. Brasília: Aneel, 2008.
 Balamurugan, P. An Optimal Hybrid Wind-biomass Gasifier System for Rural Areas. Energy Sources, Part A, 33:823– 832, 2011
 BEN. Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012 - Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2013.

- Bronzatti, F. L. et al.. Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A integração de cadeia produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2008.
- CEPEL. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, CRESCESB, 2004. 207p.
- CETESB. Manual do usuário do programa de computador biogás geração e uso Energético, efluentes e resíduo rural versão 1.0. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo, 2006.
- CGEE. Química verde no Brasil: 2010-2030 - Brasília, DF : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.
- Coelho, Suani Teixeira...[et. al.]. Atlas de Bioenergia do Brasil – São Paulo. Projeto Fortalecimento Institucional do CENBIO. Convênio 721606/2009 – MME 2012.
- Greenpeace. O Protocolo de Kyoto. Disponível em: <www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf>. Acesso em 26 set. 2012.
- HOMER. Energy modeling software for hybrid renewable energy systems. Optimising Clean Power Everywhere – Setembro 2013.
- Neto, M.R. Borges. Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas. Elsevier - Energy Policy 38 (2010) 4497–4506.
- Oliveira, Kallenya Thays L. et al.. Uma contribuição ao estudo dos impactos ambientais em frigoríficos e ações mitigadoras. Trabalho de conclusão de curso IFG. 2010.
- Pecora, V. Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso. 2006. 152 p. Dissertação de Mestrado – PIPGE. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.
- Pinho, João Tavares, et al.. Sistemas Híbridos. / Brasília : Ministério e Minas e Energia, 2008. 396p. : il. 21 × 30cm. (Soluções energéticas para a Amazônia).
- PNUMA. Rumo a uma economia verde e caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Nairóbi, 21 de fevereiro de 2011.
- PRODIST. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Brasília 2013.
- Reis, Lineu Belicio. Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável. 1ª Edição. São Paulo: EDUSP, 2002.
- RIO + 20. Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável Rio + 20. Rio de Janeiro, 13 a 18 de junho de 2012.
- Rosa, Victor Hugo da Silva – energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável. Victor Hugo da Silva Rosa. Brasília 2007. 440p.
- Sunway. Solar and wind energy -Second Edition 2013 - 153410109 IT-EN – Setembro. 2013.
- Tiba, Chiguereu... [et al.]. Atlas Solarimétrico do Brasil. Recife UFPE, 2000. 111 p.
- Tolmasquim, Maurício Tiomno. Fontes Renováveis de Energia no Brasil. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- Viana, Susana F. A. Castro. Modelação de Micro-Sistemas Híbridos Fotovoltaicos/Eólicos para Produção Descentralizada. Dissertação de Doutorado em Ciências da Engenharia - Universidade Técnica de Lisboa - Junho de 2009.
- Villalva, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.
- Zilles, Roberto...[et al.]. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. São Paulo: Oficina de Textos, 2012 - Coleção aplicações de energia fotovoltaica: 1.

TECHNICAL AND ECONOMICAL VIABILITY ANALYSIS OF HYBRID SYSTEMS CONECTED TO THE GRID TO GENERATE ELECTRICITY FROM PV/BIOASS IN SWINE SLAUGHTER-HOUSES

Abstract. *This article presents a technical and economical viability analysis of installing a hybrid system to generate renewable electricity. The study uses a combination of photovoltaic system and a motor generator group of internal combustion, that generates electricity from biogas, connected to the local grid. The case studies were conducted in a swine slaughterhouse located in the metropolitan area of Goiania city, in Goiás State. Hybrid systems, which were originally used in virtually remote applications, today arise as an extension and a solution of the supply grid, known as minigrids and microgrids distributed. The photovoltaic were scaled according to the available area. This extra power generation reduces the cost of deployment. Motor generator groups of internal combustion, that use methane, locally produced through biodigesters, have a high potential for electricity generation in slaughterhouses. The simulation indicates that the project can produce surplus production to generate credits with the local electric utility and to supply the lack or flashing light from the sun. The simulation results, optimized through software HOMER Energy, have showed that the hybrid system PV-biomass connected to the grid, is a viable investment alternative.*

Key words: Economic Viability, Hybrid Systems, Renewable Energy, Photovoltaic and Biomass.