

DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA A PARTIR DA CONEXÃO DE FONTES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA ABASTECIDAS COM BIOGÁS DE DEJETOS SUÍNOS

Wagner da Silva Brignol¹

Luciane Neves Canha¹

Alexandre Barin¹

Ana Carolina Santos¹

Miguel de Carli²

RESUMO

Uma das formas de minimizar o problema do déficit de energia é a diversificação da matriz energética do país, principalmente através da conexão de gerações distribuídas (GD) que façam uso de fontes renováveis de energia - como é o caso do biogás proveniente do tratamento de dejetos de suínos. Sendo assim, este artigo tem o objetivo levantar o potencial energético de geração de energia a partir do biogás oriundo de dejetos de suínos e através de um estudo de caso, avaliar o impacto da conexão desta GD em uma rede de distribuição.

Palavras-chave: Geração distribuída, rede de distribuição, biogás, dejetos de suínos.

ABSTRACT

One way to minimize the problem of energy deficit is to diversify the country's energy matrix, mainly through the connection of distributed generation (DG) that uses renewable energy sources - such as biogas from swine manure. Thus, this article aims to estimate the energy potential of power generation from biogas derived from pig manure analyzing also a case study and evaluate the impact of this DG connection in a distribution network.

Keywords: Distributed Generation, distribution networks, biogas, swine manure.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se constatado que no Brasil o aumento no consumo de energia elétrica, devido principalmente ao crescimento da economia, ocorre de forma mais rápida que os incrementos

¹ Centro de Estudos em Energia e Sistemas de Potência - Universidade Federal de Santa Maria – RS, wagner.brignol@gmail.com, chbarin@gmail.com, lucianecanha@ufsm.br, aninha_frs@hotmail.com +55 (55) 3220 8792.

² ELETROSUL, Divisão de Planejamento da Transmissão, Florianópolis – SC, mcarli@eletrosul.gov.br

necessários as capacidades de geração, transmissão e distribuição de energia. Um dos motivos para que a oferta de energia não consiga acompanhar este crescimento está nas características do sistema elétrico brasileiro. Este sistema é predominantemente formado por poucas e grandes centrais geradoras de energia, em sua maior parte hídricas e térmicas. Assim, são necessários longos intervalos de tempo para construções de novas centrais geradoras que aumentem a capacidade deste sistema.

Uma das formas de minimizar este problema é a diversificação da matriz energética do país, principalmente através da conexão de gerações distribuídas (GD) que aproveitem os potenciais energéticos alternativos (solar, biomassa, eólica) de cada região. Segundo a Aneel (2014), atualmente estas fontes somadas representam menos de 15% da matriz energética brasileira, destes, o biogás representa 0,06% da produção de energia elétrica brasileira.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo realizar um levantamento do potencial energético de produção de biogás oriundo de dejetos de suínos no estado de Santa Catarina. Ainda, através de um estudo aplicado a localidade em questão, serão analisados os impactos ocasionados pela conexão de uma GD à Biogás em uma rede elétrica de distribuição. Os resultados apresentados neste trabalho fazem parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, chamada pública ANEEL 014/2012, contrato nº 1110130019, firmado com o Centro de Estudos em Energia e Sistemas de Potência da Universidade Federal de Santa Maria (CEESP/UFSC), juntamente a CERTI, UFSC, ITAI, FPTI, EMBRAPA e ELETROSUL.

2. METODOLOGIA

A conexão de fontes de geração distribuída (GD) nos sistemas de distribuição vem se tornando uma alternativa cada vez mais concreta para amenizar o déficit de energia e conseqüentemente diversificar a matriz energética. No Brasil, isto pode ser verificado através de diversas ações e políticas públicas que vem ocorrendo nos últimos anos. Dentre elas pode-se citar a Resolução Normativa (REN) 517/2012 que altera a REN 482/2012 a qual trata sobre as formas de comercialização das fontes de micro e mini geração distribuída.

Em se tratando de incentivos para o aproveitamento energético de biomassa, a REN 271/2007 da Aneel apresenta os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição. Também é importante citar o Programa de Incentivo às Fontes de Energia no Brasil (PROINFA), criado com base na Lei nº 10.438/02, que teve como objetivo o aumento da participação da energia elétrica gerada por produtores independentes a partir

de fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e da biomassa.

Logo, em virtude da necessidade de uma melhor destinação aos dejetos de suinoculturas, a recuperação da energia de resíduos orgânicos vem se tornando uma possibilidade cada vez mais atraente, pois, a geração de energia elétrica a partir do biogás de dejetos de suínos, além de ser renovável e passível de ser armazenada, pode fomentar o desenvolvimento econômico das regiões rurais, além de fortalecer as pequenas e médias empresas do setor da suinocultura.

2.1. Produção de Biogás Oriundo de Dejetos de Suínos

O Biogás é um gás incolor, sendo um dos produtos finais da fermentação anaeróbica de dejetos animais e humanos, resíduos vegetais e resíduos sólidos urbanos em geral, em condições adequadas de umidade e anaerobiose. A qualidade do biogás depende da quantidade de metano (CH₄), o qual normalmente representa de 60 a 70% da mistura. Outros gases como o dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂), hidrogênio (H₂) e ácido sulfídrico (H₂S) compõem o restante do biogás. (Deublein e Steinhauser, 2008).

A produção do biogás a partir de dejetos de suínos ocorre através da digestão anaeróbica dos dejetos acondicionados em biodigestores. Diversos parâmetros influenciam na produção do biogás em biodigestores, tais como: Teor de água, Concentração de nutrientes, Ph, Temperatura, Tempo de retenção hídrica, Concentrações de sólidos voláteis e Substâncias tóxicas.

O volume de dejetos suínos produzidos depende de diversos aspectos como o tipo da criação, tipo de instalações, alimentação, distribuição de água, manejo adotado, estado psicológico dos animais, entre outros. Segundo Konzen (1980), a produção média diária por unidade de suíno é de 8,6 litros/dia. A Tabela 1 apresenta a quantidade de dejetos de suínos de acordo com a fase de criação do animal.

Tabela 1 – Quantidade de dejetos de suínos de acordo com a fase de criação

Fases do Sistema de Produção	Esterco (kg/dia)	Esterco + Urina (kg/dia)	Dejetos Líquidos (L/dia)	Esterco + Urina (m ³ /animal/mês)	Dejetos Líquidos (m ³ /animal/mês)
25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00	0,16	0,25
Gestação	3,60	11,00	16,00	0,34	0,48
Lactação	6,40	18,00	27,00	0,52	0,81
Macho	3,00	6,00	9,00	0,18	0,28
Creche	0,35	0,95	1,40	0,04	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,17	0,27

O volume total de efluentes produzidos é dado pela soma do volume dos dejetos líquidos considerando a quantidade de animais em cada fase do ciclo de produção e da quantidade de água usada para a limpeza das baias e em desperdícios dos bebedouros (Perdomo, 2003).

O volume total de efluentes produzidos é dado pela soma do volume dos dejetos líquidos considerando a quantidade de animais em cada fase do ciclo de produção e da quantidade de água usada para a limpeza das baias e em desperdícios dos bebedouros (Perdomo, 2003).

A partir da quantidade de efluentes é possível determinar a quantidade de sólidos voláteis (SV) na alimentação dos biodigestores. Os SV, que são os substratos para as bactérias metanogênicas, são responsáveis diretos pela produção de biogás, sendo que quanto maior for a concentração de SV na alimentação diária do biodigestor (kg/L de efluente), maior será a capacidade do biodigestor na produção do biogás. Um fator a ser considerado no cálculo do biogás é o grau de diluição dos dejetos em função do desperdício de água utilizada na limpeza das baias dos animais, pelos vazamentos existentes nas redes hidráulicas e nos bebedouros e pela entrada de água da chuva nos canais de manejo dos dejetos. Este pode ser determinado pela observação da matéria seca e/ou sólidos totais, para o caso de dejetos de suínos.

A taxa de produção de metano (m³ de CH₄/m³ da câmara de digestão/dia) pode ser calculada pela Equação 1 (Chen e Hashimoto, 1978):

$$\gamma_v = \frac{B_o \cdot S_o}{TRH} \left(1 - \frac{K}{TRH \cdot \mu_m - 1 + K} \right) \quad (1)$$

Onde:

B_o = Taxa máxima de produção de metano (m³ de CH₄/kg de SV);

S_o = concentração de SV do efluente (kg/m³);

TRH = tempo de retenção hidráulica (dias);

μ_m = taxa de crescimento máximo específico (dia⁻¹);

K = coeficiente cinético (adimensional).

De acordo com Chen e Hashimoto (1980), o parâmetro K , para dejetos de suínos é dada pela Equação 2:

$$K = 0,5 + 0,043 \cdot e^{0,051 \cdot S_o} \quad (2)$$

A taxa de crescimento máximo específico (μ_m) é calculada através da Equação 3 (Chen e Hashimoto, 1980):

$$\mu_m = 0,013 \cdot T - 0,129 \quad (3)$$

Onde:

T é a temperatura da biomassa (°C).

A produção específica de biogás (B_o) é de 0,516m³ de CH₄/kg de SV. A estimativa de produção de biogás é dada pela:

$$Prod_{biogás} [m^3 biogás/m^3 câmara de digestão/dia] = \frac{\gamma_v}{0,65} \quad (4)$$

O volume da câmara de digestão é calculado por meio da Equação 5 (Oliveira, 2005):

$$V_{câmara de digestão} [m^3] = TRH [dias] \cdot V_{efluentes} [m^3/dia] \quad (5)$$

Onde: $V_{efluentes}$ é o volume de efluentes produzidos diariamente em m³/dia;

A produção de biofertilizante pode ser estimada pela quantidade de matrizes. Para cada doze matrizes são produzidos diariamente 1.000kg de biofertilizante. Para calcular o volume gerado, adota-se o valor de densidade igual a 1.010,32kg/m³ (Oliveira, 2005).

2.2. Potencial Energético de Produção de Biogás de Dejetos de Suínos em Santa Catarina.

A suinocultura brasileira está dividida em diversos estados da federação sendo que a maior concentração de produtores de matrizes de suínos está localizada no estado de Santa Catarina, o qual é responsável por aproximadamente 25% da produção nacional (Embrapa, 2011), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Matrizes Industriais de suínos (cabeças)

ESTADO/ ANO	2005	2006	2007	2008	2009	2010
RS	255.709	267.101	269.757	296.103	309.603	314.827
SC	363.781	391.682	388.783	391.72	392.72	386.000
PR	233.196	238.517	236.479	234.833	255.528	247.228
SP	112.000	114.677	110.356	95.432	92.055	88.055
MG	151.106	196.920	195.033	210.272	217.758	222.508
MS	43.241	42.300	42.300	43.240	45.220	56.514
MT	60.118	61.784	62.954	74.954	80.466	82.204
GO	58.936	61.554	63.999	67.905	73.155	78.155
OUTROS ESTADOS	89.882	96.659	106.152	111.990	111.990	113.406
TOTAL INDUS- TRIAL	1.367.96	1.471.194	1.475.813	1.526.449	1.578.495	1.588.897
SUBSIS- TÊNCIA	932.405	917.083	886.561	895.249	869.886	869.024
BRASIL	1.367.96	1.471.194	2.362.374	2.421.698	2.448.381	2.457.921

Estima-se que a produção média de biogás de suínos (90 kg) fique em torno de 0,240 (m³/cabeça/dia) e que 1 m³ de biogás seja equivalente à 1,428 kWh. Considerando o plantel de suínos de 2010, o estado de Santa Catarina apresentava um potencial de produção de 91.200m³/dia de biogás, possibilitando a geração de aproximadamente 5420 kWh de energia elétrica.

3. ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento deste trabalho realizou-se um estudo de caso para determinar o potencial de produção de biogás oriundo de dejetos de suínos de dez biodigestores de propriedades localizadas na zona rural da cidade de Itapiranga–SC. Para tanto, se considerou o número de animais e o ciclo de produção (creche, lactação, terminação ou ciclo completo) de cada propriedade.

A partir da produção total de biogás definiu-se a potência da GD, uma vez que as propriedades estarão interligadas através de um biogasoduto que permite o ganho de escala necessário para viabilizar a utilização do biogás pela GD.

Após definida a potência da GD avaliou-se as condições operacionais da rede de distribuição, denominada de INA5 (Figura 1) de propriedade da CELESC, na qual será conectada a GD, e os impactos de sua conexão em fatores operacionais tais como: níveis de tensão, carregamento dos condutores, fator de potência e perda de energia.

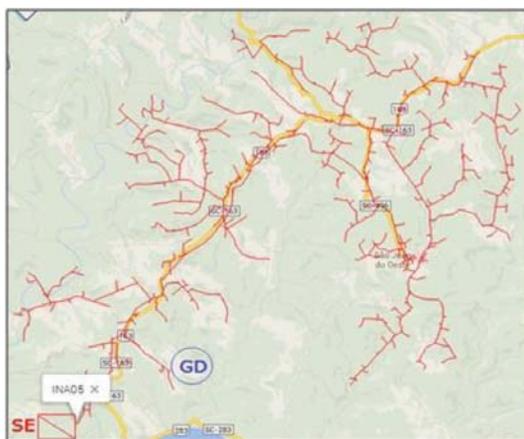


Figura 1 – Rede de distribuição para a conexão da GD – município de Itapiranga, SC.

3.1. Determinação da Produção de Biogás e Potência da GD

Para estimar a quantidade de biogás possível de ser produzido por dia nos dez biodigestores interligados pelo biogasoduto, considerou-se o número de animais e o ciclo de produção (creche, lactação, terminação ou ciclo completo) de cada propriedade, além da capacidade de cada biodigestor.

Sendo assim, através das equações 1 a 4 foi possível determinar a quantidade de biogás produzido. Para tanto, utilizou-se um TRH de 40 dias, uma concentração de Sólidos Totais de 3,93% , com massa específica aproximada de 1020 kg/m³, e teor de SV de 70%.

A partir disso foi verificado que o conjunto de biodigestores possui uma capacidade de produção de 1527,61 m³ de biogás/dia, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Produção de biogás oriundo dos dejetos de suínos das propriedades contempladas pelo projeto.

Propriedade	PROJETO EXECUTADO				Contribuição de Dejetos Líquidos	Estimativa de Produção de Dejetos Líquidos (m ³ /dia)	Estimativa de Produção de Biogás (m ³ de biogás/dia)	
	Ciclo de Produção	Número e Tipo de Animais	Modelo de Biodigestor					
1	Terminação	1000	Animais	BIO-1000	5	L/Animal/dia	10,00	189,00
2	Terminação	750	Animais	BIO-800	5	L/Animal/dia	7,50	141,75
3	Terminação	250	Animais	BIO-200	5	L/Animal/dia	2,50	47,25
4	Lactação	280	Matrizes	BIO-1200	45	L/Matriz/dia	24,75	306,39
5	Lactação	300	Matrizes	BIO-1200	45	L/Matriz/dia	23,85	295,25
6	Lactação	150	Matrizes	BIO-600	45	L/Matriz/dia	10,80	133,70
7	Lactação	400	Matrizes	BIO-1200	45	L/Matriz/dia	24,30	300,82
8	Ciclo Completo	40	Matrizes	BIO-200	85	L/Matriz/dia	3,40	42,09
9	Creche	1500	Leitões	BIO-200	1,4	L/Leitão/dia	2,10	26,00
10	Terminação	500	Animais	BIO-200	5	L/Animal/dia	2,40	45,36
						Total	111,60	1527,61

De acordo com o mencionado no item 2.2, para produção diária de biogás é possível alimentar uma GD de 260 kW de potência nominal operando 24 horas por dia.

3.2. Análises do Impacto da Conexão da GD na Rede de Distribuição.

Na análise das condições operacionais da rede de distribuição com GD e sem GD utilizou-se o software PSL® DMS para os cálculos de fluxo de potência. Foram considerados os valores de carregamento da rede de distribuição equivalente à um dia típico de dezembro de 2013.

3.2.1. Condições de carregamento de potência ativa da rede

Para determinar o impacto da conexão da GD na INA5 é necessário analisar as condições de carregamento desta rede sem a conexão da GD e, em seguida, comparar os resultados obtidos com a conexão (Figura 2).

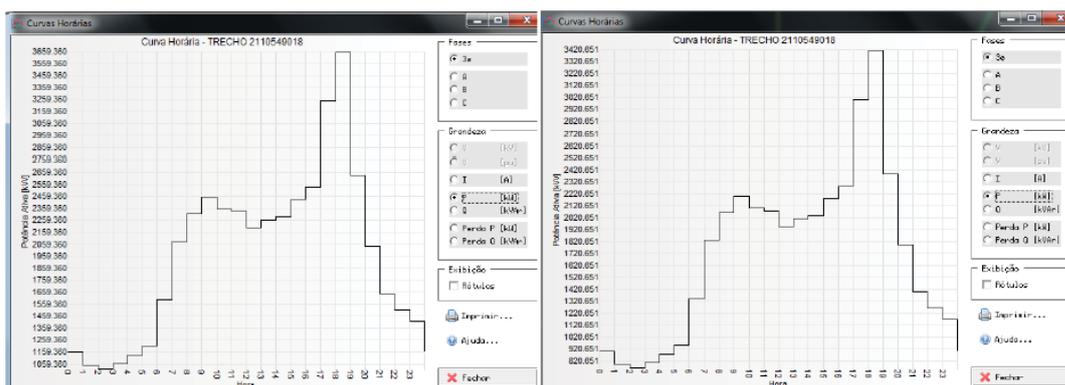


Figura 2 - Curvas de potência ativa da INA5 sem GD e com GD respectivamente

De acordo com a Figura 2 pode-se verificar que a curva de potência ativa do INA5 possui uma característica de consumidores predominantemente residencial, na qual a menor potência ativa demandada ocorre às 2:00h (DkW = 1059kW) e o maior ocorre às 18:00h (DkW = 3569,36 kW).

Considerando a possibilidade de a GD despachar energia elétrica durante 24 horas do dia, pode-se verificar uma redução da curva de potência ativa ao longo do dia todo, sendo que houve uma redução de 22,7% da potência ativa demandada às 2:00h e uma redução de 7,5% da potência demandada às 18:00h.

3.2.2. Condições de carregamento de potência reativa da rede

Para a simulação da conexão da GD, de modo a manter a tensão gerada igual a tensão nominal da rede, é preciso considerar a barra de conexão como PV. Logo, ao realizar o fluxo de potência, é determinado os valores de potência reativa necessária a ser despachado pela GD de forma a manter a tensão em 1pu e potência ativa de 260 kW na barra de conexão.

Analisando a Figura 3 verifica-se que houve uma pequena variação na curva de potência reativa do INA5. Para o cálculo do fluxo de potência foram considerados os limites de geração de energia reativa da GD – sem que esta perca a capacidade de geração de potência ativa. No horário de maior carregamento a GD deve produzir a maior quantidade de energia reativa para manter a tensão de 1pu na barra.

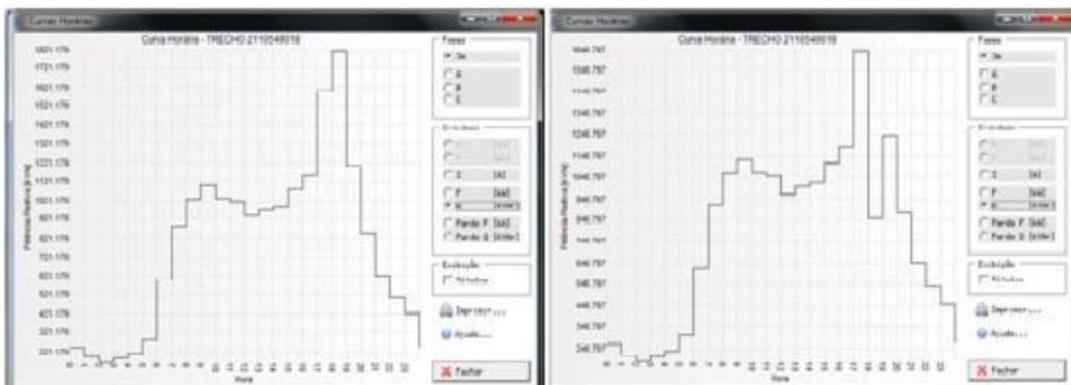


Figura 3 – Curvas de potência reativa da INA5 sem GD e com GD respectivamente

3.2.3. Condições de carregamento dos cabos da rede

O INA5 possui uma capacidade máxima de 184 A de carregamento dos seus cabos condutores (1/0 AWG CA). A Figura 4 apresenta os valores de corrente de carregamento da rede nas condições sem GD e com GD conectada.

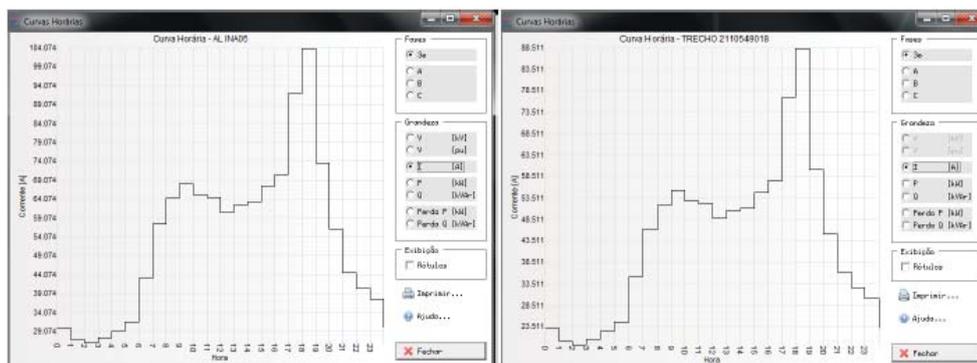


Figura 4 – Curvas de carregamento da INA5 sem GD e com GD respectivamente

O Carregamento máximo dos cabos condutores do INA5 ocorre à 18:00h ($I_{m\acute{a}x.}=104,07$ A) o que corresponde aproximadamente à 57% de carregamento nominal. Com a conexão da GD houve uma redução da corrente de carregamento às 18:00h ($I_{m\acute{a}x.GD} = 88,51$ A) passando para 47% do carregamento nominal, ou seja, houve uma redução de 10% do carregamento neste horário. Já para o momento de menor carregamento (2:00h) obteve-se uma redução de 20% do carregamento.

3.2.4. Condições de perdas dos cabos condutores da rede

As perdas acumuladas em uma rede estão relacionadas diretamente com as correntes de linha que percorrem os cabos da rede de distribuição. A Figura 5 apresenta a curva de perda ativa acumulada do INA5.

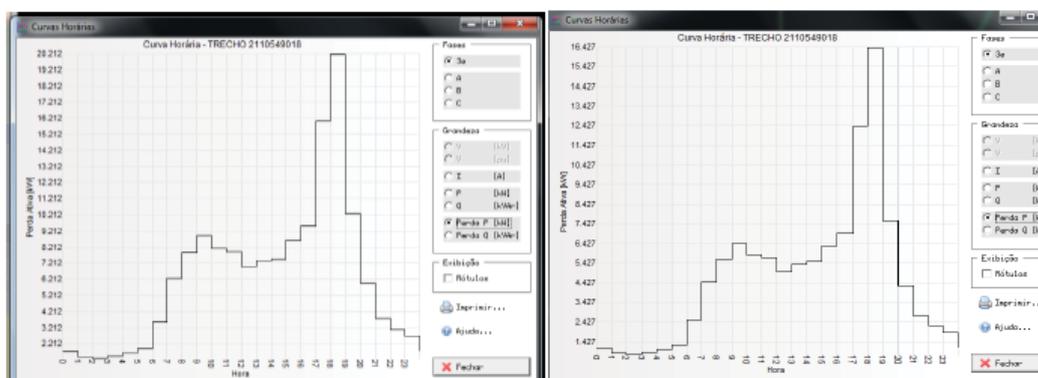


Figura 5 – Curvas de perda ativas da INA5 sem GD e com GD respectivamente

Analisando a Figura 5 verifica-se que às 18:00h a potência de perda ativa acumulada no INA5 foi reduzida de 20,21 kW para 16,42 kW o que equivale à uma redução de 19% nas perdas.

3.2.5. Condições dos Níveis de Tensão da Rede

Para avaliação dos níveis de tensão ao longo do INA5 obteve-se a curva horária dos níveis de tensão no ponto de maior que tensão da rede.

Ao longo do dia o pior nível de tensão ocorre às 18:00h, momento em que a tensão chega à 0,87pu. Com a conexão da GD, a curva horária de tensão obteve uma redução da queda de tensão em todos os horários, sendo que no horário de maior queda (18:00h) o nível de tensão passou para 0,884pu, obtendo-se assim uma melhora de 2,5% em relação à tensão sem a GD.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

As conexões de GD nos sistemas de distribuição começam a ser uma alternativa sólida para resolver os problemas do déficit de energia no sistema elétrico brasileiro. Através das GD consegue-se ter

uma geração de energia direta nos centros de consumo, modificando totalmente a forma do sistema elétrico atual.

Para o incremento de instalações de GD é necessário o aproveitamento dos potenciais energéticos de cada região, como por exemplo, o potencial que o estado de Santa Catarina possui para a geração de energia elétrica através do biogás oriundo dos dejetos de suínos. Considerando o plantel de suínos deste estado, seria possível gerar um mínimo de 5420 kWh de energia elétrica de forma distribuída, como o apresentado no estudo de caso desenvolvido.

Neste estudo de caso, pode-se concluir que com a produção de 1527m³/dia de biogás de dejetos de suínos é possível instalar uma GD de 260 kW de potência nominal, com a qual obteve-se melhorias significativas nos aspectos operacionais da rede INA5, tais como: redução de 7,5% à 20% da potência ativa demandada por esta rede; redução de 15% à 20% do carregamento da rede; redução de 19% dos níveis de perdas; e uma melhoria de 2,5% do nível de tensão no ponto de maior queda.

Sendo assim, podemos concluir que com conexão de GD á biogás no sistema de distribuição é vantajosa para as distribuidoras de energia, para os produtores de suínos e ainda para o meio ambiente. Para as distribuidoras de energia, com as reduções apresentadas, os investimentos na rede podem ser postergados. Para os produtores de suínos, a instalação de uma GD pode possibilitar a venda de excedente da energia para as distribuidoras, obtendo assim mais uma forma de receita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. “Condições Gerais para o Acesso de Microgeração e Minigeração Distribuída aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica”. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.

ANEEL. “Alteração da redação dos arts. 1º e 3º da REN nº 77/2004”. Resolução Normativa nº 271, de 3 de julho de 2007.

ANEEL. Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração. Relatório Anual de Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil. Fevereiro, 2014.

CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G. “Kinetics of Methane Fermentation”. In: Proceedings of Symposium on Biotechnology in Energy Production and Conservation, 1978.

CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G. “Substrate Utilization Kinetic Model for Biological Treatment Processes”. Biotechnology and Bioengineering, 1980.

DEUBLEIN, D; STEINHAUSER, A. "Biogas from waste and renewable resources: an introduction". Weinheim-Germany: Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES– "Anuário Estatístico de Suinocultura" – Central de Inteligência da Embrapa Suínos e Aves, 2011. KONZEN, E. A. "Avaliação Quantitativa e Qualitativa dos Dejetos de Suínos em Crescimento e Terminação, Manejados em Forma Líquida". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1980.

OLIVEIRA, P. A. V. "Uso dos Resíduos de Sistema de Crescimento e Terminação de Suínos para a Produção de Biogás". In: Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos, Fortaleza, 2005.

PERDOMO, C. C. "Metodologia Sugerida para Estimar o Volume e a Carga de Poluentes Gerados em uma Granja de Suínos". Comunicado Técnico 332. Embrapa Suínos e Aves, 2003.