



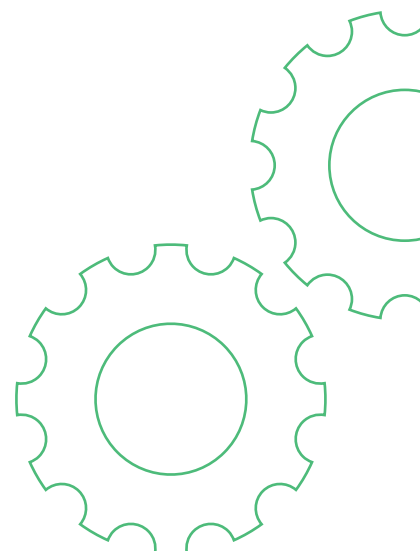
AGENDA PARLAMENTAR
EM AÇÃO

CREA-PR

BIODIGESTORES

Eixo 4

Desenvolvimento Rural



SÉRIE DE CADERNOS TÉCNICOS

BIODIGESTORES

AUTOR

Eng. Agrícola Osvaldo Kuczman

EXPEDIENTE

Conselho Regional de Engenharia e
Agronomia do Paraná – Crea-PR

Gestão 2024 - 2026

Presidente

Engenheiro Agrônomo Clodomir Luiz Ascari

Diretoria:

Vice-Presidente

Eng. Civ. Margolaine Giacchini

1º Diretor Administrativo

Eng. Civ. Decarlos Manfrin

2º Diretor Administrativo

Eng. Agr. Orley Jayr Lopes

1º Diretor Secretário

Eng. Eletric. Ricardo Bertoncello

2º Diretor Secretário

Eng. Civ. Rafael Erico Kalluf Pussoli

3º Diretor Secretário

Eng. Mec. Carlos Alberto Bueno Rego

1º Diretor Financeiro

Eng. Eletric. Fernando Felice

2º Diretor Financeiro

Eng. Seg. Trab. Vergínio Luiz Stangherlin

Coordenador dos Cadernos Técnicos:

Adm. Claudemir Marcos Prattes – Gerente do
Departamento de Relações Institucionais

Revisores Técnicos:

Geóg. Aline Fonseca Shtorache – Agente
Administrativa

Geóg. Omar Henrique Refondini Correia –
Agente Administrativo

Equipe Organizadora:

Eng. Agr. Ana Paula Afinovicz – Gerente
Regional Ponta Grossa

Eng. Civ. Diogo Artur Tocacelli Colella –
Gerente Regional Pato Branco

Eng. Eletric. Edgar Matsuo Tsuzuki – Gerente
Regional Londrina

Eng. Agr. Eduardo Ramires – Gerente
Regional Curitiba

Eng. Civ. Geraldo Canci – Gerente Regional
Cascavel

Eng. Civ. Hélio Xavier da Silva Filho – Gerente
Regional Maringá

Eng. Civ. Jeferson Antonio Ubiali – Gerente
Regional Apucarana

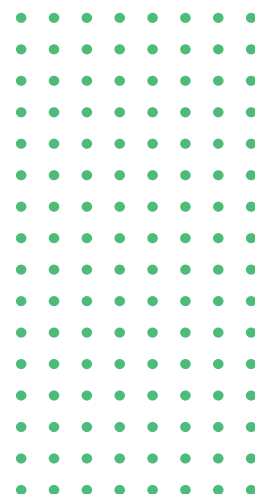
Eng. Eletric. Thyago Giroldo Nalim – Gerente
Regional Guarapuava

Assessoria de Comunicação:

Jornalista Responsável: Mariza Fernanda
Medeiros Vieira da Cunha

Contato

Departamento de Relações Institucionais
dri@crea-pr.org.br



APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que apresento os Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar do Crea-PR, uma iniciativa inovadora e essencial para fortalecer a gestão pública no nosso estado. Como Presidente do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, tenho a honra de compartilhar com vocês estes documentos que são frutos de um trabalho dedicado e colaborativo de nossos profissionais das Engenharias, Agronomia e Geociências.

Os Cadernos Técnicos foram concebidos com o propósito de fornecer informações técnicas, orientações práticas e recomendações fundamentadas, que visam apoiar os gestores públicos na formulação e implementação de políticas públicas eficazes e inovadoras. Estes documentos oferecem uma visão abrangente e detalhada sobre diversos temas cruciais para o desenvolvimento sustentável e a melhoria dos serviços públicos em nossos municípios e estado.

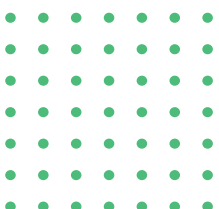
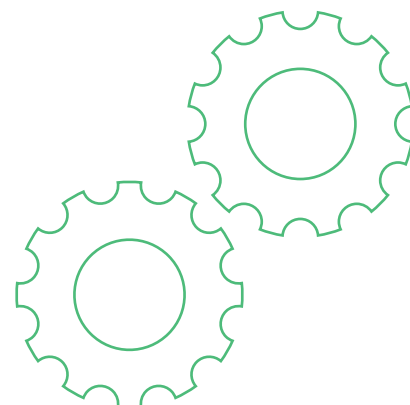
A importância dos Cadernos Técnicos reside em sua capacidade de transformar conhecimento especializado em ações concretas e eficientes. Eles são ferramentas estratégicas que permitem aos gestores públicos tomar decisões fundamentadas, baseadas em diagnósticos precisos e melhores práticas. Ao incorporar essas orientações nas plataformas de governo e planos plurianuais de gestão, os gestores têm à sua disposição um guia robusto para enfrentar os desafios diários e promover o desenvolvimento regional de maneira integrada e sustentável.

Nosso compromisso, enquanto Conselho, é contribuir de forma contínua e efetiva para a capacitação e valorização dos servidores públicos, bem como para o aprimoramento das políticas públicas. Por meio dos Cadernos Técnicos, oferecemos suporte técnico de alta qualidade, refletindo nosso empenho em colaborar com a gestão pública na busca por soluções inovadoras e sustentáveis.

Agradeço a todos os profissionais que se dedicaram à elaboração destes documentos e reafirmo nosso compromisso com a excelência e a inovação. Que os Cadernos Técnicos sirvam como uma fonte de conhecimento e inspiração, auxiliando gestores públicos em sua missão de promover o bem-estar e o progresso de nossas comunidades.

Cordialmente,

Engenheiro Agrônomo Clodomir Luiz Ascari
Presidente do Crea-PR





SUMÁRIO

1.	OBJETIVO -----	5
2.	JUSTIFICATIVA -----	5
3.	CONCEITUAÇÃO TÉCNICA -----	6
4.	EXPANSÃO DE PLANTAS DE BIOGÁS -----	15
5.	FUNDAMENTAÇÃO LEGAL -----	15
6.	ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO NOS MUNICÍPIOS -----	18
7.	CASOS DE SUCESSO -----	18
8.	CONCLUSÕES -----	19
9.	BIBLIOGRAFIA -----	19
10.	CURRÍCULO DO AUTOR -----	19

1. OBJETIVO

Trabalhar com os produtores rurais conceitos sobre dispositivos degradadores de matéria orgânica denominados biodigestores. Também se incluem agroindústrias e público restante com disponibilidade de biomassa para a produção de energia na forma de gás, o biogás. Além do biogás, a tecnologia possui outros benefícios como a obtenção de biofertilizante, créditos de carbono, higienização do meio ambiente e externalidades.

2. JUSTIFICATIVA

O estado do Paraná tem nas atividades agrícola, pecuária e agroindustrial forte participação econômica. Os empreendimentos geram enormes quantidades de matéria orgânica residual, que ainda possui valor econômico e que pode ser recuperada. O material não aproveitado na primeira fase dos processos, ou seja, na própria atividade, se trabalhado de maneira adequada, pode fornecer valores ainda não explorados. São componentes não aproveitados na atividade que permanecem em seus rejeitos. Eles podem ser matéria-prima para outros processos. No entanto, essa recuperação deve ser orientada para se chegar no melhor resultado possível. Há um apelo universal em termos de demandas ambientais para se melhorar a qualidade do clima. Os biodigestores são, atualmente, entes primordiais para se atingir este objetivo.

As atividades humanas consomem energia, na forma de calor ou eletricidade. O biogás pode substituir o gás de cozinha, lenha, combustível, que a sociedade demanda. Além de autossuficiência, o setor envolvido diminuirá a aquisição destes insumos fora do empreendimento. O Brasil é o maior país tropical do mundo e recebe, durante todo o ano, intensa radiação solar, o que influencia e promove a produção de diferentes biomassas com características próprias. A grande disponibilidade gera condições favoráveis para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento energético deste material. Soma-se ainda o fato do país possuir uma agricultura, pecuária, indústria e agroindústria bastante diversificada e representativa, especialmente por sua produção de grãos e de proteína animal e outros materiais de natureza orgânica. Sugere-se que estes sejam denominados de subprodutos de outras atividades e assim parecem ser melhor identificados em substituição a resíduos, que leva a algo sem valor. Os subprodutos podem ser aproveitados na elaboração de energias renováveis, por intermédio de diversas tecnologias.

A produção de biogás resulta em menor dependência de energia comprada, algumas delas com efeito deletério às boas condições ambientais. A este respeito, a comunidade científica internacional, há tempos, vem alertando para a problemática do aquecimento global. Isto enseja ações contundentes no sentido de estancar o crescimento da piora do clima no planeta.

A biodigestão anaeróbia, fermentação de matéria orgânica que resulta na produção de biogás, gera também biofertilizante rico em alguns nutrientes largamente utilizados na produção agrícola, que pode substituir parte do biofertilizante utilizado na atividade. O processo transforma os elementos químicos não prontamente disponíveis às plantas para prontamente disponíveis a elas, chamado mineralização. Portanto, sistemas anaeróbios possuem elevada

capacidade de estabilização de matéria orgânica e resultam em biofertilizante de resposta mineral rápida. A digestão anaeróbia está relacionada com o meio ambiente:

A maioria das atividades agropecuárias, industriais e urbanas gera grande quantidade de resíduos. Os resíduos inorgânicos podem ser reaproveitados ou reciclados, enquanto os orgânicos podem ser submetidos a processos biológicos para redução da carga poluidora. Esse tratamento pode se dar de maneira aeróbia ou anaeróbia, ou seja, respectivamente com presença ou ausência de oxigênio. Em ambas as formas existem a diminuição da carga orgânica e consequente potencial poluidor.

3. CONCEITUAÇÃO TÉCNICA

A fermentação que ocorre em um biodigestor é um dos mais antigos processos de tratamento de matérias orgânica. Ele decorre da ação de várias espécies de microrganismos que, em ambiente sem oxigênio, degradam a matéria orgânica transformando-a, principalmente, em fertilizante líquido e biogás. A matéria orgânica é todo material passível de sofrer degradação biológica: estrume e carcaça de animais, restos vegetais, sobras domiciliares, efluentes, etc.

O biogás, ao ser queimado, diminui o seu principal efeito poluente, contribuir para o aumento do efeito estufa, que segundo estudiosos, é o responsável pelo aumento da temperatura global. A higienização do ambiente promovida pelos biodigestores no entorno dos empreendimentos é outro ganho, pois o tratamento da matéria orgânica ocorre em compartimento fechado, o mesmo que armazena o biogás. A biodigestão anaeróbia, ainda, dentre outros benefícios, promove a remoção parcial de patógenos de interesse de saúde pública.

O metano é inflamável, portanto, por ser combustível, desperta interesse econômico. A variação da concentração do biogás decorre das características da matéria-prima, do desempenho do sistema de biodigestão adotado e das condições ambientais.

O biogás produzido em biodigestores anaeróbios é composto por vários gases e os principais são:

Gás	Fórmula química	Composição em volume
Metano	CH ₄	40 - 70%
Gás Carbônico	CO ₂	0 - 60%
Gás Sulfídrico	H ₂ S	0 - 3%
Hifrogênio	H ₂	0 - 1%

3.1. Regime de alimentação

O biodigestor pode ser alimentado uma única vez até que a maioria do material, no mínimo 80%, esteja fermentado. Esta forma de alimentação recebe o nome de alimentação em batelada. Ao final do período, a maioria do material fermentado é retirado e novo substrato, alimentação, é adicionado, recomeçando o ciclo.

O regime mais comum de alimentação utilizado é o contínuo. Nele o substrato continua entrando e saindo do biodigestor durante todo tempo, normalmente por gravidade. O sistema

de alimentação intermediário entre batelada e contínuo é denominado semi-contínuo, que representa a maioria das plantas, no qual o substrato é fornecido em algum intervalo de tempo no dia.

3.2. Fatores desejáveis na fermentação anaeróbia

3.2.1. Temperatura

Esta é a principal influência no rendimento de biogás em um biodigestor. Os microrganismos tornam-se numerosos e mais ativos com a elevação da temperatura, até certo limite. O aquecimento de um biodigestor é fundamental para quem deseja acelerar a degradação da biomassa em fermentação. Os biodigestores existentes no Paraná, sem aquecimento, operam com temperaturas internas médias de 26 °C. Estudos mostraram que biodigestores operados com temperatura abaixo de 30 °C aumentam a produção de biogás em 11% para o ganho de cada grau Celsius de temperatura. O aquecimento pode ser feito aproveitando-se os calores gerados por motores, turbinas, caldeiras, secadores e outros e também com o sol.

3.2.2. Agitação

Os microrganismos que geram biogás em processos fermentativos são incapazes de locomover-se. O alimento ou biomassa passa pelo biodigestor e nem sempre se decanta para ter contato físico com os microrganismos assentados no fundo. Eles ocupam o fundo do biodigestor devido ao seu peso ser maior que o da água, o que leva à decantação. Microrganismos ao fundo e parte do alimento disperso no líquido é um processo fermentativo de pouca eficiência. É necessário dar uma ajuda para que estes dois entes, fundamentais do processo, se encontrem. Para minimizar a falta de contato utiliza-se agitar a biomassa. A agitação pode ser feita por equipamento mecânico, injeção de biogás ou o próprio efluente em fermentação no fundo do biodigestor. Ela também melhora a qualidade do biofertilizante, tornando-o com melhor fluidez e características físicas para bombeamento e aplicação no solo, além da facilidade de limpeza do biodigestor. Materiais pesados, como areia, silte e argila decantam-se ao fundo devem ser removidos após alguns anos de operação. A homogeneização da temperatura pela biomassa em fermentação é outra vantagem de sistemas de agitação. Dessa forma objetiva-se propor biodigestores com melhores recursos tecnológicos que farão a diferença de performance na degradação de matérias orgânicas. A degradação tem muito a avançar em termos de maior eficiência no Brasil. Modelos de biodigestores desenvolvidos na Europa possuem eficientes sistemas que levam à boa produção de biogás, geração de biofertilizantes, higienização do meio ambiente e outras externalidades.

3.2.3. Meio suporte

Biodigestores têm apresentado melhor desempenho quando dotados de meio suporte de microrganismos. A atividade microbiana produtora de biogás é diretamente proporcional à quantidade de microrganismos atuantes na fermentação e isso definirá o ritmo da produção de biogás. Os microrganismos tendem a alojar-se, preferencialmente, no fundo do biodigestor.

Pela tubulação de saída, com o biofertilizante, ocorre a perda deles, que estavam degradando o material. No entanto, se no interior do biodigestor estiverem disponíveis meios físicos para se fixarem, aumentará a quantidade de microrganismos participantes da fermentação. Uma vez mais microrganismos fixos no interior do biodigestor, haverá maior atividade fermentativa, que resultará em degradação mais intensa da matéria orgânica. Por isso a colocação de meio suporte no interior de biodigestores mantém uma população maior de micróbios degradadores. Os meios suporte podem ser: pedaços de bambus, material cerâmico ou plástico, pedras, etc. Um biodigestor pode dispor apenas de câmara de fermentação simples ou adicionado de outros recursos que aumentem o seu desempenho.



Imagens de microrganismos produtores de metano

3.2.4. Biogás

O biogás é normalmente medido em metros cúbicos e o seu poder combustível em relação a outros combustíveis está apresentado a seguir:

O poder calorífico de um metro cúbico de biogás equivale a:
0,613 litro de gasolina
0,553 litro de óleo diesel
0,579 litro de querosene
0,454 kg de gás de cozinha
1,536 quilo de lenha
0,790 litro de etanol
1,428 kW de eletricidade

3.2.5. Características do Biogás

- Com até 0,1% de CO não é tóxico;
- Com gás sulfídrico acima de 1% é tóxico e mortal;
- Com dióxido de enxofre (SO₂), se inalado da combustão, causa perturbação pulmonar;
- Com impurezas é altamente corrosivo;
- O gás sulfídrico é o mais corrosivo, ataca o cobre, latão, aço e outros metais;

- O amoníaco, sempre em fraca concentração, pode ser corrosivo ao cobre e em combustão libera óxido de azoto que é tóxico;
- Outros gases: sem toxicidade/nocividade;
- Vapor de água: se condensado corrói metais.

3.2.6. Características do metano:

- Inodoro
- Incolor
- Sem gosto
- Insolúvel em água e de fraca densidade, o que o torna de difícil liquefação.

3.2.7. Tomada de decisão

Além da energia em forma de gás, o biodigestor é um dispositivo capaz de melhorar as condições ambientais do local e fornecer biofertilizante. Do ponto de vista econômico, para a tomada de decisão e construir um biodigestor, deve-se atentar às seguintes questões:

- O que vou fazer com o biogás?
- Tenho matéria orgânica suficiente para a minha necessidade de energia?
- Qual a regularidade da geração de matéria orgânica?
- Disponho da pouca mão de obra qualificada para a operação do biodigestor?

Há casos de geradores de matéria orgânica que possuem elevada quantidade de biomassa e baixo consumo de energia elétrica, em qualquer de suas formas. Contrariamente, há situações de pouca biomassa e elevado consumo de energia. Para o primeiro caso existe a possibilidade de utilizar o biogás como combustível e produzir energia elétrica interligada na rede elétrica da concessionária. Pode-se compensar no consumo que ocorra em outro local, de mesma concessionária, com o mesmo CPF ou CNPJ. O excedente ficará em crédito de energia elétrica na concessionária, válido. Se produzir menos que o seu consumo, complementar com a energia originada de concessionária, o que aumenta o custo de produção da indústria.

Deve-se avaliar a produção de biofertilizante, a higienização do ambiente e a despoluição da atmosfera relativa aos gases de efeito estufa. Por ser o componente de maior quantidade no biogás, o metano é tido como de elevada capacidade promotora do efeito estufa, que se alega como efeito aquecedor da atmosfera. Ao ser queimado, o metano reduz em muito este efeito comparado ao gás carbono, que é o predominante. Portanto, a queima do biogás promove ganho ambiental e econômico, quando utilizado para substituir outros combustíveis. A prática da queima do biogás possibilita a venda de créditos de carbono, que na atualidade, encontra vários projetos sendo desenvolvidos. Esta prática visa despoluir a atmosfera onde a conveniência econômica é maior. Países com evoluída capacidade de geração de poluentes ficam limitados economicamente a implantar novas formas de despoluição em seus processos produtivos. Desta forma, eles transferem recursos financeiros para fomentar a despoluição em países onde há espaço para adoção de tecnologias que levam à higienização atmosférica. Portanto, os biodigestores têm, na sua concepção, a característica de gerar metano, que, ao

ser queimado, reduz a poluição atmosférica e pode ser fonte de economia. Muitos países importadores de commodities ou não, valorizam práticas de redução dos impactos ambientais negativos, que podem ser diferenciais de competição importantes referentes ao comércio.

A quantidade e o tipo de biomassa, a temperatura da fermentação, a tecnologia de biodigestão e outros recursos determinam o quanto de biogás é possível produzir.

3.2.8. Descrição do biodigestor

O biodigestor possui um espaço, denominado câmara de fermentação, onde a biomassa, adicionada de água, é fermentada. O biogás produzido pode ser armazenado em recipientes denominados gasômetros, construídos por diversos materiais, geralmente localizados acima da câmara de fermentação. Biomassas líquidas, com partículas de dimensão pequena, podem alimentar o biodigestor diretamente. Porém, biomassas com partículas de dimensões grandes, como gramas, restos vegetais e outros materiais devem ser processados para que as partículas sejam as menores possíveis. Partículas pequenas favorecem a troca de energia entre microrganismos e biomassa, diminuindo o tempo de degradação. Quanto à concentração de sólidos das biomassas deve se apresentar no limite de sua fluidez, demonstrando capacidade para transportar-se pelo sistema, satisfazendo à hidráulica do biodigestor. Esta condição está relacionada ao teor de sólidos da biomassa, onde concentrações elevadas, pastosas, impedem a circulação do material.

3.2.9. Câmara de fermentação

É o espaço físico onde ocorre a fermentação, por onde o alimento se processa para degradar-se. Deverá ser construído com material impermeabilizante, sendo que se de metal, deverá ser protegido para não sofrer corrosão devido à presença de gases contaminantes. A câmara de fermentação deve ser totalmente isolada da atmosfera para não haver fuga de biogás e nem entrada de ar, que é altamente tóxico para os microrganismos produtores de metano. Existem câmaras de fermentação escavadas no solo ou móveis, construídas com diversos materiais. As escavadas no solo devem ser impermeabilizadas contra a contaminação do lençol freático e apresentam a vantagem de ter bom isolamento térmico proporcionado pelo solo.

3.2.10. Digestato

O Digestato é um subproduto gerado a partir da fermentação anaeróbia de restos de lavouras, dejetos animais, efluentes agroindustriais e outras matérias orgânica.

Sob forma líquida, o digestato contém uma complexa composição de nutrientes essenciais às plantas, principalmente nitrogênio e fósforo, atuando como fertilizante e também como defensivo agrícola, erradicando pragas, doenças, insetos.

Com um pH básico, o biofertilizante também atua como corretivo do pH do solo. Além de não propagar mau cheiro e não ser poluente, quando originado de fermentação equilibrada e aplicado em dose adequada, a obtenção dos digestatos, neste caso, não apresenta custo ao ser comparado aos fertilizantes químicos.

A aplicação deste fertilizante nas plantações, favorece a multiplicação de microrganismos, proporcionando condições adequadas ao desenvolvimento das plantas. Além disso, os biofertilizantes aumentam a porosidade do solo, permitindo maior penetração do ar nas camadas mais profundas.

Para a utilização direta na lavoura, o digestato retirado do biodigestor, desde que mineralizado, pode ser aplicado na região foliar ou mesmo nos caules das plantas. Outra opção é a decantação ou filtração do biofertilizante líquido, produzindo massa sólida que, após seca, pode ser aplicada direto nas covas ou no solo.

A pulverização do biofertilizante deve ser feita sempre após regas ou chuvas, ou nas horas mais frescas do dia. A frequência e época de adubação obedecem ao calendário das culturas.

3.2.11. Dimensionamento da câmara de fermentação

Um biodigestor com alimentação de regime contínuo, operando de modo satisfatório no mínimo, deve possuir: biomassa ou substrato em doses adequadas, colônia desenvolvida de microrganismos, recipiente isolado do ar atmosférico e tempo.

O biodigestor é dimensionado em função da quantidade de biogás que se deseja ou da quantidade de biomassa disponível a ser fermentada.

Deve-se disponibilizar um volume da câmara de fermentação que está relacionado ao tempo de retenção hidráulico (TRH). É o tempo em que a biomassa fica sendo digerida ou fermentada. Se no tubo de entrada do biodigestor fosse possível marcar um litro da biomassa, ele demoraria um tempo até chegar à saída, tempo esse chamado de TRH. A biomassa fermentada ao sair do biodigestor segue para etapas subsequentes de tratamento ou para o tanque armazenador do digestato, dependendo do destino que se queira dar ao material. O TRH é na prática medido em dias e está relacionado à facilidade dos microrganismos digerirem a biomassa que circula pelo biodigestor. Biodigestores básicos, aqueles sem aquecimento, agitação ou meio suporte, alimentados com efluente do processamento da mandioca para a obtenção de fécula, podem ser dimensionados com TRH a partir de sete dias. O TRH é adotado em função de experimentos que o determinaram anteriormente, da característica da biomassa ou por meio de testes investigativos. O TRH disponível para projetos considera o tempo mínimo necessário para a degradação mínima média de 80% da matéria orgânica. O tempo de retenção hidráulico acima deste percentual indica que é antieconômico projetar o biodigestor prevendo eficiência maior de remoção de carga orgânica. Na prática, biodigestores operam normalmente com TRH's entre 7 e 40 dias. Para a suinocultura pode ser adotado um TRH de 22 dias. A temperatura local ou de operação, que influi diretamente na produção de biogás, deve ser considerada ao se dimensionar a câmara de fermentação do biodigestor. Biodigestores de alto rendimento, dotados de tecnologia, operam com TRH menores. Para se avaliar o percentual de degradação da biomassa, utiliza-se calcular a diferença do teor de sólidos voláteis presentes antes da biodigestão do teor de sólidos voláteis após a biodigestão. Os sólidos voláteis são os principais indicadores da capacidade da matéria orgânica gerar biogás. Estes são os eliminados submetendo-se a amostra a uma temperatura de 500 °C por duas horas em procedimento de laboratório.

O TRH implicará no volume da câmara de fermentação, que, com os recursos tecnológicos adotados, resultam no aumento do custo do dispositivo. Portanto, na análise de custo/benefício no planejamento de implantação do biodigestor, deve-se considerar também a regularidade na produção de biogás.

3.2.12. Cálculo do Volume do biodigestor

$$V = VDB \times TRH$$

V = Volume do biodigestor (m³)

VDB = Volume diário de biomassa (m³/dia)

TRH = Tempo de retenção hidráulico (dias)

A forma normal de medição da biomassa com água é em metros cúbicos. A concentração de sólidos voláteis na biomassa determinará o potencial produtivo de biogás e fica condicionada à capacidade do material fluir pelo biodigestor.

3.2.13. Início da fermentação

Para um biodigestor atingir o estado de operação equilibrado é necessário fazer um adequado comissionamento, ou início na fermentação. De todas as condicionantes citadas anteriormente, a parte mais delicada e, que demanda mais tempo, é o desenvolvimento da colônia de microrganismos que compõe o sistema anaeróbio. Destes microrganismos, os de desenvolvimento mais demorado são os metanogênicos, aqueles que produzem o metano. Eles estão na natureza e com o tempo poderiam se desenvolver espontaneamente na biomassa adicionada no biodigestor. Porém, o desenvolvimento pode demandar tempo. Para acelerar o processo, também chamado de partida do biodigestor, utiliza-se adicionar inóculo, ou seja, microrganismos já desenvolvidos em outros sistemas anaeróbios, preferencialmente presentes em fermentações com a mesma biomassa.

Se o inóculo for coletado em um sistema que possui o mesmo substrato, o tempo para a aclimação ao novo material é menor. Os microrganismos fermentadores reconhecem rapidamente o material a ser digerido, iniciando sua multiplicação pelo biodigestor. O aumento dos microrganismos permite que a carga diária de biomassa seja aumentada gradativamente para o sistema tornar-se mais robusto rumo à capacidade máxima de degradação. O processo de aumento de carga ocorrerá até atingir o volume que corresponde ao total de biomassa disponível para produção de biogás. O objetivo da partida é desenvolver uma colônia de microrganismos adaptada e em quantidade capaz de digerir o material. O aumento de carga de um biodigestor deve ser feito observando alguns indicadores de estabilidade. É uma administração entre fornecimento de alimento aos microrganismos e o seu limite de digestão, sem arriscar a estabilidade do processo fermentativo.

A quantidade de inóculo a ser adicionada para o início da fermentação em um biodigestor pode ser de um valor próximo a 30% de seu volume total. Além do inóculo, sugere-se adicionar o equivalente a 3% do volume diário de alimentação e completado o volume com água.

3.2.14. Indicadores de monitoramento

O substrato ou alimentação ao entrar no biodigestor passa a ter contato com uma população de várias espécies de microrganismos, que em uma sequência de etapas transformam-se em vários compostos químicos. As etapas se autorregulam bioquimicamente, em que o material digerido por uma espécie é utilizado por outra espécie, liberando seus subprodutos e assim sucessivamente até resultarem, principalmente, em biofertilizante líquido, gás carbônico e metano, sendo os dois últimos os principais componentes do biogás.

A acidez volátil e a alcalinidade são variáveis indicadoras de estabilidade em biodigestores anaeróbios e são as mais importantes para o monitoramento de fermentações, nas quais a quantidade de alimentação do biodigestor está adequada à sua capacidade fermentativa. A quantidade de alimentação depende da concentração de sólidos voláteis na mistura.

Portanto, operar bem um biodigestor significa fornecer alimento em doses adequadas, conforme o seu dimensionamento, para manter o equilíbrio entre as fases que compõe o processo fermentativo.

A primeira delas é a que resulta em redução do tamanho das moléculas e a segunda em produção de ácidos, que resulta em redução de pH, que pode ser medido. Fermentações estáveis significa que o pH deve ser mantido entre 6,5 a 7,5. A estabilidade da fermentação fica ameaçada quando o pH diminui de 6,5 devido à presença de ácidos na biomassa, que pode ser em consequência do excesso de alimentação do biodigestor. A queda do pH devido ao excesso de alimentação é uma medida direta, porém, sua medição pode levar a providências tardias na operação do biodigestor. Quando o pH cai, os microrganismos produtores de metano cessam a produção de biogás devido ao excesso de ácidos. Estabilidade pode ser definida como a existência de equilíbrio nas reações de produção e consumo das substâncias participantes do processo.

Às condições necessárias ao bom funcionamento de um processo de digestão anaeróbia acrescentam-se as seguintes:

- Ausência de variações bruscas na temperatura;
- Manutenção do pH entre 6,5 a 7,5;
- Submissão do processo a cargas orgânicas, tempos de retenção hidráulica e concentração de microrganismos compatíveis com o resíduo a digerir e com o tipo de biodigestor;
- Não-ocorrência de sobrecargas orgânicas ou tóxicas além do limite suportável pelo processo;
- Adequada proporção no mosto em fermentação de quantidades de N e P com a quantidade de carbono;
- Teor adequado de gás carbônico no biogás;
- Relação adequada de ácidos voláteis e alcalinidade.

Fonte: Oliveira (1993) e Jordão e Pessoa (1995).

Outros parâmetros da digestão anaeróbia em reatores que merecem atenção:

- pressão parcial de hidrogênio;
- tipo de substrato;

- superfície específica do substrato;
- desintegração celular do substrato;
- inoculação e agitação do reator;
- potencial redox;
- traços de nutrientes;
- elementos precipitantes;
- produção de biogás.

Fonte: Heublein e Steinhauser (2008)

3.2.15. Substâncias tóxicas aos biodigestores

Portanto, ao se planejar e operar biodigestores deve-se considerar que alguns compostos relacionados a seguir são formados ou podem introduzir-se na digestão anaeróbia e que, dependendo da quantidade, são Inibidores:

- Oxigênio;
- Compostos sulfurosos;
- Ácidos graxos e aminoácidos;
- Nitrato;
- Amônia e amônio;
- Metais pesados;
- Taninos;
- Desinfetantes, herbicidas, inseticidas, surfactantes, antibióticos, clorofórmio e compostos fluorcarbonados.

Fonte: Deublein e Steinhauser (2008).

Não obstante as vantagens, a digestão anaeróbia apresenta alguns inconvenientes, listados a seguir:

- É requerida maior energia térmica para a atividade microbiana;
- Maior TRH para o completamento do processo;
- Normalmente inevitável mau odor de gás sulfídrico, ovo podre.
- Dificuldade operacional e sujeita a “carga de choque”.

Fonte: Liu (2007).

A luz não é letal às metanogênicas, porém as inibe severamente e, portanto, a formação de metano deve ocorrer em escuridão absoluta. Outra característica da digestão anaeróbia é o gasto de energia e a geração de lodo. Ela é cerca de vinte vezes menos dispendiosa em energia que a digestão aeróbia, na qual, de 100% do carbono introduzido em um reator aeróbio, 48% permanece no lodo, 42% é convertido em gás carbônico e 5% sai com o efluente. Em relação ao processo anaeróbio, 76% do carbono transforma-se em gás carbônico e metano, 4% permanecem no lodo e 20% saem com o efluente. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se, geralmente, mais concentrado e com melhores características de desidratação (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008).

4. EXPANSÃO DE PLANTAS DE BIOGÁS

Nos últimos anos vem ocorrendo a implantação de muitas plantas de biogás pelo território brasileiro. São plantas de pequeno a grande porte, muitas delas tecnologicamente sofisticadas. Elas são aproveitadoras de subprodutos de origem agrícola, pecuário e agroindustrial. Atuam no país profissionais de fornecedores de insumos e equipamentos destinados à construção delas para suprir necessidades dos empreendedores. As restrições que o mercado impõe às atividades que causam malefícios ao bom ambiente levam estes a investirem em uma tecnologia que visa os aspectos econômicos, ambientais, de fornecimento de insumos, diversificação da atividade, expansão de mercado, etc., já que o Brasil está alicerçado em estrutura que conta com os recursos necessários à prática da digestão anaeróbia. A utilização desta modalidade de obtenção de energia alternativa, de baixíssima capacidade poluente, ganha espaço em todos os países que apresentem matéria-prima digestiva para a obtenção do biogás. O metano, principal componente do biogás, quando separado e tratado, adquire as condições de uso iguais à do gás natural. Além do uso doméstico, aquecimento, agroindustrial, industrial, veicular, agregam-se primordialmente os benefícios ambientais, que ostenta pressão para a mitigação das consequências negativas que a atividade humana promove. Montadoras de veículos, principalmente de frota pesada, desenvolvem motores para operarem com o biometano. À medida que esta modalidade de uso ganhar escala, a mídia se ocupará melhor com o assunto. É necessário que a palavra metano seja colocada em evidência e que o biometano é um gás renovável, limpo e que se encontra no biogás. O tema biogás ainda tem pouco trânsito que atinja a massa da população. É necessário que ele se estabeleça no seio da sociedade para ser valorizado. Ele está associado a dejetos, o que não é uma palavra que soa bem à sociedade. Dejetos são subprodutos de um processo, que tem valor para fornecer alguns valores. Para que isso se consolide, sugere-se que os envolvidos imprimam qualidade aos projetos de implantação de novas usinas de energia. O mesmo é válido para os fornecedores de serviços, formação de mão de obra, equipamentos, assistência técnica, capacitação de operadores e conscientização dos empreendedores sobre o que eles podem fazer com a tecnologia da digestão anaeróbia.

5. FUNDAMENTAÇÃO LEGAL

Sistemas de biodigestão requerem conhecimentos técnicos na construção, manutenção, operação, etc., portanto, todas as ações devem ser acompanhadas por profissional habilitado e conhecedor do processo. Tal cuidado deve-se, principalmente, aos itens e procedimentos de segurança que necessariamente devem acompanhar sistemas de produção de metano, pois este gás é altamente inflamável. O biogás pode ocasionar incêndios nas instalações e adjacências e malefícios à saúde humana e animal devido à presença de vários gases nele encontrados. Os profissionais habilitados a projetar, executar e assumir a responsabilidade pela manutenção de biodigestores e demais equipamentos destinados ao biogás são os do Sistema Confea/Crea (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia e Conselho Regional de Engenharia e Agronomia), de acordo com suas atribuições.

Na década de 80, surgiram as primeiras leis brasileiras que consideravam o meio

ambiente e a preservação dele de uma forma global e integrada. Somente a partir dos anos 2000 essa preocupação atingiu setores transversais, como o de energia, quando foi incluído nos princípios e objetivos da política nacional para o meio ambiente. Dessa forma, pensar o meio ambiente passa preferencialmente pela exploração de fontes de energia destinada às atividades humanas. Elas têm forte influência no planejamento de sistemas sustentáveis das atuais e de novas formas de satisfação da sociedade referentes à demanda dos insumos utilizados

Legislação

(...) XII - incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional. (Redação dada pela Lei n.º 11.097, de 2005);

XIII - garantir o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional; (Incluído pela Lei n.º 12.490, de 2011);

XIV - incentivar a geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis, em razão do seu caráter limpo, renovável e complementar à fonte hidráulica; (Incluído pela Lei n.º 12.490, de 2011);

XV - promover a competitividade do País no mercado internacional de biocombustíveis; (Incluído pela Lei n.º 12.490, de 2011);

XVI - atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis; (Incluído pela Lei n.º 12.490, de 2011);

XVII - fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável; (Incluído pela Lei n.º 12.490, de 2011);

XVIII - mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis. (Incluído pela Lei n.º 12.490, de 2011);

A política energética brasileira vem, discretamente, incentivando e apoiando o desenvolvimento de fontes renováveis de energia como hídrica, eólica, solar e a de biomassa. Porém, quando se trata de falar no biogás de forma direta, o assunto ainda não ganhou a dimensão que deveria merecer. Tal constatação deve-se ao fato do Brasil possuir condições favoráveis à produção de substrato que, trabalhados adequadamente, podem resultar em produção de biogás de maneira acertada com a água e o solo que temos em abundância, o que faz dele um país com tendência ao desenvolvimento desta forma de energia. No entanto, a implementação de tais modalidades ainda se encontra em estágio inicial. Ademais, não estão totalmente integradas às redes de distribuição tradicionais, especialmente a elétrica e a de gás natural. Dessa forma, torna-se essencial, avançar no desenvolvimento das tecnologias ainda incipientes de integração e de complementação entre diferentes fontes de energia, para a formação de matriz sólida, diversificada e viável, capaz de alavancar e sustentar o crescimento econômico e social do país.

Nos anos recentes, a tecnologia do biogás ganhou visibilidade no Brasil, em consequência de uma pluralidade de fatores. Dentre eles, a necessidade de diversificação da matriz energética nacional, a existência de grande quantidade de matéria-prima disponível no país para a geração de biogás, bem como a possibilidade de obtenção descentralizada de

energia renovável com maior sustentabilidade (Guia Prático de Biogás, 2010).

Diante disso, conforme já mencionado nos capítulos anteriores, organismos governamentais e empresas privadas brasileiras vêm apoiando o desenvolvimento de iniciativas de produção de biogás e de aproveitamento energético do recurso, seja na queima direta para uso do calor como eletricidade, ou enquanto combustível veicular. Todavia, há lacunas importantes a serem preenchidas para proporcionar o desenvolvimento e expansão do setor. Entre elas, está a ausência de certificações unificadas.

No dia 30 de janeiro de 2015, a ANP publicou a Resolução Normativa 8, que regulamenta o uso do biometano (biogás purificado) no Brasil. Conforme a Resolução, o biometano produzido a partir subprodutos pecuários, agrícolas, agroindustriais, etc. será tratado de maneira semelhante ao gás natural (GN). Isto significa que o biometano poderá ter o mesmo uso do gás natural, inclusive com a mesma valoração econômica, desde que atenda às exigências de qualidade do produto, estabelecidas nesta resolução.

Essa normativa, em seu texto original, representa uma grande conquista para o cenário das energias renováveis no Brasil e definiu os seguintes conceitos:

I - Biogás: gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos;

II - Biometano: biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás;

III - Gás Natural Veicular (GNV): denominação do combustível gasoso, tipicamente proveniente do gás natural ou biometano, ou da mistura de ambos, destinado ao uso veicular e cujo componente principal é o metano, observadas as especificações estabelecidas pela ANP.

Antes da normativa ser publicada, alguns estados se adiantaram e apresentaram programas locais de incentivo à produção e ao uso de biogás. No Rio de Janeiro, a Lei 6.361, de 18 de dezembro de 2012, dá ênfase à obtenção de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos. Além disso, determina que as distribuidoras de energia têm a obrigação de transportar até 10% de biometano.

Em São Paulo, por sua vez, o foco está no recurso proveniente da biodigestão da vinhaça. Nesse estado, o Decreto 58.659, de 4 de dezembro de 2012, institui o Programa Paulista de Biogás, o qual denomina por biometano o gás que esteja dentro dos limites indicados pela Resolução 16 de 2008 da ANP (Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná, 2016).

Fontes para o aprofundamento relativas ao crédito de carbono.

<https://www.ipcc.ch/>

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html&ved=2ahUKEwjFpN3TnPCGAX5r5UCHXjoCtlQFnoE-CA8QAQ&usq=AOvVaw06Oai4AuEWFLvk8YRpID55>

<https://www.bbc.com/portuguese/geral-58928083>

<https://www.nytimes.com/article/climate-change-global-warming-faq.html>

<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/painel-intergovernamental-sobre-mudanca-do-clima-ipcc#>
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>

6. ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO NOS MUNICÍPIOS

O plano de ação para a implementação de biodigestores pelos municípios deve iniciar pelo apoio aos pequenos produtores rurais, contados aos milhares no Estado do Paraná. Promover o equilíbrio social entre as populações é um dos deveres do estado.

Diante disso, sugere-se divulgar aos pequenos produtores rurais dos municípios paranaenses um plano de parceria estado/produtor destinado à construção, manutenção e operação de biodigestores e de utilização do biogás nas propriedades rurais. A parceria pode ser viabilizada com o fornecimento pelo governo, do projeto, assistência na execução, orientações de manutenção e operação, e financiamento subsidiado dos custos dos materiais. Ao produtor rural caberia fornecer a mão de obra necessária à construção dos biodigestores.

Estabelece-se assim uma parceria público/privada que pode resultar no atendimento de parte da energia consumida pelo pequeno produtor rural, melhoria da qualidade do meio ambiente nas propriedades rurais com redução de vetores e mau odor decorrente de produções animais. Outro item importante é a produção de digestato (biofertilizante) decorrente da biomassa fermentada nos biodigestores, onde, além de facilitar a aplicação, mineraliza os nutrientes para tornarem-se disponíveis às plantas.

7. CASOS DE SUCESSO

Algumas, dentre várias plantas de biodigestores e usos do biogás.

NOME: Chácara Marujo - Castro-PR

Em operação, com o uso de dejetos suínos

PRODUÇÃO DE BIOGÁS 1.000 m³ de biogás por dia

DESTINAÇÃO DO BIOGÁS

- Aquecimento do piso da maternidade e creches, por meio de aquecedores de água e um sistema de circulação de água em serpentinas. O biogás também é usado para a secagem de grãos e geração de energia elétrica.

NOME: Usina de Biogás de Pomerode-SC

Em operação, com o uso de dejetos suínos

PRODUÇÃO DE BIOGÁS 2.880 m³ de biometano por dia

DESTINAÇÃO DO BIOGÁS

- Produção de energia veicular (biometano), similar ao gás natural, cuja comercialização será intermediada pela Companhia de Gás de Santa Catarina – SCGÁS

NOME: Aterro Sanitário de Cascavel-PR

Em operação, com o uso de resíduos sólidos urbanos
PRODUÇÃO DE BIOGÁS 4.800 m³ de biogás por dia
DESTINAÇÃO DO BIOGÁS

- Geração de energia elétrica distribuída na rede da Copel, sendo atualmente 150 kWh. Ampliação prevista para 300 kWh. A atual economia de energia elétrica nas contas do município é de 6%, aproximadamente 80 mil reais.

8. CONCLUSÕES

Energias alternativas limpas, contrariamente às poluentes, estão em evidência nos principais países de visão preservacionista ambiental do mundo. Esforços são feitos para se dispor de sustentabilidade na sobrevivência da vida no planeta. A finitude do petróleo é prevista e trabalha-se para enfrentar a transição para outras fontes de energia. A energia contida no biogás pode ser cultivada, depende de condições naturais como solo, água, gás carbônico e luz solar, fatores disponíveis em muitos lugares. Portanto, desenvolver as fontes alternativas de energia é uma necessidade econômica e ambiental, vinculada à manutenção da vida. A modalidade biogás das fontes alternativas deve ocupar o espaço que lhe é devido, pois, os meios para a sua produção se apresentam abundantes tanto em área de cultivo específico como nos materiais residuais oriundos de diversas atividades. Às autoridades cabe sensibilizar e conscientizar sobre as mudanças que o ciclo da vida impõe e agirem de forma preventiva no provimento de energia e sustentabilidade ambiental. Ações de remediações costumam ser mais onerosas e podem causar prejuízos pessoais.

9. BIBLIOGRAFIA

Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná – Curitiba: Senai/PR, 2016.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. Verlag: Wiley-VCH, 2008, 445p.

Guia Prático de Biogás – Geração e Aplicação, 5ª edição, Gülzow, 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995, 720 p.

LIU, S. **Food and Agricultural Wastewater Utilization and Treatment**. Ames: Blackwell Publishing, 2007, 277p.

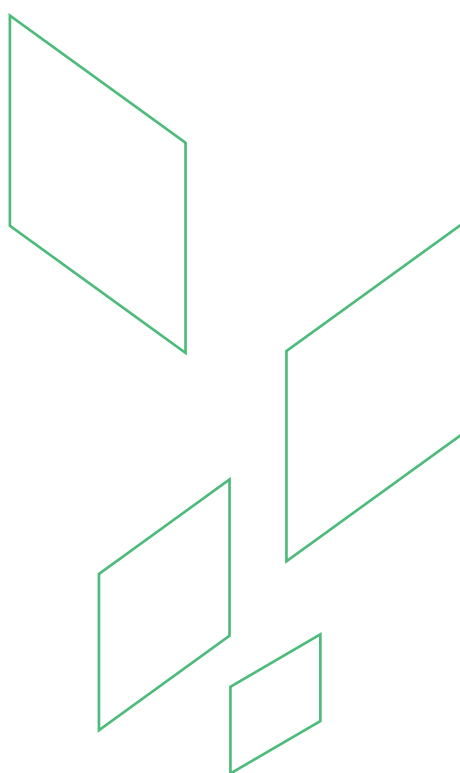
OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves – EMBRAPA, 1993. 188p. (Documentos, 27).

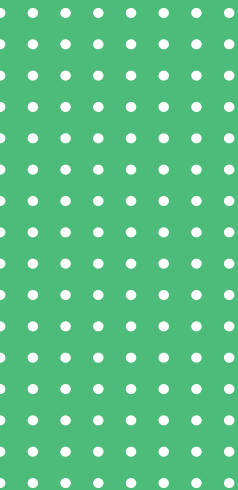
10. CURRÍCULO DO AUTOR

Oswaldo Kuczman é graduado em Engenharia Agrícola na FECIVEL (1987), atualmente Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. cursou mestrado (2007) e doutorado (2012) no Programa de Saneamento Ambiental da UNIOESTE (PGEAGRI), conceito 5 da CAPES. Estágio de pós doutorado (2016) em Energia na Agricultura também na UNIOESTE

(PPGEA). Todas as pós graduações foram na área de produção de biogás, em biodigestores de laboratório, piloto e protótipo. As pesquisas se ocuparam no tratamento de restos de efluentes de fecularia e restos de alimentação humana, respectivamente. É especialista em Desenvolvimento Agroindustrial (1995) pela mesma universidade. Atuou como professor de primeiro e segundo graus, palestrante em projetos e instalação de biodigestores, diretor da consultoria BioMA - Biogás e Meio Ambiente desde 1998. Projetou o sistema piloto de captação e aproveitamento de biogás do aterro sanitário de Cascavel, PR. Revisor de periódicos científicos nacionais e internacionais. Atualmente representa o CREA/PR no Conselho Municipal de Meio Ambiente - COMAM e Conselho de Desenvolvimento Rural e Sanidade Agropecuária - CONDERSA, ambos em Cascavel - PR. Foi conselheiro titular e é atualmente conselheiro suplente no CREA/PR pela Associação Brasileira dos Engenheiros Agrícolas - Seção PR. Revisou a cartilha sobre biodigestores, elaborada pela Câmara de Energia do POD (Programa de Desenvolvimento do Oeste do Paraná) e destinada à suinocultores.

O currículo completo do autor pode ser acessado em: <http://lattes.cnpq.br/7086488854107486>





CREA-PR

Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia do Paraná

