

**ADRIANO HENRIQUE FERRAREZ**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE BIOGÁS COMO FONTE  
ENERGÉTICA NA CADEIA PRODUTIVA DE FRANGO DE CORTE NA ZONA  
DA MATA DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**ADRIANO HENRIQUE FERRAREZ**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE BIOGÁS COMO FONTE  
ENERGÉTICA NA CADEIA PRODUTIVA DE FRANGO DE CORTE NA ZONA  
DA MATA DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA EM: 24 de novembro de 2009

---

Prof. José Márcio Costa  
(Co-orientador)

---

Prof. Paulo Marcos Barros Monteiro

---

Prof. Romeu e Silva Neto

---

Prof. Jadir Nogueira da Silva

---

Prof. Delly Oliveira Filho  
(Orientador)

Para a minha companheira Renata  
e para nossa filha Isabella.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda a minha família, minha mãe, meu pai, já falecido, que se orgulhava de ter um filho “cientista”, às minhas irmãs, meus cunhados e meus sobrinhos.

Agradeço aos meus amigos, que nas palavras de Vinícius de Moraes: “não percebem, o quanto são meus amigos e o quanto minha vida depende de suas existências”.

Ao professor Delly Oliveira Filho pela amizade, confiança e orientação.

Aos professores conselheiros José Márcio Costa e Adílio Flauzino de Lacerda Filho pela orientação e sugestões.

Agradeço a todos da Área de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Edinei “Zezé” que em conversas me falou das linhas de pesquisa em energia do Departamento de Engenharia Agrícola, ao mestre e amigo Toninho Vieira companheiro nas disciplinas do mestrado, ao Hamilton Reis, a Olga, a Cláudia, ao Vorobieff, ao William, ao Carlão que em vários momentos desta caminhada foram companheiros e solidários. Ao estagiário Osmar Rosa que num ato de desprendimento colocou a Parati 1990 do seu pai na estrada de barro para umas visitas técnicas. Ao estagiário Fabrício Segui pela ajuda imprescindível para a conclusão desse trabalho, seja feliz meu prezado e que tenhas muitas vitórias na sua vida.

A Associação dos Avicultores da Zona da Mata (AVIZOM) pelo apoio e aos produtores de frango de corte que muito gentilmente nos receberam em suas casas.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IF-Fluminense) pelo apoio aos meus estudos.

A todos os companheiros do Campus Itaperuna do IF-Fluminense pela amizade e consideração.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola.

Ao Partido Comunista do Brasil (PC do B) e aos camaradas que me ensinaram a ver a unidade e a diferença dos homens e me fizeram ver a claridade do mundo e a possibilidade da alegria.

## **BIOGRAFIA**

Adriano Henrique Ferrarez, filho de Amandio Ferrarez e Maria José de Medeiros Ferrarez, nasceu em 19 de fevereiro de 1977, em Muriaé, Minas Gerais.

Ingressou no curso de Física da Universidade Federal de Viçosa em 1995. Militou no movimento estudantil universitário e foi o primeiro estudante eleito vereador na cidade de Viçosa exercendo seu mandato de 2001 a 2004. Em 10 de maio de 2002 graduou-se em Física pela UFV.

Exerceu o magistério nas escolas Dr. Raimundo Alves Torres, Raul de Leoni, Ministro Edmundo Lins, José Lourenço de Freitas (Fundão), Colégio Anglo, Pré-Vestibular Exitus, na Universidade Presidente Antônio Carlos – UNIPAC em Ponte Nova e na Universidade Federal de Viçosa.

Em 2007 foi admitido como estudante regular do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na área de Energia na Agricultura, no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Em janeiro de 2009 tomou posse no cargo de Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IF-Fluminense). Atualmente é coordenador do Grupo de Energia Alternativa e Tecnologia Social (GREATS), no Campus Itaperuna do IF-Fluminense.

Submeteu-se a defesa de dissertação de mestrado em novembro de 2009.

## ÍNDICE

LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. Introdução Geral.....	1
1.1 Desenvolvimento Sustentável: Questões Energéticas e Ambientais.....	1
1.2 Panorama da Avicultura no Brasil.....	3
1.3 Biogás Alternativa Energética para a Avicultura.....	5
1.4 Cadeia Produtiva de Frango de Corte na Zona da Mata de Minas Gerais.....	6
1.5 Referências Bibliográficas.....	8
2. Potencial de Geração de Energia Térmica e Elétrica a partir do Biogás na Cadeia Produtiva de Frango de Corte.....	10
2.1 Introdução.....	11
2.2 Objetivo.....	27
2.3 Material e Métodos.....	28
2.4 Resultados e Discussão.....	34
2.5 Conclusão.....	37
2.6 Referências Bibliográficas.....	38
3. Análise da Independência Energética de Granja de Frango de Corte a Partir do Biogás.....	41
3.1 Introdução.....	42
3.2 Objetivo.....	47
3.3 Material e Métodos.....	48
3.4 Resultados e Discussão.....	59
3.5 Conclusão.....	66
3.6 Referências Bibliográficas.....	67
4. Soluções Energéticas para Unidade de Processamento de Carne de Frango com Uso de Biogás Proveniente de Cama de Frango.....	69

4.1 Introdução.....	70
4.2 Objetivo.....	83
4.3 Material e Métodos.....	84
4.4 Resultados e Discussão.....	95
4.5 Conclusão.....	99
4.6 Referências Bibliográficas.....	100
5. Potencial de Mitigação da Emissão de Gases de Efeito Estufa e Enquadramento em Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Empreendimento de Uso do Biogás como Fonte Energética na Cadeia Produtiva de Frango de Corte.....	102
5.1 Introdução.....	103
5.2 Objetivo.....	116
5.3 Material e Métodos.....	117
5.4 Resultados e Discussão.....	119
5.5 Conclusão.....	121
5.6 Referências Bibliográficas.....	122
6 Conclusão Geral.....	124
7 Anexo.....	127

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1. Composição da mistura gasosa do biogás.....	17
Quadro 2.2 Equivalência energética de 1 m <sup>3</sup> de biogás e outros energéticos.....	20
Quadro 2.3. Comparação entre os custos mínimo e máximo de geração de energia a partir do biogás com outras fontes alternativas de energia	20
Quadro 2.4 Massa média de cama de frango produzida por ave.....	34
Quadro 2.5 Número médio de frangos por metro quadrado e por galpão	35
Quadro 2.6 Dados para análise técnica do uso de biogás a partir de cama de frango na cadeia produtiva de frango de corte na Zona da Mata de Minas Gerais.....	36
Quadro 2.7 Potência elétrica disponível a partir do biogás.....	36
Quadro 3.1 - Dados de entrada para análise de viabilidade econômica do uso de biogás para a geração de energia elétrica em uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais.....	57
Quadro 3.2 Síntese de investimentos necessários para o sistema de geração de energia elétrica na granja típica.....	58
Quadro 3.3 Dados de uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais.....	59
Quadro 3.4 Produção de cama de frango, matéria seca e potencial de geração de biogás numa granja típica.....	60
Quadro 3.5 Dados para análise técnica do uso de biogás para aquecimento de água para banho em granja típica.....	60
Quadro 3.6 Dados para análise técnica do uso de GLP e de biogás para cocção em granja típica.....	60
Quadro 3.7 Dados para análise técnica do uso de lenha e de biogás para aquecimento de pintinhos em granja típica.....	61
Quadro 3.8 Potência elétrica disponibilizada a partir do biogás em uma granja típica após o atendimento das demandas de energia térmica.....	62
Quadro 3.9 – Energia elétrica produzida a partir do biogás restante.....	62
Quadro 3.10 – Plano de empréstimo para pagamento do investimento total, no sistema grupo gerador, considerando uma taxa de juros de empréstimo de 12% ao ano.....	63
Quadro 3.11 – Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando grupo gerador (motor ciclo Otto), operando 12 horas por dia.....	63

Quadro 3.12	Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando grupo gerador (motor ciclo Otto), operando 24 horas por dia.....	64
Quadro 3.13	Plano de empréstimo para pagamento do investimento total, no sistema microturbina, considerando uma taxa de juros de empréstimo de 12% ao ano.....	64
Quadro 3.14	Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando microturbina operando 12 horas por dia..	65
Quadro 3.15	Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando microturbina operando 24 horas por dia..	65
Quadro 4.1	Características principais do sistema por absorção de amônia.....	81
Quadro 4.2	Potência elétrica instalada no frigorífico por local.....	84
Quadro 4.3	Comparação da energia consumida nos sistemas de refrigeração por compressão e absorção para condensação a +35°C em 1 hora, de 1.160 kW de refrigeração (329,8 TR).....	90
Quadro 4.4	- Dados de entrada para análise de viabilidade econômica do uso de biogás para a geração de energia elétrica por meio de termelétrica localizada ao lado do frigorífico.....	93
Quadro 4.5	Síntese de investimentos necessários para a construção da termelétrica ao lado do frigorífico.....	94
Quadro 4.6	Potencial de produção de biogás, potência e energia elétrica produzidas, calor recuperado dos gases de exaustão e toneladas de refrigeração obtidas.....	95
Quadro 4.7	- Potencial de geração de frio para temperaturas de serviço de 0°C, -10°C e -35°C.....	96
Quadro 4.8	Plano de empréstimo para pagamento do investimento total, na implantação da termelétrica, considerando uma taxa de juros de empréstimo de 12% ao ano.....	97
Quadro 4.9	Análise de vida útil para para a construção da usina termelétrica localizada ao lado do frigorífico, considerando-se a comercialização de toda a energia produzida pela termelétrica.....	97
Quadro 4.10	Análise de vida útil para para a construção da usina termelétrica localizada ao lado do frigorífico, considerando-se o custo evitado com energia elétrica do frigorífico e comercialização da energia excedente.....	98
Quadro 4.11	Análise de vida útil para para a construção da usina termelétrica localizada ao lado do frigorífico, considerando-se o custo evitado com energia elétrica em toda cadeia produtiva de frango de corte e comercialização da energia excedente.....	98
Quadro 5.1	Potencial de Aquecimento Global.....	103
Quadro 5.2	Relação dos 20 países maiores poluidores e as respectivas emissões em bilhões de toneladas de CO2 e variações dessas emissões em relação a 1990.....	105
Quadro 5.3	Região do planeta e impactos provocados pelo aquecimento global.....	106

Quadro 5.4	Energia elétrica produzida, certificado de emissões reduzidas, receita com a comercialização dos CER's.....	119
Quadro 5.5	– Receita com a comercialização dos CER's considerando período de obtenção de créditos de 10 anos.....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Configuração geral da cadeia produtiva da avicultura de corte.	4
Figura 2.1 Mesoregião da Zona da Mata de Minas Gerais.....	12
Figura 2.2 Turbina a gás e gerador de energia elétrica.....	21
Figura 2.3 Princípio de funcionamento da microturbina Capstone (com recuperação de calor) .....	23
Figura 2.4 Interior da Microturbina Capstone.....	23
Figura 2.5 Tipos de turbinas a vapor.....	24
Figura 2.6 Desenho esquemático do funcionamento de um motor ciclo Otto.....	25
Figura 2.7 Representação esquemática do funcionamento de um motor diesel.....	25
Figura 2.8 Localização dos Galpões visitados A) Viçosa; B) Visconde do Rio Branco; C) Piraúba; D) Ubá; E) Guiricema; F) Porto Firme; G) Teixeiras; H) Canaã; I) Miraf. ....	28
Figura 3.1 Vista parcial de galpão de uma granja típica de frango de corte.....	49
Figura 3.2 Vista parcial de galpão de uma granja típica.....	49
Figura 3.3 Produção e consumo de biogás em uma granja típica.....	61
Figura 4.1 Produção de energia elétrica sem cogeração.....	75
Figura 4.2 Produção de energia com cogeração.....	75
Figura 4.3 Cogeração no mundo.....	76
Figura 4.4 Sistema de refrigeração - transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão.....	77
Figura 4.5 Diagrama de um sistema de refrigeração típico utilizando amônia e água.....	78
Figura 4.6 Consumo de energia elétrica no frigorífico.....	87
Figura 5.1 Esquema do Efeito Estufa.....	104
Figura 5.2 Instituições do MDL.....	110
Figura 5.3 Oferta Interna de Energia no Brasil.....	113

## RESUMO

FERRAREZ, Adriano Henrique, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2009. **Análise da viabilidade do uso de biogás como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte na Zona da Mata de Minas Gerais**. Orientador: Delly Oliveira Filho. Co-Orientadores: Adílio Flauzino de Lacerda Filho e José Márcio Costa.

A questão energética tem uma importância estratégica na cadeia de produção de frango de corte na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. Os gastos com energia são altamente significativos, destacando-se a grande demanda por energia tanto nas unidades de abate e processamento quanto nas granjas de frango. Nas granjas existe a geração do sub-produto, a "cama de frango", cujo manejo inadequado pode afetar os rios e águas subterrâneas que abastecem tanto o meio rural quanto o urbano, acarretando desequilíbrios ecológicos, disseminação de patógenos e contaminação das águas potáveis com amônia, nitratos, fosfatos e outros elementos tóxicos. O processamento da "cama de frango" pode contribuir para um melhor desempenho energético nas operações que se desenvolvem na cadeia produtiva de frango de corte. Por meio da biodigestão anaeróbia é possível converter a cama de frango em biogás, cujo principal constituinte é o gás metano. Além do biogás pode-se obter também o biofertilizante com alto valor agrônomo. A necessidade de soluções tecnológicas para atender a essas demandas e enfrentar esses problemas tem crescido juntamente com os desafios de torná-las acessíveis aos produtores e sustentáveis nos aspectos ambiental e sócio-econômico. O objetivo deste estudo foi propor soluções energéticas para a cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais. Os objetivos específicos

foram: (i) Avaliar a independência energética de uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte a partir do uso do biogás; (ii) Propor soluções energéticas para unidade de processamento de frango de corte a partir do uso de biogás proveniente da cama de aviário; (iii) Avaliar o potencial de mitigação da emissão de gases de efeito estufa com o uso do biogás como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte. Os principais resultados foram: (i) quanto à independência energética de uma granja típica foi verificado que a produção de energia (térmica e elétrica) atende à demanda da granja, a análise de viabilidade econômica foi realizada considerando-se a geração de energia por meio de grupo gerador (motor de ciclo Otto) e microturbina a gás; (ii) quanto às soluções energéticas para o frigorífico foi verificado que as demandas energéticas da unidade de processamento de frango de corte e das granjas que compõem a cadeia produtiva são atendidas, havendo um excedente de energia elétrica que pode ser comercializado na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a análise de viabilidade econômica forneceu parâmetros comprovando a viabilidade do empreendimento nos casos levantados; (iii) quanto ao potencial de mitigação da emissão de gases de efeito estufa foi verificado que o empreendimento se enquadra como um projeto de pequena escala do MDL gerando receita que pode ser usada para aumentar a viabilidade econômica da planta de geração de energia (termelétrica).

## ABSTRACT

FERRAREZ, Adriano Henrique, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November of 2009. **Analysis of the feasibility of using biogas as an energy source in the production chain of chicken production in the Zona da Mata de Minas Gerais.** Adviser: Delly Oliveira Filho. Co-Advisers: Adílio Flauzino de Lacerda Filho and José Márcio Costa.

The energy issue is of strategic importance in the production of broilers in the Zona da Mata of Minas Gerais. The energy costs are highly significant, highlighting the huge demand for energy both in units of slaughter and processing as in chicken farms. In the farms there is the generation of by-product, the "litter", the inadequate management could affect the rivers and ground water supplying both the rural and urban, resulting in ecological imbalances, the spread of pathogens and contamination of drinking water with ammonia, nitrates, phosphates and other toxic elements. The processing of "poultry litter can contribute to improved energy performance in operations that develop in the production chain of broilers. Through anaerobic digestion can convert poultry litter into bio-gas, whose main constituent is methane. In the biogas can also obtain the biofertilizer with high agronomic value. The need for technological solutions to meet these demands and address these problems has grown along with the challenges of making them accessible to producers and sustainable environmental aspects and socio-economic development. The aim of this study was to propose solutions to the energy supply chain of broilers in the Zona da Mata de Minas Gerais. The specific objectives were: (i) assess the energy independence of a typical farm of the production of broilers from the use of biogas, (ii) propose solutions to energy processing unit of broilers from the use of biogas from the litter, (iii) assess the potential for mitigation of emissions of greenhouse gases with the use of biogas as an energy source in

the production chain of broilers. The main findings were: (i) on the energy independence of a typical farm was found that the production of energy (thermal and electrical) meets the demands of the farm, the economic viability analysis was performed considering the generation of energy through generator set (Otto cycle engine) and microturbine gas, (ii) in relation to energy solutions for the refrigerator was found that the energy demands of the processing unit of broilers and farms that make up the supply chain are met, there a surplus of electricity that can be marketed in Trading Chamber (CCEE), the economic viability analysis parameters provided proving the viability of the enterprise in the surveyed cases, (iii) regarding the potential mitigation of greenhouse effect gases was found that the development fits like a small-scale project CDM generating revenue that can be used to increase the economic viability of the plant's power generation (thermal).

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

### **1.1 Desenvolvimento Sustentável: Questões energéticas e ambientais**

O desenvolvimento sustentável pode ser definido como um processo que busca atender as necessidades do presente sem comprometer o atendimento das necessidades das futuras gerações (PAZ et.al., 2000). O desenvolvimento sustentável possui dimensão ambiental, social e política. A análise da energia sob a ótica da sustentabilidade é uma necessidade imperiosa.

A energia é um conceito basilar da ciência, se faz presente em todas as ações do nosso dia-a-dia. Cada grupo social enxerga a energia de uma forma, essa visão depende do nível de decisão, da influência e das necessidades de tais grupos. A energia pode ser tratada como mercadoria, uma necessidade social ou um recurso estratégico ou ecológico. Conhecer quantitativamente as fontes de energia primárias utilizadas, os métodos de conversão dessas fontes em formas de energia mais úteis para o uso final, o desperdício associado à geração e sua distribuição é de fundamental importância para a preservação ambiental e o desenvolvimento social (VOLPI, et.al, 2006).

A questão energética tem sido ao longo dos tempos fator determinante no desenvolvimento das nações. A energia elétrica alavancou diversas áreas do conhecimento, aumentando a necessidade da energia para atender as demandas da humanidade. Quanto maior o grau de industrialização de um país, maior suas necessidades energéticas. Tendo em vista o atual estágio de desenvolvimento do Brasil, o crescimento do consumo de energia vem se dando em nível mais elevado do que o Produto Interno Bruto (PIB). Isso é influenciado pelo incremento da população, pelo aumento da renda e pela

automatização do setor produtivo. Produtos e serviços têm demandado um crescente percentual de energia.

A poluição ambiental é um obstáculo para a expansão da geração energética havendo a necessidade de mudanças na matriz de produção. A energia tende a encarecer uma vez que as reservas de combustíveis fósseis estão se exaurindo e a produção hidrelétrica tende a se estagnar. Nesse cenário a tendência é usar energias renováveis, desconcentrar a produção, diversificar as fontes e conservar a energia. Esses serão os caminhos a serem seguidos nas próximas décadas (JANUZZI, 1996).

De acordo com os resultados preliminares do Balanço Energético Nacional ano base de 2008, a oferta interna de energia (OIE) no Brasil cresceu 5,6%, atingindo 252,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), ao ano. As fontes renováveis de energia tiveram em 2008 uma participação de 45,3% na oferta interna de energia implicando no fato do Brasil possuir uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo (BRASIL, 2009). Na matriz energética dos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) as energias renováveis correspondem a 6%.

O aquecimento global caracterizado pelo aumento da temperatura média dos oceanos e do ar próximo da superfície da Terra em decorrência do agravamento do efeito estufa provocado pela concentração de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC's e vapor d'água (gases do efeito estufa) na atmosfera levou as nações à ratificarem o chamado Protocolo de Quioto estabelecendo a redução da quantidade dos gases do efeito estufa emitidas à atmosfera pelos países desenvolvidos em pelo menos 5,2% em relação aos níveis de 1990 (ANGONESE et. al., 2007). O Brasil com sua matriz energética tem uma grande vantagem comparativa em relação aos demais países que é a baixa emissão de CO<sub>2</sub> equivalente.

No que tange a diversificação das fontes de energia, a bioenergia será a fonte mais importante do século XXI. A bioenergia tem vantagens como o fato de ser renovável, colaborar com o meio ambiente e permitir a geração descentralizada.

## 1.2 Panorama da avicultura no Brasil

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo, dentre as atividades agropecuárias brasileiras se destaca a avicultura. A II Guerra Mundial demandou um aumento por carnes para os combatentes, isso implicou no crescimento da produção de carnes obtidas de pequenos animais que podiam ser produzidas em um tempo pequeno. Diante desse quadro, os Estados Unidos iniciaram pesquisas com o intuito de se obter novas linhagens de aves, bem como rações e medicamentos para a avicultura (MICHEL e GORDIN, 2004).

A avicultura industrial teve seu início no Brasil no final da década de 50 em substituição da avicultura comercial. Houve a partir de então um desenvolvimento acelerado da atividade com o aprimoramento da relação unidade produtiva e a indústria, característica que diferencia a avicultura de outras atividades agropecuárias (FREITAS e BERTOGLIO, 2001).

O conceito de cadeia produtiva surgiu durante a década de 1960 no âmbito da escola industrial francesa. Por cadeia produtiva entende-se uma seqüência de operações que são capazes de serem separadas e ligadas entre si por meio de um encadeamento técnico que resultam na produção de bens (BATALHA, 2001). Na cadeia produtiva de frango de corte, o agente coordenador é o frigorífico que controla as atividades dos elos visando a sobrevivência e competitividade do negócio. Os elos auxiliares da cadeia da avicultura de corte são: a pesquisa e desenvolvimento genético, medicamentos, milho, soja e outros insumos, equipamentos e embalagens.

Os principais elos são:

- i) Avozeiro: local onde ficam as galinhas avós, originadas da importação de ovos das linhagens avós. Essas galinhas são cruzadas e produzem matrizes que geram os pintinhos comerciais que serão criados para o abate;
- ii) Matriseiro: local onde são produzidos os ovos, normalmente o matriseiro é de propriedade do frigorífico;
- iii) Incubatório/Nascedouro: o incubatório recebe os ovos que serão “chocados” passando em seguida para os nascedouros, que dão origem aos pintinhos de corte. Estes serão levados para os aviários depois de algumas horas após o nascimento. Geralmente o incubatório e o nascedouros

pertencem ao frigorífico;

iv) Aviário (Granja): esta etapa da produção é regida pelos contratos de integração entre frigoríficos e produtores rurais, chamados integrados. Nesta etapa os pintinhos crescem e engordam, ficando até o abate após aproximadamente quarenta e cinco dias;

v) Frigorífico: também denominado unidade industrial de processamento de carne, abatedouro ou empresa é onde se origina o produto final – o frango resfriado, congelado, inteiro e em cortes/pedaços. Seu processo produtivo é composto de seções: recepção, atordoamento; sangria; escaldagem; depenagem; evisceração; lavagem; pré-resfriamento; gotejamento; pré-resfriamento de miúdos; processamento de pés; classificação/cortes; embalagem; congelamento e expedição (BUENO, 2007). Os frigoríficos coordenam grande parte do funcionamento da cadeia produtiva;

vi) Varejista: elo responsável pela comercialização dos produtos finais, incluem-se aqui as empresas exportadoras;

vii) Consumidor Final: representado tanto pelo mercado nacional como pelo mercado internacional;

A Figura 1.1 a seguir mostra os elos da cadeia produtiva de frango de corte

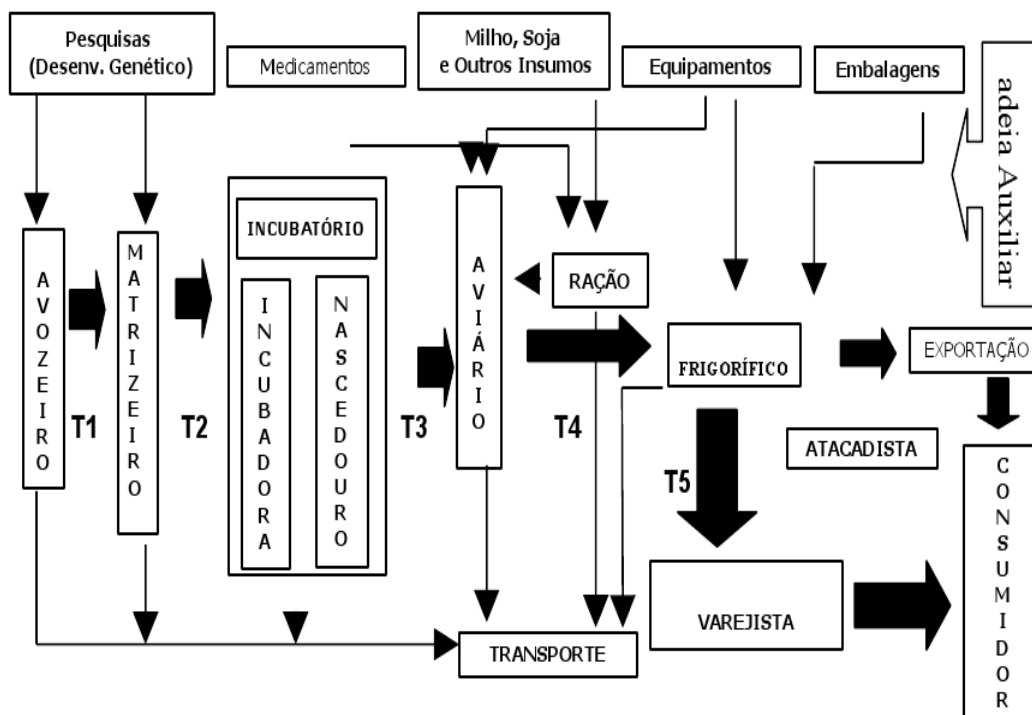


Figura 1.1 - Configuração geral da cadeia produtiva da avicultura de corte  
 Fonte: (MICHEL e GORDIN, 2004).

### 1.3 Biogás alternativa energética para a avicultura

A produção de aves no Brasil tem crescido consideravelmente nos últimos anos, tornando o país o maior exportador de carne de frango do mundo. A avicultura está entre as atividades agropecuárias com maior grau de tecnificação, o que implica em alto consumo de energia (ABEF, 2009). Por outro lado os resíduos dessa atividade possui considerável potencial energético. A cama de frango, formada por fezes e urina das aves e substrato (maravalha, serragem, casca de café, etc) pode ser revertida em energia por meio do processo da biodigestão anaeróbia. Esse processo ocorre na ausência de oxigênio devido a ação de vários tipos de microorganismos que transformam compostos orgânicos complexos em compostos mais simples, como os gases metano e dióxido de carbono principais componentes do biogás. A quantidade e qualidade dos nutrientes, a temperatura, o tempo de retenção hidráulica são alguns dos fatores que influenciam para o êxito do processo (YADVIKA et al., 2004).

A biodigestão anaeróbia é viável não somente no fornecimento de biogás, mas também na produção de biofertilizante (LEITE, 2003). A interação entre produção de alimentos e energia tem um importante reflexo na cadeia produtiva de frango de corte nos aspectos econômicos, sociais e ambientais.

#### **1.4 Cadeia Produtiva de Frango de Corte na Zona da Mata de Minas Gerais**

Na região da Zona da Mata de Minas Gerais o elo da cadeia produtiva de frango de corte denominado aviário é composto majoritariamente por agricultores familiares (DENARDI, 2009). São cerca de 550 produtores integrados e de 778 galpões que fornecem frango para o frigorífico localizado na cidade de Visconde do Rio Branco (AVIZOM, 2009). As propriedades têm em média 16 hectares de área sendo as atividades desses agricultores familiares caracterizadas por: (i) gestão feita pelos proprietários; (ii) os responsáveis pelo empreendimento estão ligados entre si por laços de parentesco; (iii) o trabalho é fundamentalmente familiar; (iv) o capital pertence à família; (v) o patrimônio e os ativos são objetos de transferência intergeracional no interior da família; e (vi) os membros da família vivem na unidade produtiva (ABRAMOVAY, 2009).

A unidade industrial de processamento de carne se localiza no município de Visconde do Rio Branco, MG, e possui uma capacidade média de abate de cento e cinquenta e nove mil e quinhentos frangos por dia.

Este trabalho foi estruturado em quatro capítulos, sendo eles: (i) Potencial de geração de energia térmica e elétrica a partir do biogás na cadeia produtiva de frango de corte; (ii) Análise da independência energética de granja de frango de corte a partir do uso do biogás; (iii) Soluções energéticas para unidade de processamento de carne de frango com o uso do biogás; e (iv) Potencial de mitigação da emissão de gases de efeito estufa e enquadramento em Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do empreendimento de uso do biogás como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte.

O primeiro capítulo faz um levantamento do potencial de geração de calor e eletricidade a partir do biogás gerado dos resíduos da avicultura de corte da região da Zona da Mata de Minas Gerais.

O segundo capítulo aborda a possibilidade da independência energética, com o uso do biogás, de uma granja típica da cadeia produtiva. Foi analisado o

atendimento de todas as demandas térmicas e elétricas desta granja.

O terceiro capítulo trata de soluções energéticas para a unidade industrial de processamento de carne de frango (frigorífico). Consta o levantamento de todas as cargas elétricas do frigorífico e o atendimento das mesmas utilizando processos de conversão energética do biogás.

O último capítulo traz a possibilidade de enquadramento do empreendimento de uso de biogás como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Foi feita uma estimativa da receita obtida com a comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER's).

As contribuições científico-tecnológicas deste trabalho foram: (i) a viabilidade da utilização do biogás como fonte energética da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais; (ii) a possibilidade de independência energética da atividade avícola na região; (iii) a possibilidade de agregar valor à atividade avícola tornando-a mais competitiva; e (iv) a redução do impacto ambiental dos resíduos agroindustriais com seu uso para fins energéticos.

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEF, **Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango**, [www.abef.com.br](http://www.abef.com.br). Data da consulta: 03/2009.
- ABRAMOVAY, R. Agricultura familiar e uso do solo. Disponível em: [http://www.econ.fea.usp.br/abramovay/artigos\\_cientificos/1997/Agricultura\\_familiar.pdf](http://www.econ.fea.usp.br/abramovay/artigos_cientificos/1997/Agricultura_familiar.pdf). Acesso em 03 de Abril 2009.
- ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; WELTER, R. A. **Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 3, Dezembro 2007.
- AVIZOM, **Associação dos Avicultores da Zona da Mata**; Data da consulta: 04/2009.
- BATALHA, M. O.; SILVA, A. S. **Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições e correntes metodológicas**. In: BATALHA, M. O. (Org.). Gestão agroindustrial.. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2009 – Ano base 2008: Resultados Preliminares**, 48p. Rio de Janeiro: EPE, 2009
- BUENO, M. P., ARAÚJO, G. C., FRATA, A. M., SPROESSER, R. L., SAUER, L. **Gestão da Qualidade nos Frigoríficos de Abate e Processamento de Frangos em Mato Grosso do Sul**, XLV CONGRESSO DA SOBER (Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural), Londrina, Julho de 2007.
- DENARDI, R. Agricultura Familiar e Políticas Públicas: alguns dilemas e desafios para o desenvolvimento rural sustentável. Disponível em: [http://www.emater.tcche.br/docs/agroeco/revista/ano2\\_n3/revista\\_agroecolog](http://www.emater.tcche.br/docs/agroeco/revista/ano2_n3/revista_agroecolog)

FREITAS, L.; BERTOGLIO, O. **A evolução da avicultura de corte brasileira após 1980.**

Revista Economia e Desenvolvimento, n.13, ago. 2001. Brasília-DF, RBA Editora Ltda.

JANUZZI, G. de M. **A política energética e o meio ambiente: instrumentos de**

**mercado e regulação.** In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. (Org). Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais.

Campinas: UNICAMP.IE, 1996, cap.2, p.151-160.

LEITE, Valderi D. **Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, pp. 318-322, Agosto de 2003.

MICHELS, I.; GORDIN, M. H. O. **Avicultura. Campo Grande - MS: UFMS, 2004.**

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONCA, F. C. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 3, dez. 2000

VOLPI, G., JANUZZI, G. M., GOMES, R. D. M. 2006. **A sustainable electricity blueprint for Brazil.** Energy for Sustainable Development Journal. Vol 4 pp. 14-24.

YADVIKA, S. **Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review.** Bioresource Technology, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10, oct. 2004.

## **2. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NA CADEIA PRODUTIVA DE FRANGO DE CORTE**

**RESUMO:** A cama de frango, resíduo da cadeia produtiva de frango de corte, quando submetida a biodigestão anaeróbia pode ser transformada em biogás e fertilizante. No presente estudo propõe-se avaliar o potencial da cama de frango para fins energéticos (energia térmica e elétrica) com vistas a suprir a demanda energética da cadeia produtiva. Conclui-se que os ganhos desse aproveitamento são econômicos, ambientais e sociais. Por meio desse estudo verificou-se que o potencial de produção de biogás equivale a aproximadamente 2,13 milhões de botijões de 13 kg de GLP e a potência elétrica disponível, utilizando o biogás, é da ordem de 6,53 MW (utilizando grupo gerador ciclo Otto), 11,76 MW (utilizando microturbina a gás).e 14,37 MW (utilizando turbina a gás).

**PALAVRAS-CHAVE:** independência energética, sustentabilidade, cama de frango

## 2.1 INTRODUÇÃO

A cadeia de produção de carne de aves no Brasil é altamente competitiva. O setor produziu, em 2007, mais de 10,3 milhões de toneladas, tornando a avicultura o setor mais importante na produção de carne e mantendo o país como o terceiro produtor mundial, precedido por China e Estados Unidos, respectivamente. O Brasil é o maior exportador mundial de carne de frango, com 45% de participação, sendo esse produto o terceiro nas exportações do agronegócio brasileiro. A carne de frango brasileira chega a mais de 150 países em todos os continentes. As exportações de carne de frango encerraram 2007 com embarques de 3,3 milhões de toneladas, um aumento de 21 % em relação a 2006. Somando quase US\$ 5 bilhões à receita cambial, o que corresponde a um aumento de 55 % sobre o ano anterior. Com este desempenho, as exportações de carne de frango, atingiram em 2007, o recorde na história do setor. Para 2008 as projeções apontavam para embarques de 3,7 milhões de toneladas, representando um aumento de 8,6% em relação a 2007, e uma receita cambial de US\$5,4 bilhões, ou seja, um crescimento de 8,3% na mesma comparação. A avicultura brasileira, principalmente a de corte, é uma das atividades mais avançadas tecnologicamente o que a faz atingir níveis de produtividade comparados aos de países mais desenvolvidos no mundo (UBA, 2008; ABEF, 2008; MAPA, 2008).

O impacto social da avicultura nacional é destacado, gerando mais de 4 milhões de empregos e permitindo a integração de produtores rurais familiares ao agronegócio. A importância social e econômica da avicultura no Estado Minas Gerais é considerável.

A região da Zona da Mata é o maior pólo de produção de aves no Estado de Minas Gerais. A atividade contribui de forma destacada para a

economia da região e principalmente, permite a inserção de 551 produtores rurais, sendo 95% classificados como agricultores familiares. As granjas estão localizadas em torno da unidade industrial de abate e processamento localizada em Visconde do Rio Branco, influenciando a economia de 34 municípios: Amparo do Serra, Astolfo Dutra, Cajuri, Canaã, Cataguases, Coimbra, Descoberto, Divinesia, Dona Euzébia, Dolores do Turvo, Ervalia, Guarani, Guidoal, Guiricema, Itamarati de Minas, Leopoldina, Matias Barbosa, Miraf, Paula Candido, Pedra do Anta, Piraúba, Ponte Nova, Porto Firme, Rio Pomba, Rodeiro, São Miguel do Anta, São Geraldo, Senador Firmino, Tabuleiro, Teixeira, Tocantins, Ubá, Viçosa, Visconde do Rio Branco. Na Figura 2.1 tem-se um mapa da região. O impacto social da cadeia na região é ampliado por mais de 1.000 funcionários da indústria integradora e diversos prestadores de serviços, com destaque para o setor de logística (AVIZOM, 2009).



Figura 2.1 – Mesoregião da Zona da Mata de Minas Gerais  
Fonte: (MINAS-GERAIS, 2009).

O aumento da competitividade da atividade é imprescindível para a região, a qual possui índices de desenvolvimento (tecnologia, produtividade e rentabilidade) abaixo da média estadual. Comparando-se com a região Centro-Oeste e as regiões do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste Mineiro, a Zona da Mata não é competitiva em preço e escala na produção do principal

insumo para a cadeia de aves, o milho. Outro insumo importante, a soja, não é produzida na região por limitações tecnológicas. A região é, portanto, obrigada a adquirir estes insumos de outras regiões e incorrer em custos significativos de transporte (FERREIRA, 1998).

Como qualquer atividade econômica, a cadeia de produção de carne de frango gera sub-produtos industriais e rurais, os quais causam impactos ambientais. O manejo inadequado dos resíduos avícolas afeta os rios e águas subterrâneas que abastecem tanto o meio rural como o meio urbano, podendo acarretar desequilíbrios ecológicos, disseminação de patógenos e contaminação das águas potáveis com amônia, nitratos, fosfatos e outros elementos tóxicos.

A avicultura gera impactos negativos no meio ambiente devido aos dejetos eliminados nas granjas, no abate e no processo de industrialização (efluentes líquidos, vísceras, penas, sangue e gorduras). Para 10.000 frangos abatidos por dia existe a geração de 40.000 m<sup>3</sup> de água com restos alimentares, conteúdo intestinal acidentalmente exposto, sangue, gordura, vísceras não comestíveis, penas, carcaças e partes de carcaças descartadas na inspeção sanitária, bactérias, além de inúmeros outros possíveis contaminantes (PADILHA, et. al., 2006).

Minimizar este risco é, cada vez mais, uma exigência aos avicultores. Outro tipo de poluição associada à avicultura é o odor desagradável dos dejetos, causados por compostos voláteis, que pode ser prejudiciais ao homem, animais e à biosfera como um todo (FERNANDES, 2000).

Além dos impactos ambientais, a questão energética é outro desafio de importância estratégica para a economia mundial e que afeta diretamente a cadeia de produção de aves na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. Na cadeia avícola, os gastos com energia são altamente significativos, destacando-se a grande demanda por energia tanto nas unidades de abate e processamento quanto nas granjas de frango. Dados preliminares indicaram que o gasto de energia da indústria de frango da região (Rio Branco Alimentos), alcança valores da ordem de R\$ 8 milhões por ano. Para os produtores integrados, o gasto com energia para aquecimento e resfriamento das granjas é o principal item de custo, representando o valor médio de R\$ 4 mil ao ano por granja. Considerando as 778 granjas integradas, o gasto com energia atinge o

valor próximo de R\$ 3,2 milhões com energia elétrica, sem considerar os gastos, também significativos, com outras formas de energia como diesel para transporte, lenha e carvão para aquecimento (AVIZOM, 2009).

Sendo uma atividade de alto consumo energético e produtora de resíduos, a avicultura de corte pode reverter seus resíduos em energia – como faz o setor sucroalcooleiro com o bagaço de cana e a vinhaça. A cama de frango tem considerável potencial energético que se disponibilizado na forma de energia pode contribuir para a maior atratividade econômica da atividade (RODRIGUES, 1997).

O sub-produto da criação de aves, a “cama de frango”, é de extrema importância na cadeia de produção de aves na região da Zona da Mata. A cama de frango é formada pela mistura da excreta (fezes e urina), com o substrato usado para receber e absorver a umidade da excreta (maravalha, serragem, palhas de cereais, feno de capim picado, cascas de arroz, café, amendoim etc.), penas e descamações da pele das aves e restos de alimento caídos dos comedouros. O objetivo do uso da cama de aviário é evitar o contato direto da ave com o piso, servir de substrato para a absorção da água, incorporação das fezes e penas e contribuir para a redução das oscilações de temperatura no galpão. Para isso ela deve ter alto poder de absorção, ser livre de contaminantes (bactérias, fungos etc), ser disponível na região, não ser tóxico às aves, ter baixo custo e baixo teor de água (máximo 20%, na relação massa de água/massa total). As quantidades de substrato e a variação de materiais que formam a cama de frango são variáveis dependendo, também, do número de lotes de animais criados sobre a mesma cama.

O Brasil é dependente das importações de adubo o que provoca o encarecimento da produção de alimentos, reduzindo o lucro do produtor. De acordo com o Ministério de Desenvolvimento, Comércio e Indústria, o país importou, em 2007, cerca de 19,7 bilhões de quilos de adubos, no valor aproximado de US\$ 6,9 bilhões. O uso do biofertilizante na adubação, resultante da biodigestão anaeróbia da cama de frango, poderá ser uma alternativa para a redução do custo da produção de alimentos. A cama de frango composta por dejetos, resíduos de ração e penas de ave, ao ser biodigerida em processo anaeróbio libera metano (CH<sub>4</sub>), principal componente do biogás, deixando como resíduo o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio

(K) que são os elementos químicos básicos dos adubos.

Considerando a proibição do uso da cama de frango como alimento de ruminantes (Instrução Normativa Nº 15, 17 de julho de 2001), a destinação para fins energéticos e fertilizantes é uma excelente oportunidade para os avicultores.

Depois da biodigestão anaeróbia o efluente do biodigestor perde carbono na forma de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o que diminui a relação C/N da matéria orgânica. Com isso o uso desse material para fertilização do solo melhora consideravelmente uma vez que sua solubilidade aumenta.

A biodigestão anaeróbia se caracteriza pela degradação da matéria orgânica sem a presença de oxigênio. Existem três estágios com três diferentes grupos de microorganismos. Primeiramente as bactérias fermentativas (microorganismos anaeróbios e facultativos) hidrolizam e fermentam as matérias orgânicas mais complexas (carboidratos, proteínas e lipídios) transformando-os em ácidos graxos, álcool, dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e sulfetos. A seguir as bactérias acetogênicas consomem os produtos primários produzindo hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético. Finalmente dois grupos distintos de bactérias metanogênicas reduzem o dióxido de carbono a metano e descarboxila, o ácido acético produzindo metano e dióxido de carbono, respectivamente (PALHARES, 2009)

No final do século XIX, Ulysse Gayon e Louis Pasteur demonstraram que o biogás oriundo da fermentação anaeróbia poderia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação. Apesar disso, este combustível não conseguiu substituir os tradicionais. No século XX, nos anos 40, devido a significativas carências energéticas significativas, provocadas pela Segunda Guerra Mundial, o biogás passou a ser utilizado em maior escala, quer na cozinha e no aquecimento das casas, quer em motores de combustão interna (RUAS et al., 2008).

Nas décadas de 50 e 60, a relativa abundância das fontes de energia tradicionais (petróleo e carvão mineral especialmente), desencorajou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos, e apenas nos países com poucos recursos de capital e energia, como a Índia e a China, o

biogás desempenhou papel de certa importância, sobretudo em pequenas comunidades rurais.

A partir da crise energética dos anos 70, o gás metano dos digestores anaeróbios voltou a despertar o interesse geral, conduzindo ao aumento da sua produção nos países europeus. Atualmente, diante do acelerado desenvolvimento econômico e do aumento acentuado do preço dos combustíveis convencionais, as investigações na produção de energia a partir de fontes alternativas, economicamente atrativas, têm sido encorajadas a criar novas formas de produção energética que possibilitem a preservação dos recursos naturais esgotáveis. As alternativas energéticas renováveis, especialmente as baseadas no desenvolvimento sustentável, poderão ter perspectivas positivas.

O biogás, combustível doméstico limpo e relativamente barato, praticamente inesgotável, pois existe em qualquer unidade de acúmulo de rejeitos urbanos e esgoto, se apresenta como importante alternativa energética, com condições de desempenhar expressivo papel na substituição do petróleo e seus derivados (ESPERANCINI et.al., 2007). O gás metano é principal energético constituinte do biogás purificado que pode ter uma proporção de 50 a 70% em volume do biogás (SOUZA et al., 2003).

O biogás tem poder calorífico que varia entre 20.900 e 29.260 kJ m<sup>-3</sup> (5.000 a 7.000 kcal m<sup>-3</sup>) e, dependendo do índice de purificação pode alcançar até a 50.160 kJ m<sup>-3</sup> (12.000 kcal m<sup>-3</sup>) (RUAS et al., 2008).

A principal desvantagem do biogás é que a sua formação se dá conjuntamente com impurezas como o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de água (H<sub>2</sub>O) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). A remoção dessas impurezas é fundamental para o bom funcionamento dos equipamentos e para o rendimento satisfatório na conversão do biogás em energia elétrica. Com a purificação é obtido um produto de alta qualidade que pode ser usado em substituição ao álcool, à gasolina, ao diesel e ao acetileno como combustíveis, na utilização em caldeiras, por exemplo, quando a energia gerada é térmica, o processo pode ser simplificado pois não é necessário um gás purificado (MAGALHÃES, 2004).

No Quadro 2.1 contém os valores correspondentes dos principais gases constituintes do biogás.

Quadro 2.1. Composição da mistura gasosa do biogás

Gases	Porcentagem
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 – 75
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	25 – 40
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 – 3
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0,5 – 2,5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 – 1
Ácido Sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	0,1 – 0,5
Amônia (NH <sub>3</sub> )	0,1 – 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,1
Água (H <sub>2</sub> O)	Variável

Fonte: (PINHEIRO, 1999).

Nas décadas de 70 e 80 aumentou o interesse no Brasil pelo biogás. A implantação de biodigestores foi estimulada por programas governamentais com vistas a geração de energia, produção de biofertilizantes e diminuição dos impactos ambientais. Uma série de fatores contribuiu para o insucesso dos biodigestores neste período. O surgimento de novos materiais, o aumento da dependência energética das propriedades com escala maior de produção, a elevação do custo da energia convencional (petróleo, elétrica e lenha) fizeram com que, nos dias de hoje, os biodigestores se tornassem, novamente, alternativa de saneamento e energética para o produtor. Além disso, os biodigestores são parte de solução mais abrangente que envolve a mitigação de impactos ambientais de resíduos orgânicos.

Os biodigestores são câmaras que realizam a fermentação anaeróbia da matéria orgânica que consiste na transformação de compostos orgânicos complexos em metano e dióxido de carbono por meio da ação de microorganismos que atuam na ausência de oxigênio. A escolha adequada do biodigestor é fundamental para o desenvolvimento apropriado do processo da biodigestão anaeróbia, estando diretamente relacionada com a produção de biogás (STEINSBERGER e SHIH, 1984).

Atualmente o modelo de biodigestor mais utilizado é o modelo da marinha, também chamado tubular ou solar. O biodigestor modelo da marinha é do tipo horizontal, com largura maior que a profundidade, tem maior área de exposição solar, o que favorece a produção de biogás. Possui cúpula em plástico maleável (PVC), que é inflada com a produção de gás, como se fosse um balão. Tem baixo custo de implantação, facilidade de transporte, pode ser construído enterrado ou não. Sua limpeza, descarga e manutenção é fácil. Tem como desvantagens a vida útil curta (aproximadamente 5 anos), é facilmente danificado pois há risco de cortes na cúpula plástica. Faz-se necessário o tratamento da cúpula plástica contra a radiação ultravioleta visando aumentar sua vida útil. A sua instalação é recomendada para locais de temperatura mais elevada.

É importante ter conhecimento das características do processo de biodigestão anaeróbia bem como do resíduo pois disso depende a produção de metano e as taxas de produção de biogás. O modo de operação de um biodigestor e suas eficiências na produção de biogás é definido por três parâmetros básicos: tempo de retenção de microorganismos (TRM), tempo de retenção hidráulica (TRH) e tempo de retenção de sólidos (TRS). O TRH é o intervalo de tempo necessário para que a biodigestão ocorra completamente.

Os TRM e TRS são os períodos que os microorganismos e sólidos permanecem no interior dos biodigestores, esses períodos são expressos em dias. Para longos TRM e TRS têm altas produções de metano.

A disponibilidade de cama de frango não é contínua, ou seja, ela é disponibilizada após o ciclo de criação de frango que dura entre 42 e 45 dias, em muitos casos a troca da cama de frango ocorre apenas depois de dois ciclos. Considerando o alto teor de sólidos, a baixa umidade e o tamanho das partículas constituintes da cama de frango, a operação do biodigestor, feita em batelada e de maneira sequencial, é a mais apropriada. Nesta forma de operação o biodigestor é abastecido com cama diluída em água, acrescentando-se uma quantidade de inóculo que permite o pico de produção com início após 15 dias, sendo o período de fermentação prolongado até que seja completado o ciclo de produção das aves. A cama obtida será utilizada em novo abastecimento, utilizando-se como inóculo parte do material fermentado no ciclo anterior. Os 15 dias de início de produção do biogás (período de baixa

produção) coincidem com o período de vazio sanitário do galpão. O pico de produção de biogás coincide com a entrada das aves no galpão, período em que é utilizada grande quantidade de energia para aquecimento (SANTOS e LUCAS JR, 1998). Para o atendimento das demandas energéticas do aquecimento das aves, a produção de biogás deve ser vista sob dois aspectos: (i) a produção obtida durante o período do ciclo de criação do frango de corte; e (ii) produção obtida em 14 dias após o início de queima do biogás (considerando-se que as aves serão aquecidas apenas nas duas primeiras semanas de idade).

Para ser adicionada ao biodigestor pode ser necessário que se faça um pré-processamento da cama de frango como por exemplo a moagem que visa aumentar a eficiência dos microorganismos, a adição de água diminuindo o teor de sólidos e diluição. Sem essas providências o TRH pode ser muito longo o que dificulta a produção de biogás. A agitação, o aquecimento e a adição de inóculo são outros procedimentos para a redução do TRH.

O inóculo utilizado poderá ser esterco já biofertilizado de bovinos, aves ou suínos com flora microbiana de bactérias acidogênicas e metanogênicas com a finalidade de acelerar o processo digerindo a celulose e a lignina presentes na cama.

A produção de biogás e biofertilizantes em biodigestores, por meio do processo da biodigestão anaeróbia, permite reduzir custo nas granjas e/ou unidade industrial e poderá contribuir para a redução de impactos ambientais da cadeia de produção, além de continuar gerando renda com a venda de biofertilizantes, com alto valor agrônômico (GIROTTI e ÁVILA, 2003; MITCHELL JUNIOR, 1991).

No Quadro 2.2 ilustra-se a correspondência energética entre o biogás e outros combustíveis.

Quadro 2.2 – Equivalência energética de 1 m<sup>3</sup> de biogás e outros energéticos

Tipo de Energético	Ferraz e Mariel (1980)	Sganzerla (1983)	Nogueira (1986)	Santos (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,61	0,61	0,6
Querosene (L)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (L)	-	0,79	0,80	-
Carvão Mineral (kg)	-	0,735	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,538	3,5	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43	1,428	-	6,5

Fonte: (FERRAZ e MARIEL, 1980; SGANZERLA, 1983; NOGUEIRA, 1986; SANTOS, 2000).

A geração de energia elétrica com a utilização de biogás tem um dos menores custos de geração como ilustrado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3. Comparação entre os custos mínimo e máximo de geração de energia a partir do biogás com outras fontes alternativas de energia

Sistema	Energia (R\$ MWh <sup>-1</sup> )
Biogás	67 a 190
Fotovoltaico	200 a 400
Eólico	50 a 80
Biomassa	40 a 70
Motor a diesel	100 a 300
Microcentral hidrelétrica	20 a 40

Fonte: (BRASIL, 2005).

Várias são as tecnologias de conversão do biogás em outra forma de energia. Quando existe a mistura entre ar e biogás processo denominado combustão controlada, tem-se a conversão da energia química contida nas moléculas do biogás em energia mecânica. A energia mecânica é convertida em energia elétrica por meio de um alternador (gerador síncrono).

A cogeração e a trigeração são importantes alternativas para utilização de energia, uma vez que por meio desses processos de conversão consegue-se reaproveitar a energia térmica residual, aumentando-se o rendimento energético do sistema.

A cogeração, também chamada de CHP (Combined Heat and Power), é a produção concomitante de energia elétrica ou mecânica e energia térmica (calor) utilizando-se o mesmo combustível.

Gerar energia elétrica a partir do biogás tem vantagens nos aspectos estratégicos, econômicos e ambientais, dentre essas vantagens pode-se destacar:

- i) geração descentralizada, o que evita o investimento em transmissão, haja visto a proximidade com os pontos de carga;
- ii) uso de combustível barato (rejeitos de processos) e disponível no local; e
- iii) energia de biomassa (renovável), baixa emissão de poluentes, contribuindo para mitigação do efeito estufa.

Atualmente, disponíveis no mercado, existem as tecnologias das turbinas a gás e de grupos geradores de combustão interna (operando em Ciclo Otto) para gerar energia elétrica a partir do biogás. Existem outras tecnologias como as microturbinas e as turbinas a vapor. A seguir são apresentadas as principais tecnologias de conversão energética do biogás em energia elétrica:

1) Turbinas a gás: São constituídas por compressor, câmara de combustão e a turbina de expansão (funcionando sob o ciclo Brayton). Ao ser injetado na câmara de combustão, o ar comprimido fornece o oxigênio necessário para a queima do combustível. Tem-se a transferência da energia química do combustível para os gases que elevam sua temperatura devido à reação exotérmica que ocorre à alta pressão. Há a expansão do gás na turbina gerando a energia mecânica que aciona o compressor e a carga acoplada ao

eixo. Nos aviões a jato, a energia dos gases exauridos das turbinas se transformam no empuxo.

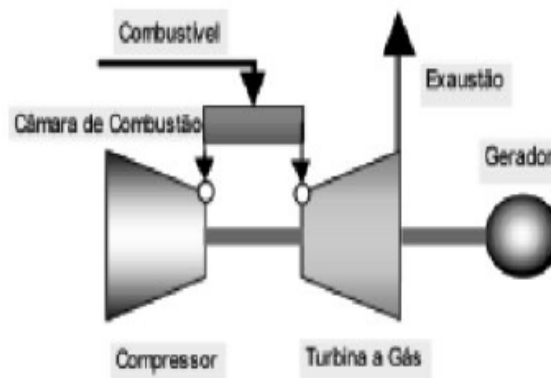


Figura 2.2 – Turbina a gás e gerador de energia elétrica.  
Fonte: (COSTA, 2006).

Ao eixo da turbina acopla-se uma carga (pode ser um gerador), além do compressor de ar do conjunto. As turbinas de pequena e média potência giram mais rapidamente. A eficiência de uma turbina a gás é obtida em função da temperatura e das pressões de entrada e saída. Dessa forma quanto maior a temperatura e a pressão dos gases de entrada no primeiro estágio da turbina e quanto menor a temperatura dos gases de saída da turbina (exaustão), maior será sua eficiência, Figura 2.2. A potência das turbinas a gás varia de dezenas de kW a 300 MW.

2) Microturbinas a gás: Possuem tecnologia das turbinas auxiliares dos aviões. Sua potência está na faixa dos 30 kW e utilizam o mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás de maior porte (ciclo Brayton). Quando utilizadas em sistemas estacionários os gases possuem grande quantidade de energia térmica após serem expandidos. Esta energia pode ser aproveitada em trocadores de calor podendo produzir frio ou vapor de processo. Esses sistemas caracterizam a co-geração, Figura 2.3 e 2.4.

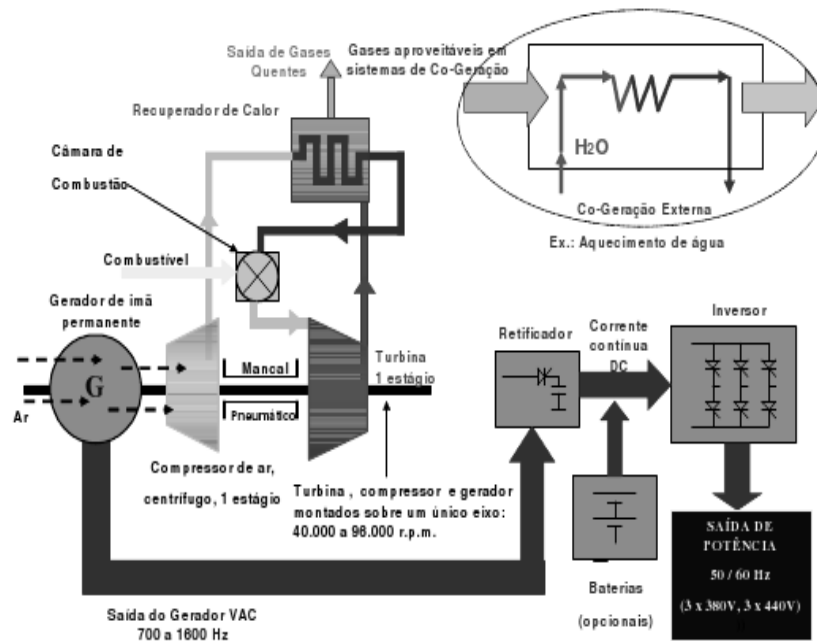


Figura 2.3 - Princípio de funcionamento da microturbina Capstone (com recuperação de calor)  
 Fonte: (COSTA, 2006).

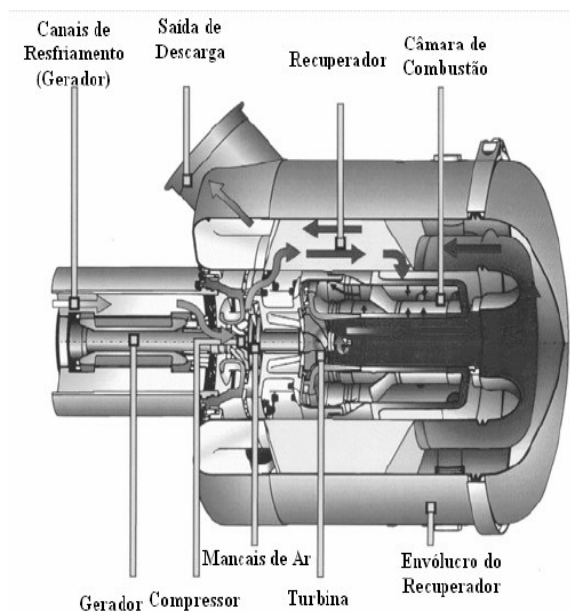


Figura 2.4 - Interior da microturbina Capstone.  
 Fonte: (COSTA, 2006).

3) Turbinas a Vapor: São máquinas de combustão externa, ou seja, os gases que resultam da queima do combustível não entram em contato com o fluido de trabalho (vapor a alta pressão e temperatura) responsável pelo processo de conversão energética. As turbinas a vapor são, por isso, flexíveis quanto ao combustível utilizado. O calor produzido na combustão é transferido por meio

de serpentinas no interior da caldeira para que ocorra a ebulição do condensado e o superaquecimento. A faixa de potência desses equipamentos varia de poucos kW até 1 GW.

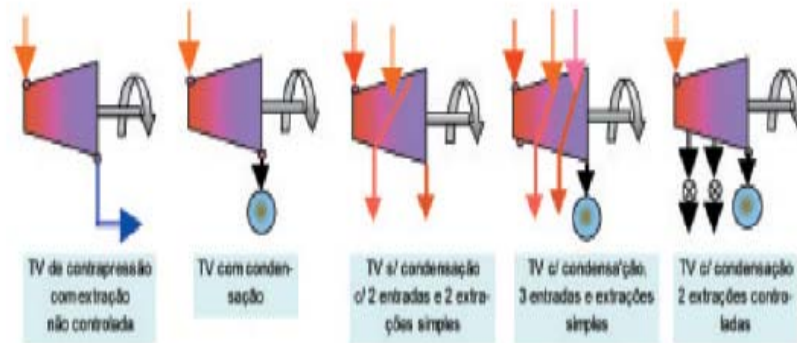


Figura 2.5 – Tipos de turbinas a vapor.  
Fonte: (COSTA, 2006).

As turbinas a vapor podem ser classificadas em, Figura 2.5:

- Turbina a Vapor de Condensação: Neste caso a temperatura do vapor que sai da turbina é pouco superior a temperatura ambiente e sua pressão é um pouco menor. Esse vapor passa por um condensador sendo reaproveitado na forma líquida no ciclo. Esse tipo é o muito utilizado nas usinas termelétricas e nucleares.
- Turbina a Vapor de Contra-Pressão: Neste caso o vapor não se condensa. Ao deixar a turbina com certa temperatura e pressão o mesmo é aproveitado para aquecimento, destilação, em estufas, ou é lançado na atmosfera. Esse tipo é muito utilizado em navios, plataformas de petróleo, etc.

4) Motores de Combustão Interna: São de dois tipos:

Ciclo Otto: motor a gasolina, de quatro tempos, muito utilizado nos transportes. São motores que se aproximam do ciclo de combustão interna de ignição por centelha. Podem ser aplicados na geração de energia elétrica quando se acopla a ele um gerador.

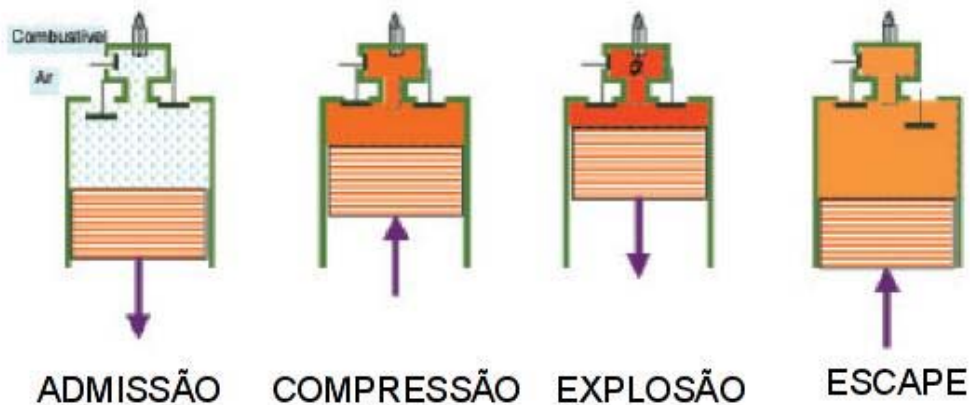


Figura 2.6 – Desenho esquemático do funcionamento de um motor ciclo Otto.  
Fonte: (COSTA, 2006).

Ciclo Diesel: motor a diesel, projetado para ser mais potente que os motores a gasolina. São utilizados por máquinas pesadas. A combustão nesse tipo de motores se dá pela compressão do combustível na câmara de combustão, Figura 2.7.

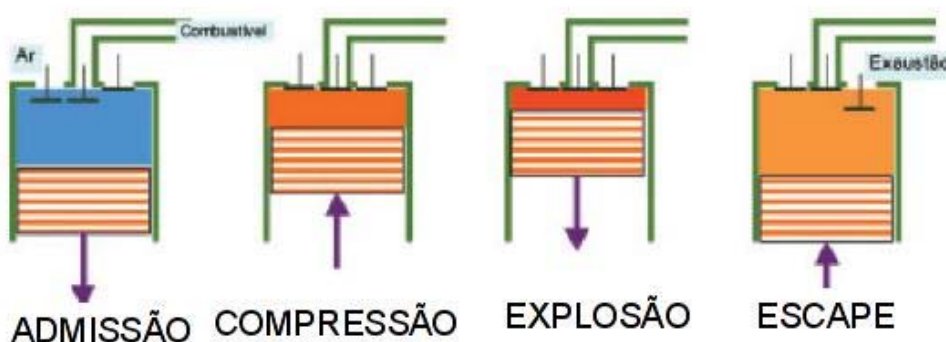


Figura 2.7 – Representação esquemática do funcionamento de um motor diesel.  
Fonte: (COSTA, 2006).

5) Motores Stirling: É um tipo de motor alternativo em que uma fonte externa de calor move um pistão. Se assemelha a uma máquina a vapor, funciona em sistema fechado (Ciclo Stirling), em que a expansão de um gás de trabalho é utilizada para gerar potência mecânica por uma fonte externa de calor.

Principais vantagens:

- Eficiência global em torno de 30 %.
- Segurança na operação.

- Nível de ruído baixo.
- Pode-se utilizar vários combustíveis.
- Pode ser usado na cogeração.
- Previsão de vida útil 25.000 horas.

Desvantagens:

- Os testes realizados até agora foram feitos com poucos tipos de combustíveis.
- Os testes foram feitos até o momento apenas com motores de baixas potências.

## 2.2 OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho relatado neste capítulo foi avaliar a viabilidade do uso de biogás produzido a partir de cama de frango como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais. Os objetivos específicos foram: (i) estimar a produção de cama de frango nas granjas que integram a cadeia produtiva de frango de corte; (ii) estimar a produção de biogás a partir da cama de frango utilizando biodigestores modelo tubular; e (iii) estimar a produção de energia elétrica a partir do biogás produzido com cama de frango utilizando diferentes métodos de conversão.

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos Laboratórios de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa e em granjas que compõem a Associação dos Avicultores da Zona da Mata de Minas Gerais, AVIZOM, localizadas num raio de aproximadamente 200 km. Foram visitadas propriedades nas cidades de Canaã, Coimbra, Guiricema, Piraúba, Porto Firme, São Miguel do Anta, Teixeira e Visconde do Rio Branco, totalizando 2% dos galpões da região. Por meio da Figura 2.7 pode-se observar a localização geográfica dos galpões.

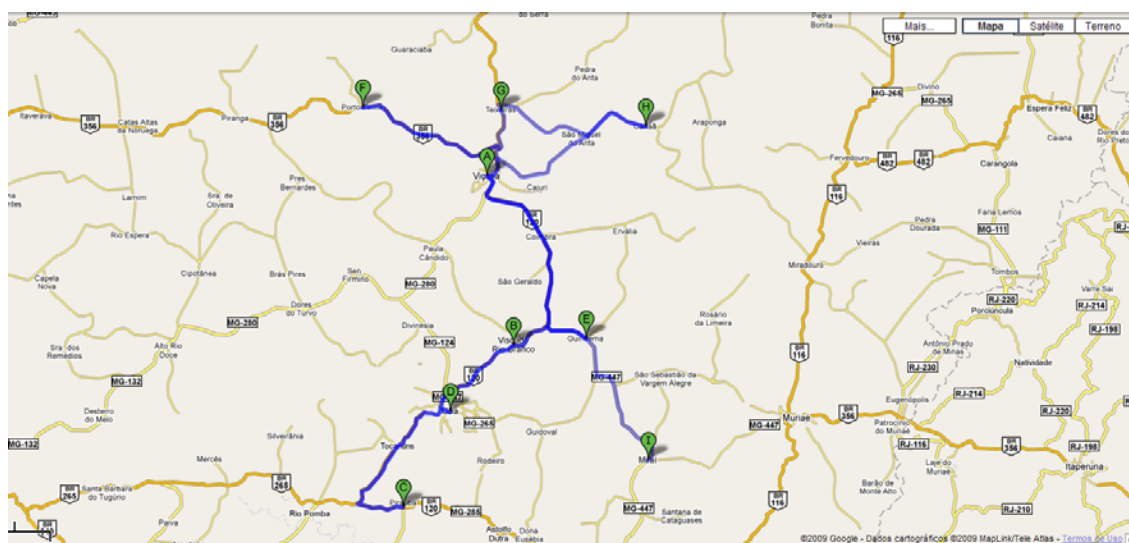


Figura 2.8 – Localização dos Galpões visitados A) Viçosa; B) Visconde do Rio Branco; C) Piraúba; D) Ubá; E) Guiricema; F) Porto Firme; G) Teixeira; H) Canaã; e I) Miraf.

Durante as visitas fez-se entrevistas com os produtores ou responsáveis pelos galpões (questionário em Anexo).

A partir dos dados coletados foi possível estimar: i) a produção da cama de frango de toda a cadeia produtiva; ii) a produção de biogás a partir da cama de frango e iii) a produção de energia elétrica a partir do biogás, considerando-

se diferentes métodos de conversão.

i) Estimativa da produção de cama de frango

O cálculo da cama de frango por ave por ciclo para cada galpão visitado foi estimado utilizando-se a equação 2.1.

$$C_{cfa} = \frac{\sum C_{fpg}}{\sum N_{apg}} \quad (2.1)$$

em que

$C_{cfa}$  – Cama de frango produzida por ave, kg ave<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>;

$C_{fpg}$  – Cama de frango produzida por galpão, kg; e

$N_{apg}$  – Número de aves por galpão, adimensional.

O cálculo da média de cama de frango produzida por ave foi estimado por meio da equação 2.2.

$$M_{cfa} = \frac{\sum C_{fg}}{\sum N_{ag}} \quad (2.2)$$

em que

$M_{cfa}$  – Massa média da cama de frango produzida por ave, kg ave<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>;

$\sum C_{fg}$  – Somatório da cama de frango produzida nos galpões, kg; e

$\sum N_{ag}$  – Somatório do número de aves nos galpões, adimensional.

O cálculo do número de frangos, por metro quadrado, em cada galpão visitado foi feito utilizando-se a equação 2.3.

$$F_{pmq} = \frac{N_{fg}}{AG} \quad (2.3)$$

em que

$F_{pmq}$  – Número de frangos por metro quadrado, frango m<sup>-2</sup>;

$N_{fg}$  – Número de frangos por galpão, adimensional; e

$AG$  – Área do galpão, m<sup>2</sup>.

O cálculo da média do número de frangos por metro quadrado, em toda a cadeia, foi estimado por meio da equação 2.4.

$$M_{fmq} = \frac{\sum N_{fg}}{\sum AG} \quad (2.4)$$

em que

$M_{fmq}$  – Número médio de frangos por metro quadrado, frango  $m^{-2}$ ;

$\sum N_{fg}$  – Somatório do número de frangos por galpão, adimensional; e

$\sum AG$  – Somatório das áreas dos galpões,  $m^2$ .

O cálculo do número médio de frangos por galpão foi calculado por meio da equação 2.5.

$$M_{fg} = \frac{\sum N_f}{\sum N_g} \quad (2.5)$$

em que

$M_{fg}$  – Número médio de frangos por galpão, frangos Galpão $^{-1}$ ;

$\sum N_f$  – Somatório do número de frangos nos galpões, adimensional, e

$N_g$  – Número de galpões, adimensional.

O cálculo da cama de frango produzida por ano é dado pela Equação 2.6.

$$C_{fp} = N_g \cdot NC \cdot M_{fg} \cdot M_{cfpa} \quad (2.6)$$

em que

$C_{fp}$  – Massa de cama de frango produzida por ano,  $kg \text{ ano}^{-1}$ ;

$N_g$  – Número de galpões, adimensional;

$NC$  – Número de ciclos por ano,  $ciclo \text{ ano}^{-1}$ ;

$M_{fg}$  – Número médio de frangos por galpão,  $ave \text{ galpão}^{-1}$ ; e

$M_{cfpa}$  – Massa média de cama de frango produzida por ave,  $kg \text{ ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ .

a

ii) Estimativa da produção de biogás

Considerando-se a cama de frango in natura com 23% de umidade tem-se que a quantidade de matéria seca produzida é dada pela equação 2.7 a seguir:

$$M_{scf} = 0,77 C_{fp} \quad (2.7)$$

em que

$M_{scf}$  – Massa de matéria seca da cama de frango produzida por ano,  $\text{kg ano}^{-1}$ ; e

$C_{fp}$  – Massa de cama de frango produzida por ano,  $\text{kg ano}^{-1}$ .

O potencial de produção de biogás foi estimado utilizando-se a equação 2.8. Considerou-se os valores obtidos por Mahadevaswamy e Venkataraman (1986), segundo os quais a produção de biogás por quilo de matéria seca é  $0,54 \text{ m}^3$ .

$$P_b = \frac{M_{scf} 0,54 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{\text{(kg de matéria seca)}} \quad (2.8)$$

em que

$P_b$  – Volume de biogás produzido por ano,  $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$ ; e

$M_{scf}$  – Massa de matéria seca da cama de frango, kg.

iii) Estimativa produção de energia (térmica e elétrica) a partir do biogás

O cálculo da quantidade de botijões de 13 kg de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), equivalente, foi feito considerando-se o resultado obtido por Sgazerla (1983), utilizando-se a equação 2.9.

$$B_{glp} = \frac{1}{13} \frac{P_b 0,454 \text{ kg de GLP}}{\text{m}^3 \text{ de biogás}} \quad (2.9)$$

em que

$B_g$  – Número de botijões de 13 kg de GLP equivalente por ano,  $\text{botijões.ano}^{-1}$ ; e

$P_b$  – Volume de biogás produzido por ano,  $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$ .

Para o cálculo da potência elétrica disponível, à partir da produção de biogás, considerou-se a conversão observada em grupo gerador (motor ciclo Otto), microturbina a gás e turbina a gás.

### Grupo gerador (motor ciclo Otto)

Para o cálculo da potência elétrica obtida a partir do biogás utilizando-se motor de Ciclo Otto considerou-se a concentração de metano (CH<sub>4</sub>) de 62%, o poder calorífico inferior do biogás igual a 22.600 kJ m<sup>-3</sup>. Por meio da equação 2.10 estimou-se a potência elétrica disponível utilizando-se motor de Ciclo Otto, considerando-se o rendimento de 15% do motor.

$$P_{mco} = PCI P_b \eta_{motor} \quad (2.10)$$

em que

- $P_{mco}$  – Potência elétrica gerada por motor de Ciclo Otto, kW; e
- $PCI$  – Poder calorífico inferior do biogás, kJ m<sup>-3</sup>.
- $P_b$  – Volume de biogás produzido por segundo, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>; e
- $\eta_{motor}$  – Rendimento do motor, adimensional.

### Microturbina a gás

Por meio da equação 2.11 calculou-se a potência elétrica disponível, utilizando-se microturbina, considerando-se 27% de rendimento.

$$P_{mt} = PCI P_b \eta_{microturbina} \quad (2.11)$$

em que

- $P_{mt}$  – Potência elétrica gerada por microturbina, kW;
- $PCI$  – Poder calorífico inferior do biogás, kJ m<sup>-3</sup>;
- $P_b$  – Volume de biogás produzido por segundo, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>; e
- $\eta_{microturbina}$  – Rendimento da microturbina, adimensional.

### Turbina a gás

Por meio da equação 2.12 calculou-se a potência elétrica disponível, utilizando-se turbina a gás, considerando-se 33% de rendimento.

$$P_{tur} = PCI P_b \eta_{turbina} \quad (2.12)$$

em que

- $P_{mt}$  – Potência elétrica gerada por turbina a gás, kW;
- $PCI$  – Poder calorífico inferior do biogás,  $\text{kJ m}^{-3}$ ; e
- $P_b$  – Volume de biogás produzido por segundo,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa média de cama de frango produzida por ave é mostrada no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Massa média de cama de frango produzida por ave

Propriedade	Galpão	Nº de Aves	Cama (kg)	Média (kg ave <sup>-1</sup> )
P1	G1	15.000	35.000	2,33
P2	G2	12.000	25.000	2,08
P3	G3	17.000	35.000	2,06
P3	G4	19.500	41.000	2,10
P4	G5	10.000	22.000	2,20
P4	G6	16.000	30.000	1,88
P4	G7	19.000	37.000	1,95
P5	G8	7.000	15.000	2,14
P6	G9	21.000	40.000	1,90
P7	G10	9.000	19.000	2,11
P7	G11	7.000	15.000	2,14
P8	G12	20.000	42.000	2,10
P8	G13	18.000	36.000	2,00
P9	G14	15.000	30.000	2,00
P9	G15	20.000	40.000	2,00
P9	G16	20.000	40.000	2,00
Média Total (kg ave <sup>-1</sup> )		245.500	502.000	2,04

Os resultados obtidos estão de acordo com os resultados obtidos por Mitchell Jr et al. (1991).

O número médio de frangos por metro quadrado e por galpão constam no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Número médio de frangos por metro quadrado e por galpão

Propriedade	Galpão	Área Galpão	Nº de Aves	Frangos.m <sup>-2</sup>
P1	G1	1.200,00	15.000,00	12,50
P2	G2	960,00	12.000,00	12,50
P3	G3	1.300,00	17.000,00	13,08
P3	G4	1.700,00	19.500,00	11,47
P4	G5	810,00	10.000,00	12,35
P4	G6	1.200,00	16.000,00	13,33
P4	G7	1.550,00	19.000,00	12,26
P5	G8	585,00	7.000,00	11,97
P6	G9	1.800,00	21.000,00	11,67
P7	G10	680,00	9.000,00	13,24
P7	G11	575,00	7.000,00	12,17
P8	G12	1.600,00	20.000,00	12,50
P8	G13	1.400,00	18.000,00	12,86
P9	G14	1.200,00	15.000,00	12,50
P9	G15	1.650,00	20.000,00	12,12
P9	G16	1.500,00	20.000,00	13,33
Média de Frangos por m <sup>2</sup>		19.710,00	245.500,00	12,46
Média Frangos por Galpão		15.343,75		

O número médio de frangos por metro quadrado foi de 12,46 está dentro da densidade considerada tecnicamente normal, ou seja, entre 11 e 14 frangos m<sup>-2</sup> (SOUZA, 2009). O número médio de frangos por galpão será usada a seguir para calcular a quantidade de cama de frango produzida em toda a cadeia produtiva.

A estimativa da massa de cama de frango produzida em toda a cadeia produtiva, a produção de biogás e os equivalentes em botijões de 13 kg de GLP, o equivalente em megacalorias (Mcal) e o equivalente em toneladas equivalentes de petróleo (tep) estão contidos no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Dados para análise técnica do uso de biogás a partir de cama de frango na cadeia produtiva de frango de corte na Zona da Mata de Minas Gerais

Item	Quantidade	Unidade
Número total de galpões	778,00	und
Número médio de frangos por galpão	15.343,75	und
Número de ciclos por ano	6,00	und
Número de frangos produzidos por ano	71.624.625,00	und
Massa de Cama de Frango produzida por ano	146.114.235,00	kg ano <sup>-1</sup>
Massa de Matéria Seca produzida por ano	112.507.960,95	kg ano <sup>-1</sup>
Volume de biogás produzido por ano	60.754.298,91	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Equivalente Botijão 13 kg GLP	2.121.727,05	und
Equivalente Energético (MJ)	1.327.791.643,00	MJ ano <sup>-1</sup>
Equivalente Energético (Mcal)	317.198.194,62	Mcal ano <sup>-1</sup>
Equivalente Energético (tep)	31.524,02	tep ano <sup>-1</sup>

A estimativa da potência elétrica disponível a partir do biogás, utilizando grupo gerador (motor de ciclo Otto), microturbinas e turbina a gás, é mostrada no Quadro 2.7.

Quadro 2.7– Potência elétrica disponível a partir do biogás

Opção de geração	Valor	Unidade
Grupo gerador (motor ciclo Otto)	6.530,86	kW
Microturbina a gás	11.755,54	kW
Turbina a gás	14.367,88	kW

## 2.5 CONCLUSÃO

Foi mostrado por meio das estimativas de produção de energia térmica e elétrica a partir do biogás produzido da cama de frango que um grande potencial energético não vem sendo utilizado na cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais. A energia oriunda do biogás pode tornar a atividade mais competitiva na região, compensando a dificuldade para obtenção dos principais insumos da atividade (milho e soja). O aproveitamento da cama de frango implica em ganhos: i) econômicos: a energia gerada diminui os custos de produção da cadeia produtiva, o biofertilizante obtido pode ser utilizado nas propriedades que desenvolvem outras atividades agrícolas além da avicultura de frango de corte e a possibilidade de comercialização da energia com a concessionária; ii) ambientais: o tratamento dos dejetos das aves por meio da biodigestão anaeróbia evita a contaminação dos rios e nascentes com as substâncias tóxicas existentes na cama de frango. Além disso, o uso energético do biogás evita a emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) para a atmosfera contribuindo para a mitigação do efeito estufa; e iii) sociais: os recursos antes destinados ao pagamento da energia consumida na atividade podem ser revertidos para outros fins, melhorando a qualidade de vida das pessoas diretamente ligadas à atividade e também aumentando a circulação de divisas na região, o que aquece setores da economia, como o comércio. O estudo mostrou ainda que a potência elétrica disponível utilizando-se o biogás gerado a partir da cama de frango da cadeia produtiva é da ordem de 6,53 MW (utilizando motor do Ciclo Otto), 11,76 MW (utilizando microturbina a gás) e 14,37 MW (utilizando turbina a gás).

## 2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEF, **Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango**, [www.abef.com.br](http://www.abef.com.br). Data da consulta: 06/2008.
- AVIZOM, **Associação dos Avicultores da Zona da Mata**; Data da consulta: 04/2009.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME) - **Plano Nacional de Energia, 2030**, 2005 [www.mme.gov.br/](http://www.mme.gov.br/) Data da consulta: 04/2008
- COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto São Paulo, 2006. 194p. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – IEE / EPUSP / FEA / IF da Universidade de São Paulo, 2006.
- ESPERANCINI, M. S. T., COLEN, F., BUENO, O. de C., PIMENTEL, A. E. B., SIMON E. J. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de são paulo**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, jan./abr. 2007.
- FERNANDES, E. de A. Impactos econômicos e ambiental do aproveitamento de subprodutos avícolas. In: SEMINÁRIO NORDESTINO DE PECUÁRIA PECNORDESTE, 4, 2000, Fortaleza. Anais... v.2, p.39-56, 2000.
- FERRAZ, J. M. G., MARIEL, I. E. **Biogás uma fonte Alternativa de Energia**. Brasil, 27p., 1980.
- FERREIRA, A. A. Características dos sistemas de produção, eficiência e economias de escala na produção de frango de corte no estado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1998.(Dissertação - Mestrado em Economia Rural).
- GIROTTTO, A. F., ÁVILA, V. S. **Cama de aviário: análise econômica de materiais alternativos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 4p.

Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 326.

MAGALHÃES, E. A. **Construção e avaliação do desempenho de um sistema de absorção de CO<sub>2</sub> do biogás**. 2004. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

MAHADEVASWAMY, M.; VENKATARAMAN, L.V. **Bioconversion of poultry dorppings for biogas and algal production**. Agricultural Wastes, v. 18, n. 2, p.93-101, 1986.

MAPA, **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br). Data da Consulta: 06/2008.

MINAS-GERAIS, [www.minas-gerais.net](http://www.minas-gerais.net), Data da Consulta: 08/2009

MITCHELL JUNIOR, C.C. **The value and use of poultry waste as a fertilizer**. In: POULTRY by-product management handbook. Alabama: Auburn University, Cooperative Extensive Service, 1991. (Circular ANR-244)

NOGUEIRA, L. A. H., **Biodigestão: A Alternativa Energética**. São Paulo, Nobel, 1986.

PADILHA, A. C. M., SILVA, T. N., SAMPAIO, A. **Desafios de Adequação à Questão Ambiental no Abate de Frangos: O Caso da Perdigão Agroindustrial – Unidade Industrial Serafina Corrêa – RS**, Teoria e Evidência Econômica, Passo Fundo, v. 14, Ed. Especial 2006

PALHARES, J. C. P. Uso da cama de frango na produção de biogás, EMBRAPA SUÍNOS E AVES, [www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod\\_artigo=233](http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod_artigo=233). Data da Consulta: 05/2009.

PINHEIRO, P. C. C. **Sistemas térmicos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG, 1999. 32p.

RODRIGUES, M. H. da C. **Avicultores e agroindústria: A situação da AVIZON em Visconde do Rio Branco, MG**. Viçosa: UFV, 1997. (Dissertação - Mestrado em Economia Rural).

RUAS, A. O., LAENDER, A. T., OLIVEIRA, G. B., RAMIRES, J. C. M., MOREIRA, R. C. J. **Biogás**. Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) - UFMG <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/gasosos/>

[biogas/biogás.htm](#). Data da consulta: 06/2008.

SANTOS, P. **Guia Técnico de Biogás**. CCE – Centro para a Conservação de Energia, Portugal, 2000.

SANTOS, T. M. B., LUCAS JR. J. **Digestão anaeróbia de cama de frangos em operação seqüencial de biodigestores batelada**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Caldas-MG, Anais... p.380-2, 1998a.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Agropecuária, Porto Alegre, 1983.

SOUZA, C. F., LUCAS JUNIOR, J., FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, 2003.

SOUZA, C.F. **Instalações para frango de corte e poedeiras**. DEA/UFV, 2009. [www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/INSTALAÇÕESavesFINAL.pdf](http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/INSTALAÇÕESavesFINAL.pdf) . Data da Consulta: 06/2009

SOUZA, S. N. M. de, PEREIRA, W. C., CAMARGO NOGUEIRA, C. E., PAVAN, A. A., SORDI, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor-gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum. Tehnology. Maringá, PR. v.26, nº 2, p. 127-133, 2004.

STEINSBERGER, S. C., SHIH, J. C. **The construction and operation of a low-cost poultry waste digesters**. Biotechnology and Bioengineering, v.26, p.

UBA, **União Brasileira de Avicultura**, [www.uba.org.br](http://www.uba.org.br) Data da consulta: 06/2008.

### **3 ANÁLISE DA INDEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE GRANJA DE FRANGO DE CORTE A PARTIR DO USO DO BIOGÁS**

**RESUMO:** A produção de frango de corte na região da Zona da Mata de Minas Gerais contribui consideravelmente para a economia regional. O total de produtores integrados à cadeia produtiva é aproximadamente 551, destes 95% são agricultores familiares. Os gastos com energia são altamente significativos representando cerca de 22% dos custos de produção para o produtor integrado. Uma das soluções energéticas para a atividade avícola é o aproveitamento da cama de frango utilizando-se o processo da biodigestão anaeróbia, por meio do qual 46,7% da energia de saída pode retornar ao sistema na forma de biogás possibilitando diminuição dos custos com aquecimento das aves e benefícios ao meio ambiente. No presente estudo verificou-se que a energia do biogás pode atender à demanda de energia térmica e elétrica de uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais. A conversão energética por meio de grupo gerador (motor ciclo Otto) apresentou melhores parâmetros econômicos que a microturbina a gás, especialmente quando se considera a possibilidade de comercialização do excedente de energia elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Soluções Energéticas, Resíduos Avicultura, Biogás.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar possui um papel fundamental na economia das pequenas cidades, sendo responsável por muitos empregos no comércio e no setor de serviços. Melhorar a renda dos agricultores familiares representa um impacto importante na economia regional. Esta inserção está diretamente ligada a políticas públicas que promovam o acesso a novas tecnologias. A região da Zona da Mata é o maior pólo de produção de frango de corte do estado de Minas Gerais. A atividade contribui de forma destacada para a economia da região e principalmente, permite a inserção de 551 produtores rurais, sendo 95% classificados como agricultores familiares. As granjas estão localizadas em torno da unidade industrial de abate e processamento localizada no município de Visconde do Rio Branco, MG, influenciando a economia de 34 municípios (AVIZOM, 2009).

A estrutura de governança corporativa adotada na cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata é a integração. Na integração a indústria fornece os insumos necessários à produção, ou seja, fornece pintos de um dia, ração, vacinas e medicamentos, assistência técnica, transporte, industrialização (abate, corte, processamento, e embalagem), armazenamento, comercialização, distribuição e controla todo o processo de tomada de decisão. O produtor fornece as instalações adequadas: galpões, utensílios, equipamentos, material para a cama, energia, água, silos para armazenamento da ração e fornecer toda a mão-de-obra necessária às atividades diárias, bem como o apanhe e engradeamento no ato da retirada dos frangos. Em relação à mão-de-obra, o produtor é responsável por todas e quaisquer implicações de ordem social, trabalhista e previdenciária relacionadas a vínculos empregatícios (RICHETTI e SANTOS, 2003).

O produtor tem também a obrigação de comunicar à indústria o

aparecimento de qualquer doença ou anormalidade; promover a desinfecção do galpão após a retirada dos frangos e prepará-lo para recebimento de novo lote de pintos; atender

a todas as recomendações técnicas da indústria. De acordo com o contrato de integração, o produtor deve obedecer rigorosamente as suas cláusulas, podendo responder civil e criminalmente por omissão (RODRIGUES, 1997).

O produtor é levado a assinar contratos de integração devido a uma série de razões como: (i) falta de capital próprio para investir na criação, embora muitas propriedades se utilizem da mão-de-obra familiar para minimizar custos de produção; (ii) opção de renda para a propriedade, pois além da venda do frango, o produtor usa ou vende a cama ou esterco que é produzido na propriedade; e (iii) garantia de renda, dada a instabilidade do mercado de frango (LOPES, 1992)

O sistema de integração apresenta como principal desvantagem a centralização do poder de decisão pela indústria, uma vez que o produtor é um mero executor das decisões que lhe são impostas. Devido à dependência de insumos, o produtor deve se adaptar ao sistema como seguidor de instruções e administrador de mão-de-obra. Além disso, a baixa remuneração proporcionada pelo sistema é outra questão que deve ser considerada. A saída do produtor do sistema de integração é muito difícil uma vez que, além da dependência de insumos, ele deve amortizar o capital investido, ficando a mercê das incertezas do mercado de frango (FERREIRA, 1998).

Os índices de desenvolvimento (tecnologia, produtividade e rentabilidade) da região da Zona da Mata de Minas Gerais estão abaixo da média estadual. Comparando-se com a região Centro-Oeste e as regiões do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste Mineiro, a Zona da Mata não é competitiva em preço e escala na produção do principal insumo para a cadeia de aves, o milho. Outro insumo importante, a soja, não é produzida na região por limitações tecnológicas. A região é, portanto, obrigada a adquirir estes insumos de outras regiões e incorrer em custos significativos de transporte. Aumentar a competitividade da atividade é imprescindível para a região.

Os gastos com energia são altamente significativos na cadeia produtiva de frango de corte. Nas propriedades o gasto com energia para aquecimento e ventilação das granjas é o principal item de custo o que representa valores em

torno de R\$ 4 mil ao ano, representando cerca de 22% dos custos de produção do frango. O sistema de integração que rege as relações entre a a empresa integradora e o produtor determina que os custos com energia elétrica para iluminação, aquecimento e ventilação são arcados pelo produtor. Se forem considerados os 778 galpões integrados de toda a cadeia produtiva, o total gasto com energia elétrica chega a aproximadamente R\$ 3,2 milhões por ano, sem contar o uso de combustíveis como diesel para transporte e lenha, carvão ou gás de cozinha (GLP) para aquecimento (AVIZOM, 2009).

A avicultura de frango de corte tem alto consumo energético e produz uma grande quantidade de resíduos, especialmente a cama de frango. Assim como o setor sucroalcooleiro faz com a vinhaça e o bagaço de cana, a cama de frango pode ser revertida em energia, biofertilizante e outros produtos o que pode contribuir para minimizar os custos da produção.

Um dos possíveis processos de conversão da cama de frango em energia é denominado biodigestão anaeróbia que consiste na transformação da biomassa orgânica em biogás pela ação de microorganismos. O processo ocorre em ambiente com ausência de oxigênio e apresenta como principais vantagens a redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), produção de biofertilizante e de biogás, baixo custo operacional, baixo custo de investimento e tratamento descentralizado dos dejetos (ESPERANCINI, 2007).

O primeiro registro sobre o biogás foi feito no final do século XIX, na Inglaterra, em um sistema de tratamento de esgoto (METCALF e EDDY, 1979). Dejetos de bovinos e outros resíduos da agricultura foram estudados em meados da década de 40 do século XX na Índia (MAZUMDAR, 1982). Mas foi a partir da crise energética de 1973 que estudos para a utilização do biogás como fonte alternativa de energia ganhou novo impulso.

A biodigestão anaeróbia ocorre em câmaras chamadas biodigestores. A escolha adequada do biodigestor é fundamental para o desenvolvimento apropriado do processo da biodigestão anaeróbia, estando diretamente relacionada à produção de metano e de biogás. O modelo mais difundido atualmente é o tubular ou solar, também chamado de modelo da marinha. Esse biodigestor é do tipo horizontal, com largura maior que a profundidade, uma área de exposição solar maior o que favorece a produção de biogás. Possui cúpula em plástico maleável (PVC), que é inflada com a produção de gás,

como se fosse um balão. A localização dos biodigestores deve ser próxima aos galpões, isso facilita a condução do biogás para aplicações, como geração de energia elétrica e o aquecimento dos pintinhos. Com essa operação reduz se também o manejo com o transporte do substrato dos biodigestores (cama de frango).

A temperatura dentro dos galpões deve ser ideal, pois do contrário pode ocorrer uma elevada mortalidade de pintinhos. Aquecer os pintinhos tem um custo elevado. Os gastos com equipamentos para aquecimento (campânulas) representam 9,6% do custo total de construção de um aviário para um galpão com manejo manual e 7,5% para o galpão automático. A energia para aquecimento, usualmente lenha, carvão vegetal ou GLP, teve uma participação de 2,9% o custo de produção do quilograma de frango num sistema manual e 3,8% num sistema automático (PALHARES, 2009).

No verão os pintinhos são aquecidos durante as duas primeiras semanas, após a chegada dos animais na criação, e no inverno o aquecimento vai até a terceira semana. Geralmente o aquecimento é feito durante a noite quando a temperatura diminui. O manejo do galpão em relação à temperatura depende do clima da região.

Quando chegam ao galpão, os pintinhos são colocados em círculos de proteção feitos de duratex, zinco, alumínio com o objetivo de facilitar o manejo, evitar a dispersão das aves, manter os animais próximos da fonte de calor.

Em um galpão são colocados vários círculos, cada um com 100 pintinhos  $m^2$ , após um certo tempo estes vão sendo abertos e formando círculos maiores até o momento de soltar as aves em toda a instalação. A temperatura das fontes de calor (campânulas) pode ser controlada. Na primeira semana a temperatura deve ser de 32°C e a partir da segunda semana a temperatura deve ficar em 29°C, dependendo da região.

Com o processo da biodigestão anaeróbia 46,7% da energia de saída pode retornar ao sistema na forma de biogás. Isso possibilita diminuição dos custos com aquecimento das aves, uma vez que o biogás produzido pode substituir a lenha (ou outro energético em uso para o aquecimento), e trazer benefícios adicionais ao meio ambiente (SANTOS, 2001).

Neste estudo foi feita uma estimativa do consumo energético de diferentes usos finais de energia elétrica: (i) ventilação dos galpões (uso de

ventiladores); (ii) tração e iluminação; e (iii) água quente para banho; e energia térmica: (i) cocção; e (ii) aquecimento de pintinhos (SANTOS, 2007). Foi avaliada a utilização do biogás para atendimento dessas demandas. Apresenta-se, como estudo de caso, a análise de uma granja típica produtora de frango de corte da Associação de Avicultores da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais.

## 3.2 OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho apresentado neste capítulo foi avaliar o uso do biogás como fonte energética numa granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais. Os objetivos específicos foram: (i) estimar a produção de biogás a partir da cama de frango obtida na granja; (ii) estimar o potencial de produção de energia elétrica e térmica a partir do biogás utilizando grupo gerador (motor ciclo Otto) e microturbina a gás; (iii) avaliar a possibilidade de atendimento da demanda energética da granja típica com a utilização do biogás gerado a partir da cama de frango; e (iv) realizar análise econômica de vida útil das opções estudadas.

### **3.3 MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado por meio da coleta de dados técnicos em 16 galpões de propriedades que integram a cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais e nos Laboratórios de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

A coleta de dados envolveu uma entrevista com os produtores em que eram respondidos os itens de questionário, que se encontra anexo.

A partir dos dados coletados por meio dos questionários e do levantamento das cargas elétricas e térmicas da propriedade, chegou-se a valores médios (área, número de galpões, número de frangos por galpão, número de residências, número de pessoas que moram na propriedade, botijões de GLP por ano, metros cúbicos de lenha por ano, potência instalada e energia consumida) que caracterizam uma granja de frango de corte típica da Zona da Mata de Minas Gerais.

A Figura 3.1 e 3.2 mostram vistas parciais de um galpão de uma granja típica de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais.



Figura 3.1 – Vista parcial de galpão de uma granja típica de frango de corte



Figura 3.2 – Vista parcial de galpão de uma granja típica.

A demanda de energia da propriedade foi dividida em: (i) geração de calor (água quente para banho, cocção, aquecimento de pintinhos); e (ii) geração de energia elétrica (resfriamento do galpão por meio de ventiladores, motores elétricos, iluminação, eletrodomésticos). Sendo assim, foi estimado o consumo de energia elétrica e térmica convencionais da granja e a partir daí foi determinado, também, o potencial de geração de eletricidade e calor utilizando

o biogás produzido na propriedade com a finalidade de substituir as fontes de energia atualmente em uso.

O cálculo da cama de frango produzida na granja típica é dado pela equação 3.1.

$$C_{fp} = N_g N_c M_{fg} M_{cfpa} \quad (3.1)$$

em que

$C_{fp}$  – Cama de frango produzida por ano,  $\text{kg ano}^{-1}$ ;

$N_g$  – Número de galpões, decimal;

$N_c$  – Número de ciclos por ano,  $\text{ciclo ano}^{-1}$ ;

$M_{fg}$  – Média de frangos por galpão,  $\text{ave galpão}^{-1}$ ; e

$M_{cfpa}$  – Média da cama de frango produzida por ave,  $\text{kg ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ .

$$C_{cfpa} = 365 n t p \quad (3.4)$$

Considerando-se a cama de frango in natura com 23% de umidade tem-se que a quantidade de matéria seca produzida é dada pela equação 3.2.

$$M_{scf} = 0,77 C_{fp} \quad (3.2)$$

em que

$M_{scf}$  – Matéria seca da cama de frango,  $\text{kg ano}^{-1}$ ; e

$C_{fp}$  – Cama de frango produzida,  $\text{kg ano}^{-1}$ .

O potencial de produção de biogás foi estimado a partir da equação 3.3. Considerou-se os valores obtidos por Mahadevaswamy e Venkataraman (1986), segundo os quais a produção de biogás por quilo de matéria seca é  $0,54 \text{ m}^3$ .

$$R_b = \frac{M_{scf} 0,54 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{(\text{kg de matéria seca})} \quad (3.3)$$

em que

$P_b$  – Produção de biogás,  $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ; e

$M_{scf}$  – Matéria seca da cama de frango,  $kg \text{ ano}^{-1}$ .

Para se calcular o consumo de energia elétrica para aquecimento de água de banho utilizando-se chuveiros elétricos tem-se a equação 3.4.

$$C_{ch} = 365 n t P \quad (3.4)$$

em que

$C_{ch}$  – Consumo anual de energia elétrica pela utilização do chuveiro,  $kWh \text{ ano}^{-1}$ ;

$n$  – Número médio de pessoas que tomam banho diariamente, adimensional;

$t$  – Tempo médio de banho de cada pessoa, h; e

$P$  – Potência do chuveiro elétrico, kW.

O consumo de biogás para aquecimento de água para banho é dado pela Equação 3.5.

$$C_b = 365 n V_b \quad (3.5)$$

em que

$C_b$  – Consumo anual de biogás para aquecimento da água de banho,  $m^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ;

$n$  – Número médio de pessoas que tomam banho diariamente, adimensional; e

$V_b$  – Volume de biogás gasto em cada banho,  $m^3$ .

Para calcular o volume de biogás anual necessário para cocção de alimentos nas residências pode-se utilizar a equação 3.6.

$$C_{bc} = 365 n V_b \quad (3.6)$$

em que

$C_{bc}$  – consumo anual de biogás para cocção de alimentos,  $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ;

$n$  – número médio de pessoas que utilizam o fogão, adimensional; e

$V_b$  – volume unitário médio de biogás gasto por dia por pessoa,  $m^3$ .

Para calcular o volume de biogás anual consumido para atender a demanda de aquecimento dos pintinhos utilizou-se a equação 3.7. Nesse cálculo considerou-se a proporção de uma campânula para quinhentos

pintinhos, bem como o uso das campânulas durante oitenta e quatro dias por ano (os pintinhos são aquecidos nos quatorze primeiros dias de vida nos 6 ciclos anuais). O número total de horas em que a campânula fica ligada por ciclo, segundo Funck e Fonseca (2008) é de 111,1 horas o que corresponde a uma média diária de oito horas. Foi adotado o consumo médio de biogás pela campânula ( $0,21 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) obtido por Santos et al. (2007).

$$C_{\text{bap}} = 84 n t V_b \quad (3.7)$$

em que

$C_{\text{bap}}$  – consumo de biogás em campânulas,  $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$

$n$  – número de campânulas, adimensional;

$t$  – tempo de utilização das campânulas,  $\text{h dia}^{-1}$

$V_b$  – volume médio de biogás gasto pela campânula,  $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$

O fator 84 corresponde ao número total de dias do ano que os pintinhos são aquecidos. Considerando-se a média de 6 ciclos anuais e o aquecimento dos pintinhos nos primeiros 14 dias de vida.

Analisou-se a situação no caso em que todas as cargas térmicas da granja fossem atendidas. Com o biogás restante foi calculada a geração de energia elétrica possível para utilização da granja.

O cálculo da potência elétrica disponível a partir do biogás foi feito considerando a conversão através de grupo gerador (ciclo Otto) e microturbina:

### Grupo Gerador (ciclo Otto)

Para o cálculo da estimativa de energia elétrica obtida a partir do biogás utilizando grupo gerador (motor ciclo Otto) considerou-se a concentração de metano ( $\text{CH}_4$ ) de 62%, o Poder Calorífico Inferior do biogás igual a  $22600 \text{ kJ.m}^{-3}$ . A equação 3.8 fornece a potência elétrica disponível utilizando-se motor de Ciclo Otto com rendimento de 15% do motor.

$$P_{\text{mco}} = \text{PCI } B_{\text{restante}} \eta_{\text{motor}} \quad (3.8)$$

em que

$P_{\text{mco}}$  – Potência elétrica gerada por motor Ciclo Otto, kW;

$\text{PCI}$  – Poder Calorífico Inferior do Biogás,  $\text{kJ m}^{-3}$ ;

$B_{\text{restante}}$  – Biogás Restante,  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; e

$\eta_{\text{motor}}$  – Rendimento do motor, adimensional.

## Microturbina a gás

A equação 3.9 fornece a estimativa da potência elétrica disponível utilizando-se microturbinas com rendimento de 27%.

$$P_{mt} = PCI B_{restante} \eta_{microturbina} \quad (3.9)$$

em que

$P_{mt}$  – Potência Elétrica gerada por microturbina, kW;

PCI – Poder Calorífico Inferior do Biogás,  $\text{kJ m}^{-3}$ ;

$B_{restante}$  – Biogás restante,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ; e

$\eta_{microturbina}$  – Rendimento da microturbina, adimensional.

a

O cálculo da estimativa de energia elétrica produzida a partir do biogás foi feito considerando a conversão através de grupo gerador (ciclo Otto) e microturbina.

## Cálculo da estimativa de energia elétrica produzida a partir de grupo gerador (motor ciclo Otto)

A equação 3.10 fornece a estimativa de energia elétrica produzida utilizando-se grupo gerador (motor ciclo Otto) com rendimento de 15%.

$$E_{mco} = PCI B_{restante} \eta_{motor} \Delta t_{op} \cdot 0,001 \quad (3.10)$$

em que

$E_{mco}$  – Energia Elétrica gerada por motor ciclo Otto, MWh;

PCI – Poder Calorífico Inferior do Biogás,  $\text{kJ m}^{-3}$ ;

$B_{restante}$  – Biogás restante,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;

$\eta_{motor}$  – Rendimento do motor ciclo Otto, decimal; e

$\Delta t_{op}$  – Tempo de operação do sistema,  $\text{h ano}^{-1}$ .

### Cálculo da estimativa de energia elétrica produzida a partir das microturbinas

A equação 3.11 fornece a estimativa de energia elétrica produzida utilizando-se microturbinas com rendimento de 27%.

$$E_{mt} = PCI P_b \eta_{microturbina} \Delta t_{op} \cdot 0,001 \quad (3.11)$$

em que

- $E_{mt}$  – Energia Elétrica gerada por microturbina, MWh;
- $PCI$  – Poder Calorífico Inferior do Biogás,  $\text{kJ m}^{-3}$ ;
- $B_{restante}$  – Biogás restante,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- $\eta_{microturbina}$  – Rendimento da microturbina, adimensional; e
- $\Delta t_{op}$  – Tempo de operação do sistema,  $\text{h ano}^{-1}$ .

Desta forma o biogás será utilizado nas granjas para: (i) aquecimento de água para banho; (ii) cocção; (iii) aquecimento de pintinhos com a utilização de campânulas; e (iv) geração de energia elétrica complementar.

### Análise Econômica

Foi realizada uma análise econômica avaliando a viabilidade econômica da produção de energia elétrica para uma granja típica utilizando-se os seguintes parâmetros de comparação, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Tempo de Retorno de Capital (TRC).

#### Valor Presente Líquido – VPL

O Valor Presente Líquido compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa na taxa de juros  $k$  que mede o custo de capital (LAPPONI, 1996). A expressão geral do VPL do projeto de investimento é dada pela equação 3.12.

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+k)^t} + \frac{Q}{(1+k)^t} \quad (3.12)$$

em que

- VPL - Valor presente líquido, R\$;
- I - Investimento de capital inicial, R\$;
- $R_t$  - Retornos depois de descontados os impostos, R\$;
- n - Prazo da análise do projeto ou vida útil, ano;
- k Taxa de juros, adimensional; e
- Q Valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$.

Portanto, o critério do método do VPL estabelece que, enquanto o valor presente das entradas for maior que o valor presente das saídas, que foi calculada com a taxa de juros  $k$  que mede o custo de capital, o projeto deve ser aceito. Resumindo, sempre que: (i)  $VPL > 0$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $VPL = 0$ , é indiferente aceitar ou não; e (iii)  $VPL < 0$ , o projeto não deve ser aceito.

#### **Taxa Interna de Retorno –TIR**

É a taxa de juros que anula o VPL, isto é, que torna  $VPL = 0$ . Como a soma de todos os capitais na data inicial do projeto de investimento deve ser igual a zero, impõe-se essa condição na fórmula do VPL do projeto (LAPPONI, 1996). A equação 3.13 apresenta a fórmula para cálculo da TIR.

$$VPL = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+TIR)^t} + \frac{Q}{(1+TIR)^n} \quad (3.13)$$

em que

- TIR - Taxa interna de retorno, adimensional;
- VPL - Valor presente líquido, R\$
- I - Investimento de capital inicial, R\$;
- $R_t$  - Retornos depois de descontados os impostos, R\$;
- n - Prazo da análise do projeto ou vida útil, ano; e
- Q - Valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$.

O critério do método da taxa interna de retorno estabelece que enquanto o valor da TIR for maior que o valor do custo de capital  $k$ , o projeto deve ser aceito, isto é, sempre que: (i)  $TIR > k$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $TIR = k$ , é

indiferente aceitar ou não; e (iii)  $TIR < k$ , o projeto não deve ser aceito.

### **Taxa de Retorno do Capital –TRC**

É o período de tempo necessário para que o investimento inicial aplicado seja recuperado. O tempo de retorno do capital pode ser calculado considerando a renda anual não descontada, pela Equação 3.14:

$$TRC = \frac{C_i}{R_a} \quad (3.14)$$

em que

$C_i$  - Capital inicial, R\$; e

$R_a$  - Renda anual não descontada, R\$.

O critério do método do tempo de retorno de capital estabelece que: (i)  $TRC >$  vida útil do projeto, o projeto não deve ser aceito; (ii)  $TRC =$  vida útil do projeto, é indiferente aceitar ou não; e (iii)  $TRC <$  vida útil do projeto, o projeto deve ser aceito.

O Quadro 3.1 apresenta os dados de entrada para análise de viabilidade econômica do uso de biogás para a geração de energia elétrica em uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais.

Quadro 3.1 - Dados de entrada para análise de viabilidade econômica do uso de biogás para a geração de energia elétrica em uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais.

Equipamento	Unidade	Quantidade	Custo (R\$)*
Grupo gerador de 30 kW a biogás	und	1	16.675,29
Tubulação para grupo gerador ciclo Otto	m	4	283,17
Válvula esfera para grupo gerador ciclo Otto	und	2	188,77
Conexões para grupo gerador ciclo Otto	m	4	62,92
Tubulação de exaustão com isolamento térmico para grupo gerador ciclo Otto	m	3	1.415,83
Obra civil para grupo gerador ciclo Otto	m <sup>2</sup>	6	436,01
Unidade geradora a microturbina 30 kW a biogás	und	1	86.330,96
Compressor de palhetas	und	1	19.373,47
Secador por Refrigeração	und	1	2.988,97
Filtro coalescente	und	3	5.663,31
Filtro de carvão ativado	und	1	629,26
Tubulação para micro turbina	m	20	1.415,83
Válvulas esfera para micro turbina	und	6	566,33
Conexões para micro turbina	und	7	110,12
Tubulação de exaustão com isolamento térmico para micro turbina	und	4	1.887,77
Obra civil para micro turbina	m <sup>2</sup>	18	2.359,71
Juros do empréstimo ou custo de oportunidade	% a.a	12	
Vida útil da microturbina	anos	10	
Vida útil do grupo gerador (motor ciclo Otto)	anos	5	
Tempo de funcionamento	h ano <sup>-1</sup>	4.380 e 8760	
Custo da energia elétrica	R\$ kWh <sup>-1</sup>		0,20

\* Os preços acima estão baseados no Dólar Comercial de venda do dia 24/09/2009 (1 US\$ = R\$ 1,8040).

Fonte: (CENBIO, 2006).

O Quadro 3.2 mostra a síntese de investimentos necessários para o sistema de geração de energia elétrica na granja típica.

Quadro 3.2 - Síntese de investimentos necessários para o sistema de geração de energia elétrica na granja típica.

Opção de geração	Investimento (R\$)
Grupo gerador (motor ciclo Otto)	19.061,99
Microturbina	121.325,73

Considerando-se os dados de entrada para análise de viabilidade econômica e a síntese de investimentos para os sistemas de geração de energia elétrica propostos, foi elaborado um plano de empréstimo para o pagamento do investimento com uma taxa de juros de 12% ao ano.

Foi considerado que o investimento foi pago em parcelas iguais em valores descontados segundo a equação 3.15.

$$U = P \left[ \frac{i}{(1+i)^n - 1} + 1 \right] \quad (3.15)$$

em que

- U - Taxa interna de retorno, adimensional;
- P - Valor presente líquido, R\$
- i - Taxa de juros, adimensional; e
- n - Número de períodos de capitalização, adimensional.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características de uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais são mostradas no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Dados de uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais.

Dados da granja típica	Valor
Área da propriedade (ha)	22,43
Número de galpões (und)	1,78
Número de frangos por galpão (frangos galpão <sup>-1</sup> )	15.343,75
Média de cama de frango por ave (kg ave <sup>-1</sup> )	2,04
Número de residências (und)	2,11
Número de pessoas residentes (und)	5,67
Consumo de botijões GLP 13 kg por ano	14,91
Consumo de lenha (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	94,67
Potência Instalada (kW)	31,63
Consumo de energia elétrica (kWh ano <sup>-1</sup> )	29.136,72

A produção de cama de frango na granja típica e o potencial de produção de biogás são mostrados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Produção de cama de frango, matéria seca e potencial de geração de biogás numa granja típica

Item	Valor	Unidade
Produção de cama de frango	334.297,35	kg ano <sup>-1</sup>
Matéria seca equivalente da cama de frango	257.408,96	kg ano <sup>-1</sup>
Produção de Biogás	139.000,84	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>

O Quadro 3.5 mostra os dados para análise técnica do uso de biogás para geração de energia térmica.

Quadro 3.5 – Dados para análise técnica do uso de biogás para aquecimento de água para banho em granja típica

Item	Valor	Unidade
Número de pessoas	5,67	adm
Tempo de Banho	0,33	h dia <sup>-1</sup>
Aquecimento de água com chuveiro elétrico		
Potência dos chuveiros	4,4	kW
Consumo de energia elétrica	3305,34	kWh ano <sup>-1</sup>
Aquecimento de água a biogás		
Volume de biogás utilizado por pessoa	0,8	m <sup>3</sup> banho <sup>-1</sup>
Consumo de biogás	1655,64	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>

O Quadro 3.5 mostra que o consumo de energia elétrica anual de uma granja típica devido a utilização do chuveiro elétrico é de 3.035,34 kWh. Já com o aquecedor a biogás para realização do mesmo aquecimento de água anual, o consumo de biogás seria igual a 1.655,64 m<sup>3</sup>.

O Quadro 3.6 mostra os dados de consumo de botijões de GLP e o consumo de biogás para substituição do GLP no sistema de cocção.

Quadro 3.6 – Dados para análise técnica do uso de GLP e de biogás para cocção em granja típica

Item	Valor	Unidade
Utilização de GLP		
Consumo médio de GLP	14,91	Botijão de 13 kg ano <sup>-1</sup>
Utilização de biogás		
Consumo médio de biogás por pessoa	0,34	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> pessoa <sup>-1</sup>
Consumo médio de biogás	703,65	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>

De acordo com o Quadro 3.6 o consumo de GLP em botijões de 13 kg anual é de 14,91 unidades. O consumo médio de biogás para a realização da mesma atividade é de 703,65 m<sup>3</sup> de biogás por ano.

O Quadro 3.7 mostra os dados necessários para analisar e calcular o gasto de biogás para suprir as necessidades da propriedade com aquecimento de pintinhos por meio da utilização de lenha e campânulas a biogás.

Quadro 3.7 – Dados para análise técnica do uso de lenha e de biogás para aquecimento de pintinhos em granja típica

Item	Valor	Unidade
Consumo de lenha	94,67	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Utilização de biogás para aquecimento de pintinhos		
Consumo médio campânula de biogás	0,21	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Consumo médio de biogás	7708,5	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>

De acordo com o Quadro 3.7, o consumo de lenha para aquecimento dos pintinhos é de 94,67 m<sup>3</sup> por ano. O consumo de biogás anual para suprir a mesma necessidade de aquecimento dos pintinhos é de 4.330,62 m<sup>3</sup>.

A Figura 3.3 apresenta a produção e o uso de biogás pela granja típica para diferentes finalidades.

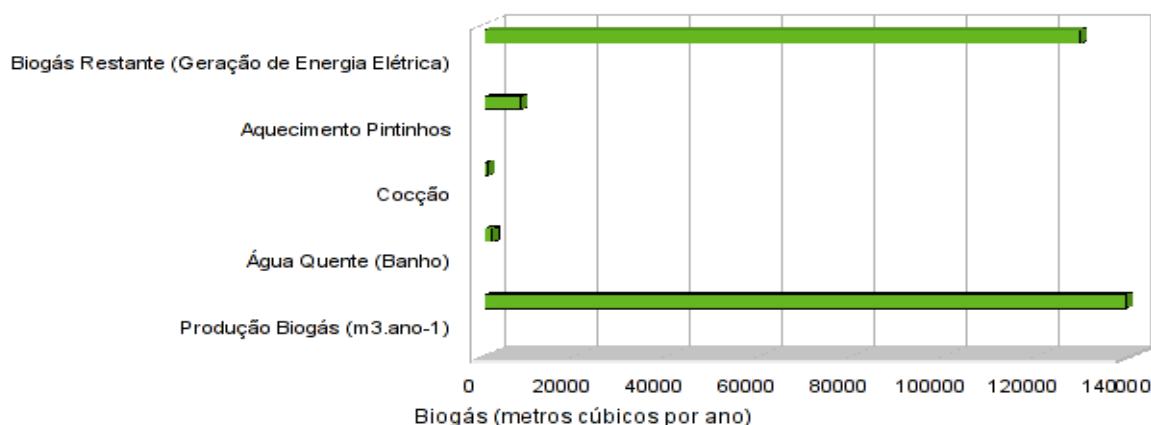


Figura 3.3 – Produção e consumo de biogás em uma granja típica.

Considerando o atendimento do uso final de energia elétrica para aquecimento de água para banho, ainda resta atender as demandas advindas da tração (motores elétricos, ventiladores, eletrodomésticos e eletroeletrônicos, etc) e da iluminação. O Quadro 3.8 mostra a potência elétrica disponibilizada a partir do biogás em uma granja típica após o atendimento das

demandas de energia térmica, ou seja, 128.933,05 m<sup>3</sup> de biogás por ano, utilizando os métodos de conversão dos motores Ciclo Otto e microturbinas.

Quadro 3.8 – Potência elétrica disponibilizada a partir do biogás em uma granja típica após o atendimento das demandas de energia térmica.

Item	Valor	Unidade
Potência elétrica instalada (exceto chuveiro)	21,85	kW
Demanda média	5,54	kW
Potência elétrica disponível a partir do biogás		
Motor Ciclo Otto	13,86	kW
Microturbina	24,95	kW

De acordo com o Quadro 3.8, para uma granja típica a demanda média foi de 5,54 kW. A demanda média foi estimada considerando-se que: o consumo médio anual da granja, e a suposição de que o fator de carga (razão entre a demanda média e a demanda máxima) no horário de 06:00 às 18:00 horas era de 0,6. A potência elétrica que pode ser disponibilizada com o biogás restante é capaz de atender a 250,18 % e 450,36 % da demanda média da granja típica usando-se grupo gerador (ciclo Otto) e microturbina, respectivamente.

O Quadro 3.9 apresenta a energia elétrica produzida com o biogás restante (128.933,05 m<sup>3</sup> de biogás por ano) utilizando os métodos de conversão por meio de grupo gerador (ciclo Otto) e microturbinas.

Quadro 3.9 – Energia elétrica produzida a partir do biogás restante

Item	Valor	Unidade
Motor ciclo Otto	121,41	MWh ano <sup>-1</sup>
Microturbina	218,54	MWh ano <sup>-1</sup>

De acordo com o Quadro 3.9 existe um excedente de energia de 92,27 MWh.ano<sup>-1</sup> e 189,40 MWh.ano<sup>-1</sup> utilizando os métodos de conversão grupo gerador (ciclo Otto) e microturbina respectivamente. Essa sobra de energia pode ser negociada com as concessionárias de energia ou na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

## Análise Econômica

Considerando os investimentos necessários para implantação do sistema de geração de energia elétrica utilizando grupo gerador, o Quadro 3.10 apresenta o plano de empréstimo para o pagamento do investimento total, considerando-se uma taxa de juros do empréstimo igual a 12% ao ano.

Quadro 3.10 – Plano de empréstimo para pagamento do investimento total, no sistema grupo gerador, considerando uma taxa de juros de empréstimo de 12% ao ano

Ano	Valor com juros a pagar	Parcelas	Valor a pagar sem juros
0	R\$ 19.061,99		
1	R\$ 21.349,43	R\$ 5.287,98	R\$ 16.061,45
2	R\$ 17.988,82	R\$ 5.287,98	R\$ 12.700,84
3	R\$ 14.224,94	R\$ 5.287,98	R\$ 8.936,96
4	R\$ 10.009,40	R\$ 5.287,98	R\$ 4.721,42
5	R\$ 5.287,99	R\$ 5.287,98	R\$ 0,01

De posse dos dados de entrada, foi feita a análise de vida útil para o sistema de geração de energia elétrica utilizando um grupo gerador com motor de ciclo Otto, com potência elétrica efetiva de 13,86 kW.

No Quadro 3.11 é feita análise de vida útil para um período de 5 anos considerando-se o potencial anual de geração e comercialização de energia elétrica a 0,20 R\$.kWh<sup>-1</sup>, com o grupo gerador operando 12 horas por dia.

Quadro 3.11 – Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando grupo gerador (motor ciclo Otto), operando 12 horas por dia

Parâmetros de avaliação econômica	Valor
Valor presente líquido (VPL)	R\$ 57.287,71
Taxa interna de retorno (TIR)	91,50 %
Tempo de retorno do capital (TRC)	1 anos e 7 meses

No Quadro 3.12 é feita análise de vida útil para um período de 5 anos considerando-se o potencial anual de geração e comercialização de energia elétrica a 0,20 R\$.kWh<sup>-1</sup>, com o grupo gerador operando 24 horas por dia.

Quadro 3.12 – Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando grupo gerador (motor ciclo Otto), operando 24 horas por dia

Parâmetros de avaliação econômica	Valor
Valor presente líquido (VPL)	R\$ 68.128,21
Taxa interna de retorno (TIR)	124,70%
Tempo de retorno do capital (TRC)	10 meses

Considerando os investimentos necessários para implantação do sistema de geração de energia elétrica utilizando microturbina, o Quadro 3.13 apresenta o plano de empréstimo para o pagamento do investimento total, considerando-se uma taxa de juros do empréstimo igual a 12% ao ano.

Quadro 3.13 – Plano de empréstimo para pagamento do investimento total, no sistema microturbina, considerando uma taxa de juros de empréstimo de 12% ao ano

Ano	Valor com juros a pagar	Parcelas	Valor a pagar sem juros
0	R\$ 121.325,73		
1	R\$ 135.884,82	R\$ 21.472,73	R\$ 114.412,04
2	R\$ 128.141,54	R\$ 21.472,73	R\$ 106.668,81
3	R\$ 119.469,07	R\$ 21.472,73	R\$ 97.996,34
4	R\$ 109.755,90	R\$ 21.472,73	R\$ 88.283,17
5	R\$ 98.877,15	R\$ 21.472,73	R\$ 77.404,42
6	R\$ 86.692,94	R\$ 21.472,73	R\$ 65.220,21
7	R\$ 73.046,64	R\$ 21.472,73	R\$ 51.573,91
8	R\$ 57.762,78	R\$ 21.472,73	R\$ 36.290,05
9	R\$ 40.644,86	R\$ 21.472,73	R\$ 10.172,13
10	R\$ 21.472,78	R\$ 21.472,73	R\$ 0,05

De posse dos dados de entrada, foi feita a análise de vida útil para o sistema de geração de energia elétrica utilizando uma microturbina a biogás de 30 kW, com potência elétrica média de geração 24,95 kW.

No Quadro 3.14 é feita análise de vida útil para um período de 10 anos considerando-se o potencial anual de geração e comercialização de energia elétrica a 0,20 R\$ kWh<sup>-1</sup>, com a microturbina operando 12 horas por dia.

Quadro 3.14 – Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando microturbina operando 12 horas por dia

Parâmetros de avaliação econômica	Valor
Valor presente líquido (VPL)	-R\$ 1.260,91
Taxa interna de retorno (TIR)	11,70 %
Tempo de retorno do capital (TRC)	5 anos e 9 meses

No Quadro 3.15 é feita análise de vida útil para um período de 10 anos considerando-se o potencial anual de geração e comercialização de energia elétrica a 0,20 R\$.kWh<sup>-1</sup>, com a microturbina operando 24 horas por dia.

Quadro 3.15 – Análise de vida útil para sistema de geração de energia elétrica utilizando microturbina operando 24 horas por dia.

Parâmetros de avaliação econômica	Valor
Valor presente líquido (VPL)	R\$ 122.231,49
Taxa interna de retorno (TIR)	33,60%
Tempo de retorno do capital (TRC)	2 anos e 10 meses

### **3.5 CONCLUSÃO**

Pode-se concluir a partir deste trabalho, que a energia contida no biogás pode atender à demanda de energia térmica e elétrica de uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais. Por meio de análise de viabilidade econômica verificou-se que a conversão energética usando-se um grupo gerador (motor ciclo Otto) apresenta melhores parâmetros que a microturbina, especialmente quando se considera a possibilidade de comercialização do excedente de energia elétrica.

### 3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVIZOM, **Associação dos Avicultores da Zona da Mata**; Data da consulta: 04/2009.

CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa - **Projeto Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENERBIOG**. Relatório Final de Atividades. São Paulo, 2006.

ESPERANCINI, M. S. T., COLEN, F., BUENO, O. de C., PIMENTEL, A. E. B., SIMON, E. J. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, jan./abr. 2007.

FERREIRA, A. A. **Características dos sistemas de produção, eficiência e economias de escala na produção de frango de corte no estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1998. (Dissertação - Mestrado em Economia Rural).

FUNCK, S. R., FONSECA, R. A. **Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.12, n.1, p.91–97, 2008.

LAPPONI, J. C. (ed), **Avaliação de projetos e investimento: modelos em Excel**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora Ltda, 1996, 264 p.

LOPES, J. E. P. **Análise econômica de contratos de integração usados no complexo agroindustrial avícola brasileiro**. Viçosa: UFV, 1992.(Dissertação - Mestrado em Economia Rural).

- MAHADEVASWAMY, M., VENKATARAMAN, L.V. **Bioconversion of poultry dorppings for biogas and algal production**. Agricultural Wastes, v. 18, n. 2, p.93-101, 1986.
- MAZUNDAR, A. **Biogás handbook**, Bombay: Pilot Edition, TATA Energy Institute, 1982, 247 p.
- METCALF, L., EDDY, H. P. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 2nd. Ed. New York, McGraw, 1979. 920 p.
- PALHARES, J. C. P. **Uso da cama de frango na produção de biogás, EMBRAPA SUÍNOS E AVES**, [www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod\\_artigo=233](http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod_artigo=233). Data da Consulta: 05/2009.
- RICHETTI, A., SANTOS, A. C. **O sistema integrado de produção de frango de corte em Minas Gerais: uma análise sob a ótica da ECT**. V.2 – Nº 2 – Jul/Dez – 2000 Revista de Administração da UFLA
- RODRIGUES, M. H. da C. **Avicultores e agroindústria: A situação da AVIZON em Visconde do Rio Branco, MG**. Viçosa: UFV, 1997. (Dissertação - Mestrado em Economia Rural).
- SANTOS, T. M. B. **Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.
- SANTOS, T. M. B., LUCAS JÚNIOR, J., DA SILVA, F. M. **Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, p.658-664, set./dez.2007
- SOUZA, S. N. M. de, PEREIRA, W. C., CAMARGO NOGUEIRA, C. E., PAVAN, A. A., e SORDI, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor-gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum. Tehnology. Maringá, PR. v.26, nº 2, p. 127-133, 2004.

#### **4 SOLUÇÕES ENERGÉTICAS PARA UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE CARNE DE FRANGO COM O USO DE BIOGÁS PROVENIENTE DA CAMA DE AVIÁRIO**

**RESUMO:** A unidade de processamento de carne de frango (abatedouro/frigorífico) é predominante no processo de industrialização sendo o elo principal da cadeia produtiva de frango e corte e responsável por coordenar grande parte do funcionamento da mesma. O processo de industrialização do frango é bastante automatizado o que implica que a energia elétrica é utilizada em todas as etapas do processamento da carne. Cerca de 70% da energia elétrica em frigoríficos são consumidos em motores dos compressores para sistema de refrigeração. Por meio desse estudo verificou-se que o uso do biogás proveniente de cama de frango se mostra viável do ponto de vista energético sendo capaz de suprir a demanda de um frigorífico com potencial de abater cerca de cento e cinquenta e nove mil e quinhentos frangos por dia, bem como de todas as propriedades integradas. Existe um excedente de aproximadamente 5.140 MWh mensais da energia gerada a partir do biogás proveniente da cama de frango. Esse excedente de energia leva em conta o uso de compressores elétricos. Adotando-se sistema de refrigeração por absorção verificou-se que o frigorífico se torna produtor independente de energia (PIE) podendo vender esse excedente para as concessionárias de energia ou negociá-lo na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica(CCEE).

**PALAVRAS-CHAVE:** soluções energéticas, frigorífico frango de corte, sistema de refrigeração por absorção

## 4.1 INTRODUÇÃO

As atuais tendências indicam o encarecimento da energia elétrica no Brasil. O potencial hidrelétrico da região Centro-Sul está explorado, na região Norte os impactos ambientais fazem recuar projetos de grandes hidrelétricas. Também há que se considerar a maior pressão visando o desenvolvimento sustentável e um uso mais intensivo de fontes renováveis de energia. Diante disso, é cada vez mais premente que se aponte no sentido da descentralização da geração de eletricidade que passa pelo uso de fontes alternativas de energia. Cerca de 30% da matriz energética brasileira é composta por lenha, produtos da cana-de-açúcar (álcool e bagaço) e outras biomassas. A energia hidrelétrica representa cerca de 15% dessa mesma matriz (BRASIL, 2009). O potencial energético das fontes renováveis de energia no Brasil é significativo e deve ser explorado. Essa exploração dependerá da aplicação, adaptação e geração de novas tecnologias que terão grandes impactos econômicos, sociais e ambientais. Estes impactos terão reflexos nos hábitos dos consumidores, na produção independente de energia, no sistema elétrico de potência, enfim na sociedade como um todo.

A cadeia produtiva de frango de corte é caracterizada por uma sucessão de operações unitárias de transformação, que se ligam por meio de um encadeamento técnico que depende do projeto e da tecnologia empregada. A unidade de processamento de carne (abatedouro/frigorífico) é predominante no processo de industrialização, sendo o elo principal da cadeia produtiva e responsável por coordenar grande parte do seu funcionamento. Por meio dos contratos de integração, o abatedouro, entrega aos produtores os pintinhos de um dia e a ração. Fornece a assistência técnica, determina a data para buscar os frangos para o abate e remunera os criadores. Desta forma, existe a redução de custos da atividade, compatibilização da produção com a

capacidade de abate e planejamento para a expansão de acordo com o mercado (MARTINS, 1999; MICHEL e GORDIN, 2004).

Em frigoríficos de abate de frangos há a necessidade de grandes volumes de ar e água a baixas temperaturas bem como de vapor para aquecimento de água que é utilizada em diversas etapas do processamento. As baixas temperaturas são requeridas para refrigeração de ambientes (10° C), para o resfriamento da água de higienização (4 a 5°C), câmaras de estocagem dos frangos (-30°C) e nos túneis de congelamento atuando sobre as carcaças dos frangos (-35°C a -40°C).

As linhas de abate de frangos de corte são automatizadas, o que as diferencia do abate de bovinos e suínos. O processo de industrialização do frango é dividido em etapas. A seguir são apresentadas as seções do processamento do frango:

### **1) Manejo e Pré Abate**

Constitui-se de atividades que preparam as aves para o abate. Consiste no jejum e dieta hídrica, apanha, transporte e espera na plataforma das aves. A qualidade da carne e as perdas da carcaça dependem diretamente do manejo e pré-abate.

### **2) Recepção das Aves**

As aves são recepcionadas no abatedouro em plataformas que devem ser um ambiente protegido do sol e da chuva. Os ventiladores e nebulizadores são utilizados no verão para o conforto térmico das aves. Os caminhões de transporte chegam à plataforma e aguardam o horário para descarregar. Retiram-se as gaiolas do caminhão colocando-as em esteiras transportadoras que as conduzem até a seção de pendura. Neste ponto as aves são penduradas pelos pés através de um gancho em transportadores aéreos (chamados nórias de sangria).

### **3) Insensibilização**

A insensibilização é o que torna a sangria e a depenagem satisfatórias. O choque não deve matar a ave, apenas atordoá-la, para facilitar a operação de sangria. O choque não deve ser muito forte pois dessa maneira a ave morrerá prejudicando o processo de sangria. A tensão deve variar entre 50 e 100 volts,

a frequência fica em torno de 1.000 Hz e a corrente está entre 70 e 105 mA. Os objetivos do atordoamento elétrico são:

- i) Promoção de um tratamento menos doloroso para os animais;
- ii) Redução das fraturas no processamento; e
- iii) Melhoria da qualidade da carcaça, por meio de uma sangria mais efetiva.

#### **4) Sangria**

Com um atordoamento adequado, a operação da sangria é eficiente. A operação de sangria pode ser mecânica ou manual. Recomenda-se um tempo de sangria de 100 a 120 segundos.

#### **5) Escaldagem**

O escaldamento é feito para a depenar a ave. A escaldagem pode ser por imersão ou pulverização. No escaldamento por imersão, as aves são mergulhadas em tanques de água quente com agitação. O aquecimento da água é feito com vapor sob pressão e sua temperatura fica entre 57 e 63°C.

#### **6) Depenagem**

A depenagem é feita em máquinas chamadas depenadeiras que removem as penas sem prejudicar a carcaça. O processo dura aproximadamente 60 segundos. Após a depenagem as aves passam por chuveiros de higienização.

#### **7) Evisceração**

No processo de evisceração a cabeça, vísceras, papo, pés e pulmões da ave são removidos. Os miúdos são coletados nesta operação, havendo a limpeza da moela, coração e fígado. Uma boa evisceração implica em maior qualidade e durabilidade da carcaça. Todo o processo é semi-automatizado com a participação de trabalhadores e de sistemas de esteiras transportadoras de produtos. Ao final do processo a carcaça passa por um chuveiro com água pressurizada.

#### **8) Pré-Resfriamento**

Após ser abatida, o calor da ave é retirado por meio do processo de pré-resfriamento. O método mais comum de pré-resfriamento das aves é a imersão

das carcaças em tanques com água fria. O pré-resfriamento visa inibir e retardar o crescimento de bactérias.

### **9) Corte**

A sala de corte do frigorífico é climatizada, sendo que a temperatura fica em torno de 10 a 12°C. Nesta operação são separadas a sambiquira, o dorso superior e inferior das aves, as coxas e sobrecoxas. A seguir as asas, peito com osso e pele, dorso e coxas seguem para seus processamentos específicos através de esteiras.

### **10) Embalagem Primária**

Nesta etapa os cortes são embalados utilizando-se equipamentos de embalagem a vácuo, que removem o ar de dentro das embalagens vedando as mesmas em seguida. As embalagens primárias são conduzidas então à próxima etapa que é o congelamento.

### **11) Congelamento**

O produto é resfriado através de túneis de congelamento até a temperatura desejada.

### **12) Embalagem Secundária**

O produto é embalado em caixas de papelão que são envoltas em filme plástico transparente. O produto é então levado para câmaras de estocagem para ser expedido.

### **13) Expedição**

Retira-se o produto das câmaras de estocagem e levado até os veículos de transporte que o conduzirão à comercialização.

A automação do processo de industrialização do frango implica que a energia elétrica é utilizada em todas as etapas do processamento da carne. Os motores elétricos são os equipamentos que mais gastam energia em um abatedouro. É importante destacar que cerca de 70% da energia elétrica em frigoríficos são consumidos em motores dos compressores para sistema de refrigeração. Portanto, propor soluções baseadas no uso racional e

conservação da energia é fundamental para a diminuição de custos e aumento da competitividade da atividade (BUENO et al., 2007).

O grande gargalo energético do processamento de frango está na etapa de refrigeração. Os sistemas de geração de frio num frigorífico se destinam à produzir frio a partir de um fluido à baixa temperatura que é utilizada para remoção de calor de produtos e processos. Dentre os equipamentos responsáveis pela geração de frio podem-se citar os compressores, os condensadores, e os dispositivos de expansão; e no caso de sistemas indiretos, os evaporadores destinados ao resfriamento de água, salmoura, propileno glicol etc.

Os sistemas de distribuição se responsabilizam pelo transporte e a distribuição do fluido à baixa temperatura aos locais em que são utilizados. A distribuição do fluido refrigerante se dá através de tubulações que chegam aos evaporadores onde a retirada de calor do produto ou processo ocorre.

Nos sistemas de armazenagem os produtos são mantidos à baixas temperaturas (câmaras frigoríficas). Minimizar as fontes de calor nos sistemas de armazenagem é importante pois implica na redução da quantidade de fluido refrigerante e no consumo de energia (BUENO, 2008).

A cadeia produtiva de frango de corte possui um grande potencial para a geração de energia que é a cama de frango. Composta pela mistura de excrementos, substrato (maravalha, palha de arroz, café, amendoim etc), restos de ração, penas e descamações da pele das aves. Por meio do processo de biodigestão anaeróbia, a cama de frango se transforma em biogás que pode ser utilizado na cogeração/trigeração, ou seja, a produção simultânea de energia elétrica e energia térmica (calor residual e frio).

Na cogeração alcança-se até 80% de aproveitamento da energia contida no combustível. Os sistemas tradicionais de produção de energia elétrica, como as centrais termelétricas e as centrais nucleares, têm uma eficiência média da ordem de 37%, isto quer dizer que apenas 37% da energia total consumida é convertida em energia elétrica (SANTANA et al., 2004).

As Figuras 4.1 e 4.2 a seguir mostram a produção de energia sem cogeração e com cogeração.

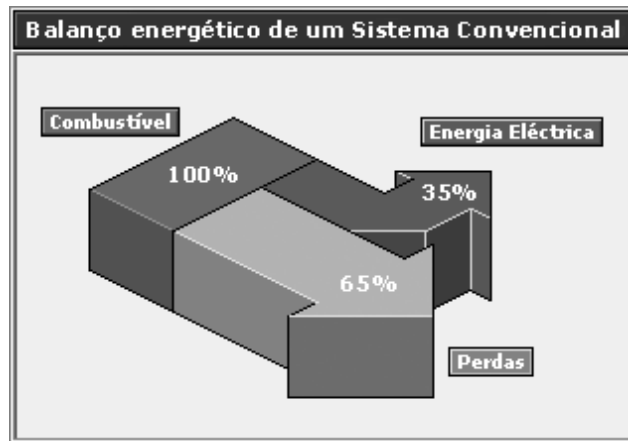


Figura 4.1 – Produção de energia elétrica sem cogeração.

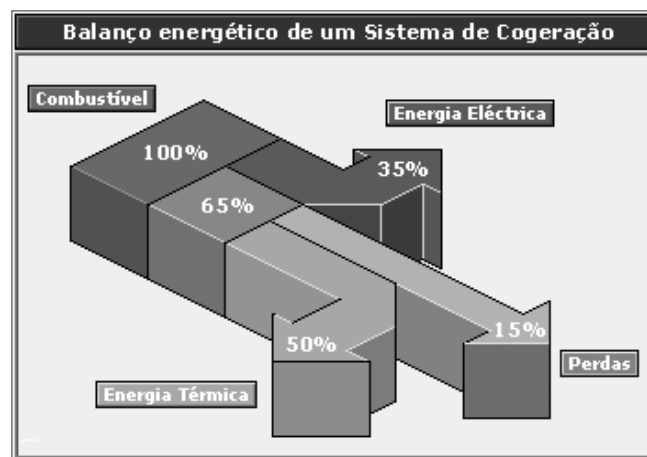


Figura 4.2 – Produção de energia com cogeração.

O calor residual deve ser usado próximo do equipamento gerador de energia elétrica para se evitar perdas, isso é um limitante das instalações de cogeração.

A Europa possui uma potência de cogeração da ordem de 85 GW. Em 2020, espera-se que a produção de energia por cogeração atinja a marca de 180 GW de potência. O conceito da matriz energética europeia é muito antigo, mas com a evolução da tecnologia de turbinas e motores, a cogeração tem sido adotada em indústrias. Em países como a Holanda e a Finlândia, a cogeração representa mais de 40% da potência instalada.

Nos Estados Unidos, a partir dos blecautes que ocorreram em Nova Iorque e na Califórnia em 2003, a potência instalada a partir da cogeração cresceu em todas as regiões do país. Na América Central, a cogeração passou

a ser empregada a partir do anos 90 em processos industriais da cervejaria (GABRIEL FILHO, et al., 2007).

No Brasil, a primeira planta de cogeração foi a de um shopping center no Rio de Janeiro no início dos anos 90. Essa planta, utilizando uma turbina, tinha a capacidade de gerar 780 kW e 220 TR (toneladas de refrigeração). O pioneiro da área industrial foi o setor de cervejaria. Com o apagão de 2001, a crise de geração de energia elétrica devido à falta de investimento no setor, houve o racionamento de energia com o conseqüente desaquecimento da economia, aumento do desemprego, etc. Esses fatores levaram à elaboração de estudos para instalar plantas de cogeração com vistas a diversificar a matriz energética brasileira. A disponibilidade de gás natural fez da cogeração uma solução viável para enfrentar a escassez de energia.

A Figura 4.3 mostra a porcentagem da cogeração nas matrizes energéticas de alguns países.

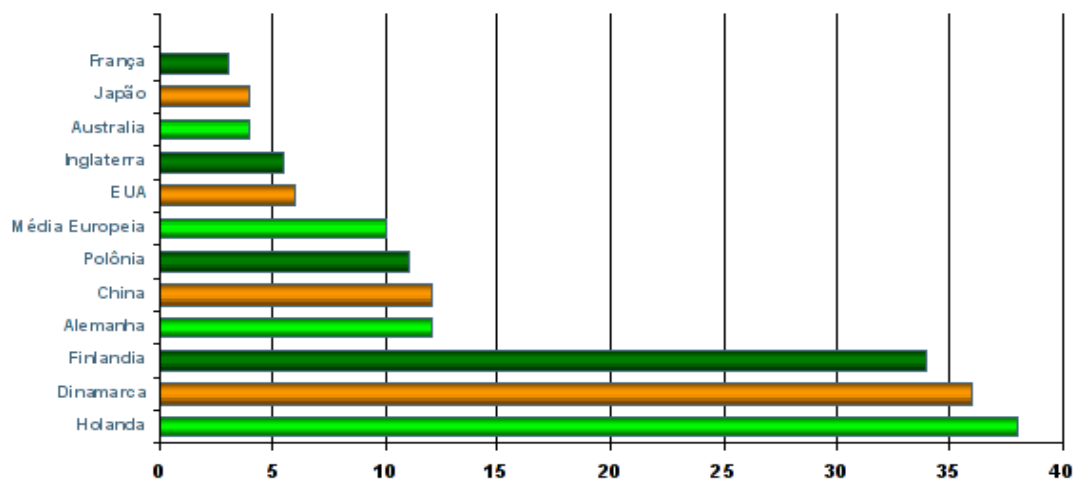


Figura 4.3 – Cogeração no mundo.

Fonte: (COGENRIO , 2006)

Como pode ser visto a partir da Figura 4.2, cerca de 50% da energia envolvida no processo de cogeração é transformada em energia térmica (calor residual). Esse calor pode ser empregado num sistema de refrigeração por absorção de amônia, que poderia atender as demandas do frigorífico.

O aproveitamento do calor residual da cogeração para produzir frio caracteriza o processo da trigeração. Esse processo é importante para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases do efeito estufa, uma vez que com uma maior taxa de conversão de energia há menores

emissões de poluentes.

Foi o francês Ferdinand Carré quem inventou o ciclo de refrigeração por absorção, em 1860. O sistema foi utilizado pela primeira vez na Guerra de Secessão dos Estados Unidos, para fabricação de gelo. O ciclo de absorção se assemelha ao ciclo de compressão de vapor. Os ciclos de refrigeração operam com condensador, válvula de expansão e evaporador, com o vapor de baixa pressão do evaporador sendo transformado em vapor de alta pressão e repassado ao condensador. No sistema de refrigeração por compressão de vapor, um compressor é usado para realizar essa tarefa. Já no sistema de refrigeração por absorção, primeiramente o vapor de baixa pressão é absorvido em um líquido absorvente apropriado. O vapor é convertido em líquido, e como ocorre na condensação, o calor é rejeitado durante o processo. A seguir a pressão do líquido é elevada por uma bomba sendo finalmente o vapor do líquido absorvente liberado por adição de calor (STOECKER e JONES, 1985).

A Figura 4.4, a seguir, mostra a transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão num sistema de refrigeração.

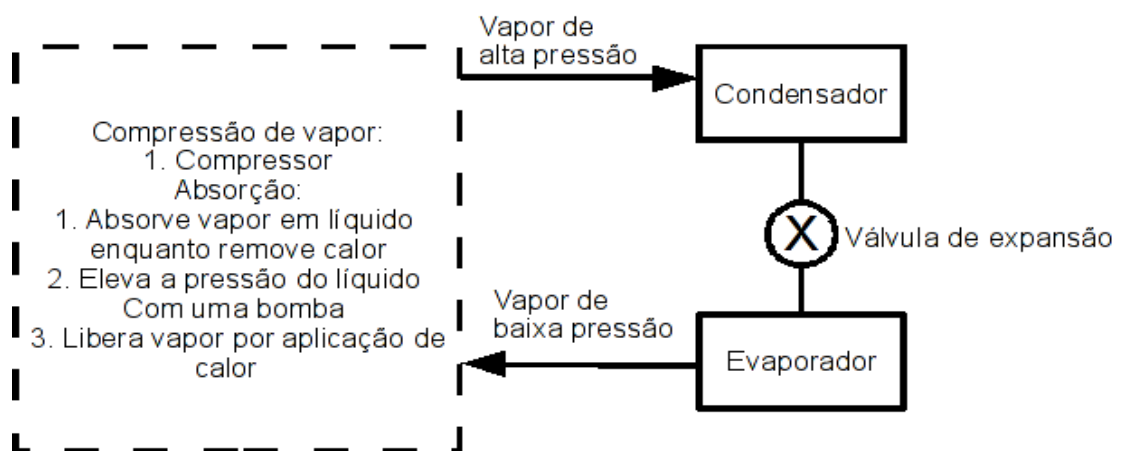


Figura 4.4 – Sistema de refrigeração - transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão.

Fonte: (SILVEIRA e GOUVÊA, 2004).

O sistema de refrigeração por compressão de vapor é descrito com frequência como ciclo que opera a trabalho, uma vez que a pressão do fluido refrigerante é obtida por um compressor que requer a realização de trabalho. O sistema de refrigeração por refrigeração é descrito como um sistema que opera a calor, já que a maior parte do custo de operação se deve ao fornecimento de calor para a liberação do vapor do líquido de alta pressão. Neste caso, algum

trabalho é requerido para o acionamento da bomba no ciclo de absorção, mas numa quantidade mínima se comparada ao trabalho necessário para o ciclo de compressão de vapor.

Em um sistema de refrigeração por absorção os equipamentos são máquinas que produzem refrigeração ou energia térmica operando com um dos princípios mais básicos da refrigeração. Utiliza-se um absorvente como fluido secundário para absorver um fluido primário, que é vaporizado. No processo de evaporação há a absorção de calor (por exemplo da água), ocorrendo a refrigeração.

Na Figura 4.5 é apresentado esquema de um sistema típico de refrigeração por absorção em que é utilizada uma solução de amônia e água.

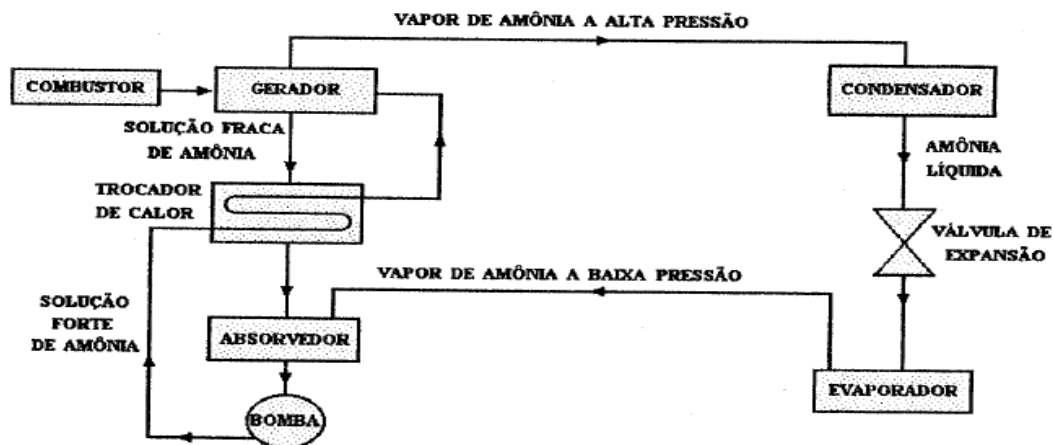


Figura 4.5 – Diagrama de um sistema de refrigeração típico utilizando amônia e água.

Fonte: (SILVEIRA e GOUVÊA, 2004).

Utilizam-se em geral equipamentos de absorção por amônia e água em grandes aplicações industriais. Nestes casos a amônia é usada como fluido refrigerante e a água como líquido absorvente. As máquinas que utilizam o sistema de refrigeração por absorção têm a vantagem de utilizar a energia térmica normalmente residual em lugar de energia elétrica. Uma máquina de absorção tem sua capacidade baseada no fluxo de calor disponível e nas temperaturas de entrada e saída do líquido que será aquecido ou resfriado normalmente a água. Geralmente, um sistema de refrigeração por absorção é constituído por um evaporador, um absorvedor, um condensador, um trocador de calor, uma bomba e outros equipamentos auxiliares. O absorvedor e o

evaporador ocupam uma única carcaça na parte inferior do sistema. O gerador e o condensador ficam na parte superior em outra carcaça (MUHLE, 2009).

Do evaporador sai vapor de amônia a baixa pressão que entra no absorvedor onde é absorvida por uma solução fraca de amônia, com isso a solução fica forte. Essa solução é bombeada através de um trocador de calor sendo levada até o gerador, sendo mantida a alta pressão e temperatura. Ocorre então a separação do vapor de amônia da solução, devido à transferência de calor dos gases do combustor. O vapor de amônia chega então ao condensador, dirigindo-se o condensado para a válvula de expansão e em seguida para o evaporador, onde se evapora e retorna ao absorvedor. Finalmente a solução fraca de amônia oriunda do gerador, retorna ao absorvedor pelo trocador de calor e o ciclo é reiniciado (FELAMINGO, 2007).

A amônia ( $\text{NH}_3$ ) é por suas características um refrigerante industrial de excelente qualidade. As grandes instalações de refrigeração espalhadas ao redor do mundo operam com a amônia. Dentre suas vantagens pode-se destacar (KRUSE et al, 1995):

- i) Os potenciais de destruição da camada de ozônio e de aquecimento global (efeito estufa) são iguais a zero. Grandes quantidades de amônia são produzidas diariamente pelos seres vivos em perfeito equilíbrio com a natureza, isto faz com que a amônia seja um refrigerante ecológico;
- ii) Possui alta eficiência no ciclo de refrigeração. Devido ao fato de ter uma temperatura crítica elevada se comparada a outros refrigerantes halogenados e pequena capacidade térmica, o Coeficiente de Desempenho (COP) - quantidade de frio gerado (kW) para cada unidade de energia (calor) fornecida (kW) - é alto;
- iii) Os trocadores de calor de sistemas de refrigeração por absorção de amônia são de menor porte e mais baratos, uma vez que seus coeficientes de transferência de calor são elevados. Os coeficientes de transferência são cerca de quatro vezes maior o do refrigerante R-22 e coeficiente de ebulição é cerca de duas vezes o do R-22. Com isso a temperatura de evaporação é maior e a de condensação é menor o que contribui para diminuição do consumo de energia e um COP maior;
- iv) Considerando-se as propriedades termo-físicas da amônia, é possível utilizar tubos com diâmetros menores. Na linha de sucção, o diâmetro do

tubo pode ser até três vezes menor com amônia do que com R-502 e R-22 para a mesma capacidade de refrigeração;

- v) O peso da amônia (em kg) é cerca de quatro vezes menor que o R-502, seu volume está entre dez e quinze vezes mais baixo que o R-22 custando metade do preço deste;
- vi) Os vazamentos são facilmente detectados o que lhe confere um alto efeito de alerta. A amônia possui alta tolerância de contaminação por água, isto previne o congelamento da água no interior do sistema e a formação de gelo nas válvulas de expansão e demais dispositivos; e
- vii) Tem boa eficiência a baixas temperaturas (da ordem de  $-40^{\circ}\text{C}$ ) o que é fundamental nos túneis de congelamento das unidades de processamento de carne.

Em grandes instalações, em que o fator distância é importante, a amônia possibilita economia de recursos pelo seu baixo custo. Sendo grande a distância física entre a casa de máquinas, onde se encontra a unidade condensadora, e o local de uso final do frio é possível bombear a amônia.

Nas instalações comerciais com potências entre 50 a 200 cv e de pequeno porte com potências entre 5 e 50 cv, a amônia é muito pouco utilizada. Isto se deve aos problemas com segurança no seu uso. No entanto, atualmente, a amônia ganha interesse para aplicações de pequeno porte devido aos problemas ambientais decorrentes do uso de refrigerantes halogenados.

As desvantagens da amônia como fluido refrigerante são (KRUSE, et al, 1995):

- i) É praticamente insolúvel em óleos convencionais. Nos evaporadores inundados existe a separação do fluido refrigerante e o óleo e nos tanques de líquido antes dos condensadores tendo de ser drenado manualmente, na maioria das vezes. Nas grandes instalações o óleo retorna para o compressor automaticamente;
- ii) Possui incompatibilidade material com cobre e zinco, isso demanda procedimentos diferenciados na fabricação para os sistemas que usam amônia. Em vez de soldados, as tubulações não podem ter costuras; e
- iii) Os compressores de estágio simples só podem ser usados em

pequenas relações de pressão. Em relações de pressão mais altas utilizam-se compressores de duplo e triplo estágios.

O Quadro 4.1 a seguir apresenta algumas características de um sistema de refrigeração por absorção utilizando-se a amônia como absorvente.

Quadro 4.1 – Características principais do sistema por absorção de amônia

Parâmetros	NH <sub>3</sub> – absorção
Efeito (Estágio)	Simplex
Capacidade de refrigeração (kW)	20 - 2500
COP térmico	0,6 – 0,7
Temperatura ( °C )	120 - 132
Custo da máquina (US\$ TR <sup>-1</sup> )	1760 - 2640

Pode-se destacar dentre as vantagens deste sistema:

- i) O sistema de refrigeração por absorção é termoquímico, não há componentes móveis além das bombas hidráulicas. A vida útil do sistema é longa (superior a vinte anos) e a manutenção é mínima;
- ii) O fluido refrigerante utilizado é a amônia. Nenhuma substância nociva ao ambiente como os clorofluorcarbonetos é usada;
- iii) O consumo de energia elétrica do sistema é cerca de 10% do consumo de um sistema de refrigeração por compressão mecânica, para tal em geral usa-se motores elétricos. Isso contribui significativamente para reduzir a conta de energia elétrica; e
- iv) O biogás obtido da cama de frango é a principal fonte de energia térmica para o sistema.

A desvantagem do sistema é o menor rendimento energético (Coeficiente de Desempenho – COP), em relação aos sistemas de refrigeração por compressão. Vale ressaltar que o sistema tem como fonte térmica o calor de rejeito a temperaturas menores que as utilizadas para geração de energia elétrica. Para os sistemas de absorção por amônia os COP's (estágio simples) se apresentam entre 0,6 a 0,7, enquanto nos sistemas de compressão esse valor pode chegar a 6,0. Outra desvantagem reside no fato dos sistemas de

absorção serem entre 1,5 e 2,5 vezes mais caros que os sistemas convencionais (compressão elétrica). Em geral o tempo de retorno do investimento em sistemas de absorção é entre 1 a 3 anos dependendo da forma de investimento.

A utilização de um sistema híbrido, ou seja, a integração entre um sistema de compressão elétrico (base) e um sistema de absorção (períodos de ponta) pode representar uma alternativa energética para a geração de frio na unidade de processamento de frango de corte (GUNNES e ELLIS, 2003).

Os mais de 778 galpões que compõem o pólo de produção de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais se distribuem em 34 municípios da região recebem caminhões que chegam às propriedades carregados de insumos e retornam vazios. Propõe-se neste trabalho a realização de estudo sobre a utilização de biogás proveniente da cama de frango para atender as demandas energéticas da unidade de processamento de frango de corte.

## 4.2 OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho relatado neste capítulo foi propor soluções energéticas para unidade de processamento de frango de corte a partir do uso de biogás proveniente da cama de aviário. Os objetivos específicos foram: (i) fazer levantamento das cargas elétricas e térmicas do frigorífico; (ii) estimar a potência elétrica produzida a partir da cama de frango da cadeia produtiva utilizando o método de conversão turbinas a gás; (iii) estimar a produção de frio utilizando sistema de refrigeração por absorção; (iv) verificar a possibilidade do empreendimento se tornar um produtor independente de energia; e (v) realizar análise econômica de vida útil das opções estudadas.

### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado por meio da coleta de dados na unidade de processamento de carne localizada no município de Visconde do Rio Branco, Minas Gerais e nos Laboratórios de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

A capacidade de abate do frigorífico é em média cento e cinquenta e nove mil e quinhentos frangos por dia. O regime de trabalho é três turnos diários.

O levantamento das cargas elétricas (motores do sistema de compressão, iluminação etc) e cargas térmicas (vapor para limpeza, vapor usado no processamento do frango) foi feito por meio de visita ao frigorífico e entrevista com o responsável pelo departamento de energia da unidade.

O Quadro 4.2 mostra a potência elétrica instalada em toda a granja considerando seu uso final.

Quadro 4.2 – Potência elétrica instalada no frigorífico por local

Local	Potência Instalada (kW)
Sala de frango desfiado	16,53
Sala do CMS (Carne Mecanicamente Separada)	94,49
Sala dos Chillers	25,91
Embalagem Secundária de Miúdos	1,24
Sala de Moelas	2,99
Sala de Miúdos	12,60
Sala de Pezinho	2,49
Antiga Paletização	1,54
Sala de Preparação do IQF (Túnel de Congelamento Rápido Individual)	20,86
Sala de Saída de Caixas do Túnel Contínuo	22,10

Quadro 4.2 – Potência elétrica instalada no frigorífico por local (Continuação)

Local	Potência Instalada (kW)
Sala de Cortes 1 (exportação)	4,83
Embalagem Secundária de Cortes 1 (Exportação)	14,74
Corredor de Circulação Principal (entrada-balança)	5,23
Sala de Cortes 2	113,22
Embalagem Secundária de Cortes 2	6,23
Sala de Frango Inteiro/Espetinho	34,25
Sala de Frango a Passarinho IQF	6,37
Sala de Embalagem de CMS	1,69
Corredor de Circulação em Frente à Sala de Tempero	0,44
Corredor de Expedição Antiga (em frente às câmaras)	5,21
Sala de Embalagem de Salsicha	91,60
Sala de Hamburger	57,69
Sala de Preparação de Massa	210,65
Expedição Nova	22,58
Corredor entre o CMS e o Hamburger	2,28
Sala de Injeção de temperos (desfiados)	42,20
Sala de Embutimento	36,91
Sala das Descascadeiras de Salsicha	10,74
Corredor da Expedição Nova	4,95
Salão da Expedição Antiga	12,06
Embalagem de IQF	17,42
Antecâmara dos Túneis Estáticos	3,25
Antecâmara Cortes Filé	1,76
TCH	45,90
Túnel do IQF	26,66
Túnel Helicoidal de Salsicha	30,80
Túnel Contínuo	215,04
Túnel Estático 1	22,08
Túnel Estático 2	22,08
Túnel Estático 3	18,40
Túnel Estático 4	18,40
Túnel Estático 5	18,40
Câmara de Resfriados	22,80

Quadro 4.2 – Potência elétrica instalada no frigorífico por local (Continuação)

Local	Potência Instalada (kW)
Câmara de Congelados	44,12
Câmara de Estocagem 1	4,91
Câmara de Estocagem 2	4,91
Câmara de Estocagem 3	13,74
Câmara e Estocagem 4	19,90
Câmara de Estocagem 5	19,90
Câmara de Estocagem 6	4,90
Estufa Maurer 1	36,80
Estufa Maurer 2	36,80
Lagoa Resfriamento	6,98
Reciclagem de Papel	19,94
ETE – Estação Tratamento de Esgoto	25,76
Manutenção	12,94
Refeitório	76,58
Lavanderia/Vestiário	77,32
Almoxarifado de Caixa	20,46
ETA (Estação de Tratamento de Água)	112,76
Compressor	85,08
Poços Artesianos	13,24
Descanso de Aves 1	1,84
Descanso de Aves 2	2,21
Recepção de Aves	40,98
Depenagem	83,03
Evisceração	63,22
Fábrica de Gelo	37,40
Sala de Máquinas	3.135,28
Lavagem de Bandejas	17,73
Esteira	12,54
Tomadas do Pátio da Expedição	116,80
Caldeira Biochan	112,59
Caldeira	39,91
Subprodutos	646,81
Balança Dinâmica	0,33
Sala de Balanças	8,39

Quadro 4.2 – Potência elétrica instalada no frigorífico por local (Continuação)

Local	Potência Instalada (kW)
Sala de Carimbos	0,42
Iluminação Externa	20,38
Lavador de Caminhões	4,40
Higienização	26,12
Portão Automático	2,20
Áreas de lazer	3,90
Banheiro de expedição	13,36
Banheiro abate	33,72
<b>Total</b>	<b>6.408,21</b>

A Figura 4.6 a seguir mostra o consumo de energia elétrica em MWh/mês nos primeiros sete meses do ano de 2009.

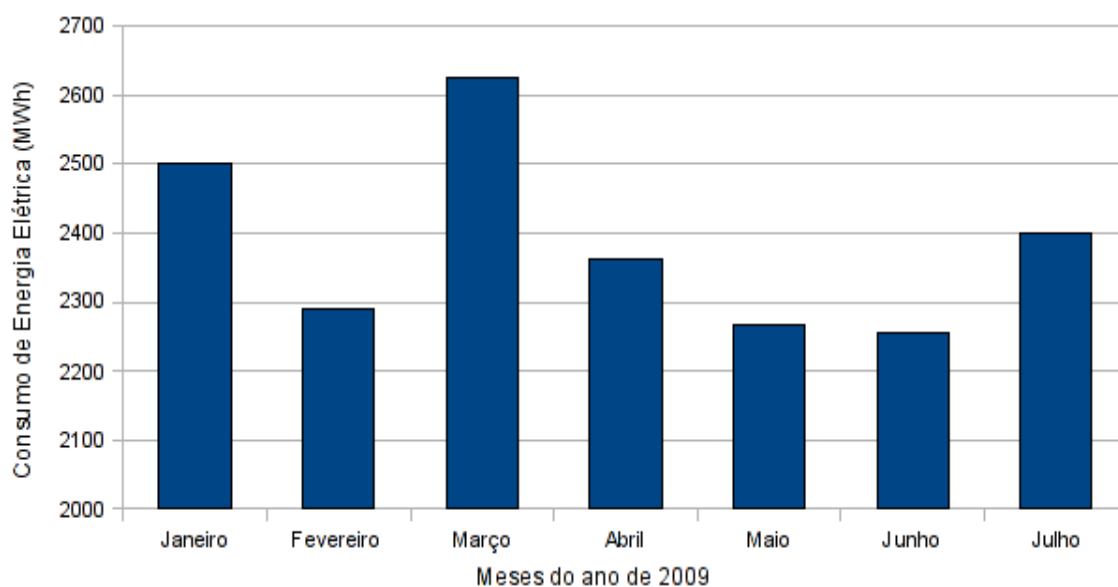


Figura 4.6 – Consumo de energia elétrica no frigorífico.

O consumo mensal médio de energia elétrica no frigorífico é de 2385,43 MWh, no período de janeiro a julho de 2009.

### **Cálculo do potencial de produção de biogás da cadeia produtiva de frango de corte**

Os 778 galpões, que fazem parte do sistema de integração que abastece a unidade de processamento de carne de frango, geram um total de 146.114.235,00 kg ano<sup>-1</sup> de cama de frango, a quantidade de matéria seca é de

112.507.960,95 kg ano<sup>-1</sup>, o potencial de produção de biogás (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>), considerando-se os valores obtidos por Mahadevaswamy e Venkataraman (1986), é dado pela equação 4.1.

$$P_b = \frac{M_{scf} \cdot 0,54 \cdot m^3 \text{ de biogás}}{(\text{kg de matéria seca})} \quad (4.1)$$

em que

$P_b$  – Produção de biogás por ano, m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>; e

$M_{scf}$  – Matéria seca da cama de frango, kg ano<sup>-1</sup>.

### **Cálculo da potência elétrica produzida a partir de turbina a gás**

Para o cálculo da potência elétrica obtida a partir do biogás utilizando turbina a gás considerou-se a concentração de metano (CH<sub>4</sub>) de 62%, o poder calorífico inferior do biogás igual a 22.600 kJ.(m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>. A equação 4.2 fornece a potência elétrica disponível utilizando-se turbina a gás com rendimento de 33%.

$$P_{tur} = PCI \cdot B_{restante} \cdot \eta_{tur} \quad (4.2)$$

em que

$P_{tur}$  – Potência elétrica gerada por turbina a gás, kW;

$PCI$  – Poder calorífico inferior do biogás, kJ m<sup>-3</sup>;

$P_b$  – Produção de Biogás, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>; e

$\eta_{tur}$  – Rendimento da turbina a gás, percentual, adimensional.

**Cálculo da energia elétrica produzida a partir das turbinas a gás** A equação 4.3 fornece a energia elétrica produzida utilizando-se turbina a gás com rendimento de 33%.

$$E_{tur} = PCI P_b \eta_{tur} \Delta t_{op} \cdot 0,001 \quad (4.3)$$

em que

- $E_{tur}$  – Energia elétrica gerada por turbina a gás, MWh ano<sup>-1</sup>;
- PCI – Poder calorífico inferior do biogás, kJ m<sup>-3</sup>;
- $P_b$  – Produção de biogás, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>;
- $\eta_{tur}$  – Rendimento da turbina a gás, percentual, adimensional; e
- $\Delta t_{op}$  – Tempo de operação da planta (termelétrica), h ano<sup>-1</sup>.

#### **Cálculo da quantidade de calor recuperado da geração de energia elétrica**

A equação 4.4 fornece a energia total produzida por ano a partir do biogás:

$$E_{ano} = PCI P_b \quad (4.4)$$

em que

- $E_{ano}$  – Energia total produzida a partir do biogás, kJ ano<sup>-1</sup>;
- PCI – Poder calorífico inferior do biogás, kJ m<sup>-3</sup>; e
- $P_b$  – Produção de biogás, m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>.

#### **Cálculo da potência e energia térmica do calor de rejeito**

Considerando-se o rendimento na geração de energia elétrica de uma turbina a gás igual a 33%, as perdas no processo igual a 15%, tem-se que o calor de rejeito corresponde a 52% da energia obtida a partir do biogás.

A equação 4.5 fornece a potência térmica do calor de rejeito do processo de geração de energia elétrica.

$$P_t = 0,52 PCI P_b \quad (4.5)$$

em que

- $P_t$  – Potência térmica produzida a partir do biogás, kW;
- PCI – Poder Calorífico Inferior do biogás, kJ m<sup>-3</sup>; e

$P_b$  – Produção de biogás,  $m^3 s^{-1}$ .

A energia térmica anual em KWh é dada pela equação 4.6.

$$E_{t\text{ kWh}} = P_t \Delta t_{op.} \quad (4.6)$$

em que

$E_{t\text{ kWh}}$  – Energia térmica produzida a partir do biogás,  $kWh_t$ ;

$P_t$  – Potência térmica,  $kW_t$ ; e

$\Delta t_{op.}$  – Tempo de operação, h.

O Quadro 4.3 mostra a comparação do consumo de energia dos sistemas de compressão mecânica e por absorção com as respectivas temperaturas de serviços ( $T_s$ ). Pode-se observar também as temperaturas mínimas da fonte de calor necessária para gerar a refrigeração.

Quadro 4.3 – Comparação da energia consumida nos sistemas de refrigeração por compressão e absorção para condensação a  $+35^\circ\text{C}$  em 1 hora, de 1.160 kW de refrigeração (329,8 TR)

$T_s(^{\circ}\text{C})$	Consumo de energia do compressor (kWh)	Consumo de calor da instalação de absorção em (kJ x 1000)	Temperatura mínima do calor disponível ( $^{\circ}\text{C}$ )	Consumo de energia da bomba de solução (kWh)
0	229	6997,2	107	18
-10	306	7812,42	120	21
-35	526	11831,4	162	31

Fonte: (CORTEZ, 1998).

Com base no Quadro 4.3 foi calculada a relação entre energia térmica e a capacidade frigorífica.

Considerando-se que a refrigeração corresponde a aproximadamente 70% da demanda de energia elétrica do frigorífico, calculou-se o potencial de geração de frio com calor residual dado pela equação 4.7.

$$P_{frio} = \frac{P_t}{R} \quad (4.7)$$

em que

- $P_{\text{frio}}$  – Potencial de geração de frio,  $\text{kW}_t$  ;  
 $P_t$  – Potência térmica,  $\text{kW}_t$  ; e  
 $R$  – Relação entre energia térmica e capacidade frigorífica, adimensional.

O potencial de geração de frio em toneladas de refrigeração (TR) é dado pela equação 4.8.

$$P_{\text{frio TR}} = \frac{P_{\text{frio}}}{3,5168} \quad (4.8)$$

em que

$P_{\text{frio TR}}$  – Potencial de geração de frio, TR; e

$P_{\text{frio}}$  – Potência térmica,  $\text{kW}_t$  .

Tonelada de Refrigeração é a quantidade de calor necessária para derreter uma tonelada de gelo em 24 horas, sendo  $1 \text{ TR} = 3,516 \text{ kW}$ .

### Análise Econômica

Foi realizada análise avaliando a viabilidade econômica da produção de energia elétrica a partir do biogás para a unidade de processamento de frango de corte (frigorífico) utilizando-se os seguintes parâmetros de comparação, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Tempo de Retorno de Capital (TRC).

### Valor Presente Líquido – VPL

O Valor Presente Líquido compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa na taxa de juros  $k$  que mede o custo de capital (LAPPONI, 1996). A expressão geral do VPL do projeto de investimento é dada pela equação 4.9.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+k)^t} + \frac{Q}{(1+k)^t} \quad (4.9)$$

em que

VPL	-	valor presente líquido, R\$;
I	-	Investimento de capital inicial, R\$;
R <sub>t</sub>	-	Retornos depois de descontados os impostos, R\$;
n	-	prazo da análise do projeto ou vida útil, ano;
k	-	taxa de juros, adimensional; e
Q	-	valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$.

Portanto, o critério do método do VPL estabelece que, enquanto o valor presente das entradas for maior que o valor presente das saídas, que foi calculada com a taxa de juros  $k$  que mede o custo de capital, o projeto deve ser aceito. Resumindo, sempre que: (i)  $VPL > 0$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $VPL = 0$ , é indiferente aceitar ou não, e (iii)  $VPL < 0$ , o projeto não deve ser aceito.

#### Taxa Interna de Retorno –TIR

É a taxa de juros que anula o VPL, isto é, que torna  $VPL = 0$ . Como a soma de todos os capitais na data inicial do projeto de investimento deve ser igual a zero, impõe-se essa condição na fórmula do VPL do projeto (LAPPONI, 1996). A equação 4.10 apresenta o cálculo da TIR.

$$VPL = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1 + TIR)^t} + \frac{Q}{(1 + TIR)^n} \quad (4.10)$$

em que

- TIR - Taxa interna de retorno, adimensional;
- VPL - Valor presente líquido, R\$
- I - Investimento de capital inicial, R\$;
- R<sub>t</sub> - Retornos depois de descontados os impostos, R\$;

O critério do método da taxa interna de retorno estabelece que enquanto o valor da TIR for maior que o valor do custo de capital  $k$ , o projeto deve ser aceito, isto é, sempre que: (i)  $TIR > k$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $TIR = k$ , é indiferente aceitar ou não, e (iii)  $TIR < k$ , o projeto não deve ser aceito.

## Taxa de Retorno do capital –TRC

É o período de tempo necessário para que o investimento inicial aplicado seja recuperado. O tempo de retorno do capital pode ser calculado considerando a renda anual não descontada, pela equação 4.11.

$$TRC = \frac{C_i}{R_a} \quad (4.11)$$

em que

$C_i$  - Capital inicial, R\$; e

$R_a$  - Renda anual não descontada, R\$.

O critério do método do tempo de retorno de capital estabelece que: (i)  $TRC >$  vida útil do projeto, o projeto não deve ser aceito; (ii)  $TRC =$  vida útil do projeto, é indiferente aceitar ou não, e (iii)  $TRC <$  vida útil do projeto, o projeto deve ser aceito.

O Quadro 4.4 apresenta os dados de entrada para análise de viabilidade econômica do uso de biogás para a geração de energia elétrica por meio de uma termelétrica localizada ao lado do frigorífico.

Quadro 4.4 - Dados de entrada para análise de viabilidade econômica do uso de biogás para a geração de energia elétrica por meio de termelétrica localizada ao lado do frigorífico

Equipamentos	Quant.	Unidade	Preço unitário	Preço total
Câmaras de captura de condensado, auto escoamento	141	und	8.000	1.128.000,00
Buracos para o condensado com bombeamento	18	und	19.500	351.000,00
Válvula borboleta	354	und	80	28.320,00
Preço da termelétrica	11.755,54	US\$/kW	1.000	21.206.994,16
Teste de origem	1	und	25.000	25.000,00
Medição do biogás e equip. de registro	1	und	15.000	15.000,00
Construção da usina e trabalho no local	1	R\$		1.768.468,40
Interligação a rede da concessionária de energia elétrica	1	R\$	200.000	200.000,00
<b>Total dos gastos com a usina</b>				<b>24.722.782,56</b>

\* Os preços acima estão baseados no dólar comercial de venda do dia 24/09/2009 (1 US\$ = 1,8040 R\$).

O Quadro 4.5 mostra a síntese de investimentos necessários para a construção da termelétrica ao lado do frigorífico.

Quadro 4.5 - Síntese de investimentos necessários para a construção da termelétrica ao lado do frigorífico

Investimentos	Total
Custo total com a termelétrica	R\$ 24.722.782,56

Considerando-se os dados de entrada para análise de viabilidade econômica e a síntese de investimentos para a construção da termelétrica, foi elaborado um plano de empréstimo para o pagamento do investimento com uma taxa de juros de 12% ao ano.

Foi considerado que o investimento foi pago em parcelas iguais em valores descontados segundo a equação 4.12.

$$U = P \left[ \frac{i}{(1+i)^n + i} \right] \quad (4.12)$$

em que

U	-	Valor fixo das parcelas, R\$;
P	-	Valor presente, R\$;
i	-	Taxa de juros, adimensional; e
n	-	Número de períodos de capitalização, adimensional.

#### 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 4.6 apresenta os resultados para o potencial de produção de biogás, da potência elétrica e energia elétrica produzidas a partir de turbina a gás, do calor recuperado do processo de geração de energia elétrica e do equivalente de frio produzido em toneladas de refrigeração (TR).

Quadro 4.6 – Potencial de produção de biogás, potência e energia elétrica produzidas, calor recuperado dos gases de exaustão e toneladas de refrigeração obtidas

Item	Valores
Potencial de produção de biogás ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ )	60.754.298,91
Potência elétrica produzida turbinas a gás (kW)	14.367,88
Energia elétrica produzida turbina a gás ( $\text{MWh} \cdot \text{ano}^{-1}$ )	125.862,65
Energia elétrica produzida microturbina ( $\text{MWh} \cdot \text{mês}^{-1}$ )	10.488,55
Potência térmica recuperada do processo de geração de energia elétrica (kW)	22.640,04
Energia térmica recuperada do processo de geração de energia elétrica ( $\text{kWh}_t$ )	198.329.035

Considerando-se o consumo de energia de uma granja típica igual à  $2.428,06 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$ , que em toda a cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais existem 437,1 granjas típicas então o consumo total de energia de todas as propriedades é de  $1.061.305.03 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$  ( $1.061,31 \text{ MWh} \cdot \text{mês}^{-1}$ ).

O Quadro 4.7 apresenta o potencial de geração de frio para diferentes temperaturas de serviço.

Quadro 4.7 – Potencial de geração de frio para temperaturas de serviço de 0°C, -10°C e -35°C

Item	Valores
Temperatura de serviço, °C	0
Razão entre energia térmica e capacidade frigorífica, adm	1,67
Potencial de geração de frio, kW	13.557,10
Potencial de geração de frio, TR	3.854,94
Razão entre o consumo de energia elétrica para sistemas de absorção e sistemas de compressão, %	7,9
Temperatura de serviço, °C	-10
Razão entre energia térmica e capacidade frigorífica, adm	1,87
Potencial de geração de frio, kW	12.107,11
Potencial de geração de frio, TR	3.442,65
Razão entre o consumo de energia elétrica para sistemas de absorção e sistemas de compressão, %	6,9
Temperatura de serviço, °C	-35
Razão entre energia térmica e capacidade frigorífica, adm	2,82
Potencial de geração de frio, kW	8.028,48
Potencial de geração de frio, TR	2.282,89
Razão entre o consumo de energia elétrica para sistemas de absorção e sistemas de compressão, %	5,9

O potencial de geração de frio utilizando sistemas de refrigeração por absorção atende à demanda do frigorífico. Isso implica na diminuição do consumo de energia elétrica e economia de recursos no processamento de carne.

### **Análise Econômica**

Considerando os investimentos necessários para implantação da termelétrica, o Quadro 4.8 apresenta o plano de empréstimo para o pagamento do investimento total, considerando-se uma taxa de juros do empréstimo igual a 12% ao ano.

Quadro 4.8 – Plano de empréstimo para pagamento do investimento total, na implantação da termelétrica, considerando uma taxa de juros de empréstimo de 12% ao ano

Ano	Valor com juros a pagar	Parcelas	Valor a pagar sem juros
0	R\$ 24.722.782,56		
1	R\$ 27.689.516,47	R\$ 4.375.541,01	R\$ 23.313.975,46
2	R\$ 26.111.652,51	R\$ 4.375.541,01	R\$ 21.736.111,50
3	R\$ 24.344.444,88	R\$ 4.375.541,01	R\$ 19.968.903,87
4	R\$ 22.365.172,34	R\$ 4.375.541,01	R\$ 17.989.631,33
5	R\$ 20.148.387,09	R\$ 4.375.541,01	R\$ 15.772.846,08
6	R\$ 17.665.587,61	R\$ 4.375.541,01	R\$ 13.290.046,60
7	R\$ 14.884.852,19	R\$ 4.375.541,01	R\$ 10.509.311,18
8	R\$ 11.770.428,52	R\$ 4.375.541,01	R\$ 7.394.887,51
9	R\$ 8.282.274,01	R\$ 4.375.541,01	R\$ 3.906.733,00
10	R\$ 4.375.540,96	R\$ 4.375.541,01	-R\$ 0,05

De posse dos dados de entrada, foi feita a análise de vida útil para a construção da usina termelétrica localizada ao lado do frigorífico.

No Quadro 4.9 foi feita análise de vida útil considerando-se o potencial anual de geração e comercialização de toda a energia elétrica a 0,20 R\$.kWh<sup>-1</sup>, com a termelétrica operando 24 horas por dia. Foi considerada uma taxa de juros de 12% ao ano, a um custo de manutenção da usina termelétrica igual a 0,5% do custo total da construção da usina termelétrica ao ano e um período de 10 anos para a vida útil dos equipamentos.

Quadro 4.9 – Análise de vida útil para para a construção da usina termelétrica localizada ao lado do frigorífico, considerando-se a comercialização de toda a energia produzida pela termelétrica

Parâmetros de avaliação econômica	Valor
Valor presente líquido (VPL)	R\$ 116.809.156,00
Taxa interna de retorno (TIR)	101,20%
Tempo de retorno do capital (TRC)	1 ano

No Quadro 4.10 foi feita análise de vida útil considerando-se o custo evitado com energia elétrica no frigorífico e comercialização do excedente a 0,20 R\$.kWh<sup>-1</sup>, com a termelétrica operando 24 horas por dia. Foi considerada

uma taxa de juros de 12% ao ano, a um custo de manutenção da usina termelétrica igual a 0,5% do custo total da construção da usina termelétrica ao ano e um período de 10 anos para a vida útil dos equipamentos.

Quadro 4.10 – Análise de vida útil para para a construção da usina termelétrica localizada ao lado do frigorífico, considerando-se o custo evitado com energia elétrica do frigorífico e comercialização da energia excedente

Parâmetros de avaliação econômica	Valor
Valor presente líquido (VPL)	R\$ 130.587.687,68
Taxa interna de retorno (TIR)	111,1 %
Tempo de retorno do capital (TRC)	11 meses

No Quadro 4.11 foi feita análise de vida útil considerando-se o custo evitado com energia elétrica em toda a cadeia produtiva (frigorífico e granjas) e comercialização do excedente a 0,20 R\$.kWh<sup>-1</sup>, com a termelétrica operando 24 horas por dia. Foi considerada uma taxa de juros de 12% ao ano, a um custo de manutenção da usina termelétrica igual a 0,5% do custo total da construção da usina termelétrica ao ano e um período de 10 anos para a vida útil dos equipamentos.

Quadro 4.11 – Análise de vida útil para para a construção da usina termelétrica localizada ao lado do frigorífico, considerando-se o custo evitado com energia elétrica em toda cadeia produtiva de frango de corte e comercialização da energia excedente

Parâmetros de avaliação econômica	Valor
Valor presente líquido (VPL)	R\$ 106.889.014,90
Taxa interna de retorno (TIR)	94,10%
Tempo de retorno do capital (TRC)	11 meses

## 4.5 CONCLUSÃO

O uso do biogás proveniente da cama de frango se mostra viável do ponto de vista energético para suprir a unidade de processamento de carne. A energia elétrica produzida é capaz de suprir as demandas do frigorífico e de todas as propriedades da cadeia produtiva havendo uma sobra de aproximadamente 5.140 MWh mensais. Essa sobra de energia leva em conta o uso de compressores elétricos. Adotando-se sistema de refrigeração por absorção o potencial de geração de frio pode atingir 3.854,94 TR para temperatura de serviço de 0°C, 3.442,65 TR para temperatura de serviço de – 10°C e 2.282,89 TR para temperatura de serviço de -35°C. Por meio de análise de vida útil verificou-se parâmetros econômicos que avalizam o empreendimento da termelétrica. Concluiu-se que o frigorífico pode ser um produtor independente de energia (PIE) podendo vender esse excedente para as concessionárias de energia ou negociá-lo na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Essa possibilidade se mostra um incremento para a cadeia produtiva de frango de corte na região o que compensaria a falta regional de matérias-primas para a atividade tornando a mesma mais competitiva.

#### 4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME) - **Plano Nacional de Energia, 2030**, 2005 [www.mme.gov.br/](http://www.mme.gov.br/) Data da consulta: 08/2009
- BUENO, M. P., ARAÚJO, G. C., FRATA, A.M., SPROESSER, R. L., SAUER, L. **Gestão da Qualidade nos Frigoríficos de Abate e Processamento de Frangos em Mato Grosso do Sul**, XLV CONGRESSO DA SOBER (Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural), Londrina, Julho de 2007.
- BUENO, L. G. F. **Diagnóstico do uso de energia elétrica de um frigorífico de frangos de corte enfatizando medidas de eficiência energética**, Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2008.
- CONGENRIO, **A cogeração no segmento têxtil**, 2006. Disponível em: [www.congenrio.com.br](http://www.congenrio.com.br). Data da Consulta: 05/2009
- CORTEZ, L. A. B. **Estudos técnicos e economia de energia em refrigeração – aplicações da amônia**, Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 1998. 526 p.
- FELAMINGO, J. C. **Produzindo Frio Através de Calor de Compressão e de Gases de Descarga de Caldeira**, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.3, n.4, p. 36-39, abr.-jun. 2007
- GABRIEL FILHO, L. R. A., CREMASCO, C. P., CATANEO, A., SERAPHIM, O. **J. Estudo Teórico sobre Cogeração de Energia seus Equipamentos e Ciclos**, Fórum Ambiental da Alta Paulista, Volume III, Ano 2007.
- GUNES, M.B., ELLIS, M.W. **Evaluation of Energy, Environmental, and Econ Charact of FCCHP Systems for Resid Applications**, J of Ener Res Tech, 125, 208-220, 2003.

- KRUSE, H., ENKERMANN, T. H., BURKE, M. **Application of Ammonia in Commercial Systems – New Secondary Fluids for Low Temperature Application and Ammonia Frontiers in Small Capacity Applications.** Institute of Refrigeration, university of Hannover, Welfengarten 1a, D – 30167, Hannover, Alemanha, 12 p., 1995.
- LAPPONI, J. C. (ed), **Avaliação de projetos e investimento: modelos em Excel.** São Paulo: Laponi Treinamento e Editora Ltda, 1996, 264 p.
- MAHADEVASWAMY, M.; VENKATARAMAN, L. V. **Bioconversion of poultry dorppings for biogas and algal production.** Agricultural Wastes, v. 18, n. 2, p.93-101, 1986.
- MARTINS, S. S. Informações Econômicas, São Paulo: junho 1999, v. 29 (Mecanismos de coordenação nas cadeias produtivas do frango e do ovo, nº 6).
- MICHELS, I., GORDIN, M. H. O. Avicultura. Campo Grande-MS: Editora UFMS, 2004.
- MUHLE, I. N. **Instalações de refrigeração por absorção: a experiência da MADEF.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. Disponivelem: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022000000100050&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000100050&lng=en&nrm=abn)>.  
Data da Consulta: 07/2009.
- SANTANA, G. C. S., TORRES, E. A., CAMPOS, M. F. **Avaliação Termodinâmica de Uma Planta Cogenerativa de um Shopping Center,** Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2004.
- SILVEIRA, J. L., GOUVÊA, P. E. **Uso Racional de Energia,** Faculdade de Engenharia Química de Lorena, 2004.
- SOUZA, M. R., MENESES, J. °, MARTINS, J. W. M., JESUS, M. F., CARNELOSSI, M. A. G., SILVA, G. F. **Análise técnica e econômica da unidade piloto de refrigeração no armazenamento de cebola.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.6, n.2, p.165-170, 2004.
- STOECKER, W. F., JONES, J. W. “Refrigeração e ar condicionado”, ed. McGraw Hill, 1ª edição, São Paulo, 1985.

## **5 POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ENQUADRAMENTO EM MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) DO EMPREENDIMENTO DE USO DO BIOGÁS COMO FONTE ENERGÉTICA NA CADEIA PRODUTIVA DE FRANGO DE CORTE**

**RESUMO:** As chamadas ações antrópicas (decorrentes das atividades humanas) tem alterado significativamente a biosfera. O aumento da concentração de gases de efeito estufa poderá provocar um aumento médio da temperatura no planeta entre 1,4 e 5,8°C nos próximos cem anos. O aquecimento global implicará não somente em mudanças climáticas e ecológicas na biosfera mas também em impactos econômicos e sociais que afetarão todos os países. O Protocolo de Quioto estabelece a redução média de 5,2% na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) aos níveis de 1990, entre 2008 e 2012, para os países com alto grau de industrialização. Os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) permitem que os países industrializados financiem projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa em países em desenvolvimento, com vistas a cumprir seu compromisso com a redução. O objetivo deste trabalho foi demonstrar que o uso do biogás como fonte energética na Cadeia Produtiva de Frango de Corte da Zona da Mata de Minas Gerais é um projeto elegível às atividades de projetos no âmbito MDL no que tange a redução de emissões. A receita obtida da comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs), foi estimada em R\$ 23.659.260,06 para um período de 10 anos de obtenção de créditos de carbono. Esta receita pode ser usada no financiamento da planta de geração de energia (termelétrica).

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Renovável, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Certificados de Emissões Reduzidas

## 5.1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas têm alterado a biosfera. De acordo com estudo do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), realizado em 2001, durante o período de 1750 a 1998 a concentração de gases de efeito estufa duplicou na atmosfera. Os gases de efeito estufa são aqueles que têm a capacidade de reter a radiação infra-vermelha (calor) emitida pela Terra, aumentando a temperatura na superfície terrestre e do mar. O aumento da concentração de GEE poderá provocar um aumento médio da temperatura no planeta entre 1,4 e 5,8°C nos próximos cem anos (IPCC, 2001). São considerados gases de efeito estufa o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e as famílias dos perfluorcarbonos que são compostos completamente fluorados como perfluormetano (CF<sub>4</sub>) e perfluoretano C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> e dos hidrofluorcarbonos (HFCs) (ROCHA, 2003).

O Quadro 5.1 mostra o potencial de aquecimento global dos principais gases de efeito estufa.

Quadro 5.1 – Potencial de Aquecimento Global

Gases	Valores do Potencial de Aquecimento Global
<b>CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono</b>	1
CH <sub>4</sub> – metano	21
N <sub>2</sub> O – óxido nitroso	310
SF <sub>6</sub> – hexafluoreto de enxofre	23900
HFCs – hidrofluorcarbonos	140 - 11700
PFCs - perfluorcarbonos	6500 - 9200

Fonte: Potenciais de aquecimento global para um horizonte de tempo de 100 anos, (IPCC, 1996).

A Figura 5.1 mostra como a radiação infravermelha é bloqueada pelos gases de efeito estufa.

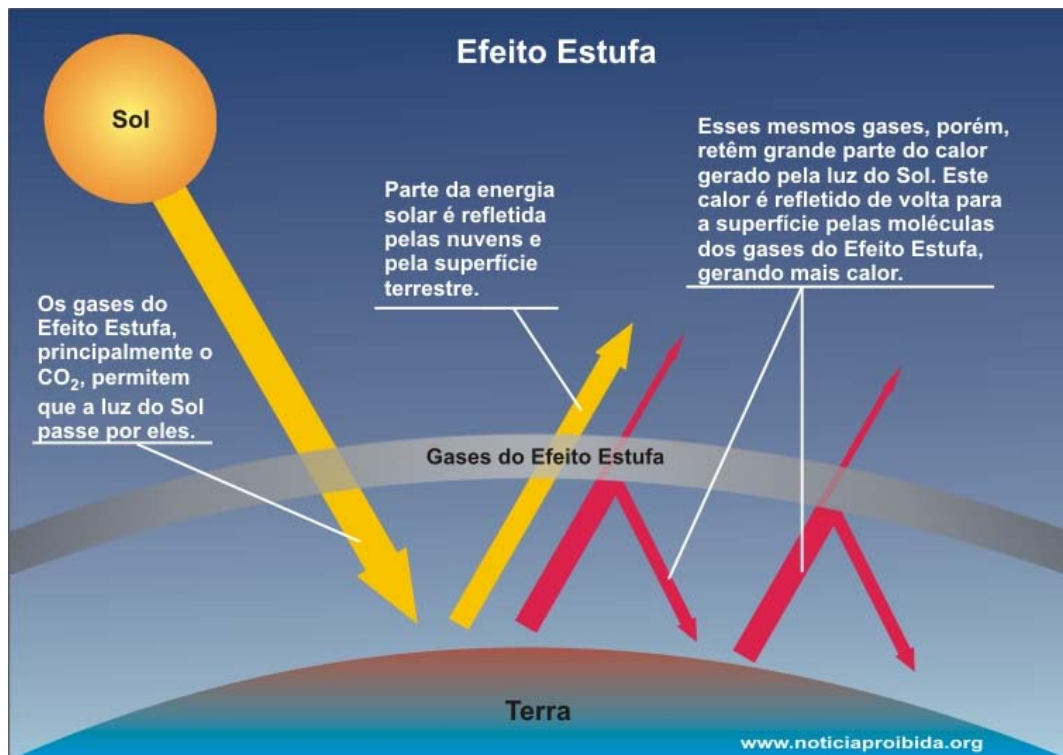


Figura 5.1 – Esquema do Efeito Estufa  
Fonte: (NOTICÍA PROIBIDA, 2009)

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um dos principais gases de efeito estufa proveniente principalmente da queima de combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão mineral, bem como da produção industrial, decomposição do lixo em aterros, agricultura e pecuária, uso de fertilizantes, combustão de madeira. Entre os anos 60 e 90, com o crescimento da indústria automobilística e o uso de máquinas agrícolas, as taxas de CO<sub>2</sub> na atmosfera cresceram consideravelmente. A partir de 1990, houve um crescimento nas emissões de CO<sub>2</sub> da ordem de 30,4% (cresceram de 23 bilhões de toneladas para 30 bilhões de toneladas) ao redor do mundo. O Quadro 2 a seguir mostra os vinte maiores poluidores e suas respectivas emissões de CO<sub>2</sub> em bilhões de toneladas e a respectiva variação nessas emissões comparadas a 1990, com dados de 2005.

Quadro 5.2 – Relação dos 20 países maiores poluidores e as respectivas emissões em bilhões de toneladas de CO2 e variações dessas emissões em relação a 1990

País	Emissões (10 <sup>9</sup> toneladas)	Variação das emissões
Estados Unidos	5,957	23,00%
China	5,323	122,00%
Japão	1,230	15,00%
Índia	1,166	71,00%
Alemanha	0,844	-16,00%
Canadá	0,631	52,00%
Reino Unido	0,577	-0,30%
Coréia do Sul	0,500	107,00%
Itália	0,467	20,00%
Irã	0,450	106,00%
África do Sul	0,423	28,00%
França	0,415	14,00%
Áustria	0,412	62,00%
Arábia Saudita	0,406	46,00%
México	0,398	-3,80%
Espanha	0,387	78,00%
Brasil	0,360	72,00%
Indonésia	0,359	69,00%
Ucrânia	0,342	-75,00%

FONTE: (GUARDIAN, 2009).

O aquecimento global implicará em impactos econômicos, sociais e econômicos que afetarão todos os países. Esse impactos serão diferenciados dependendo da região do mundo (MANFRINATO, 1999). No Quadro 5.3 são mostradas alguns desses impactos.

Quadro 5.3 – Região do planeta e impactos provocados pelo aquecimento global

Região	Previsão de Impactos
África	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Diminuição da produção agrícola</li> <li>ii) Diminuição da disponibilidade de água na região do Mediterrâneo e em países do sul</li> <li>iii) Aumento dos vetores de diversas doenças</li> <li>iv) Aumento da desertificação</li> <li>v) Extinção de animais e plantas</li> </ul>
Ásia	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Diminuição da produção agrícola</li> <li>ii) Diminuição da disponibilidade de água nas regiões árida e semi-árida</li> <li>iii) Aumento do nível do mar deverá deslocar dezenas de milhões de pessoas</li> </ul>
Austrália e Nova Zelândia	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Diminuição da disponibilidade de água</li> <li>ii) Extinção de animais e plantas</li> </ul>
Europa	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Desaparecimento de geleiras nos Alpes</li> <li>ii) Aumento da produção agrícola em algumas regiões</li> <li>iii) Impactos no turismo</li> </ul>
América Latina	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Diminuição da produção agrícola</li> <li>ii) Aumento dos vetores de diversas doenças</li> <li>iii) Extinção de animais e plantas</li> </ul>
América do Norte	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Aumento da produção agrícola em algumas regiões</li> <li>ii) Aumento dos vetores de diversas doenças</li> </ul>
Polar	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Diminuição da calota polar</li> <li>ii) Extinção de animais e plantas</li> </ul>
Pequenas Ilhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>i) Aumento do nível do mar deverá deslocar dezenas de milhões de pessoas</li> <li>ii) Diminuição da disponibilidade de água</li> <li>iii) Diminuição da atividade pesqueira</li> <li>iv) Diminuição no turismo</li> </ul>

Fonte: (IPCC, 2001).

Com vistas a buscar uma solução para o aquecimento global a Organização das Nações Unidas (ONU) vem realizando conferências internacionais para debater o assunto. Em 1992, durante a Rio 92 no Brasil, foi estabelecida a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (em inglês, United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) com o objetivo de discutir o problema do efeito estufa e as conseqüências para a humanidade. A Convenção do Clima passou a vigorar a partir de 21 de março de 1994 e atualmente conta com 186 países (partes). Já foram realizadas oito reuniões entre os países participantes da Convenção do Clima, essas conferências denominam-se Convenções das Partes (COP).

Em 1995 e 1997 ocorreram as Convenções das Partes em Berlim (Alemanha) e Genebra (Suíça) respectivamente ocasião em que as discussões evoluíram culminando no termo de compromisso firmado, na COP3 em Quioto – Japão, em 1997. Surgiu daí o Protocolo de Quioto que estabelecia a redução média de 5,2% na emissão de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990, entre 2008 e 2012, para os países componentes do Anexo I. São países do Anexo I, aqueles com alto grau de industrialização que concordaram em reduzir suas emissões de gases de efeito estufa. Fazem parte desta lista: Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Européia, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos da América, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia.

Além de estabelecer a redução da emissão dos gases de efeito estufa, o Protocolo de Quioto estabelece mecanismos de flexibilização com vistas a permitir que a mitigação do efeito estufa ocorra sem grandes prejuízos econômicos. Esses mecanismos são:

i) Implementação Conjunta: Permite que os países do Anexo I invistam entre si no cumprimento dos compromissos de redução;

ii) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Permite que os países industrializados financiem projetos de redução de emissões de gases de efeito

estufa em países em desenvolvimento, com vistas a cumprir seu compromisso com a redução;

iii) Mercado Internacional das Emissões: Permite que os países do Anexo I comercializem entre si as quotas de emissão e os créditos adquiridos por meio de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) nos países em desenvolvimento.

O MDL é definido no protocolo de Quioto apenas em termos de redução de emissões, isso implica na transferência de tecnologias dos países industrializados para os países em desenvolvimento, de forma que os últimos tenham uma produção limpa com controle de emissões e mitigação do efeito estufa (ANGONESE et al., 2007).

Em 1998, foi realizada em Buenos Aires a COP4, caracterizada pelo impasse de opiniões quanto à forma de implementação dos compromissos de redução. A COP5, em 1999 na cidade de Bonn na Alemanha, serviu para preparar a COP6, que ocorreu em Haia (Holanda) no ano de 2000. Essa conferência não chegou a nenhum consenso quanto a regulamentação do Protocolo de Quioto, chegando a colocar em cheque a viabilidade do acordo (CHANG, 2002).

Os Estados Unidos da América, na figura do então presidente George W. Bush saiu do acordo de forma unilateral em março de 2001. A justificativa de Bush era de que o Protocolo de Quioto era equivocado e que o seu cumprimento era prejudicial a economia estadunidense. Ao mesmo tempo que essa atitude causou pessimismo serviu para unificar os demais países na busca do consenso. A sétima Convenção das Partes (COP7), na Alemanha em julho de 2001, as negociações foram bem sucedidas e o Protocolo de Quioto foi aprovado pelos países signatários na ocasião.

O sequestro de carbono foi aprovado, embora o Brasil e a União Européia fossem contrários, pela grande maioria dos países com vistas a diminuir o custo para alcançar as metas de redução das emissões. Os reflorestamentos, plantio de árvores em áreas desmatadas com menos de 50 anos, e aflorestamentos, plantio em áreas desmatadas com mais de 50 anos a contar de 1990, foram aprovados sem a inclusão das áreas florestais que já existiam.

Os mesmos debates marcaram a Convenção de Marrakesh em 2001,

com mais concessões para regulamentar o Protocolo de Quioto. Em 16 de fevereiro de 2005, o Protocolo entrou em vigor. Nesta ocasião 55 partes (países) da Convenção do Clima ratificaram o acordo. Essas partes corresponderam a 55% das emissões totais de CO<sub>2</sub> de 1990 (BRASIL, 2006).

A 12ª Convenção do Clima da ONU aconteceu em novembro de 2006 na cidade de Nairóbi no Quênia. Nesta reunião foram aprovados a avaliação do Protocolo de Quioto em 2008, a revisão das regras do Fundo de Adaptação (auxílio aos países pobres para se adaptarem às mudanças climáticas).

### **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**

O MDL previsto no artigo 12 do Protocolo de Quioto, fruto de uma concepção mais ampla proposta pelo governo do Brasil (VIOLA, 2002), prevê o incentivo aos países emergentes a fim de que alcancem o desenvolvimento sustentável e auxiliem os países do Anexo I a cumprirem as obrigações de redução de gases de efeito estufa (GEE).

Os países emergentes têm através do MDL a oportunidade de obter benefícios de projetos de desenvolvimento sustentável e controle de emissões. Esses projetos são origem aos chamados “créditos carbono”, que podem ser utilizados pelos países do Anexo I para cumprimento de suas metas de redução de emissões.

De acordo com o MDL cada tonelada métrica de CO<sub>2</sub> que deixa de ser emitida por um país em desenvolvimento pode ser negociada no mercado mundial por meio dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs). Empresas de países do Anexo I que não conseguirem reduzir suas emissões poderão comprar CERs (créditos carbono) de países em desenvolvimento e utilizá-los para cumprir suas obrigações.

Os projetos de MDL, a princípio, seriam divididos em três modalidades: i) fontes renováveis e alternativas de energia; ii) eficiência/conservação de energia; e iii) reflorestamento e estabelecimento de novas florestas (projetos de sequestro de carbono).

## Conceitos Fundamentais dos Projetos de MDL

- i) Linha de base: É definida como o cenário que representa de forma plausível as emissões antrópicas por fontes de gases de efeito estufa que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta.
- ii) Adicionalidade: Está relacionado com o conceito de linha de base tendo que ser levado em conta quando o cenário de linha de base for estabelecido e quando uma metodologia for desenvolvida. De acordo com as modalidades e procedimentos do MDL: “ uma atividade de projeto do MDL será adicional se reduzir as emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes para níveis inferiores aos que ocorreriam na ausência da atividade de projeto registrada no âmbito do MDL”

## Instituições do MDL

A Figura 5.2 mostra as instituições do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL):

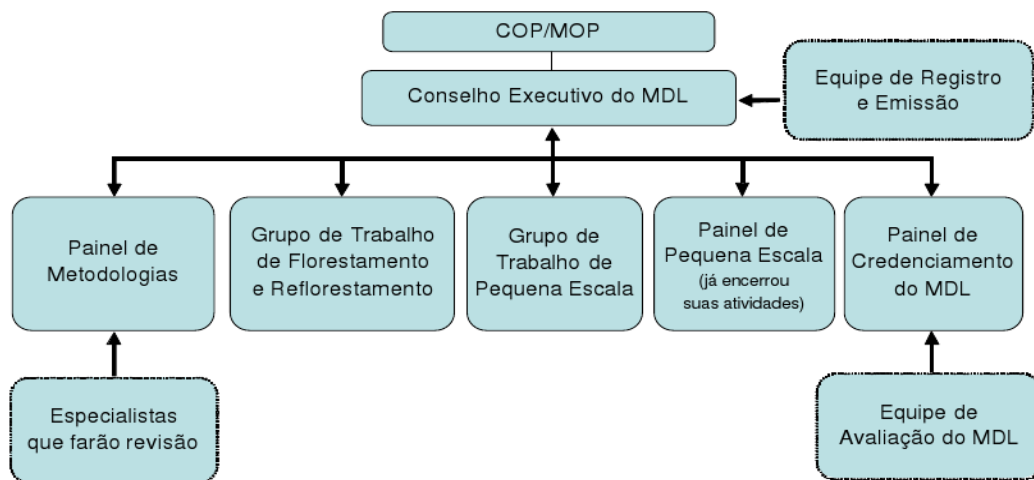


Figura 5.2 – Instituições do MDL.

Fonte: (JAPÃO, 2006).

**Convenção das Partes na condição de Reunião das Partes do Protocolo de Quioto (COP/MOP):** Deve manter o MDL sob sua autoridade e sujeito às suas orientações.

**Conselho Executivo:** É constituído por dez membros das Partes no Protocolo de Quioto, sendo 5 membros de grupos regionais das Nações Unidas (um de

cada grupo), 2 membros de Partes do Anexo I, 2 membros de Partes não-Anexo I e 1 membro de pequenos países insulares em desenvolvimento. O Conselho Executivo supervisiona o funcionamento do MDL, é submisso e orientado pela COP/MOP. Se reúne a cada 2 ou 3 meses.

Cabe ao Conselho Executivo:

- Aprovar novas metodologias relacionadas, entre outras coisas, com as linhas de base, os planos de monitoramento e os limites dos projetos;
- Rever as disposições com relação às modalidades e procedimentos simplificados e definições das atividades de projetos de pequena escala e fazer recomendações à COP/MOP; e
- Efetuar o credenciamento das entidades operacionais, de acordo com os padrões de credenciamento, e fazer recomendações à COP/MOP quanto à designação dessas entidades. Essa responsabilidade envolve:
  - (i) Tomar decisões sobre credenciamento, suspensão e retirada de credenciamento; e
  - (ii) Operacionalizar os procedimentos e padrões de credenciamento.

O Conselho Executivo estabeleceu os seguintes painéis e grupos de trabalho com o objetivo de auxiliá-lo no desempenho das suas funções: Painel de Metodologias, Painel de Pequena Escala, Painel de Credenciamento, Grupo de Trabalho de Florestamento e Reflorestamento, Grupo de Trabalho de Pequena Escala, Equipe de Registro e Emissão, EOD (Entidade Operacional Designada)

### **Ciclo do projeto do MDL**

As etapas de um Projeto de MDL são:

1. Desenvolvimento de uma atividade de projeto no âmbito do MDL. Nesta etapa inicial desenvolve-se uma atividade de projeto do MDL. Existe a análise de várias condições relacionadas com o desenvolvimento da atividade do projeto no âmbito do MDL a partir da fase de planejamento. Elabora-se o chamado Documento de Concepção do Projeto (DCP) com todas as exigências requeridas.
2. Aprovação pelas Partes anfitriã e investidora. Obtém-se da Entidade Operacional Designada (EOD) a aprovação por escrito da participação voluntária de cada Parte (anfitriã e investidora) envolvida na atividade do

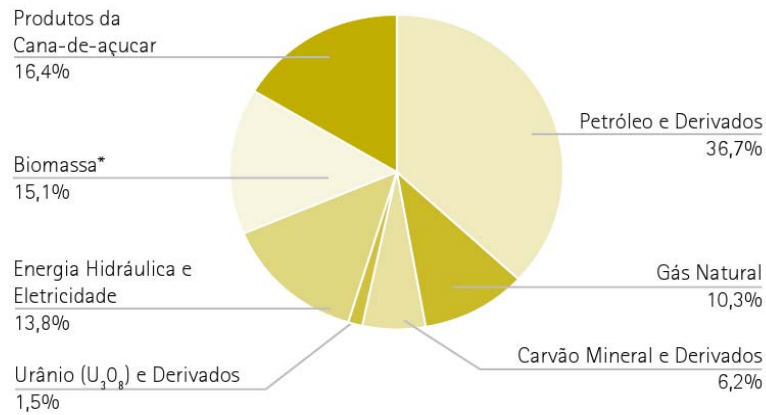
projeto a ser executado no âmbito do MDL.

3. Validação e registro da atividade de projeto do MDL. Para ser validado o projeto deve as metodologias aprovadas pelo Conselho Executivo. Se não houver metodologia aprovada que possa ser aplicada ao projeto proposto, os participantes devem elaborar uma nova metodologia para o projeto e submetê-la ao Conselho Executivo. A validação consiste na avaliação independente de uma atividade do projeto, feita por uma Entidade Operacional Designada (EOD) selecionada pelos participantes do projeto. O registro da atividade é a aceitação do projeto validado como uma atividade de projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.
4. Monitoramento do projeto do MDL. Nesta etapa há a execução do projeto e a realização do monitoramento, necessário para calcular as reduções de emissões de gases de efeito estufa, de acordo com o planejado no Documento de Concepção do Projeto (DCP).
5. Verificação, Certificação e Emissão de RCE's: Os participantes do projeto enviam relatório a Entidade Operacional Designada (EOD) com os resultados do monitoramento do projeto de MDL e calculam as reduções de emissões com base nos resultados da atividade de monitoramento. A EOD faz a confere esses dados resultantes do monitoramento e das reduções de emissões. A EOD certifica as reduções de emissões com base nos resultados da verificação. O Conselho Executivo faz a emissão dos CERs equivalentes a quantidade de reduções de emissões de gases de efeito estufa que foi verificada.
6. Distribuição dos RCE's: Existe a dedução de dois por cento (2%) das RCE's que é destinada ajudar Partes países em desenvolvimento que estão mais vulneráveis aos efeitos adversos da mudança do clima. Uma parcela das receitas também é deduzida para cobrir despesas administrativas do MDL. Os participantes do projeto de MDL ficam com o restante das CERs.

As atividades de projetos no âmbito do MDL são divididas de acordo com o tamanho do projeto e das atividades realizadas. Para cada modalidade existem diferentes procedimentos e formatos para cada tipo de projeto.

A matriz energética brasileira é considerada uma das mais limpas do mundo. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2008, as

fontes renováveis corresponderam a 45,3% na oferta interna de energia (BRASIL, 2009). A Figura 5.3 mostra a oferta interna de energia e as participações de diferentes fontes.



Nota: \* Inclui lenha, carvão vegetal e outras renováveis.

Figura 5.3 – Oferta Interna de Energia no Brasil.

Fonte: (BRASIL, 2009).

A grande frota de veículos funcionando com biocombustíveis, a pouca intensidade em carbono da matriz energética, aliada à políticas para diminuir o desmatamento, estimular o reflorestamento tornam o Brasil respeitado no cenário internacional quando o assunto é emissões de gases de efeito estufa. A geração hidrelétrica responsável por 13,8% da oferta interna de energia e 84% da oferta interna de energia elétrica no Brasil, emite em média 0,02 tC/MWh (toneladas de carbono por mega-watt.hora). Essa emissão é bastante baixa se comparada com a emissão da geração de eletricidade com a utilização de carvão mineral, 0,36 tC/MWh (CENBIO, 2000).

Apesar desta realidade há muitas oportunidades para a implantação de MDL no Brasil (AMARAL, 1999). A negociação de CERs tem o potencial de gerar pesquisas e negócios atraindo investimentos externos (MIGUEZ, 2000).

No Brasil existe uma Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, cujos objetivos são:

a) emitir parecer, sempre que demandado, sobre propostas de políticas setoriais, instrumentos legais e normas que contenham componentes relevantes para a mitigação da mudança global do clima e para a adaptação do

País aos seus impactos;

b) fornecer subsídios às posições do Governo nas negociações sob a égide da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e instrumentos subsidiários de que o Brasil seja parte;

c) definir critérios de elegibilidade adicionais aos considerados pelos Organismos da Convenção, encarregados do MDL, previsto no Artigo 12 do protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, conforme estratégias nacionais de desenvolvimento sustentável;

d) apreciar pareceres sobre projetos que resultem em reduções de emissões e que sejam considerados elegíveis para o MDL, e aprová-los, se for o caso.

e) realizar articulação com entidades representativas da sociedade civil, no sentido de promover as ações dos órgãos governamentais e privados, em cumprimento aos compromissos assumidos pelo Brasil perante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e instrumentos subsidiários de que o Brasil seja parte.

A Resolução nº 1/2003, da Comissão reproduz os princípios do MDL definidos no Protocolo de Quioto, onde conceitua o Certificado de Emissões Reduzidas (CER) como uma unidade emitida conforme o Artigo 12 do Protocolo, correspondendo a uma tonelada métrica equivalente de dióxido de carbono ( $tCO_2e$ ). Nesta resolução estão definidos os procedimentos para encaminhamento de projetos à Comissão Interministerial (DAMASCENO, 2007).

Com a aprovação e implantação do projeto, os participantes estarão aptos a comercializar os CERs. Normalmente quem compra estes CERs são empresas que emitem gases de efeito estufa (GEE) cujas sedes estão em países desenvolvidos. Suponha que uma empresa de um país desenvolvido tenha uma cota de emissão de  $100 tCO_2eq\ ano^{-1}$ , mas emite  $120 tCO_2\ ano^{-1}$ , a fim de cumprir sua meta de emissão ela pode financiar projetos de MDL em países em desenvolvimento ou reformular seu processo produtivo para atingir a redução de suas emissões.

Em dezembro de 2006, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio em convênio com a Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F) lançou o Mercado Brasileiro de Redução e Emissões (MBRE). Em setembro de 2005 entrou em operação um mercado eletrônico de títulos de redução de emissões

de carbono para a atmosfera na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro, uma parceria entre a Fundação Getúlio Vargas (FGV) e a BM&F. Esse mercado funciona da seguinte forma: (i) Registro por parte da BM&F (agente operador) dos projetos certificados que tenham consideráveis reduções de emissões; (ii) Após cadastrados a BM&F comercializa os Certificados de Emissões Reduzidas (CERs)(VELA e FERREIRA, 2005).

A vantagem da negociação via BM&F reside no fato dos preços no Brasil serem mais atrativos que os preços no mercado europeu. Atualmente existem 1717 projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo registrados no Conselho Executivo do MDL. O número de projetos brasileiros registrados é 160, isso coloca o Brasil em terceiro lugar em número de projetos registrados, ficando a Índia, com 442 projetos em segundo e a China, com 585 projetos registrados em primeiro lugar. O Brasil também está em terceiro lugar quanto à redução de emissões durante o primeiro período de obtenção de créditos dos projetos registrados com 169.317.906 de tCO<sub>2</sub>eq. do total mundial de 2.687.565.701 de tCO<sub>2</sub>eq.

Considerando que a avicultura não tem tido o interesse das empresas que comercializam os créditos de carbono e que setor agropecuário é responsável por 20% das emissões mundiais de gases de efeito estufa (LIMA, 2002), este trabalho tem por objetivo demonstrar que o uso do biogás como fonte energética na Cadeia Produtiva de Frango de Corte da Zona da Mata de Minas Gerais é um projeto elegível às atividades de projetos no âmbito do MDL no setor que trata de redução de emissões. Pretende-se ainda determinar o potencial de CERs (Certificados de Emissões Reduzidas) e a receita gerada com a sua comercialização.



## 5.2 OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho relatado neste capítulo foi avaliar o potencial de mitigação da emissão de gases de efeito estufa com o uso do biogás como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte. Os objetivos específicos foram: (i) estimar a quantidade de Certificados de Emissões Reduzidas (CER) produzidos a partir das emissões evitadas de gases de efeito estufa com o uso do biogás como fonte energética; e (ii) estimar a receita obtida com a comercialização desses Certificados de Emissões Reduzidas (CER).

### 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos Laboratórios de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Neste estudo considerou-se o aproveitamento energético da cama de frango com geração de biogás para atender a demanda energética da unidade de processamento de carne (frigorífico). Essa proposta evita a emissão de gases de efeito estufa (GEE) através do uso energético na indústria.

O frigorífico se localiza na cidade de Visconde do Rio Branco no Estado de Minas Gerais, ao seu redor se estende toda a cadeia produtiva de frango de corte presente em 34 municípios da região, integrada por aproximadamente 551 produtores e 778 galpões de frango.

O cálculo da energia produzida pela planta de geração elétrica a partir do biogás (termelétrica a biogás) será feito considerando a conversão com o uso de turbinas a gás. Será considerado o tempo de operação da termelétrica de 8760 horas.ano<sup>-1</sup>.

A equação 5.1 nos fornece a energia elétrica disponível utilizando-se turbina a gás com rendimento de 33%.

$$E_{tur} = PCI P_b \eta_{tur} \Delta t_{op} \cdot 0,001 \quad (5.1)$$

em que:

- $E_{tur}$  – Energia elétrica gerada por turbina a gás, MWh;
- $PCI$  – Poder calorífico inferior do biogás,  $\text{kJ m}^{-3}$ ;
- $P_b$  – Produção de biogás,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;
- $\eta_{tur}$  – Rendimento da turbina a gás, adimensional; e
- $\Delta t_{op}$  – Tempo de operação da planta (termelétrica).

Para o cálculo do total de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente evitado que irá se converter em CER será utilizada a metodologia aprovada pelo Conselho Executivo do MDL para o caso de geração elétrica a partir de bagaço de cana e fornecimento para a rede de distribuição de energia elétrica. Esta metodologia utiliza o conceito de margem combinada para a determinação da intensidade de carbono teórica produto da expansão do setor elétrico nacional. Com base neste conceito o valor de referência para a intensidade de carbono do setor elétrico é de 0,140 tC MWh<sup>-1</sup> ou 0,5 tCO<sub>2</sub>eq MWh<sup>-1</sup> (PECORA, 2006).

O cálculo do total de CO<sub>2</sub> equivalente evitado (CER) será feito considerando-se o Fator de Intensidade de Carbono (FIC) igual a 0,5 tCO<sub>2</sub>eq MWh<sup>-1</sup>, para a energia elétrica produzida utilizando a conversão turbina a gás.

A equação 5.2 fornece as CER's equivalentes com o uso de turbina a gás na geração de eletricidade:

$$CER_{tur} = E_{tur} FIC \quad (5.2)$$

em que

- CER<sub>tur</sub> - Certificado de Emissões Reduzidas com turbina, tCO<sub>2</sub>eq ano<sup>-1</sup>;
- E<sub>tur</sub> - Energia Elétrica gerada por turbina, MWh; e
- FIC - Fator de Intensidade de Carbono, (0,5 tCO<sub>2</sub>eq Mwh<sup>-1</sup>).

O valor recebido pelos Certificados de Emissões Reduzidas (CER) foi calculado considerando-se a cotação da tCO<sub>2</sub>eq.

A equação 5.3 nos fornece o valor recebido anualmente através da comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (RCE's) utilizando turbina a gás na geração de eletricidade.

$$RCC_{tur} = CER_{tur} \text{ cot } \$ \quad (5.3)$$

em que

- RCC<sub>MT</sub> - Receita com a comercialização dos Certificados, US\$;
- CER<sub>MT</sub> - Certificado de Emissões Reduzidas Microturbina, tCO<sub>2</sub>eq; e
- Cot \$ - Cotação da tCO<sub>2</sub>eq, US\$ tCO<sub>2</sub>eq<sup>-1</sup>.

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que o potencial de produção dos dejetos (cama de frango) da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais é de 146.114.235 kg ano<sup>-1</sup> o que implica em 112.507.960,95 kg ano<sup>-1</sup> de matéria seca capaz de gerar 60.754.298,91 m<sup>3</sup> de biogás ano<sup>-1</sup>, determinou-se as quantidades mostradas nos quadro 5.4 referentes a geração de energia elétrica com turbina a gás.

Quadro 5.4 – Energia elétrica produzida, certificado de emissões reduzidas, receita com a comercialização dos CER's

Item	Valor	Unidade
Energia Elétrica gerada com turbina a gás	125.862,66	MWh ano <sup>-1</sup>
Certificados de Emissões Reduzidas	62.931,33	tCO <sub>2</sub> eq ano <sup>-1</sup>
Receita com a comercialização dos Certificados *	1.311.488,92	US\$ ano <sup>-1</sup>

\* Considerada a cotação US\$ 20,84 por tCO<sub>2</sub>eq, do 2º Leilão da BOVESPA realizado em 24 de setembro de 2009.

Considerando-se o período de obtenção de créditos igual a 10 anos, tem-se no Quadro 5.5 que a receita com a comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas será:

Quadro 5.5 – Receita com a comercialização dos CER's considerando período de obtenção de créditos de 10 anos

Receitas com a comercialização dos CER's, (US\$)	13.114.889,17
Receitas com a comercialização dos CER's, (R\$)	23.659.260,06

A receita obtida com a comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas pode ser utilizada no financiamento da planta de geração de energia (termelétrica).

## 5.5 CONCLUSÃO

O uso do biogás, como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte na região da Zona da Mata de Minas Gerais, se enquadra como um projeto de pequena escala do MDL (SSC), Tipo I. Essa modalidade de projeto trata de atividades de projetos de energia renovável com uma capacidade máxima de produção equivalente a até 15 MW (ou um equivalente adequado). Calcula-se que a máxima potência elétrica disponível com o aproveitamento energético do biogás é da ordem de 12 MW (utilizando a conversão turbinas a gás). A receita obtida com a comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER's), foi estimada em R\$ 23.659.260,06 para um período de 10 anos de obtenção de créditos de carbono. Esta receita pode ser usada no financiamento da planta de geração de energia (termelétrica).

## 5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, W. A. N. Mudanças climáticas, mercado de carbono e potencialidades do Brasil para desenvolvimento de projetos para Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. *Preços Agrícolas*, v.14, n.155, p.7-9, 1999.
- ANGONESE, A. R., CAMPOS, A. T., WELTER, R. A. **Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor**, *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.648-657, set./dez.2007
- BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT – Mudanças Climáticas – Protocolo de Quioto. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4457.html>>. Data da Consulta: 10/2006.
- BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2009 – Ano base 2008: Resultados Preliminares**, 48p. Rio de Janeiro: EPE, 2009.
- CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. (2000a). **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Dupligráfica Editora. 222 p. Brasília, 2000.
- CHANG, M. Y. Seqüestro de Carbono Florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. Curitiba: R. paran. *Desenv.*, n. 102, p. 85-101, jan./jun. 2002.
- DAMASCENO, M. A. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. In: Souza, R. P. (coord.) - LEXNET. *Aquecimento Global e Créditos de Carbono – Aspectos Jurídicos e Técnicos*. São Paulo, Quartier

Latin, 2007.

GUARDIAN, <http://environment.guardian.co.uk>, Consultado em: 09/2009

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Changes; IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories - Reference Manual. Bracknell, 1996.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC. Grupo 3. Shanghai, 2001.

LIMA, M. A. **Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: Caracterização do problema, oportunidades e desafios. Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n. 3, p.451-472, set./dez. 2002.

MANFRINATO, W. **Mudanças Climáticas: ações e perspectivas para o novo milênio**, Qualidade de Vida, v. 1, n. 6, 1999.

MIGUEZ, J. M. O Brasil e o Protocolo de Quioto, in Cenbio Notícias, vol.3, no 8, 2000.

NOTÍCIA PROIBIDA, [www.noticiaproibida.org](http://www.noticiaproibida.org), Consultado em: 08/2009.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir de biogás de estação de tratamento de esgoto residencial da USP – Estudo de Caso**, 152 p. (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROCHA, M. T. Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT, Piracicaba: ESALQ/USP, 2003. 146 p.

VELA, J. A. A., FERREIRA, E. **Vantagem Competitiva do Brasil nos Projetos de MDL**. Rio de Janeiro, 2005. Anais: VIII ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente.

VIOLA, E. A participação do Brasil no Protocolo de Quioto. Carta Internacional, São Paulo: USP, v. 10, n. 107/108, p. 16-18, jan./fev. 2002

## 6 CONCLUSÃO GERAL

Esta dissertação abordou a viabilidade do uso de biogás como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte. Foram realizados estudos sobre: (i) Potencial de geração de energia térmica e elétrica a partir do biogás na cadeia produtiva de frango de corte; (ii) Independência energética de granja de frango com o uso de biogás; (iii) Soluções energéticas para frigorífico de frango de corte; e (iv) Potencial de mitigação da emissão de gases de efeito estufa e enquadramento em Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do empreendimento de uso do biogás como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte.

Demonstrou-se que a utilização do biogás como fonte de energia na cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais pode resultar numa maior competitividade do setor da avicultura na região, uma vez que essa utilização representa economia de recursos destinados para o pagamento de contas de energia. Além disso, existem ganhos para o meio ambiente pois a cama de frango, dejetos altamente poluentes, passará a ter uma destinação em que os impactos ambientais são minimizados, ademais existe um grande potencial de comercialização de créditos de carbono por meio dos CER's (Certificados de Emissões Reduzidas).

### 6.1. Potencial de geração de energia térmica e elétrica

Foi mostrado por meio das estimativas de produção de energia térmica e elétrica a partir do biogás produzido da cama de frango oriunda da cadeia produtiva da Zona da Mata que um grande potencial energético vem sendo desperdiçado na região. O aproveitamento da cama de frango implica em ganhos econômicos, ambientais e sociais. A potência elétrica disponível utilizando o biogás é da ordem de 14,37 MW (utilizando turbina a gás).

## **6.2. Independência energética de granja de frango**

Verificou-se que a energia do biogás pode suprir à demanda de energia térmica e elétrica de uma granja típica da cadeia produtiva de frango de corte da Zona da Mata de Minas Gerais. Por meio de análise de viabilidade econômica verificou-se que a conversão energética por meio de grupo gerador (motor ciclo Otto) apresenta melhores parâmetros que a microturbina a gás, especialmente quando se considera a possibilidade de comercialização do excedente de energia elétrica.

## **6.3. Soluções energéticas para o frigorífico**

O estudo mostrou que a energia elétrica produzida, a partir do biogás obtido da cama de frango, é capaz de suprir as demandas do frigorífico e de todas as propriedades da cadeia produtiva havendo uma sobra de aproximadamente 5.1400 MWh mensais. Adotando-se sistema de refrigeração por absorção o potencial de geração de frio pode atingir 3.854,94 TR para temperatura de serviço de 0°C, 3.442,65 TR para temperatura de serviço de – 10°C e 2.282,89 TR para temperatura de serviço de -35°C. Por meio de análise de vida útil verificou-se parâmetros econômicos que avalizam o empreendimento da termelétrica. Constatou-se a possibilidade do frigorífico se tornar produtor independente de energia (PIE) podendo vender o excedente energético para as concessionárias de energia ou negociá-lo na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

## **6.4. Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) baseado no aproveitamento energético do biogás**

O empreendimento pode ser enquadrado como um projeto de pequena escala do MDL (SSC), Tipo I que trata de atividades de projetos de energia renovável com uma capacidade máxima de produção equivalente a até 15 MW (ou um equivalente adequado). Verificou-se que a máxima potência elétrica disponível com o aproveitamento energético do biogás é da ordem de 12 MW (utilizando a conversão turbinas a gás. De acordo com as estimativas, a receita

obtida com a comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER's), foi estimada em R\$ 23.659.260,06 para um período de 10 anos de obtenção de créditos de carbono. Esta receita pode ser usada no financiamento da planta de geração de energia (termelétrica).

## ANEXO

### *QUESTIONÁRIO DO PROJETO "ANÁLISE VIABILIDADE DO USO DE BIOGÁS COM O FONTE ENERGÉTICA NA CADEIA PRODUTIVA DE FRANGO DE CORTE NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS"*

EQUIPE:

LÍDER :

Delly Oliveira Filho, Ph. D. - Prof. Associado II

CO-LÍDERES:

Adílio Flauzino de Lacerda Filho, D. S. - Prof. Associado II

José Márcio Costa, D. S. - Prof. Adjunto IV

Adriano Henrique Ferrarez - Mestrando em Energia na Agricultura

Fabício Aparisi – Estagiário, estudante de engenharia agrícola e ambiental

Osmar Rosa – Estagiário, estudante de engenharia elétrica

Preencher um questionário para cada granja

Identificação da Propriedade (Granja de Frango de Corte)

Designação:.....

....

Proprietário:.....

....

Localização:.....

....

Descrição geral da Propriedade

Área de total da propriedade:.....ha

Área útil:.....ha

Nº de trabalhadores:.....

Nº médio de pessoas que vivem na propriedade:.....

Nº de residências: .....

Horário de funcionamento normal: das.....horas às.....horas

Dados da produção de frango de corte:

Número de Galpões:.....

Dimensões dos Galpões:.....

Número de Frangos por galpão:.....

Substrato da Cama de Frango: .....

Quantidade por Galpão:.....

Preço: R\$ ...../ton

Número de ciclos/ano:.....

Número de vezes que a Cama de Frango é reutilizada:.....

Quantidade de Cama de Frango/galpão/ciclo:.....

Outras culturas produzidas na propriedade:

Cultura: .....

Área Plantada: .....ha

Cultura: .....

Área Plantada:.....ha

Cultura: .....

Área Plantada: .....ha

Cultura: .....

Área Plantada: .....ha

Dados de consumo de energia (retirados da média das 12 últimas contas de energia)

Tarifação:.....

Consumo mensal de energia elétrica: ..... kWh

Potência elétrica tomada mensal média:..... kW

Consumo de GLP:..... Kg ano<sup>-1</sup>

Consumo de Gasolina: .....litros ano<sup>-1</sup>

Consumo de Óleo Diesel: .....litros ano<sup>-1</sup>