



XI-066 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DO CONTEÚDO RUMINAL BOVINO COMO BIOCOMBUSTÍVEL

André Pereira Rosa⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Mestre em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Professor Substituto - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, (UFMG).

Gilberto Caldeira Bandeira de Melo

Engenheiro químico (UFMG), Mestre em Saneamento, Meio e Recursos Hídricos (UFMG), Dr.-Ing. pela Universidade de Karlsruhe, Alemanha. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG), membro do “Small Scale Working Group of the Clean Development Mechanism – CDM” junto à Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas.

Wagner Luiz Moreira dos Santos

Médico Veterinário (UFMG), Mestre em Zootecnia (UFMG), Doutor em Tecnologia e Higiene de Alimentos - Faculdade Veterinária U.C.M., Madrid – Espanha. Professor Adjunto - Departamento de Veterinária (UFMG).

Artur Torres Filho

Engenheiro Agrônomo (UFV), Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG), Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (UFMG), Diretor da Engenho 9 Engenharia Ambiental.

Stephan Gouvêa Freire

Graduando em Química (UNIVALE)

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Avenida do Contorno, 842, 7º andar. Centro, Belo Horizonte - MG. Fone: (31) 3409 1880. e-mail: anperomina@yahoo.com.br

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma avaliação do uso do conteúdo ruminal bovino como biocombustível, material gerado em matadouros e de problemático gerenciamento em muitas unidades devido ao grande volume produzido e de sua elevada umidade. O estudo consistiu em duas etapas, a primeira sobre uma avaliação da unidade frigorífica realizada ao longo de um dia típico de operação, compreendendo a caracterização do conteúdo ruminal gerado ao longo de quatro pontos, destacando-se a prensa o último ponto do processo; as análises foram dadas para umidade, composição imediata e poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI); em outro momento foi realizada a avaliação do potencial de geração de créditos de carbono com a mudança de destino do resíduo, deixando de ser enviado ao aterro sanitário e passando a ser utilizado na forma de biocombustível pela própria empresa, a metodologia utilizada para a estimativa das reduções de GEE foi obtida junto ao UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*). A geração média de conteúdo ruminal foi de 24,7 kg/animal abatido. A instalação da prensa contribuiu com uma redução de 4,3 % de umidade e retirada de 1.267 m³/ano de líquido. O material retirado após a prensa apresentou 5,4 % de cinzas e umidade de 84,3 %, sendo estimada uma produção anual deste resíduo de 3.360 ton., com a proposta de aproveitamento energético do resíduo a redução em massa de material para disposição no aterro foi de 99,4 %. Em um cenário com as características naturais de ambos os materiais, observa-se um potencial de geração de energia de 785.086 MJ/mês (lenha) e de 146.866 MJ/mês (conteúdo ruminal), para esta situação o uso do conteúdo ruminal alcançaria o potencial de substituição de 18,7 % da lenha consumida pelo frigorífico, correspondendo a uma forma de disposição para o conteúdo ruminal e a substituição de parcela da lenha demandada pelo frigorífico. Na submissão do projeto para obtenção de créditos de carbono estima-se uma redução na quantidade de CO₂e. da ordem de 10.850 ton. e 37.303 ton. para 10 e 21 anos de projeto e uma receita bruta proveniente da venda destes créditos de R\$ 440.519 e R\$ 1.514.505, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento energético, conteúdo ruminal, biocombustíveis.



INTRODUÇÃO

O crescimento da população brasileira tem como consequência uma demanda crescente por alimento, o que resulta na necessidade de maiores áreas para cultivo de culturas e desenvolvimento da pecuária. No Brasil, a pecuária bovina vem crescendo a taxas superiores a da população humana. Em 2006 a produção brasileira foi superada apenas pelos EUA. Acompanhando a tendência de crescimento do rebanho bovino, fica evidente a maior geração de resíduos provenientes da atividade de pecuária, estes gerados em várias etapas, com especial destaque aos resíduos produzidos nas unidades frigoríficas.

Dentre os resíduos gerados nos estabelecimentos de abate destaca-se o conteúdo ruminal, material predominantemente vegetal em processo de digestão no rumem bovino, com uma taxa de geração média de 23 kg por animal abatido (SCGRS, 2002). Devido ao estágio de digestão, este resíduo encontra-se em uma etapa intermediária, não sendo caracterizado nem como ração nem como estrume, mas com características de ambos. O volume do resíduo produzido é significativo nas unidades frigoríficas, trazendo gastos em seu gerenciamento, além do desperdício de seu potencial energético diante da elevada composição celulósica do resíduo.

De acordo com Pacheco (2006), este resíduo corresponde ao principal resíduo gerado em matadouros de bovinos, representando em torno de 7 %, em massa, dos produtos gerados em frigoríficos. Avalizando-se o volume deste material, Melo *et al.* (2004), estimaram para cinco unidades frigoríficas, de médio e grande porte, monitoradas na região metropolitana de Belo Horizonte uma geração correspondente a 35,6 litros de resíduo por cabeça, totalizando um geração de 32 m³ diários, com 97 % de massa seca distribuídos em sólidos voláteis (86,3 %), sólidos fixos (13,7 %).

Em virtude da elevada geração do conteúdo ruminal, algumas alternativas tem sido reavaliadas, visto que este resíduo é destinado, principalmente, para o uso agrícola ou enviado a aterros sanitários, muitos dos quais passam a não aceitá-lo. Dentre as alternativas propostas para o uso deste resíduo, destaca-se o aproveitamento desta fonte de biomassa através de seu aproveitamento energético nas unidades frigoríficas e substituição de outros combustíveis empregados.

Para Fargione *et al.* (2008) a proposição de biocombustíveis para a substituição de combustíveis fósseis revela-se vantajosa quando do uso de resíduos ou uso de culturas plantadas em áreas não desmatadas, pois assim o biocombustível não implica em alterações no uso do solo e desmatamento.

De acordo com Jenkins (1990) *apud* Cortez *et al.* (2008), o poder calorífico inferior (base seca) para alguns resíduos gerados em atividades agrícolas pode ser estimado por: eucalipto (19,4 MJ/kg), casca de arroz (19,0 MJ/kg), bagaço de cana (16,1 MJ/kg).

O emprego do conteúdo ruminal torna-se interessante pela possibilidade de redução do volume de resíduos e substituição de outras fontes de combustíveis, especialmente as classificadas como não-renováveis, sejam os derivados do petróleo ou a lenha proveniente de desmatamentos, possibilitando com isso vantagens econômicas para as unidades frigoríficas. Por outro lado, a queima deste material evita a sua decomposição biológica em condições anaeróbias nos aterros sanitários, onde grandes quantidades de GEE (gases de efeito estufa) são geradas. A redução das emissões dos GEE pode ser validada pela aplicação de metodologias de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, instituídos pelo Protocolo de Kyoto e pela Convenção Quadro das Nações Unidas de Mudanças Climáticas (www.unfccc.int), pois modificam uma situação pré-existente (linha de base).

Busca-se neste trabalho avaliar o potencial de uso do conteúdo ruminal gerado em uma unidade de matadouro-frigorífico, com o foco de se estimar através da determinação da quantidade de resíduo gerado e das propriedades que conferem a este resíduo o potencial de ser utilizado como biocombustível.



METODOLOGIA

Esta pesquisa insere-se no projeto aprovado pela FINEP intitulado: “Biocombustíveis derivados de processos de tratamento de efluentes em indústrias frigoríficas”, sendo uma parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a empresa Engenho 9 Engenharia Ambiental Ltda, localizada em Ribeirão das Neves, Minas Gerais. A coleta do material foi realizada em um matadouro frigorífico na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais.

Os trabalhos para a verificação do potencial de uso do conteúdo ruminal bovino como biocombustível estão divididos em três etapas. A primeira corresponde a uma avaliação da unidade frigorífica, compreendendo a caracterização do conteúdo ruminal gerado; a segunda consiste na aplicação do resíduo em um teste de queima sob condições controladas para verificar as emissões atmosféricas resultantes, com especial destaque para formação de dioxinas e furanos; e a terceira, de avaliar o potencial de geração de créditos de carbono com a mudança de destino do resíduo, deixando de ser enviado ao aterro sanitário e passando a ser utilizado na forma de biocombustível pela própria empresa. Este trabalho relata os resultados da primeira e da última etapa, o teste de queima será realizado e publicado posteriormente.

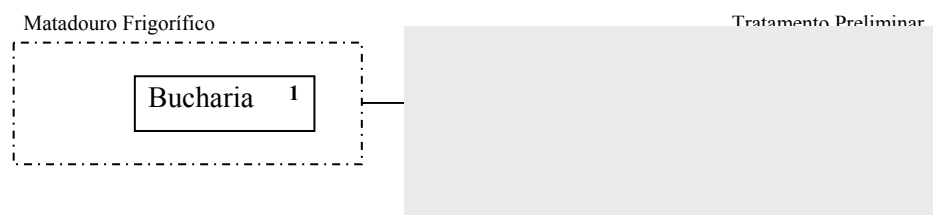
Coleta e caracterização das amostras

A coleta e caracterização das amostras ocorreram no dia 04/04/09. Nas dependências da sala de bucharia (Figura 2A), onde é realizada a abertura do rumem bovino e a retirada do conteúdo ruminal, realizou-se a coleta a cada uma hora do material ruminal. O procedimento utilizado foi da coleta do material ruminal proveniente de três rumens escolhidos de forma sequencial e aleatória ao longo da esteira. Verificou-se, através de pesagem, uma média de cada amostra em torno de 5 kg. No final das coletas, com duração de 8 horas, obteve-se uma amostra composta, que foi homogeneizada, retirando-se por quarteamento uma amostra final, em torno de 3 kg de material, que foi posteriormente caracterizada em laboratório como representativa do conteúdo ruminal *in natura* deste dia de operação.

Na mesma frequência, horário, foi realizada a coleta de três outros pontos distintos na unidade de tratamento de efluentes do Frigorífico Mafrial. O segundo ponto de coleta foi a saída da peneira rotativa (Figura 2B), onde ocorre o deságüe de toda a linha verde do frigorífico, tendo como objetivo a redução dos níveis de umidade e a separação sólido-líquido do afluente na estação. O terceiro ponto onde se realizou a coleta foi na entrada da prensa (Figura 2C). O material que alimenta o equipamento é transportado da saída da peneira rotativa por uma rosca sem fim. O resíduo retirado na saída da prensa caracteriza o quarto ponto de amostragem (Figura 2D).

A prensa instalada possui pressão nominal de 20 kgf/cm² e operação com uma pressão máxima de 50 kgf/cm². Este equipamento foi instalado com o intuito de receber todos os efluentes da linha verde, contemplando a sala de bucharia (conteúdo ruminal e conteúdo do intestino dos animais). O líquido proveniente da unidade de prensagem é canalizado por tubulação e tratado na ETE do matadouro. Com uma frequência horária, o líquido em extração foi coletado na base do equipamento e colocado em dois recipientes, um para a análise de DBO e o outro, com solução preservante, para a determinação da DQO. Nos intervalos da coleta todos os frascos e material sólido coletado eram devidamente condicionados em caixa de isopor contendo gelo. Na figura 1 é representado um fluxograma com os pontos descritos.

As amostras foram devidamente preservadas e transportadas para Belo Horizonte, onde o material foi analisado no laboratório físico-químico e de nutrição animal. Na tabela 1 são apresentadas as análises realizadas para cada um dos pontos acima descritos.



(1) unidade de bucharia, (2) saída da peneira rotativa, (3) entrada da prensa, (4) saída da prensa.

Figura 1: Fluxograma dos pontos avaliados na unidade frigorífica.



(A) Sala de bucharia, (B) Peneira rotativa, (C) Prensa, (D) Saída da prensa

Figura 2: Pontos amostrados nas dependências da unidade de Matadouro-Frigorífico.

Tabela 1: Análises para a caracterização do conteúdo ruminal.

Ponto de coleta	Análises
Sala de bucharia	Umidade, composição imediata
Saída da peneira rotativa	Umidade, composição imediata
Entrada da prensa	Umidade, composição imediata
Saída da prensa	Umidade, composição imediata, FDN, FDA, lignina, celulose, PCI

FDN (fibra de detergente neutro), FDA (fibra de detergente ácido), PCI (poder calorífico inferior)

A determinação de umidade e composição imediata foi realizada em laboratório em quadruplicata; a metodologia para estes testes seguiram a norma para carvão vegetal (NBR 8112). As análises de fibras, frações de celulose, PCI, PCS e composição elementar foram realizadas com uma amostra representativa do ponto quatro.

Determinação do conteúdo ruminal por animal

Para se determinar a massa média de conteúdo ruminal por animal foram avaliados dados do processo de abate no frigorífico, como informações referentes à quantidade e o sexo dos animais abatidos ao longo de seis dias de abate. Junto à prensa, um caminhão recebia todo o material prensado proveniente da linha verde, o qual era pesado antes e logo após o término do processo de matança. A estimativa da massa média de conteúdo ruminal é dada pela razão entre a massa de conteúdo ruminal recolhido na prensa e a quantidade de animais abatidos neste intervalo de tempo avaliado.

Créditos de carbono pelo uso do conteúdo ruminal como biocombustível

Com a proposta de uso do conteúdo ruminal na própria unidade frigorífica através de sua queima nas caldeiras, em conjunto com a lenha (eucalipto), passa-se a dispensar o envio deste resíduo para o aterro sanitário municipal, como consequência é evitada a geração de gases de efeito estufa provenientes do processo anaeróbico de degradação. A metodologia utilizada para a estimativa das reduções de GEE foi obtida junto ao UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), sendo denominada “Produção de metano pelo decaimento da biomassa evitada através de processos de combustão, gaseificação e tratamento mecânico/térmico”.

O cálculo das emissões evitadas tem como base um período de 21 anos, visto que os projetos MDL aprovados para geração de créditos de carbono podem ser validados por um prazo de sete anos, renovados no máximo por mais duas vezes, sendo as emissões evitadas pela instalação da atividade de projeto (aproveitamento energético do conteúdo ruminal) estimadas de acordo com a equação 1. Esta emissão pode ser dada em função da diferença entre as emissões da linha de base e a soma das emissões do projeto e de vazamento.

$$ER_y = BE_y - (PE_y + Vazamento_y) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

ER_y = Emissões reduzidas pela atividade de projeto no ano “y” (ton. CO₂e)

BE_y = Geração de GEE para a linha de base no ano “y” (ton. CO₂e)

PE_y = Emissões de GEE devido à atividade de projeto para o ano “y” (ton.CO₂e).



Vazamento = É considerado apenas se os equipamentos da tecnologia de combustão, gaseificação ou tratamento térmico/mecânico estavam sendo utilizados anteriormente em outro local, sendo neste caso necessário computar as emissões que passam a ocorrer nesse outro local. Não se aplica, portanto, no caso em questão.

As emissões da atividade de projeto (PE_y) consideram o consumo de energia dos equipamentos necessários para transformar o resíduo em biocombustível, como por exemplo a prensa, e o consumo de combustível para transportar o resíduo. O valor de zero foi adotado numa primeira aproximação para PE_y , o que pode ser considerado conservador (aceitável), visto que para o novo cenário é previsto um consumo de energia na prensa, mas uma redução na distância de transporte do resíduo, que não mais será levado ao aterro. Num projeto MDL, para ser validado, o consumo de energia na prensa deverá ser monitorado.

As emissões de metano no cenário de linha de base em um aterro sanitário utilizam o modelo de degradação da matéria orgânica de primeira ordem compreendida na metodologia AMS III.G – *Landfill methane recovery*, fazendo uso da ferramenta denominada “*Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site*”, aprovada pela UNFCCC, a qual permite o cálculo acumulado da quantidade de CO_2 equivalente que seria gerado com a disposição de um determinado resíduo em um aterro sanitário, ao longo de um período. Na equação 2 é apresentado o cálculo das emissões de CO_2e para a linha de base:

$$BE_y = BE_{CH_4,SWDS,y} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

BE_y : Geração de CO_2 para a linha de base no ano “y” (ton. CO_2e)

$BE_{CH_4,SWDS,y}$: Potencial anual de geração de metano pelo resíduo (no ano “y”), se disposto no aterro.

A quantidade de metano que seria gerado na ausência do projeto, tendo como disposição final o aterro sanitário ($BE_{CH_4,SWDS,y}$) é calculada através de um modelo multi-fase, onde o decaimento considerado para a matéria orgânica é de primeira ordem. O modelo proposto faz a diferenciação dos diferentes tipos de resíduos (j), com as suas respectivas taxas de decaimento (k_j) e diferentes frações de degradação da matéria orgânica (DOC_j). O modelo calcula a quantidade de metano gerado ao longo de todo o período proposto para o MDL, considerando-se a geração acumulada deste gás para cada ano. De acordo com a ferramenta proposta, a geração de metano ($BE_{CH_4,SWDS,y}$) no aterro sanitário é dado pela equação 3. Os valores dos coeficientes foram adotados de acordo com tabelas da ferramenta III-G.

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-kj(y-x)} \cdot (1 - e^{-kj})$$

Equação 3

Onde:

$BE_{CH_4,SWDS,y}$ = Emissão de metano evitado desde o primeiro ano do projeto implantado até o ano y, em ton. CO_2e .

φ = Fator de correlação do modelo que busca contabilizar as incertezas. O valor adotado é de 1,0 sendo sugerido pela própria metodologia.

f = Fração do metano capturado no aterro sanitário que é queimado ou utilizado de outras formas. O valor adotado é zero (0), pois o aterro sanitário avaliado não faz aproveitamento dos gases gerados.

GWP_{CH_4} = Potencial de aquecimento global do metano (Global warming potencial - GWP). Valor adotado de 21, que é o valor adotado no MDL para o gás metano (significa que cada tonelada de metano equivale a 21 toneladas de gás carbônico, do ponto de vista das mudanças climáticas).

OX = Fator de oxidação que reflete a quantidade de metano que é oxidado pelo solo ou outra via no aterro sanitário. Neste específico caso, considerou-se ausência de oxidação pela parcela de cobertura, sendo esta variável avaliada com valor igual a zero.

F = Concentração do gás metano, em volume, em relação ao gás total gerado no aterro sanitário. O valor default recomendado por IPCC (2006) é de 50%.



DOC_f = Fração da matéria orgânica degradável (degradable organic carbon - DOC) passível de decomposição. Representa qual é a proporção do carbono biogênico presente no resíduo que será efetivamente degradado no aterro. O valor default recomendado por IPCC (2006) é de 0,5.

MCF = Fator de conversão do metano. Representa qual o grau de anaerobiose no aterro sanitário, em função de suas características. O valor adotado é de 0,8, dado em função da profundidade da disposição do material e das condições de gerenciamento do aterro.

$W_{j,x}$ = Quantidade de resíduo tipo j que seria disposto no aterro sanitário em cada ano “x”, desde o início do projeto ($x=1$) até o ano “y”. No caso avaliado, considera-se apenas um tipo de resíduo gerado (o conteúdo ruminal), e a quantidade deste resíduo adotada com base nos dados de geração média anual.

DOC_j = Fração de carbono orgânico biodegradável, em peso, no resíduo tipo j . O valor adotado (20%) foi extraído dos valores do IPCC (2006), sendo o conteúdo ruminal comparado ao resíduo de jardinagem.

k_j = Taxa de decaimento para o resíduo tipo j . Esta variável é dada em função da precipitação média anual do aterro sanitário e do potencial de degradabilidade do resíduo. De acordo com os valores propostos por IPCC (2006), frente a um clima tropical e índice de pluviosidade médio para Governador Valadares abaixo de 1.000 mm, o valor da taxa de decaimento mais adequado corresponde a 0,065.

j = índice do tipo de resíduo

x = Ano durante o período de crédito, variando de ($x=1$) a ($x=y$).

y = Quantidade de anos pelo qual se dará o cálculo das emissões de metano

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do resíduo gerado

A estimativa da massa de conteúdo ruminal gerada por animal abatido após a prensa correspondeu a um valor de 24,7 kg conteúdo ruminal/animal abatido, próximo ao apresentado em literatura, tendo como base os seis dias de pesagem do material gerado na unidade, conforme apresentado na tabela 2:

Tabela 2: Abate de bovinos e determinação do conteúdo ruminal (kg) por animal abatido

DATA	Animais abatidos	n° Fêmeas	n° Machos	Massa C.R. (kg)	C.R. (kg/ animal)
18/ago	507	203	304	12.010	23,7
19/ago	262	0	262	6.490	24,8
20/ago	362	20	342	8.610	23,8
11/mar	720	338	382	42.043	26,6
12/mar	246	136	110		
13/mar	615	229	386		
				Média	24,7

De posse da geração média de conteúdo ruminal após a prensa, estimou-se a quantidade de resíduo ao longo de 1 ano (jan/08 a dez/08) (Tabela 3), o valor total calculado corresponde a 3.360 ton. de conteúdo ruminal ou de 280 ton./mês.



Tabela 3: Estimativa da massa de conteúdo ruminal gerado no período de (Jan/08 – Dez/08)

Período	n° abates	C.R (ton.)
Jan	9.244	228
Fev	11.464	283
Mar	12.412	307
Abr	16.322	403
Mai	15.501	383
Jun	16.454	406
Jul	11.939	295
Ago	8.774	217
Set	8.538	211
Out	8.819	218
Nov	8.043	199
Dez	8.516	210
Total	110.648	3.360

Sobre a composição imediata, na tabela 4 são apresentados valores médios para os quatro pontos de monitoramento.

Tabela 4: Caracterização dos resíduos obtidos em quatro pontos avaliados no frigorífico.

Ponto	Teor de Sólidos (%)			Umidade (%)
	Voláteis	Cinzas	Fixos	
1	74,8 (0,3)	8,0 (0,1)	17,1 (0,3)	88,6 (0,05)
2	79,3 (0,0)	6,0 (0,0)	14,7 (0,0)	89,6 (0,01)
3	79,6 (0,3)	4,8 (0,4)	15,6 (0,2)	86,7 (0,02)
4	78,5 (0,5)	5,4 (0,0)	16,1 (0,5)	84,3 (0,00)

Valor médio (desvio padrão)

Para o material prensado (ponto 4) a constituição para a matéria seca foi de 77,61 % (FDN), 44,33 % (FDA), 7,62 % (Lignina), 23,77 % (Hemicelulose) e 29,28 % (celulose). De acordo com os dados, com a proposta de aproveitamento energético do conteúdo ruminal estima-se uma geração de 2,37 ton. de cinzas/mês tendo como referência o teor de 5,4 % no resíduo, em base seca. As cinzas geradas do processo de combustão podem ser dispostas em aterro sanitário, havendo uma redução de 99,4 % na massa de material para disposição, posto que na ausência do projeto seriam encaminhados ao aterro 385 ton./mês de resíduo não prensado (umidade 88,6 %). Nada impede que as cinzas sejam também utilizadas em outros fins mais nobres, como, por exemplo, na aplicação ao solo.

Para o dia de coleta, a redução da umidade pela ação da prensa foi de 88,6 % para 84,3 %. Utilizando-se esta eficiência como sendo média, é estimado que para a geração anual de 3.360 ton. de resíduo prensado ocorre a retirada de 1.267 m³/ano de líquido. Os teores de DBO e DQO para o líquido extraído no dia de coleta foram de 1.947 mg/L e 4.778 mg/L, respectivamente.

Aproveitamento energético

De acordo com os dados fornecidos pelo frigorífico, para os meses de jan/09 a abr/09, o abate bovino foi de 40.137 animais (média de 10.034 animais/mês) com um gasto de 6 kg lenha/bovino, frente um consumo de 1,5 m³ lenha/h, 100 bovinos abatidos/h e uma densidade do eucalipto considerada de 400 kg/m³. Em adição, no início deste período foi realizada a troca da caldeira, sendo necessário o cálculo da equivalência energética da lenha e do conteúdo ruminal para esta condição. O gasto de lenha por mês foi da ordem de 60.206 kg e a geração de conteúdo ruminal de 247.840 kg, considerando a geração média de 24,7 kg/animal abatido.

Sabendo-se que os valores de PCI variam de acordo com a umidade, a estimativa da porcentagem de lenha que poderia ser substituída pelo uso do conteúdo ruminal, para as condições naturais de umidade, pode ser ajustada por uma relação de conversão do PCS (base seca) para o PCI (base de trabalho), como segue o modelo proposto por CORTEZ *et al.* (2008) (Equação 4):

$$PCI^t = [(PCS^s - \lambda \cdot (r + 0,09H^s)) \cdot (100 - W^t)] / 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

λ = calor latente da água (2,31 MJ/kg a 25°C)

$r = W^t / (100 - W^t)$

W^t = umidade na base de trabalho

H^s = % de hidrogênio (base seca)

Avaliando-se o uso dos dois materiais em suas condições naturais: lenha a 30 % de umidade (W^t), PCS de 20,85 MJ/kg (QUIRINO *et al.*, 2005) e composição de H^s (base seca) de 5,87 % (JENKINS, 1990 *apud* CORTEZ *et al.* 2008) e conteúdo ruminal a 84,3 % de umidade (W^t), composição de H^s de 5,68 % estimado através da análise de composição elementar e considerando o PCS de 17,35 MJ/kg semelhante ao citado por JENKINS (1990) *apud* CORTEZ *et al.* (2008) para excremento de gado, obtém-se os valores de PCI de 13,04 e 0,59 MJ/kg, para lenha e conteúdo ruminal, respectivamente. De posse dos valores já conhecidos de consumo e geração observa-se um potencial de geração de energia de 785.086 MJ/mês (lenha) e de 146.866 MJ/mês (conteúdo ruminal), para este cenário o uso do conteúdo ruminal alcançaria o potencial de substituição em torno de 18,7% da lenha consumida pelo frigorífico. Vale salientar que estas condições apresentadas são para uma unidade de matadouro de bovinos sem a unidade de graxaria (umidade de processamento de subprodutos do abate), a qual possuiria uma elevação na demanda de energia térmica.

Geração de créditos de carbono

De acordo com caracterização da geração do conteúdo ruminal médio no frigorífico de 24,7 kg/animal abatido, tem-se para o ano de 2008 uma geração de 3.360 ton. de resíduo. Como já discutido, a estimativa da redução das emissões de GEE's é realizada através da equação 2. Com o uso do modelo multi-fase, pode-se calcular as emissões evitadas em equivalente de CO₂ com base em cálculo para 21 anos de projeto de créditos de carbono, conforme apresentado na figura 3.

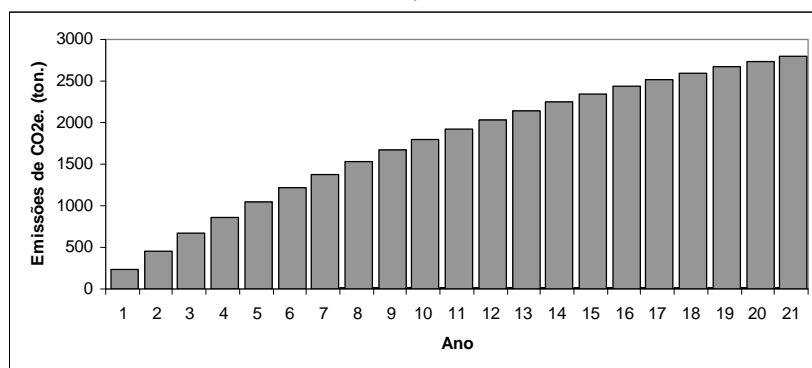


Figura 3: Emissões evitadas (CO₂e) durante 21 anos de projeto para o matadouro

A venda dos créditos de carbono segue a dinâmica de mercado, na estimativa do benefício econômico ao frigorífico foi utilizado o valor de venda encontrada nas bolsas de créditos de carbono referente a 14 euros a tonelada de resíduo, correspondendo a R\$ 40,60 para a cotação do dólar no dia 15/maio/09.

O projeto de certificação de créditos de carbono pode ser submetido para um período base de 10 anos ou até no máximo 21 anos. Na tabela 5, são apresentados para cada período o montante de CO₂e evitado e o benefício econômico que a unidade frigorífica obteria somente com as emissões evitadas de GEE's pela aplicação do projeto, frente à redução na geração de GEE's comprovada mediante monitoramento. O ganho líquido para o frigorífico seria decorrente das receitas apresentadas considerando-se ainda os gastos com a



submissão do projeto, investimento em equipamentos para monitoramento, adaptações na planta industrial, dentre outros. Nota-se, ainda, que a receita por tonelada de conteúdo ruminal submetido ao aproveitamento energético é da ordem de R\$ 13,11 e R\$ 21,46 para 10 e 21 anos, respectivamente.

Tabela 5: Cálculo do CO₂e evitado e da receita gerada com a implantação da atividade de projeto

Período avaliado	Ton. Resíduo	CO ₂ e evitado (ton.)	Receita (R\$)
10 anos	36.600	10.850	440.519
21 anos	70.560	37.303	1.514.505

CONCLUSÕES

O uso do conteúdo ruminal é sugerido como sendo uma fonte alternativa de energia dentro da indústria de abate frigorífico, devido à quantidade de material gerado em matadouros e das características do material; para a otimização do uso deste material destaca-se a necessidade de implementação de técnicas que reduzam a sua umidade, como pelo processo de prensagem, e contribuam com o aumento do poder calorífico do resíduo. Avalia-se que a opção pelo uso do conteúdo ruminal como fonte de energia é vantajosa para o gerenciamento deste resíduo no que tange a redução considerável de seu volume a ser disposto em aterros além da substituição de outros combustíveis. A geração dos créditos de carbono é uma opção positiva devido ao aproveitamento deste resíduo como biocombustível e pelos benefícios econômicos provenientes das emissões evitadas de GEE. Em adição, a observação dos passivos ambientais, tal como a possibilidade de emissões de dioxinas e furanos, frente os teores de cloro presentes no material se faz relevante.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se a FINEP, o CNPQ, e a FAPEMIG pelo fomento às atividades de pesquisa, bem como o Frigorífico Mafrial, e a Engenho 9 Engenharia Ambiental Ltda, pelo apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. Fator de empilhamento para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. IPEF, n.38, p.23-27, 1998.
2. FARGIONE, J.; HILL, J.; TILMAN, J.; POLASKY, S.; HAWTHORNE, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*. v.319, p.1235-1237, 2008.
3. JENKINS, B.M. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATION AND MANAGEMENT OF ENERGY IN AGRICULTURE: THE ROLE OF BIOMASS, 1990, Delphi. Fuel properties for biomass materials. *apud* CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. Biomassa para energia. Campinas: Editora Unicamp, 2008. 732p.
4. MELO, G.C.B.; TORRES FILHO, A.; ABREU, L.R.; DIAS, L.C.; BEIRIGO, E.A.; SCHERER, D. Resíduos Sólidos em Indústrias de Abate Frigorífico. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, 2., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2004, v.1, p. 1-10.
5. Norma NBR 8112. Análise imediata de carvão vegetal.
6. PACHECO, J. W.: Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno). São Paulo: CETESB, 2006. 98p., il., 21 cm (Série P+L).
7. QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da Madeira*. nº 89, pag 100-106, 2005.
8. SCGRS – Sistema Compartilhado de Gestão de Resíduos Sólidos para as Indústrias de Abate Frigorífico da Região Metropolitana de Belo Horizonte - 1ª e 2ª Etapa, Belo Horizonte, 2002.