



## POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO SETOR AGROINDUSTRIAL EM MINAS GERAIS – ABATE DE ANIMAIS, INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS E SETOR SUCROENERGÉTICO

**Carla Vieira Serufo** – carla.serufo@meioambiente.mg.gov.br

Fundação Estadual do Meio Ambiente

Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais - Rodovia João Paulo II, 4143 - Bairro Serra Verde  
CEP 31630-900 – Belo Horizonte – Minas Gerais

**Felipe Correia de Souza Pereira Gomes**– felipe@methanum.com

Methanum Resíduo e Energia

**Antônio Augusto Melo Malard** – antonio.malar@meioambiente.mg.gov.br

Fundação Estadual do Meio Ambiente

**Catarina Azevedo Borges** – catarina.azevedoborges@gmail.com

Methanum Resíduo e Energia

**Jorge Barbi Martins**– jorge.barbi@hotmail.com

Methanum Resíduo e Energia

**Resumo:** Os resíduos sólidos e efluentes líquidos com predominância de matéria orgânica gerados em atividades agroindustriais representam uma importante fonte de contaminação ambiental do solo e da água quando dispostos de forma inadequada. O tratamento anaeróbico se apresenta como uma alternativa de ampla aplicabilidade por permitir a conversão dessa matéria orgânica em biogás e biofertilizantes, correlacionando a gestão adequada de resíduos à geração de energia renovável. A forte vocação agroindustrial de Minas Gerais motivou o estudo do potencial de geração de energia associado ao biogás a partir do abate de animais, produção leiteira e setor sucroenergético, que, por meio de levantamento realizado, se mostraram subsetores estratégicos para a disseminação de projetos de recuperação energética no estado. Foram pesquisadas 1.620 empresas no estado relacionadas a essas três atividades, que apresentaram um potencial elétrico total de cerca de 800 MWel, o que reflete em uma capacidade para atender a demanda de mais de 3 milhões de residências. A implementação de unidades de biogás destaca-se como um fator importante para melhorar o desempenho ambiental desses setores e como uma forma de promover a expansão da produção de energia proveniente de fontes sustentáveis.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos, Efluentes líquidos, Agroindústria, Biogás, Energia.

## POTENTIAL OF BIOGAS PRODUCTION IN THE AGRO- INDUSTRIAL SECTOR IN MINAS GERAIS - SLAUGHTERING ANIMALS, DAIRY PRODUCTION AND SUGAR-ENERGY INDUSTRY

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



**Abstract:** *The solid waste and liquid effluents organic with high organic matter generated in agro-industrial activities represent a major source of environmental contamination of soil and water bodies when inadequately disposed. The anaerobic treatment is an alternative with wide applicability for allowing the organic matter conversion into biogas and biofertilizers, combining proper waste management with renewable energy production. The strong agro-industrial vocation of Minas Gerais motivated the study of the potential power generation associated to biogas from slaughtering animals, dairy production and sugar-energy industry, which, through survey, proved to be strategic sub-sectors for the dissemination of energetic recovery projects in the State. There were surveyed 1,620 enterprises in the State related to these three activities, which showed a total electric potential of about 800 MWel, which reflects in a capacity to meet the demand of more than 1.3 million households. The implementation of biogas plants stands out as an important factor to improve the environmental performance of this sector and as a way to promote the expansion of energy production from sustainable sources.*

**Keywords:** *Solid waste, Liquid effluents, Agro-industry, Biogas, Energy*

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo dos preços da energia em nível mundial vem se tornando fator decisivo para o desenvolvimento de tecnologias que promovam a correta gestão e a recuperação da energia de resíduos e efluentes (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013). Dentre os diversos tipos de resíduos e efluentes gerados nos processos produtivos, aqueles constituídos com altas taxas de matéria orgânica são potencial fonte de contaminação ambiental, pois, quando não tratados de forma adequada, contaminam o solo e corpos hídricos, contribuindo para a proliferação de vetores e doenças, geração de maus odores e emissões de gases causadores do efeito estufa (FEAM *et al*, 2015). Dessa maneira, o tratamento anaeróbio é uma alternativa de ampla aplicabilidade para a conversão de resíduos e efluentes líquidos orgânicos em biogás e biofertilizantes, associando a gestão e gerenciamento adequado à geração de energia renovável.

A energia consumida pelo setor industrial brasileiro corresponde a aproximadamente, 40% de toda a energia gerada no país, representando um dos custos mais elevados dentro dos processos de produção. Diante deste cenário, a adoção de alternativas que permitam às atividades industriais gerar energia para suprir toda ou parte de sua demanda é uma iniciativa importante e representa um ponto essencial para a redução do custo total (EPE, 2014). A implantação de uma usina de biogás configura uma alternativa que promove um ciclo contínuo de produção e consumo, propiciando à cadeia produtiva o aproveitamento dos resíduos e efluentes líquidos orgânicos, incrementando a sustentabilidade dos processos industriais e agroindustriais (FEAM *et al*, 2015).

O biogás caracteriza-se como um gás energético, devido à presença significativa de metano (CH<sub>4</sub>) em sua composição (55 a 80%) o que o torna um biocombustível com grande potencial de ampliar a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira. Sua utilização pode ser direcionada à geração de energia térmica, elétrica ou para produção de biometano (biogás com uma concentração superior a 96,5% de metano), visando atender à demanda industrial ou uso como combustível veicular (FEAM *et al*, 2015). A baixa participação do uso do biogás como recurso energético no país destaca a importância de políticas públicas que estimulem sua utilização como um biocombustível estratégico para a economia e infraestrutura do país, ao mesmo tempo em que agrega aos processos produtivos a redução dos passivos ambientais relativos ao gerenciamento dos resíduos e efluentes (IPEA, 2010).

A implantação de usinas de biogás para tratamento de resíduos e efluentes líquidos é uma realidade em diversos países do mundo, porém, no Brasil, a metanização tem sido empregada com maior expressividade apenas em alguns setores, a exemplo de tratamento de esgoto sanitário, tornando



o país líder mundial na utilização de processos anaeróbios para o tratamento desse efluente. Dessa forma, comparado a outros países e ao seu potencial de geração, existem poucas iniciativas brasileiras que realizam a utilização do biogás com finalidades energéticas. Essa situação pode ser atribuída, em parte, ao reduzido investimento tecnológico adotado nas usinas de biogás; ao baixo controle operacional do processo (o que reflete na produtividade e linearidade da geração de biogás); às dificuldades de natureza legal, devido à necessidade de regularização desses empreendimentos como unidades de produção e/ou autoconsumo de energia; ou, ainda, às barreiras econômicas, devido à necessidade de investimentos diante da incerteza quanto à rentabilidade efetiva destas instalações (FEAM *et al*, 2015). Por esse motivo, o acesso a informações técnicas e às tecnologias adequadas para cada setor é fundamental para fomentar novas iniciativas focadas no uso energético do biogás.

A valorização energética dos resíduos e efluentes líquidos orgânicos, por meio de sistemas de metanização, pode ser realizada de maneira eficiente e sustentável para a produção. O modelo de tecnologia selecionado para cada tipologia de resíduo/efluente interligado ao conteúdo de material biodegradável presente no substrato reflete diretamente no potencial de produtividade do biogás. Diversas atividades apresentam elevado potencial de geração de resíduos e efluentes líquidos para utilização em sistemas de metanização para a produção de biogás, entre elas, pode-se citar a produção de açúcar e etanol, de refrigerantes, sucos e vinhos, de conservas, de óleos e margarinas, de carne e açougues, laticínios, amidos e farinhas de cereais, de mandioca e batatas, celulose, papéis e cartonagens, cafés e chás, curtumes, panificação, indústrias farmacêuticas, agricultura e pecuária. (FEAM *et al*, 2015).

O estado de Minas Gerais apresenta uma vocação agroindustrial forte, porém ainda em trajetória de expansão, o que o torna relevante para novas oportunidades no sentido de dinamizar o setor (CRUZ *et al*, 2010). Dentro desse contexto, a implantação de empreendimentos geradores de biogás contribui positivamente para a agroindústria do estado, possibilitando sua adequação ambiental, a prática da sustentabilidade, além de ampliar a produção de energia com base em fontes renováveis, melhorando a eficiência energética da indústria local. A implantação dessas técnicas reflete diretamente no Produto Interno Bruto (PIB) do estado, na medida em que causa o reconhecimento do parque industrial mineiro por suas práticas sustentáveis, produtividade e competitividade no cenário nacional e internacional (FEAM *et al*, 2015). Dentro desse cenário, é possível prever a possibilidade de implantação de usinas cujo produto principal seja o biogás e sua produção energética e/ou a instalação de usinas de biogás dentro de indústrias já existentes.

Há mais de três décadas, as discussões sobre energia e meio ambiente na Alemanha vêm sendo norteadas principalmente pelos efeitos sobre o clima do uso da energia. A legislação favorável ao desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, principalmente voltadas para a produção de energias renováveis, promoveu uma rápida expansão na produção e uso de biogás no país desde o ano de 2000, registrando em 2010 mais de 5.900 usinas de biogás, implantadas, em sua maioria, junto às atividades agrícolas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo apresentar o potencial de produção de biogás nos setores de abate de animais, produção de laticínios e sucroenergético, os quais, por meio de levantamentos realizados, se mostraram, a princípio, representativos e estratégicos para a disseminação de projetos dessa natureza em Minas Gerais.

## 2. METODOLOGIA

Com o objetivo de se traçar o perfil da agroindústria mineira e o potencial de geração de biogás no estado de Minas Gerais, realizou-se um estudo das informações disponíveis no Sistema Integrado de Informações Ambientais (SIAM) e no Banco de Declarações Ambientais (BDA), os quais são vinculados à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD).



Por meio de pesquisas no SIAM, foram analisados dados referentes aos processos de regularização ambiental dos empreendimentos no estado, sua localização e critério de enquadramento, segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 74/04, assim como as Declarações de Carga Poluidora (DCP) dos empreendimentos a partir dos dados referentes a geração e ao tratamento de efluentes líquidos, que seguem a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/08, Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/08, Resolução CONAMA nº 357/05 e Resolução CONAMA nº 430/11.

Das 316 tipologias industriais listadas na DN COPAM nº 74/04, foram pré-selecionadas 44 atividades consideradas relevantes para a produção de biogás, as quais são tipicamente produtoras de resíduos e efluentes líquidos com elevada concentração de matéria orgânica biodegradável. Após um estudo do potencial de geração de biogás nesses setores selecionados, decidiu-se por analisar, em maior detalhe, a aplicabilidade da metanização em três atividades industriais consideradas tradicionais, com elevadas taxas de geração de resíduos e efluentes e grande número de unidades fabris: abate de animais de médio e grande porte, indústria de laticínio e setor sucroenergético.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

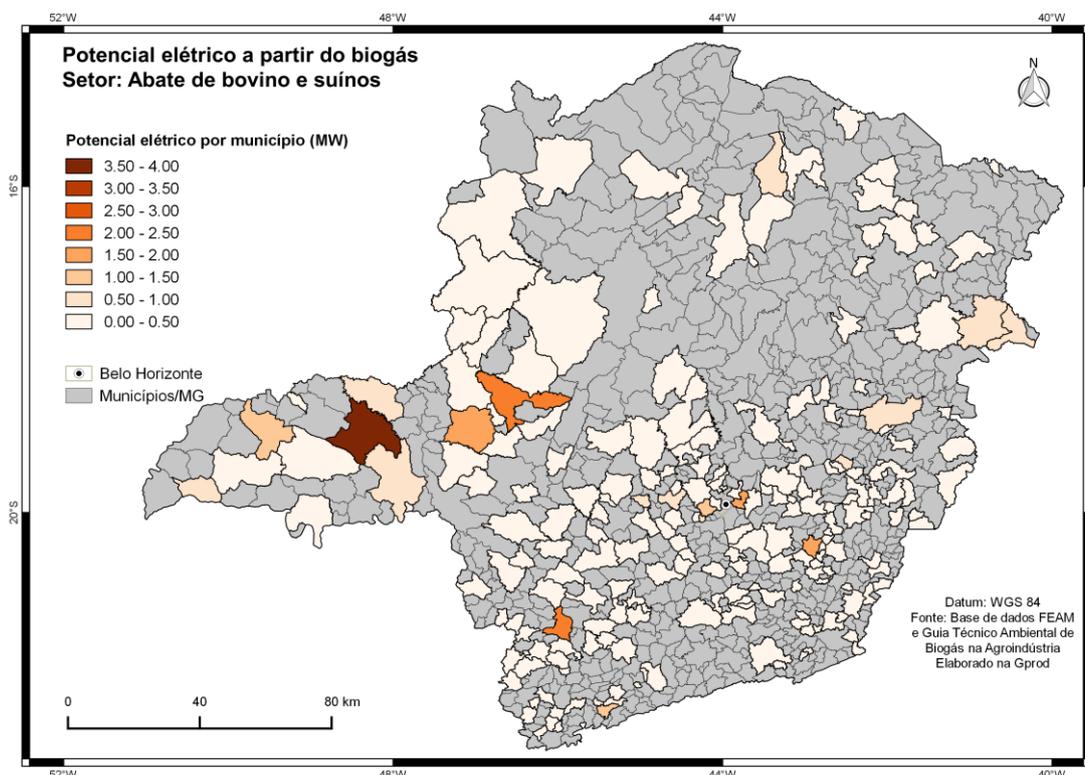
Para cada um dos três setores considerados, são apresentados dados gerais como o processo produtivo, caracterização dos resíduos sólidos e efluentes líquidos com potencial de utilização para a produção de biogás, além de informações relativas ao porte dos empreendimentos e as tecnologias de tratamento existentes. Por fim, as unidades industriais identificadas, e seus respectivos potenciais de geração de energia elétrica, foram plotados no mapa de Minas Gerais, com o objetivo de proporcionar uma melhor visualização locacional.

#### 3.1. Abate de animais de médio e grande porte (bovinos e suínos)

Desde 2004, o Brasil lidera o ranking mundial de maior exportador de carne bovina e ocupa a 4ª posição no mercado de suínos (ABPA, 2015). Em 2014, Minas Gerais abateu 3,2 milhões de bovinos e 5 milhões de suínos, o que corresponde, respectivamente, a 9,5% e 13,4% da produção nacional (IBGE 3, 2015). O setor de carnes se destaca na pauta de exportação do agronegócio mineiro, o qual representou 13,5% do total de recursos gerados com a exportação nesse setor, no ano de 2013.

Os processos de abate de bovinos e suínos são bastante semelhantes, sendo ambos enquadrados na DN COPAM nº 74/04 sob o código *D-01-03-1 – Indústria de abate de animais de médio e grande porte*. Em Minas Gerais, existem 381 empreendimentos, conforme levantamento no SIAM, os quais estão distribuídos em todo o estado, com destaque para as regiões Central, Centro-Oeste, Sul, Zona da Mata, Rio Doce – que possuem a maior quantidade de empreendimentos – e para regiões do Alto Paranaíba e Triângulo – onde estão instalados os abatedouros de maior capacidade de produção. Os municípios que apontaram para os maiores potenciais elétricos estimados, de acordo com as suas produções locais, foram: Uberlândia (3,85 MW), Patos de Minas (2,30 MW), Ponte Nova (1,89 MW) e Ituiutaba (1,46 MW), conforme observado na Figura 1:

Figura 1: Distribuição do potencial elétrico a partir do biogás no setor de abate



As atividades e processos industriais relacionados ao abate de animais são geradores de grandes quantidades de subprodutos, resíduos e efluentes orgânicos, tais como couros, sangue, ossos, gorduras, aparas de carne, tripas, carcaças, vísceras comestíveis, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária. Em geral, os resíduos sólidos gerados são encaminhados à graxaria (atividade de processamento de subprodutos de origem animal para produção de sebo, óleos e farinhas), enquanto os efluentes líquidos, com exceção do sangue gerado no abate de suínos (geralmente utilizado na fabricação de produtos alimentícios) são direcionados a sistemas de tratamento de efluentes. Tanto os resíduos, quanto os efluentes, possuem elevada carga orgânica biodegradável e grande potencial de produção de biogás.

Os resíduos/efluentes gerados nos abatedouros geralmente são segregados em três linhas:

- Linha Verde: composta por águas de lavagem dos currais, pocilgas e áreas de recepção de animais em geral, rampas de descarga, área de circulação de animais, áreas de limpeza e processamento de tripas, buchos e graxarias;
- Linha Vermelha: composta por águas de lavagem da área destinada ao abate, incluindo as áreas anexas, na qual o sangue é o principal constituinte;
- Linha de Efluentes Sanitários: composta por efluentes sanitários da planta, provenientes de banheiros e refeitórios.

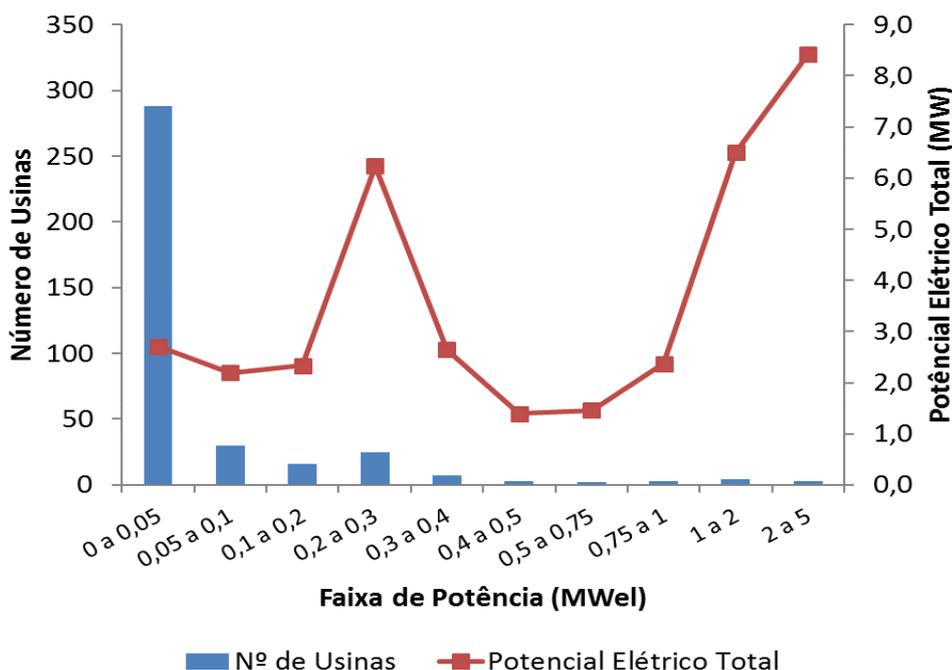
Os resíduos e efluentes líquidos de abatedouros se caracterizam, principalmente, por uma elevada carga orgânica devido à presença de sangue, gordura, esterco, conteúdo estomacal não digerido e conteúdo intestinal. Em geral, os resíduos e efluentes gerados no abate de animais possuem características bastante favoráveis à metanização devido à quantidade de nutrientes e capacidade de tamponamento adequado ao crescimento microbiano, além de serem gerados com temperatura entre 20° e 30°C (FEROLDI et al, 2014).

As escalas típicas das plantas de biogás em Minas Gerais para a atividade de abate de animais de médio e grande porte podem ser definidas em função da capacidade instalada dos empreendimentos (nº de cabeças abatidas por dia), das taxas médias de geração de resíduos e efluentes e seus respectivos potenciais de produção de metano. Dessa forma, a partir de dados da capacidade instalada de abate de animais, informada nos processos de regularização ambiental, estimou-se a potência elétrica e, com base nos dados informados para cada empreendimento, a taxa de geração de resíduos e efluentes e a consequente produção de biogás e potencial elétrico. A partir disso a capacidade instalada de cada empreendimento pela relação entre o montante de suínos e bovinos abatidos no estado, no ano de 2014, o que correspondeu a 60,7% de suínos e 39,3% de bovinos (IBGE 3, 2015).

Para a conversão da geração de metano em potência elétrica instalada, considerou-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano igual a 9,97 kWh/m<sup>3</sup> e uma eficiência elétrica de 30% para os empreendimentos com potencial até 50 kWel e de 40% para empreendimentos com um potencial superior a esse valor (FEAM et al, 2015)

Do total de 381 empreendimentos, 288 instalações, correspondente a 76% do total, possuem um potencial de instalação de até 50 kWel (0,05MWel). Estes pequenos empreendimentos, com capacidade instalada de até 100 cabeças abatidas por dia, somam uma capacidade instalada de menos de 3MWel conforme apresentado na Figura 2:

Figura 2: Potencial de usinas de biogás - setor de abate



O processamento dos resíduos e efluentes gerados em abatedouros, com foco na produção de biogás, geralmente é realizado em reatores contínuos de tanque agitado (CSTR) ou em lagoas otimizadas. Por ser um substrato com elevados teores de proteínas e lipídios, a relação carbono/nitrogênio tende a ser inadequada, levando, em muitos casos, à inibição do processo metanogênico, devido à reduzida taxa de hidrólise apresentada por estes resíduos. Outros problemas que podem ocorrer são a flotação do lodo e a formação de espuma, o que acarreta a remoção da biomassa microbiana do reator e redução da eficiência do sistema, além da formação e o acúmulo de constituintes inibitórios no interior do reator, tais como ácidos graxos de cadeia longa, sulfeto de hidrogênio e amônia. Uma alternativa muito empregada para correção dessa relação é a codigestão com substratos de elevados teores de carbono. Geralmente são utilizados substratos como esterco,

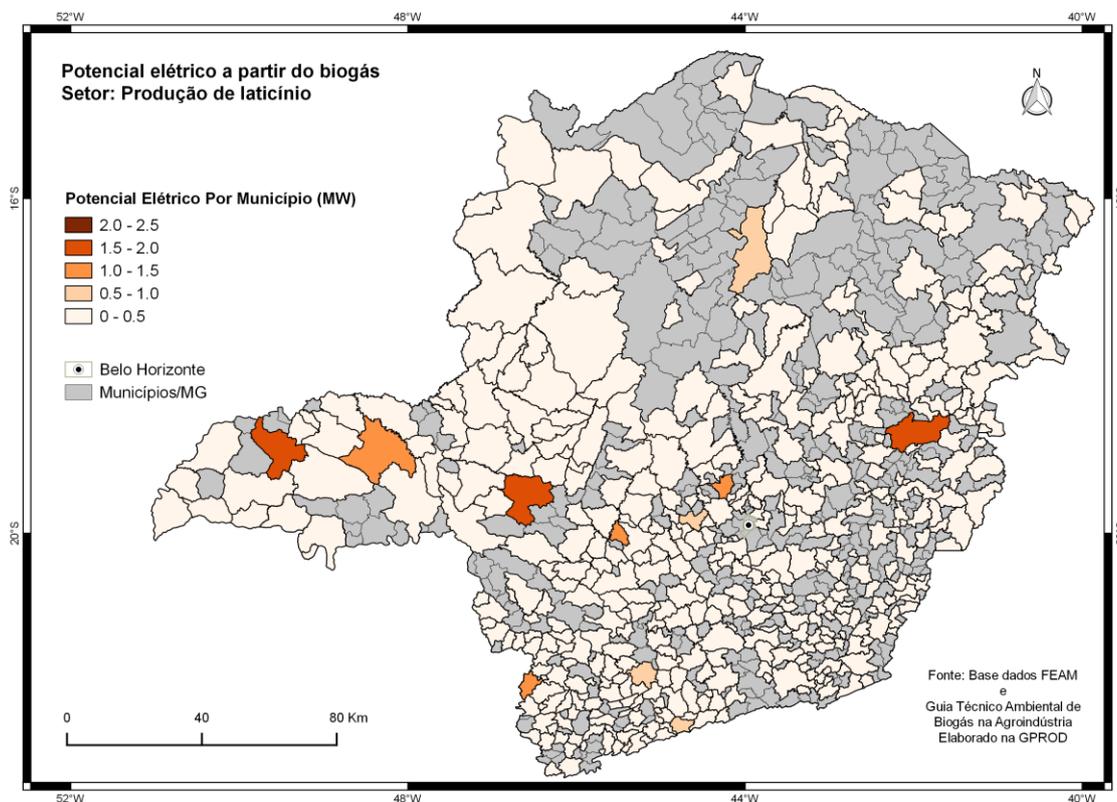
resíduos de refeitórios (que podem ser da linha de efluentes sanitários do próprio empreendimento) ou plantios energéticos.

### 3.2. Laticínios

O Brasil é um dos maiores produtores de leite do mundo e ocupou a quinta posição no ranking mundial de produção de leite em 2014, atrás da União Europeia, Índia, Estados Unidos e China, apresentando uma produção total de leite de 35,17 bilhões de litros (IBGE, 2015). O estado de Minas Gerais se apresenta como o principal produtor de leite em 2014, sendo responsável, segundo dados publicados pelo IBGE, por 9,37 bilhões de litros, o que corresponde a 77,0% de toda a produção da Região Sudeste e a 26,6% do total da produção do país.

De acordo com dados coletados no SIAM, existem 1.166 empreendimentos no Estado de Minas Gerais, enquadrados sob o código *D-01-06-6 - Preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios*, segundo a DN COPAM nº 74/04, os quais totalizam uma capacidade instalada de processamento de leite de 14.622.770.890 L/ano. Em 2014, foram industrializados 6.581.450.000 L de leite cru, o que representa uma utilização de cerca de 50% da capacidade instalada (IBGE, 2014). Os empreendimentos estão distribuídos por todo o estado, com destaque para as regionais Alto São Francisco, Sul de Minas, Zona da Mata, Central e Leste Mineiro. O município de Governador Valadares apresenta o maior potencial (2,75 MW), seguido dos municípios de Ituiutaba, Ibiá e Uberlândia, que apresentam valores de 1,65MW, 1,60MW e 1,46MW, respectivamente, Figura 3:

Figura 3: Distribuição do potencial elétrico a partir do biogás no setor de laticínios



O setor de laticínios gera resíduos e efluentes líquidos com uma elevada carga orgânica em função da própria característica do leite e dos produtos lácteos, os quais possuem gorduras, que conferem alta concentração de óleos e graxas nos efluentes gerados (CICHELLO et al, 2013). O tratamento típico dos efluentes líquidos é realizado via processos biológicos, sendo as principais



alternativas o sistema australiano (lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas); o sistema de lodos ativados convencional ou de fluxo intermitente; o sistema de lagoas anaeróbias – lagoas aeradas – lagoas de decantação; o sistema filtro anaeróbio – biofiltro aerado e a disposição no solo (FEAM & FIEMG, 2014).

Em 2011, a FEAM realizou uma pesquisa com 171 empreendimentos de Minas Gerais e constatou que 55% das instalações possuíam estação de tratamento de efluentes implantadas e em operação, sendo que, destas, 40% utilizavam sistemas de lodos ativados, 26,5% lagoas de estabilização, 18% sistemas anaeróbios, 4,3% processos físico-químicos e 12% utilizam apenas o tratamento primário.

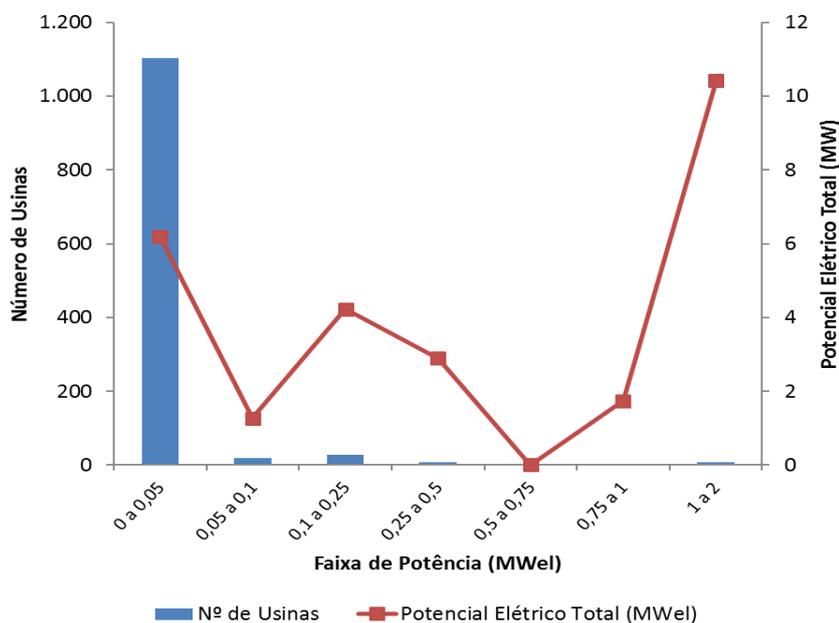
Os principais produtos gerados nesse setor são leite pasteurizado, leite Ultra-High-Temperature (UHT), leite em pó, queijos, requeijão, iogurte, doce de leite, manteiga e soro proveniente da produção de queijo (FEAM, 2011). A fabricação de cada produto lácteo apresenta processo produtivo específico, possuindo diferentes etapas. Os efluentes líquidos gerados na produção de laticínios se configuram como o principal substrato do setor para a produção de biogás. Além do elevado conteúdo orgânico, os efluentes são gerados em grandes quantidades, variando tanto em características quanto em quantidades, em função do tipo de produto fabricado. A geração de efluentes líquidos consiste das atividades de lavagem de máquinas e equipamentos, pisos e paredes da linha de produção; dos vazamentos, derramamentos e transbordamento de tanques; do arraste de produtos durante a produção de leite condensado e em pó; da etapa de embalagem e do descarte de produtos inadequados ao consumo e, principalmente, o soro, cuja estimativa de geração é de 9 a 12 litros para cada quilo de queijo (GIROTO & PAWLOWSKY, 2001).

Os efluentes são constituídos basicamente por leite, gordura, detergentes e desinfetantes utilizados nas lavagens em geral, além de lubrificantes para a manutenção dos equipamentos, óleos e graxas, nitrogênio e fósforo. Além disso, apresentam uma alta condutividade e grandes variações no pH e na temperatura (MAGANHA, 2006).

A definição da escala e tamanho típico de plantas de biogás em Minas Gerais, foi realizada de forma similar ao do setor de abate, sendo considerada a capacidade instalada de cada um dos empreendimentos do estado que desenvolvem a atividade de preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios. Considerou-se para os cálculos a taxa média de geração de efluentes de 4 L/kg de leite processado, a densidade do leite igual a 1,032 kg/L (VENTURINI, 2007), o valor médio de DQO de 4.427 mg/L com 88% de degradabilidade e uma taxa de geração de metano de 295 m<sup>3</sup> por tonelada de DQO removida (HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG, 2004).

Os empreendimentos do setor de laticínios de Minas Gerais apresentam um maior potencial para instalação de usinas de biogás de pequeno porte, identificados em um total de 1.102 usinas, ou 94,5% do total. Os empreendimentos de pequeno porte apresentam uma produção menor que 85 mil litros de leite por dia e uma predominância de empreendimentos com potencial elétrico de até 50 kW (0,05MW). Os empreendimentos considerados de maior porte apresentam uma produção entre 1.270.000 e 2.540.000 litros de leite por dia e, apesar de apresentarem somente 8 unidades, respondem por 39% do potencial elétrico total do estado. Os empreendimentos de pequeno porte somam um potencial elétrico total de 6MWel, contidos nos 27 MWel, que representa o potencial total de produção de energia elétrica desse setor, conforme apresentado na Figura 4:

Figura 4: Potencial de usinas de biogás - setor laticínio



Assim, o biogás pode se tornar uma alternativa para atendimento da demanda térmica dos laticínios, substituindo lenha ou outros combustíveis utilizados em caldeiras. No caso da geração elétrica, esses empreendimentos poderiam utilizar a energia internamente (autoconsumo), sem a necessidade de realizar obras de interconexão com a rede para exportação de eletricidade.

A tecnologia de metanização mais aplicável ao processamento dos efluentes, com foco na produção de biogás na indústria de laticínios, são os reatores de alta taxa, em especial a tecnologia UASB. A utilização desses sistemas permite o tratamento de uma elevada carga orgânica com uma reduzida demanda de área. Devido às variações nas taxas de geração dos efluentes, carga orgânica, pH e temperatura, é altamente recomendável que seja utilizado um tanque de equalização prévio ao sistema, para minimizar essas flutuações.

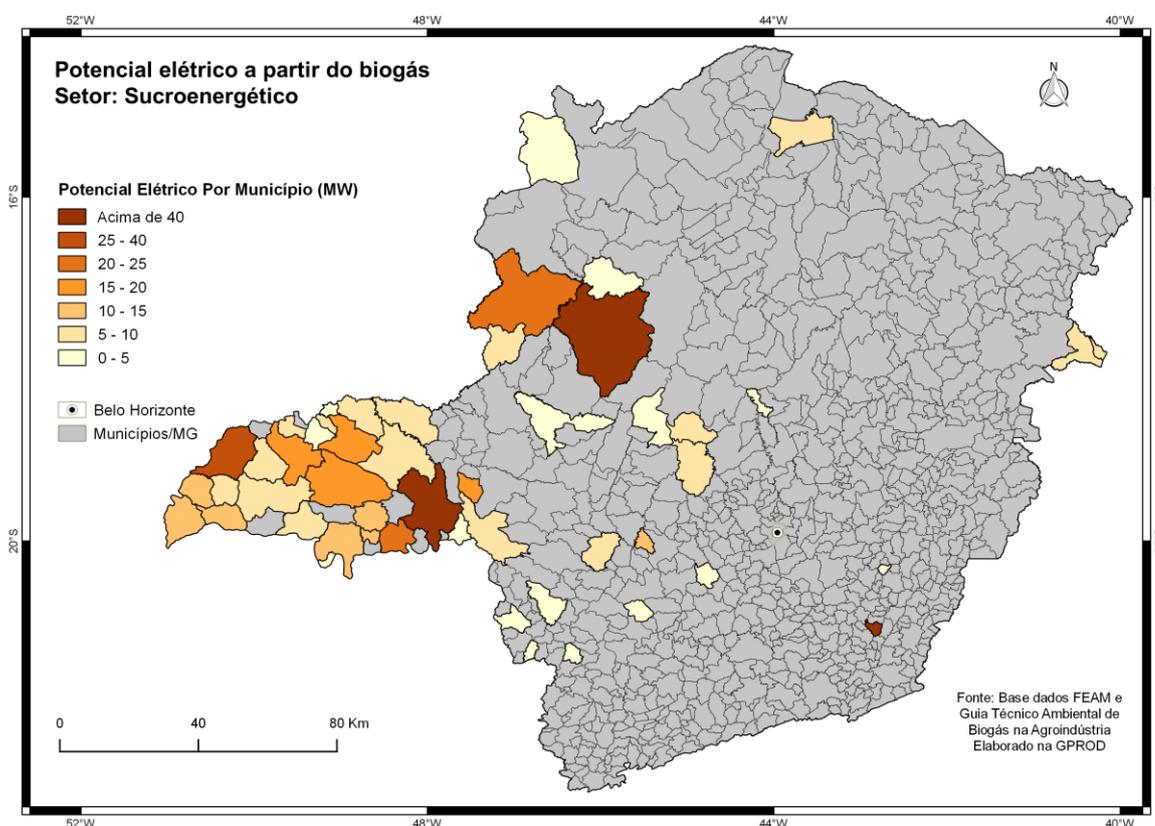
As altas concentrações de lipídio no efluente, superiores a 1.500 mg/L (HWU *et al*, 1998), tendem a ocasionar a flotação da biomassa e a má formação dos grânulos, bem como a geração de espuma, em função do acréscimo de ácidos graxos não biodegradáveis no interior do reator. A utilização de um flutuador prévio ao reator é recomendada para remover parte da gordura presente no efluente, de modo a garantir uma operação mais constante do sistema.

### 3.3. Sucrenergético

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, destacando-se como maior produtor e exportador de açúcar e o segundo maior produtor de etanol (EMBRAPA, 2009). No cenário brasileiro, Minas Gerais ocupa o segundo lugar em produção de açúcar e o terceiro de etanol, ressaltando a importância do setor sucroenergético para o estado. Na safra brasileira de 2014/2015, foram moídas 597 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo produzidos 37,7 milhões de toneladas de açúcar e 23,2 milhões de m<sup>3</sup> de etanol. Minas Gerais foi responsável por 9,3% da moagem de cana, 8,7% da produção de açúcar e 8,6% de etanol do país. Do total de cana-de-açúcar processada em Minas Gerais, 42,3% foram destinadas à produção de açúcar e 57,7% para a de etanol (SIAMIG, 2015).

De acordo com os dados coletados no SIAM, existem 73 empreendimentos sucroenergéticos no estado de Minas Gerais, sendo quatro deles enquadrados pela DN COPAM nº 74/04 no código *D-01-08-2 - Fabricação e refinação de açúcar*, 28 no código *D-02-08-9 - Destilação de álcool* e 41 instalações classificadas nos dois códigos. Os empreendimentos estão localizados predominantemente na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. O município de João Pinheiro se destaca com um potencial elétrico de mais de 218 MW, seguido de Visconde do Rio Branco e Uberaba, que apresentam 63,22 MW e 40,48 MW, respectivamente (Figura 5):

Figura 5: Distribuição do potencial elétrico a partir do biogás no setor sucroenergético



O setor sucroenergético configura-se como um importante produtor e exportador de energia elétrica a partir da queima do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a biomassa da cana representava 16,1% da oferta interna de eletricidade em 2013, configurando-se como a segunda fonte de energia mais importante da matriz elétrica brasileira (EPE, 2014). A participação é importante não só para a diversificação das fontes de geração, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem nas regiões Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país (ANEEL, 2015). Esse potencial de geração de eletricidade pode ser ainda mais relevante caso sejam implantados projetos de produção e aproveitamento do biogás gerado no tratamento dos resíduos e efluentes líquidos do setor.

O processamento da cana-de-açúcar tem como objetivo a produção de açúcar, etanol e eletricidade. O processo inicia-se com a recepção da cana, que é limpa antes de iniciar a moagem para a extração do caldo. A limpeza pode ser realizada por via seca ou úmida. Nos processos via úmida mais aplicados para a cana colhida manualmente, é realizada uma lavagem da matéria-prima sendo gerado um efluente denominado água de lavagem, o qual possui uma DQO elevada e grande quantidade de sólidos inorgânicos (terra, areia, etc.). No caso da colheita mecanizada, tende-se a



empregar os sistemas de limpeza a seco, para reduzir as perdas de açúcar, não gerando nenhum tipo de efluente líquido e os resíduos minerais gerados no processo retornam à lavoura de cana. Por ser uma tecnologia mais recente, a grande maioria das usinas em operação ainda utiliza o processo de limpeza a úmido.

A cana limpa é então direcionada à moenda para extração do caldo. Nessa etapa ocorre a produção do bagaço, o qual é direcionado à queima para geração de vapor e eletricidade. De modo a remover as impurezas presentes no caldo, são aplicados processos de tratamento compostos pela adição de produtos químicos, decantação, flotação e filtragem. Nessa etapa é gerada a torta de filtro, a qual é direcionada à lavoura para uso agrícola. Geralmente, o caldo é segregado em caldo primário, o qual é direcionado para a fabricação de açúcar, e o caldo secundário, destinado à fabricação do etanol.

Após a extração do açúcar, gera-se o melaço que pode ser direcionado para a produção de etanol ou ser utilizado na indústria alimentícia, para a produção de ração animal. O caldo secundário, juntamente com o melaço, é fermentado e destilado para a produção do etanol. Na etapa de destilação, é gerada a vinhaça, utilizada lavoura de cana em sistemas de fertirrigação.

Portanto, os principais resíduos gerados no processamento da cana de açúcar são: a água de lavagem da cana, bagaço, torta de filtro e vinhaça. Todos possuem significativa carga orgânica e potencial de produção de biogás. A água de lavagem possui elevada carga orgânica, porém, elevado teor de sólidos em suspensão e areia, o que pode comprometer os processos de produção de biogás. O bagaço, gerado na saída da última moenda, após a extração do caldo, é comumente direcionado para queima na caldeira, visando à geração adicional de vapor, utilizado nos processos industriais da usina, bem como na geração de eletricidade, que geralmente supera o autoconsumo da indústria sendo o excedente comercializado com a concessionária de energia elétrica.

A torta de filtro, por sua vez, é resultante do processo de tratamento do caldo após o processo de decantação, e a vinhaça é gerada na etapa de destilação do vinho para extração do etanol. A torta de filtro pode ser empregada diretamente nas áreas de plantio ou direcionada para compostagem e, em seguida, aplicada na lavoura como corretivo de solo e fertilizante, observado os devidos controles. A vinhaça, rica em potássio, é aplicada diretamente no solo, empregada como complemento de ração animal ou utilizada para compor uma parcela da água de diluição do melaço (PAOLIELLO, 2006).

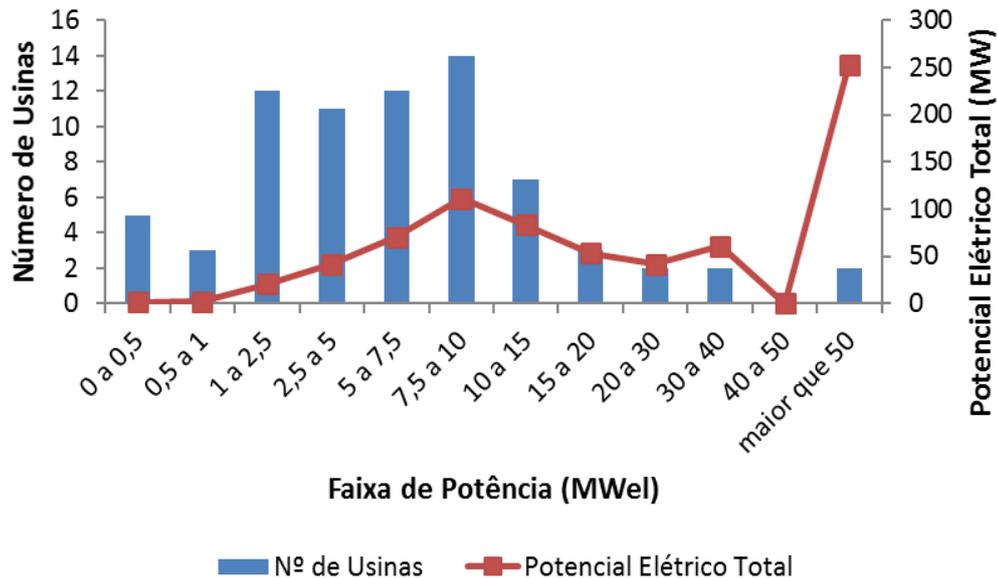
A torta de filtro e a vinhaça são os resíduos/efluentes com carga orgânica mais elevada de todo o processo produtivo, demonstrando elevado potencial para a produção de biogás.

A escala das usinas de biogás associadas a empreendimentos sucroenergéticos no estado pode ser estimada a partir da capacidade instalada dos empreendimentos e das taxas de geração de torta de filtro e vinhaça, bem como a produtividade média de biogás associada a estes substratos.

A capacidade instalada das usinas foi obtida no SIAM, sendo o critério de enquadramento adotado para essa atividade, conforme a DN COPAM nº 74/04, a capacidade diária de moagem de cana. Para as usinas que realizam as atividades de produção de açúcar e etanol, em caso de divergência nos valores apresentados para as duas atividades, o presente estudo considerou o maior. Para a conversão do potencial de produção de metano, considerou-se os mesmos critérios adotados para a indústria de abate.

Dos 73 empreendimentos existentes em Minas Gerais, aproximadamente 50 deles possuem capacidade instalada de entre 1.600 e 15.800 toneladas de cana moída por dia e 64 possuem um potencial elétrico a partir do biogás de até 15 MWel, totalizando 330,7 MWel. Cabe destacar ainda que, somados apenas os dois maiores empreendimentos, o potencial de produção de energia elétrica é de 252,9 MWel de um total de 739,3 MWel do setor, conforme apresentado Figura 6.

Figura 6 - Potencial de usinas de biogás - setor sucroenergético



Apesar desse elevado potencial energético do setor, não existe no estado nenhum empreendimento com produção de biogás em escala industrial. A metanização da vinhaça, que é responsável pela maior parte do potencial de produção de biogás, ainda é um desafio tecnológico, fato este inibidor da implantação de projetos em grande escala em Minas Gerais.

A metanização da torta de filtro tende a ser realizada em reatores do tipo CSTR. O direcionamento da torta de filtro a um sistema de metanização propicia a melhoria da qualidade agrícola do substrato, eliminando a necessidade de compostagem prévia à aplicação no solo. Devido ao elevado teor de sólidos totais da torta de filtro, faz-se necessária a adição de líquido para diluição do substrato, podendo ser realizada com a adição de vinhaça ou com efluente do reator.

A tecnologia comercial com maior adequabilidade para a produção de biogás a partir da vinhaça são os reatores de alta taxa, a exemplo, os reatores UASB, devido ao bom desempenho e aptidão para operar com efluentes de elevada carga orgânica. Entretanto, pela dificuldade na formação de grânulos verificada na metanização da vinhaça em reatores UASB, nos últimos anos, tem havido um desenvolvimento tecnológico voltado exclusivamente para o setor. Com o objetivo de associar elevada eficiência com maior robustez operacional, os sistemas desenvolvidos para processamento da vinhaça buscam suportar as constantes variabilidades deste efluente em termos de DQO, concentração de sulfato e necessidade de parada durante a entressafra.

A vinhaça é gerada a cerca de 90°C, o que reduz a demanda térmica para a manutenção da temperatura de operação do reator e ainda possibilita, sem maiores gastos energéticos, a operação do sistema em regime termofílico (55°C). Devido às características físico-químicas da vinhaça, para a operação de forma estável, pode ser necessária a adição de nutrientes (nitrogênio e fósforo), bem como a elevação do pH (geralmente em torno de 4,0) com a aplicação de agente alcalinizante (hidróxido de sódio, carbonato de cálcio). Devido à presença de sulfato na vinhaça, o biogás gerado no processo anaeróbico tende a possuir elevadas concentrações de sulfeto de hidrogênio (até 30.000 ppmV de H<sub>2</sub>S), tornando imprescindível a redução desses teores para qualquer tipo de utilização energética, a qual é realizada por meio da implantação de um sistema de dessulfuração.

A geração de eletricidade no setor acompanha a sazonalidade da safra, sendo interrompida durante os períodos de entressafra. A implantação de usinas de biogás pode contribuir



para ampliar o período de geração de eletricidade, fazendo com que o setor passe a fornecer energia ao Sistema Interligado Nacional durante todo o ano. Para isso, deve-se viabilizar o armazenamento do substrato ou realizar a codigestão com outros substratos orgânicos disponíveis na região. Caso isso não seja possível, o sistema de metanização deve ser projetado de forma a trabalhar com paradas e arranques anuais.

Dessa maneira, observa-se que o estado de Minas Gerais possui um elevado potencial de produção de biogás oriundo do tratamento de resíduos e efluentes líquidos gerados no processo produtivo da agroindústria. Dentre as três atividades analisadas com maior detalhamento, o setor sucroenergético destaca-se por possuir o maior potencial energético a partir do biogás, seguido dos setores de laticínios e abate de animais de médio e grande porte.

Os 1.620 empreendimentos, relativos às três atividades, geram um potencial elétrico total de aproximadamente 800 MWel, sendo que, dentre esse total, aproximadamente 740 MWel é relativo somente ao setor sucroenergético. Considerando-se um consumo médio residencial de 180,6 kWh/mês (EPE, 2014), estima-se que o potencial elétrico total calculado poderia suprir a demanda de mais de 3 milhões de residências.

#### 4. CONCLUSÃO

O estado de Minas Gerais se destaca como uma região que possui alto potencial de geração de biogás por meio das atividades agroindustriais que geram resíduos sólidos e efluentes líquidos com alto teor de material orgânico.

Dentre as atividades levantadas, o setor sucroenergético apresentou significativo potencial elétrico total, sendo a atividade com as características mais apropriadas para a implantação da tecnologia. As três atividades analisadas em conjunto representaram alta capacidade de geração de energia, o que destaca um mercado promissor para a implantação de biodigestores anaeróbios e aproveitamento energético do biogás gerado.

A implantação de sistemas anaeróbios de tratamento e a utilização do biogás como fonte renovável de energia conferem ao sistema produtivo uma correta gestão e gerenciamento dos resíduos e efluentes gerados. Dessa maneira, o investimento contribui significativamente para a adequação ambiental e sustentabilidade do empreendimento, além de gerar excedente de energia que pode ser comercializada com a concessionária.

É importante ressaltar que, apesar dos benefícios ambientais e energéticos da implantação e operação de uma usina de biogás, a atividade configura-se como potencialmente poluidora quando não implantada com as normas de segurança e necessita de um grupo técnico capacitado que forneça o controle e a minimização dos aspectos ambientais negativos.

Atualmente, não existem empreendimentos cujo objetivo maior seja a geração de energia por meio do biogás, visto que, na maioria das vezes, o biogás é integrado a um sistema de tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos de determinados processos produtivos.

Assim, embora o estudo em tela tenha enfatizado três setores da agroindústria, a metanização tem grande potencial de utilização em outras atividades, devendo, portanto, também ser incentivada em outros campos da indústria e agroindústria.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004**, Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações da Geração do Brasil**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >. Acesso em: 15 jun. 2015.



CICHELLO, G. C. V.; RIBEIRO, R.; TOMMASO, G. **Caracterização e Cinética do Tratamento Anaeróbio de Efluentes de Laticínios**. UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde, 2013. p.27-40.

CRUZ, A. C.; TEIXEIRA, E. C.; CASTRO, E. R. A importância do agronegócio no estado de minas gerais: uma análise insumo-produto. **Anais do XIV Seminário sobre a Economia Mineira**, Cedeplar. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE Cana)**. 2009.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 / Ano-base 2013, 2014**. Acesso em: 10 de jun. 2015

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria**. Belo Horizonte, 2015.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios**. Belo Horizonte, 2014.

FEROLDI, M.; URIO, M. B.; ARAÚJO, A. V.; CREMONEZ, P. A. **Geração de biogás a partir de efluentes de abatedouros**. 2014. Disponível em: <http://www.dca.uem.br/V3NE/11.pdf> . Acesso em: 14 ago. 2015

GIROTO, J. M. e PAWLOWSKY, U. **O soro de leite e as alternativas para seu beneficiamento**, Brasil Alimentos, 2001. Disponível em <<http://pessoal.utfpr.edu.br/marlenesoares/arquivos/JoseMauro.pdf>>. Acesso em 15-12-2009

HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG. **Institut für Energetik und Umwelt GmbH. BVA Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft**, 2004.

HWU, S. H.; TSENG, S. K.; YUAN, C. Y.; KULIK, Z.; LETTINGA, G., 1998. **Biosorption of long chain fatty acids in UASB treatment process**. **Water Research** 32 (5), 1571–1579.

IBGE 1 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da Produção Pecuária**. 2014. Disponível em:< [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couroovos\\_201401\\_publ\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couroovos_201401_publ_completa.pdf)>. Acesso em: 26 jun. 2015.

IBGE 2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Trimestral do Leite**. 2014. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

IBGE 3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Trimestral de Abate de Animais**. 2014. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 maio 2015.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. 2010. Disponível em:<[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/Livro\\_sustentabilidadeambiental.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/Livro_sustentabilidadeambiental.pdf)>. Acesso em 06 de abril de 2016.



MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos** - São Paulo: CETESB, 2006. 75 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov/>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização**. Probiogás – GIZ – 2013. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>>. Acesso em 05 de maio de 2016.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 74**, de 9 de setembro de 2004.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos na indústria sucroalcooleira**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006.

SIAM – SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD/MG). 2015

SIAMIG. ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS SUCROENERGÉTICAS DE MINAS GERAIS. 2015. **Coletiva de imprensa**. Belo Horizonte, março 2015.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características do leite**. Vitória: UFES, 2007. 6 p.