



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Andrieza de Aquino Eslabão

**Licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de
dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina**

Araranguá

2022

Andrieza de Aquino Eslabão

Licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos
da pecuária no Estado de Santa Catarina

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Energia e Sustentabilidade
da Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de mestre em
Energia e Sustentabilidade.
Orientador: Prof. Reginaldo Geremias, Dr.

Araranguá

2022

Ficha de identificação da obra

Eslabão, Andrieza de Aquino

Licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina / Andrieza de Aquino Eslabão ; orientador, Reginaldo Geremias, 2022.

157 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. Resíduos. 3. Aproveitamento energético. 4. Regulação. I. Geremias, Reginaldo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade. III. Título.

Andrieza de Aquino Eslabão

**Licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir
de dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por
banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Reginaldo Geremias, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Elaine Virmond, Dra
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Osório do Nascimento, Dr.
Estácio Curitiba

Airton Kunz, Dr.
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de
conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em
Energia e Sustentabilidade.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Reginaldo Geremias, Dr.
Orientador

Araranguá, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus pais, pelo amor
incondicional.

AGRADECIMENTOS

Meu sincero agradecimento à Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores (as) do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade pela oportunidade de aprendizado.

Meu especial agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Reginaldo Geremias, pelo acompanhamento e direcionamento constante.

Agradeço a todos os colegas, técnicos, amigos (as) e familiares que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

Meu profundo agradecimento repleto de admiração e respeito aos pesquisadores que se dedicam em produzir conhecimento, buscando contribuir para melhorar nossa existência neste planeta.

“Segundo o velho ditado, é melhor viajar com esperança do que chegar. Nossa busca de descobertas alimenta nossa criatividade em todos os campos, não só na ciência. Se atingíssemos a meta, o espírito humano definharia e morreria. Mas não acredito que um dia chegaremos a nos deter: cresceremos em complexidade, se não em profundidade, e sempre seremos o centro de um horizonte de possibilidades em expansão” (HAWKING, 2001).

RESUMO

O Brasil possui um papel de destaque na produção pecuária mundial e o Estado de Santa Catarina contribui de forma intensa para esse cenário, especialmente no que diz respeito à produção suína e aviária. No entanto, o tratamento dos dejetos e resíduos gerados pela atividade pecuária vem merecendo atenção pelos danos ambientais negativos ao meio biótico e abiótico e à saúde humana. Sendo assim, a produção de biogás a partir de dejetos da pecuária e seu aproveitamento energético se apresenta como uma alternativa de valoração destes resíduos, contribuindo para a proteção do meio ambiente. Neste contexto, a Política Estadual do Biogás de Santa Catarina (Lei nº 17.542/2018) prevê a necessidade de elaboração de licenciamento simplificado para empreendimentos da cadeia produtiva do biogás, por meio de regulamento próprio dos órgãos estaduais competentes, como um dos instrumentos de fomento da atividade. Com o intento de contribuir em tal normatização, a presente pesquisa teve por objetivo geral elaborar uma proposta de instrumento de regulamentação do licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina. Para tanto, foram realizadas como principais etapas: i) revisão bibliográfica do estado da arte das temáticas da pesquisa; ii) análise documental de Relatórios Ambientais Prévios (RAPs) e licenças de licenciamentos de unidades geradoras de biogás; iii) elaboração de matriz normativa incidente sobre o processo de licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás; iv) elaboração de minuta de Resolução para o licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária em Santa Catarina. Entre os resultados principais, constatou-se que a produção de biogás a partir de dejetos da pecuária possui potencial e viabilidade em Santa Catarina. No entanto, a atividade apresenta uma série de impactos ambientais próprios que são normatizados por uma gama de legislações esparsas. Evidenciou-se a inexistência da normativa almejada pela Política Estadual do Biogás de Santa Catarina para regulamentar o processo de licenciamento ambiental da cadeia produtiva do setor. Nesse contexto, a minuta de Resolução proposta nessa investigação poderá contribuir para essa demanda, bem como para o aprimoramento da legislação ambiental do setor e para o fomento ao uso de fontes renováveis de energia.

Palavras-chave: Resíduos. Aproveitamento energético. Regulação.

ABSTRACT

Brazil has a prominent role in the global livestock production, and the state of Santa Catarina contributes intensely to this scenario, especially with regard to pork and poultry production. However, the treatment of manure and waste generated by livestock activity has been given attention due to environmental damage to the biotic and abiotic environment and to human health. Thus, the production of biogas from livestock waste and its energy use present themselves as an alternative for the valuation of this waste, contributing to protect the environment. In this context, the Biogas State Policy of Santa Catarina (Law No. 17.542/2018) provides for the need to prepare a simplified licensing for enterprises of the biogas production chain, through its own regulation of the competent state agencies, as one of the instruments to promote the activity. With the intention of contributing to such standardization, the present research had as a general objective to elaborate a proposal for an instrument of regulation of the environmental licensing of biogas generating units from cattle raising waste in the State of Santa Catarina. For this, the main stages were: i) a bibliographical revision of the state of the art of the themes of the research; ii) a documental analysis of Previous Environmental Reports (PER - RAPs, in Portuguese) and licenses of biogas generating units; iii) the elaboration of a normative matrix on the process of environmental licensing of biogas generating units; iv) the elaboration of a draft Resolution for the environmental licensing of biogas generating units from cattle raising waste in Santa Catarina. Among the main results, it was found that the production of biogas from livestock waste has potential and viability in Santa Catarina. However, the activity presents a series of environmental impacts that regulates a range of sparse legislation. It became evident that there are no regulations regarding the Biogas State Policy of Santa Catarina to administrate the environmental licensing process of the productive chain of the sector. In this context, the draft Resolution proposed in this research can contribute to this demand, as well as to the improvement of the sector's environmental legislation and to the promotion of the use of renewable energy sources.

Keywords: Residues. Energy use. Regulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da digestão anaeróbia.....	32
Figura 2 – Ilustração de um biodigestor de lagoa coberta (BLC)	42
Figura 3 – Ilustração de um biodigestor modelo indiano	43
Figura 4 – Ilustração de um biodigestor modelo Chinês	43
Figura 5 - Ilustração de um reator UASB	45
Figura 6 - Estrutura básica de um reator APFR	47
Figura 7 – Suprimento total mundial de energia por fonte 1990-2019.....	66
Figura 8 – Geração de energia elétrica mundial por fonte 1990-2019	67
Figura 9 – Geração mundial de eletricidade por diferentes biomassas.....	68
Figura 10 – Repartição de outras renováveis na matriz energética brasileira ..	69
Figura 11 – Matriz elétrica brasileira no Balanço Energético Nacional.....	70
Figura 12 – Capacidade instalada de eletricidade a partir de biogás	71
Figura 13 – Unidades de geração de biogás instaladas em Santa Catarina	73
Figura 14 – Mapa de potencial pecuário de biogás em Santa Catarina	76
Figura 15 – Esquema das etapas da produção de usinas de biogás	78
Figura 16 – Modelo circular para autossustentabilidade de comunidades	81
Figura 17 – Pirâmide normativa	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aplicações energéticas e biotecnológicas do biogás.....	33
Quadro 2 – Pontos importantes para a escolha da tecnologia de biodigestão.	40
Quadro 3 – Principais impactos dos dejetos no solo	55
Quadro 4 – Principais impactos dos dejetos na atmosfera	56
Quadro 5 – Principais impactos dos dejetos nos mananciais hídricos	58
Quadro 6 – Principais impactos dos dejetos na biota	59
Quadro 7 – Principais impactos ambientais da suinocultura	63
Quadro 8 – Principais impactos ambientais da avicultura de corte	65
Quadro 9 – Riscos associados à produção do biogás	79
Quadro 10 – Impactos ambientais negativos de unidades de biogás	81
Quadro 11 – Matriz orientativa do licenciamento de unidades de biogás	98
Quadro 12 – Relatório Ambiental Prévio	110
Quadro 13 – Estrutura da proposta de Resolução	117
Quadro 14 – Referências da proposta de Resolução	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de inibidores da digestão anaeróbia	37
Tabela 2 - Produção de dejetos por animal e suas características	53
Tabela 3 – Unidades geradoras de energia elétrica a partir de biogás	72
Tabela 4 – Potencial de geração de biogás a partir de resíduos animais	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABR	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>
ACR	<i>Anaerobic Contat Reactor</i>
AF	<i>Anaerobic Filter Reactor</i>
AFBR	<i>Anaerobic Fluidized Bed Recator</i>
NH ₄ ⁺	Amônia
ANP	Agência Nacional do Petróleo, gás e biocombustíveis
APFR	Anaerobic Plug-flow Reactor
APAs	Áreas de Proteção Ambiental
ARGs	Genes de resistência à antibióticos
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
ASBR	<i>Anaerobic Sequencing Batch Reactor</i>
AuA	Autorização Ambiental
BEN	Balanco Energético Nacional
CD	Disco Compacto
C/N	Razão Carbono Nitrogênio
CAFOs	<i>Concentrated animal feeding operation</i>
CDR	Combustível Derivado de Resíduos Sólidos
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP26	Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas nº 26
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
COV	Carga Orgânica Volumétrica
CPF	Cadastro Pessoa Física
CSTR	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>
ECA	Estudo de Conformidade Ambiental
EGSB	<i>Expended Granular Sludge Blanket</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EAS	Estudos Ambientais Simplificados
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FEAM/MG	Fundação do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
CEPHA	Conselho Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEF	Fundo Global para o Meio Ambiente
GNV	Gás Natural Veicular
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IC	<i>Internal Circulation Reactor</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IMA-SC	Instituto de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
IN	Instrução Normativa
INDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
LAI	Licença Ambiental de Instalação
LAO	Licença Ambiental de Operação
LAP	Licença Ambiental Prévia
LCA	Life Cycle Assessment
m ³	Metros cúbicos
NBR	Norma Técnica Brasileira
Nm ³	Metros cúbicos
NMVOC	Compostos orgânicos voláteis não metano

OCDE	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i>
PPGES	Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil
PVC	Policloreto de vinila
Q	Vazão de bombeamento
RAP	Relatório Ambiental Prévio
RE	Recurso Extraordinário
SDE SC	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
SEDEST	Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do Estado do Paraná
SIDRA	Sistema SIDRA de Recuperação Automática
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
STF	Supremo Tribunal Federal
TRH	Tempo de retenção hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
USDA	United States Department of Agriculture
UTE	Usina Termoelétrica
VFA	<i>Volatile Fatty Acids</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	26
2.1	OBJETIVO GERAL.....	26
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3	METODOLOGIA	27
3.1	ESTUDO DO ESTADO DA ARTE	27
3.2	ANÁLISE DE ESTUDOS AMBIENTAIS	27
3.3	ELABORAÇÃO DA MATRIZ NORMATIVA ORIENTATIVA	28
3.4	PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DE LICENCIAMENTO	28
3.5	SOCIALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	29
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
4.1	BIOMASSA.....	30
4.2	DIGESTÃO ANAERÓBIA	31
4.3	FATORES QUE INFLUENCIAM NA GERAÇÃO DO BIOGÁS.....	34
4.3.1	Fatores ambientais.....	34
4.3.2	Fatores operacionais	38
4.4	BIODIGESTORES ANAERÓBIOS	39
4.5	SETOR PECUÁRIO NO BRASIL E EM SANTA CATARINA.....	49
4.6	IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS DO SETOR PECUÁRIO ..	51
4.6.1	Impactos ambientais negativos da bovinocultura.....	60
4.6.2	Impactos ambientais negativos da suinocultura.....	61
4.6.3	Impactos ambientais negativos da avicultura	65
4.7	SETOR ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL.....	65
4.8	IMPACTOS AMBIENTAIS DO SETOR DO BIOGÁS	76
5	MATRIZ NORMATIVA DO SETOR DO BIOGÁS	85
6	ANÁLISE DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL	109

7	PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DE LICENCIAMENTO	114
8	CONCLUSÃO	145
	REFERÊNCIAS.....	158

1 INTRODUÇÃO

O modelo energético assumido pela civilização a partir da segunda revolução industrial baseado nos combustíveis fósseis, notadamente, o petróleo, está levando a espécie humana a deparar-se com problemas ambientais que podem alterar o equilíbrio natural de forma irreversível (RIFKIN, 2012).

A maior parte dos problemas ambientais que se têm observado, atualmente, estão diretamente associados à energia, tais como poluição do ar, chuva ácida, aquecimento global, perda de biodiversidade, desertificação e outros (GOLDEMBERG; LUCON, 2012).

O crescimento populacional exponencial, aliado ao consumo cada vez maior de energia, estão levando ao esgotamento dos recursos não renováveis. Além disso, os efeitos ambientais gerados são cada vez mais insustentáveis, de forma que a busca por novas fontes de energia se faz necessária e primordial (SOUZA; AQUINO, 2013).

O começo de um movimento mundial de conscientização da situação ambiental do planeta foi marcado pela Conferência de Estocolmo, em 1972, seguida por uma série de eventos atrelados à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a mudança do clima que, em 2015, culminou na realização da Conferência de Paris onde se buscava alcançar um novo acordo entre os 195 países participantes (TRENNEPOHL; TRENNEPOHL, 2020).

O evento tinha como objetivos principais traçar medidas para limitar o aquecimento máximo do planeta a uma temperatura média abaixo de 2°C e aumentar sua habilidade em se adaptar aos efeitos adversos da mudança do clima que não puderem ser evitados (NASCIMENTO NETO, 2017).

Na Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC), firmada voluntariamente pelo Brasil nesse evento, o país comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025 e, subsequentemente, em 43% abaixo dos níveis de 2005 até 2030 (BRASIL, 2016). Para que isso ocorra, foi prevista na referida iNDC, para o setor de energia, a meta de alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030.

Além disso, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável adotada em setembro de 2015 por 193 Estados Membros da ONU (UM General Assembly Resolution 70/1), estabelece 17 objetivos e 169 metas de ação global para alcance

até 2030, em sua maioria abrangendo as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável, de forma integrada e inter-relacionada (AGENDA 2030, 2015).

Dentre os objetivos elencados, destaca-se os objetivos 6 – Água potável e saneamento, 7 – energia limpa e acessível, 11 – cidades e comunidades sustentáveis e 13 – ação contra a mudança global do clima, como diretamente impactados pelos sistemas de geração de energia renovável .

Para tanto, pretende-se a expansão do uso de fontes renováveis, além da hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030, através da expansão do uso doméstico de fontes de energia não fóssil e pelo aumento da participação eólica, biomassa e solar. Pretende-se, ainda, alcançar 10% de ganhos de eficiência energética no setor elétrico até 2030.

Nas últimas décadas, houve um crescimento considerável da oferta de energia a partir de fontes renováveis. No entanto, o consumo de energia e o aumento populacional fazem com que demanda seja cada vez maior, sendo que, apesar de tal aumento, a utilização dos combustíveis fósseis e a emissão de gases de efeito estufa também continuam crescendo (EPE, 2020).

Garantir um cenário de segurança alimentar, hídrica e energética de forma sustentável e equitativa é um desafio central a ser enfrentado por gestores, governantes e população mundial, já que esses três fatores estão intimamente relacionados. Nesse contexto, vem crescendo o interesse pela possibilidade de gerar energia de resíduos orgânicos de diversas atividades (pecuária, indústria alimentícia e resíduos sólidos urbanos) que podem, se não manejados corretamente, causar danos ambientais. Tais processos ainda geram como subproduto um fertilizante, o que concilia essas três prioridades e apresenta um grande potencial na busca por um futuro sustentável (PASQUAL et al., 2018)

A biomassa possui uma enorme capacidade para contribuir com o fornecimento total de energia nas próximas décadas. A partir da utilização de tecnologias integradas, matérias primas como dejetos animais, esterco bovino, suíno e aviário, resíduos agrícolas, e resíduos orgânicos provenientes dos aglomerados urbanos ou da indústria podem ser aproveitados para geração de energia. A biomassa pode ser utilizada para gerar energia de forma direta, para gerar calor, ou indiretamente para gerar produtos como álcool ou o biogás, que é gerado a partir de um processo de digestão anaeróbia (RASAPOOR et al., 2020).

O tratamento adequado das grandes quantidades de resíduos gerados pelas atividades humanas tem sido um grande problema ambiental. No que diz respeito aos resíduos orgânicos, quando não tratados adequadamente, tornam-se uma potencial fonte de contaminação dos solos e corpos hídricos, proliferação de vetores e doenças, geração de maus odores e emissão de gases de efeito estufa (FEAM, 2015).

Na maioria dos casos, os dejetos da pecuária são utilizados diretamente como fertilizantes do solo. No entanto, o grande volume gerado pode ocasionar um excesso de elementos químicos contaminantes e agentes biológicos, causando problemas de ordem ambiental e de saúde pública (GLEBER; PALHARES, 2007).

O Brasil é um grande produtor pecuário, possuindo um quantitativo de 218,2 milhões de bovinos, 41,1 milhões de suínos, 1,5 bilhão de galináceos, 20,6 milhões de ovinos, 16,5 milhões de codornas, 12,1 milhões de caprinos, 6,0 milhões de equinos e 1,5 milhão de bubalinos (IBGE, 2020).

O Estado de Santa Catarina possui um papel proeminente nesse contexto, sendo, segundo dados do Relatório Síntese de 2019/2020, o maior produtor de carne suína do Brasil, o segundo maior produtor de frango e o décimo terceiro maior produtor do país de carne bovina. Em termos nacionais, o Estado possui a participação de 27,2% do total de toneladas de carne suína produzida, 14,3% de carne de frango e 2,59% da carne bovina produzida em território nacional (EPAGRI; CEPA, 2021).

Segundo o estudo realizado pelo projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” – GEF Biogás Brasil, são gerados cerca de 10,1 mil m³/ano de efluente pelo rebanho total de suínos no estado, 5,8 bilhões de m³ de efluentes pelo rebanho bovino e cerca de 316 mil toneladas por ano de cama aviária e dejetos de aves de corte e 380 mil m³/ano de resíduos de aves de postura (BIOGÁS BRASIL, 2019).

O conjunto da pecuária (bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves) é responsável por cerca de 18% das emissões de gases de efeito estufa no mundo. Sendo assim, é urgente que se melhore a eficiência no uso de recursos da produção pecuária, bem como reduzir as externalidades negativas associadas à atividade (FAO, 2020).

A alta concentração de carbono e nutrientes nos resíduos da produção de proteína animal carece estratégias de tratamento diferenciadas para o seu gerenciamento. Apesar da farta literatura no que diz respeito ao tratamento de efluentes de esgoto sanitário, existe pouco conteúdo produzido tratando

especificamente das cadeias de produção animal e seus efluentes. O tema é importante e requer atenção, já que muitas unidades produtivas podem apresentar impacto ambiental equivalentes a cidades de médio porte (KUNZ et al., 2019).

Os resíduos da pecuária apresentam um grande potencial de geração de biogás, dando tratamento adequado aos mesmos, o que mitiga os problemas ambientais decorrentes, e resultando na geração de energia que pode ser utilizada pelo próprio produtor para geração de calor ou combustível, ou pode ser comercializada (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

À medida que crescem as possibilidades e as tecnologias de aproveitamento da biomassa se tornam mais acessíveis, cresce também a necessidade de planejamento e regulações para que a tentativa de solucionar o problema da crise climática e do aumento constante na demanda de energia não venha a criar outros problemas futuros. Nesse contexto, o licenciamento ambiental exerce um papel primordial, sendo um importante instrumento de efetivação da proteção ao meio ambiente, uma vez que as atividades de utilização de biomassa para fins energéticos estão sujeitas a causar riscos e efeitos maléficos em suas cadeias de produção (TRENNEPOHL; TRENNEPOHL, 2020).

A produção do biogás, da mesma forma que todas as instalações industriais, está sujeita à observância de aspectos ambientais e de segurança. No entanto, nem sempre o regramento geral aplicável ao licenciamento ambiental é claro o bastante e contempla todas as especificidades de uma atividade (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Para que haja uma efetiva proteção ao meio ambiente, é de suma importância que exista um regramento claro e abrangente, de forma que o procedimento de licenciamento transcorra gerando segurança para os produtores interessados na sua instalação, para os órgãos ambientais e, principalmente, para o meio ambiente.

A Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº 6.938/81, de 31 de agosto de 1981, prevê, entre os instrumentos destinados à consecução dos seus objetivos, no inciso IV “o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;” (BRASIL, 1981).

O licenciamento ambiental é um importante mecanismo de controle sobre as atividades humanas que interferem nas condições ambientais por meio do qual se busca a conciliação do desenvolvimento econômico com o uso dos recursos naturais,

de modo a assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas em suas variabilidades físicas, bióticas, socioculturais e econômicas (IBAMA, 2016).

Diante desse cenário, foi proposto, em fevereiro de 2018, o projeto de lei 0026, que resultou na Política Estadual do Biogás de Santa Catarina, cuja justificativa expressa a preocupação com a maciça exploração econômica resultante da criação intensiva de animais que alimenta a agroindústria catarinense, quando seus resíduos não são tratados adequadamente (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2018a).

A Lei nº 17.542, de 12 de julho de 2018, que institui a Política Estadual do Biogás em Santa Catarina, prevê, dentre os seus instrumentos de efetivação, no artigo 5º, inciso VII, a prioridade e simplificação dos licenciamentos para empreendimentos da cadeia produtiva do biogás por meio de regulamento próprio dos órgãos estaduais competentes (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2018b).

Portanto, verifica-se que o referido termo legal prevê a necessidade de que seja elaborado um regramento específico para o licenciamento ambiental dessa atividade, considerando o objetivo de expansão da produção de biogás a partir de dejetos animais a ser estimulado pelo Programa Estadual do Biogás.

Além disso, as especificidades da tecnologia, os métodos e riscos envolvidos e também a necessidade de segurança jurídica, tanto para os órgãos ambientais quanto para as partes interessadas na execução de projetos dessa natureza, também justificam um regramento específico.

A Resolução nº 98, de 05 de julho de 2017, do Conselho Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina (CONSEMA) cumpre com o disposto no artigo 29 da Lei nº 14.675, de 2009, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente, alterado pela Lei nº 18.350, de 27 de janeiro de 2022, trazendo uma listagem das atividades que precisam realizar o licenciamento ambiental, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade ou empreendimento e estabelecendo, segundo o seu porte, o tipo de estudo técnico necessário para a obtenção da licença ambiental (CONSEMA, 2017).

No código 34.20.00 da Resolução nº 98, é disposta a atividade de produção de biogás, estabelecendo-se um potencial poluidor/degradador geral médio e a necessidade de Relatório Ambiental Prévio para as unidades de pequeno porte (até 500 m³/h), Relatório Ambiental Prévio para as unidades de médio porte (de 500 a 2000 m³/h) e o Estudo Ambiental Simplificado para as unidades de grande porte (acima de 2000 m³/h).

Já as Instruções Normativas exaradas pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (IMA) têm como finalidade definir a documentação necessária ao licenciamento e estabelecer critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais para implantação das atividades em relação às quais se referem (IMA, 2017).

Como não há uma Instrução Normativa específica para a atividade de geração de biogás, utiliza-se as Instruções normativas que regulam o licenciamento ambiental das atividades pecuárias (suinocultura, bovinocultura ou avicultura), ou a Instrução Normativa nº 65, de fevereiro de 2020, que se aplica a diversas atividades (IMA, 2017).

No entanto, tal normativa não atende ao disposto no artigo 5º, inciso VII da Política Estadual do Biogás (lei nº 17.542, de 12 de julho de 2018) e pode permitir lacunas de ordem técnica que podem decorrer em riscos para o meio ambiente e a saúde humana.

Apesar de todos os benefícios ambientais advindos da instalação de unidades de geração de biogás de dejetos da pecuária, a atividade também possui uma série de impactos e riscos atrelados que merecem cuidadosa atenção.

Como ressaltado pelo Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria, produzido pela Fundação do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais, a implantação de uma usina de biogás é uma atividade potencialmente poluidora, motivo pelo qual tais projetos merecem ser cautelosamente estudados, de modo a reduzir os aspectos ambientais negativos (FEAM, 2015).

Tais instalações possuem caráter industrial, associando a recepção e tratamento de resíduos e efluentes, a produção e valorização do biogás, que é um gás inflamável, e o procedimento e expedição do material digerido. Alguns dos principais impactos ambientais dessas usinas são a geração de emissões de odorantes, de gases causadores de efeito estufa e de material particulado, a proliferação de vetores e a possibilidade de contaminação do solo e corpos hídricos. Outras questões, como a geração de ruídos, o risco de explosões e a destinação final adequada do material digerido (digestato), também são variáveis específicas da atividade que requerem cuidados (FEAM, 2015; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Além das condições técnicas, a viabilidade de projetos de biogás depende, diretamente, das condições de regulamentação da atividade, com a finalidade de possibilitar uma expansão sólida do setor e a consolidação dos mercados para o

escoamento efetivo dos subprodutos do processo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Verifica-se que incidem sobre os empreendimentos de geração de biogás uma série de legislações esparsas, tais como as que regulam a supressão de vegetação, a destinação de resíduos sólidos, limites de emissões de gases, ruídos, normas técnicas para elaboração de projetos e de segurança do trabalho, dentre outras (DEBONI; FEILSTRECKER; TARSO, 2017).

No entanto, a falta de um regramento para as atividades de geração de biogás a partir de dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina pode ser um fator de atraso na expansão do programa de incentivo à atividade instituído pela Política Estadual do Biogás, além de gerar insegurança jurídica para as partes envolvidas e deixar lacunas que podem acabar em situações danosas ao meio ambiente e às pessoas envolvidas na operação.

Cabe ao setor buscar garantir a efetividade do processo de regularização ambiental, e, por conseguinte, garantir a segurança operacional do empreendimento e a redução de passivos ambientais que possam estar associados à atividade (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Partindo destes pressupostos, a presente investigação se propôs a elaborar um instrumento jurídico de regulamentação do processo de licenciamento ambiental de empreendimentos de aproveitamento energético de dejetos da pecuária em Santa Catarina. Tal instrumento visa contribuir para suprir uma lacuna legislativa, a qual pode gerar insegurança jurídica para os agentes envolvidos no processo de licenciamento ambiental da atividade.

A presente proposta se enquadra na linha de pesquisa Gestão e Sustentabilidade, que está inserida na área de concentração em Planejamento e Sustentabilidade do Setor Energético do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade (PPGES) da UFSC. Tal linha de pesquisa contempla aspectos históricos e econômicos, as políticas públicas internacionais, nacionais e regionais voltadas para gestão energética e suas inter-relações, os aspectos institucionais e a legislação dos recursos energéticos.

Sendo assim, verifica-se a adequação da pesquisa, pois a elaboração de uma proposta de normativa a partir de padrões técnicos supre uma lacuna no atendimento ao disposto no artigo 5º, inciso VII, da Política Estadual de Biogás de Santa Catarina, visando contribuir para a ampliação da geração de energia de forma renovável a partir

de dejetos da pecuária catarinense e mitigar os problemas ambientais e sanitários decorrentes da atividade econômica no Estado.

2 OBJETIVOS

A presente seção descreve os objetivos geral e específicos que nortearam a investigação.

2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve por objetivo geral elaborar uma proposta de instrumento de regulação do licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina, com vistas a contribuir para o aprimoramento da legislação ambiental do setor e fomento ao uso de fontes renováveis de energia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Obter um melhor conhecimento sobre o aproveitamento energético de dejetos da pecuária e a legislação ambiental do setor e contribuir para o aprimoramento do estado da arte dessas temáticas;
- ii) Analisar os impactos ambientais abordados em estudos ambientais de licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária;
- iii) Elaborar uma matriz normativa que possa compilar as normas incidentes sobre o licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária e orientar a elaboração da proposta de instrumento legal;
- iv) Elaborar uma proposta de instrumento legal de regulação do processo de licenciamento ambiental de atividades de geração de biogás a partir de resíduos da pecuária no Estado de Santa Catarina;
- v) Contribuir para o aprimoramento da legislação ambiental, bem como para o fomento da geração de energia a partir da produção de biogás dos dejetos da atividade pecuária no Estado.

3 METODOLOGIA

A metodologia da presente pesquisa está dividida em cinco etapas, conforme seguem: i) estudo do estado da arte; ii) análise documental de Relatórios Ambientais Prévios (RAPs) de licenciamentos de unidades geradoras de biogás; iii) elaboração da matriz normativa orientativa; iv) proposta de regulamentação de licenciamento ambiental; v) socialização dos resultados da pesquisa.

3.1 ESTUDO DO ESTADO DA ARTE

Na presente etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e legislativa com intento de obter um melhor conhecimento do estado da arte relacionado às temáticas da investigação, as quais incluem: setor pecuário no Brasil e em Santa Catarina, impactos ambientais negativos da geração de dejetos da pecuária, aproveitamento energético de dejetos da pecuária e licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás. Para tanto, foram utilizadas como fontes de pesquisa livros, artigos científicos, legislações, sítios governamentais e regulações de órgãos ambientais e normatizadores. Visou-se com essa etapa, a elaboração de um conhecimento consistente sobre a produção do biogás, seus parâmetros relevantes e sua importância no contexto do setor de energia.

3.2 ANÁLISE DE ESTUDOS AMBIENTAIS

Nessa etapa da pesquisa, foi realizada a análise documental de Relatórios Ambientais Prévios (RAPs) e respectiva licença ambiental emitida pelo IMA de projetos de geração de biogás a partir de substratos diversos no Estado de Santa Catarina. Os documentos e informações complementares foram obtidos junto ao Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA/SC) por meio de contatos por correio eletrônico e reunião presencial.

Esta etapa visou analisar as diretrizes, legislações e planos ambientais e medidas de controle ambiental que são comumente abordados nesses documentos. Tais estudos também subsidiaram a elaboração da proposta de instrumento de regulação do licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina.

3.3 ELABORAÇÃO DA MATRIZ NORMATIVA ORIENTATIVA

A partir do estudo do estado da arte e da análise de estudos ambientais foi possível elaborar uma matriz normativa, congregando as legislações gerais e específicas incidentes sobre o processo de licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária. Visou-se com esta etapa reunir a legislação identificada nas etapas anteriores como aplicável ao processo de licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás e que pudesse, igualmente, orientar a elaboração da proposta de regulação prevista na etapa subsequente. Contribuíram com essa etapa os contatos realizados com o Conselho de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (CONSEMA/SC) e com a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE/SC) por meio de correios eletrônicos e contatos telefônicos.

3.4 ELABORAÇÃO DE RESOLUÇÃO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Na presente etapa foi elaborada uma proposta de regramento para o licenciamento ambiental da geração de biogás a partir de dejetos da pecuária para o Estado de Santa Catarina na forma de Resolução. Tal termo legal foi construído a partir dos estudos realizados na revisão bibliográfica, levando em conta também o conteúdo observado nos Estudos de Impactos Ambientais e na matriz normativa elaborada. Procurou-se nessa etapa a oitiva da expertise em pesquisa acumulada pela Embrapa Suínos e Aves de Concórdia SC, com o intento de obter informações a partir de outro ponto de vista sobre o setor, bem como contribuições de natureza técnica para a construção da referida normativa.

Para a elaboração da proposta da Resolução, foi utilizada como referência direta a Resolução n. 08, de 23 de fevereiro de 2021, da Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do Estado do Paraná (SEDEST). O referido documento legal estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de biodigestores com aproveitamento energético de biogás no âmbito do Estado do Paraná (SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ, 2021).

A Resolução ora proposta contém ementa, considerações, definições, as etapas do procedimento de licenciamento ambiental, as condições necessárias à instalação de empreendimentos de geração de biogás a partir de dejetos da pecuária, a indicação da legislação incidente e outros aspectos regulatórios. Tal proposta, futuramente, será apresentada junto aos órgãos competentes, com o intuito de contribuir para o aprimoramento normativo das atividades de licenciamento da produção de biogás a partir de dejetos da pecuária.

3.4 SOCIALIZAÇÃO DA PESQUISA

Os resultados obtidos na presente investigação foram socializados, por meio da divulgação em eventos científicos, bem como na elaboração e submissão de artigo em revista especializada.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na presente seção apresenta-se o estado da arte das principais temáticas relacionadas com a pesquisa, as quais compreendem a biomassa, digestão anaeróbia, fatores que influenciam na geração do biogás, biodigestores anaeróbios, setor pecuário no Brasil e em Santa Catarina, setor energético de biogás no Brasil e impactos ambientais negativos do setor energético de biogás.

4.1 BIOMASSA

De maneira genérica, biomassa pode ser conceituada como toda a matéria orgânica produzida biologicamente. O termo biomassa compreende as produções agrícolas e florestais, bem como resíduos derivados da produção agrícola, agroindustrial e doméstico. Estima-se que sejam geradas, mundialmente, cerca de 146 bilhões de toneladas de biomassa por ano (RASAPOOR et al., 2020).

A biomassa é a fonte mais antiga de energia, sendo que se estima que a utilização da madeira para a cocção de alimentos remonta mais de um milhão de anos (TOMALSQUIM, 2016).

No entanto, recentemente, a utilização da biomassa como fonte de energia passou a ser aprimorada como uma opção à crise ambiental, oferecendo uma alternativa para os combustíveis fósseis, especialmente o petróleo, uma mitigação dos problemas do tratamento dos resíduos sólidos orgânicos e a redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, notadamente dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), por atividades que possuem grande potencial poluente (CARDOSO; PARENTE, 2018).

Além disso, questões relacionadas ao melhor aproveitamento dos recursos naturais, integrando-os a avançados mecanismos e tecnologias de eficiência, mitigando danos ambientais e integrando agentes sociais, estão no centro da discussão do planejamento de uma economia circular (KAPOOR et al., 2020).

A partir da utilização de tecnologias integradas, matérias primas como dejetos animais, bovino, suíno e aviário, resíduos agrícolas, e resíduos orgânicos provenientes dos aglomerados urbanos ou da indústria podem ser aproveitados para geração de energia (MAO et al., 2015).

A biomassa pode ser utilizada para gerar energia de forma direta, para gerar calor, ou indiretamente, para gerar produtos como álcool ou o biogás, gerado a partir de um processo de digestão anaeróbia (RASAPOOR et al., 2020).

4.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA

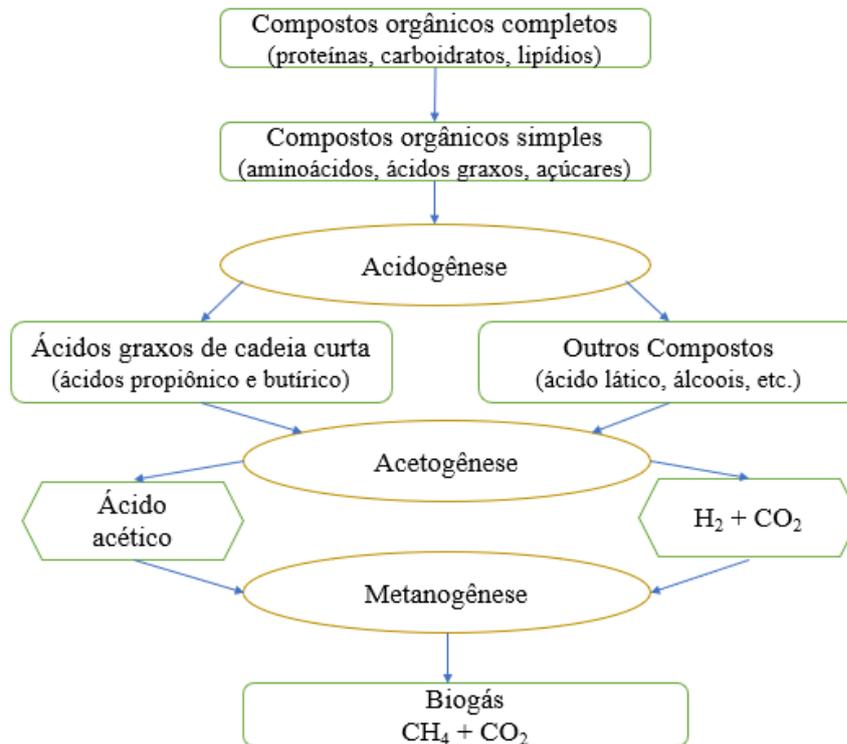
O processo de digestão anaeróbia representa um ciclo metabólico realizado na ausência de oxigênio, que depende da atividade de microrganismos sob condições específicas e que gera como produto do material orgânico um gás rico em gás metano e gás carbônico, além de um resíduo sólido rico em nutrientes chamado digestato (KUNZ et al., 2019)

Esse processo é comum na natureza, ocorrendo, por exemplo, em fundos de lagos, esterqueiras, pântanos e no rúmen de animais ruminantes (FNR, 2010).

O processo pode ser dividido em quatro etapas, quais sejam hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo que cada uma é realizada por grupos de microrganismos que podem requerer condições ambientais específicas (KUNZ et al., 2019).

Conforme descrito na Figura 1, na primeira etapa da digestão anaeróbia, compostos orgânicos complexos como proteínas, carboidratos e lipídios são decompostos por bactérias hidrolíticas, transformando-os em substâncias menos complexas, como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. Por meio de bactérias fermentativas acidogênicas, os compostos formados são decompostos em ácidos graxos de cadeia curta, ácido láctico e álcoois na segunda etapa. Na terceira etapa ocorre o processo de formação do ácido acético pelas bactérias acetogênicas. Na última etapa, arqueas metanogênicas transformam, principalmente, o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016)

Figura 1 – Esquema da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016)

No final do processo, tem-se o biogás, o qual é composto principalmente de metano CH₄ (50% - 70% em volume) e gás carbônico CO₂ (25% - 50% em volume), contendo também pequenas quantidades de hidrogênio, amônia e outros gases, variando de acordo com os substratos utilizados, a técnica de fermentação aplicada e as diferentes tecnologias de construção de usinas (FNR, 2010).

Esses processos ocorrem em sintrofia, sendo que variam de acordo com o tipo de matéria orgânica que está em processo de transformação e dependem de uma série de parâmetros a serem considerados e controlados (KUNZ et al., 2019).

O biogás pode ser elevado a valores comparados com o gás natural quando é purificado, podendo chegar a conter cerca de 96-97% de metano (CH₄). Diversas inovações tecnológicas para potencializar a qualidade do biogás estão sendo aprofundadas a partir de técnicas biológicas, como a utilização de aditivos biológicos, a codigestão anaeróbia e a produção integrada de biogás. Além disso, algumas técnicas menos convencionais de remoção das impurezas contidas no biogás gerado pela digestão anaeróbica, tais como CO₂, água e sulfeto de hidrogênio (H₂S), estão sendo desenvolvidas, já que essas impurezas podem ameaçar a saúde humana e

causar impactos adversos quando utilizado em sistemas de calor para geração de energia, tais como corrosão e emissões de gases de efeito estufa (TABATABAEI et al., 2020)

O biogás obtido do processo de digestão anaeróbia pode ser utilizado para geração de energia térmica, elétrica, como combustível para automóveis ou substituição do gás, dentre outras utilidades (KAPOOR et al., 2020). O Quadro 1 apresenta algumas aplicações do biogás.

Quadro 1 – Aplicações energéticas e biotecnológicas do biogás.

ÁREA	APLICAÇÃO
Energia renovável e sustentável	Calor e eletricidade
	Biogás comprimido
	Biohidrogênio
	Methanol, etanol, álcoois com altas concentrações
	Diesel
	Combustível para aviação
	Gasolina
	Células de combustível
	Micro turbinas à gás
	Motores <i>stirling</i>
Biotecnologia	Compostos orgânicos de silício
	Parafinas, naftenenos, aromáticos
	Digestato como fertilizante orgânico

Adaptado de: (TABATABAEI et al., 2020).

Além do biogás, o processo de digestão anaeróbia produz um resíduo sólido e líquido rico em nutrientes, chamado de digestato, que pode ser utilizado na agricultura como fertilizante de solos (TABATABAEI et al., 2020).

A composição do digestato depende da composição da matéria prima e dos fatores ambientais e tecnológicos utilizados para seu processamento. Normalmente, o digestato contém cerca de 1,92% de matéria inorgânica, 6,08% de matéria orgânica e 92% de água (TABATABAEI et al., 2020).

Mais especificamente, a parte sólida do digestato (cerca de 8%) pode conter matéria orgânica dissolvida, nitratos (NO_3^-), amônio (NH_4^+), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na), além de microelementos como boro, cobre, manganês, ferro e zinco, geralmente esgotados no solo como resultado das práticas agrícolas intensivas (TABATABAEI et al., 2020).

O digestato pode ser utilizado diretamente nas produções agrícolas como fertilizante, como matéria prima para cama de animais ou processado e vendido como fertilizante com valor nutricional para o solo (KAPOOR et al., 2020).

Além das aplicações agrícolas, a parte líquida do digestato pode ser utilizada como fonte de nutrientes para produção de algas, sendo que a parte sólida do digestato pode ser utilizada para produção de bioetanol ou como combustível em processos térmicos como combustão ou convertido em carvão ativado através de um processo de pirólise (KAPOOR et al., 2020).

4.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA GERAÇÃO DO BIOGÁS

A digestão anaeróbia decorre de uma complexa interação biológica entre componentes bióticos e abióticos e depende de fatores ambientais e operacionais de controle (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

O processo de digestão anaeróbia depende de condições específicas para ocorrer, já que decorre de um ciclo integrado de um sistema fisiológico microbial e metabólico, sensível a variáveis operacionais. Mal manejado, o processo pode se tornar instável e resultar na redução ou interrupção da produção do biogás (MAO et al., 2015).

Apesar de existirem estudos específicos voltados ao desenvolvimento do processo com base no tipo de substrato e nos respectivos parâmetros, técnicas e digestores ideais, existem alguns parâmetros de controle de importância comuns a todos os processos de digestão anaeróbia (MAO et al., 2015).

Dentre os principais fatores encontram-se os ambientais (ex: temperatura, pH, inibidores da biodigestão, razão C/N e tipo de substrato) e os operacionais (ex: tempo de retenção hidráulica, sistemas de agitação e carga orgânica volumétrica), os quais serão descritos nas Seções que se seguem.

4.3.1 Fatores ambientais

A temperatura é uma variável crucial no processo de digestão anaeróbia, pois afeta o equilíbrio termodinâmico da reação bioquímica, a estabilidade, o crescimento microbial, a diversidade de microorganismos, a biodisponibilidade de metais e a formação do metano (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

Cada microorganismo envolvido no processo metabólico possui sua própria faixa de temperatura ideal, influenciando na velocidade de crescimento e metabolismo da dinâmica populacional do biodigestor. Por esse motivo, os microorganismos podem ser divididos em psicofílicos, mesofílicos e termofílicos, cuja temperatura ótima de crescimento corresponde a 15, 37 e 60°C, respectivamente (FNR, 2010).

Condições termofílicas possuem algumas vantagens em relação às mesofílicas, particularmente em se tratando de resíduos em estado sólido para digestão. Também proporcionam uma maior redução dos patogênicos que podem estar presentes na matéria a ser digerida, um alto crescimento microbiano, menor tempo de retenção hidráulica e uma razão de produção de biogás superior, quando comparada à condições mesofílicas (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

Em contraste, uma grande quantidade de reações na fase acidogênica em condições termofílicas pode resultar em um acúmulo de ácido propiônico no digestor, que pode impedir a etapa da metanogênese. Além disso, as altas quantidades de energia exigidas para manter o processo em condições termofílicas e a maior instabilidade decorrente de tais condições, são aspectos que geram considerações (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

As variações bruscas de temperatura podem inibir os eventos metabólicos, motivo pelo qual a estabilidade do processo depende mais da constância da temperatura do que de seu valor absoluto em si (FNR, 2010).

A maioria dos microorganismos metanogênicos apresenta bom desenvolvimento em faixas mesofílicas de temperatura (entre 37 e 42°C), motivo pelo qual essa faixa é a mais utilizada nas usinas (FNR, 2010).

No entanto, processos digestivos divididos em duas fases de temperatura já são utilizados em algumas situações com sucesso, considerando-se as particularidades de cada situação (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

O parâmetro mais significativo na performance da digestão anaeróbia é o pH, já que cada grupo de microorganismos possui um diferente intervalo ideal para o seu crescimento (PRAMANIK et al., 2019).

A estabilidade do pH influencia diretamente a produção do metano, especialmente com relação às bactérias acetogênicas e as arqueas metanogênicas, que dependem de um pH neutro entre 6,5 e 8,0 (FNR, 2010).

Já as bactérias acidogênicas desenvolvem suas funções até pH 4,5. No entanto, o que pode ocorrer com a baixa do pH a um nível inferior daquele requerido

pelas bactérias acetogênicas e as arqueas metanogênicas (6,5) é um acúmulo indesejado de ácidos, que geram mais queda do pH em uma reação em cadeia (FNR, 2010).

A maioria dos problemas na digestão anaeróbia pode ser atribuída ao acúmulo de ácidos voláteis, que geram a queda do pH. Portanto, é importante um controle contínuo, mantendo-se o pH em padrões estáveis, para que não ocorra a inibição da fase de metanogênese. Além disso, o pH ideal depende do tipo de substrato e digestor. Em razão de tal risco, alguns modelos de digestão anaeróbia optam pela divisão de fases, separando-se as fases da hidrólise e acidogênese das etapas da acetogênese e metanogênese, a depender das escolhas específicas de tecnologias aplicadas (MAO et al., 2015).

Algumas substâncias inibidoras da digestão são capazes de diminuir ou interromper a taxa de degradação da matéria orgânica, causando a inibição do processo fermentativo. Ressalta-se que, substâncias essenciais para o processo digestivo podem também ser inibidores quando em concentrações excessivas. No entanto, há outras que, mesmo em concentrações pequenas, já são capazes de obstar o processo digestivo, tais como antibióticos, solventes, desinfetantes, herbicidas, sais e metais pesados (FNR, 2010)

Também durante a digestão podem ser originadas substâncias que são inibidoras sendo que, devido à capacidade adaptativa das bactérias, dificilmente podem ser precisadas suas quantidades máximas. A amônia livre, o nitrogênio e o sulfeto de hidrogênio são exemplos de substâncias que, devido à alterações de temperatura e pH podem desequilibrar o processo (FNR, 2010).

A Tabela 1 demonstra alguns exemplos de substâncias inibidoras. Ressalta-se que tal efeito depende de diversos fatores, motivo pelo qual dificilmente se pode estabelecer valores absolutos (FNR, 2010).

Tabela 1 – Exemplos de inibidores da digestão anaeróbia.

Inibidores	Concentração	Observações
Oxigênio	> 0,1 mg/L	Inibição das arqueas metanogênicas anaeróbias obrigatórias
Sulfeto de hidrogênio	> 50 mg/L HAc (pH = 7,0)	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias.
Nitrogênio amoniacal	> 3.500 mg/L NH ₄ ⁺ (pH = 7,0)	Quanto maiores o pH e a temperatura, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias.
Metais pesados	Cu > 50mg/L Zn > 150 mg/L Cr > 100 mg/L	Só metais dissolvidos apresentam efeito inibidor. Descontaminação pela precipitação de sulfeto.
Ácidos graxos voláteis	>2.000 mg/L Hac (pH=7,0)	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias.
Desinfetantes antibióticos	Não estabelecida	Efeito inibitório varia com o composto.

Fonte: adaptado de (FNR, 2010).

Outro fator importante que influencia na digestão anaeróbia é a razão de Carbono/Nitrogênio (Razão C/N). Uma proporção adequada entre a disponibilidade de nitrogênio e carbono é requerida para uma efetiva digestão, pois exerce grande influência na estabilidade do processo, mantendo um ambiente adequado e ajudando a controlar propriedades nutricionais equilibradas através do desenvolvimento dos microorganismos (PRAMANIK et al., 2019).

Carbono é a fonte de energia necessária para os microrganismos anaeróbios, enquanto o nitrogênio tem um papel importante no aumento da população microbial. A razão C/N indica o total de nitrogênio amoniacal liberado e os ácidos graxos voláteis acumulados no biodigestor, bem como o nível nutricional da matéria orgânica (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

A adição de substratos para estabilizar um ou outro componente da razão C/N é uma prática comum para manter a estabilidade da digestão, sendo que a literatura registra como uma ótima proporção a de 20/30 ou 25/35 (PRAMANIK et al., 2019)(MAO et al., 2015) (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

Como mencionado anteriormente, os parâmetros e as tecnologias aplicadas deverão levar em consideração o tipo de substrato que será objeto de digestão, adaptando os mecanismos ambientais e operacionais à melhor eficiência do processo de digestão anaeróbica (MAO et al., 2015).

A quantidade de água presente, a toxicidade dos elementos, o tamanho das partículas e os nutrientes disponíveis são fatores específicos a serem estudados em cada projeto a ser desenvolvido (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

4.3.2 Fatores operacionais

O tempo de retenção hidráulica é um fator operacional relevante e está relacionado ao tempo necessário para uma completa degradação da matéria orgânica, ou o tempo médio que a mesma permanece no digestor (PRAMANIK et al., 2019). Para que seja mantido um processo fermentativo com bom resultado de geração de gás, é necessário que o tempo de retenção seja o ideal. Nesse sentido, é muito importante que o mesmo seja compatível com a capacidade de decomposição específica do substrato, caso contrário, o substrato pode permanecer no processo metabólico menos tempo que o necessário para a formação do resultado biogás em concentrações elevadas (FNR, 2010). O tempo de retenção necessário também será afetado pela faixa de temperatura aplicada e pela carga orgânica volumétrica do reator (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

Outro fator operacional é o sistema de agitação, o qual visa manter microorganismos e substrato em contato, provendo condições consistentes para uma completa digestão de todo volume e acelerando o processo cinético e rendimento na produção de metano (ROCAMORA et al., 2020). Em geral, a agitação é conduzida por um sistema mecânico, de bombeamento ou de circulação de gás que movimenta o substrato dentro do digestor (PANIGRAHI; DUBEY, 2019).

O fator operacional denominado de carga orgânica volumétrica (COV) ou *organic loading rate* (OLR) representa o montante em volume de matéria orgânica que pode ser alimentado em um reator por dia, sob alimentação contínua. Com o aumento da COV, a produção de metano aumenta em quantidade, mas o equilíbrio e produtividade do processo de digestão pode ser gravemente afetado (MAO et al., 2015). Adicionar um grande volume de material orgânico por dia pode resultar em

mudanças no ambiente de digestão que podem inibir a atividade das bactérias em alguns estágios da fermentação (MAO et al., 2015).

A importância da COV encontra-se no fato de que cada configuração de reator tolera diferentes condições operacionais. Assim, uma COV inadequada pode levar à subutilização ou sobrecarga no reator, refletindo negativamente sobre a produção de biogás (LINS et al., 2017).

Sendo assim, a capacidade máxima de COV deve ser prevista em estudos prévios, considerando o tipo de substrato, o modelo do biodigestor e a tecnologia aplicada (KUNZ et al., 2019).

4.4 BIODIGESTORES ANAERÓBIOS

Existem diferentes tecnologias de metanização disponíveis para geração de biogás, com sistemas e etapas diferenciadas que variam em relação ao tipo de substrato, à destinação do biogás gerado e outras particularidades. Os biodigestores são o local onde a etapa de metanização e geração do biogás ocorre, existindo uma série de tecnologias maduras aplicáveis de acordo com as especificidades de cada projeto (FEAM, 2015).

O tipo de biodigestor a ser utilizado em um determinado projeto também deverá considerar alguns pontos-chaves para definição das tecnologias e métodos a serem aplicados. O Quadro 2 apresenta alguns pontos importantes a serem considerados na escolha da tecnologia.

Quadro 2 – Pontos importantes para a escolha tecnologia de biodigestão.

Tecnologia	Pontos-chave	Opções
Sistema de alimentação	Tipo de biodigestor e de matéria-prima para alimentação	Alimentação descontínua para biodigestores de batelada. Alimentação contínua ou semicontínua para fluxo em pistão/digestores Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). Sistema de alimentação sólido ou líquido, dependendo do conteúdo da matéria seca do substrato.
Temperatura do reator	Risco para patógenos	Temperatura mesofílicas quando não há risco de patógenos. Temperaturas termofílicas quando houver risco de patógenos (ex.: lixo orgânico doméstico).
Número de fases	Composição de substratos, risco de acidificação	Sistemas de uma fase quando não há risco de acidificação. Sistema de duas fases para substratos com um elevado teor de açúcar, amido, proteínas ou de difícil degradação.
Sistema de agitação	Matéria-prima seca para alimentação	Agitadores mecânicos para altas concentrações de sólidos no biodigestor. Sistemas de agitação mecânica, hidráulica ou pneumática para baixa concentração de sólidos no biodigestor.
Sistema de alimentação	Tipo de biodigestor e de matéria-prima para alimentação	Alimentação descontínua para biodigestores de batelada. Alimentação contínua ou semicontínua para fluxo em pistão/digestores Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). Sistema de alimentação sólido ou líquido, dependendo do conteúdo da matéria seca do substrato.
Temperatura do reator	Risco para patógenos	Temperatura mesofílicas quando não há risco de patógenos. Temperaturas termofílicas quando houver risco de patógenos (ex.: lixo orgânico doméstico).
Número de fases	Composição de substratos, risco de acidificação	Sistemas de uma fase quando não há risco de acidificação. Sistema de duas fases para substratos com um elevado teor de açúcar, amido, proteínas ou de difícil degradação.
Sistema de agitação	Matéria-prima seca para alimentação	Agitadores mecânicos para altas concentrações de sólidos no biodigestor. Sistemas de agitação mecânica, hidráulica ou pneumática para baixa concentração de sólidos no biodigestor.

Fonte: Elaborado a partir de (KUNZ et al., 2019).

Os biodigestores mais difundidos são: modelo lagoa coberta/canadense/biodigestor de lona (BLC); modelo indiano; modelo chinês; modelo

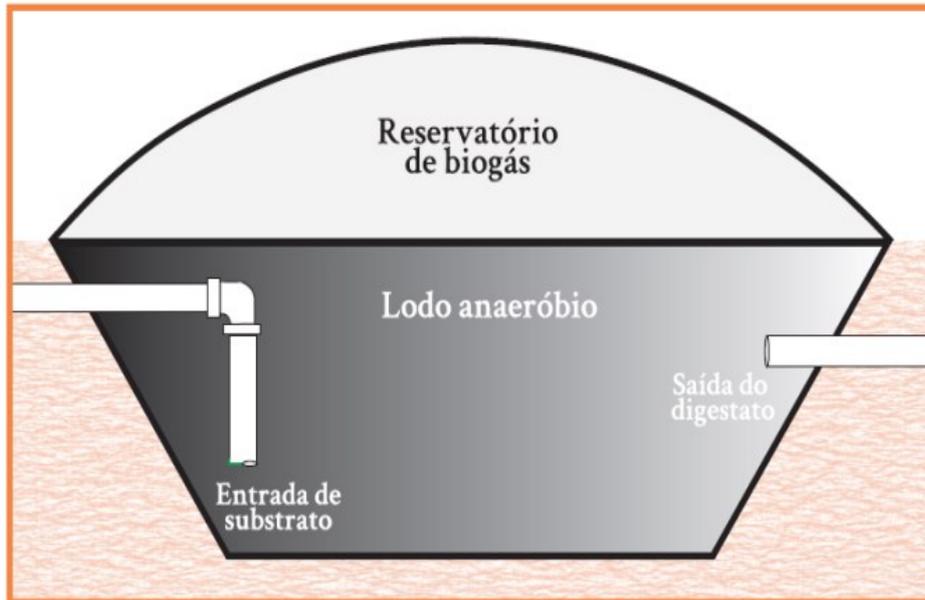
fase sólida (dry digestion); modelo manta de lodo anaeróbio de fluxo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB*); modelo reator com tanque agitado continuamente (*Continuous Stirred Tank Reactor - CSTR*); modelo reator em lote de sequenciamento anaeróbio (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor - ASBR*); modelo biodigestor com gasômetro de PVC (*Anaerobic Plug-flow Reactor - APFR*); modelo reator de contato anaeróbio (*Anaerobic Contact Reactor - ACR*); modelo fluxo ascendente em estado sólido (*Up-Flow Anaerobic Solid-state Reactor*); modelo ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*); modelo de circulação interna (*Internal Circulation Reactor - IC*); modelo anaeróbio de filtro (*Anaerobic Filter Reactor - AF*); modelo anaeróbio de leito fluidizado (*Anaerobic Fluidized Bed Reactor - AFBR*) e manta de lodo granular expandida (*Expanded Granular Sludge Blanket - EGSB*).

O biodigestor modelo lagoa coberta-BLC (Figura 2) é, frequentemente, utilizado no meio rural para gerenciamento de efluentes da produção animal, por tratar-se de uma tecnologia de simples aplicação. O tanque é escavado no solo e impermeabilizado, sendo coberto com material geossintético caracterizado pela baixa permeabilidade a fluídos e gases e suficientemente flexível para acumular biogás. A ausência de controle de temperatura e o elevado tempo de retenção hidráulica são característicos da simplicidade do sistema, que também pode apresentar problemas com relação ao acúmulo de sólidos no fundo do tanque (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Em geral, são caracterizados pelo sistema de alimentação semi-contínuo, ausência de controle de temperatura e de sistema de agitação. Sendo assim, adaptam-se melhor a locais com temperaturas mais altas e também locais suficientemente distantes das águas subterrâneas, para que seja possível seu enterramento parcial, reduzindo a perda de calor e mantendo a temperatura mais estável (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Importante também frisar que este sistema é apropriado para o recebimento apenas de efluentes que sejam praticamente livres de sólidos, sendo indicado para concentrações de sólidos totais inferiores a 5% (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

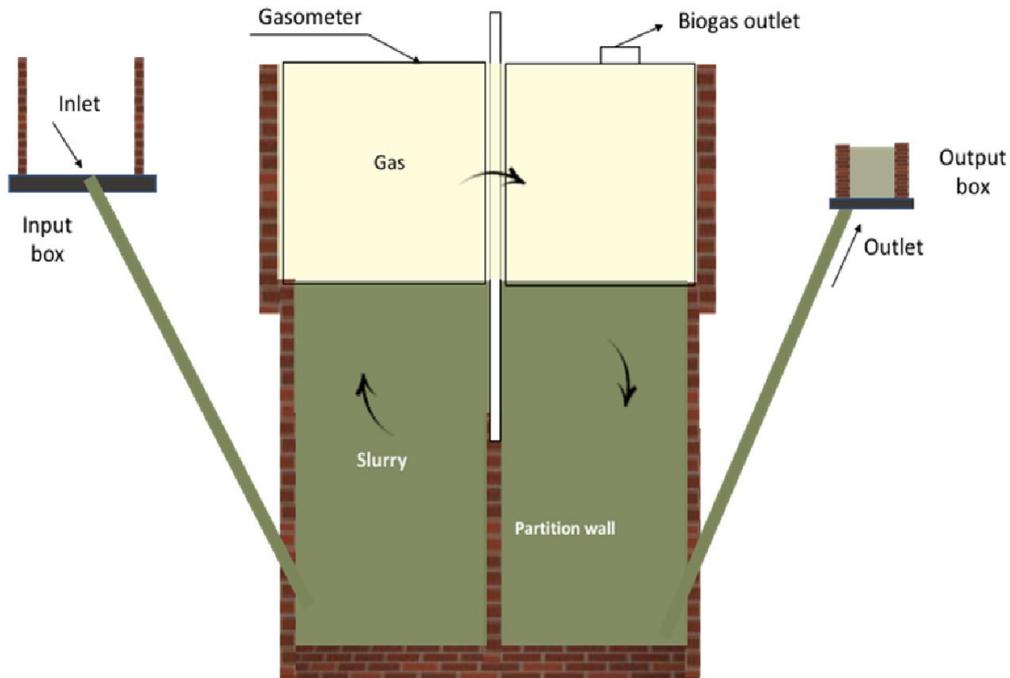
Figura 2 – Ilustração de um biodigestor de lagoa coberta (BLC)



Fonte: (KUNZ et al., 2019)

No biodigestor modelo indiano (Figura 3), a digestão ocorre em dois tanques repartidos por uma parede que força a circulação da matéria através do biodigestor. O tanque principal, normalmente, é enterrado no solo, aproveitando a estabilidade e baixas temperaturas. O biogás gerado é retido em uma cobertura de metal em forma de sino (a campânula) instalada sobre o biodigestor, que regula a pressão interna. A vantagem desse sistema é a estabilidade do escape de pressão do biogás, fluindo através da campânula. No entanto, em virtude dessa estrutura, apresenta um alto custo (FREITAS et al., 2019).

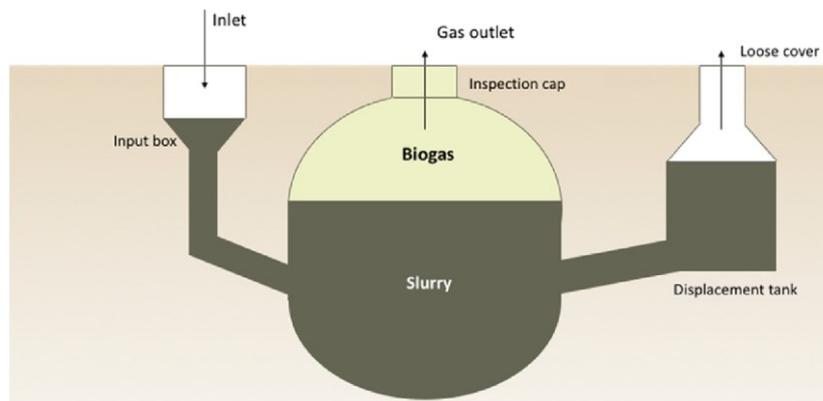
Figura 3 – Ilustração de um biodigestor modelo indiano.



Fonte: (FREITAS et al., 2019).

O modelo chinês (Figura 4) é o mais simples e barato, funcionando a partir do princípio da pressão hidráulica. A acumulação do biogás causa um aumento na pressão interna, o que força a saída do efluente da fermentação da câmara. O armazenamento do biogás ocorre dentro da própria estrutura, que é constituída por uma câmara cilíndrica para fermentação, coberta por um teto impermeável (FREITAS et al., 2019).

Figura 4 – Ilustração de um biodigestor modelo Chinês



Fonte: (FREITAS et al., 2019).

Os biodigestores em fase sólida (*dry digestion*) são utilizados para a transformação dos substratos com grande teor de substâncias sólidas (de 20 a 40% de sólidos) (KUNZ et al., 2019), especialmente resíduos sólidos urbanos e os resíduos industriais com pouca umidade, desde que cumpram alguns requisitos. Os mesmos podem ter sistemas de alimentação contínuos ou descontínuos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

O reator modelo manta de lodo anaeróbio de fluxo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB*) (Figura 5) é caracterizado pelo fluxo ascendente do afluente por uma manta de lodo até o topo do reator onde há um separador trifásico. Este modelo é apropriado para tratamento de efluentes com baixa concentração de sólidos totais (<2%), apresentando alta capacidade de retenção de biomassa, baixo tempo de retenção hidráulica, estabilidade em situações de variação das características do afluente e suporte a alta carga orgânica volumétrica (KUNZ et al., 2019). O modelo é o mais utilizado no Brasil (FREITAS et al., 2019), frequentemente associado a uma Estação de Tratamento de Efluentes para o tratamento de esgotos sanitários. O mesmo apresenta um bom custo/benefício, quando comparado a outras tecnologias, pois remove cerca de 60 a 80% da demanda biológica de oxigênio presente no substrato sem o uso de energia e possibilitando a utilização do biogás gerado no processo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Figura 5 – Ilustração de um reator UASB.

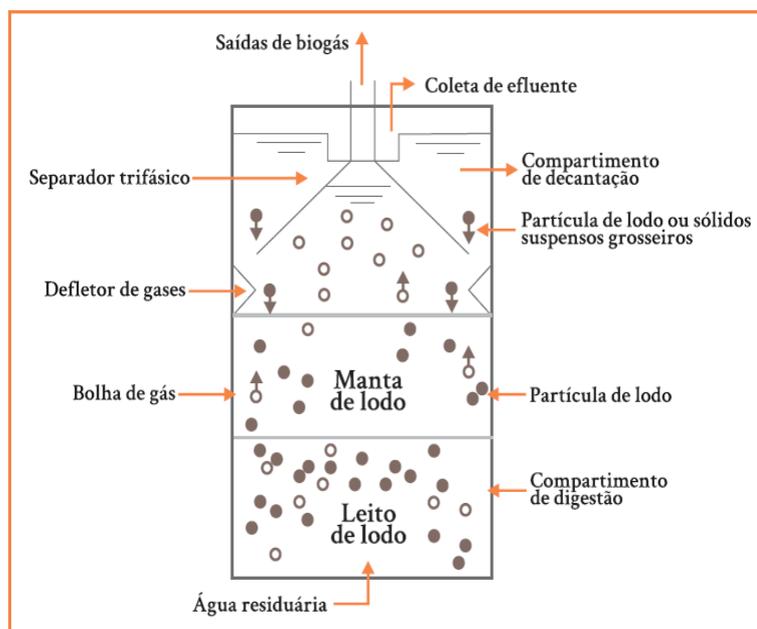


Ilustração: Marcos Lins

Fonte: (KUNZ et al., 2019)

O modelo de reator com tanque agitado continuamente (*Continuous Stirred Tank Reactor* - CSTR) é a tecnologia mais difundida internacionalmente para a digestão de substratos complexos com alto valor energético, sobretudo quando se trata de codigestão (mistura de substratos). Isso se deve ao fato de possuir sistema de agitação que auxilia na homogeneização de substâncias, comportando grande carga volumétrica. A manutenção da temperatura, em função da presença de sistema de aquecimento, também influencia na produção do biogás, pois garante maior estabilidade do reator para manutenção de microorganismos. Esses reatores são, especialmente, apropriados para a digestão anaeróbia de substratos mais densos, com concentrações de sólidos totais de 15% e com características favoráveis para a homogeneização e bombeamento. Geralmente, são utilizados na agropecuária e na indústria para tratamento de lodos sanitários (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

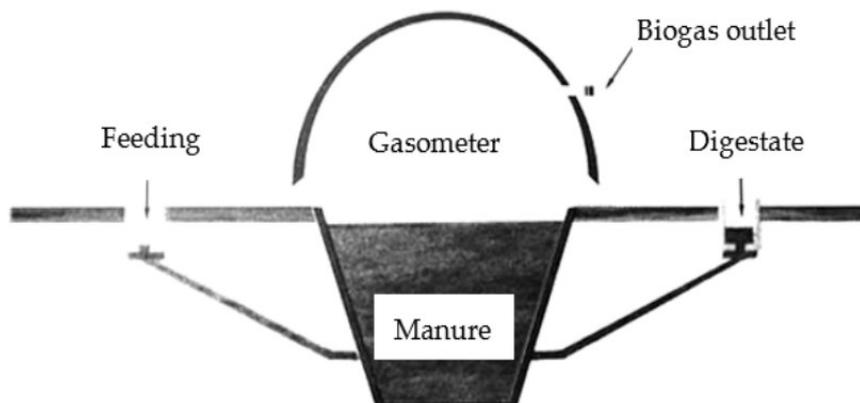
O CSTR pode aderir tecnologias diferentes de alimentação, agitação e aquecimento. O sistema de alimentação corresponde à forma como o substrato é levado até o biodigestor, podendo ser estruturas simples ou ser acopladas tecnologias de homogeneização, trituração e controle de vazão. O sistema de agitação implica, diretamente, na distribuição de substratos, nutrientes, enzimas e microorganismos no biodigestor, afetando a produtividade e qualidade da produção do biogás. O tempo e intensidade da agitação variam de acordo com as características do substrato para

não serem insuficientes nem excessivas. A agitação pode ser mecânica (realizada por diferentes tipos de pás/hélices, com tempos e modelos variáveis aos tipos de substratos), hidráulica (bombas hidráulicas localizadas na parte externa do reator realizam a recirculação do conteúdo) e pneumática (borbulhamento no meio reacional líquido, o qual realiza a homogeneização do conteúdo do biodigestor). Por sua vez, o sistema de aquecimento pode ser pelo aquecimento do substrato, aquecimento direto da biomassa ou ainda pela circulação de água aquecida através de serpentinas contidas na parte interna do reator (modelo mais utilizado) (KUNZ et al., 2019).

O reator modelo reator em lote de sequenciamento anaeróbio (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor - ASBR*) utiliza um único tanque para o tratamento e a fermentação. Comparado a diversos sistemas contínuos, o mesmo apresenta melhor controle e maior eficiência no processo, pois realiza as funções de equalização, aeração e sedimentação em uma sequência temporal ao invés de uma sequência espacial (MAO et al., 2015).

O biodigestor com gasômetro de PVC (*Anaerobic Plug-Flow Reactor -APFR*) (Figura 6) compreende uma lagoa anaeróbica horizontal coberta com uma geomembrana de polímero Policloreto de vinila (PVC), sendo suprido, continuamente, com dejetos animais ou após um período de limpeza dos equipamentos. Esses reatores de baixo custo são muito bem adaptáveis para o cenário brasileiro, podendo ser utilizados para digestão de dejetos da suinocultura, como também para matérias-primas contendo sólidos (normalmente baixo de 10%) e alta biodegradabilidade. Eles não necessitam de equipamentos sofisticados e ainda possuem uma operação simples que é facilmente incorporada nas atividades rurais. As principais limitações de APFR implantados no oeste do Estado do Paraná foram a dificuldade de controle da temperatura, o que causa oscilação dos níveis de produção do biogás no inverno, e a impossibilidade de misturar as matérias-primas, o que favorece o assentamento dos sólidos no fundo do reator, reduzindo a capacidade de abastecimento do reator e carecendo de limpezas periódicas (PASQUAL et al., 2018).

Figura 6 – Estrutura básica de um reator APFR



Fonte: (PASQUAL et al., 2018).

O reator modelo reator de contato anaeróbico (*Anaerobic Contact Reactor – ACR*) é mais utilizado para efluentes com altas concentrações de sólidos suspensos. Em alguns casos, ACR mesofílicos de alta proporção têm demonstrado ser uma tecnologia sustentável em grande escala de efluentes industriais, por exemplo, para tratamento dos resíduos efluentes da indústria alimentícia. O reator possui um sistema parecido com seus homólogos anaeróbicos. Dois dos principais componentes são um reator de agitação e um tanque de decantação de sólidos para a reciclagem de microrganismos. Por último, o lodo decantado é reciclado de volta para o reator principal. O tempo de retenção hidráulica e o grau de contato entre o substrato e os microrganismos são dois parâmetros relevantes do sistema, que tem demonstrado uma grande eficiência de decomposição e conversão de matéria orgânica em biogás (MAO et al., 2015).

O reator anaeróbico de fluxo ascendente em estado sólido (*Up-Flow Anaerobic Solid-state Reactor*) é baseado na separação natural que ocorre entre os componentes sólidos e líquidos devido à diferença de densidades. Eles são projetados para ter duas fases e dois estágios, sendo que, cada um dos quatro sistemas, consiste em um fluxo ascendente do estágio sólido no reator e na utilização de filtros anaeróbios para evitar a acumulação de substâncias ácidas (VFA). Resultados promissores foram obtidos na fermentação de palha com o uso desses reatores, demonstrando ser de alta eficiência no processamento, apresentar um alto volume de carregamento, baixo investimento e simples operação e manutenção, apesar de ser um sistema limitado por sua estrutura (MAO et al., 2015).

O reator modelo ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) consiste em uma série de compartimentos os quais são colocados para forçar a passagem de águas residuais através de uma série de lodo. A mais significativa vantagem desse sistema é a habilidade para separar a fase acidogênica da fase metanogênica, longitudinalmente, pelo interior do reator. Nessa tecnologia, diferentes grupos de bactérias podem se desenvolver, assim, nas condições mais favoráveis. Além disso, o ABR tem demonstrado potencial para prover uma alta eficiência em altas razões de carregamento e ser recomendável para condições ambientais extremas e componentes inibitórios (MAO et al., 2015).

O reator modelo de circulação interna (*Internal Circulation Reactor - IC*) consiste em dois reatores UASB, trabalhando, conjuntamente. Conseqüentemente, esse reator pode conter dois conjuntos de três módulos de separação de fases. Devido a essa diferença, um IC pode separar o gás, o líquido e a biomassa simultaneamente, melhorando a retenção de biomassa, que permite maior atividade de biomassa e melhora a qualidade final do efluente. A separação do biogás em dois estágios diferentes e a circulação interna do efluente são os recursos especiais desse reator. O modelo tem sido aplicado, com sucesso, em diferentes indústrias, como a indústria de cervejaria e bebidas, indústria de celulose e papel, indústria de destilaria e fermentação e indústrias química e petroquímica (MAO et al., 2015).

O reator anaeróbio de filtro (*Anaerobic Filter Reactor - AF*) foi desenvolvido, inicialmente, para fornecer um meio de suporte para o contato íntimo entre o influente e a massa bacteriana. No meio, é colocado um biofilme que suporta a biomassa separada do efluente nessa configuração do reator. A condição de fluxo ascendente contém uma alta concentração de biomassa em suspensão, formando um biofilme na estrutura do leito fixo. A condição de fluxo descendente contém uma alta concentração de enxofre inorgânico entre a quantidade de demanda biológica de oxigênio e os componentes inorgânicos baixos. De acordo com alguns estudos, o reator AF pode ser mais adaptável para tratar resíduos líquidos com baixa concentração de sólidos. O alto investimento do reator também é um fator a ser considerado (MAO et al., 2015).

O reator anaeróbio de leito fluidizado (*Anaerobic Fluidized Bed Reactor - AFBR*) apresenta um meio de fixação e crescimento bacteriano composto por pequenas partículas inertes, como areia fina ou alumina, mantidas em suspensão por um rápido fluxo ascendente das águas residuais de entrada. Assim, a configuração permite maior carga orgânica volumétrica (ORL) e maior resistência aos inibidores.

Além disso, o crescimento de um biofilme fino nessas partículas do meio e a boa adesão à biomassa permitem uma boa eficiência de transferência de massa. Esse tipo de reator é mais eficaz para o tratamento de alimentos solúveis ou em suspensão que são facilmente biodegradáveis, como soro de leite, permeado de soro de leite, condensado de licor preto, etc. (MAO et al., 2015).

O modelo manta de lodo granular expandida (*Expanded Granular Sludge Blanket* - EGSB) é definido como uma modificação do reator UASB, sendo, geralmente, usado quando a taxa de produção volumétrica de gás é baixa e a mistura apenas pela velocidade de fluxo ascendente em um reator UASB é insuficiente. Como um derivado do UASB, o EGSB responde às necessidades de pequenas e médias indústrias no tratamento de águas residuais solúveis e complexas de baixa resistência (MAO et al., 2015).

Uma comparação dos reatores revela que o EGSB e o IC são os reatores mais avançados como derivados do UASB e os mais eficientes, especialmente, para águas residuais de média concentração. Em termos das vantagens proeminentes de EGSB e IC, os sistemas mostram maior carga orgânica, maior resistência ao impacto, velocidade de fluxo ascendente e ligação suficiente entre lodo e biomassa. Além disso, todos eles contêm separação trifásica, não são necessárias desgaseificação auxiliar e refluxo. Conseqüentemente, economia de investimento e custos operacionais podem ser alcançados (MAO et al., 2015).

4.5 SETOR PECUÁRIO NO BRASIL E EM SANTA CATARINA

A pecuária pode ser definida como o conjunto de processos técnicos usados na domesticação de animais para obtenção de produtos com objetivos econômicos. Também é conhecida como criação animal. Apesar do significado do nome estar relacionado à cabeça de gado, em estatística, a pecuária tem um sentido mais amplo, que inclui a criação animal desde abelhas a búfalos (IBGE, 2019).

Segundo dados do Instituto brasileiro de geografia e estatística, o Brasil possui um quantitativo de 218,2 milhões de bovinos, 41,1 milhões de suínos, 1,5 bilhão de galináceos, 20,6 milhões de ovinos, 16,5 milhões de codornas, 12,1 milhões de caprinos, 6,0 milhões de equinos e 1,5 milhão de bubalinos (IBGE, 2020).

Conforme a Pesquisa Pecuária Municipal de 2020 o rebanho bovino brasileiro apresentou um crescimento de 1,5% em relação ao ano de 2019 e estabeleceu um

novo recorde de exportação influenciado especialmente pelo crescimento da demanda chinesa. Os estados de Mato Grosso e Goiás continuaram tendo os maiores rebanhos bovinos brasileiros (IBGE, 2020).

O efetivo de galináceos também aumentou em 21,7 milhões de animais de 2019 para 2020 (IBGE, 2020).

Das criações de animais de porte médio, os caprinos e os ovinos, novamente, apresentaram crescimento (4% e 3,3%, respectivamente), resultando em efetivos estimados de 12,1 milhões de caprinos e 20,6 milhões de ovinos em 2020 (IBGE, 2020).

O efetivo suíno também apresentou aumento de 1,4% em relação ao ano anterior. A região sul ainda detém o maior rebanho suíno do País (20,6 milhões de cabeças), sendo responsável por 50,1% do total nacional. O estado de Santa Catarina manteve a liderança com o maior efetivo suíno, ao contabilizar 7,8 milhões de cabeças na data de referência (IBGE, 2020)

O Brasil está em foco quando se fala em perspectivas futuras. Segundo o Relatório Perspectivas Agrícolas 2015/2024 divulgado pela FAO, o país está se preparando para ser o maior fornecedor mundial de alimentos, o que decorre de melhorias contínuas na produção agrícola e produção pecuária mais intensiva (OCDE-FAO, 2015).

O Estado de Santa Catarina produziu, em 2021, 1.302.113 toneladas de carne suína, o que representou 29,1% de toda produção nacional, motivo pelo qual o estado ocupa o primeiro lugar no ranking de produção pecuária suína do país, conforme dados divulgados pelo relatório “Números da agropecuária catarinense”, publicado pela Empresa de pesquisa Agropecuária e extensão rural do Estado de Santa Catarina (EPAGRI, 2021).

Em relação à produção de carne de frango no Estado, em 2020 foram 1.910.577 toneladas, representando 13,9% da produção nacional, sendo o segundo maior produtor de carne de frango no Brasil (EPAGRI, 2021).

A produção de leite em Santa Catarina totalizou 3.040.179 toneladas em 2020, representando 8,7% da produção total do país e levando o Estado a ocupar a quinta posição no ranking nacional de produção de leite (EPAGRI, 2021).

A produção bovina, em 2020, atingiu a quantia de 136.538 toneladas, o que representa 1,8% da produção nacional e coloca o Estado de Santa Catarina na décima terceira posição do ranking de produção pecuária bovina nacional (EPAGRI, 2021).

O oeste catarinense possui 47,0% do rebanho bovino do estado, 79,8% do rebanho aviário e 80,4% do rebanho suíno, sendo a mesorregião que mais concentra a produção pecuária (EPAGRI, 2021).

Em relação às características dos produtores que se encarregam da pecuária no Estado, 67.172 dos 85.617 totais de estabelecimentos agropecuários são de agricultura familiar, sendo que apenas 18.445 estabelecimentos não o são, segundo dados do Censo Agropecuário publicado pelo IBGE através do Sistema SIDRA de Recuperação Automática (IBGE, 2017).

Quanto ao modelo organizacional, existe forte participação da agricultura familiar integrada com empresas cooperativas agroindustriais, que, através de contratos de integração, se tornaram a principal forma de governança na região (MIELE; WAQUIL, 2007).

4.6 IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS DO SETOR PECUÁRIO

A atividade pecuária gera impactos sobre o ambiente de ordem física, química e biológica, cuja extensão depende da escala de produção. A pecuária tem um substancial impacto em recursos como água, terra e biodiversidade e contribui, significativamente, para mudança climática. O setor ocupa cerca de 30% da superfície terrestre não coberta por gelo do planeta, de forma direta ou indireta, através de pastagens e produção de rações (PARKS, 2007).

Em várias situações, a pecuária é a maior fonte de poluição terrestre, emitindo nutrientes e matéria orgânica, patógenos e resíduos de remédios nos rios, lagos e mares. Animais e seus dejetos emitem gases, alguns dos quais contribuem para a mudança climática, assim como a mudança do uso do solo causado pela demanda por grãos de ração e pastagens. A pecuária transformou paisagens inteiras e sua demanda por terra para produção de pastagens e rações modificam e reduzem os habitats naturais de outras espécies (PARKS, 2007).

O crescimento populacional e a necessidade de gerar alimentos em grande quantidade impulsionam a pecuária intensiva com a especialização da produção e diminuição dos espaços como forma de aumentar a produtividade. No entanto, tal estratégia também traz consequências no aumento dos problemas ambientais decorrentes da grande concentração de resíduos (GLEBER; PALHARES, 2007).

Desde o princípio do desenvolvimento da atividade na sociedade, os dejetos da produção pecuária, compostos pelos excrementos animais (fezes e urina), palhas e camas, foram utilizadas para a fertilização dos solos. No entanto, conforme crescem expressivamente as produções animais a partir de técnicas de confinamento para atender à cada vez maior demanda mundial por alimentos, têm-se uma produção de dejetos maior do que a utilizável para fertilização, o que gera preocupações ambientais sobre sua disposição (HE; PAGLIARI; WALDRIP, 2016).

Tal crescimento é alcançado com técnicas de produção intensiva que utilizam uma alta densidade animal e das unidades de produção, uso de rações concentradas, produtos farmacêuticos e vacinas (RAMANKUTTY et al., 2018).

A produção de gado em escala industrial é uma realidade em diversas regiões, ocorrendo em instalações conhecidas como operações de alimentação animal concentradas ou confinadas (CAFOs) (MALLIN et al., 2015).

O esterco animal contém uma quantia considerável de nutrientes (nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K)), resíduos de remédios, metais pesados e patógenos e sua utilização é uma prática geral para enriquecer o solo com nutrientes e/ou para a ciclagem sustentável (PARKS, 2007); (SUKUL et al., 2009)

Porém, essa prática acaba apresentando riscos como a contaminação do solo através da entrada de outros compostos perigosos ou pela sobrecarga de nutrientes (TULLO; FINZI; GUARINO, 2019).

A Tabela 2 apresenta a composição química média dos dejetos animais.

Tabela 2 – Produção de dejetos por animal e suas características.

Parâmetro	Unidade		Gado de leite	Suíno	Frango de corte	Poedeiras
Dejeto total	kg	Média	86	84	85	64
		D.P.	17	24	13	19
Sólido total	kg	Média	12	11	22	16
		D.P.	2,7	6,3	1,4	4,3
Sólidos voláteis	kg	Média	10	8,5	12	12
		D.P.	0,79	0,66	0,84	0,84
DBO	kg	Média	1,6	3,1	**	3,3
		D.P.	0,48	0,72	**	0,91
DQO	kg	Média	11	8,4	16	11
		D.P.	2,4	3,7	1,8	2,7
pH	kg	Média	7	7,5	**	6,9
		D.P.	0,45	0,57	**	0,56
N-NTK	kg	Média	0,45	0,52	1,1	0,84
		D.P.	0,096	0,21	0,24	0,22
N-NH3	kg	Média	0,079	0,29	**	0,21
		D.P.	0,083	0,10	**	0,18
P – total	kg	Média	0,094	0,18	0,30	0,30
		D.P.	0,024	0,10	0,053	0,081
Zinco	G	Média	1,8	5,0	3,6	19
		D.P.	0,65	2,5	**	33
Cobre	g	Média	0,45	1,2	0,98	0,83
		D.P.	0,14	0,84	**	0,84
Cloriformes totais	Colônias ²	Média	1.100	45	**	110
		D.P.	2.800	33	**	100
Cloriformes termotolerantes	Colônias ²	Média	16	18	**	7,5
		D.P.	28	12	**	2,0

¹ Todos os valores em peso húmido;

² Colônias de bactérias por 1.000kg de massa animal multiplicada por 1010.

D.P. = Desvio padrão

Fonte: Adaptado de (GLEBER; PALHARES, 2007).

Em termos mundiais, o setor pecuário é o maior uso antropogênico da terra. A área total ocupada por pastagens representa 26% da superfície livre de gelo do planeta. Além disso, a área total dedicada à produção de rações soma cerca de 33% do total da terra arável. No todo, a produção pecuária demanda cerca de 70% de toda terra agriculturável e 30% da terra do planeta (PARKS, 2007).

No Brasil, segundo dados da Embrapa (2020), cerca de 30% da terra é utilizada com destinações agropecuárias.

Em algumas regiões do país a pecuária é a principal atividade responsável pelo desmatamento de florestas para criação de animais e pastagens, o que resulta em uma perda significativa de biodiversidade (NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015).

A monocultura das pastagens, o soterramento do solo e os dejetos lançados pelos animais geram um empobrecimento do solo que pode resultar em processos mais acentuados de degradação (MARIA et al., 2020).

Além das questões relacionadas ao uso do solo, a pecuária também apresenta impactos ambientais pela utilização dos dejetos como fertilizantes. A sobrecarga de nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e amônia provenientes dos dejetos da pecuária podem causar eutrofização e deterioração ambiental (TULLO; FINZI; GUARINO, 2019).

Além disso, a carga de antibióticos contida nos dejetos animais utilizados para a fertilização dos solos pode causar a contaminação por fármacos que são absorvidos pelo solo e entram na cadeia alimentar por meio da absorção das plantas ou pelo escoamento para águas superficiais ou percolando para o lençol freático (TULLO; FINZI; GUARINO, 2019).

O Quadro 3 apresenta os principais impactos dos dejetos no solo descritos em trabalhos da literatura.

Quadro 3 – Principais impactos dos dejetos no solo

IMPACTOS	REFERÊNCIA
Sobrecarga de nutrientes como nitrogênio e escoamento superficial do fósforo	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
A amônia pode causar chuva ácida que tem implicações sobre o solo e a água	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Mudanças no uso do solo para pastagens e criação de animais	BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012
Desmatamento para criação de pastagens	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015; MARIA et al., 2020
Exposição do solo à erosão	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
As queimadas levam o solo à exaustão de nutrientes	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Acidificação	MCCLELLAND et al., 2018; NGUYEN; HERMANSEN; MOGENSEN, 2012
Radiação ionizante	MCCLELLAND <i>et al.</i> , 2018
Excesso de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo	TULLO; FINZI; GUARINO, 2019
Eliminação de metais pesados como cobre e zinco, que tendem a se acumular no solo e podem afetar a cadeia alimentar, com efeitos negativos ao meio ambiente e à saúde humana	TULLO; FINZI; GUARINO, 2019
Ecotoxicidade terrestre	NGUYEN; HERMANSEN; MOGENSEN, 2012
Eutrofização terrestre	NGUYEN; HERMANSEN; MOGENSEN, 2012

O setor também tem relevância nas emissões atmosféricas que são agentes centrais na mudança climática, responsável por 18% das emissões de gases de efeito estufa mensuradas. Esse é um percentual superior ao do setor de transportes. O setor pecuário responde por 9% das emissões antropogênicas de CO₂. A maior parte dessas emissões derivam da mudança do uso da terra, especialmente, do desmatamento causado pela expansão das pastagens e terra arável para rações (PARKS, 2007).

A pecuária é a maior responsável pela emissão de gases de efeito estufa com o maior potencial de aquecimento da atmosfera. O setor emite 37% do gás metano de origem antropogênica (com potencial global de aquecimento da atmosfera 34 vezes maior que o CO₂), sendo a maior parte proveniente da fermentação entérica dos ruminantes. Também é responsável pela emissão de 65% do óxido nítrico de origem antropogênica (com cerca de 296 vezes o potencial de aquecimento global que o CO₂) a maior parte a partir do esterco (PARKS, 2007) (IPCC, 2014).

A pecuária também é responsável por cerca de dois terços (64%) das emissões de amônia (NH_3) de origem antropogênica, a qual contribui significativamente para a chuva ácida e acidificação dos ecossistemas (PARKS, 2007). As emissões de amônia têm forte impacto na saúde humana e no meio ambiente, pois é um gás causador dos processos de eutrofização, acidificação e na geração de material particulado. As altas concentrações de amônia nos edifícios de criação são perigosas para a saúde animal, podendo resultar em redução do consumo de alimentos e crescimento (ERISMAN et al., 2008); PARKS, 2007; (SEEDORF; HARTUNG, 1999)).

O Quadro 4 apresenta os principais impactos atmosféricos dos dejetos da pecuária descritos na literatura.

Quadro 4 – Principais impactos dos dejetos na atmosfera

IMPACTOS	REFERÊNCIA
Emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano, nitrogênio e óxido nítrico que se dissipam dos dejetos e são causadores do aquecimento global	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016; BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012; JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011; MARIA et al., 2020; MCCLELLAND et al., 2018; TULLO; FINZI; GUARINO, 2019; NGUYEN; HERMANSEN; MOGENSEN, 2012.
Emissão de amônia, que causa a chuva ácida e gera efeitos no solo e na água, além de acarretar problemas à saúde humana	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Diminuição da capacidade ecológica de absorção de carbono decorrente do desmatamento	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Liberação de carbono pelo corte de árvores	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Destrução do ozônio	MCCLELLAND et al., 2018; TULLO; FINZI; GUARINO, 2019
Emissão de material particulado (queimadas)	MCCLELLAND et al., 2018
Formação fotoquímica do ozônio	MCCLELLAND et al., 2018 NGUYEN; HERMANSEN; MOGENSEN, 2012

Outro fator ambiental importante afetado pelo setor pecuário é o meio abiótico hídrico, cuja qualidade é de fundamental importância para manutenção da vida. O mundo está caminhando para um aumento dos problemas de disponibilidade, escassez e esgotamento de água potável, com perspectiva de que 64% da população mundial viverá em bacias com estresse hídrico em 2025 (PARKS, 2007).

O setor pecuário é um agente chave no crescimento da utilização da água, demandando cerca de 8% do uso humano global de água, cujo valor é superior ao da irrigação de culturas alimentares. Provavelmente, é o principal setor gerador de poluição hídrica, contribuindo para a eutrofização, formação de “zonas mortas” nas zonas costeiras, degradação de recifes de corais, problemas de saúde humana, emergência de resistência aos antibióticos e muitos outros (PARKS, 2007).

As maiores fontes de poluição são os dejetos animais, antibióticos e hormônios, químicos para curtumes, fertilizantes e pesticidas utilizados para culturas alimentares e sedimentos da erosão de terras de pastagens (PARKS, 2007).

Nos Estados Unidos, com a quarta maior área de terra no mundo, a pecuária é estimada como responsável por 55% da erosão e sedimentos, 37% do uso de pesticidas, 50% do uso de antibióticos e um terço das cargas de nitrogênio e fósforo lançados nos recursos hídricos (PARKS, 2007).

A pecuária também afeta o reabastecimento de água potável compactando o solo, reduzindo a infiltração, degradando os bancos de cursos de água, secando várzeas e reduzindo lençóis freáticos. A contribuição da pecuária para o desmatamento também aumenta o escoamento e reduz os fluxos da estação da seca (PARKS, 2007).

A contaminação por meio de patógenos é uma forma de poluição orgânica que ocorre através dos despejos de dejetos fecais na água e no solo. A contaminação fecal em água pode introduzir variedades de espécies patogênicas no meio aquático, incluindo bactérias, vírus, protozoários e vermes parasitos (GLEBER; PALHARES, 2007).

A alta densidade de animais criados em áreas relativamente pequenas resulta na disposição de grandes quantidades de nitrogênio excretor, fósforo, matéria orgânica e micróbios fecais nas bacias hidrográficas onde as culturas estão localizadas, acarretando sérios problemas de poluição hídrica (TULLO; FINZI; GUARINO, 2019).

O Quadro 5 apresenta os principais impactos dos dejetos sobre os mananciais hídricos descritos na literatura.

Quadro 5 – Principais impactos dos dejetos nos mananciais hídricos

IMPACTOS	REFERÊNCIA
Elevado consumo de água	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Geração de dejetos que são poluentes (nitrogênio, fósforo, metais pesados como zinco e cobre, além de microorganismos fecais patógenos)	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Eutrofização dos corpos d'água	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016; JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011; NGUYEN; HERMANSEN; MOGENSEN, 2012
Alteração da biodiversidade aquática	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Presença de organismos prejudiciais ao ser humano (acarretando problemas como verminoses, alergias e hepatite) e aos animais (gerando a morte de peixes e aumentando a toxicidade de plantas)	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Dificuldade de ciclagem de água decorrente do desmatamento	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Alteração do dossel e a remoção da cobertura antes florestal por uma predominantemente herbácea podem causar alteração no balanço hídrico, principalmente no que se refere à evapotranspiração	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Esgotamento de recursos	MCCLELLAND <i>et al.</i> , 2018
Os efluentes da pecuária apresentam, em geral, alto teor de matéria orgânica, sólidos em suspensão, nutrientes, metais e compostos farmacêuticos. Como consequência da aplicação desequilibrada de estrume animal no solo, nutrientes e antibióticos podem infiltrar as águas subterrâneas e superficiais, tendo um efeito devastador na qualidade da água, favorecendo o crescimento de algas, acelerando a eutrofização e promovendo a propagação de bactérias resistentes à antibióticos	TULLO; FINZI; GUARINO, 2019

O meio biótico também é impactado pelas atividades humanas. Por séculos, humanos vêm sendo beneficiados pela exploração da biodiversidade, ao mesmo tempo em que estão contribuindo para a sua redução, convertendo os ecossistemas naturais para seus usos (PARKS, 2007).

A agricultura, a pecuária, a pesca e a silvicultura têm exercido significativa pressão na biodiversidade enquanto fornecem a estrutura básica para o desenvolvimento e crescimento econômico. A biodiversidade mundial está diante de uma crise sem precedentes, desde o fim da última era glacial (PARKS, 2007).

Estima-se que a perda de espécies tenha aumentado de 50 para 500 vezes maior que os níveis registrados na era fóssil. Quinze dos vinte e quatro importantes serviços ecossistêmicos estão em declínio. A pecuária é responsável por cerca de vinte por cento da biomassa animal total terrestre, e trinta por cento da utilização da superfície da terra que, anteriormente à ocupação, era habitada pela vida selvagem. De fato, o setor pecuário pode muito bem ser considerado um líder entre os responsáveis pela redução da biodiversidade, já que é o maior agente de desmatamento, assim como um dos agentes líderes da degradação do solo, poluição, mudança climática, sedimentação de áreas costeiras e facilitador de invasões por espécies alienígenas. Além disso, a proximidade das pastagens com áreas de vida selvagem favorece conflitos entre animais predadores e seres humanos (PARKS, 2007).

A área de terra usada para pastagem de forma extensiva nos neotrópicos tem crescido continuamente com o passar das décadas e muito disso tem ocorrido às custas das florestas. O desflorestamento induzido pela pecuária é uma das maiores causas de perdas de plantas únicas e animais de espécies raras nas florestas tropicais da América Central e América do Sul, assim como de liberação de carbono na atmosfera. Projeta-se que a produção pecuária será a maior utilizadora de terras nos neotrópicos, substituindo as florestas após o desmatamento (PARKS, 2007).

O Quadro 6 apresenta os principais impactos dos dejetos sobre o meio biótico descritos na literatura.

Quadro 6 – Principais impactos dos dejetos na biota

IMPACTOS	REFERÊNCIA
Risco de contaminação por poluentes	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Perda de biodiversidade	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Invasão de espécies exóticas	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Conflitos com espécies locais	NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015
Diminuição da biodiversidade	MCCLELLAND <i>et al.</i> , 2018
Ecotoxicidade	MCCLELLAND <i>et al.</i> , 2018
Esgotamento de recursos	MCCLELLAND <i>et al.</i> , 2018
Ocupação da natureza	NGUYEN; HERMANSEN; MOGENSEN, 2012
Com o empobrecimento do solo, a flora é impactada	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016

A saúde e o bem-estar humanos, igualmente, são afetados pelas atividades poluidoras, sendo que um meio ambiente desequilibrado proporciona condições para a existência de diversos vetores de risco. Animais excretam diversos organismos

patológicos para a saúde humana que podem ser transmitidos através de alimentos contaminados, especialmente os que foram irrigados com água contaminada. Vários contaminantes biológicos podem sobreviver por dias e, eventualmente, por semanas nos adubos aplicados na terra e podem mais tarde contaminar os recursos hídricos via infiltração. As bactérias mais importantes para a saúde humana e animal são a *Campylobacter* spp., *Escherichia coli* O157: H7 e *Salmonella* spp., as quais estão envolvidas em patologias como infecção gastrointestinal humana, diarreia, colite, síndrome hemolítico urêmica além de outras complicações e até a morte (PARKS, 2007).

Diversas doenças virais também podem estar associadas ao consumo de água ou alimentos contaminados pelos dejetos da pecuária, tais como infecções por picornavírus (febre aftosa, doença de Teschen/Talfan, encefalomielite aviária, doença vesicular suína, encefalomiocardite); infecções por parvovírus; infecções por adenovírus; vírus da peste bovina ou peste suína (PARKS, 2007).

Doenças parasitárias são transmitidas tanto pela ingestão de parasitas em estágios transmissíveis (esporos, cistos, oocistos, ova larvas e estágios encistados) como também pelo uso de água contaminada no preparo ou processamento dos alimentos ou via contato direto com parasitas. O gado é fonte de parasitas para humanos e diversas espécies selvagens. Entre os parasitas mais perigosos, os mais importantes para a saúde pública são a *Giardia* spp., *Cryptosporidia* spp., *Microsporidia* spp. e *Fasciola* spp. (PARKS, 2007).

Outro grave problema associado diz respeito à resistência a antibióticos por conta do consumo de alimentos fertilizados com efluentes da pecuária com resquícios de remédios (TULLO; FINZI; GUARINO, 2019).

Nas Seções subsequentes são apresentados os principais impactos ambientais negativos provocados pelas atividades específicas da pecuária, as quais compreendem a bovinocultura, a suinocultura e a avicultura.

4.6.1 Impactos ambientais negativos da bovinocultura

A bovinocultura brasileira caracteriza-se por ocorrer, em preponderância, de forma extensiva, utilizando-se de grandes porções de terra e os animais à céu aberto (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

No que diz respeito especificamente à bovinocultura, um dos principais impactos relatados pela literatura é a grande quantidade de dejetos gerados. A produção de esterco, fezes e urina, gerada diariamente pelos bovinos de leite, corresponde a, aproximadamente, 10% de seu peso corporal, representando uma quantidade de 45 a 48 kg/vaca/dia. Já bovinos de corte confinados produzem em torno de 30 a 35 kg/cabeça/dia (SOUZA; TONIN; CARVALHO, 2016).

Conforme Berchielli, Messana e Canesin (2012), em 2005, as categorias de gado bovino contribuíram com 96,9% das emissões de metano por fermentação entérica e 91,1% das emissões totais de metano da pecuária.

Diferentemente do que ocorre na digestão dos animais não ruminantes, a fermentação do alimento ingerido, no rúmen, é um processo anaeróbio efetuado pela população microbiana ruminal, no qual os carboidratos celulósicos são convertidos em ácidos graxos de cadeia curta, que são utilizados pelo animal como fonte de energia. Bactérias metanogênicas, presentes no rúmen, obtêm energia para seu crescimento ao utilizar H_2 para reduzir CO_2 e formar metano, o qual é eructado ou exalado para a atmosfera (COTTLE; NOLAN; WIEDEMANN, 2011)

Vale ressaltar, no entanto, que a grande geração de dejetos pelos ruminantes, mesmo em criações à céu aberto, pode acarretar também outros problemas, como a sobrecarga de nutrientes no solo. Além disso, quando considerada a proporção de dejetos gerados por quantidade de alimento obtida, os ruminantes foram os que apresentaram as maiores produções de dejetos (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

Importante salientar que a pecuária bovina é a maior responsável pelo desmatamento para criação de animais e pastagens e cultivo de rações em algumas regiões do país, o que afeta diretamente a capacidade de absorção desses gases pelas florestas (NASCIMENTO; SILVA; FERREIRA, 2015),

Em síntese, a produção de gado é um dos principais contribuintes para emissão de gases de efeito estufa (GEE), consumo de água e poluição, uso da terra, mudanças no uso da terra e perda de biodiversidade (MCCLELLAND et al., 2018).

4.6.2 Impactos ambientais negativos da suinocultura

A suinocultura possui um importante papel no país, especialmente nas regiões sul, sendo que a expansão dessa atividade em larga escala de produção intensiva

trouxe uma série de desafios para os agentes envolvidos lidarem com os impactos decorrentes.

Uma das principais preocupações atreladas à atividade é o grande volume de efluentes (sólidos, líquidos e gasosos) gerados. Estudos demonstram estimativas da geração de dejetos nas diferentes fases da produção, que pode chegar a 18kg por dia nos períodos de lactação (ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016).

Dentre os resíduos orgânicos animais com potencial poluidor e de uso como fertilizantes, o esterco suíno ganha destaque, seja pelo volume de produção, seja pelo teor contaminante de nutrientes presentes nos dejetos gerados. A aplicação de grandes quantidades de dejetos suínos ao solo, de maneira continuada, considerada por muitos a maneira mais prática e econômica de retirá-los das esterqueiras, pode ocasionar acúmulo de elementos químicos contaminantes e de agentes biológicos, causando problemas de ordem ambiental e de saúde pública (GLEBER; PALHARES, 2007).

Tais dejetos causam forte degradação do ar, do solo e dos recursos hídricos (águas superficiais e subterrâneas), devido ao seu lançamento direto em cursos d'água ou no solo, que acabam lançando gases e infiltrando ou lixiviando em direção aos recursos hídricos (GELINSKI NETO; GELINSKI JUNIOR; GUESSER, 2019).

A poluição do ar é causada pela emissão de gases de efeito estufa como amônia (NH_3), metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Estes gases também geram maus odores, quando retidos na armazenagem ou tratamento ou aplicados no solo como fertilizantes. Já a eutrofização das águas superficiais e presença de nitratos nas águas subterrâneas são causadas pela presença de nitrogênio (N), o fósforo (P) e material orgânico nos dejetos. O uso incorreto de dejetos no solo leva ao acúmulo de nutrientes (P e N) e de metais pesados como o cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), além da contaminação por patógenos. Estes elementos têm impacto negativo na lavoura, causando toxicidade nas plantas com desdobramento para saúde humana e animal (ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016).

A literatura relata uma série de impactos ambientais negativos associados especificamente à suinocultura, conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Principais impactos ambientais da suinocultura

IMPACTOS	REFERÊNCIA
Consumo de água.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Geração de dejetos que são poluentes (nitrogênio, fósforo, metais pesados como zinco e cobre, além de microorganismos fecais patogênicos).	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Eutrofização dos corpos d'água; alteração da biodiversidade aquática; presença de organismos prejudiciais ao ser humano (acarretando problemas como verminoses, alergias e hepatite) e aos animais (gerando a morte de peixes e aumentando a toxicidade de plantas); A amônia pode causar chuva ácida que tem implicações sobre o solo e a água.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Emissão de gases voláteis, como o carbamato de amônia, que tem a capacidade de se dissociar nos gases de amônia e dióxido de carbono.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
O dióxido de carbono, metano, nitrogênio e óxido nitroso que dissipam dos dejetos são causadores do efeito estufa; A amônia causa a chuva ácida que gera efeitos no solo e na água, além de acarretar problemas à saúde humana.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Emissão de gases voláteis, como o carbamato de amônia, que tem a capacidade de se dissociar nos gases de amônia e dióxido de carbono.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
O dióxido de carbono, metano, nitrogênio e óxido nitroso que dissipam dos dejetos são causadores do efeito estufa; A amônia causa a chuva ácida que gera efeitos no solo e na água, além de acarretar problemas à saúde humana.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
Desenvolvimento de organismos fecais patogênicos que podem causar doenças como leptospirose, tularemia, febre aftosa e peste suína clássica.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016
A amônia dissipada no ar pelos dejetos pode causar irritação ocular, nasal e na pele, além de gerar distúrbios na condução neural do cérebro.	ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016

O estado de Santa Catarina apresenta sinais claros da gravidade dos problemas ambientais relacionados à criação intensiva de suínos. Um indicador importante é o alto índice de contaminação das águas superficiais. Importante ressaltar que nessa região localizam-se importantes bacias hidrográficas, como a do Rio Uruguai, que se estende por mais de 1500 km passando pelo Brasil, Argentina e

Uruguai, além da interligação dos rios e lençóis subterrâneos, como o aquífero Guarani com 1,2 milhões de km. Além dos plantios que removem a mata ciliar e contaminam os recursos hídricos, o lançamento concentrado de dejetos de suínos tem efeitos na qualidade da água (SILVA; BASSI, 2012).

A contaminação por meio de patógenos é uma forma de poluição orgânica, que ocorre nas contaminações fecais da água e do solo. A contaminação fecal em água pode introduzir variedades de espécies patogênicas no meio aquático, incluindo bactérias, vírus, protozoários e vermes parasitos (GLEBER; PALHARES, 2007).

O sistema de gerenciamento de dejetos mais comum em uso no Brasil e no Estado de Santa Catarina são as lagoas ou esterqueiras. O dejetos é armazenado e estabilizado e, em seguida, removido e espalhado como fertilizante. O sistema é caracterizado por baixos custos de implantação e fácil manejo, mas necessita de área física significativa para distribuir os dejetos (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Essa problemática já do conhecimento dos órgãos Ambientais, sendo que, para a obtenção da licença ambiental para realização da atividade da suinocultura no Estado de Santa Catarina é necessária a adoção de alguma medida de tratamento dos dejetos, conforme disposto na Instrução Normativa nº 11 (IMA, 2014):

O suinocultor que utilize o sistema de armazenagem dos dejetos e não possua área agrícola útil para a aplicação dos dejetos como fertilizante orgânico compatível com sua produção deverá reduzir o tamanho de seu plantel de acordo com a área disponível, ou adotar as seguintes medidas:

- a) firmar contratos com propriedades vizinhas para cessão de área para aplicação dos dejetos como fertilizantes;
- b) implantar sistema capaz de transformar os dejetos líquidos em composto orgânico estabilizado, ou, ainda, optar pela instalação de unidades de tratamento de dejetos capazes de reduzir a carga poluente e que possibilitem exportar o excesso de nutrientes da propriedade.

Interessante também mencionar o Sistema de Gestão Ambiental da Suinocultura (SGAS), ferramenta tecnológica desenvolvida pela Embrapa Suínos e Aves que possibilita a realização de cálculos sobre a composição de nutrientes em efluentes da suinocultura, consumo hídrico, dimensionamento dos sistemas de tratamento de efluentes, recomendações de adubação para utilização dos efluentes como fertilizantes, bem como a determinação da capacidade de alojamento de animais e demanda de áreas agrícolas para disposição dos dejetos (EMBRAPA, 2018).

4.6.3 Impactos ambientais negativos da avicultura

A avicultura de corte também pode impactar o ar, solo e água de diversas maneiras. Dentre estes impactos se destacam: gastos excessivos com água; aplicação de resíduos sólidos no solo com potenciais de poluição e contaminação das águas superficiais e subterrâneas; excesso de minerais no solo (como o nitrogênio e o fósforo) que alteram a microbiota e a produtividade das culturas; e a emissão de poeiras, odores, amônia e gases de efeito estufa (GEE) (KUNZ et al., 2011).

A literatura relata os principais impactos ambientais que podem estar associados à avicultura de corte, os quais estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Principais impactos ambientais da avicultura de corte

IMPACTOS	REFERÊNCIA
Consumo abusivo de água	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Poluição e contaminação por elementos e micro-organismos	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Alterações da biodiversidade planctônica e piscícola das águas superficiais	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Poluição e contaminação por elementos e micro-organismos do solo	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Alterações da biodiversidade do solo	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Alterações da estrutura física do solo	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Emissão de odores, gases (dióxido e monóxido de carbono, metano, gás sulfídrico, amônia, entre outros e partículas de poeira	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Condições adversas para a biota devido à poluição e contaminação por resíduos animais	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Depreciação qualitativa e quantitativa dos recursos naturais	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Oferta de proteína animal de baixa qualidade devido à contaminação por substâncias, microorganismos e resíduos inerentes à criação	KUNZ <i>et al.</i> , 2011
Aparência dos recursos naturais	KUNZ <i>et al.</i> , 2011

4.7 SETOR ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL

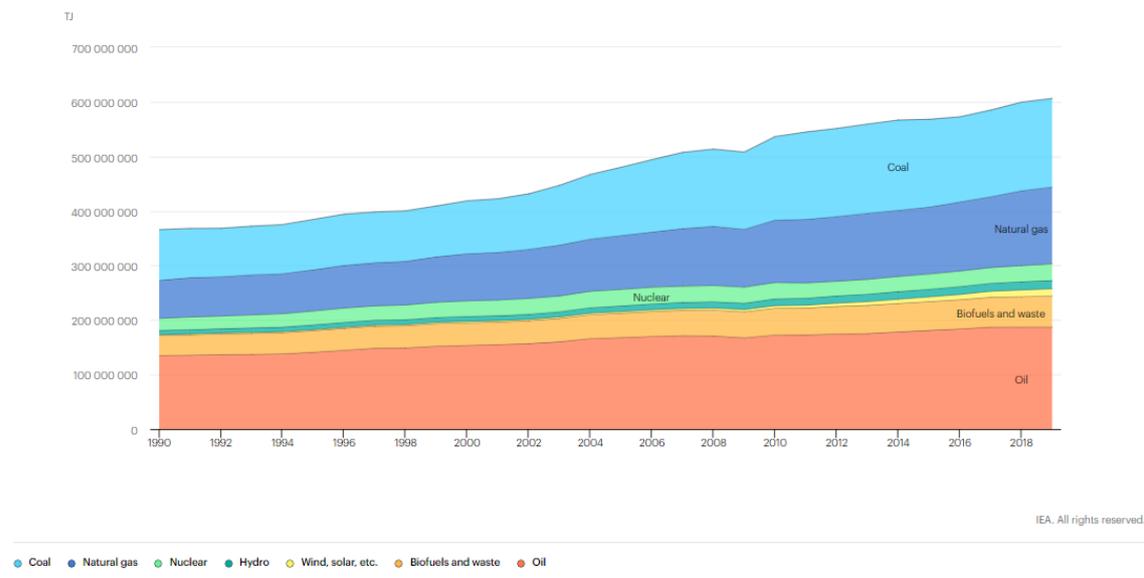
Uma série de objetivos e metas relacionados ao setor de energia foram e são objeto de negociações nas Conferências das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, sendo a transição da matriz energética um tema central para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Tal intenção pode ser representada pelo

objetivo 7 – energia limpa e acessível – da Agenda 2030 da ONU (AGENDA 2030, 2015)

Na COP26 (sigla), por exemplo, realizada em novembro de 2021, o “dia da energia” teve como uma das principais sessões temáticas a nova “Declaração de Transição do Carvão Global para Energia Limpa” que foi firmada por 77 signatários, 23 dos quais estão se comprometendo com a diminuição da utilização do carvão para fins energéticos pela primeira vez (ONU, 2021).

Nas últimas décadas houve um aumento na produção de energia advinda de fontes renováveis em todo mundo, conforme se observa da Figura 7, com destaque para as fontes eólica, solar e biocombustíveis.

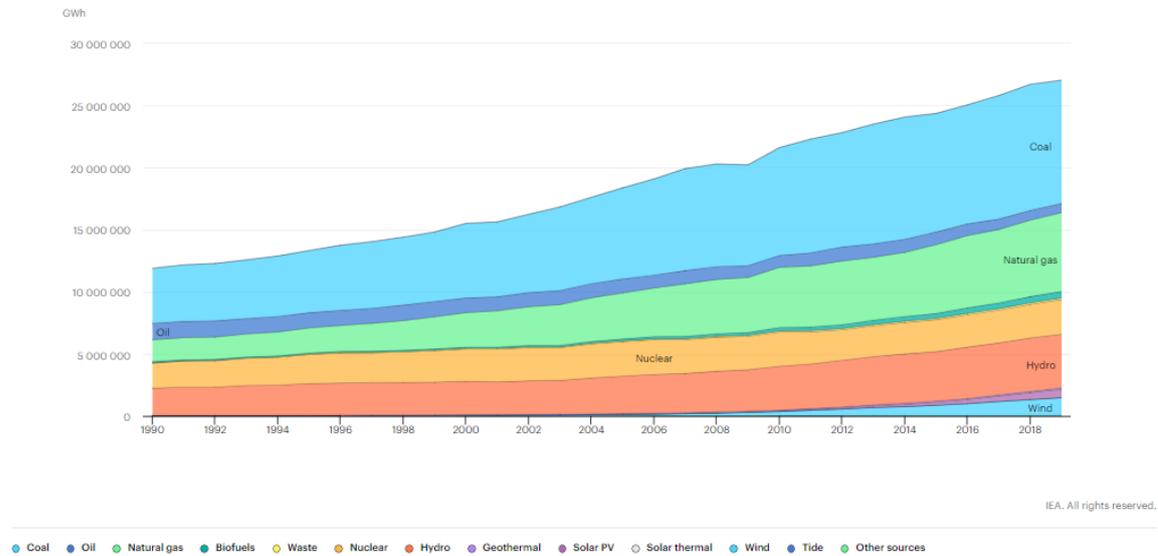
Figura 7 – Suprimento total mundial de energia por fonte 1990-2019



Fonte: (IEA, 2022a)

Esse crescimento também pode ser observado na matriz elétrica. Conforme se observa na Figura 8 (IEA, 2022b), a participação das energias renováveis cresceu na matriz elétrica mundial de 1990 a 2019, sendo que houve crescimento das fontes solar, eólica e biomassa e resíduos sólidos.

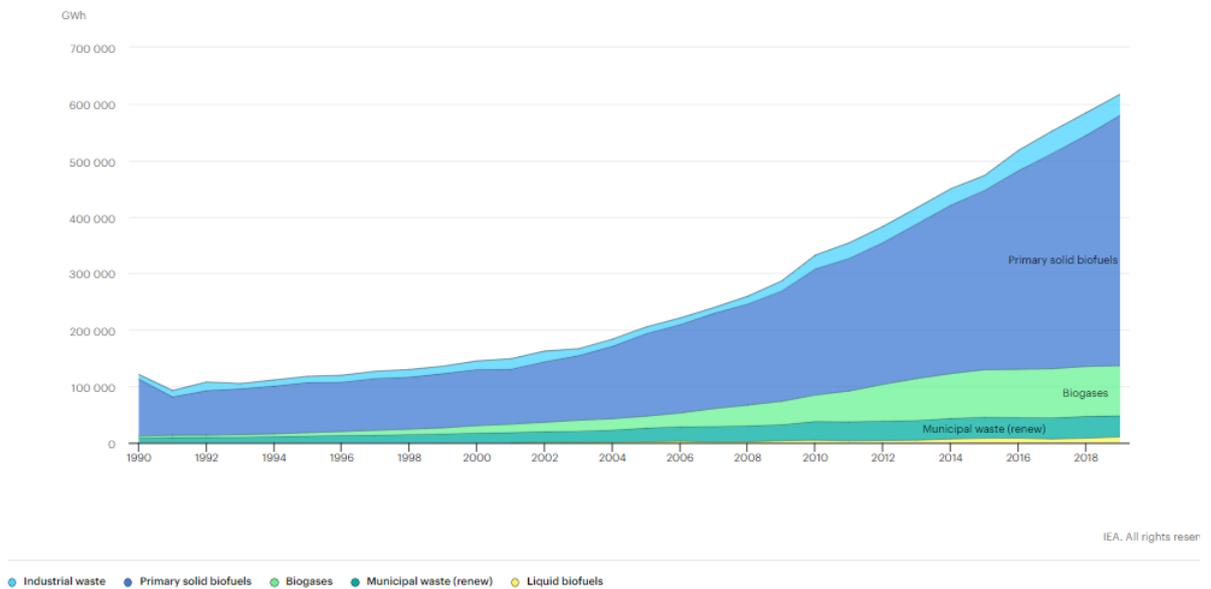
Figura 8 – Geração de energia elétrica mundial por fonte 1990 - 2019.



Fonte: (IEA, 2022b)

O crescimento mundial, no que diz respeito ao biogás, pode ser acompanhado pela Figura 9, onde se verifica que de 1990 a 2019 houve considerável expansão no setor.

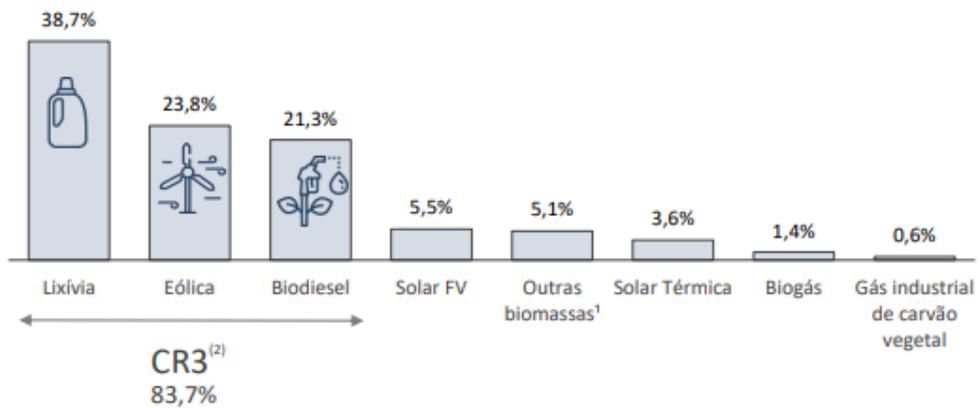
Figura 9 – Geração mundial de eletricidade por diferentes biomassas.



Fonte: (IEA, 2022c)

A matriz energética brasileira também acompanhou essa tendência. Conforme o relatório síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) ano base 2021, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (Figura 10), a matriz energética brasileira mostra uma participação de 8,7% de outras energias renováveis, incluindo nesse percentual a energia solar, eólica e o biogás, dentre outras. Dentro do universo das outras energias renováveis, o biogás é responsável por 1,4%, tendo crescido 20,9% de 2020 a 2021 (EPE, 2022)

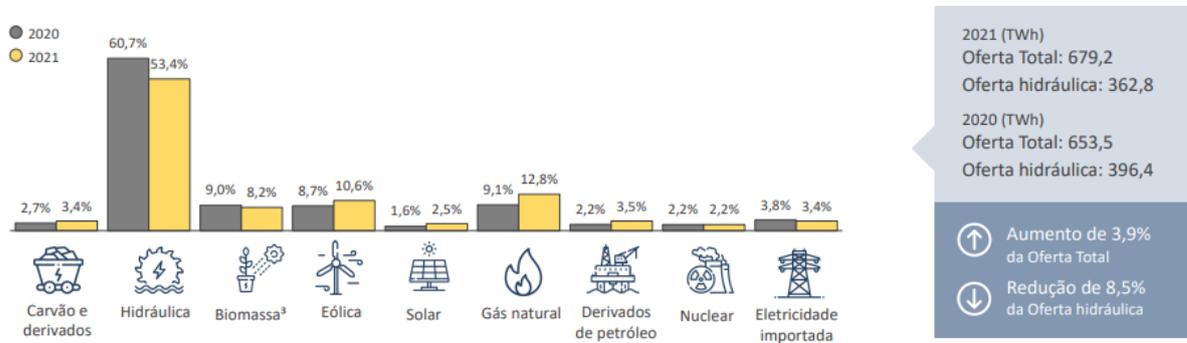
Figura 10 – Repartição de outras renováveis na matriz energética brasileira.



Fonte: (EPE, 2022)

A matriz elétrica brasileira (Figura 11) difere bastante da matriz energética, tendo uma considerável predominância de geração elétrica a partir de fontes renováveis, com destaque à geração a partir de hidroelétricas (EPE, 2022).

Figura 11 – Matriz elétrica brasileira no Balanço Energético Nacional.

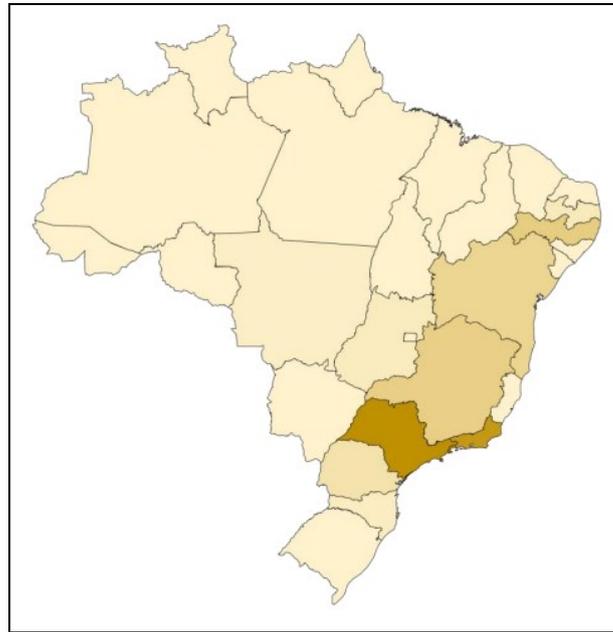


Fonte: (EPE, 2022)

Cabe ressaltar que a matriz elétrica brasileira apresentou mudanças em relação ao ano de 2020 por conta da escassez hídrica ocorrida no período, o que se denota da figura 11.

A utilização do biogás para geração de energia elétrica também vem crescendo no país. A Figura 12 apresenta a capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir do biogás segundo dados publicados no Balanço Energético Nacional pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022).

Figura 12 – Capacidade instalada de eletricidade a partir de biogás.



Fonte: (EPE, 2022)

A Tabela 3 mostra a localização das unidades geradoras de biogás para geração de energia elétrica instaladas no país e sua potência, bem como o substrato utilizado na produção do biogás.

Tabela 3 – Unidades geradoras de energia elétrica a partir de biogás.

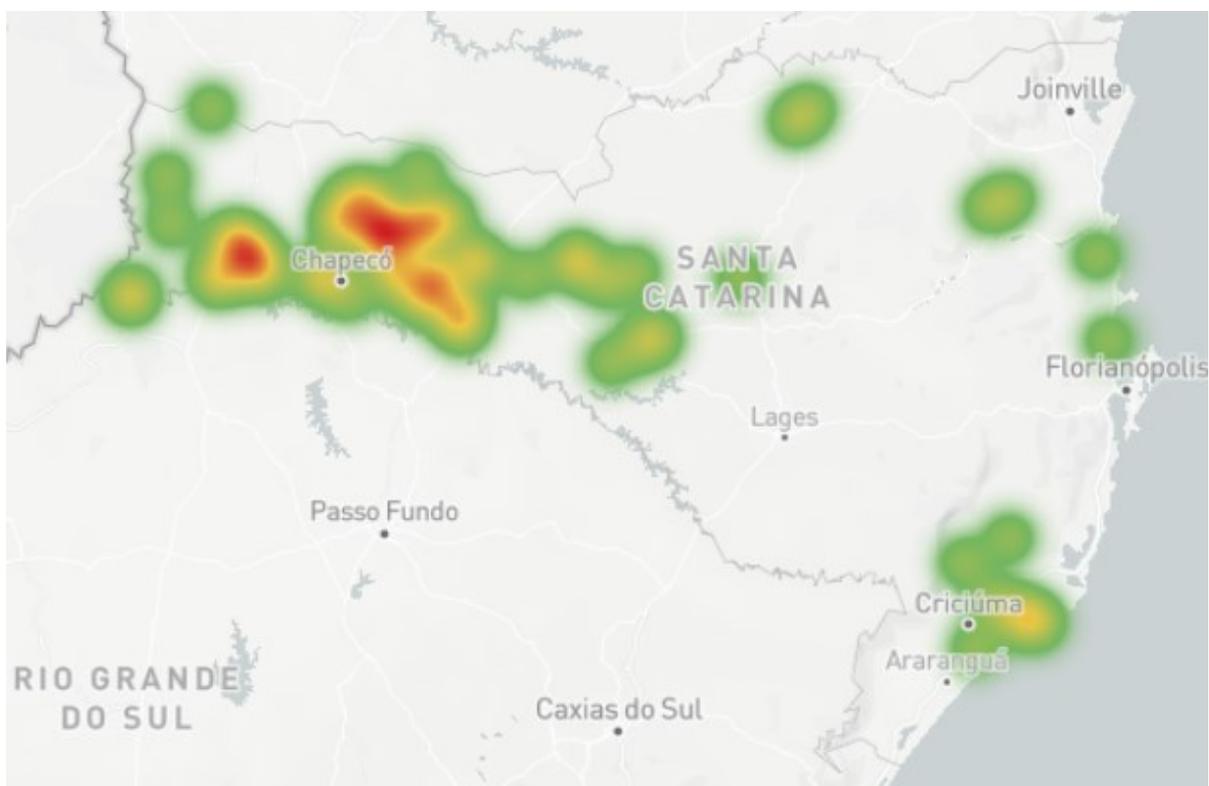
Planta de energia	Cidade/Estado	Fonte	Capacidade (kW)	Participação por fonte (%)
Salvador	Salvador/BA	Biogás - UW	19,730	96.77
São João biogás	São Paulo/SP	Biogás - UW	21,560	
Energ-biorg	Barueri/SP	Biogás - UW	30	
Asja BH	Belo Horizonte/MG	Biogás - UW	4278	
Arrudas	Belo Horizonte/MG		2400	
Ambient	Ribeirão Preto/SP	Biogás - UW	1500	
Biotérmica Recreio	Minas do Leão/RS	Biogás - UW	8556	
Uberlândia	Uberlândia/MG	Biogás - UW	2852	
Asja Sabará	Sabará/MG	Biogás - UW	2852	
CTR Juiz de Fora	Juiz de Fora/MG	Biogás - UW	4278	
Itajaí Biogás	Itajaí/SC	Biogás - UW	1065	
Termoverde Caieiras	Caieiras/SP	Biogás - UW	29,547	
Guataparã	Guataparã/SP	Biogás - UW	5704	
Bandeirantes	São Paulo/SP	Biogás - UW	4624	
Curitiba Energia	Fazenda Rio Grande /PR	Biogás - UW	4278	
Tecipar	Santana de Parnaíba/SP	Biogás - UW	4278	
Ronaldo de Freitas Silva	Uberlândia/MG	Biogás AW	120	1.73
Fazenda Nossa Senhora de Fátima	Perdizes/MG	Biogás AW	175.2	
Unidade Industrial de Aves	Metelândia/PR	Biogás AW	160	
Unidade Industrial de Vegetais	Itaipulândia/PR	Biogás AW	40	
ETE Ouro Verde	Foz do Iguaçu/PR	Biogás AW	20	
Star Milk	Céu Azul/PR	Biogás AW	110	
Fazenda da Luz	Abelardo Luz/SC	Biogás AW	810	
Granja Makena	Patrocínio/MG	Biogás AW	80	
Ajuricaba	Marechal Cândido Rondon/PR	Biogás AW	80	
Fazenda Nossa Senhora do Carmo	Ituiucaba/MG	Biogás AW	80	
Granja São Roque	Videira/SC	Biogás AW	424	
Cogeração Bio Springer	Valinhos/SP	Biogás AIW	848	1.5
Adelar Piaia	Três Passos/RS	Biogás AIW	100	
Cetrel Bioenergia JB	Cachoeirinha/PE	Biogás AIW	874	
TOTAL			121,453.2	100

Legenda: AW (animal waste – resíduos agrícolas); AIW (agro industrial waste – resíduos da indústria); UW (urban waste – resíduos sólidos urbanos);

Fonte: adaptado de (FREITAS et al., 2019).

Com relação à geração de energia para diversas finalidades, o relatório extraído do sítio eletrônico do CIBiogás (2021) registra a instalação de 68 unidades de biodigestão no Estado de Santa Catarina, com a utilização de substratos de resíduos sólidos urbanos, estações de tratamento de esgotos, agropecuária e indústria (Figura 13). As destinações dos 71,75 Mi Nm³/ano de energia gerados por ano também são variadas, incluindo a geração de energia elétrica, mecânica, térmica, GNV e biometano (CIBIOGÁS, 2021).

Figura 13 – Unidades de geração de biogás instaladas em Santa Catarina



Fonte: (CIBIOGÁS, 2021)

As prospecções para o futuro apontam para o crescimento da produção de biogás e da descentralização da geração de energia, valendo-se do potencial de aproveitamento de recursos agropecuários que são abundantes no país.

A análise de conjuntura 2018 publicada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), sinaliza que a grande disponibilidade de insumos dispersos por várias regiões do país, tais como resíduos de unidades de saneamento e da pecuária, podem contribuir para um aumento considerável do uso do biogás no Brasil nos próximos

anos. O estudo ainda ressalta que, além de uma opção para oferta energética, obtêm-se uma solução para o problema ambiental da disposição dos resíduos advindos da produção animal. Nesse sentido, o estudo aponta a oportunidade criada pelo Novo Mercado de Gás, indicando que a produção de biogás pode servir para aumentar a oferta de gás natural, bem como para diminuir a pegada de carbono, evidenciando uma sinergia positiva entre o combustível fóssil e o renovável para uma transição gradual. Nesse sentido, a produção de biogás amplia tanto a capacidade de atendimento à demanda quanto à abrangência da oferta, podendo ser inclusive inserido nos gasodutos.

Já o Relatório Final do Plano Nacional de Energia 2050 aponta para o potencial de descentralização da produção de biocombustíveis líquidos e o biogás em plantas de pequena escala, o que representa uma mudança de paradigma para o setor, com benefícios que extrapolam o setor energético. No entanto, a concretização desses cenários depende de alguns fatores, como a competitividade dos recursos e a superação de diversos desafios (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA., 2020).

De acordo com Kunz e Oliveira (KUNZ; OLIVEIRA, 2006), o potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos da pecuária pode ser estimado considerando as médias expostas na Tabela 4, que variam de acordo com diversos fatores, como dieta dos animais e sistema digestivo, que fazem com que sejam produzidos resíduos de características distintas com potencialidades diferentes na produção de biogás.

Tabela 4 – Potencial de geração de biogás a partir de resíduos animais.

Animal (Kg peso vivo)	Kg esterco/ animal.dia	m³ biogás/ kg esterco	m³ biogás/ Kg. Sólidos Voláteis	m³ biogás/ animal.dia
Bovino 500	10 - 15	0,038	0,094 - 0,31	0,36
Suíno 90	2,3 - 2,8	0,079	0,37 - 0,50	0,24
Aves 2,5	0,12 - 0,18	0,050	0,31 - 0,62	0,014

Fonte: adaptado de (KUNZ; OLIVEIRA, 2006) apud (OLIVEIRA, 1993)

O estudo realizado pelo projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” – GEF Biogás Brasil, desenvolvido em conjunto com diversos organismos internacionais, instituições privadas e entidades governamentais, avaliou o potencial de produção de biogás dos três estados do sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e

Rio Grande do Sul), com base em dados quantitativos e qualitativos colhidos através do Censo Agro do IBGE de 2017. Os resultados obtidos pelo projeto indicaram o potencial de geração de energia para o estado de Santa Catarina na suinocultura, bovinocultura e avicultura (BIOGÁS BRASIL, 2019).

Segundo o estudo, o estado de Santa Catarina possuía um rebanho de 8.070.236 cabeças de suínos com 90% destinados à suinocultura de engorda e 10% para matrizes fêmeas e machos. Estima-se que 10,1 milhões m³/ano de efluente são gerados pelo rebanho total de suínos no estado que, se convertidos em biogás, teriam capacidade para abastecer 309.782 residências com energia elétrica (817,9 GWh/ano) no ano de referência do estudo (BIOGÁS BRASIL, 2019).

O rebanho bovino era de 2,8 milhões de cabeças no ano de 2019, sendo que 75% correspondiam a bovinos de corte e 25% a bovinos leiteiros. Com base nesses quantitativos, o estudo estimou que o plantel de bovinos catarinense poderia gerar, anualmente, 8,2 bilhões de m³ de efluentes. Apenas na região sudoeste do estado são, aproximadamente, 1,4 bilhões de m³/ano de efluentes. Considerando que esses substratos fossem utilizados em sistema de biodigestão, seria possível produzir 546 milhões Nm³/ano de biogás no ano de referência do estudo (BIOGÁS BRASIL, 2019).

O biogás gerado a partir desse substrato poderia ser destinado à produção de energia elétrica, gerando 793 GWh/ano, o que seria capaz de abastecer cerca de 300.378 residências em 2019. Sendo convertido em biometano, poderia substituir 203 milhões de litros de diesel ou 243 milhões de litros por ano de gasolina comum (BIOGÁS BRASIL, 2019).

Ainda segundo tal estudo, o estado de Santa Catarina conta com 168 milhões de aves em 2019, das quais 94% correspondiam à avicultura de corte e 6% à avicultura de postura. Os resíduos gerados nessa atividade (316 mil toneladas por ano de cama aviária e dejetos de aves de corte e 380 mil m³/ano de resíduos de aves de postura) teriam capacidade de produzir 82 mi Nm³/ano de biogás no ano de referência do estudo (BIOGÁS BRASIL, 2019).

Nesse ano, o biogás produzido a partir da avicultura poderia produzir cerca de 65 milhões de m³/ano de biometano que poderiam ser empregados na substituição de 94 milhões de litros de álcool hidratado (BIOGÁS BRASIL, 2019).

A página eletrônica do Data Sebrae biogás (SEBRAE, 2021) também traz estimativas de potencial pecuário do biogás para todos os estados brasileiros, valendo citar os dados obtidos a partir do painel interativo para o potencial de geração de

Cicle Assessment ou apenas LCA na sigla em inglês), baseados nas normas de Gestão Ambiental ISO 14.040 e 14.044, que normatizam a avaliação do ciclo de vida de um produto desde a extração de matérias primas até a destinação final (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012a); (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012b); (PÉREZ et al., 2017); (WANG; BI; CLIFT, 2021); (EGGEMANN et al., 2020), (PÉREZ-CAMACHO; CURRY, 2021)).

Os impactos ambientais da produção do biogás dependem, principalmente, de fatores como o tipo de substrato, a tecnologia de produção, as práticas de operação das plantas e o uso final do biogás e do digestato. Além disso, as causas de impactos ambientais, sociais e econômicos da produção e utilização do biogás diferem, significativamente, ao longo dos vários passos na cadeia de valor da produção do biogás (THRÄN et al., 2020).

Os estudos de avaliação de ciclo integral de produção são muito relevantes para fornecerem informações e dados sobre os efetivos ganhos ambientais de uma determinada tecnologia, substrato ou estratégia de produção energética, uma vez que, em determinadas situações, o processo de transporte ou de purificação pode ter, por exemplo, mais emissões associadas que as evitadas por um determinado tratamento. Nesses casos, outras alternativas podem ser pensadas e associadas para ampliar o benefício ambiental (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012a).

As categorias de impactos elencadas pelo ACV (avaliação de ciclo de vida) destacam: mudanças climáticas; destruição da camada de ozônio; toxicidade humana; formação de ozônio fotoquímico; formação de material particulado; radiação ionizante; acidificação terrestre; eutrofização de água doce; eutrofização marinha; ecotoxicidade de água doce; ecotoxicidade terrestre; ecotoxicidade marinha; ocupação de solo agriculturável; ocupação de solo urbano; transformação de terras naturais; esgotamento de recursos hídricos; esgotamento de metais; esgotamento fóssil. (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012b)

Alguns estudos quantitativos do ACV da produção de biogás a partir de diferentes substratos indicam o biogás gerado a partir dos dejetos animais como uma das opções menos impactantes ambientalmente em todo o seu processo (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012a).

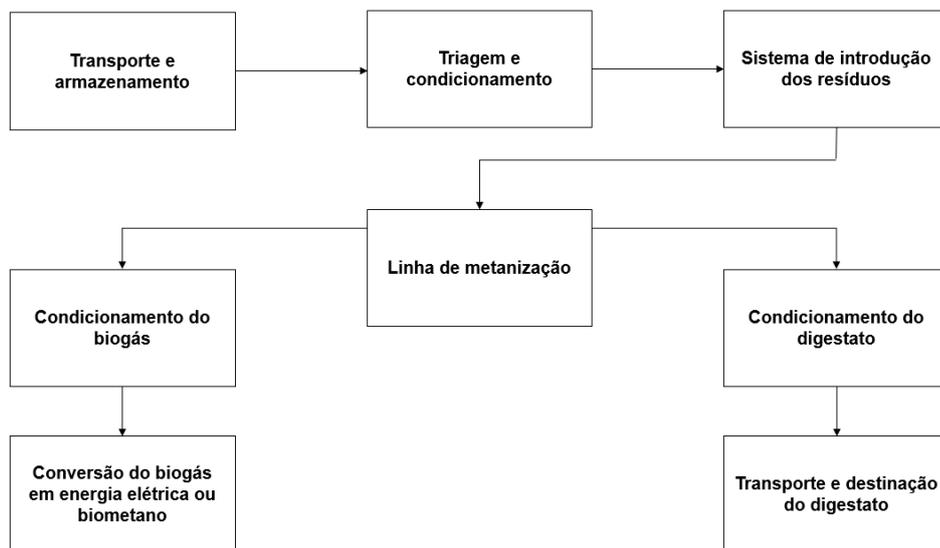
Para a elaboração de um inventário de ciclo de vida, primeiro passo para um ACV completo, que leva em conta as emissões atmosféricas, são listadas as seguintes substâncias com potencial de emissão durante o ciclo: CO₂, CO, CH₄, NO₃,

SO₂, Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano (NMVOC), Partículas inaláveis inferiores a 10 micrómetros (PM₁₀), N₂O, etc. (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012a).

A necessidade de transporte por longas distâncias, de pré-tratamento e de destinação dos subprodutos do biogás são fatores determinantes em relação às reduções de gases de efeito estufa (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012a).

A coletânea de publicações do PROBIOGÁS (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016) “Conceitos para o licenciamento ambiental” divide os aspectos, impactos e riscos associados à produção de usinas de biogás de acordo com as etapas de produção, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Esquema das etapas da produção de usinas de biogás.



Fonte: Adaptado pela autora de (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016)

A partir da divisão das etapas da produção de biogás, a coletânea elenca os riscos associados a cada etapa que podem ocasionar os impactos ambientais classificados no ACV, conforme apresentado no Quadro 9 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Quadro 9 – Riscos associados à produção do biogás

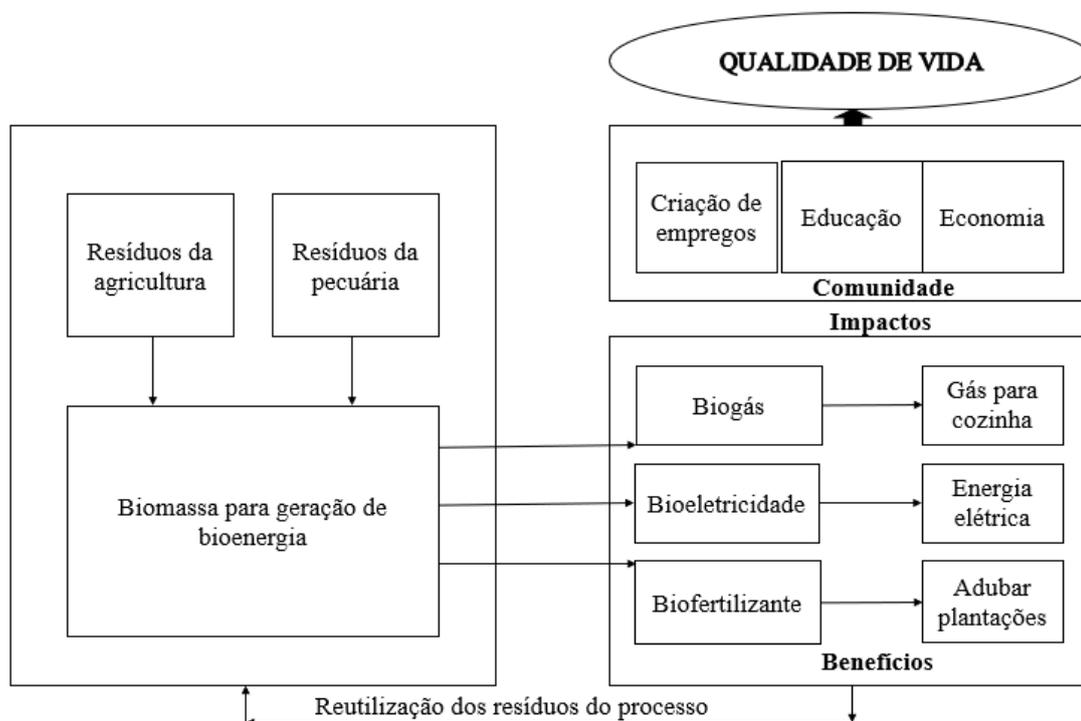
MANEJO DE SUBSTRATOS	
Etapa	Riscos
Transporte de substratos	Derramamento/vazamento de substratos sólidos e líquidos com risco de contaminação do solo e corpos hídricos, além de riscos à saúde humana.
Armazenamento, manuseio e introdução de substratos	Intoxicação, asfixia e/ou queimaduras por contato e/ou aspiração de gases ou substâncias tóxicas (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄ , etc.). Vazamento de substratos líquidos de tanques ou tubulações. Vazamento de lixiviado formado durante o armazenamento de substratos. Risco de contaminação do solo e corpos hídricos e à saúde humana.
Armazenamentos de aditivos com especificação de substância perigosa	Intoxicação e/ou queimaduras por contato com substâncias tóxicas (substâncias do sistema de dessulfurização do biogás, aditivos de silagens para conservação dos substratos, por exemplo, ácido propiônico e outros).
LINHA DE BIODIGESTÃO	
Digestor (reator de metanização)	Intoxicação e/ou asfixia por gases tóxicos (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄) devido à entrada no tanque para manutenção ou inspeções. Vazamento de lodo do tanque ou tubulações. Faíscas geradas por agitadores submersos.
Gasômetros (acumulador de biogás)	Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄) com risco de intoxicação asfixia, incêndio ou explosão.
CONDICIONAMENTO E USO DO BIOGÁS	
Tubulação de gás	Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄), com risco de intoxicação, asfixia, incêndio ou explosão.
Local de instalação do biodigestor	Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄) com risco de intoxicação, asfixia incêndio ou explosão. Vazamento de óleo do equipamento, com risco de contaminação de solo e corpos hídricos.
Dessulfurização do biogás	Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis com risco de intoxicação, asfixia, incêndio ou explosão. Autocombustão de substâncias.
CONDICIONAMENTO DO DIGESTATO	
Pós-tratamento e armazenamento do digestato (sólido-líquido)	Vazamento de efluente líquido de tanques de armazenamento. Vazamento de lixiviado formado durante o pós-tratamento da fração sólida (compostagem). Risco de contaminação do solo e corpos hídricos e à saúde humana.
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO EM GERAL	
Manuseio das peças de maquinário (eixos, correias, engrenagens, manivelas, etc.)	Risco de esmagamento de membros e engate de roupas em peças rotativas e partes móveis em geral.
Instalações elétricas	Choque elétrico queimaduras e incêndio. Danos variáveis causados por avarias nas linhas subterrâneas.
Vias de circulação	Colisões. Quedas de cargas. Atropelamentos. Acidentes e quedas em geral.
MEDIDAS GERENCIAIS/ORGANIZACIONAIS	

Documentação da unidade geradora	Conduta inadequada devido à falta de conhecimento das instalações, dos procedimentos de rotina e de segurança, ampliando a probabilidade de ocorrência de acidentes e exposição a riscos diversos.
Definição de cargos e responsabilidades	Funções, competências e responsabilidades pouco claras e/ou parcialmente informados à equipe.
Treinamento	Auto exposição e/ou exposição de terceiros a riscos devido à falta de conhecimento das instalações dos procedimentos de rotina e de segurança,
Horário de trabalho	Imprudências e acidentes causados por cansaço, devido ao excesso de trabalho ou horário de trabalho indevido.
Disponibilidade de equipamentos de proteção individual (EPI) e coletiva (EPC)	Conduta inadequada em caso de emergências. Conduta inadequada e/ou atendimento e prestação de socorro insuficiente ou negligente mediante situações emergenciais, como acidentes ou eventos imprevisíveis (intoxicação, eventos naturais extremos, incêndios, etc.)

Fonte: adaptado de (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016)

Vale ressaltar que, para além dos impactos ambientais negativos, a produção de biogás a partir de dejetos da pecuária apresenta uma série de impactos ambientais positivos, como já ressaltados, e sociais. A Figura 16 mostra como um sistema de produção de biogás integrado a partir de dejetos da pecuária e águas residuárias de abatedouro pode gerar benefícios sociais, econômicos e ambientais para comunidades rurais sob a perspectiva de economia circular (SINSUW; WUISANG; CHU, 2021).

Figura 16 – Modelo circular para autossustentabilidade de comunidades.



Fonte: Adaptado de (SINSUW; WUISANG; CHU, 2021).

Novos estudos que estão sendo conduzidos demonstram a existência de outros riscos ainda pouco estudados. É o exemplo do estudo conduzido por Zhang e colaboradores (2021), que alerta para os prejuízos à saúde humana e animal, caso os genes de resistência a antibióticos (ARGs) contidos no digestato (que se mostra como um reservatório deles) seja aerossolizado e dispersado na atmosfera.

A literatura tem descritos diversos impactos ambientais negativos decorrentes do aproveitamento energético do biogás, os quais estão compilados no Quadro 10.

Quadro 10 – Impactos ambientais negativos de unidades de biogás

MEIO	ASPECTOS AMBIENTAIS	IMPACTOS AMBIENTAIS	ETAPA DA PRODUÇÃO
ABIÓTICO	Emissões atmosféricas: CO ₂ , CO, CH ₄ , NO ₃ , SO ₂ , NMVOC, PM10, N ₂ O, H ₂ S.	Mudanças Climáticas. Destruição da camada de ozônio. Formação de material particulado. Formação de ozônio fotoquímico.	Pontos de queima do biogás (queimadores das caldeiras, CHP, Microturbina). Queimador de segurança (<i>flare</i>). Sistema de <i>upgrading</i> (purificação do biogás em biometano). Sistema de secagem do digestato (composto orgânico).

			<p>Circulação de veículos e maquinários.</p> <p>Armazenamento, manuseio e introdução de substratos.</p> <p>Digestor (reator de metanização)</p> <p>Gasômetros (acumulador de biogás).</p> <p>Local de instalação do biodigestor.</p>
	Emissão de odores.	<p>Afastamento de visitantes da região.</p> <p>Desvalorização imobiliária/econômica da região afetada.</p>	<p>Manipulação e o armazenamento do substrato (Triagem, Pré-tratamento, tanque de carga);</p> <p>Manipulação e o armazenamento do material digerido (compostagem ou secagem do composto).</p> <p>Digestor (reator de metanização).</p> <p>Local de instalação do biodigestor.</p>
	Contaminação de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos.	<p>Eutrofização de água doce (concentração de fósforo).</p> <p>Eutrofização marinha (concentração de nitrogênio).</p> <p>Ecotoxicidade de água doce.</p> <p>Ecotoxicidade marinha.</p> <p>Esgotamento de recursos hídricos.</p>	<p>Saída Digestores.</p> <p>Lixiviado das áreas de estocagem e pré-tratamento dos resíduos orgânicos.</p> <p>Lixiviado vindo da área de armazenamento do material digerido.</p> <p>Águas de lavagem das áreas de armazenamento e serviços.</p> <p>Lixiviado dos biofiltros ou outros sistemas de tratamento de gases (odor).</p> <p>Condensado proveniente das torres de lavagem/limpeza de biogás.</p> <p>Condensado do lavador de gases (secador do digestado)</p> <p>Condensado do lavador de gases (<i>upgrading</i>).</p> <p>Esgoto sanitário de estruturas auxiliares (ex: vestiário, laboratório, refeitório, prédio administrativo).</p> <p>Transporte de substratos.</p> <p>Local de instalação do biodigestor.</p> <p>Pós-tratamento e armazenamento do digestato (sólido-líquido).</p>
	Contaminação do solo.	<p>Acidificação terrestre.</p> <p>Ecotoxicidade terrestre.</p> <p>Ocupação de solo agriculturável.</p> <p>Ocupação de solo urbano.</p>	<p>Transporte de substratos.</p> <p>Resíduos da triagem.</p> <p>Resíduos do pré-tratamento.</p> <p>Digestato - Saída Digestores.</p> <p>Lodo – Estação de Tratamento de Efluente.</p> <p>Resíduos da compostagem (inertes).</p>

		Transformação de terras naturais.	Resíduos sanitários e de escritórios de estruturas auxiliares (ex: vestiário, laboratório, refeitório, prédio administrativo). Resíduos da manutenção de equipamentos. Pós-tratamento e armazenamento do digestato (sólido-líquido). Local de instalação do biodigestor.
	Esgotamento de recursos	Esgotamento de metais. Esgotamento fóssil.	
	Explosões ou incêndios	Danos à saúde humana, fauna, flora, solo, e ar.	Digestor (reator de metanização). Gasômetros (acumulador de biogás). Tubulação de gás. Dessulfurização do biogás.
	Geração de ruídos	Danos à saúde humana. Afastamento de visitantes da região. Desvalorização imobiliária/econômica da região.	Movimentação de veículos pesados Operação de equipamentos: Compressores Bombas. Equipamentos de queima do biogás. Local de instalação do biodigestor.
	Formação de siloxanos	Danificação de maquinários e risco de causar acidentes.	Utilização do biogás para geração de energia elétrica.
BIÓTICO	Flora	Toxicidade das plantas. Perda de biodiversidade. Desmatamento para instalação do projeto.	Transporte de substratos. Local de instalação do biodigestor. Pós-tratamento e armazenamento do digestato (sólido-líquido).
	Fauna	Intoxicação animal. Perda de habitat. Perda de biodiversidade.	Transporte de substratos. Local de instalação do biodigestor.
SAÚDE HUMANA	Danos à saúde humana	Toxicidade humana. Resistência humana a antibióticos pelo uso de fertilizantes com antibióticos provenientes da produção pecuária. Intoxicação, asfixia e/ou queimaduras por contato e/ou aspiração de gases ou substâncias tóxicas. Risco de esmagamento de membros e engate de	Armazenamentos de aditivos com especificação de substância perigosa. Tubulação de gás. Pós-tratamento e armazenamento do digestato (sólido-líquido). Manuseio das peças de maquinário (eixos, correias, engrenagens, manivelas, etc.). Instalações elétricas. Vias de circulação.

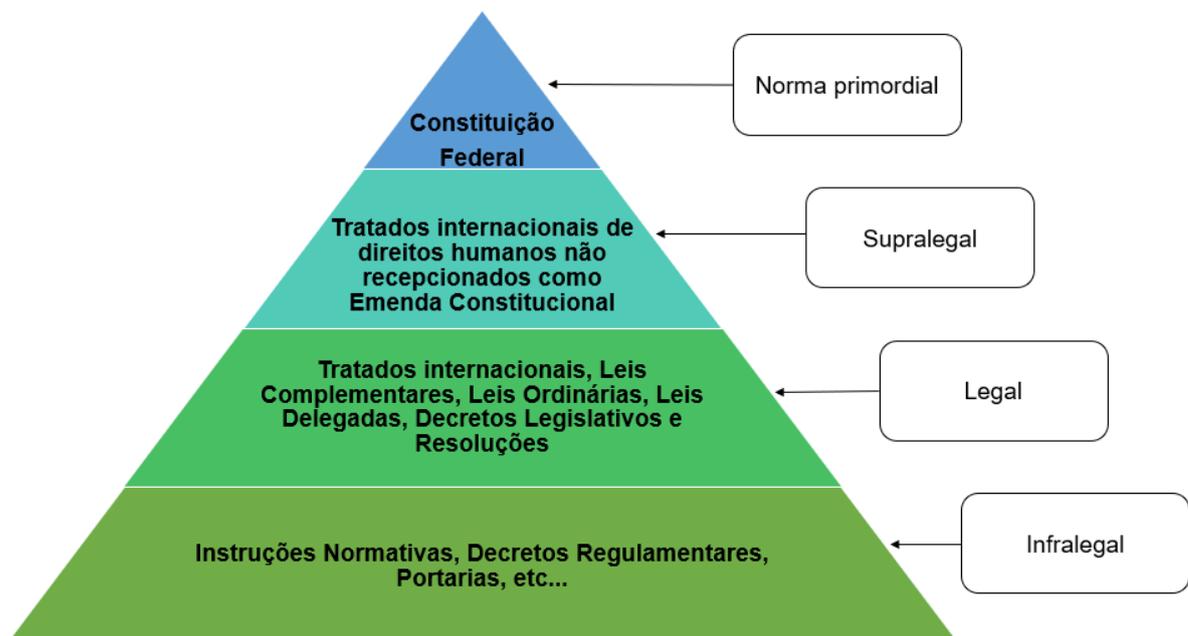
		<p>roupas em peças rotativas e partes móveis em geral. Choque elétrico, queimaduras e incêndio. Danos variáveis causados por avarias nas linhas subterrâneas. Colisões. Quedas de cargas. Atropelamentos. Acidentes e quedas em geral.</p>	
SOCIOECONÔMICO	Efeitos socioeconômicos no entorno das unidades geradoras de biogás.	<p>Geração de empregos. Atração de estudantes e visitantes. Geração de renda a partir da venda/abatimento de energia. Geração de renda a partir da venda/utilização do fertilizante. Educação ambiental. Integração social de comunidades.</p>	<p>Planejamento do projeto. Instalação da unidade geradora. Manutenção da unidade geradora. Descomissionamento da unidade geradora.</p>

Fontes: (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012a); (POESCHL; WARD; OWENDE, 2012b); (FEAM, 2015); (DEBONI; FEILSTRECKER; TARSO, 2017); (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016); (SINSUW; WUISANG; CHU, 2021); (POESCHL et al., 2021).

5 MATRIZ NORMATIVA DO SETOR DO BIOGÁS

Para uma melhor análise das principais normas ambientais que incidem sobre o setor do biogás, é importante posicioná-las na pirâmide normativa (Figura 17), com vistas a dirimir situações de conflitos e aplicação do direito objetivo. Tal análise tem relevância para a administração pública, o poder legislativo e o judiciário, no exercício de suas competências (GUSSOLI, 2019).

Figura 17 – Pirâmide normativa



Fonte: elaborado pela autora

Conforme Pedro Lenza (LENZA, 2015), o princípio da supremacia da Constituição significa que a Constituição se coloca no vértice do sistema jurídico do país, a que confere validade, e que todos os poderes estatais são legítimos na medida em que ela os reconheça e na proporção por ela distribuídos. Desse princípio, resulta o da compatibilidade vertical das normas da ordenação jurídica de um país, no sentido de que as normas de grau inferior somente valerão se forem compatíveis com as normas de grau superior, que é a Constituição.

Abaixo da Constituição Federal, são encontrados os Tratados Internacionais de Direitos Humanos não recepcionados pelo rito das Emendas Constitucionais, nos termos do §3º do artigo 5º da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (CF/88), classificados como normas supralegais, tese adotada pelo Supremo Tribunal

Federal (STF) no julgamento dos Recursos Extraordinários nº 466.343 e nº 349.703 (LENZA, 2015).

Em sequência, na pirâmide, estão alocadas as normais legais em sentido amplo, elencadas no art. 59 da CF/88 compreendendo as Leis Complementares, Leis Ordinárias, Leis Delegadas, Medidas Provisórias, Decretos Legislativos e Resoluções (BRASIL, 1988; GUSSOLI, 2019; JUNIOR, 2021).

A seguir, encontram-se as normas infralegais, tais como os Decretos Regulamentares, Portarias, Instruções Normativas, entre outros. Importante ressaltar que, apesar de possuírem grande importância no sistema ambiental brasileiro, já que são os instrumentos utilizados pelos órgãos técnicos para regulamentarem as leis, são atos secundários, sendo que sua validade está condicionada à lei que os legitima (JUNIOR, 2021).

A partir dessas premissas, passa-se a descrever o arcabouço legal na esfera ambiental incidente sobre o setor do biogás.

Os direitos relacionados à preservação ambiental passaram a ser inseridos nas legislações e constituições das nações como fruto dos novos problemas e preocupações mundiais que surgem com a ampliação da noção de direitos que vão além dos interesses do indivíduo, isto é, direitos transindividuais, que estão relacionados à proteção do gênero humano, contendo altíssimo teor de humanismo e universalidade (LENZA, 2015).

No Brasil, a Constituição de 1988 foi a primeira a trazer em seu conteúdo um capítulo inteiro dedicado à proteção do meio ambiente, assegurando, no caput do artigo 225, o direito de todos ao meio ambiente equilibrado, sendo dever do poder público e da coletividade defendê-lo e preservá-lo (BRASIL, 1988; LENZA, 2015):

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Como instrumentos para assegurar a efetividade desse direito, a Carta Magna cita, nos incisos IV e V do §1º do art. 225, dentre outros, os estudos de impacto ambiental e o controle das atividades que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente por parte do Poder Público:

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

- IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;
- V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

No entanto, a Política Nacional do Meio Ambiente, publicada em 31 de agosto de 1981, já dispunha sobre instrumentos para compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico (Política Nacional Do Meio Ambiente, 1981; LENZA, 2015).

Tal Lei foi um verdadeiro marco na legislação brasileira, sendo clara sua preocupação com a preservação dos recursos naturais como integrantes de um complexo sistema de vida, afastando-se da visão antropocêntrica predominante até então (TRENNEPOHL & TRENNEPOHL, 2020).

Dentre esses instrumentos, a Lei n. 6.938/81 (BRASIL, 1981) prevê:

Art 9º - São instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

- III - a avaliação de impactos ambientais;
- IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

O artigo 10 da referida Lei menciona, ainda, quais as atividades dependerão de prévio licenciamento ambiental:

Art. 10. A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.

Conforme se extrai dos citados dispositivos, o licenciamento ambiental é um importante mecanismo de controle sobre as atividades humanas que interferem nas condições ambientais por meio do qual se busca a conciliação do desenvolvimento econômico com o uso dos recursos naturais, de modo a assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas em suas variabilidades físicas, bióticas, socioculturais e econômicas (IBAMA, 2016).

Visando regulamentar e efetivar a utilização do licenciamento ambiental como um instrumento de gestão ambiental, conforme instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente, em 19 de dezembro de 1997 foi publicada a Resolução nº 237 pelo

Conselho Nacional do Meio Ambiente que, posteriormente, veio a ser complementada e alterada pela Lei Complementar nº 140/2011 (CONAMA, 1997); (BRASIL, 2011).

A Resolução traz as seguintes definições:

Art. 1º - Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

III - Estudos Ambientais: são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

Na mesma senda do já disposto pela Política Nacional do Meio ambiente, o artigo 2º da Resolução 237 menciona quais empreendimentos estão sujeitos ao licenciamento ambiental prévio, enumerando as atividades em rol exemplificativo no anexo I (CONAMA, 1997):

Art. 2º - A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 1º - Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, parte integrante desta Resolução.

Não obstante o procedimento estabelecido pelo CONAMA, a Resolução deixa clara a possibilidade de definição de licenças e procedimentos específicos quando pertinente às peculiaridades da atividade:

Art. 9º - O CONAMA definirá, quando necessário, licenças ambientais específicas, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

Art. 12 - O órgão ambiental competente definirá, se necessário, procedimentos específicos para as licenças ambientais, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e,

ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

O inciso VI do artigo 23 da Constituição Federal de 1988 estabelece a competência comum da União, Estados, Distrito Federal e Municípios para proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, atribuindo, no parágrafo único, à Lei Complementar a fixação das normas para a cooperação entre os entes tendo em vista o equilíbrio do desenvolvimento e do bem-estar em âmbito nacional (BRASIL, 1988).

Após um período de insegurança jurídica, no que diz respeito à qual seria o ente da federação responsável pelo procedimento, sobreveio a Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, que estabeleceu a competência para as ações administrativas decorrentes da competência prevista no artigo 23 da CF/88 (TRENNEPOHL; TRENNEPOHL, 2020); (BRASIL, 2011)

No que diz respeito ao licenciamento ambiental, a Lei Complementar nº 140 assim delega:

Art. 7º São ações administrativas da União:

XIV - promover o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades:

- a) localizados ou desenvolvidos conjuntamente no Brasil e em país limítrofe;
- b) localizados ou desenvolvidos no mar territorial, na plataforma continental ou na zona econômica exclusiva;
- c) localizados ou desenvolvidos em terras indígenas;
- d) localizados ou desenvolvidos em unidades de conservação instituídas pela União, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs);
- e) localizados ou desenvolvidos em 2 (dois) ou mais Estados;
- f) de caráter militar, excetuando-se do licenciamento ambiental, nos termos de ato do Poder Executivo, aqueles previstos no preparo e emprego das Forças Armadas, conforme disposto na Lei Complementar no 97, de 9 de junho de 1999;
- g) destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen); ou
- h) que atendam tipologia estabelecida por ato do Poder Executivo, a partir de proposição da Comissão Tripartite Nacional, assegurada a participação de um membro do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), e considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade ou empreendimento;

Art. 8º São ações administrativas dos Estados:

XIV - promover o licenciamento ambiental de atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, ressalvado o disposto nos arts. 7º e 9º;

Art. 9º São ações administrativas dos Municípios:

XIV - observadas as atribuições dos demais entes federativos previstas nesta Lei Complementar, promover o licenciamento ambiental das atividades ou empreendimentos:

- a) que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, conforme tipologia definida pelos respectivos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade; ou
- b) localizados em unidades de conservação instituídas pelo Município, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs);

Verifica-se que o Estado possui competência residual para a realização do processo de licenciamento ambiental das atividades que não sejam da competência da União e dos Municípios.

Além disso, extrai-se do art. 5º que o Ente Federativo poderá delegar a execução de ações administrativas a ele atribuídas, desde que o município disponha de órgão ambiental capacitado e de conselho de meio ambiente, senão vejamos:

Art. 5º O ente federativo poderá delegar, mediante convênio, a execução de ações administrativas a ele atribuídas nesta Lei Complementar, desde que o ente destinatário da delegação disponha de órgão ambiental capacitado a executar as ações administrativas a serem delegadas e de conselho de meio ambiente.

Parágrafo único. Considera-se órgão ambiental capacitado, para os efeitos do disposto no caput, aquele que possui técnicos próprios ou em consórcio, devidamente habilitados e em número compatível com a demanda das ações administrativas a serem delegadas.

Uma importante diretriz para o setor energético é a Política Energética Nacional, instituída pela Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997, que indica, já no artigo 1º, os objetivos visados pelas políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia (BRASIL, 1997).

Dentre os objetivos previstos pela referida política, destaca-se a relevante presença dos biocombustíveis como um direcionamento para uma ampliação da matriz energética através de uma fonte descrita, no inciso XIV, como uma fonte limpa, renovável e complementar à fonte hidráulica:

Art. 1º As políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos:

XII - incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional.

XIII - garantir o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional;

- 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;
- XV - promover a competitividade do País no mercado internacional de biocombustíveis;
- XVI - atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis;
- XVII - fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;
- 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.

Desde então, o setor dos biocombustíveis vem crescendo e os Planos Decenais de Expansão de Energia vêm sinalizando boas perspectivas para o aumento da oferta do biogás advindo da biodigestão de matérias-primas orgânicas dispersas por várias regiões do país, tais como resíduos das unidades de saneamento e da suinocultura (EPE, 2018).

Estima-se que o uso do biogás será ampliado consideravelmente no Brasil nos próximos anos, o que, além de representar um fator positivo na oferta de energia, também incide diretamente na solução de problemas ambientais sérios, com o direcionamento de resíduos para a produção de biogás (EPE, 2018).

A Constituição do Estado de Santa Catarina também dispõe da defesa do meio ambiente como sua competência administrativa e legislativa (ESTADO DE SANTA CATARINA, 1989):

Art. 9º O Estado exerce, com a União e os Municípios, as seguintes competências:

VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

Art. 10. Compete ao Estado legislar, concorrentemente com a União, sobre: VI - florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição;

A proteção ao meio ambiente deverá ser observada, tanto pelas políticas de desenvolvimento urbano, quanto rural, conforme preconiza a referida Constituição estadual:

Art.141. No estabelecimento de normas e diretrizes relativas ao desenvolvimento urbano, o Estado e o Município assegurarão:

- c) proteção e recuperação do ambiente cultural;
- d) manutenção de características do ambiente natural;

Art. 144. A política de desenvolvimento rural será planejada, executada e avaliada na forma da lei, observada a legislação federal, com a participação efetiva das classes produtoras, trabalhadores rurais, técnicos e profissionais da área e dos setores de comercialização, armazenamento e transportes, levando em conta, especialmente:
VI - a proteção do meio ambiente;

Em relação à preservação do meio ambiente e ao direito à saúde, a Constituição do Estado de Santa Catarina ainda dispõe, a exemplo do que ocorre na Constituição Federal:

Art. 153. A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantida mediante políticas sociais e econômicas que visem a redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação.

Parágrafo único. O direito à saúde implica os seguintes princípios fundamentais:

I - trabalho digno, educação, alimentação, saneamento, moradia, meio ambiente saudável, transporte e lazer;

Art. 181. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Art. 182. Incumbe ao Estado, na forma da lei:

V - exigir, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudos prévios de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

Com a finalidade de normatizar as diretrizes já traçadas pela Constituição Estadual, o Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina, instituído pela Lei 14.675 publicada em 13 de abril de 2009, com as alterações feitas pela Lei 18.350 de 27 de janeiro de 2022, também traz em seus princípios e instrumentos diretrizes para o exercício da atividade de licenciamento ambiental no contexto dos objetivos da própria Política Estadual do Meio Ambiente (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2009).

Art. 4º São princípios da Política Estadual do Meio Ambiente:

II - a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção e preservação da biodiversidade e melhoria da qualidade ambiental;

Art. 7º São instrumentos da Política Estadual do Meio Ambiente:

I - licenciamento ambiental;

II - avaliação de impactos ambientais;

O artigo 29 indica que serão passíveis de licenciamento ambiental as atividades consideradas pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) potencialmente causadoras de degradação ambiental:

Art. 29. São passíveis de licenciamento ambiental pelo Órgão Estadual de Meio Ambiente as atividades consideradas, por meio de Resolução do CONSEMA, potencialmente causadoras de degradação ambiental.

Além disso, o artigo 31 do Código em pauta esclarece os tipos de estudos ambientais aplicáveis para a avaliação prévia de impactos necessários ao procedimento de licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, estabelecendo em seus parágrafos primeiro e segundo algumas diretrizes que devem nortear o empreendedor:

Art. 31. A avaliação prévia dos impactos ambientais é realizada por meio do Estudo de Impacto Ambiental - EIA, do Estudo Ambiental Simplificado - EAS, do Relatório Ambiental Prévio - RAP, os quais constituem documentos que subsidiam a emissão da Licença Ambiental Prévia - LAP e a elaboração dos programas de controle ambiental.

§ 1º O empreendedor deve avaliar a possibilidade de intervenções no processo produtivo, visando minimizar a geração de efluentes líquidos, de efluentes atmosféricos, de resíduos sólidos, da poluição térmica e sonora, bem como a otimização da utilização dos recursos ambientais.

§ 2º O empreendedor deve promover a conscientização, o comprometimento e o treinamento do pessoal da área operacional, no que diz respeito às questões ambientais, com o objetivo de atingir os melhores resultados possíveis com a implementação dos programas de controle ambiental.

A Resolução nº 98 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), publicada em 5 de maio de 2017, cumpre com o disposto no artigo 29 do Código Estadual do Meio Ambiente, trazendo uma listagem das atividades consideradas potencialmente poluidoras e estabelecendo, segundo o seu porte, o tipo de estudo técnico necessário para a obtenção da licença ambiental (CONSEMA, 2017).

No código 34.20.00 é disposta a atividade de produção de gás e biogás:

34.20.00 - Unidade de produção de gás e biogás, com ou sem aproveitamento energético.
Pot. Poluidor/Degradador Ar: Médio Água: Pequeno Solo: Pequeno Geral: Médio
Porte Pequeno: $Q(1) \leq 500$ (Relatório Ambiental Prévio)
Porte Médio: $500 < Q(1) < 2000$ (Relatório Ambiental Prévio)
Porte Grande: $Q(1) \geq 2000$ (Estudo Ambiental Simplificado) (Redação dada pela Resolução CONSEMA nº 118, de 2017)

* Sendo Q a vazão de bombeamento em m³/h.

Os estudos requisitados assim se diferem:

XXXII - Relatório Ambiental Prévio (RAP): estudo técnico elaborado por um profissional habilitado ou por equipe multidisciplinar que oferece elementos para a análise da viabilidade ambiental de empreendimentos ou atividades consideradas potencial ou efetivamente causadoras de degradação do meio ambiente. O RAP deve abordar um diagnóstico simplificado da área do empreendimento e de seu entorno;

XIX - Estudo Ambiental Simplificado (EAS): estudo técnico elaborado por equipe multidisciplinar que oferece elementos para a análise da viabilidade ambiental de empreendimentos ou atividades consideradas potencial ou efetivamente causadoras de degradação do meio ambiente. O EAS deve abordar a interação entre elementos dos meios físico, biológico e socioeconômico, buscando a elaboração de um diagnóstico integrado da área de influência direta do empreendimento, possibilitando a avaliação dos impactos diretos resultantes da implantação do empreendimento e a definição das medidas mitigadoras, de controle ambiental e compensatórias, quando couber;

Em 13 de julho de 2018, foi publicada a Lei n. 17.542, que institui a Política Estadual do Biogás, cuja justificativa expressa a preocupação com a maciça exploração econômica resultante da criação intensiva de animais que alimenta a agroindústria catarinense, quando seus resíduos não são tratados adequadamente (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2018b).

Conforme expõe o artigo 1º da Política do Biogás:

Art. 1º Fica instituída a Política Estadual do Biogás, que reúne um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, ações, incentivos e fomentos adotados pelo Estado, isoladamente ou em regime de cooperação com a União, os Municípios ou particulares, com vistas à produção, à exploração, ao gerenciamento e à comercialização de biogás.

Parágrafo único. Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas naturais e jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, por produtos e derivados capazes de gerar biomassa e biodigestão no Território do Estado.

Essa Política estabelece uma série de definições importantes para a atividade:

Art. 2º Para efeitos desta Lei, ficam estabelecidas as seguintes definições:
I – biodigestão: reciclagem de biomassa, por meio da transformação dos resíduos em novos produtos, alterando-se suas propriedades físicas, químicas e biológicas;
II – biogás: gás bruto obtido da biodigestão;
III – biomassa: todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado na produção de biogás;

IV – biometano: biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás, nas especificações definidas pelos órgãos competentes;

VII – gerador de biomassa: pessoa natural ou jurídica que faz parte de cadeia produtiva que gera biomassa;

O referido instrumento legal também estabelece os princípios e objetivos da Política Estadual do Biogás:

Art. 3º São princípios da Política Estadual do Biogás:

I – a visão sistêmica da gestão de biomassa e biodigestão, que considere as variáveis ambiental, econômica, cultural, social e tecnológica;

II – a ecoeficiência, mediante o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços decorrentes da exploração, do transporte e da comercialização de biomassa, biogás e biometano;

III – a responsabilidade solidária pela destinação de biomassa e pela biodigestão entre os seus geradores;

IV – o reconhecimento da biomassa como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor da cidadania;

VI – a satisfação das necessidades humanas e da sanidade ambiental e a redução do impacto ambiental proveniente da exploração econômica das atividades agropastoris;

Art. 4º São objetivos da Política Estadual do Biogás:

I – a proteção da saúde humana e animal e do meio ambiente para minimizar os impactos da produção e exploração comercial da proteína animal pela agroindústria do Estado;

II – a adoção, o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias limpas para minimizar impactos ambientais;

III – a redução do volume de biomassa e a biodigestão de dejetos e rejeitos animais, urbanos e industriais;

IV – o fomento ao aproveitamento de biomassa e biodigestão por meio do seu uso em escala industrial e comercial, como forma de geração de emprego e renda;

No que diz respeito ao licenciamento ambiental das atividades de produção de biogás, vale ressaltar que a Política Estadual do Biogás assim prevê:

Art. 5º São instrumentos da Política Estadual do Biogás:

VII – a prioridade e a simplificação dos licenciamentos para empreendimentos da cadeia produtiva do biogás por meio de regulamento próprio dos órgãos estaduais competentes; (grifo nosso)

É de se realçar que tal regramento específico ainda não existe, deixando uma lacuna no que diz respeito a um dos instrumentos elencados pela Política Estadual do Biogás.

Também é importante frisar que, além das condições técnicas, a viabilidade de projetos de biogás depende diretamente das condições de regulação da atividade, com a finalidade de possibilitar uma expansão sólida do setor e a consolidação dos

mercados para o escoamento efetivo dos subprodutos do processo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

As Instruções Normativas exaradas pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (IMA) têm como finalidade definir a documentação necessária ao licenciamento e estabelecer critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais para implantação das atividades em relação às quais se referem (IMA, 2017).

Como não há uma Instrução Normativa específica para a atividade de geração de biogás, utiliza-se a Instrução Normativa nº 65 que se aplica a diversas atividades.

Do simulador de licenciamento ambiental disponível no sítio eletrônico do IMA, é possível verificar que para a obtenção de uma licença prévia para a atividade de geração de biogás (acima de 500 m³/h) é necessária a apresentação da seguinte documentação (IMA, 2020):

- Anotação de Responsabilidade Técnica - ART ou Função Técnica para elaboração do Estudo Ambiental Prévio (RAP).
- Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica - CNPJ ou Cadastro Pessoa Física - CPF (Cópia).
- Certidão de viabilidade emitida pela prestadora de serviço público de abastecimento de água para o fornecimento, considerando a vazão estimada para as fases de implantação (se houver) e operação ou Outorga Preventiva para adução de água superficial ou subterrânea.
- Certidão de viabilidade da Prefeitura Municipal relativa ao atendimento às diretrizes municipais de desenvolvimento e plano diretor (uso do solo) e sobre a localização do empreendimento quanto ao ponto de captação de água para abastecimento público (montante ou jusante).
- Certidão de viabilidade emitida pela prestadora de serviço público de drenagem, para o lançamento de efluente tratado na rede municipal de drenagem pluvial ou dispensa de outorga emitida pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE/SC), nos casos de lançamento de efluente tratado em curso hídrico na implantação ou operação do empreendimento, quando couber.

- Declaração de profissional habilitado ou da Prefeitura Municipal informando se a área está sujeita a alagamentos ou inundações, com respectiva cota máxima registrada.
- Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do Estudo Ambiental correlato.
- Estudo Ambiental correlato.
- Relatório Ambiental Prévio (RAP), em uma via impressa e uma via em formato digital (CD).

Da observação da listagem documental e também do conteúdo mínimo exigido para a elaboração dos estudos ambientais, verifica-se que incidem também uma série de outras normatizações específicas sobre a atividade de produção de biogás.

O Guia Técnico Ambiental de biogás na agroindústria produzido pela Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais – FEAM (2015) elenca, de maneira geral, as principais regulações incidentes para o licenciamento da atividade:

- Regularização Ambiental: refere-se ao controle dos aspectos e impactos ambientais, envolvendo a obtenção das licenças ambientais, autorizações referentes à supressão de vegetação e uso de recursos hídricos, ao cadastro técnico federal e demais obrigações legais junto aos órgãos ambientais;
- Normativas técnicas: referem-se às normas técnicas aplicadas à elaboração de projetos, construção e operação de unidades geradoras de biogás;
- Aspectos agronômicos: são as licenças e demais obrigações referentes à utilização e comercialização do material digerido com finalidades agrícolas;
- Eletricidade e biometano: são as normativas referentes à produção, comercialização e/ou distribuição de eletricidade e biometano;

- Saúde e Segurança no Trabalho: são as normativas referentes à segurança ocupacional e riscos associados ao desenvolvimento das atividades.

Com base na pesquisa sobre as Leis, Decretos, Resoluções, Instruções Normativas, Portarias e demais instrumentos legais aplicáveis às plantas de biodigestão no estado de Santa Catarina, apresenta-se o Quadro 11 com a matriz normativa orientativa do licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás no Estado de Santa Catarina.

Contribuíram também para a construção da referida matriz os contatos realizados com a SDE/SC, por meio de contato telefônico, e com o CONSEMA/SC, por meio de correio eletrônico.

Quadro 11 – Matriz orientativa do licenciamento de unidades de biogás.

Contexto	Área	Regulação	Descrição	Aplicabilidade
Contexto do Empreendimento	Resíduos/Saneamento/ Energia Renovável	Lei Federal 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666, de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.	Geral
		Lei Federal nº 12305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.	Geral
		Decreto Federal nº 7404/2010	Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa	Geral
		Decreto Federal nº 7405/2010	Institui o Programa Pró-Catador, denomina Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis o Comitê Interministerial da Inclusão Social de Catadores de Lixo	Geral
		Lei Estadual nº 13.557/2005	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e adota outras providências.	Geral
		Resolução n. 114/2017 do CONSEMA/SC	Estabelece diretrizes e critérios para elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).	Geral
	Critérios/	Lei Federal 6.938/81	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de	Geral

Licenciamento Ambiental	Diretrizes Gerais		formulação e aplicação, e dá outras providências	
		Resolução Conama 01/86	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental	Geral
		Decreto Federal 99.274/90	Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.	Geral
		Resolução CONAMA nº 237/1997	Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente	Geral
		Lei Complementar 140/2011	Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.	Geral
		Instrução normativa 6/2013 MMA	Regulamenta o cadastro técnico federal das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais – CTF-APP.	Geral
		Resolução CONSEMA nº 98	Aprova, nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências.	Geral
		Lei Estadual nº 14.675/2009	Institui o Código Estadual de Meio Ambiente e estabelece outras providências.	Geral
		Decreto Estadual nº 2.955/2010	Estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental a ser seguido pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA, inclusive suas Coordenadorias Regionais – CODAMs, e estabelece outras providências.	Procedimentos do licenciamento ambiental.
		Lei Estadual n. 17.542/2018	Institui a Política Estadual do Biogás	Biogás
		Lei Estadual n. 14.262/2007	Dispõe sobre a Taxa de Prestação de Serviços Ambientais.	Geral
		Resolução n. 143/2019 CONSEMA	Define critérios para o licenciamento ambiental e monitoramento das atividades relativas à suinocultura	Suinocultura
		Instrução Normativa nº 11 do IMA	Define a documentação necessária ao licenciamento ambiental da atividade da suinocultura	Suinocultura
		Instrução Normativa nº 28 do IMA	Define a documentação necessária ao licenciamento da atividade de avicultura	Avicultura
Instrução Normativa nº 69 do IMA	Define a documentação necessária ao licenciamento ambiental de atividades de criação de animais confinados	Criação de animais confinados		
Instrução Normativa nº 65 do IMA	Define a documentação necessária ao licenciamento ambiental de atividades diversas	Atividades Diversas		
Controle Ambiental/ Padrões	Efluente/ Recursos Hídricos	Resolução CONAMA n.º 430 de 2011	Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes	Geral

		Resolução CONAMA nº 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.	Geral
		ABNT NBR 9.648/1986	Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento	Geral
		ABNT NBR 9.649/1986	Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento	Geral
		Decreto Estadual nº 14.250/1981	Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental.	Geral
		Portaria Estadual nº 024/79	Enquadra os cursos d'água do Estado de Santa Catarina.	Geral
		Resolução CONAMA nº 181/2021	Estabelece as diretrizes para os padrões de lançamento de efluentes.	Geral
		Resolução CONAMA nº 503/2021	Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.	Geral
	Emissões Atmosféricas	Resolução CONAMA nº 382/2006	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas	Geral
		Resolução CONAMA nº 436/2011	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.	Geral
		Resolução CONAMA nº 501/2021	Altera a Resolução nº 382/2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.	Geral
		Resolução CONAMA nº 491/2018	Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.	Geral
	Ruído	Resolução CONAMA nº 001/1990	Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas.	Geral
	Segurança	ABNT NBR 17.505/2013	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis.	Geral
		NR 06/1978 Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Equipamentos de proteção individual – EPI	Geral
		NR 09/1978	Programas de prevenção de riscos ambientais	Geral
		NR 10/1978	Segurança em instalações e serviços em eletricidade.	Geral
		NR 12/1978	Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos	Geral
		NR 20/1978	Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis	Geral
		NR 23/1978	Proteção contra incêndios	Geral
		NR 26/1978	Sinalização de segurança.	Geral
		NSCI/94 Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina	Normas de Segurança contra incêndios	Geral
	Flora	CONAMA nº 02/1994	Define formações vegetais primárias e estágios sucessionais de vegetação	Geral

Aspectos Locacionais			secundária, com finalidade de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa	
		Resolução CONAMA nº 369/2006	Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente APP	Geral
		Lei Federal nº 12.651/2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa	Geral
		Lei Federal nº 11.428/2006	Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.	Geral
		Decreto Federal nº 6.660/2008	Regulamenta os dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica.	Geral
		Lei Federal nº 12.651/2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências.	Geral
	Fauna	IN nº 146/2007 do IBAMA	Estabelece os critérios para procedimentos relativos ao manejo de fauna silvestre (levantamento, monitoramento, salvamento, resgate e destinação) em áreas de influência de empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de impactos à fauna sujeitas ao licenciamento ambiental, como definido pela Lei nº 6938/81 e pelas Resoluções Conama nº 001/86 e nº 237/97.	Geral
		Lei Federal nº 5.197/1967	Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências	Geral
	Patrimônio Cultural Arqueológica	IPHAN - Instrução Normativa nº 001/2015	Estabelece procedimentos administrativos a serem observados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe.	Geral
	Área de marinha	Decreto Federal nº 5.300/2004	Regulamenta a Lei nº 7.661 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências.	Geral
Regulamentação Subprodutos	Composto	Lei nº 6.894/1980	Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências.	Fertilizantes e outros
		Decreto Federal MAPA nº 4954/2004	Regulamenta a Lei Federal nº 6894/1980- dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura.	Fertilizantes e outros
		IN MAPA nº 27/2006	Estabelece limites no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.	Fertilizantes e outros
		IN MAPA nº 25/2009	Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.	Comercialização de fertilizantes e outros

		IN MAPA n° 53/2013	Estabelece as disposições e critérios para as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos.	Comercialização de materiais secundários
		CONAMA Resolução n° 498/2020	Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências.	Estabelecer critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos.
	Biogás/ Biometano	Lei Federal 14.134/21	Nova lei do Gás	Tratamento do biogás como fungível com o gás natural de origem fóssil
		Decreto 10.712/21	Regulamenta a Lei 14.134/21	Tratamento do biogás como fungível com o gás natural de origem fóssil
		Resolução ANP n° 41/2007	Regulamenta as atividades de distribuição e comercialização de gás natural comprimido (GNC) a Granel.	Comercialização de biometano
		Resolução ANP n° 16/2008	Estabelece a especificação do gás natural, nacional ou importador, a ser comercializado em todo território nacional	Comercialização de biometano
		Resolução ANP n° 41/2013	Ficam estabelecidos, pela presente Resolução, os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de revenda varejista de combustíveis automotivos e a sua regulamentação.	Comercialização de biometano
		Resolução ANP n°08/2015	Estabelece a especificação do Biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.	Comercialização de biometano
		Resolução ANP n° 23/2012	Estabelece as condições de aceitação do biometano como biocombustível veicular.	Comercialização de biometano
		ABNT NBR 14.461/2000 e seguintes.	Sistemas para Distribuição de gás combustível para redes enterradas, em que se define biogás como mistura de gases com predominância do Metano e do Gás carbônico.	Comercialização de biometano
		ABNT NBR 15.526/2012	Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais – projeto e execução.	Comercialização de biometano
		ABNT NBR 16.560/2017	Esta Norma estabelece o método para a determinação de siloxanos que podem estar presentes em biogás e biometano, oriundos de aterros sanitários, tratamento.	Comercialização de biometano
	Energia Elétrica	Lei n° 9.074/1995	Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.	Geral
		Lei n° 10.848/2004	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993,	Geral

			9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.	
		Decreto nº 5.163/2004	Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências	Geral
		Resolução Normativa ANEEL nº 77/2004	Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada	Geral
		Resolução Normativa ANEEL nº 167/2005	Estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de Geração Distribuída	Geral
		Resolução Normativa ANEEL nº 390/2009	Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências.	Geral
		Resolução Normativa ANEEL nº 506/2012	Estabelece as condições de acesso ao sistema de distribuição por meio de conexão a instalações de propriedade de distribuidora e dá outras providências.	Geral
		Resolução Normativa ANEEL 482/2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.	Geral
		Lei 14.300 de 6 de janeiro de 2022 – Marco Legal da Geração Distribuída	Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.	Geral
		ABNT NBR 5.410/2004	Instalações elétricas de baixa tensão - Procedimento	Geral
Incentivos	Energia renovável	Lei Estadual 12.771/2003	Dá nova redação ao caput e inclui incisos ao art. 1º da lei Nº 12.200 de 2002, a qual dispõe sobre incentivos à geração de energia elétrica alternativa e adota outras providências.	Geral
		Resolução 3.588/2008 Banco Central do Brasil	Institui, no âmbito do BNDES, o Programa de estímulo à produção agropecuária sustentável e promove ajustes nas normas dos programas de investimento noderinfra, moderagro, moderfrota, propflora e prodecoop.	Geral
		Decreto Federal nº 5.025/2004	Regulamenta o inciso I e os §§ 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002, em que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, primeira etapa e dá outras providências.	Proinfa
		Lei Federal 13.576/21	Inclusão do biometano no Renovabio	Renovabio
		Decreto Federal 11.003/22	Institui a Estratégia Federal de incentivo ao uso sustentável de biogás e biometano	Redução de emissões de metano

		Portaria Normativa 37/GM/MME/22	Inclui investimentos em biometano no Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI)	Suspensão da cobrança de PIS/COFINS para aquisição de máquinas, materiais de construção, equipamentos, dentre outros componentes.
--	--	---------------------------------	---	---

Fonte: elaborado pela autora

Conforme já verificado pela menção de alguns instrumentos legislativos, existem órgãos ambientais encarregados da delimitação de parâmetros técnicos.

A lei n. 6.938 de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), trouxe a estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), composto pelo órgão superior (Conselho de Governo), pelo órgão consultivo e deliberativo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pelo órgão central, a Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República, pelos órgãos executores, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes, pelos Órgãos Seccionais e pelos Órgãos Locais.

Vale menção específica aos parágrafos incisos V e VI e parágrafos §1º a 3º da referida lei, que tratam das atribuições dos órgãos Seccionais e Locais:

V - Órgãos Seccionais: os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental; (Redação dada pela Lei nº 7.804, de 1989)

VI - Órgãos Locais: os órgãos ou entidades municipais, responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades, nas suas respectivas jurisdições; (Incluído pela Lei nº 7.804, de 1989)

§ 1º - Os Estados, na esfera de suas competências e nas áreas de sua jurisdição, elaborarão normas supletivas e complementares e padrões relacionados com o meio ambiente, observados os que forem estabelecidos pelo CONAMA.

§ 2º Os Municípios, observadas as normas e os padrões federais e estaduais, também poderão elaborar as normas mencionadas no parágrafo anterior.

§ 3º Os órgãos central, setoriais, seccionais e locais mencionados neste artigo deverão fornecer os resultados das análises efetuadas e sua fundamentação, quando solicitados por pessoa legitimamente interessada.

Já a Lei n. 14.675, de 13 de abril de 2009, que institui o Código Estadual de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2009), constitui como órgão consultivo e deliberativo o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA, no artigo 11, estabelecendo suas atribuições no artigo 12:

Art. 11. O CONSEMA constitui instância superior do SISEMA, integrante da estrutura organizacional da Secretaria de Estado responsável pelo meio ambiente, de caráter colegiado, consultivo, deliberativo e recursal, com participação social paritária, competente para estabelecer padrões técnicos de proteção ambiental dentro dos limites estabelecidos em lei. (NR) (Redação dada pela Lei 18.350, de 2022)

Art. 12. O CONSEMA tem por finalidade orientar as diretrizes da Política Estadual do Meio Ambiente, competindo-lhe:

I - assessorar a Secretaria de Estado responsável pelo meio ambiente na formulação da Política Estadual do Meio Ambiente, no sentido de propor diretrizes e medidas necessárias à proteção, conservação e melhoria do meio ambiente;

II – estabelecer critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente;

III - acompanhar, examinar, avaliar o desempenho das ações ambientais relativas à implementação da Política Estadual do Meio Ambiente;

IV - sugerir modificações ou adoção de diretrizes que visem harmonizar as políticas de desenvolvimento tecnológico com as de meio ambiente;

V - propor a criação, a modificação ou a alteração de normas jurídicas com o objetivo de respaldar as ações de governo, na promoção da melhoria da qualidade ambiental no Estado, observadas as limitações constitucionais e legais;

VI – sugerir medidas técnico-administrativas direcionadas à racionalização e ao aperfeiçoamento na execução das tarefas governamentais nos setores de meio ambiente;

VII – propor diretrizes relativas à sistemática de elaboração, acompanhamento, avaliação e execução de planos, programas, projetos e atividades relacionados à área do meio ambiente;

VIII – propagar e divulgar medidas que facilitem e agilizem os fluxos de informações sobre o meio ambiente;

IX – aprovar e expedir resoluções regulamentadoras e moções, observadas as limitações constitucionais e legais;

X – julgar os processos e recursos administrativos que lhe forem submetidos, nos limites de sua competência;

XI - criar e extinguir câmaras técnicas, comissões e grupos de estudos, bem como deliberar sobre os casos omissos no seu regimento interno, observada a legislação em vigor;

XII – elaborar o seu regimento interno, que deverá ser aprovado por decreto.

XIII - aprovar a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, bem como definir os estudos ambientais necessários;

XIV - regulamentar os aspectos relativos à interface entre o Estudo de Impacto de Vizinhança – EIV e o Estudo de Impacto Ambiental – EIA, bem como estabelecer a regulamentação mínima para o EIV, de forma a orientar os Municípios nas suas regulamentações locais; (Redação revogada pela Lei 18.350, de 2022)

XV – avaliar o ingresso no Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza – SEUC de unidades de conservação estaduais e municipais nele não contempladas;

XVI – regulamentar os aspectos ambientais atinentes à biossegurança e aos agrotóxicos, seus componentes e afins;

XVII – indicar em caráter propositivo os aspectos relativos à interface entre os estudos ambientais e a regularização fundiária; e

XVIII – definir tipologia para o licenciamento de atividades de impacto local conforme os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade. (NR) (Redação dos incisos XVII e XVIII incluída pela Lei 18.350, de 2022)

O órgão executor IMA, constituído no artigo 14 da mesma Lei, possui as atribuições especificadas nos incisos do referido artigo, conforme se extrai do texto da lei:

Art. 14. Ao IMA, sem prejuízo do estabelecido em lei própria, compete: (Redação dada pela Lei 18.350, de 2022)

I - elaborar manuais e instruções normativas relativas às atividades de licenciamento, autorização e fiscalização ambientais, visando à padronização dos procedimentos administrativos e técnicos dos seus servidores;

II – implementar sistemas informatizados de controle ambiental, entre os quais aqueles decorrentes do licenciamento ambiental, da gestão florestal e das autuações ambientais das atividades de sua competência;

III – licenciar ou autorizar as atividades públicas ou privadas consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental, na forma prevista na Lei Complementar nacional nº 140, de 8 de dezembro de 2011;

IV – fiscalizar, auditar e acompanhar o cumprimento das condicionantes determinadas no procedimento de licenciamento ambiental;

V – lavrar auto de infração em formulário único do Estado e encaminhá-lo ao órgão ambiental licenciador, para a instrução do correspondente processo administrativo; (Redação dos incisos II ao V dada pela Lei 18.350, de 2022)

VI – desenvolver programas preventivos envolvendo transporte de produtos perigosos, em parceria com outras instituições governamentais;

VII – propor convênios com órgãos da administração federal e municipal buscando eficiência no que se refere à fiscalização e ao licenciamento ambientais;

VIII – supervisionar e orientar as atividades previstas em convênios;

IX - elaborar, executar ou coexecutar e acompanhar a execução de acordos internacionais relacionados à proteção de ecossistemas ambientais;

X – implantar o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza – SEUC;

XI – apoiar e executar, de forma articulada com os demais órgãos, as atividades de fiscalização ambiental de sua competência;

XII - articular-se com a Polícia Militar Ambiental no planejamento de ações de fiscalização, no atendimento de denúncias e na elaboração de Portarias internas conjuntas que disciplinam o rito do processo administrativo fiscalizatório;

XIII – fiscalizar e aplicar sanções administrativas, lavrando auto de infração em formulário único do Estado, bem como inscrever em dívida ativa os autuados devedores, quando da decisão não couber mais recurso administrativo;

XII – articular-se com a PMA no planejamento de ações de fiscalização e no atendimento de denúncias;

XIII – fiscalizar e aplicar sanções administrativas, emitir notificação de fiscalização, lavrar auto de infração ambiental e conduzir o respectivo processo administrativo, bem como inscrever em dívida ativa os autuados devedores, quando da decisão não couber mais recurso administrativo; (Redação dos incisos XII e XIII dada pela Lei 18.350, de 2022)

XIV – promover a execução fiscal dos créditos decorrentes das atividades de competência dos órgãos executores do sistema estadual de meio ambiente;

XV – ingressar em juízo para obrigar o infrator a cumprir a determinação, após estarem esgotadas as medidas administrativas para fazer cumprir a lei; e

XVI – articular-se com o órgão ambiental estadual executor e órgãos ambientais locais no planejamento de ações de fiscalização e no atendimento de denúncias. (Redação do inciso XVI incluída pela Lei 18.350, de 2022)

Extrai-se, portanto, dos artigos analisados, que tanto o órgão consultivo e deliberativo quanto o órgão executivo possuem legitimidade e atribuição para a criação de atos regulamentares e informativos com vistas a dar efetividade à Política Estadual do Meio Ambiente.

Analisando-se mais profundamente os instrumentos de regulação disponíveis a tais órgãos, cabe a leitura dos artigos 26 e seus incisos do Regimento Interno do CONSEMA (Decreto n. 2.143 de 11 de abril de 2014) (SANTA CATARINA, 2014), que trata da resolução e suas finalidades, bem como da Portaria do IMA nº 170, de 26 de julho de 2018 (IMA, 2018), que dispõe sobre o procedimento para a produção de Nota Técnica e Enunciados no âmbito do Instituto.

Art. 26. São atos do CONSEMA:

I – resolução:

- a) estabelece critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, de deliberação vinculada a diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental de sua competência;
- b) aprova a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, bem como define os estudos ambientais necessários; e
- c) detalha regras de funcionamento do Conselho, observadas as disposições deste Regimento Interno;

Art. 1º Estabelecer o procedimento para produção de Notas Técnicas e Enunciados no âmbito da Regularização Ambiental do Instituto do Meio Ambiente - IMA, considerando:

I – Nota Técnica: Documento orientativo para uso nas atividades de competência da regularização ambiental do IMA.

II – Enunciado: Nota Técnica que após análise colegiada recebeu caráter vinculante para uso nas atividades de competência da regularização ambiental do IMA.

Parágrafo único. No enunciado a que menciona o Inciso II conterá apenas as partes obrigacionais da Nota Técnica.

Art. 2º Para que uma Nota Técnica seja constituída, os seguintes procedimentos deverão ser atendidos:

I – Surgimento de uma necessidade de uniformização orientativa de determinado tema ou assunto no âmbito das atividades de regularização ambiental;

II – Elaboração do Termo de Sugestão de Nota Técnica, considerando obrigatoriamente a sua origem, seu objeto, sua pertinência e, sua abrangência;

III – Encaminhamento do Termo de Sugestão de Nota Técnica contendo o descrito no Inciso II, acima, ao Gerente de Desenvolvimento Ambiental, no caso das CODAMs e, ao Gerente hierárquico no caso das Gerências da Diretoria de Regularização Ambiental do IMA;

IV – Realização do exame admissibilidade por meio de verificação do conteúdo no Inciso II, acima, pela Comissão Regional de Licenciamento Ambiental – CRLA, no caso das CODAMs e, pelo Gerente hierárquico no caso das Gerências da Diretoria de Regularização Ambiental do IMA;

V - Encaminhamento do Termo de Sugestão de Nota Técnica à Diretoria de Regularização Ambiental para que esta paute junto a Comissão Central de Licenciamento Ambiental – CCLA, para apreciação em Reunião Ordinária;

Parágrafo único. A CRLA, Gerentes a que menciona o Inciso IV e a Diretoria de Regularização Ambiental poderão solicitar a complementação do Termo de Sugestão de Nota Técnica na sua origem, retomando a análise tão logo reencaminhado o Termo.

Art. 3º A CCLA por maioria simples de seus membros poderá:

I – Indeferir o Termo de Sugestão de Nota Técnica, comunicando a CODAM ou a Gerência de origem o seu arquivamento;

II – Deferir o Termo de Sugestão de Nota Técnica, determinando a Gerência de Processo Ambientais que o transforme em Nota Técnica;

III – Deferir o Termo de Sugestão de Nota Técnica, determinando a Gerência de Processo Ambientais que o transforme em Enunciado;

Parágrafo único. As decisões da CCLA deverão constar em ata.

Art. 4º Em reunião subsequente da CCLA deverá ser aprovado o texto do Enunciado, que será assinado pela Presidência do IMA.

Art. 5º A Nota Técnica será assinada pela Diretoria de Regularização Ambiental.

Art. 6º Poderá a Diretoria de Regularização Ambiental propor temas para constituição de Termos de Sugestão de Nota Técnica, quando então encaminhará a Gerência de Processos Ambientais para constituição do Termo com seu encaminhamento a própria Diretoria, conforme Inciso V, do Art. 2º desta Portaria.

Art. 7º Poderá a CCLA estabelecer temas de caráter orientativo ou vinculante, quando então por meio da Diretoria de Regularização Ambiental serão encaminhados a Gerência de Processo Ambientais para elaboração final das Notas Técnicas ou Enunciados.

Art. 8º As Notas Técnicas Orientativas serão disponibilizadas na Intranet do IMA e os Enunciados terão suas ementas publicadas em Diário Oficial do Estado e serão disponibilizados na íntegra da página do IMA na Internet.

Art. 9º Esta portaria entra em vigor na data de sua publicação.

Com base na legislação exposta e na competência dos órgãos ambientais Estaduais ora especificadas, foi definido, na presente pesquisa, a “Resolução”, como proposta de instrumento de regulação do licenciamento do setor do biogás. Ressalta-se que, também caberia, o emprego de “Nota Técnica” ou “Enunciado” do IMA/SC.

6 ANÁLISE DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Nesta etapa do estudo, teve-se como objetivo a realização da análise documental de Relatórios Ambientais Prévios (RAPs) de projetos de unidades de geração de biogás a partir de dejetos da pecuária no estado de Santa Catarina.

Visou-se, com isso, analisar as diretrizes, legislações e planos ambientais e medidas de controle ambiental que são comumente abordados nestes documentos. Tais estudos também serviram para subsidiar a elaboração da proposta de instrumento de regulação do licenciamento ambiental de unidades de geração de biogás a partir de dejetos da pecuária no estado de Santa Catarina.

Para obtenção dos documentos e informações complementares sobre o processo de licenciamento ambiental, foram realizados contatos com o IMA/SC, por meio de protocolo eletrônico, correios eletrônicos, e reunião presencial.

Com base nas informações obtidas, foi constatada uma série de considerações importantes sobre o processo de licenciamento ambiental de projetos de biogás e sobre os entraves do setor percebidos pelas entidades que lidam diretamente com os licenciamentos de atividades pecuárias. Dentre as dificuldades relatadas, está a falta de recursos financeiros dos produtores em custear um sistema de geração de biogás e a falta de financiamentos para incentivar o setor.

Também foi relatado que, apesar de existirem grandes compradores da produção pecuária na região oeste de Santa Catarina, a responsabilidade em relação a todos os resíduos e dejetos gerados pela atividade fica com o produtor. Em muitos casos, diante do tamanho de plantel, a instalação de biodigestor não tem viabilidade em termos de retorno financeiro.

O processo de obtenção documental dos estudos de impacto ambiental específico de unidades produtoras de biogás a partir de dejetos da pecuária apresentou certa dificuldade, visto que, de acordo com informações obtidas junto ao IMA/SC, o licenciamento de biodigestores utilizando substratos da pecuária nas propriedades, comumente, está incorporado no estudo de licenciamento da própria atividade, seja suinocultura, avicultura ou bovinocultura. Sendo assim, se tornou difícil ao órgão localizar, internamente, obter tais estudos específicos.

Dos diversos estudos obtidos, apenas 01 (um) RAP se enquadrou, especificamente, nos critérios de análise para a pesquisa. Este documento descreve que a unidade produtora de biogás utiliza substratos provenientes de dejetos suíno,

aviário e bovino, além de outros substratos correlatos (vísceras de aves, gorduras de laticínios, bagaço de laranja, cama de aves e ovos não encubados).

Conforme o Termo de Referência contido na Instrução Normativa nº 65 do IMA/SC (IMA, 2017):

O Relatório Ambiental Prévio (RAP) é um estudo técnico elaborado por um profissional habilitado ou mesmo equipe multidisciplinar, visando a oferecer elementos para a análise da viabilidade ambiental de empreendimentos ou atividades consideradas potencial ou efetivamente causadoras de degradação do meio ambiente. O objetivo de sua apresentação é a obtenção da Licença Ambiental Prévia (LAP).

O RAP deve apresentar uma caracterização da área, com base na elaboração de um diagnóstico simplificado da área de intervenção do empreendimento ou atividade e de seu entorno. Deve conter a descrição sucinta dos impactos resultantes da implantação do empreendimento ou atividade e a definição das medidas mitigadoras de controle e compensatórias, se couber.

O Quadro 12 apresenta as principais informações extraídas do RAP, as quais incluem a identificação do empreendimento, o local, a atividade desempenhada, o substrato utilizado para a produção do biogás, as características técnicas envolvidas, os impactos ambientais identificados, as medidas mitigadoras previstas e as condicionantes acrescentadas pelo IMA (quando houverem) para obtenção da licença.

Quadro 12- Relatório Ambiental Prévio

Identificação do empreendimento	Deonir Orsolin
Local	Caibi/SC
Atividade	Sistema de tratamento de efluentes sólidos e líquidos (orgânicos) constituído por um biodigestor anaeróbico de fluxo contínuo.
Substrato utilizado	Dejetos suínos, Vísceras de aves Dejetos de aviário, Gordura de laticínio, Bagaço de laranja Dejetos bovinos, Cama de aves, Ovos não encubados.
Características técnicas	Sistema de tratamento de efluentes sólidos e líquidos (orgânicos) constituído por um biodigestor anaeróbico de fluxo contínuo.
Impactos ambientais	- Poluição das águas pelos dejetos aplicados em áreas de lavoura ou pastagens; - Erosão; - Emissão de odores e gases de efeito estufa do biodigestor (CH ₄ , CO ₂ e N ₂ O), apesar de serem menores que as lançadas pelas esterqueiras utilizadas até então. - Movimentação de Máquinas e Veículos; - Movimentação do solo; - Impermeabilização e compactação do solo; - Geração de resíduos sólidos;

	<ul style="list-style-type: none"> - Alteração da paisagem; - Aumento de tráfego no local;
Medidas mitigadoras	<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção de máquinas e veículos; - Revegetação de aterros e taludes; - Controle, coleta e destinação adequada de resíduos sólidos; - Monitoramento e controle ambiental durante a execução das obras e operação do empreendimento;
Condições do IMA na licença	<ul style="list-style-type: none"> - RESÍDUO SÓLIDOS: Os resíduos sólidos classe II deverão ser destinados a aterro sanitário devidamente licenciado; Os resíduos sólidos classe I deverão ser destinados a aterro de resíduos industriais devidamente licenciado; Os resíduos sólidos reaproveitáveis podem ser destinados a terceiros para reciclagem devidamente licenciada ou reaproveitados na planta industrial; O tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos de qualquer natureza são de responsabilidade e às custas do próprio empreendedor, sendo tolerado acúmulo temporário, desde que não ofereça risco à saúde pública e ao meio ambiente, conforme o disposto em Lei. - EMISSÕES ATMOSFÉRICAS: As emissões atmosféricas deverão atender aos padrões de qualidade do ar, conforme o disposto em Lei. As emissões de ruídos devem obedecer, no interesse da saúde, da segurança e do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidas em Lei. - Efluentes líquidos: Os efluentes líquidos, independente do estado de tratamento, que forem lançados para fora da área da planta industrial e/ou dos sistemas de controle ambiental do empreendimento, devem atender aos padrões de emissão de efluentes líquidos, conforme o disposto em Lei; Os esgotos sanitários tratados através de tanque séptico, filtro anaeróbio e sumidouro; Realizar a operação e manutenção adequada e periódica dos dispositivos de controle ambiental; Programas ambientais PGRS da construção civil. - Condições específicas <ul style="list-style-type: none"> 1) Após a conclusão das obras, o empreendedor deverá formalizar pedido de LAO - Licença Ambiental de Operação, constando: <ul style="list-style-type: none"> 1.1) Relatório Técnico analítico, conclusivo e fotográfico da conclusão das obras, constando: <ul style="list-style-type: none"> 1.1.1) Planta geral atualizada do empreendimento. 1.1.2) Comprovantes da destinação de resíduos gerados durante as obras. 1.1.3) Memorial descritivo da conclusão da ampliação, informando se houve alterações no projeto apresentado. 1.1.4) Relatório fotográfico da conclusão das obras. 1.2) ART - Anotação de Responsabilidade Técnica do profissional que elaborou e subscreveu o Relatório Técnico e as plantas. 1.3) PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. 1.4) Demais documentos constantes na IN 65 IMA. 2) Deverá cercar e promover a revegetação da APP - Área de Preservação Permanente gerada pelo curso hídrico na área do empreendimento, apresentando os projetos e relatório fotográfico na formalização da LAO - Licença Ambiental de Operação.

A possibilidade de estudar o Relatório Ambiental Prévio (RAP) e sua licença fornecidos pelo IMA/SC permitiu tecer algumas considerações sobre os principais impactos presentes nos procedimentos de licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária.

Dentre os impactos ambientais destacam-se as emissões atmosféricas. Isso porque, mesmo aproveitando parte do gás metano pela atividade para geração do biogás, sempre existem dispersões de gases que possuem efeitos atmosféricos. Importante também mencionar que existem mecanismos e equipamentos para tratamento dessas emissões que podem e devem ser previstos nos estudos de impactos ambientais, caso essas emissões extrapolem os limites previstos na legislação correlata.

Outro impacto importante mencionado no estudo é o da geração de resíduos e seu tratamento e destinação, em que parte do composto decorrente do processo de biodigestão será aplicado em pastagens vizinhas ao empreendimento. Por esse mesmo motivo, o RAP considerou a possibilidade de geração de efeitos nos recursos hídricos próximos. A movimentação do solo, erosão e alteração da paisagem também são impactos significativos, para os quais medidas mitigadoras de revegetação de aterros e taludes e monitoramento e controle ambiental foram previstas.

O aumento do tráfego no local e circulação de máquinas e veículos também foi considerados, sendo que apenas a manutenção das máquinas e veículos foi prevista como medida mitigadora.

Cuidados em relação à formação de gases de efeitos tóxicos e inflamáveis, como medidores, e normas de transporte de substratos e dos produtos gerados (biogás e digestato) não foram identificados no estudo observado.

Também em relação aos impactos relacionados à saúde humana, que está contemplada no sentido amplo do termo meio ambiente, foram encontradas poucas indicações no estudo observado. Cuidados como o do manejo dos substratos, do digestato, do biodigestor e do biogás (que é inflamável) não foram localizados, apesar da vasta legislação de proteção ao trabalho incidente em todas as atividades.

Cabe enfatizar a importante atuação do IMA/SC na análise do estudo e na concessão da licença, já que foram inseridas condições específicas pelo órgão ambiental para a realização da atividade.

A partir das informações levantadas e das observações feitas, é possível apontar para a importância do processo de licenciamento ambiental como um fator de proteção, antecipação e mitigação de danos ambientais. Isso ocorre pois o procedimento de licenciamento e os estudos necessários exigem desde fases anteriores à implantação da atividade atenção e cuidado em relação aos impactos ambientais decorrentes, padronizando critérios técnicos sem deixar de levar em conta a realidade de cada estabelecimento.

Ainda, se pode propor que o documento poderia abordar o tema sobre o meio ambiente de maneira mais ampla, contemplando aspectos relacionados à saúde humana no manejo e contato com a operação do biodigestor e com substratos ou resíduos da atividade.

A pesquisa bibliográfica realizada nos capítulos precedentes e a análise do estudo ambiental obtido junto ao órgão ambiental serviram como subsídios para a fundamentação e construção da proposta de instrumento de regulação para o licenciamento de atividades de produção de biogás a partir de dejetos da pecuária em Santa Catarina, a ser descrita na seção que se segue.

7 PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Conforme descrito na Seção 5 sobre a legislação que regulamenta o assunto, os Estados possuem competência para, nas suas áreas de jurisdição, elaborarem normas supletivas e complementares e padrões relacionados com o meio ambiente, observados os que foram estabelecidos pelo CONAMA, de acordo com o que preceitua o art. 6º, §1º, da Lei 6.938/81.

Também se discorreu sobre a finalidade de orientar as diretrizes da Política Estadual do Meio Ambiente delegada ao CONSEMA, competindo-lhe estabelecer critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente e aprovar e expedir resoluções reguladoras e moções, observadas as limitações constitucionais e legais, consoante o art. 12, incisos II e VII, da Lei nº 14.675/09.

Outrossim, observou-se a relevância do procedimento administrativo em que consiste o licenciamento ambiental, por meio do qual são licenciadas a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso, conforme expõe a Resolução 237 do CONAMA.

A Política Estadual do Biogás em Santa Catarina já demonstra preocupação com o tratamento adequado dos dejetos da pecuária no estado, atividade econômica importante e crescente, especialmente na região oeste do estado.

Essa mesma legislação, nº 17.542/2018, no inciso VII do art. 5º, elenca como instrumento da Política Estadual do Biogás a prioridade e a simplificação dos licenciamentos para empreendimentos da cadeia produtiva do biogás por meio de regulamento próprio dos órgãos estaduais competentes.

Sendo assim, compreende-se que a atividade de geração de biogás a partir de dejetos da pecuária consiste em uma atividade em si mesma, carecendo de padronização dos procedimentos de licenciamento ambiental dessa atividade no Estado, em atendimento ao inciso VII, art. 5º da Política Estadual do Biogás.

No entanto, apesar da previsão de necessidade de simplificação do procedimento de licenciamento ambiental das atividades de geração de biogás,

entende-se, a partir de uma interpretação sistemática, que tal indicação não consiste, necessariamente, na adoção do processo simplificado, nos quais a atividade é licenciada por meio de Autorização Ambiental (AuA).

O instrumento de licenciamento ambiental simplificado, previsto na Lei nº 14.675/2009 e Resolução CONSEMA nº 98/2017, é constituído por um único ato, a Autorização Ambiental (AuA), com prazo de validade de até 04 (quatro) anos, que aprova a localização e concepção do empreendimento ou atividade, bem como sua implantação e operação, de acordo com os controles ambientais aplicáveis a serem definidos pelo órgão ambiental licenciador.

Tal procedimento é aplicável aos casos autorizados pela Resolução n. 98 do CONSEMA, o que não é, até então, o caso da atividade de geração de biogás e nem se recomenda que seja, considerando os impactos ambientais envolvidos, conforme amplamente abordados na Seção 4.8.

A atividade de geração de biogás, como demonstrado por diversos estudos técnicos, apresenta impactos ao solo, recursos hídricos, atmosféricos e à saúde humana relevantes, sendo que a própria Resolução n. 98 do CONAMA classifica-a como de potencial degradador MÉDIO.

Sendo assim, na presente investigação, optou-se por não adotar o processo simplificado previsto na Lei nº 14.675/2009, como categoria para o licenciamento de unidades geradoras de biogás, entendendo-se de forma diferenciada a expressão “simplificação do procedimento”, desejada pela Política Estadual do Biogás, do “processo simplificado” instituído pela lei retro citada.

Além dos já citados impactos ambientais que justificam tal entendimento, sob uma perspectiva hermenêutica, pode-se concluir que as expressões contenham significados diferentes e que a simplificação do procedimento desejada pela Política Estadual do Biogás já ocorre por força da própria regulamentação específica da atividade, não sendo necessário abreviar o processo de licenciamento para que ele se torne mais claro e fluído.

Tanto por uma interpretação literal, como por uma interpretação sistemática se poderia justificar a distinção entre as duas expressões e que o entendimento mais adequado é aquele que protege de forma mais efetiva o fim maior do procedimento de licenciamento como um todo, que é o meio ambiente.

Nesse contexto, na presente seção, é proposto um instrumento de regulação do licenciamento ambiental de empreendimentos de produção de biogás a partir de dejetos da pecuária no Estado de Santa Catarina.

Tal instrumento foi elaborado na forma de Resolução, conforme justificado no capítulo 5, entendendo-se, ainda, pela adoção do procedimento de licenciamento ambiental da forma padrão, em três etapas, divididas em licença prévia, licença de instalação e licença de operação, considerando o potencial depredador médio da atividade.

Para tanto, utilizou-se como referências algumas normas que regulamentam atividades análogas ou a própria atividade em outros entes da federação, o qual compreendeu:

i) Resolução n. 08 da Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do Estado do Paraná – SEDEST de 23 de fevereiro de 2021, que estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de biodigestores com aproveitamento energético de biogás no âmbito do Estado do Paraná (SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ, 2021);

ii) Resolução n. 047 da Secretaria de Estado e de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo de 29 de agosto de 2020, que estabelece diretrizes e condições para o licenciamento de unidades de preparo de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos - CDR e da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de CDR (SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, 2020);

iii) Resolução n. 143 do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – CONSEMA de 1º de novembro de 2019 que define critérios para o licenciamento ambiental e monitoramento das atividades relativas à suinocultura (CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA, 2019).

A proposta da Resolução foi estruturada contando com 5 capítulos, divididos em seções e subseções, conforme se segue no Quadro 13.

Quadro 13 – Estrutura da proposta de Resolução

Súmula
Considerações
Capítulo I – Definições
Capítulo II – Licenciamento Ambiental
Seção I – Atos administrativos
Seção II - Da definição do porte, tipo de licenciamento e de estudo ambiental
Seção III - Documentação para o licenciamento ambiental
Subseção I - Licença Ambiental Prévia
Subseção II - Licença Ambiental de Instalação
Subseção III - Licença Ambiental de Operação
Seção VI - Dos prazos de validade das licenças
Seção V - Do procedimento de licenciamento ambiental
Capítulo III – Aspectos técnicos
Seção I – Das etapas de produção
Subseção I – Do transporte do substrato
Subseção II - Do Armazenamento, manuseio e introdução do substrato
Subseção III – Do biodigestor
Subseção IV – Do digestato
Subseção V – Do biogás
Seção II – Dos efluentes líquidos
Seção III – Quanto aos resíduos sólidos e rejeito
Seção IV – Quanto às emissões atmosféricas
Seção V – Quanto ao gerenciamento de riscos e segurança
Capítulo IV – Aspectos locacionais
Capítulo V – Disposições gerais

O Quadro 14 apresenta as principais referências legislativas e bibliográficas utilizadas na construção de cada capítulo da Resolução. Cabe ressaltar que se recorreu à matriz orientativa e à literatura, para que não ocorressem conflitos de definições e parâmetros em legislações pretéritas, as quais pudessem colidir com as propostas na presente Resolução.

Quadro 14 – Referências da proposta de Resolução

CAPÍTULO	REFERÊNCIAS NORMATIVAS E BIBLIOGRÁFICAS
Capítulo I- Definições	Foram utilizadas definições de legislações correlatas já existentes, tais como: - Resolução n. 8 de 23 de janeiro de 2021 do Estado do Paraná (SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ, 2021), -Resolução n. 143 de 1º de novembro de 2019 do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA, 2019), - Lei n. 17.542 de 12 de julho de 2018 que institui a Política Estadual de Biogás (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2018b),

	<p>- Instrução Normativa n. 65 do Instituto de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina sobre suinocultura (IMA, 2017),</p> <p>- Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2010),</p> <p>- Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)</p> <p>além de definições técnicas retiradas da literatura (TABATABAEI et al., 2020) pag 1396.</p>
Capítulo II- Licenciamento Ambiental	<p>Para a construção das Seções I e II foram utilizadas como referenciais:</p> <p>- Lei Estadual nº 14.675, de 13 de abril de 2009, que institui o Código Estadual de Meio Ambiente, com as alterações feitas pela Lei nº 18.350 de 27 de janeiro de 2022 e a</p> <p>- Resolução nº 98, de 5 de julho de 2017, do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA).</p> <p>A Seção III trouxe as listas de documentos necessários para o licenciamento ambiental já dispostas na Instrução Normativa 65 do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA/SC) para obtenção de cada licença em específico.</p> <p>A Seção IV trouxe novamente prazos de validade das licenças contidos na Resolução CONSEMA nº 98, de 5 de julho de 2017, do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA).</p> <p>Já a seção V tomou como referência principalmente a Resolução 143, de 01 de novembro de 2019, do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA).</p>
Capítulo III - Aspectos técnicos	<p>Seção I – Das etapas de produção: Contou principalmente com as orientações constantes na cartilha Conceitos para o Licenciamento de usinas de biogás do PROBIOGÁ, no seu capítulo 5, Aspectos/impactos ambientais e questões de segurança em usinas de biogás (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).</p> <p>Seção II – Dos efluentes líquidos: Resolução n. 181, de 02 de agosto de 2021, do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA/SC).</p> <p>Seção III – Quanto aos resíduos sólidos e rejeitos:</p> <p>- Resolução n. 114, de 10 de novembro de 2017, do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA/SC);</p> <p>- Livro Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato, publicado pela Embrapa Suínos e Aves, 2019 (KUNZ et al., 2019).</p> <p>Seção IV – Quanto às emissões atmosféricas: Resolução n. 382, de 26 de dezembro de 2006, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).</p> <p>Seção V – Quanto ao gerenciamento de riscos e segurança: novamente a cartilha Conceitos para o Licenciamento de usinas de biogás do PROBIOGÁ, no seu capítulo 5, Aspectos/impactos ambientais e questões de segurança em usinas de biogás (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016) trouxe importantes diretrizes.</p>
Capítulo IV - Aspectos locacionais	<p>Orientou-se pelo disposto na Resolução n. 8 de 23 de janeiro de 2021 do Estado do Paraná (SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ, 2021) e na Lei 6.320 de 20 de</p>

	dezembro de 1983, que institui o Código Sanitário do Estado de Santa Catarina.
Capítulo V - Disposições gerais	Levou em consideração disposições constantes da Instrução Normativa n. 143 do Instituto de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (IMA/SC), como também algumas disposições gerais constantes da Resolução n. 8 de 23 de janeiro de 2021 do Estado do Paraná (SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ, 2021) como referências.

A seguir, passa-se à proposta do texto da Resolução em sua íntegra.

PROPOSTA DE RESOLUÇÃO
<p>Súmula: Esta proposta pretende apresentar uma sugestão de Resolução com vistas a estabelecer definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de BIODIGESTORES COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DA PECUÁRIA no âmbito do Estado do Estado de Santa Catarina.</p> <p>CONSIDERANDO os tratados internacionais sobre meio ambiente e mudanças climáticas dos quais o Brasil é signatário, incluindo a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima.</p> <p>CONSIDERANDO o disposto no artigo 225, seus incisos e parágrafos, da Constituição Federal de 1988, que trata sobre o direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.</p> <p>CONSIDERANDO o inciso IV do §1º do artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que elenca a incumbência ao Poder Público de exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, para assegurar a efetividade do disposto no caput do artigo 225 anteriormente mencionado.</p> <p>CONSIDERANDO que, de acordo com o Art. 6º, §1º, da Política Nacional do Meio Ambiente, Lei federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, “os Estados, na esfera de</p>

suas competências e nas áreas de sua jurisdição, elaborarão normas supletivas e complementares e padrões relacionados com o meio ambiente, observados os que forem estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA”;

CONSIDERANDO as determinações estabelecidas pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 e pela Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA nº 98, sobre critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente.

CONSIDERANDO que, conforme previsto na resolução 237 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, o licenciamento ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

CONSIDERANDO que, conforme previsto na resolução 237 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, licença ambiental é o ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

CONSIDERANDO que, consoante art. 12, incisos II e VII, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina, o Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA tem por finalidade orientar as diretrizes da Política Estadual do Meio Ambiente, competindo-lhe estabelecer critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade

do meio ambiente e aprovar e expedir resoluções regulamentadoras e moções, observadas as limitações constitucionais e legais;

CONSIDERANDO os princípios e objetivos dispostos na Lei nº 17.542, de 12 de julho de 2018, que institui a Política Estadual do Biogás em Santa Catarina.

CONSIDERANDO o disposto no inciso VII do artigo 5º da Lei 17.542/2018, de 12 de julho de 2018, que elenca como instrumento da Política Estadual do Biogás a prioridade e a simplificação dos licenciamentos para empreendimentos da cadeia produtiva do biogás por meio de regulamento próprio dos órgãos estaduais competentes.

CONSIDERANDO o problema ambiental causado pela maciça exploração econômica resultante da criação intensiva de animais que alimenta a agroindústria catarinense, quando seus resíduos não são tratados adequadamente;

CONSIDERANDO que a unidade de produção de gás e biogás, com ou sem aproveitamento energético, consta no item 34.20.00 da Resolução nº 98 do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina que lista as atividades sujeitas ao licenciamento ambiental;

CONSIDERANDO a necessidade de padronização dos procedimentos de licenciamento ambiental dessa atividade no Estado;

RESOLVE:

Art. 1º Estabelecer definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás produzido a partir de dejetos da atividade pecuária no Estado de Santa Catarina.

CAPÍTULO I DEFINIÇÕES

Art. 2º Para efeitos desta Lei, ficam estabelecidas as seguintes definições:

I – Biodigestão: reciclagem de biomassa, por meio da transformação dos resíduos em novos produtos, alterando-se suas propriedades físicas, químicas e biológicas;

II – Biodigestores: equipamento utilizado para o tratamento anaeróbio da matéria orgânica e geração de biogás;

III – Biomassa: todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado na produção de biogás;

IV – Biometano: biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás, nas especificações definidas pelos órgãos competentes;

V – Biogás: gás bruto obtido da biodigestão;

VI – Cadeia produtiva: conjunto de atividades e empreendimentos ligados entre si por relações contratuais e/ou comerciais que fazem parte de setores da economia que utilizam, produzem, industrializam, distribuem, transportam ou comercializam produtos e direitos derivados da biodigestão ou ainda que prestam serviços relacionados a esses produtos e direitos;

VII - Codigestão: Uma mistura de substratos provenientes de diferentes origens, tais como os efluentes e resíduos orgânicos industriais, agropecuários e domésticos.

VIII - Dejetos da pecuária: mistura de fezes, urina e água de lavagem, gerados nos diferentes sistemas de produção;

IX. Digestato: efluente de biodigestores resultante da decomposição da biomassa pelo processo de biodigestão anaeróbia;

X. Efluente: despejos líquidos provenientes de estabelecimentos industriais (efluente industrial), das atividades humanas (efluente ou esgoto doméstico), das atividades agropecuárias e das redes pluviais;

XI - Efluente tratado: água residuária que atinge o padrão de lançamento em corpo d'água fixado pela Resolução CONAMA nº 430/11;

XII – Empreendimento-tipo de produção e comercialização de biogás ou biometano: empreendimento agrícola (granja), industrial ou comercial cujas características principais e cujos impactos ambientais são conhecidos e já estão previamente definidos pelos órgãos colegiados, consultivos e deliberativos competentes e em regulamento próprio;

XIII – Esterqueiras: sistema de armazenamento de dejetos ou depósitos que tem por objetivo a redução da carga orgânica e mineralização dos dejetos provenientes de sistemas de produção pecuária;

XIV – Estudo Ambiental Simplificado (EAS): estudo técnico elaborado por equipe multidisciplinar que oferece elementos para a análise da viabilidade ambiental de empreendimentos ou atividades consideradas potencial ou efetivamente causadoras de degradação do meio ambiente. O objetivo de sua apresentação é a obtenção da Licença Ambiental Prévia.

XV – Gerador de biomassa: pessoa natural ou jurídica que faz parte de cadeia produtiva que gera biomassa;

XVI. Gerador de resíduos e efluentes: pessoas físicas ou jurídicas que geram resíduos e efluentes em suas atividades;

XVII. Licenciamento ambiental: ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos

recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação e/ou modificação ambiental;

XVIII. Licença ambiental: ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação e/ou modificação ambiental;

XIX. Lodo de biodigestor: resíduo sólido formado pela sedimentação de partículas de maior granulometria e baixa biodegradabilidade que se acumula no fundo de biodigestores de lagoa coberta ou modelos sem agitação da biomassa e que apresenta teores consideráveis de nutrientes que possibilitam o seu uso para adubação do solo e nutrição de plantas;

XX – Ponto de saturação: situação em que um empreendimento atinge a quantidade máxima suportável de matéria orgânica e de nutrientes, definida por ato regulamentar do órgão colegiado consultivo e deliberativo competente, sem comprometer a saúde humana e animal e o meio ambiente;

XXI – Produtor de biogás: pessoa natural ou jurídica que recicla biomassa e produz, utiliza diretamente ou comercializa biogás;

XXII – Produtor de biometano: pessoa natural ou jurídica que purifica biogás para obter biometano, utiliza-o diretamente ou comercializa-o;

XXIII – Relatório Ambiental Prévio (RAP): estudo técnico elaborado por um profissional habilitado ou mesmo equipe multidisciplinar, visando a oferecer elementos para a análise da viabilidade ambiental de empreendimentos ou atividades consideradas potencial ou efetivamente causadoras de degradação do meio ambiente. O objetivo de sua apresentação é a obtenção da Licença Ambiental Prévia (LAP).

XXIV – Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

XXV – Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

XXVI – Responsabilidade solidária: conjunto de obrigações encadeadas dos membros de uma mesma cadeia produtiva para dar destinação final adequada aos resíduos uns dos outros, para evitar atingir o ponto de saturação em qualquer de seus empreendimentos, de modo a evitar impactos à saúde humana e animal e ao meio ambiente;

XXVII – Responsabilidade subsidiária: conjunto de obrigações encadeadas e atribuições individualizadas, assumidas contratualmente pelos geradores de biomassa, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados e para reduzir os impactos à saúde humana e animal e ao meio ambiente;

CAPÍTULO II
LICENCIAMENTO AMBIENTAL
Seção I
Dos atos administrativos

Art. 3º O Órgão Ambiental Competente, no exercício de sua competência de controle ambiental, expedirá os seguintes atos administrativos licenciadores:

I. Licença Ambiental Prévia (LAP): Com prazo de validade de no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 5 (cinco) anos, é concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação (Lei Estadual nº 14.675/2009 e Resolução CONSEMA nº 98/2017).

II. Licença Ambiental de Instalação (LAI): Com prazo de validade de no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 6 (seis) anos, autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental, e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante (Lei Estadual nº 14.675/2009 e Resolução CONSEMA nº 98/2017).

III. Licença Ambiental de Operação (LAO): Com prazo de validade de no mínimo de 4 (quatro) e máximo de 10 (dez) anos, autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação (Lei Estadual nº 14.675/2009 e Resolução CONSEMA nº 98/2017).

Seção II

Da definição do porte, tipo de licenciamento e de estudo ambiental

Art. 4º Para os efeitos desta Resolução, os empreendimentos que contemplem biodigestores serão licenciados de acordo com sua classificação e porte, conforme definido pela Resolução 98 do CONSEMA, de acordo com os seguintes critérios:

I. A unidade de produção de gás e biogás, com ou sem aproveitamento energético, é considerada de potencial degradador médio em relação ao ar, pequeno em

relação à água e pequeno em relação ao solo, motivo pelo qual é classificada como de potencial degradador geral médio.

II. Será considerada de pequeno porte a unidade de produção de gás e biogás, com ou sem aproveitamento energético, cuja vazão não exceda a 500 Nm/h, exigindo a elaboração de Relatório Ambiental Prévio (RAP) para o seu licenciamento.

III. Será considerada de médio porte a unidade de produção de gás e biogás, com ou sem aproveitamento energético, cuja vazão seja superior a 500 Nm/h e não exceda 2.000 Nm/h, exigindo a elaboração de Relatório Ambiental Prévio (RAP) para o seu licenciamento.

IV. Será considerada de grande porte a unidade de produção de gás e biogás, com ou sem aproveitamento energético, cuja vazão seja superior a 2.000 Nm/h, exigindo a elaboração de Estudo Ambiental Simplificado (EAS) para o seu licenciamento.

Art. 5º O Estudo Ambiental Simplificado (EAS) deve abordar a interação entre elementos dos meios físico, biológico e socioeconômico, buscando a elaboração de um diagnóstico integrado da área de influência do empreendimento ou atividade. Deve possibilitar a avaliação dos impactos resultantes da implantação do empreendimento ou atividade, e a definição das medidas mitigadoras, de controle ambiental e compensatórias, quando couber. Deve conter estudo geotécnico para fins de ocupação, uso do solo e urbanização para caso de áreas com possibilidade de subsidência, risco de deslizamento, de erosão, de inundação ou de qualquer suscetibilidade geotécnica. (Instrução normativa nº 65)

Art. 6º O Relatório Ambiental Prévio (RAP) deve apresentar uma caracterização da área, com base na elaboração de um diagnóstico simplificado da área de intervenção do empreendimento ou atividade e de seu entorno. Deve conter a descrição sucinta dos impactos resultantes da implantação do empreendimento ou atividade e a definição das medidas mitigadoras de controle e compensatórias, se couber. Mapas, plantas, fotos, imagens e outros documentos complementares deverão ser apresentados como anexo. Deve conter estudo geotécnico para fins de

ocupação, uso do solo e urbanização para no caso de áreas com possibilidade de subsidência, risco de deslizamento, de erosão, de inundação ou de qualquer suscetibilidade geotécnica. (Instrução normativa nº 65)

Seção III

Documentação para o licenciamento ambiental

Subseção I

Licença Ambiental Prévia

Art. 7º Os requerimentos de Licença Ambiental Prévia (LAP) deverão ser instruídos com a documentação abaixo descrita (Instrução Normativa 65 IMA):

I. Procuração para representação do interessado, com firma reconhecida.

II. Ata de eleição da última diretoria quando se tratar de Sociedade ou do Contrato Social registrado quando se tratar de Sociedade de Quotas de Responsabilidade Limitada.

III. Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) ou Cadastro de Pessoa Física (CPF).

IV. Certidão de viabilidade da Prefeitura Municipal relativa ao atendimento às diretrizes municipais de desenvolvimento e plano diretor (uso do solo) e sobre a localização do empreendimento quanto ao ponto de captação de água para abastecimento público (montante ou jusante). Não serão aceitas certidões que não contenham data de expedição, ou com prazo de validade vencido. Certidões sem prazo de validade serão consideradas válidas até 180 dias após a data da emissão.

V. Declaração de profissional habilitado ou da prefeitura municipal, informando se a área está sujeita a alagamentos ou inundações. Em caso afirmativo deve ser informada a cota máxima da mesma.

VI. Certidão de viabilidade emitida pela prestadora de serviço público de abastecimento de água para o fornecimento, considerando a vazão estimada para as fases de implantação (se houver) e operação. A certidão deve informar qual sistema de abastecimento fornecerá a água tratada, bem como a sua capacidade atual total de fornecimento e a capacidade já comprometida considerando a vazão operacional média, em L/s; ou Outorga Preventiva para adução de água superficial ou subterrânea, nos casos de abastecimento próprio na implantação ou operação e/ou autorização para perfuração de poço.

VII. Certidão de viabilidade emitida pela prestadora de serviço público de coleta e tratamento de esgoto sanitário para atendimento ao empreendimento, considerando a demanda estimada nas fases de implantação (se houver) e operação, em L/s. A Certidão deve informar para qual sistema de tratamento será encaminhado o esgoto, bem como a sua capacidade atual total de tratamento e a capacidade já comprometida considerando a vazão operacional média e máxima, em L/s; ou Dispensa de Outorga emitida pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, nos casos de lançamento de efluente tratado em curso hídrico.

VIII. Certidão de viabilidade emitida pela prestadora de serviço público de drenagem, para o lançamento de efluente na rede municipal de drenagem pluvial. A certidão deve informar se a rede municipal de drenagem pluvial possui capacidade hidráulica compatível com a demanda estimada do empreendimento e indicar o corpo receptor da galeria de águas pluviais a ser utilizada, quando couber.

IX. Estudo Ambiental correlato.

X. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do Estudo Ambiental correlato.

XI. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do estudo fitossociológico.

XII. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do estudo faunístico.

Subseção II

Licença Ambiental de Instalação

Art. 8º Os requerimentos de Licença Ambiental de Instalação (LAI) deverão ser instruídos com a documentação abaixo descrita (Instrução Normativa 65 IMA):

I. Procuração, para representação do interessado, com firma reconhecida.

II. Transcrição ou Matrícula do Cartório de Registro de Imóveis, atualizada (no máximo 30 dias de expedição), ou documento autenticado que comprove a posse ou possibilidade de uso do imóvel.

III. Autorização da prestadora de serviço público de coleta e tratamento de esgoto sanitário para o lançamento de esgoto do empreendimento na rede pública, nos casos de conexão na fase de instalação. A autorização deve informar para qual sistema de tratamento será encaminhado o esgoto, bem como a sua capacidade atual total de tratamento e a capacidade já comprometida considerando a vazão operacional média e máxima, em L/s.

IV. Autorização de conexão da prestadora de serviço público de abastecimento de água, nos casos de fornecimento na fase de implantação. A autorização deve informar qual sistema de abastecimento fornecerá a água tratada, bem como a sua capacidade atual total de fornecimento, e a capacidade já comprometida considerando a vazão operacional média, em L/s ou Outorga de Direito de Uso emitida pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável para adução de água superficial ou subterrânea, nos casos de abastecimento próprio na fase de implantação.

V. Autorização do município para interligação do sistema de drenagem do empreendimento à rede municipal de drenagem pluvial, quando couber. A

autorização deve informar se a rede municipal de drenagem pluvial possui capacidade hidráulica como demanda do empreendimento.

VI. Cessão de Uso de Águas Públicas expedida pela Secretaria de Patrimônio da União – SPU, quando couber.

VII. Projeto arquitetônico e de locação, com memorial de descritivo, das unidades que compõem o empreendimento nas fases de instalação e operação.

VIII. Projeto executivo, com memorial descritivo e de cálculo, plantas e cortes, das unidades de controle ambiental (efluente sanitário, emissões atmosféricas, resíduos sólidos).

IX. Projeto executivo de drenagem pluvial, com memorial descritivo e de cálculo, plantas e cortes, nas fases de instalação e operação, quando couber. Em empreendimentos usuários de recursos hídricos incluir o projeto executivo do sistema de captação e uso de águas pluviais.

X. Projeto básico, com memorial descritivo, do(s) canteiro(s) de obras, quando couber.

XI. Projeto de terraplanagem, com memorial descritivo, quando couber.

XII. Projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil.

XIII. Estudo de análise de risco e plano de ação emergencial das fases de implantação e operação do empreendimento, quando couber.

XIV. Planos e Programas Ambientais, detalhados a nível executivo.

XV. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do projeto arquitetônico.

XVI. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do projeto executivo das unidades de controle ambiental.

XVII. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do projeto de drenagem pluvial.

XVIII. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do projeto de terraplanagem.

XIX. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do Estudo de Análise de Riscos, quando couber.

XX. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração dos Planos e Programas Ambientais.

Subseção III

Licença Ambiental de Operação

Art. 9º Os requerimentos de Licença Ambiental de Operação (LAO) deverão ser instruídos com a documentação abaixo descrita (Instrução Normativa 65 IMA):

I. Procuração, para representação do interessado, com firma reconhecida.

II. Autorização da prestadora de serviço público de coleta e tratamento de esgoto sanitário para o lançamento de esgoto do empreendimento na rede pública. A autorização deve informar para qual sistema de tratamento será encaminhado o esgoto, bem como a sua capacidade atual total de tratamento e a capacidade já comprometida considerando a vazão operacional média e máxima, em L/s.

III. Autorização da prestadora de serviço público de drenagem para interligação do sistema de drenagem do empreendimento à rede municipal de drenagem pluvial ou para o lançamento de efluente na rede, quando couber.

IV. Autorização de conexão emitida pela prestadora de serviço público de abastecimento de água. A autorização deve informar qual sistema de abastecimento fornecerá a água tratada, bem como a sua capacidade atual total de fornecimento, e a capacidade já comprometida considerando a vazão operacional média, em L/s, ou Outorga de Direito de Uso emitida pela SDE, nos casos de adução de água superficial ou subterrânea.

V. Relatório técnico comprovando efetivo cumprimento das exigências e condicionantes estabelecidos na Licença anterior, acompanhado de relatório fotográfico.

VI. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do relatório técnico.

VII. Estudo de Conformidade Ambiental (ECA) (Empreendimentos em regularização).

VIII. Documentação de responsabilidade técnica, emitida pelo conselho, do(s) profissional(ais) habilitado(s) para a elaboração do Estudo de Conformidade Ambiental.

Seção IV

Dos prazos de validade das licenças

Art. 10. O órgão ambiental competente estabelecerá os prazos de validade de cada tipo de licença, especificando-os no respectivo documento, levando em consideração (Res. 98 CONSEMA):

I - o prazo de validade da LAP deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 5 (cinco) anos;

II - o prazo de validade da LAI deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 6 (seis) anos;

III - o prazo de validade da LAO deverá ser de no mínimo 4 (quatro) anos e no máximo 10 (dez) anos.

§ 1º A LAP e a LAI poderão ter os prazos de validade prorrogados, desde que não ultrapassem os prazos máximos estabelecidos nos incisos I e II.

§ 2º Nos casos de empreendimentos ou atividades em fase de instalação que ultrapassem o prazo máximo de 6 (seis) anos, a LAI poderá ser renovada, mediante comprovação do cumprimento de todas as condicionantes da licença anteriormente emitida.

§ 3º Poderá ser autorizado via ofício de comissionamento, previamente à concessão da LAO, em caráter excepcional e devidamente fundamentado pelo órgão licenciador, o teste para avaliar a eficiência das condições, restrições e medidas de controle ambiental, impostas à atividade ou ao empreendimento, por um período não superior a 180 (cento e oitenta) dias.

§ 4º O órgão ambiental competente poderá estabelecer prazos de validade específicos para a LAO de empreendimentos ou atividades que, por sua natureza e peculiaridades, estejam sujeitos a encerramento ou modificação em prazos inferiores.

§ 5º Na renovação da LAO de uma atividade ou empreendimento, o órgão ambiental competente poderá, mediante decisão motivada, aumentar ou diminuir o seu prazo de validade, após avaliação do desempenho ambiental da atividade ou

empreendimento no período de vigência anterior, respeitados os limites estabelecidos no inciso III.

§ 6º A renovação da LAO de uma atividade ou empreendimento deverá ser requerida com antecedência mínima de 120 (cento e vinte) dias da expiração de seu prazo de validade, fixado na respectiva licença, ficando este automaticamente prorrogado até a manifestação definitiva do órgão ambiental competente.

§ 7º Caso a solicitação do empreendedor seja feita após o prazo de validade da LAO, o empreendedor poderá requerer a emissão de uma nova LAO, devendo apresentar a documentação ambiental relativa ao processo administrativo relativo à renovação de LAO, sem prejuízo da aplicação das sanções previstas em lei.

Seção V

Do procedimento de licenciamento ambiental

Art. 11º O procedimento de licenciamento ambiental, obedecera às seguintes etapas (Res. 143 CONSEMA):

I - Cadastramento do empreendedor e do empreendimento junto ao Sistema de Informações Ambientais do órgão licenciador;

II - Requerimento da licença ambiental pelo empreendedor, acompanhado dos documentos, projetos e estudos ambientais pertinentes;

III - Análise pelo órgão ambiental licenciador dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e vistorias técnicas, quando necessárias;

IV - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental licenciador em decorrência da análise dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados, quando couber, podendo haver a reiteração da mesma solicitação caso os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

V - Emissão de parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico;

VI - Deferimento ou indeferimento do pedido de licença.

Parágrafo único. As atividades ou empreendimentos licenciáveis, devem prever sistemas para coleta de água de chuva para usos diversos.

CAPÍTULO III ASPECTOS TÉCNICOS

Art. 12. É de responsabilidade do gerador de dejetos da pecuária, resíduos e efluentes, dar-lhes a destinação adequada, indicando-se, sempre que possível, a utilização dos biodigestores como a técnica mais adequada ambientalmente e energeticamente de aproveitamento.

Seção I

Das etapas de produção

Subseção I

Do Transporte do substrato

Art. 13. O transporte do substrato ao biodigestor, quando necessário, deverá atender aos seguintes critérios, de forma a evitar vazamentos e derramamentos:

I. O transporte dos substratos à instalação deve ser realizado em caçambas/carretas apropriadas ao material e sem permitir vazamentos.

II. Devem ser utilizados de veículos fechados (tipo limpa-fossa, caminhão-pipa) para transporte de substratos líquidos.

III. Deve ser mantido o nível de carregamento dos veículos de acordo com a capacidade indicada em peso e volume a ser transportado, evitando transbordamentos.

Subseção II

Do Armazenamento, manuseio e introdução do substrato

Art. 14. O armazenamento, manuseio e introdução do substrato no biodigestor deverá ser planejado para atender às seguintes precauções de segurança:

I. Impermeabilização e vedação dos locais de armazenamento de substrato, evitando vazamentos para o solo.

II. Redução ao máximo do tempo de armazenamento dos substratos por meio de um planejamento logístico eficiente.

III. Evitar o fechamento de espaços onde haja manuseio de substratos, garantindo disponibilidade e fluxo de ar.

Subseção III

Do biodigestor

Art. 15. É necessária a verificação de rotina da composição atmosférica do ambiente, de forma a monitorar a eventual formação de gases tóxicos e inflamáveis, levando-se em conta os limites de segurança das proporções volumétricas em que não se constata explosividade da mistura gasosa:

Acima de 16,5% de metano	Proporção de ar indiferente
Abaixo de 4,4% de metano	Proporção de ar indiferente
Abaixo de 58% de ar (11,6% de oxigênio)	Proporções de metano e gás inerte indiferentes
Acima de 86% de gás inerte	Proporção de ar indiferente

Art. 16. O tanque biodigestor deve possuir vedação e impermeabilização adequadas para evitar vazamentos e derramamentos.

Art. 17. A carga orgânica volumétrica (COV), o tempo de retenção hidráulica (TRH) e o dimensionamento do biodigestor deverão ser calculados e justificados por profissional habilitado, levando-se em conta o tipo de substrato utilizado.

Subseção IV

Do digestato

Art. 18. O Estudo de Impacto Ambiental deverá indicar o destino que será dado ao digestato decorrente do processo de biodigestão, indicando, quando for o caso, o solo e a proporção de fertilizante que será aplicado, considerando a sua composição química.

Art. 19. A dose de fertilizante orgânico a ser aplicada no solo deve considerar as recomendações específicas para as diferentes classes de fertilidade do solo, demanda das culturas agrícolas e sua expectativa de rendimento, teor e índice de eficiência agrônômica do fertilizante a ser empregado, e pode ser calculada de acordo com as recomendações constantes no livro “Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato”, publicado pela Embrapa Suínos e Aves, disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108617/fundamentos-da-digestao-anaerobia-purificacao-do-biogas-uso-e-tratamento-do-digestato>

Art. 20. O armazenamento e transporte do digestato deve possuir vedação e impermeabilização adequadas para evitar vazamentos e derramamentos.

Art. 21 O digestato cujo destino seja a comercialização deverá atender aos requisitos da Instrução Normativa do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento nº 25/2009 e outras pertinentes.

Subseção V

Do biogás

Art. 22. O biogás produzido na unidade de biodigestão deverá passar por controle de composição de componentes químicos continuamente, identificando o rendimento de biogás e biometano.

Art. 23. As recomendações técnicas do processo de produção e controle do biogás podem ser encontradas no livro “Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato”, publicado pela Embrapa Suínos e Aves, disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108617/fundamentos-da-digestao-anaerobia-purificacao-do-biogas-uso-e-tratamento-do-digestato>

Art. 24. O biogás purificado produzido com finalidade de comercialização de biometano deverá atender aos requisitos da Resolução da Agência Nacional do Petróleo - ANP nº08/2015.

Art. 25. Deverá ser especificada a forma de utilização do biogás consumido na própria unidade produtora, considerando-se os impactos ambientais que possam envolver.

Seção II

Quanto aos Efluentes Líquidos

Art. 26. Os efluentes somente podem ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água interiores, lagunas, estuários e na beira-mar quando obedecidas às condições previstas nas normas federais e as seguintes, previstas na Resolução n. 181 de 02 de agosto de 2021 do CONSEMA ou outra que venha a alterá-la:

I - pH entre 6,0 e 9,0;

II - assegurar o transporte e dispersão dos sólidos nos lançamentos subaquáticos em mar aberto, sendo que o limite para materiais sedimentáveis será fixado pelo

órgão licenciador em cada caso, após estudo de impacto ambiental realizado pelo interessado;

III - ausência de materiais flutuantes visíveis;

IV - concentrações máximas dos seguintes parâmetros em miligramas por litro, além de outros a serem estabelecidos:

a) óleos vegetais e gorduras animais: 30,0 mg/L;

b) cromo hexavalente: 0,1 mg/L;

c) cobre total: 0,5 mg/L;

d) cádmio total: 0,1 mg/L;

e) mercúrio total: 0,005 mg/L;

f) níquel total: 1,0 mg/L;

g) zinco total: 1,0 mg/L;

h) arsênio total: 0,1 mg/L;

i) prata total: 0,02 mg/L;

j) selênio total: 0,02 mg/L;

k) manganês + 2 solúvel: 1,0 mg/L;

l) fenóis: 0,2 mg/L;

m) substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno: 2,0 mg/L;

n) compostos organofosforados e carbamatos: 0,1 mg/L;

o) sulfeto de carbono, etileno: 1,0 mg/L; e

p) outros compostos organoclorados: 0,05 mg/L.

V - lançamentos em trechos de lagoas, lagunas e estuários, além dos itens anteriores, devendo ser observado o limite de 4 mg/l de concentração de fósforo total, sendo que o efluente deve atender aos valores de concentração acima estabelecidos ou os sistemas de tratamento que devem operar com a eficiência mínima de 75% (setenta e cinco por cento) na remoção de fósforo, desde que não altere as características dos corpos de água previstas em lei;

Seção III

Quanto aos resíduos sólidos e rejeitos

Art. 27. Os resíduos sólidos e rejeitos gerados em unidades de biodigestão, deverão ser acondicionados, armazenados, tratados e destinados de forma técnica e ambientalmente adequadas e basicamente são gerados nos seguintes pontos:

I. Resíduos da triagem;

II. Resíduos do pré-tratamento;

III. Lodo do biodigestor;

IV. Resíduos sanitários e de escritórios de estruturas auxiliares (ex: vestiário, laboratório, refeitório, prédio administrativo);

V. Resíduos da manutenção de equipamentos.

Parágrafo único: Deverão ser apresentados os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para obtenção da Licença Ambiental de Instalação (LAI), de acordo com a Resolução n. 114 do CONSEMA/SC, que estabelece os critérios e diretrizes para a elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Seção IV

Quanto às emissões atmosféricas

Art. 28. As emissões atmosféricas deverão atender aos critérios e padrões definidos na Resolução n. 382, de 26 de dezembro de 2006, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, ou disposições do órgão ambiental estadual que venham a complementá-la.

Seção V

Quanto ao gerenciamento de riscos e segurança

Art. 29. Deverão ser observadas, tanto na instalação quanto no manejo contínuo, as Normas Regulamentadoras que forem pertinentes para garantia da segurança e saúde no trabalho de todos os que tenham contato com as etapas da produção de biogás.

Art. 30. Deverá ser realizado um treinamento por profissional capacitado sobre as rotinas e o manuseio do biodigestor, de forma a evitar e minimizar eventuais riscos ambientais e à saúde humana.

Art. 31. É obrigatório o fornecimento e uso de Equipamentos de Proteção Individual aos que estiverem envolvidos em todas as etapas produtivas.

Parágrafo único: Recomenda-se, ainda, que medidas adicionais de segurança sejam adotadas, podendo ser utilizado como referência as recomendações do Capítulo 5 do livro Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás da coletânea de publicações do PROBIOGÁS

(<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/licenciamento-usinas-biogas.pdf>).

CAPÍTULO III ASPECTOS LOCACIONAIS

Art. 32. A implantação de Biodigestores quanto à localização, deverá atender, no mínimo, os seguintes critérios:

I. A área do empreendimento, deve situar-se a uma distância mínima de corpos hídricos, de modo a não atingir áreas de preservação permanente, conforme estabelecido no Código Florestal;

II. A área do empreendimento, incluindo armazenagem, tratamento e destinação final de dejetos, deve situar-se a uma distância mínima conforme estabelecido no Código Sanitário do Estado, lei n. 6.320 de 20 de dezembro de 1983;

III. Para a localização das construções de biodigestores devem ser consideradas as condições ambientais da área e do seu entorno, bem como, a direção predominante dos ventos na região, de forma a impedir a propagação de odores para cidades, núcleos populacionais e habitações mais próximas.

CAPÍTULO IV DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 33. Aplicam-se, quando for o caso, as recomendações técnicas para elaboração de projetos de sistemas de tratamento de dejetos de suínos por digestão anaeróbia utilizando-se biodigestor de lagoa coberta previstas na Instrução Normativa n. 143 do IMA SC.

Art. 34. O procedimento estabelecido por esta Resolução não dispensa a necessidade da manifestação de órgãos intervenientes externos ao órgão licenciador, tais como FUNAI, INCRA, IPHAN, ICMBio, CEPHA, DNIT, DER, entre outros, quando assim previstos legalmente.

Art. 35. Constatada a existência de pendência judicial envolvendo o empreendedor, o empreendimento ou o imóvel, a decisão administrativa sobre a eventual suspensão do licenciamento será precedida de manifestação jurídica do órgão ambiental competente no prazo máximo de 30 (trinta) dias.

Art. 36. Esta Resolução deverá ser reavaliada a cada 04 (quatro) anos ou a qualquer tempo, quando o órgão ambiental considerar necessário.

Art. 37. O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará os infratores às sanções previstas nas Leis Federais nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 e seus decretos regulamentadores.

Art. 39. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

8 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve por objetivo geral elaborar uma proposta de instrumento de regulamentação do licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária no estado de Santa Catarina. Para esse propósito, foi efetuada a revisão bibliográfica relacionada ao estado da arte das principais temáticas da investigação, bem como a análise de Relatório Ambiental Prévio (RAP) voltado ao licenciamento de unidades geradoras de biogás. Em sequência, foi elaborada uma matriz normativa, com foco na regulação incidente sobre o processo de licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás. Com base nesses estudos, foi elaborada uma minuta de Resolução estadual voltada ao licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária. A partir do objetivo proposto e das etapas executadas, pôde-se chegar às conclusões que se seguem.

A pesquisa bibliográfica permitiu um melhor conhecimento sobre o setor de geração de biogás, o setor pecuário e as possibilidades de aproveitamento energético de seus dejetos e os impactos ambientais decorrentes das atividades da pecuária e da geração de biogás.

Foi possível a identificação de um grande potencial energético no Estado de Santa Catarina para a produção de biogás a partir de dejetos da pecuária, uma vez que a atividade desempenha um papel econômico de destaque, tanto na unidade da federação quanto no país.

O aproveitamento energético de tais dejetos traria uma série de benefícios ambientais e à saúde humana, protegendo o solo, os recursos hídricos, evitando emissão de gases de efeito estufa e o contato humano com ambientes e alimentos contaminados por componentes químicos próprios dos dejetos, por antibióticos, hormônios e outros medicamentos utilizados na produção pecuária.

A análise do Relatório Ambiental Prévio (RAP) obtido junto ao IMA/SC e sua respectiva licença, abordados em capítulo próprio, permitiram observar como o licenciamento ambiental da atividade vem sendo desenvolvida, os principais impactos ambientais abordados, bem como ofereceu subsídios para a elaboração da matriz normativa.

Foi possível averiguar nos documentos consultados a existência de uma série de impactos ambientais próprios das atividades de geração de biogás, para os quais

devem ser previstas medidas mitigadoras e condições específicas de funcionamento durante o processo de licenciamento de forma a evitar eventuais danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Também pôde-se observar que alguns impactos importantes, como formação de gases tóxicos e inflamáveis, normas de segurança do trabalho e de transporte do substrato, do biogás e do digestato, foram pouco abordados no RAP em questão, o que demonstra possibilidade de aperfeiçoamento.

Os estudos e a elaboração da matriz normativa incidente sobre o processo de licenciamento ambiental de unidades geradoras de biogás permitiram constatar a existência uma gama de legislações ambientais, trabalhistas e regulamentares, dentre outras, que tratam de parâmetros gerais para diversas atividades, tais como as normas relativas ao tratamento de dejetos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas. Ou seja, constatou-se a inexistência de uma normativa própria para a atividade de biogás que congregue parâmetros e definições para o procedimento de licenciamento ambiental, tal como almejado pela Política Estadual do Biogás (Lei 17.542 de 12 de julho de 2018).

Observou-se, portanto, que a legislação ambiental que regulamenta o licenciamento de unidades geradoras de biogás a partir de dejetos da pecuária no estado de Santa Catarina pode ser aprimorada, para que possa trazer mais segurança e qualidade ambiental para os novos projetos a serem incentivados por políticas de expansão da atividade.

A pesquisa normativa culminou no entendimento de que tal demanda poderia ser atingida por meio da elaboração de uma sugestão de instrumento de regulação para o licenciamento ambiental na forma de Resolução. Para tanto, realizou-se a compilação de diversas normativas ambientais e procedimentais estaduais ou nacionais que já traziam conceitos, diretrizes e/ou parâmetros aplicáveis à atividade em questão.

Cabe destacar que a recente Resolução n. 8, de 23 de fevereiro de 2021, da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do Estado do Paraná, foi de grande relevância para a elaboração da Resolução proposta nessa investigação, uma vez que serviu de subsídio para compor as definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de biodigestores com aproveitamento energético de biogás presentes em seus diferentes capítulos.

Foi possível sugerir algumas inovações com relação à Resolução referência do estado do Paraná, especialmente no que diz respeito aos cuidados a serem tomados em cada etapa do processo de produção do biogás. Para esse propósito, utilizou-se o embasamento da literatura derivado de importantes pesquisas realizadas no Brasil e no exterior.

Acredita-se que a proposta de instrumento legal elaborada possa contribuir para o aprimoramento da regulação ambiental correlata à atividade, reunindo importantes conceitos da legislação federal e estadual em uma única norma e trazendo sugestões de dispositivos para tratamento específico da atividade amparados em literatura especializada.

Espera-se que a regulamentação do desenvolvimento do procedimento de licenciamento ambiental da geração de biogás a partir de dejetos da pecuária possa trazer maior segurança jurídica aos envolvidos na atividade, proporcionando o fomento do aproveitamento energético desse substrato abundante no estado. Nesse contexto, a iniciativa acadêmica de trazer estudos e sugestões aos órgãos envolvidos na elaboração de tais diretrizes se mostra relevante.

Notou-se, também, carência de dados mais detalhados sobre o número de unidades de biodigestores a partir de dejetos da pecuária no estado e se tais unidades se constituem em atividades primárias ou secundárias à atividade pecuária. Percebeu-se que o próprio órgão ambiental (IMA), ao tratar a atividade de forma integrada quando dentro de uma mesma propriedade, não possui dados precisos sobre números, o potencial energético gerado e quais as destinações de tais produtos e subprodutos.

Por fim, entende-se que a expansão da atividade no estado ainda possua diversos entraves, especialmente econômicos, que carecem de maior integração das entidades institucionais (em todas as esferas) e empresariais do setor para seu desenvolvimento, buscando-se mecanismos que tenham como foco a questão ambiental e o aproveitamento energético de recursos já disponíveis e subutilizados.

Para estudos futuros, percebe-se que ainda existem diversos pontos que poderiam ser analisados em outros trabalhos, tais como a adequação de alguns dispositivos gerais de parâmetros técnicos constantes de legislações ambientais para tratarem da atividade específica da geração de biogás a partir de dejetos da pecuária.

Outro ponto que mereceria estudos mais aprofundados, sob uma perspectiva logística e técnica, seria a pesquisa de diferentes categorias de substratos disponíveis

no estado e que poderiam ser empregados em conjunto com os dejetos da pecuária (co-digestão), com vistas à obtenção de um maior potencial energético e valorização dos resíduos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027**: informação e documentação – sumário – apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

Agenda 2030. (2015). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 18 set 2022.

Berchielli, T. T., Messana, J. D., & Canesin, R. C. (2012). Produção de metano entérico em pastagens tropicais. *Revista Brasileira Saúde e Produção Animal*, 13, p.954-968.

BIOGÁS BRASIL. (2019). *Potencial de geração de biogás no sul do Brasil*. Política Nacional do Meio Ambiente.

AGENDA 2030. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista brasileira saúde e produção animal**, v. 13, p. p.954-968, 2012.

BIOGÁS BRASIL. **Potencial de geração de biogás no sul do Brasil**. Foz do Iguaçu/PR: [s.n.].

BRASIL. *[Constituição (1988)]*. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, [2020]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 5 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 29 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1981]. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 29 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 29 ago. 2022.

BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do **caput** e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília: Presidência da República [2011]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em 29 de ago. 2022.

BRASIL. NDC Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. **Unfccc**, v. 9, p. 6, 2016.

CARDOSO, M. T.; PARENTE, V. A importância do aproveitamento energético de resíduos para descarbonização da economia na Sueca. **Revista Brasileira de Energia**, v. 24, n. 2, p. 07–22, 2018.

CIBIOGÁS ENERGIAS RENOVÁVEIS. **BIOGASMAP**. Disponível em: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>. Acesso em: 15 set. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 237**, de 22 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 15 set. 2022

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 143**, de 1º de novembro de 2019. Define critérios para o licenciamento ambiental e monitoramento das atividades relativas à suinocultura. Disponível em: <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes?limit=20&limitstart=60>. Acesso em: 15 set. 2022.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 98**, de 5 de maio de 2017. Aprova, nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências. Disponível em: <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes?limit=20&limitstart=60>. Acesso em: 18 set. 2022.

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane

mitigation: A review. **Animal Production Science**, v. 51, n. 6, p. 491–514, 2011.

DEBONI, F. V.; FEILSTRECKER, M.; TARSO, P. DE. Licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos: critérios de diretrizes para o estado do Paraná. **Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná**, p. 78, 2017.

EGGEMANN, L. et al. Life cycle assessment of a small-scale methanol production system: A power-to-fuel strategy for biogas plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122476, 2020.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Unidade Embrapa Suínos e Aves. **SGAS - Sistema de Gestão Ambiental da Suinocultura**. Software, 2018. Disponível em: <https://sistemas-ext-cnpsa.nuvem.ti.embrapa.br/sgas2/>.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Números da Agropecuária Catarinense 2021**. Florianópolis, SC, 2021. 62p. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/publicacoes/publicacoes-lista/>. Acesso em 10 de ago. 2022.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2020 - 2021. Florianópolis: Epagri/Cepa, abril 2022. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2020_21.pdf. Acesso em: 10 de ago. 2022.

EPE. **Décima Edição Da Análise De Conjuntura Dos Biocombustíveis EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA**. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-402/Análise_de_Conjuntura_Ano2018.pdf.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional BEN 2022 - Relatório Síntese** - ano base 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em 10 ago. 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020** - Ano base 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%202020.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.

ERISMAN, J. W. et al. Agricultural air quality in Europe and the future perspectives. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 14, p. 3209–3217, 2008.

ESTADO DE SANTA CATARINA. **Constituição do Estado de Santa Catarina**, 1989. Florianópolis: Assembléia Legislativa [1989]. Disponível em:

http://leis.alesc.sc.gov.br/html/constituicao_estadual_1989.html. Acesso em: 10 ago. 2022

ESTADO DE SANTA CATARINA. Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Florianópolis: Governo no Estado de Santa Catarina. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2009/14675_2009_lei.html. Acesso em: 1 dez. 2020.

ESTADO DE SANTA CATARINA. **Lei nº 17.542, de 12 de julho de 2018**. Institui a Política Estadual do Biogás e estabelece outras providências. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina. 2018b. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2018/17542_2018_lei.html#:~:text=1%C2%BA%20Fica%20institui%C3%ADa%20a%20Pol%C3%ADtica,explora%C3%A7%C3%A3o%2C%20ao%20gerenciamento%20e%20%C3%A0. Acesso em: 1 dez. 2020

FAO. **Pecuária sustentável e mudanças climáticas na América Latina e no Caribe**. Disponível em: <http://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/pt/>. Acesso em: 1 dez. 2020.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Belo Horizonte: 2015. 81p. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2015/PRODUCAO_SUSATENTAVEL/GUIAS-TECNICOS-AMBIENTAIS/Guia_Biog%C3%A1s.pdf. Acesso em: 1 dez. 2020.

FREITAS, F. F. et al. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, n. November 2018, p. 146–157, 2019.

GELINSKI NETO, F.; GELINSKI JUNIOR, E.; GUESSER, F. Biodigestores e biogás na suinocultura Catarinense. **Textos de Economia**, v. 22, n. 1, p. 204–229, 2019.

GLEBER, L.; PALHARES, J. C. P. Gestão Ambiental na Agropecuária. **Embrapa**, p. 314, 2007.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. ed. rev ed. São Paulo: Edusp, 2012.

GUSSOLI, F. K. Relative and supra constitutional hierarchy of international human rights treaties. **Revista de Investigações Constitucionais**, v. 6, n. 3, p. 703–747, 2019.

HE, Z.; PAGLIARI, P. H.; WALDRIP, H. M. Applied and Environmental Chemistry of Animal Manure: A Review. **Pedosphere**, v. 26, n. 6, p. 779–816, 2016.

IBAMA. **Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/perguntas-frequentes/licenciamento-ambiental>.

IBGE. **Sistema IBGE SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017#caracteristicas-produtores>. Acesso em: 24 set. 2021.

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM - Séries históricas**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 14 abr. 2021.

IEA. **Data & Statistics**. Disponível em: [https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=TPESbySource](https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource). Acesso em: 24 set. 2021a.

IEA. **Electricity generation from biofuels and waste by source, World 1990-2018**.

IMA. **Instrução Normativa 11 - Suinocultura Fundação do Meio Ambiente - FATMA**, 2014.

IMA – Instituto de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina. **Instrução Normativa nº 65**, de 10 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://in.ima.sc.gov.br/>. Acesso em 1 dez. 2020.

IMA – Instituto de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina. **Simulador de licenciamento Ambiental**. Disponível em: <https://consultas.ima.sc.gov.br/simulador>. Acesso em: 10 dez. 2020.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

ITO, M.; GUIMARÃES, D.; AMARAL, G. Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades. **BNDES Setorial**, v. 44, p. 125–156, 2016.

JUNIOR, E. S. DA S. Direito constitucional: Hierarquia das normas constitucionais. **Jusbrasil**, 2021.

JÚNIOR, M. A. P. O.; ORRICO, A. C. A.; JÚNIOR, J. DE L. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 399–410, 2011.

KAPOOR, R. et al. Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook. **Bioresource Technology**, v. 304, n. February, p. 123036, 2020.

KUNZ, A. et al. Manejo Ambiental na Avicultura. **Documentos - Embrapa Suínos e Aves**, v. 149, p. 221, 2011.

KUNZ, A. et al. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: EMBRAPA, 2019.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. DE. Tecnologias De Manejo E Tratamento De Dejetos De Suínos Estudadas No Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651–665, 2005.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. DE. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, p. 28–35, 2006.

LENZA, P. **Direito Constitucional Esquemático**. 19ª ed. São Paulo, 2015

LINS, M. A. et al. **EFEITO DA CARGA ORGÂNICA VOLUMÉTRICA SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS EM REATOR UASB**. V Simpósio Internacional sobre gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. **Anais...2017**

MALLIN, M. A. et al. Industrial Swine, and Poultry Production Causes Chronic Nutrient and Fecal Microbial Stream Pollution. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 226, n. 12, 2015.

MAO, C. et al. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 540–555, 2015.

MARIA, S. et al. Pecuária na Amazônia: os subsídios e a incompatibilidade com o desenvolvimento sustentável. p. 9–28, 2020.

MCCLELLAND, S. C. et al. Type and number of environmental impact categories used in livestock life cycle assessment: A systematic review. **Livestock Science**, v. 209, n. August 2017, p. 39–45, 2018.

MIELE, M.; WAQUIL, P. D. Estrutura e dinâmica dos contratos na suinocultura de Santa Catarina: um estudo de casos múltiplos. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 37, n. 4, p. 817–847, 2007.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **BIOGÁS Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás**. 1ª Edição ed. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **PNE 2050**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>.

NASCIMENTO, C. P.; SILVA, M.; FERREIRA, M. B. P. A pecuária como atividade primaz na Amazônia: uma discussão acerca de seus aspectos ambientais, das populações humanas envolvidas e do papel das instituições na dinâmica desta atividade. **Revista de estudos sociais**, p. 208–227, 2015.

NASCIMENTO NETO, J. O. DO. **Políticas Públicas e regulação socioambiental. Governança, estratégias e escolhas públicas: energia e desenvolvimento em pauta**. Curitiba: Íthala, 2017.

NGUYEN, T. L. T.; HERMANSEN, J. E.; MOGENSEN, L. Environmental costs of meat production: The case of typical EU pork production. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 168–176, 2012.

OCDE-FAO. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2015-2024. **OECDi library**, p. 4, 2015.

ONU. **Nações Unidas Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/156975-dia-da-energia-na-cop26-e-marcado-por-pedidos-para-o-fim-do-uso-de-carvao-gas-e-oleo>. Acesso em: 11 nov. 2021.

PANIGRAHI, S.; DUBEY, B. K. A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. **Renewable Energy**, v. 143, p. 779–797, 2019.

PARKS, N. **Livestock's long shadow**. 1ª ed. Roma, Itália: FAO, 2007. v. 5

PASQUAL, J. C. et al. Assessment of collective production of biomethane from livestock waste for urban transportation mobility in Brazil and the United States. **Energies**, v. 11, n. 4, p. 1–19, 2018.

PÉREZ-CAMACHO, M. N.; CURRY, R. Life cycle environmental impacts of biogas production and utilisation substituting for grid electricity, natural gas grid and transports fuels. **Waste Management**, v. 95, n. cenário 1, p. 1–23, 2021.

PÉREZ, A. et al. Enzymatic hydrolysis and simultaneous saccharification and fermentation of green coconut fiber under high concentrations of ethylene oxide-based polymers. **BMC Public Health**, v. 5, n. 1, p. 1–8, 2017.

POESCHL, M. et al. Dispersion of Antibiotic Resistance Genes (ARGs) from stored swine manure biogas digestate to the atmosphere. **Journal of Cleaner Production**, v. 24, n. 5, p. 469–485, 2021.

POESCHL, M.; WARD, S.; OWENDE, P. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: Life Cycle Inventory for evaluation of production process emissions to air. **Journal of Cleaner Production**, v. 24, p. 168–183, 2012a.

POESCHL, M.; WARD, S.; OWENDE, P. Environmental impacts of biogas deployment - Part II: Life Cycle Assessment of multiple production and utilization pathways. **Journal of Cleaner Production**, v. 24, p. 184–201, 2012b.

PRAMANIK, S. K. et al. The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. **Bioresource Technology Reports**, v. 8, n. July, p. 100310, 2019.

PROBIOGÁS - Projeto Brasil Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás. **Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização**. Gülzow, 2010. v. 5. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2020

RAMANKUTTY, N. et al. Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. **Annual Review of Plant Biology**, v. 69, p. 789–815, 2018.

RASAPOOR, M. et al. Recognizing the challenges of anaerobic digestion: Critical steps toward improving biogas generation. **Fuel**, v. 261, n. September 2019, p. 116497, 2020.

RIFKIN, J. **A terceira revolução industrial: como o poder lateral está transformando a energia, economia e mundo**. São Paulo: M.Books do Brasil Editora Ltda., 2012.

ROCAMORA, I. et al. Dry anaerobic digestion of organic waste: A review of operational parameters and their impact on process performance. **Bioresource Technology**, v. 299, n. September 2019, 2020.

SANTA CATARINA. Diretoria de Recursos Hídricos – DRHI. **PLANO ESTRATÉGICO DE GESTÃO INTEGRADA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHAPECÓ**. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=1904&Itemid=248&jsmallfib=1&dir=JSROOT/DHRI/Planos+de+Bacias/Plano+Estrategico+da+Bacia+Hidrografica+do+Rio+Chapeco/Produto+Final/Etapa+B. Acesso em: 18 set. 2022

SANTA CATARINA. **Decreto nº 2.143 de 11 de abril de 2014** Santa Catarina, 2014. Disponível em: <http://server03.pge.sc.gov.br/LegislacaoEstadual/2014/002143-005-0-2014-006.htm>

SEBRAE. **DataSebrae Biogás**. Disponível em: <https://paineis-lai.sebrae.com.br/single/?appid=bc75184c-943f-4156-bc85-305915943ebd&sheet=fb74886d-b41f-40a1-a4df-485782d9fda7&opt=cursel%2Cctxmenu&select=clearall>. Acesso em: 15 set. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO. **Resolução Sima Nº 047, De 06 De Agosto De 2020**. Estabelece diretrizes e condições para o licenciamento de unidades de preparo de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos - CDR e da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de CDR. São Paulo: Gabinete do secretário [2020]. Disponível em: [http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_estadual/leg_est_resolucoes/Resol-SIMA-047-2020_Licenciamento_Unidades_Preparo_Combustivel_Derivado_Residuos_Solidos_\(CDR\)_Revoga_Resol75-08.pdf](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_estadual/leg_est_resolucoes/Resol-SIMA-047-2020_Licenciamento_Unidades_Preparo_Combustivel_Derivado_Residuos_Solidos_(CDR)_Revoga_Resol75-08.pdf). Acesso em: 15 set. 2021.

SEDEST - SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ. **Resolução nº 08**, de 9 de março de 2021. Estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de BIODIGESTORES COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS no âmbito do Estado do Paraná. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=2>

45464&indice=2&totalRegistros=67&anoSpan=2022&anoSelecioneado=2021&mesSelecioneado=0&isPaginado=true. Acesso em: 1 dez. 2021.

SEEDORF, J.; HARTUNG, J. Survey of ammonia concentrations in livestock buildings. **Journal of Agricultural Science**, v. 133, n. 4, p. 433–437, 1999.

SILVA, C. L. DA; BASSI, N. S. S. Análise Dos Impactos Ambientais No Oeste Catarinense E Das Tecnologias Desenvolvidas Pela Embrapa Suínos E Aves 1 Analysis of environmental impacts of the swine and poultry industries in western Santa Catarina and the technologies developed by Embrapa Suí. **Informe Gepec**, v. 16, p. 128–143, 2012.

SINSUW, A. A. E.; WUISANG, C. E.; CHU, C. Y. Assessment of environmental and social impacts on rural community by two-stage biogas production pilot plant from slaughterhouse wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, n. October 2020, p. 101796, 2021.

SOUZA, I. S. DE; AQUINO, R. F. DE. Análise do princípio da proteção ao meio ambiente na Política Energética Nacional. **Direito E-nergia**, v. 7, p. 106–128, 2013.

SOUZA, K. C. G.; TONIN, G. A.; CARVALHO, M. C. Tecnicas de manejo de dejetos da bovinocultura leiteira no municipio de Jales-SP. p. 1–30, 2016.

SUKUL, P. et al. Metabolism and excretion kinetics of ¹⁴C-labeled and non-labeled difloxacin in pigs after oral administration, and antimicrobial activity of manure containing difloxacin and its metabolites. **Environmental Research**, v. 109, n. 3, p. 225–231, 2009.

TABATABAEI, M. et al. A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 2: Mainstream and downstream strategies. **Renewable Energy**, v. 146, p. 1392–1407, 2020.

THRÄN, D. et al. Governance of sustainability in the German biogas sector - Adaptive management of the Renewable Energy Act between agriculture and the energy sector. **Energy, Sustainability and Society**, v. 10, n. 1, 2020.

TOMALSQUIM, M. T. **Energia Renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TRENNEPOHL, C.; TRENNEPOHL, T. **Licenciamento Ambiental**. 8ª Edição ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2020.

TULLO, E.; FINZI, A.; GUARINO, M. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 2751–2760, 2019.

WANG, H.; BI, X.; CLIFT, R. A case study on integrating anaerobic digestion into agricultural activities in British Columbia: Environmental, economic and policy analysis. **Environmental Pollution**, v. 271, p. 116279, 2021.