

Biomassa gerada a partir da produção avícola na região Oeste do Estado do Paraná: uma fonte de energia

Alexandre Sordi^{1*}, Samuel Nelson Melegari de Souza² e Francisco Henrique de Oliveira²

¹Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas (Unicamp), Cx. postal 6039, 13083-970, Cidade Universitária, Campinas, São Paulo, Brasil. ²Curso de Mestrado de Engenharia Agrícola, Universidade do Oeste do Paraná (Unioeste). *Autor para correspondência. e-mail: asordi@fem.unicamp.br

RESUMO. Esse trabalho apresenta o estudo do potencial energético dos resíduos da avicultura (cama-de-aviário) nos municípios da Mesoregião Oeste do Estado do Paraná, Brasil. A quantidade de resíduo da avicultura, produzido no ano de 2001, foi de 382.021 toneladas. Esse resíduo animal é uma importante forma de biomassa, a qual pode ser utilizada como fonte primária para geração de energia elétrica. Com a queima direta desse resíduo, a energia térmica que pode ser produzida é de 140.500 kJ/s; apenas uma parte dessa energia pode ser convertida em trabalho mecânico e potência elétrica em um turbo-gerador a vapor, essa potência elétrica foi calculada em 50.700 kW. A produção do resíduo da avicultura é sazonal de forma que a potência instalada de uma usina termoelétrica queimando esse tipo de biomassa foi estimada em 8.900 kW, considerando o fator de economia de escala. Para a visualização espacial da produção de resíduos e do potencial técnico de energia nos municípios da Mesoregião Oeste do Paraná foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) Arc View 3.2.

Palavras chave: biomassa, geração de energia.

ABSTRACT. Biomass generated of poultry production in West Region of Parana State – an energy source. This work reports the study of the energy potential from poultry-litter in the municipal districts of the West Region of Parana State, Brazil. The amount of waste produced during the year 2001 was 382.021 tons. The animal waste is an important biomass form, which may be used as a primary resource for electric power generation. The thermal energy with its direct burning that can be produced is 140.500 kJ/s; since only a part of that energy can be converted into mechanical work and electric power in a steam turbine-electric-generator, the electric power was estimated at 50.700 kW. The production of poultry-litter is seasonal because the installed power of a thermoelectric plant that burns this kind of biomass was estimated to be around 8.900 kW, considering the economy scale factor. For the space visualization of the production of residues and the potential of energy generation in the municipal districts of the West Region of Parana State, the System of Geographical Information (SIG) Arc View 3.2 was used.

Key words: biomass, energy generation.

Introdução

A utilização de fontes alternativas de energia vem ganhando importância nas discussões mundiais sobre suprimento energético. Dois principais fatores tem contribuído para isso: a não sustentabilidade de uma civilização industrial baseada nos combustíveis fósseis (petróleo e carvão mineral), pois existem estudos que indicam que as reservas de petróleo sofrerão uma grande depleção até o ano de 2040 quando, então, os preços do barril desse produto se elevarão de forma inviável. Os problemas ambientais ocasionados pela

exploração e utilização dos combustíveis fósseis também são uma forte razão para que se pense em uma futura matriz energética mundial com uma participação mais ativa das fontes alternativas de energia, que poderão contribuir para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. As principais fontes alternativas estudadas atualmente compreendem a energia solar, a eólica, o hidrogênio e biomassa. Os países de clima tropical e de grandes áreas de superfície como o Brasil apresentam uma grande possibilidade para a utilização da biomassa energética.

As formas de biomassa mais conhecidas são a lenha e seus resíduos; resíduos gerados pelas culturas agrícolas, agroindústrias e criação animal; florestas energéticas; e resíduos sólidos municipais (Voivontas *et al.*, 2001). A biomassa é considerada uma fonte de energia renovável devido ao fato de que a sua reposição na natureza pode ser feita sem grandes dificuldades em prazos de apenas alguns anos ou até menos, contrastando com os combustíveis fósseis que necessitam de milhares de anos e condições favoráveis para que ocorra a sua reposição natural no planeta (Silva, 1996). Atualmente a biomassa energética é responsável por cerca de 55 eJ, 25 milhões de barris de petróleo/dia, ou cerca de 14% do suprimento energético mundial. Em áreas rurais de países em desenvolvimento a biomassa representa cerca de 34% do total do suprimento energético, sendo que essa utilização é convencional, ou seja, sem recursos tecnológicos (Rosillo-Calle, 2000). Já em países desenvolvidos, a participação da biomassa na matriz energética é menos expressiva, porém, o seu aproveitamento é mais eficiente face às tecnologias utilizadas como processos de combustão mais eficientes, gaseificação e pirólise da biomassa e co-geração. Em países como Estados Unidos, Finlândia, Suécia e Áustria a biomassa representa, respectivamente, 4%, 18%, 16% e 10% do suprimento energético (Simo e Siwe, 2000).

O Brasil tem feito uma significativa transição para o uso moderno da biomassa, particularmente nos últimos 40 anos. Antes da segunda guerra mundial (1939-45), a biomassa era utilizada principalmente na forma de lenha para cocção dos alimentos. Atualmente é utilizada na forma de cavaco de madeira, palha de arroz e bagaço de cana em geradores de vapor para processo e/ou produção de energia elétrica (Rosillo-Calle *et al.*, 2001). Uma inovação do uso da biomassa, com reconhecimento internacional foi a produção de álcool combustível a partir da cana de açúcar, utilizado como substituto ou misturado a gasolina. Atualmente, estuda-se a produção de hidrogênio através da reforma endotérmica catalítica do etanol, o hidrogênio produzido pode alimentar uma célula a combustível para gerar eletricidade e calor.

Os resíduos são as mais acessíveis e freqüentemente mais baratas formas de biomassa disponíveis atualmente. Na maioria dos casos, o processamento da cultura promove um sinergismo com uma produção de potência. Um bom exemplo é a da cana-de-açúcar processada para produzir o açúcar e álcool como produtos primários e a eletricidade como subproduto, (Bain *et al.*, 1998).

Um estudo realizado por Yamamoto *et al.* (2001) estimou que o potencial energético mundial dos resíduos de biomassa aumentaria de 84 eJ em 1990 para 265 eJ em 2100. E o potencial praticável seria de 72 eJ em 2050 e 114 eJ em 2100.

Entre outros tipos de resíduos existentes, encontra-se cama de aviário. É um material distribuído em um galpão avícola para servir de leito aos animais, e permanecendo no piso da instalação, irá receber excreções, restos de ração e penas, (Ávila *et al.*, 1992). As aves de corte apresentam peso médio de 2.421 g, conversão alimentar de 2,08 e idade de abate de 47 dias, embora o frango tipo exportação, com peso médio na faixa de 1.200 g, possa ser abatido com menos de 35 dias. A partir desses valores, pode-se estimar a quantidade de esterco eliminada por uma ave, cerca de 1.080 g por kg de ave, ou seja, para aves de 2.421 g de peso médio, haveria a produção de 2.615 g de esterco/ave sem levar em consideração a cama, que representa algo em torno de 500 g/ave, (Oliveira, 1996). A cama de aviário é um tipo de biomassa combustível, sendo que seu poder calorífico varia de 9.000-13.500 kJ/kg, dependendo da umidade e do material que compõe a cama. (Dagnall *et al.*, 2000).

A avicultura do Brasil alcançou a 3ª posição mundial na produção de carne de frango, liderada pelos Estados Unidos e China. O cenário paranaense apresentou crescimento, com um aumento de 2,87 na produção de carne de frango nos últimos 10 anos, saindo de 334.004 toneladas em 1990 para 959.268 toneladas em 1999. Ocupando, neste ano, o segundo lugar no *ranking* nacional, correspondendo a 20,85% da produção brasileira. A região Oeste do Estado do Paraná é responsável por 36% da produção de frango de corte e 38% da produção de carne, destacando-se os municípios de Toledo com 178.492 toneladas e Dois Vizinhos com 101.199 toneladas.

A importância da avicultura de corte na Região torna evidente que são necessários estudos que apontem alternativas para um correto destino aos resíduos das cadeias produtivas. Nesse trabalho abordou-se um estudo do potencial energético dos resíduos provenientes da fase de criação de frangos de corte na região Oeste do Estado do Paraná. Esses resíduos são utilizados como fertilizantes, mas o seu uso excessivo pode provocar a contaminação do lençol freático. A cinza proveniente da queima em caldeiras é uma fonte de fósforo e potássio e livre de contaminação.

Material e métodos

O estudo foi realizado na Mesoregião Oeste do Estado do Paraná (ver Figura 1), a qual compreende uma divisão política contendo 45 municípios.

dessa forma calcula-se a energia firme de uma central. Foi calculado o custo de geração para potências de 1.000 kW até 12.000 kW e comparou-se com o valor normativo da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para sistemas de geração de eletricidade utilizando biomassa, 89,9 R\$/mWh.

Utilização do sistema de informações geográficas (sig).

O software de SIG Arc View 3.2 foi utilizado para ilustrar a distribuição espacial da produção anual de resíduo e do potencial energético técnico nos 45 municípios da mesoregião Oeste do Paraná. Ele permite um melhor planejamento bem como a possibilidade de executar uma tomada de decisão fundamentada na representação espacial.

O mapa digitalizado do Estado do Paraná no programa Auto Cad foi exportado para o programa Arc View. Neste, criou-se um banco de dados contendo a produção de resíduos e o potencial energético técnico por município. Através desse banco de dados no programa geram-se os mapas temáticos geo-referenciados da mesoregião Oeste do Paraná. Esses mapas temáticos ilustram a variação da produção de resíduo e do potencial energético. Permitindo, portanto, distinguir quais municípios apresentaram o maior e o menor potencial de energia.

Potencial econômico

O potencial econômico consistiu em calcular o custo de geração da eletricidade utilizando-se a cama de aviário como fonte primária de energia.

O custo de geração é expresso pela razão entre a soma dos custos anuais com capital, operação e manutenção e transporte do resíduo, e a produção anual de eletricidade, de acordo com a equação abaixo:

$$CE = \frac{(C_C + C_{OM} + C_{COMB} + C_{Tr})}{PE}$$

Em que:

CE = Custo de geração de energia elétrica (R\$/mWh);

C_C = Custo capital anual (R\$/ano);

C_{OM} = Custo anual com operação e manutenção - O&M (R\$/ano);

C_{COMB} = Custo anual com a cama de aviário (R\$/ano);

C_{Tr} = Custo anual com transporte da cama (R\$/ano);

PE = Produção anual de eletricidade (mWh/ano).

$$C_C + C_{OM} = (Fr + OM).C_{EL}.P$$

Em que:

Fr = Fator anual de recuperação de capital para vida útil econômica da planta;

OM = Taxa anual de operação e manutenção;

CEL = Custo unitário da planta a vapor (R\$/kW);

P = Potência da planta a vapor (kW).

Com o fator anual de recuperação de capital calculado pela expressão:

$$Fr = \frac{d * (1 + d)^n}{(1 + d)^n - 1}$$

Em que:

d = Taxa anual de desconto;

n = número de anos para a amortização do capital investido na planta

A produção anual de eletricidade (mWh/ano) é determinada pela formulação:

$$PE = P * T$$

Em que:

T = Tempo de funcionamento anual da central (horas).

O preço da cama de aviário na região é de 28,00 R\$/t. O custo de capital para instalação de uma planta de geração termelétrica a vapor situa-se entre 3410,00 US\$/kW e 1148,00 R\$/kW para plantas de 1.000 kW a 12.000 kW (Copel, 2000).

A escala da planta de geração de energia elétrica influencia diretamente no custo de transporte do resíduo ao local onde ela está instalada. Plantas de geração de maior capacidade tem um custo crescente de transporte do resíduo, pois o raio de transporte tende a aumentar devido à necessidade de uma quantidade maior de resíduo. Para fins de cálculo do custo de transporte o custo do diesel utilizado foi de 1,35 R\$/litro.

O local para instalação da planta seria o município de Toledo, porque apresenta a maior disponibilidade de resíduos de aves de corte, maior facilidade de conexão da usina com a rede local de energia, possibilidade de vender o vapor disponível para ser utilizado no processo de empresas que possam instalar-se nas vizinhanças da usina.

A taxa de juros, a taxa de operação e manutenção e vida útil dos componentes da planta utilizados na análise econômica foram respectivamente em 10% a.a, 2% do custo de investimento e 20 anos. A usina deverá operar 5.256 horas anuais, pois a cama de

aviário é uma fonte de fornecimento irregular, devendo ser armazenada durante uma parte do ano e utilizada durante o tempo restante.

Uma análise de sensibilidade foi realizada para demonstrar a influência de cada parâmetro no custo da geração de energia elétrica.

Resultados e discussão

Potencial bruto

Na mesoregião Oeste do Paraná, ano de 2001, o rebanho estático de aves de corte foi contabilizado em 35.451.080 (SEAB/DERAL, 2001). Considerando seis lotes de criação anual, o total de aves de corte foi calculada em 212.706.500 cabeças. A produção de resíduo para o ano de 2001 na região foi de aproximadamente 382.021 toneladas. A distribuição geográfica dos resíduos pode ser observada na Figura 3, observou-se que os Municípios de Toledo e Cascavel, Estado do Paraná, apresentam a maior disponibilidade desses resíduos. É justamente nestes municípios que se encontram as duas maiores agroindústrias de aves de corte da região. Tais agroindústrias necessitam de eletricidade e calor, o que pode ser fornecido por uma planta de co-geração utilizando resíduos.

O PCS (Poder calorífico superior) da cama de aviário, obtido experimentalmente com o auxílio de uma bomba calorimétrica, apresentou um valor de 16.100 kJ/kg. Para os cálculos desse trabalho foi utilizado o poder calorífico inferior (PCI) de 11.600

kJ/kg considerando um teor de umidade de 25%. O potencial energético bruto, ou seja, a quantidade de energia térmica que pode ser liberada com a queima dos resíduos da avicultura na Mesoregião Oeste do Paraná foi calculada em 4.431.442.097 mJ/ano ou 140.500 kJ/s, sendo que o município de Toledo contribui com 17,5% do total (24.900 kJ/s). Grande parte desse calor é rejeitado para o ambiente (cerca de 75%), pois o rendimento do ciclo a vapor para pequenas potências é de 25%. Mas a eficiência global da planta pode ser aumentada para cerca de 85% aproveitando-se o vapor de escape das turbinas no processo industrial (co-geração).

O potencial energético técnico dos resíduos da avicultura na Mesoregião Oeste do Paraná foi calculado em 51.000 kW distribuído em 45 municípios. Dentre os Municípios analisados, somente 14 possuem uma produção de resíduos capaz de abastecer uma central de 1.000 kW de potência instalada. O município de Toledo foi o único onde pode ser instalada uma planta de geração termelétrica com a maior capacidade, 8.900 kW. Esse município possui um grande frigorífico abatedor que poderia utilizar o resíduo para gerar energia elétrica e calor para suas instalações. Uma central que produz eletricidade e aproveita o calor rejeitado pelas turbinas é denominada de central de co-geração ou produção combinada de potência e calor. A Figura 4 ilustra a distribuição espacial do potencial técnico.

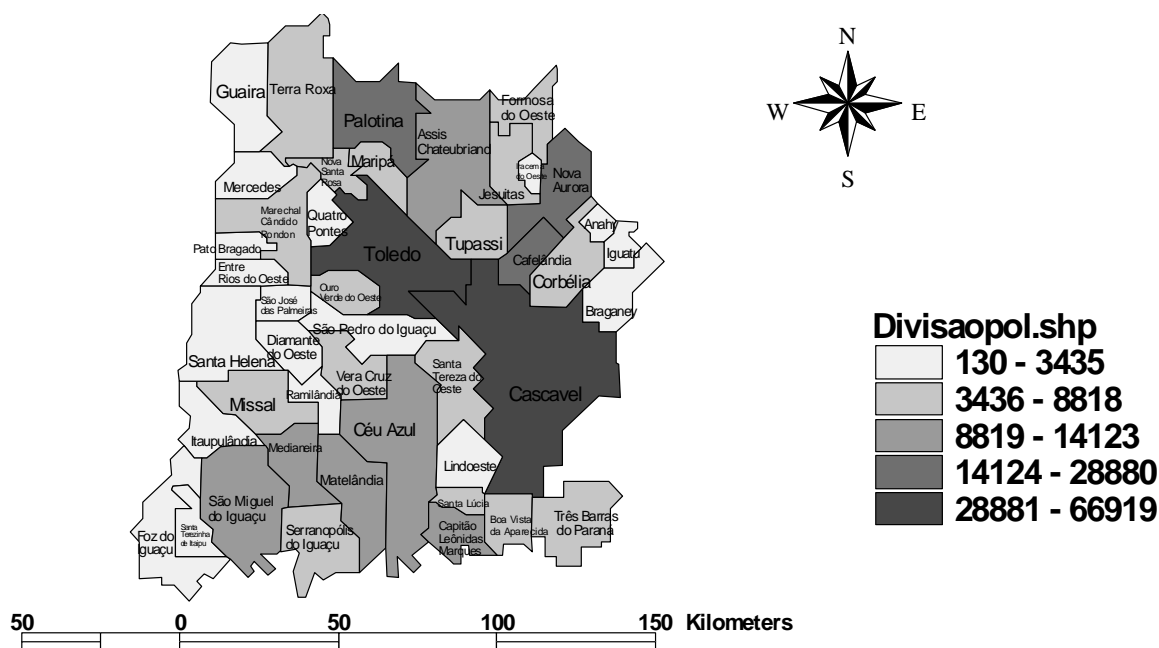


Figura 3. Mapa temático da produção de cama de aviário (T/ano).

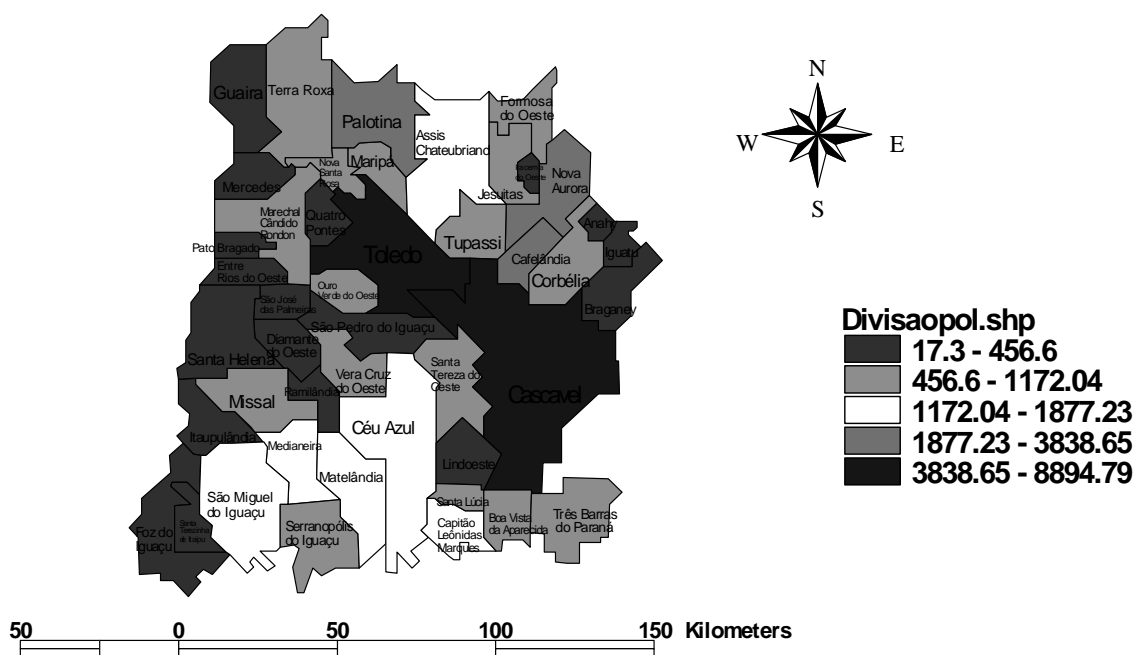


Figura 4. Mapa temático do potencial técnico (kW).

Em 1999, o total de bagaço de cana disponível no Brasil foi de 82.311.000 t, representando um potencial técnico de produção de energia elétrica via co-geração de 15.660 mW (MME, 2000). Segundo a ANEEL (2001), o Brasil possui atualmente 154 usinas termelétricas em operação (1.514,76 mW instalados) utilizando bagaço de cana, cavaco de madeira, lúxvia negra e palha de arroz; a grande maioria são centrais co-geradoras a bagaço de cana. O potencial técnico da cama de aviário na Região Oeste do Paraná representa 3,3% da potência total instalada de geração de energia elétrica via biomassa no Brasil.

Potencial econômico

Realizou-se um estudo de caso que consistiu na determinação, com base nos valores normativos de geração de energia termelétrica a biomassa para o Brasil, do potencial economicamente viável de geração de energia elétrica.

A Tabela 1 ilustra os custos específicos dos equipamentos necessários numa unidade termogeradora de energia elétrica. A partir da interpolação desses dados gerou-se um gráfico (Figura 5) para ilustrar o decréscimo do custo específico com o aumento da escala da planta.

Através das equações citadas anteriormente foi possível gerar o gráfico da Figura 6, a qual mostra o custo total da energia gerada com utilização da cama de aviário como fonte primária de energia, o qual é composto por um custo fixo (custo com capital e organização e manutenção da unidade) e um custo variável (custo com a cama de aviário e transporte da mesma). Observa-se

uma queda no custo de geração, referente à parcela do custo fixo de R\$ 88.90/mWh até R\$ 29.92/mWh, entre 1.000 e 12.000 kW respectivamente.

Tabela 1. Custos específicos dos equipamentos para o intervalo de escala de planta de co-geração de 1.000 a 12.000 kW.

Potência [kW]	Turbo- Gerador [R\$/kW]	Caldeira [R\$/kW]	Obras civis [R\$/kW]	Ligações elétricas [R\$/kW]	Total [R\$/kW]
1.000	1329	1636	148,3	296,5	3409,8
2.000	1112	886	99,9	199,8	2297,7
3.000	985	640	81,3	162,5	1868,8
4.000	858	571	71,5	142,9	1643,4
5.000	732	502	61,7	123,4	1419,1
6.000	726	458	59,2	118,4	1361,6
7.000	720	413	56,7	113,3	1302,9
8.000	714	369	54,2	108,3	1245,5
9.000	708	324	51,6	103,3	1186,8
10.000	704	316	51	102	1173,0
11.000	700	309	50,5	100,9	1160,5
12.000	696	302	49,9	99,8	1147,7

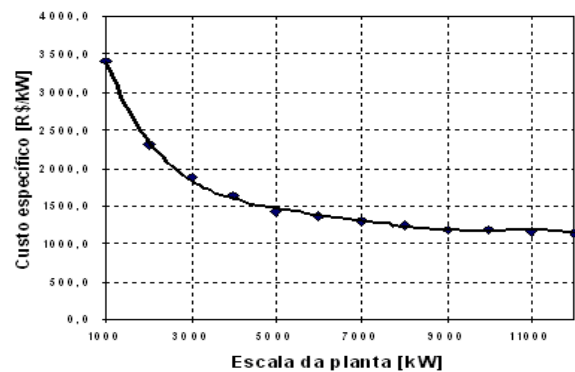


Figura 5. Custo específico de uma unidade de geração de energia elétrica com aproveitamento de biomassa para escalas crescentes de geração.

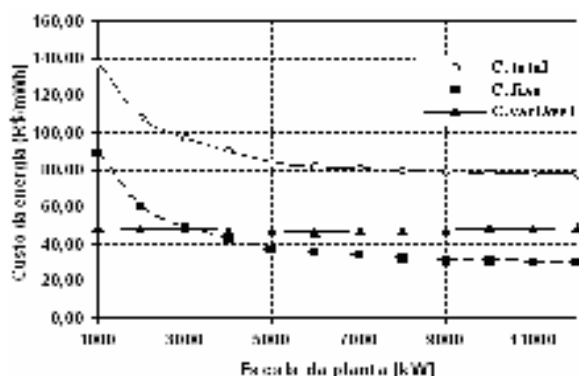


Figura 6. Curva do custo de geração de eletricidade variando com a capacidade da unidade geradora.

Considerando uma economia de escala, a qual consiste numa queda do custo de geração em função da escala da unidade de geração, o investimento começaria a se tornar viável a partir de unidades geradoras de 5.000 kW, onde o custo total de geração de energia elétrica é de R\$ 83.95/mWh, inferior ao valor normativo da ANEEL de R\$ 89.90/mWh para termoeletricas a biomassa. Com isso o potencial técnico de geração de energia elétrica disponível em Toledo, que é de 8.900 kW, é economicamente viável de ser aproveitado a um custo de geração de R\$ 80.00/mWh (abaixo do valor normativo da ANEEL).

A análise de sensibilidade permitiu visualizar a variação do custo de geração de eletricidade via cama de aviário em função de parâmetros como: disponibilidade da planta (FU) (horas anuais de trabalho), taxa de juros anual (D), vida útil (N), e o preço da cama de aviário (CC) (Tabela 2). A Figura 7 ilustra essa análise.

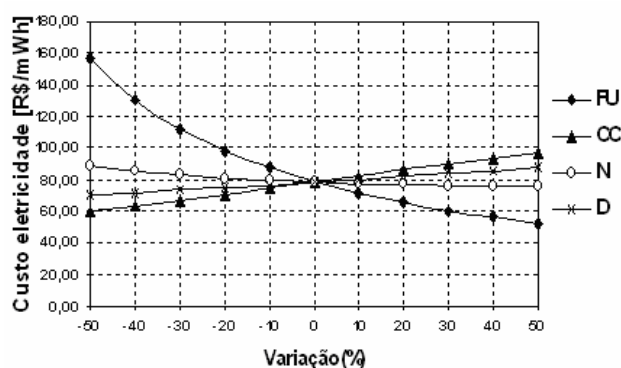


Figura 7. Análise de sensibilidade do custo de geração na unidade geradora.

Observou-se que, quanto maior a disponibilidade da unidade geradora (seu fator de utilização) maior a produção de eletricidade e, portanto, menor o custo de geração. A maior ou

menor disponibilidade da unidade geradora depende da produção de cama de aviário, o que determina a energia firme da instalação geradora. Quando a quantidade do resíduo for suficiente para manter a planta funcionando, poderia haver um complemento desta biomassa com cavaco de madeira das serrarias, ou mesmo, das próprias plantações particulares das agroindústrias se estas viessem a instalar uma central de co-geração no seu processo produtivo.

Tabela 2. Dados de referência da análise de sensibilidade.

FU [horas]	D [% aa]	n [anos]	OM [% aa]	CC [R\$/t]	OD [R\$/litro]
5.256	10	20	2	28	1,35

Conclusão

A Região Oeste do Estado do Paraná apresenta um grande potencial de resíduos de avicultura, o qual é estimado em 382.020,9 toneladas, com um potencial teórico de 142.500 kJ/s. O município de maior produção de resíduos é Toledo com 66.918,96 toneladas.

O potencial técnico de energia com aproveitamento de tais resíduos foi calculado em 50.700 kW e representa cerca de 3,3% do potencial energético instalado de biomassa no Brasil.

O potencial econômico encontrado foi de 8.900 kW, com um custo de geração de R\$ 80.00/mWh (abaixo do valor normativo da ANEEL), considerando-se a instalação da planta em Toledo, onde a disponibilidade de resíduo permite a implantação de tal potencial.

Uma planta dessa capacidade, poderia ser instalada junto a uma agroindústria na região de Toledo, a qual poderia tornar-se auto-suficiente em energia elétrica. Além da produção de energia elétrica, ocorre a produção de vapor no processo térmico da planta de geração termelétrica, o qual poderia ser utilizado em processos dentro da agroindústria.

Referências

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <<http://www.Aneel.Gov.br>>. Acesso em: 08 abr. 2002.

AVILA, V.S. et al. Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante. Circular técnica n. 16. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 38p. 1992.

BAIN, R.L. et al. Biomass-fired power generation. *Fuel Process. Technol.*, Amsterdam, n. 54 p. 1-16, 1998.

COPEL-COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. Curso de capacitação de multiplicadores em eficiência energética. Setor rural e agroindustrial. Módulo VIII. Co-geração. COPEL 2000. CD Rom.

DAGNALL, S. *et al.* Resource mapping and analysis of farm livestock manures – assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes. *Bioresour. Technol.*, Essex, v. 71, p. 225-234, 2000.

MME–Ministério da Minas e Energia. Balanço Energético Brasileiro, 2000.

OLIVEIRA, A.L. Conseqüências ambientais. Cadastro técnico *Escola de veterinária/UFMG*, Belo Horizonte, n. 17, p. 69-73, 1996.

ROSILLO-CALLE, F. The role of biomass energy in rural development. In: AGRENER, 2000. Campinas. *Anais...* Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2000. CD Rom.

ROSILLO-CALLE, F. *et al.* Industrial uses of biomass energy: the example of Brazil. *Energy*, Stanford, n. 26, p. 217-219, 2001.

SEAB/DERAL. Prognóstico da aviculture. 2001. Online disponível em: <www.pr.gov/seab/serviços/conjuntura>.

Acesso em: 23 ago. 2002.

SILVA, E.P. *Fontes renováveis de energia*. Geração de energia para um desenvolvimento sustentável. Campinas 1996.

SIMO, A.; SIWE S.S. Availability and conversion to energy potentials of wood-based industry residues in Cameroon. *Renewable Energy*, London, v. 19, p. 213-218, 2000.

VOIVONTAS, D. *et al.* Assessment of biomass potential of power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, v. 20, p. 101-112, Elsevier Science B.V. 2001.

YAMAMOTO, H. *et al.* Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model. *Biomass Bioenergy*, Oxford, v. 21, p. 185-203, 2001.

Received on May 22, 2005.

Accepted on October 17, 2005.