

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RÔMULO HENRIQUE GOMES DE JESUS

**MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE BIODIGESTOR COM ÊNFASE EM
CLUSTER DE PARCERIA ESTRATÉGICA PARA GERAÇÃO DE
BIOENERGIA**

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA

2021

RÔMULO HENRIQUE GOMES DE JESUS

**MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE BIODIGESTOR COM ÊNFASE EM CLUSTER
DE PARCERIA ESTRATÉGICA PARA GERAÇÃO DE BIOENERGIA**

**Biodigester localization model with emphasis on strategic partnership cluster
for bioenergy generation**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa



ROMULO HENRIQUE GOMES DE JESUS

**MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE BIODIGESTOR COM ÊNFASE EM CLUSTER DE PARCERIA ESTRATÉGICA
PARA GERAÇÃO DE BIOENERGIA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 08 de Fevereiro de 2021

Prof Antonio Carlos De Francisco, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Cassiano Moro Piekarski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Fabio Neves Puglieri, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Sandra Cristina Goncalves Da Silva, Doutorado - Instituto Politecnico de Viana do Castelo

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 08/02/2021.

Dedico este trabalho à família, aos amigos e professores da UTFPR/PG, à CAPES por fornecer bolsa de estudo que foi essencial para viabilizar a realização desta pesquisa de mestrado.

AGRADECIMENTOS

Realizar um sonho nunca foi fácil, entretanto, é na grande adversidade que se obtém as maiores conquistas. E por essa conquista sou grato a Deus por ter cuidado de mim neste período do mestrado, sou grato aos meus pais que sempre me dão apoio, sou grato à UTFPR por me proporcionar viver momentos marcantes e de grande aprendizado, sou grato à cidade de Ponta Grossa por compartilhar sua infraestrutura que me acolheu durante os anos de 2019 e 2020, grato ao professor Dr. Pilatti por proporcionar a minha entrada no mestrado e principalmente grato ao professor e orientador Dr. Antônio Carlos de Francisco por abrir meu horizonte para uma linha de pesquisa promissora. Sou grato ao coorientador Dr. Fabio Neves Puglieri por me proporcionar o estágio de docência além de me ensinar bastante sobre escrita científica. Sou grato ao professor Dr. Cassiano Moro Piekarski por compartilhar o conhecimento contribuindo para meu aprendizado e crescimento, sou grato aos amigos que fiz durante horas de trabalho no Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos sustentáveis (LESP), sou grato aos churrascos e confraternizações proporcionados pelo LESP e grato pela infraestrutura deste laboratório que tem confirmado a excelência a cada semestre. Por fim sou grato à UTFPR pela oportunidade de realizar o curso de mestrado e grato à CAPES pela bolsa de estudo que foi fundamental para a realização deste estudo.

RESUMO

JESUS, Rômulo Henrique Gomes de. **Modelo de localização de biodigestor com ênfase em cluster de parceria estratégica para geração de bioenergia**: 2021. 93 p. Trabalho de Dissertação em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

A bioenergia é uma energia renovável obtida a partir da biomassa e os principais benefícios são redução de emissão dos gases de efeito estufa e eliminação de resíduos. Um problema comum na análise de viabilidade para produção de bioenergia é a localização do biodigestor devido à disponibilidade e posicionamento espacial da biomassa. Diante deste problema esta pesquisa visa responder a seguinte pergunta: Como localizar um biodigestor no agronegócio tendo em vista a formação de clusters de parcerias estratégicas para produção de bioenergia? Portanto o objetivo desta dissertação é propor um modelo de localização de biodigestor anaeróbico na agroindústria mediante criação de clusters de parcerias estratégicas para geração de bioenergia. Para esse fim foi realizada uma revisão sistemática da literatura e um conjunto de modelos de localização de biodigestor foram identificados sendo os principais métodos utilizados para decisão de localização de biodigestor: análise de decisão multicritério, heurísticas, programação matemática e Sistema de Informações Geográficas (GIS). Os estudos identificados não possuem ênfase na formação de cluster para determinar a localização do biodigestor, portanto, visando cobrir o *gap* da literatura é proposto um modelo que abrange formação de cluster e identificação da localização de biodigestor em um ambiente de parceria estratégica para geração de bioenergia. O modelo proposto possui aplicação de técnica multicritério, uso de GIS e algoritmo hierárquico aglomerativo para formação dos clusters. Também, possui funcionalidades que o permite ser aplicado a regiões extensas e pequenas, possibilitando aos *stakeholders* integrar ao modelo variáveis que podem ser minimizadas ou maximizadas, assim, esta característica torna o modelo flexível a necessidade dos usuários. Por meio do modelo são estabelecidas etapas de análise que permitem sobre a perspectiva quantitativa e qualitativa identificar de forma preliminar a possibilidade de criação de parceria estratégica e localização de biodigestor. Por fim, o modelo é aplicado no contexto de uma cooperativa que possui propriedades (fazendas) com interesse de produzir bioenergia em cluster. Desta forma, um mapa de viabilidade é proposto para uma região do estado do Paraná (Brasil) visando validar a formação dos clusters. Estes se implementados podem viabilizar sistemas produtivos mais sustentáveis e competitivos, criação de novos empregos, preservação do meio ambiente e redução dos custos de produção por meio do aproveitamento da energia autoconsumida.

Palavras-chave: Biogás. Biodigestor. Localização. GIS. Cluster.

ABSTRACT

JESUS, Rômulo Henrique Gomes de. **Biodigester localization model with emphasis on strategic partnership cluster for bioenergy generation**. 2021. 93 p. Work of Conclusion Course Dissertation Master Degree in industrial engineering - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Bioenergy is a renewable energy obtained from biomass and the main benefits are the reduction of greenhouse gas emissions and waste elimination. A common problem in the feasibility analysis for bioenergy production is the location of the biodigester due to the availability and spatial positioning of the biomass. Faced with this problem, this research aims to answer the following question: How to locate a biodigester in agribusiness with a view to forming clusters of strategic partnerships for the production of bioenergy? Therefore, the objective of this dissertation is to propose a model for the location of anaerobic digester in the agribusiness by creating clusters of strategic partnerships for the generation of bioenergy. To this end, a systematic literature review was carried out and a set of biodigester location models were identified as the main methods used for the decision to locate the biodigester: multicriteria decision analysis, heuristics, mathematical programming and Geographic Information System (GIS) . The identified studies have no emphasis on the formation of a cluster to determine the location of the biodigester, therefore, in order to cover the literature gap, a model is proposed that encompasses cluster formation and identification of the location of the biodigester in a strategic partnership environment for the generation of bioenergy. The proposed model has application of multicriteria technique, use of GIS and agglomerative hierarchical algorithm for the formation of clusters. Also, it has features that allow it to be applied to large and small regions, allowing stakeholders to integrate variables that can be minimized or maximized into the model, thus, this feature makes the model flexible to users' needs. Through the model, stages of analysis are established that allow, from a quantitative and qualitative perspective, to preliminarily identify the possibility of creating a strategic partnership and the location of a biodigester. Finally, the model is applied in the context of a cooperative that has properties (farms) with an interest in producing bioenergy in clusters. Thus, a feasibility map is proposed for a region in the state of Paraná (Brazil) to validate the formation of clusters. These, if implemented, can enable more sustainable and competitive productive systems, creation of new jobs, preservation of the environment and reduction of production costs through the use of self-consumed energy.

Keywords: Biogas. Biodigester. Location. GIS. Cluster

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da dissertação	17
Figura 2 - Dendograma	23
Figura 3 - Camada	25
Figura 4 - Classificação dos estudos analisados	28
Figura 5 - Rede de coocorrência de palavras-chave considerando as 500 conexões mais influentes	29
Figura 6 - Rede de ligações bibliográficas de países considerando as 500 conexões mais influentes	30
Figura 7 - Rede de ligações bibliográficas de periódicos considerando as 500 conexões mais influentes	30
Figura 8 - N.º de artigos por abordagens e aspectos	31
Figura 9 - N.º de artigos por abordagens e técnicas de localização	32
Figura 10 - N.º de artigos por aspectos e técnicas de localização	33
Figura 11 - Fluxograma do processo de revisão da literatura	50
Figura 12 - Modelo	51
Figura 13 – Camada Pixel	54
Figura 14 – Exclusão de restrição	54
Figura 15 – Buffer sobre feição	55
Figura 16 – Camada de propriedades	62
Figura 17 – Camada de gasoduto	63
Figura 18 – Camada de vias	64
Figura 19 – Camada de hidrografia	65
Figura 20 – Dendograma	66
Figura 21 – Camada de hidrografia (exclusão de restrição)	68
Figura 22 – Camada de gasoduto (exclusão de restrição)	68
Figura 23 – Camada de vias (exclusão de restrição)	69
Figura 24 – Camada de exclusão de restrição	69
Figura 25 – Fator de seleção vias (a) e gasoduto (b)	70
Figura 26 – Fator de seleção (produção de biogás)	71
Figura 27 – Estrutura hierárquica para localizar locais adequado	72
Figura 28 – Local adequado para biodigestor	73
Figura 29 – Local adequado para biodigestor (2 clusters)	74
Figura 30 – Local adequado para biodigestor (3 clusters)	75
Figura 31 – Parceria estratégica	76

Gráfico 1 - Gráfico exemplo para seleção de cluster	53
Gráfico 2 - Gráfico de seleção de cluster	67
Gráfico 3 – Análise de sensibilidade (variação em Km ²).....	78
Quadro 1 - Classificação da pesquisa	47
Quadro 2 - Procedimento da metodologia.....	48
Quadro 3 - Matriz de julgamento de especialistas	56
Quadro 4 – Exclusão de restrição e fatores de seleção	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram apenas GIS.....	34
Tabela 2 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram apenas GIS+Multicritério	36
Tabela 3 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram apenas Modelo Matemático	39
Tabela 4 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram outras técnicas e combinações de técnicas.....	41
Tabela 5 - Estudos exploratórios e revisão da literatura.....	45
Tabela 6 - Produção de biogás das propriedades (Nm ³ de biogás/ano).....	61
Tabela 7 - Determinação do número ideal de cluster	66
Tabela 8 - Determinação do número ideal de cluster	70
Tabela 9 - Fatores de seleção (AHP)	72
Tabela 10 - Análise de viabilidade para dois clusters.....	74
Tabela 11 - Análise de viabilidade para três clusters.....	75

LISTA SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

AM	Ambiental
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
EC	Econômico
IC	Índice de Consistência
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SO	Social

LISTA DE ACRÔNIMOS

GIS	<i>Geographic Information System</i>
LESP	Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
ONU	Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO, LINHA DE PESQUISA E GRUPO DE PESQUISA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO TEÓRICA	18
2.1 BIOMASSA E BIOENERGIA.....	18
2.1.1 Bioenergia no Agronegócio.....	19
2.1.2 Biodigestores Anaeróbicos	20
2.2 PRODUÇÃO DE BIOENERGIA EM COOPERATIVAS	21
2.2.1 Cluster para produção de bioenergia	22
2.2.2 Técnica para Formação de Cluster	22
2.3 LOCALIZAÇÃO DE BIODIGESTOR	24
2.3.1 Técnica de Análise Espacial	25
2.3.2 Análise Espacial para Localização de Biodigestores	26
2.4 ANÁLISE DA BIBLIOGRAFIA	27
2.4.1 Análise de Rede do Portfólio Final de Estudos	28
2.4.2 Análise das Abordagens, Aspectos e Técnicas de Localização	31
2.4.3 Contribuição para a Literatura dos Estudos Aplicados	33
2.4.4 Contribuição dos Estudos Exploratórios e Revisão da literatura	45
3 METODOLOGIA	47
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	47
3.2 PROCEDIMENTO DA METODOLOGIA	48
3.2.1 Procedimento para Referencial Teórico	49
3.2.2 Procedimentos metodológicos	50
4 RESULTADO E DISCUSSÕES	61
4.1 ETAPA 1.....	61
4.2 ETAPA 2.....	65
4.3 ETAPA 3.....	67
4.4 ETAPA 4.....	73
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
5.1 CONCLUSÃO	79
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A - Portfólio final de artigos	90

1 INTRODUÇÃO

A energia renovável é uma solução para problemas como poluição, mudança climática e crise energética (KHADEMALHOSEINY; AHMADI NADOUSHAN; RADNEZHAD, 2017) cumprindo importante função na estratégia global de redução dos gases do efeito estufa e parcial substituição dos combustíveis fósseis (IAKOVOU *et al.*, 2010).

Entre as fontes de energia renováveis destacam-se energia solar, energia eólica, energia hídrica e bioenergia. Esta última, isto é, bioenergia, é a energia obtida através da decomposição da biomassa, ou seja, resíduos de plantações, resíduos florestais, resíduos animais, resíduos da agricultura, além de, frações de resíduos urbanos e certos tipos de resíduos industriais (IAKOVOU *et al.*, 2010). Diante da diversidade dos tipos de biomassa disponíveis nas áreas rurais, estas, se tornam um combustível importante devido ao seu material orgânico não fóssil que pode ser destinado para alimentação da usina de bioenergia (KONSTANTINOS *et al.*, 2018).

A bioenergia gerada através de biodigestor anaeróbico torna-se interessante para agroindústria e agropecuária, pois, resíduos de animais e colheitas são gerados e se não tratados podem poluir o meio ambiente tornando a aplicação como matéria prima uma solução ambiental, visto que, o rejeito não fica disperso no meio ambiente, sendo também, uma solução econômica, visto que, a biomassa é utilizada para gerar energia renovável que pode ser vendida ou ter autoconsumo, assim, o custos de tratamento de dejetos é evitado (KHADEMALHOSEINY; AHMADI NADOUSHAN; RADNEZHAD, 2017). No biodigestor anaeróbico devido ausência de oxigênio, o material biodegradável é quebrado por microrganismos produzindo biogás (metano, dióxido de carbono, vapor de água, nitrogênio e traços de concentração de hidrogênio, amônia e monóxido de carbono) (MAYERLE; NEIVA DE FIGUEIREDO, 2016) que pode ser queimado no próprio local para gerar aquecimento ou ser utilizado para gerar energia elétrica e fertilizante (MAYERLE; NEIVA DE FIGUEIREDO, 2016).

A escolha da localização do biodigestor anaeróbico é importante porque a biomassa encontra-se geograficamente e espacialmente espalhada (JEONG; RAMÍREZ-GÓMEZ, 2017) e sua localização mal escolhida pode interferir na viabilidade operacional do projeto do biodigestor devido ao aumento do custo de

transporte de biomassa. Neste contexto, estudos visando abordar localização de biodigestor foram realizados em diferentes países entre as modalidades de revisão da literatura, estudos exploratórios e estudos aplicados. Alguns estudos abordam problemas de localização/alocação (PORTUGAL-PEREIRA *et al.*, 2015; SCARLAT *et al.*, 2018; VALENTI *et al.*, 2018) já outros estudos abordam o projeto da cadeia de suprimentos do biodigestor (LÓPEZ-DÍAZ *et al.*, 2017; SILVA; ALCADA-ALMEIDA; DIAS, 2017). Os artigos encontrados na literatura propuseram resolver problema de localização das instalações considerando aspectos econômicos (HÖHN *et al.*, 2014; SARKER; WU; PAUDEL, 2018; VALENTI *et al.*, 2018) aspectos ambientais (THOMPSON; WANG; LI, 2013; ZAREEI, 2018) e aspectos sociais (JEONG; GONZÁLEZ-GÓMEZ, 2020; MA *et al.*, 2005; PERPIÑA; MARTÍNEZ-LLARIO; PÉREZ-NAVARRO, 2013). Diante da importância deste tema e de acordo com as pesquisas realizadas, nenhum artigo publicado abordou modelo para criação de clusters de parcerias estratégicas e localização do biodigestor para geração de bioenergia comunitária. Portanto, a principal contribuição deste trabalho é uma proposta de modelo de localização de biodigestor anaeróbico para a agroindústria mediante clusters de parcerias estratégicas para geração de bioenergia.

A pergunta que guiou esta dissertação foi (Q1) como localizar um biodigestor no agronegócio tendo em vista a formação de clusters de parcerias estratégicas para produção de bioenergia? Para responder esta pergunta a pesquisa de dissertação foi estruturada conforme seção [1.4](#) e visa atingir ao objetivo geral e aos específicos da seção [1.1](#).

1.1 OBJETIVO

Nesta pesquisa o termo modelo é entendido como o meio para descrever a realidade através da união de processos, variáveis e seus relacionamentos, assim, permite que um sistema complexo seja entendido de forma facilitada. Neste contexto, o objetivo geral e específicos serão descritos a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é propor um modelo de localização de biodigestor anaeróbico na agroindústria mediante criação de clusters de parcerias estratégicas para geração de bioenergia.

1.1.2 Objetivos Específicos

- i. Identificação de técnicas para localização de biodigestor
- ii. Identificação de critérios para validação de estruturação de clusters;
- iii. Aplicar modelo de criação de cluster e localização de biodigestor;
- iv. Identificar potencialidades do modelo com vistas às propostas para o desenvolvimento territorial da região estudada.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo projeção da *International Energy Outlook* (2017) a demanda por energia no mundo irá aumentar em 28% no período entre 2015 e 2040. Para suprir esta demanda é previsto que 77% da energia produzida seja de origem fóssil, contudo, este tipo de energia gera prejuízo ao meio ambiente devido a emissões de gases do efeito estufa e como alternativa para este problema é sugerido o uso de recursos renováveis (KONSTANTINOS *et al.*, 2018).

No contexto de energia renovável, segundo Escalante *et al.* (2016) o biodigestor anaeróbico tem relevância global não somente devido a possibilidade de produzir energia, mas também, porque através deste é possível tratar resíduos em sistemas sustentáveis e eficientes sendo a localização essencial para a viabilidade do projeto de instalação.

Desta forma, tendo em evidência o objetivo geral desta pesquisa ([tópico 1.1.1](#)) e o fato de que, não foi encontrado nas bases *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct* pesquisas semelhantes, a execução desta dissertação de mestrado se torna justificável e inédita. Assim, busca-se colaborar para o avanço da literatura e contribuir para a sociedade, visto que, são geradas informações que podem ser usadas como referencial teórico em pesquisas futuras. A pesquisa também se justifica pois proporciona alternativas para o desenvolvimento nacional e regional, visto que, a melhor localização do biodigestor auxilia em tornar operacionalmente e economicamente viável a produção de biogás, podendo levar mais produtores a adotarem esta prática e desta forma alavancar toda uma cadeia produtiva além de proporcionar maior competitividade ao setor. Assim, esta pesquisa dá suporte para localização de biodigestores anaeróbicos mediante modelo proposto na metodologia ([tópico 3](#)).

Já no contexto ambiental pode-se afirmar que esta pesquisa visa reduzir a disposição de resíduos orgânicos, além de, indicar o local apropriado para tratar estes resíduos. No contexto econômico e social, o modelo proposto para produção de energia renovável através de parcerias estratégicas quando implementado pode proporcionar impacto na geração de riqueza no território das propriedades, visto que, ao implantar um biodigestor comunitário, empregos podem ser gerados, além do valor agregado ao rejeito quando transformado em energia renovável.

Por fim, esta pesquisa atende aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis ([ODS](#)) proposto pela organização das nações unidas (ONU) estando inserida em duas entre as dezessete ODS, isto é, geração de energia renovável e acessível e também produção e consumo sustentável. Além disto, a pesquisa está alinhada com [prioridades](#) do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) estabelecidas para projetos de pesquisa que desenvolvem tecnologias e inovações para o período entre 2020 a 2023. Assim, está se insere nas seguintes áreas do MCTIC (1) tecnologias de produção - sobre a perspectiva do agronegócio e (2) tecnologias para o desenvolvimento sustentável - sobre a perspectiva de energias renováveis, bioeconomia, tratamento de poluição e preservação ambiental. Neste contexto, o modelo de localização de biodigestor e geração de parceria estratégica proposto nesta dissertação de mestrado é destinado para o desenvolvimento do agronegócio e pode gerar impacto na sociedade visto que possibilita uma análise prévia para formação de clusters de propriedades da agroindústria que tenham o objetivo comum de gerar bioenergia através de rejeitos orgânicos, possibilitando desta forma tratar poluentes, preservar o meio ambiente e fomentar a bioeconomia no agronegócio.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO, LINHA DE PESQUISA E GRUPO DE PESQUISA

A presente pesquisa está inserida na temática da Engenharia da sustentabilidade que aborda utilização dos recursos naturais de forma eficiente nos sistemas produtivos, tratamento e destinação de resíduos, além de, sistema de gestão ambiental e responsabilidade social (ABEPRO, 2019).

Nesta temática, esta dissertação foi desenvolvida na pós-graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e possui aderência com a área de concentração gestão industrial que pertence ao Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), estando inserida na linha de pesquisa gestão do conhecimento e inovação.

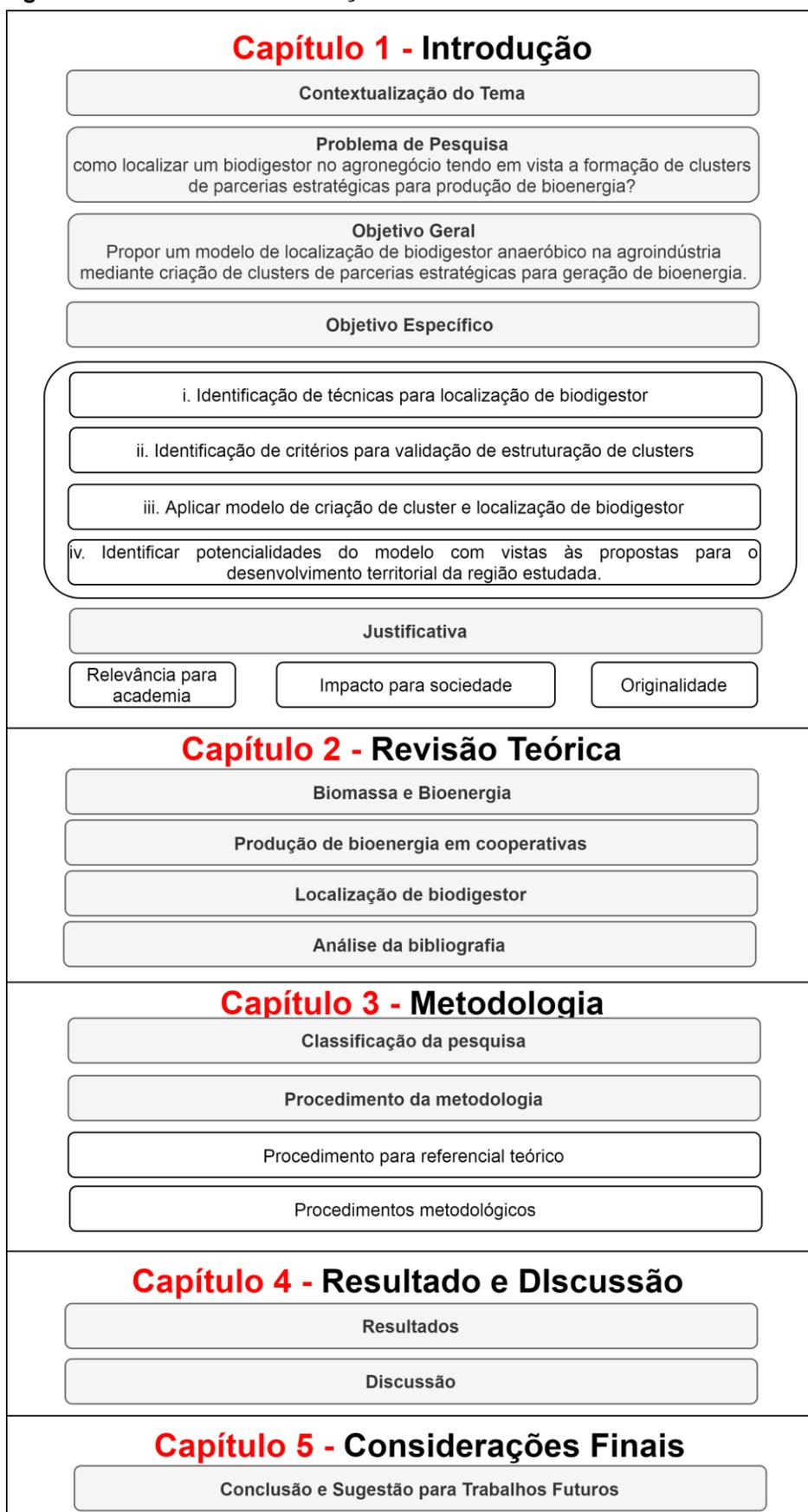
O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos (LESP) que possui estudos sobre o tema desta pesquisa e se resume a publicações em periódicos relevantes (DE SOUZA *et al.*, 2019; SALVADOR *et al.*, 2019; VIEIRA *et al.*, 2020).

Neste contexto, este trabalho está alinhado ao projeto da UTFPR contemplado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO/ONU) que visa desenvolver ferramentas a fim de encontrar e avaliar a partir de resíduos da agroindústria/agropecuária oportunidades para aplicação do biogás tendo como diretriz fins energéticos (FRANCISCO, 2019).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa de dissertação foi estruturada tendo o capítulo 1 que aborda a introdução do estudo, capítulo 2 que contém a revisão da literatura, capítulo 3 aborda a metodologia da pesquisa, capítulo 4 apresenta os resultados e discussão, por fim, o capítulo 5 contém as considerações finais desta dissertação de mestrado, conforme Figura 1.

Figura 1 - Estrutura da dissertação



Fonte: Autoria Própria

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 BIOMASSA E BIOENERGIA

O estudo realizado pelo *Green Peace* (2016) denominado Revolução Energética define [biomassa](#) como todo material orgânico de origem animal ou vegetal. Ainda segundo o estudo 25% do consumo energético do Brasil é suprido pela energia obtida da biomassa, neste contexto, 15,7% têm origem a partir de produtos da cana-de-açúcar, 8,1% tem origem da lenha e carvão vegetal e 4,7% tem origem de outros insumos. Na indústria brasileira 39% do consumo de energia é suprido pela energia gerada através da biomassa e nos transportes públicos a biomassa supri 17,5% do consumo total de energia através dos biocombustíveis.

A biomassa é derivada de plantas e resíduos animais podendo ser classificada considerando o melhor aproveitamento possível no processo de conversão para eletricidade, tendo em vista, diversas rotas tecnológicas disponíveis. Desta forma as biomassas podem ser classificadas da seguinte maneira (MME, 2018).

- 1) Resíduos da cana-de-açúcar (bagaço, palhas e pontas, vinhaça e torta de filtro);
- 2) Resíduos da indústria madeireira (cavaco);
- 3) Palhas das culturas de soja e milho;
- 4) Cascas de arroz e café;
- 5) Resíduos de coco, feijão, amendoim, mandioca e cacau;
- 6) Resíduos agroindustriais e pecuária de confinamento;
- 7) Lodo de estação de tratamento de esgoto;
- 8) Resíduos sólidos urbanos;
- 9) Resíduos das vinícolas.

Por ser renovável a biomassa é um combustível importante no agronegócio devido ao seu material orgânico não fóssil. Neste contexto, o interesse pelo uso em biodigestores está crescendo e seus principais benefícios são estabilidade de preços, recursos de custo não elevado, além de ser uma fonte de combustível potencialmente inesgotável (KONSTANTINOS *et al.*, 2018).

Na perspectiva da aplicação da biomassa para produção de bioenergia Aravind *et al.* (2020) define bioenergia como todo tipo de energia obtida por meio da biomassa, por exemplo, eletricidade e calor.

A produção de bioenergia através da biomassa proveniente do agronegócio reduz a emissão de dióxido de carbono, preserva recursos energéticos não renováveis e promove o desenvolvimento regional (GOLD; SEURING, 2011), além disso, oferece benefícios intangíveis como desenvolvimento de áreas desertas, redução de riscos ambientais e geração de emprego local (KAUNDINYA *et al.*, 2013). A bioenergia pode ser produzida em biodigestores por bactérias em condições anaeróbicas que decompõem a matéria orgânica convertendo-a em biogás e fertilizantes (ZAREEI, 2018).

O biogás já é naturalmente produzido a partir de resíduos rurais, entretanto, os digestores anaeróbicos são uma boa opção para gerenciar a produção do biogás visto que possibilita a destinação deste para geração de energia térmica e energia elétrica. Podendo a energia gerada ser utilizada na fazenda geradora da energia ou vendida para unidades locais próximas.

Por fim, a produção de biogás em biodigestores é uma maneira importante de gerenciar adequadamente os resíduos rurais, pois através dele é possível prevenir a poluição, reduzir odores desagradáveis e reduzir patógenos microbianos (MA *et al.*, 2005; SWINDAL; GILLESPIE; WELSH, 2010).

2.1.1 Bioenergia no Agronegócio

A matriz energética de um país representa quantitativamente a totalidade de energia disponibilizada para consumo. E o planejamento da composição entre combustíveis renováveis (origem em recursos naturais) e não renováveis (origem em recursos fósseis) da matriz energética é importante pois estimula o desenvolvimento regional e crescimento econômico, além de, garantir segurança energética, geração de emprego e renda, e também, acesso da população aos serviços de energia (GOLD; SEURING, 2011).

Segundo Khademalhosseiny, Ahmadi Nadoushan e Radnezhad (2017) para garantir o desenvolvimento econômico através do uso sustentável da energia é desejável progresso no planejamento e gerenciamento dos recursos energéticos. Para esse fim, há necessidade de ampliar o uso dos recursos renováveis nas matrizes energéticas dos países, devendo-se investir em energias renováveis como

energia solar, energia eólica, energia hídrica e bioenergia, isto é, energia derivada da biomassa.

O Brasil é um grande produtor agrícola, pecuária e florestal e se posiciona entre os principais países com potencial para produção de bioenergia no cenário internacional. Assim, os principais fatores que destacam o Brasil para produção de bioenergia são 1) localização geográfica e condições climáticas favoráveis; 2) desenvolvimento do mercado referente a produção e consumo de energia; 3) capacidade de pesquisas que visam aumento da produção de biomassa no país, além de, melhoria e adequação da produção; 4) existência de indústria de serviço estruturada para projetos de bioenergia; 5) existência de políticas nacionais que obriga tratamento e destinação adequada do resíduo (MME, 2018).

O agronegócio brasileiro tem um papel importante no tema energético e de mudanças climáticas e está ganhando atenção política devido às emissões de gases de efeito estufa provenientes de práticas rurais, como, queima de áreas verdes e tratamento inadequado de estrume. Entretanto, quando a biomassa é vista como recurso primários para geração de energia se torna fonte de receita e sustentabilidade. Desta forma, o setor rural pode contribuir para o fornecimento de biomassa que fomenta a produção de bioenergia sendo uma solução energética sustentável (MUKHERJEE *et al.*, 2015).

2.1.2 Biodigestores Anaeróbicos

O biodigestor anaeróbico começou a ser usado nos Estados Unidos para gerar energia e calor no início dos anos 70. Até 1980, muitos projetos foram desenvolvidos, no entanto, a indústria de biodigestores foi reduzida, pois, os projetos eram deficientes e de alto custo (MA *et al.*, 2005). A redução da indústria de biodigestores nos Estados Unidos realça a importância que o custo exerce sobre a viabilidade do projeto.

Segundo MME (2018) o custo da biomassa para produção de bioenergia está associado a fatores como custo de oportunidade do uso da terra, custo de produção e custo logístico. Este último, envolve a localização do biodigestor e processo de suprimento da biomassa (KHADEMALHOSEINY; AHMADI NADOUSHAN; RADNEZHAD, 2017). Assim, o custo logístico é um fator importante na avaliação de viabilidade do projeto de biodigestor (GOLD; SEURING, 2011; HU *et al.*, 2017; KONSTANTINOS *et al.*, 2018; PORTUGAL-PEREIRA *et al.*, 2015;

ZAREEI, 2018). Além do custo logístico, outros fatores precisam ser considerados como disponibilidade de biomassa e tecnologia de processamento que são significativos e afetam a configuração geral do sistema gerador de bioenergia.

No Brasil as políticas nacionais de resíduos sólidos e de saneamento básico determinam que os resíduos gerados sejam tratados de forma adequada e tendo viabilidade técnica, econômica e ambiental o aproveitamento do resíduo deve ser feito (MME, 2018). Como os resíduos do agronegócio são em grande parte orgânicos, estes têm viabilidade técnica e ambiental, entretanto, deve-se avaliar a viabilidade econômica, a fim de, aproveitar o resíduo para geração de bioenergia ao depositá-los no biodigestor anaeróbico.

2.2 PRODUÇÃO DE BIOENERGIA EM COOPERATIVAS

Zareei (2018) afirma que quando a biomassa está concentrada em algumas áreas é mais fácil desenvolver a cadeia de suprimentos do biodigestor, pois, o melhor local para localizar o biodigestor fica próximo da fonte de biomassa. No entanto, alguns países como o Brasil são grandes territorialmente e a biomassa é espalhada (PORTUGAL-PEREIRA *et al.*, 2015).

Nesse contexto, não é fácil gerenciar a cadeia de suprimentos de biomassa em larga escala para produção de energia, devido ao alto custo logístico que compromete o projeto viável. Portanto, as barreiras mais importantes que precisam ser superadas para o desenvolvimento do setor de bioenergia é o custo da cadeia de suprimento de biomassa (DE MEYER *et al.*, 2014).

A cadeia de suprimentos de biomassa eficaz pode ser alcançada por meio de cooperativas em áreas rurais, porque, com a rede de cooperativas organizada, é possível reduzir o custo de transporte de biomassa além de permitir que cada unidade do agronegócio forneça biomassa à grandes biodigestores anaeróbicos centralizados (PORTUGAL-PEREIRA *et al.*, 2015). Vários autores apontaram cooperativa como uma maneira de estruturar a cadeia de suprimentos de biomassa ressaltando práticas bem-sucedidas na Dinamarca e Alemanha (MA *et al.*, 2005; PORTUGAL-PEREIRA *et al.*, 2015) enfatizando a importância de se estruturar a rede em forma de cooperativas.

Tendo em vista a formação de cluster para geração de bioenergia os próximos tópicos abordam o estado da arte da literatura para clusters destinados à produção de bioenergia e técnicas para formação de clusters.

2.2.1 Cluster para produção de bioenergia

Cluster se refere ao processo de reunir objetos semelhantes em um grupo, de modo que, os dados sejam homogêneos dentro do grupo e heterogêneos quando comparados com outros grupos (FIGUEIREDO *et al.*, 2019; KAUNDINYA *et al.*, 2013).

Estudos sobre bioenergia abordam a utilização de cluster, por exemplo, os autores Kaundinya *et al.* (2013) usaram cluster para agrupar aldeias de acordo com o potencial de oferta de biomassa para suprir um biodigestor. Os autores afirmam que o principal custo do processo de fornecimento de biomassa para o biodigestor é o custo de transporte, portanto, é importante determinar a localização ideal do biodigestor para tornar viável o projeto. Para esse fim, o agrupamento das aldeias em cluster torna-se necessário visto que otimiza o fornecimento de biomassa para o biodigestor. Os autores também afirmam que não é recomendável muitos clusters porque aumenta o custo do sistema de energia, visto que cada cluster possui um biodigestor. E também não é recomendável poucos clusters pois aumenta o custo de transporte da biomassa e transmissão de energia (KAUNDINYA *et al.*, 2013).

No estudo de Ma *et al.* (2005) os autores afirmam que grandes fazendas são preferidas para instalar biodigestores anaeróbicos devido a economia de escala, além disso, algumas pequenas fazendas agrupadas em cluster também são preferidas para instalar biodigestores anaeróbicos, porque, através destas pequenas áreas rurais é possível coletar a biomassa e levá-la até um biodigestor comunitário.

2.2.2 Técnica para Formação de Cluster

Mineração de dados consiste na extração de informações de um conjunto de dados com o objetivo de classificar, formar clusters e encontrar associações significativas entre os dados. Com o aumento do volume de dados a mineração de dados tem se tornado mais desafiadora necessitando de abordagens eficientes (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

O processo de formação de clusters através da análise de dados é tarefa essencial da mineração de dados em problemas reais, porque, é possível obter informações antes inexistentes do conjunto de dados. Este processo de formação de cluster consiste em dividir os dados em grupos de acordo com as semelhanças e

diferenças, de forma que, seja maximizado a homogeneidade dentro de cada cluster e heterogeneidade entre os cluster (KAUNDINYA *et al.*, 2013).

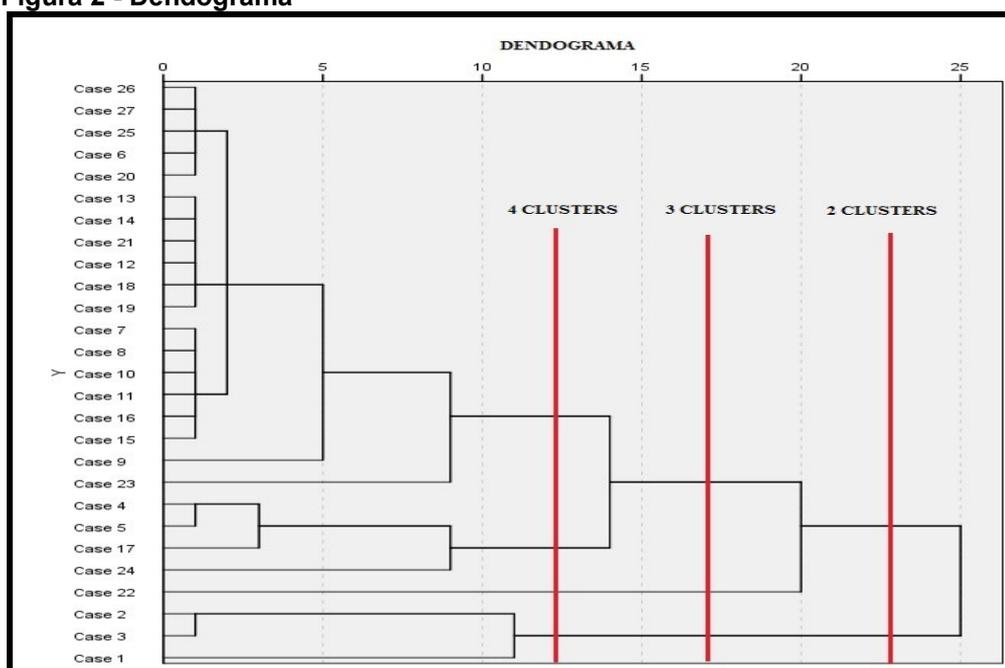
Na literatura não há um algoritmo de cluster com performance melhor que os demais algoritmos, pois, cada método tem suas vantagens e deficiências. Desta forma, a eficácia de um algoritmo depende da definição do problema que se deseja resolver, isto é, número de cluster, processo de inicialização do algoritmo, sensibilidade a outliers entre outros aspectos (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

Segundo Figueiredo *et al.* (2019) na literatura os métodos de formação de clusters podem ser classificados entre partitivo e hierárquico.

Os algoritmos partitivos possuem a característica de permitir o agrupamento de grande quantidade de dados, tornando-os bastante usados em vários campos de pesquisa. O algoritmo partitivo mais conhecido é o K-means e possui como característica a simplicidade e baixa complexidade computacional. Outros algoritmos foram propostos da evolução do K-means como K-harmonic-means, Kernel K-means e K-Medoids (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

Já algoritmos hierárquicos produzem sucessivos níveis de cluster que são representados visualmente pelo dendograma conforme Figura 2.

Figura 2 - Dendograma



Fonte: Autoria Própria

No algoritmo hierárquico, ao contrário dos algoritmos partitivos, não é necessário informar previamente o número de cluster para inicializar o algoritmo pois o algoritmo hierárquico propõe agrupamentos para diferentes clusters.

2.3 LOCALIZAÇÃO DE BIODIGESTOR

A escolha da localização do biodigestor é importante porque a biomassa encontra-se geograficamente e espacialmente dispersa (JEONG; RAMÍREZ-GÓMEZ, 2017) e sua localização mal escolhida pode interferir na viabilidade operacional do projeto do biodigestor. Neste contexto, estudos visando abordar localização de biodigestor estão sendo realizados em diferentes países (ESCALANTE *et al.*, 2016; KONSTANTINOS *et al.*, 2018; VALENTI *et al.*, 2018) e usam métodos como (1) análise de decisão multicritério (2) heurísticas e (3) programação matemática (DE MEYER *et al.*, 2014).

Ainda segundo De Meyer *et al.* (2014), a metodologia multicritério pode ser combinada com técnicas de informação espacial para determinar e ranquear locais adequados para instalação de biodigestor. Sendo desta forma, uma técnica mais fácil de ser compreendida quando comparado com técnicas de programação matemática e heurística.

Algumas características devem ser observadas ao determinar a localização do biodigestor, assim, este deve ser instalado o mais distante possível de elementos como curso de água e áreas com valores ecológicos e agricultura. O uso, ocupação e tipo de solo também deve ser levado em consideração visando reduzir o risco de contaminação, pois, o meio ambiente deve ser preservado. Ao considerar a viabilidade econômica do projeto a proximidade com a rede elétrica, estradas e declividade do solo são aspectos importantes e quando possível devem ser consideradas na análise, além disso, a planta do biodigestor pode ter impacto na população que vive nas proximidades, devido, a modificação da estética do ambiente, odor, segurança, ruído, desvalorização da propriedade e riscos à saúde. Neste contexto os biodigestores devem ser localizados distantes de áreas urbanas, comercial e industrial (SILVA; ALÇADA-ALMEIDA; DIAS, 2014).

Tendo em vista a localização de biodigestor e aspectos econômicos-ambientais-sociais técnicas de análise espacial auxiliam no processo de tomada de decisão. Desta forma, os próximos tópicos irão abordar técnicas de análise espacial para localização de biodigestor.

2.3.1 Técnica de Análise Espacial

Geographic Information System (GIS) consiste em sistema computacional capaz de unir, armazenar, analisar, gerenciar e exibir informações referenciadas com coordenadas geográficas (MA *et al.*, 2005). O GIS é a base de funcionamento de alguns softwares, como [ArcGIS](#), sendo possível por meio deste gerar e exibir camadas de rodovias, gasoduto e hidrografia, conforme Figura 3.

Figura 3 - Camada



Fonte: Autoria Própria

Na literatura, no contexto de energia renovável, GIS tem sido usado para determinar a localização ótima de plantas, pesquisa de informações geográficas e atualização de dados geográficos (KHADEMALHOSEINY; AHMADI NADOUSHAN; RADNEZHAD, 2017; ZAREEI, 2018). Neste contexto, os métodos de análise multicritério para apoio à decisão são usados a fim de auxiliar o tomador de decisão em problemas complexos que envolvem restrições e fatores ambientais, econômico, de segurança e social (SILVA; ALÇADA-ALMEIDA; DIAS, 2014).

Estes métodos multicritérios são com frequência combinados com GIS (JEONG; RAMÍREZ-GÓMEZ, 2017; PERPIÑA; MARTÍNEZ-LLARIO; PÉREZ-NAVARRO, 2013) sendo possível encontrar na literatura combinações de GIS com AHP (MA *et al.*, 2005; PERPIÑA; MARTÍNEZ-LLARIO; PÉREZ-NAVARRO, 2013) GIS com fuzzy e AHP (ESCALANTE *et al.*, 2016; KONSTANTINOS *et al.*, 2018; RODRIGUEZ *et al.*, 2017) e GIS com ELECTRE (SILVA; ALÇADA-ALMEIDA; DIAS, 2014). Assim, o GIS é usado para processamento de informações geográficas e visualização dos resultados do processamento. Portanto, as funções do GIS permitem mensurar informações como distância de transporte, determinação de caminhos curtos entre estabelecimentos, definição de locais potenciais para construção de estabelecimentos entre outros (DE MEYER *et al.*, 2014).

Dados com informações geográficas do potencial de geração de biogás são base para construção de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para localização de plantas de biodigestores anaeróbicos (SCARLAT *et al.*, 2018). E ferramentas avançadas de GIS são usadas com frequência para realizar mapeamento de recursos e análise de uso do solo. A flexibilidade do GIS também é usada para projetar sistema de suporte a decisão web que mapeia os recursos de biomassa e sugere potenciais locais para instalação de biodigestores (MUKHERJEE *et al.*, 2015).

O estudo realizado por Thompson, Wang e Li (2013) conclui que é tecnicamente viável adaptar *software*, que aplica conceito de GIS, para executar tarefas de localização potencial de biodigestores, a fim de, gerar eletricidade e coprodutos energéticos como biogás, fertilizante, biometano e fluídos aquecidos destinados ao aquecimento de residência ou processos produtivos.

2.3.2 Análise Espacial para Localização de Biodigestores

Para tomar decisões espaciais em geral são usadas informações geográficas e GIS, a fim de, integrar os dados espaciais aos modelos de análise. Neste contexto, GIS tornou-se importante para várias áreas de estudo por exemplo agricultura, agropecuária, clima, uso do solo e transporte (HU *et al.*, 2017).

Na perspectiva da bioenergia, GIS está sendo usado para avaliar suprimento de biomassa e suas características, seleção de pontos de coleta de biomassa e até para estimar o custo de transporte em plantas existentes de geração de energia (IAKOVOU *et al.*, 2010), além de auxiliar na determinação do local apropriado para

instalação de planta de biogás de forma que satisfaça uma variedade de restrições sociais, econômicas e ambientais.

Uma barreira comum para o desenvolvimento da rota de biogás é a disponibilidade de informação para especialistas e investidores sobre o potencial retorno do investimento e despesas referentes a energia, além de impactos ambientais e econômicos (ESCALANTE *et al.*, 2016). Para suprir esta demanda modelos de decisão integrados ao GIS são usados em diferentes estudos (JEONG; RAMÍREZ-GÓMEZ, 2017; PERPIÑA; MARTÍNEZ-LLARIO; PÉREZ-NAVARRO, 2013) possibilitando a instalação da planta de biogás em locais que atendam uma variedade de restrições ambientais, sociais, técnicas e econômicas (ESCALANTE *et al.*, 2016).

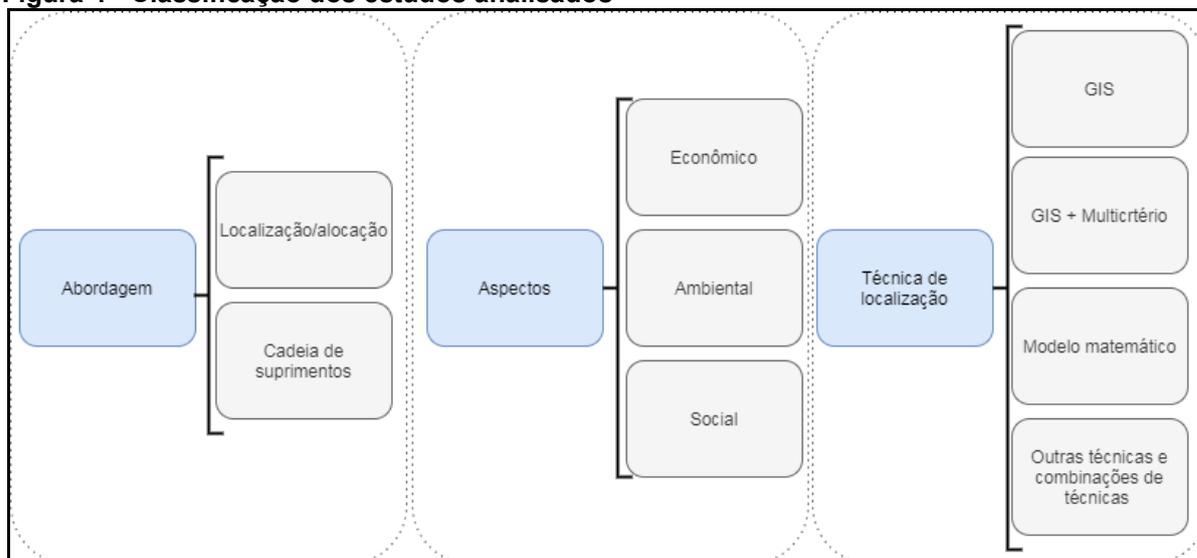
2.4 ANÁLISE DA BIBLIOGRAFIA

Neste tópico 2.4 é exposto os principais resultados de uma revisão realizada da literatura que é detalhada no capítulo de metodologia desta pesquisa. Para esse fim, foi realizada análise de rede ([tópico 2.4.1](#)) através do software VOSviewer, criado por Van Eck e Waltman (2010), a fim de, analisar a coocorrência de palavras chaves, rede de links de países das instituições envolvidas nas publicações e rede de links dos periódicos que publicaram os estudos. A rede de coocorrência de palavras chaves foi realizada para validar as palavras definidas no procedimento metodológico desta pesquisa, além de, identificar como a literatura está sendo direcionada nas pesquisas mais recentes. A rede de links entre países foi realizada para identificar os países que mais contribuiriam para o avanço da literatura na temática de localização de biodigestor e, por fim, a rede de links dos periódicos foi analisada para identificar quais periódicos destacaram-se entre as bases de dados investigadas.

Após a análise de rede os artigos investigados foram classificados entre estudos de revisão da literatura, estudos exploratórios (abordam a temática de localização de biodigestor) e estudos aplicados (aplicam técnicas para localizar biodigestor). Desta forma, quarenta e três artigos foram classificados como estudos aplicados, quatro artigos como exploratórios e três como revisão da literatura. Os estudos exploratórios e de revisão da literatura foram analisados, tendo em vista, a contribuição para a literatura para localizar biodigestores. Os estudos aplicados

foram analisados sobre a perspectiva da abordagem, aspecto e técnicas de localização, conforme Figura 4.

Figura 4 - Classificação dos estudos analisados



Fonte: Autoria Própria

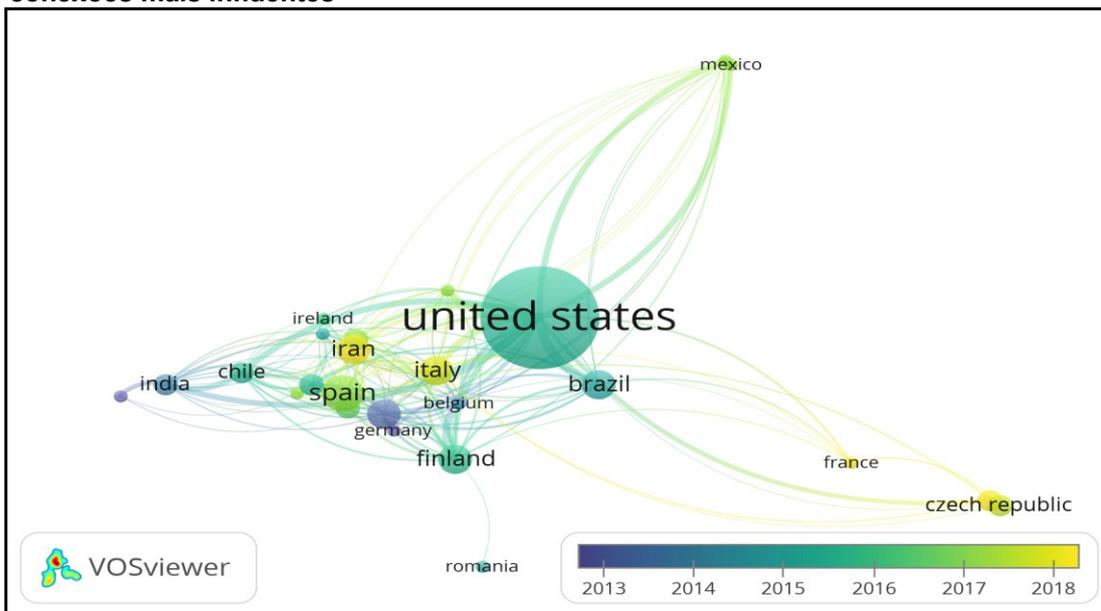
Os problemas de localização/alocação visam localizar a planta do biodigestor buscando minimizar a distância entre os pontos de coleta da biomassa e biodigestor (ZHOU; LIU, 2007). Os problemas que envolvem abordagem da cadeia de suprimento buscam projetar a cadeia de suprimentos do biodigestor e considera o ponto de coleta da biomassa, o biodigestor e respectivos clientes. Os aspectos analisados estão limitados a econômico, ambiental e social e as técnicas analisadas de localização limitam-se às encontradas no portfólio dos artigos desta pesquisa.

2.4.1 Análise de Rede do Portfólio Final de Estudos

O software VOSviewer, versão 1.6.7 foi usado para analisar as redes de conexões existentes no conjunto de artigos do portfólio final. Este também tem sido usado por diversos estudos para analisar a rede de conexões existentes (DE SOUZA *et al.*, 2019; JI *et al.*, 2018; LIAO *et al.*, 2018).

Ao analisar as 500 conexões de palavras chaves mais influentes no portfólio final de estudos desta pesquisa foi constatado que as palavras (*geographich information systems, biomass, biogas, anaerobic digestion*) são encontradas com maior frequência na literatura entre os anos de 2015 a 2017. Entretanto, a partir de 2018 começam a surgir novas palavras-chave como (*sustainable development, economics, manure e fertilizers*), sendo indicativo, que a literatura tende a incorporar o desenvolvimento social, ambiental e econômico, além do uso de estrumes e

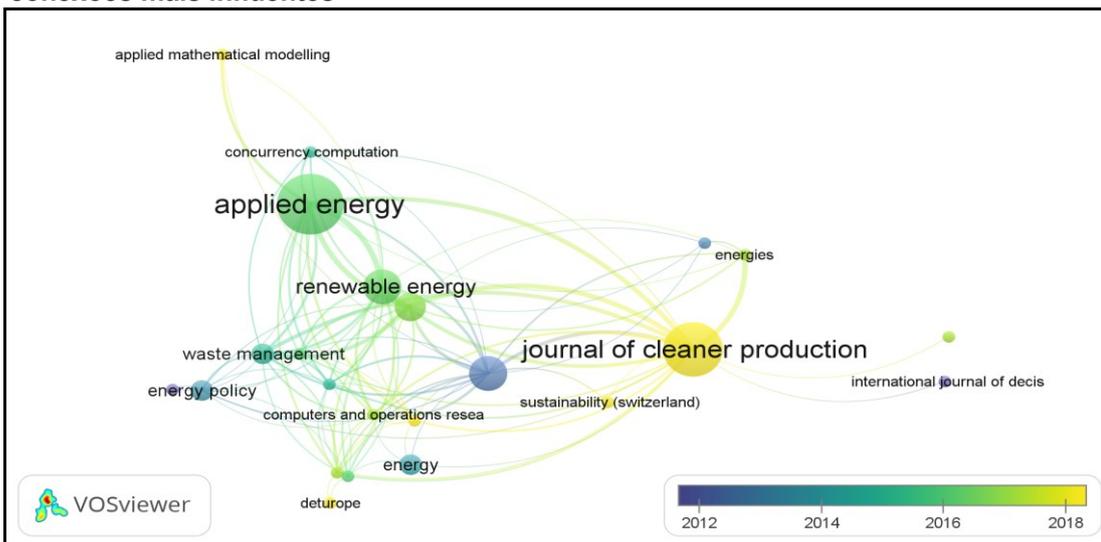
Figura 6 - Rede de ligações bibliográficas de países considerando as 500 conexões mais influentes



Fonte: Autoria Própria

O software VOSviewer, também, foi utilizado para análise dos principais periódicos do portfólio final dos estudos desta pesquisa, conforme Figura 7.

Figura 7 - Rede de ligações bibliográficas de periódicos considerando as 500 conexões mais influentes



Fonte: Autoria Própria

Desta forma, constatou-se que Applied Energy, Renewable Energy e Journal of Cleaner Production são as principais referências encontradas. Sendo o Journal of Cleaner Production o periódico mais atuante nas publicações sobre localização de biodigestor a partir do ano de 2018.

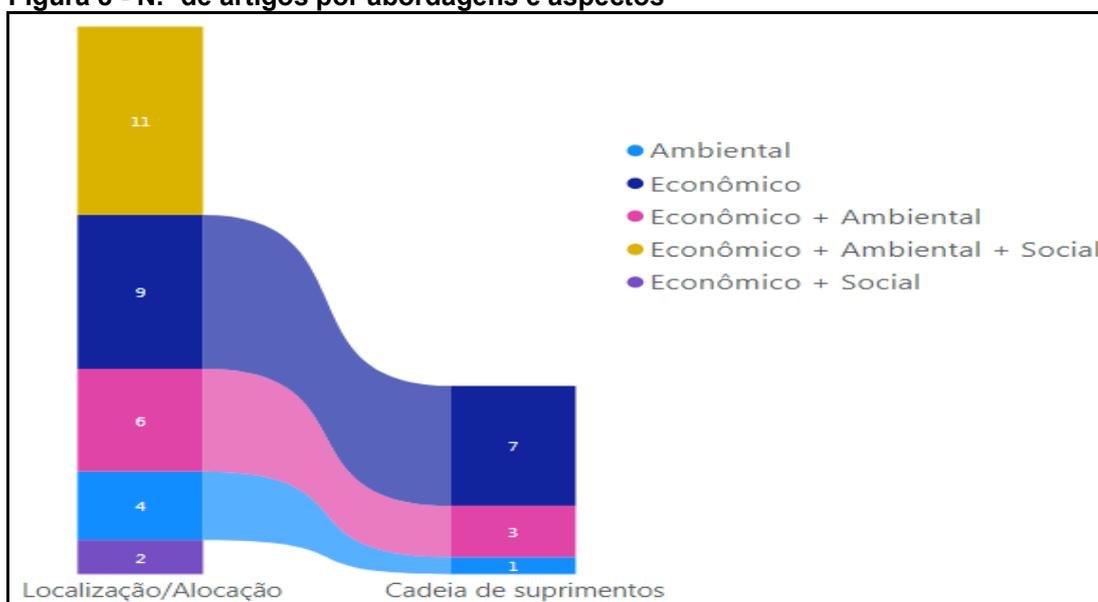
2.4.2 Análise das Abordagens, Aspectos e Técnicas de Localização

Nesta seção 2.4.2 será apresentada a análise dos 43 artigos aplicados sobre a perspectiva da abordagem, aspecto e técnicas de localização.

a) Análise das abordagens e aspectos

Ao analisar sobre a perspectiva das abordagens e aspectos os estudos classificados como aplicados, constatou-se que, estudos que exploram localização/alocação de biodigestor utilizam com maior frequência aspectos econômicos-ambientais-sociais e com menor frequência aspectos econômicos-sociais. Já os estudos que exploram a cadeia de suprimento do biodigestor utilizam com maior frequência aspectos econômicos, conforme Figura 8.

Figura 8 - N.º de artigos por abordagens e aspectos



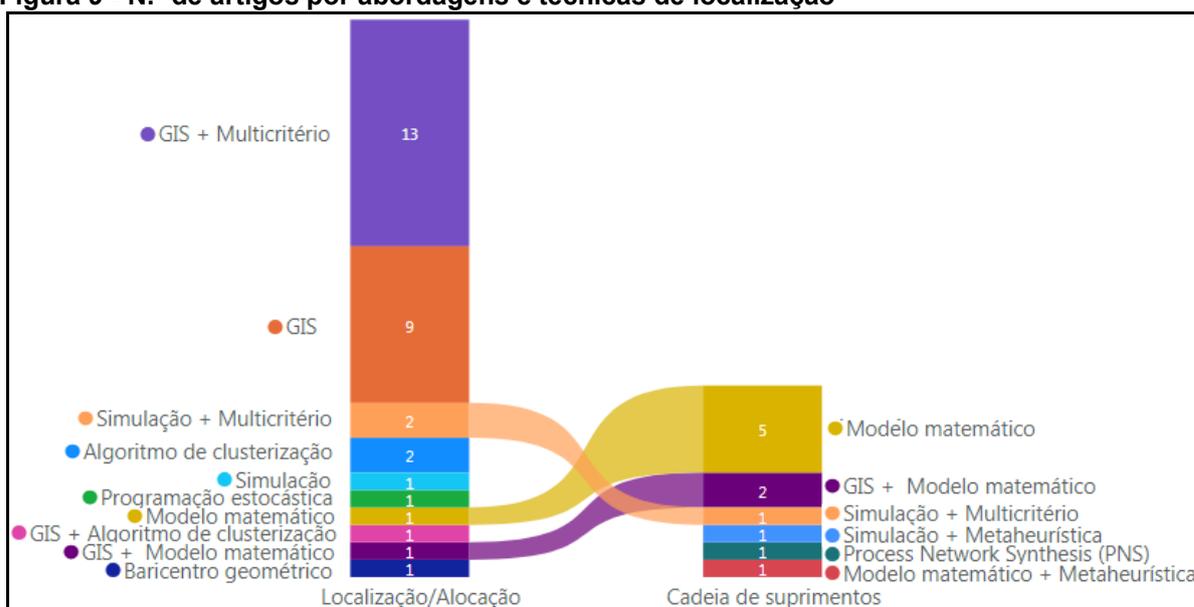
Fonte: Autoria Própria

O aspecto mais estudado na literatura é o econômico, estando presente em estudos que exploram localização/alocação do biodigestor, e também, projetos da cadeia de suprimentos.

b) Análise das abordagens e técnicas de localização

Sobre a perspectiva da abordagem e técnica de localização, nos estudos que exploram localização/alocação, é mais frequente a utilização de técnicas multicritério combinadas com GIS e também é frequente aplicação de somente GIS, conforme Figura 9.

Figura 9 - N.º de artigos por abordagens e técnicas de localização



Fonte: Autoria Própria

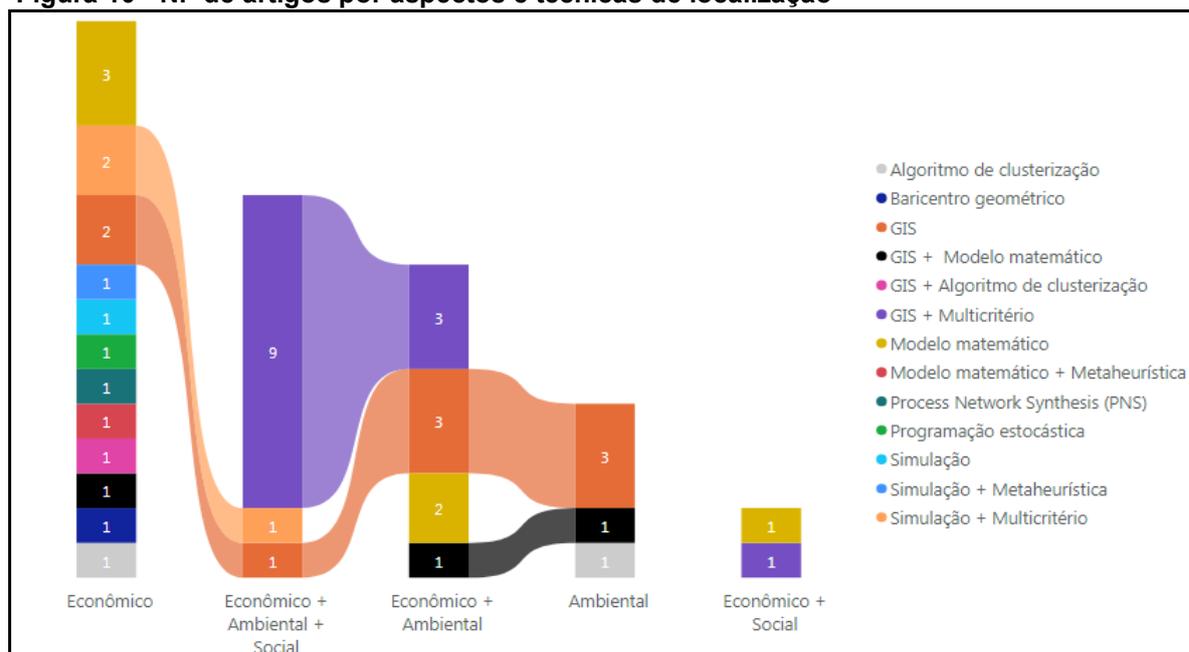
Já nos estudos que abordam o projeto da cadeia de suprimento foi constatado que as técnicas mais frequentes na literatura são modelos matemáticos, seguido da combinação de GIS com modelos matemáticos.

As técnicas de localização presente na literatura que exploram problemas de localização/alocação e cadeia de suprimentos, são: simulação combinado com multicritério, modelo matemático e GIS combinado com modelo matemático.

c) Análise dos aspectos e técnicas de localização

Sobre a perspectiva dos aspectos e técnicas de localização pode-se observar que o aspecto econômico é explorado com maior frequência entre as técnicas presente na literatura. Sobre as técnicas constatou-se que simulação+multicritério, simulação+modelos matemáticos e simulação+GIS são encontradas com maior frequência nos estudos que abordam somente o aspecto econômico, conforme Figura 10.

Figura 10 - N.º de artigos por aspectos e técnicas de localização



Fonte: Autoria Própria

As técnicas GIS combinadas com técnicas multicritério estão presentes com maior frequência nos estudos que abordam o contexto econômico-social-ambiental.

Foi constatado que os aspectos econômicos-sociais são abordados somente pelas técnicas de modelo matemático e GIS combinado com multicritério. E por fim, esta combinação GIS-multicritério aparece, também, com maior frequência na literatura entre os aspectos analisados.

2.4.3 Contribuição para a Literatura dos Estudos Aplicados

Nesta seção foi feita análise dos 43 artigos aplicados encontrados na literatura e estes foram classificados entre as técnicas mais utilizadas. Desta forma, os próximos tópicos ficaram organizados da seguinte maneira (a) contribuição dos estudos aplicados (GIS), (b) contribuição dos estudos aplicados (GIS + Multicritério), (c) contribuição dos estudos aplicados (modelo matemático) e (d) contribuição dos estudos aplicados (outras técnicas e combinações de técnicas).

a) Contribuição dos estudos aplicados (GIS)

GIS é uma ferramenta para processamento de informações geográficas, bem como de visualização dos resultados processados. Portanto, as funções do GIS permitem mensurar informações como distância de transporte, determinar caminhos curtos entre estabelecimentos, definir potenciais locais para construção de estabelecimentos, entre outras utilidades (DE MEYER *et al.*, 2014).

Os estudos analisados nesta seção ficaram classificados conforme Tabela 1, e foram classificados conforme aspectos econômicos (EC), ambientais (AM) e sociais (SO).

Tabela 1 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram apenas GIS

Autor	Aspectos	Técnica
Ramachandra; Krishna; Shruthi (2004)	EC + AM	GIS
Thompson; Wang; Li (2013)	AM	GIS
Hohn <i>et al</i> (2014)	EC	GIS
Portugal-Pereira <i>et al</i> (2015)	EC + AM	GIS
Venier; Yabar (2017)	EC + AM + SO	GIS
Scarlat <i>et al</i> (2018)	AM	GIS
Valenti <i>et al</i> (2018)	EC	GIS
Zareei (2018)	AM	GIS
Van der Horst (2018)	EC + AM	GIS

A sigla econômico (EC), ambiental (AM) e social (SO) se repetem nas tabelas seguintes

Fonte: Autoria Própria

Na literatura são encontrados artigos que abordam a temática GIS para projetar biodigestores, conforme estudo de Ramachandra, Krishna e Shruthi (2004) que analisam o potencial de energia da biomassa em uma região da Índia e propuseram um projeto de implantação de biodigestor anaeróbico que considera recursos disponíveis e demanda por energia como elementos para o projeto do biodigestor.

Thompson, Wang e Li (2013) apresentaram um modelo para orientar o processo de identificação de possíveis locais para instalação de biodigestores anaeróbico em uma região dos Estados Unidos com várias fazendas mediante uso de GIS. A contribuição da pesquisa para a literatura visa suprir a falta de informações e estudos sobre viabilidade de biodigestor, assim, aborda questões como seleção de locais ideais para sistema de digestão anaeróbico no estado de Vermonte. A fim de melhor projetar a cadeia de suprimento, os autores recomendam para estudos futuros o impacto do transporte de estrume, com destino ao biodigestor, no tráfego e estradas locais que devem ser incluídos na análise econômica.

Höhn *et al.* (2014) analisaram a distribuição espacial e a quantidade potencial de biomassa para a produção de biometano, além da localização, tamanho e número ideais de biodigestores. Além disso, desenvolveram um método no ambiente GIS, a fim de, determinar diferentes biomassas e potencial de produção de

biometano no sul da Finlândia, levando em consideração uma ampla gama de biomassas disponíveis, incluindo resíduos orgânicos, lodo, esterco de gado, culturas energéticas e resíduos agrícolas. Os autores avançaram o conhecimento da literatura considerando que estudos anteriores abordam apenas uma seleção limitada de diferentes tipos de biomassa e / ou usaram dados agregados de informações espaciais para capturar a variação espacial das fontes de biomassa.

Portugal-Pereira *et al.* (2015) quantificaram os potenciais resíduos agrícolas e agroindustriais que são ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis para gerar eletricidade em biodigestores no Brasil. Segundo os autores, outras avaliações quantificaram o potencial energético dos principais recursos de biomassa em diferentes regiões do Brasil e uma limitação comum desses estudos foi a falta de informação para quantificar o potencial de produção de resíduos, além de, desconsiderar as limitações econômicas e ambientais para coleta e processamento de resíduos.

Venier e Yabar (2017) propuseram um método de seleção de locais para biodigestores, através do uso de GIS, ao realizar análise da adequação da terra e análise estatística espacial, para este fim, o estudo analisou fazendas de gado localizadas na província de Buenos Aires, Argentina. Segundo os autores, nenhum estudo otimizou a distribuição espacial de biodigestores, através, da integração da análise geográfica e adequação da terra combinados com modelagem de cenários.

Scarlat *et al.* (2018) identificaram locais para produção de bioenergia em grandes regiões da Europa com ênfase no potencial de biogás do esterco bovino e de aves. A contribuição dos autores para o avanço da literatura ocorreu ao realizar a análise espacial do potencial de biogás para a Europa. Para pesquisas futuras, os autores sugeriram a integração do biogás produzido pelas usinas de biodigestão anaeróbica na rede de gás natural e o fornecimento de eletricidade à rede elétrica existente.

Valenti *et al.* (2018) desenvolveram uma modelagem baseada em GIS para projetar um sistema otimizado, de geração de energia e biogás, na província de Catania (Sicília - Itália). Para este fim, o estudo baseou-se no tipo e qualidade das matérias-primas, localização das fazendas e instalações de processamento e rede rodoviária. Os autores avançaram na literatura por integrar aspectos econômicos na análise baseada em GIS, no contexto de produção de biogás, a partir de resíduos

alimentares e subprodutos agrícolas, visto que esta abordagem não havia sido relatada na literatura.

Zareei (2018) investigou as vantagens da produção de biogás a partir de esterco de gado e resíduos rurais no Irã; portanto, um mapa foi desenvolvido para determinar o local apropriado para a instalação de usinas de biogás com base no sistema de informações geográficas. Segundo o autor, estudos anteriores não avaliaram o potencial da produção de biogás a partir de resíduos rurais em diferentes regiões do Irã e não apresentaram um modelo baseado em informações geográficas para encontrar um local apropriado para as plantas de produção de biogás.

Van Der Horst *et al.* (2018) analisaram como biodigestores afetam as atividades agrícolas. Através da análise GIS, os autores identificaram que os biodigestores estão dispersos um do outro. Para este fim, os autores analisaram dados de localização de biodigestores, qualidade do solo e tamanho das fazendas em uma área rural da República Checa. O estudo contribuiu com a literatura, pois identificaram que na República Checa os biodigestores tendem a se concentrar em grandes fazendas e as grandes fazendas tendem a se agrupar.

b) Contribuição dos estudos aplicados (GIS + Multicritério)

Modelos de decisão multicritério integrado ao GIS são usados em diferentes estudos (Jeong and Ramírez-Gómez, 2017; Perpiña *et al.*, 2013), possibilitando a instalação de planta de biogás em locais que satisfaçam uma variedade de restrições ambientais, sociais e econômicas (Escalante *et al.*, 2016). Os estudos analisados nesta seção ficaram classificados conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram apenas GIS+Multicritério (continua)

Autor	Aspectos	Técnica
Ma <i>et al.</i> (2005)	EC + AM + SO	GIS + AHP
Perpiña; Martínez-Ilario; Pérez-Navarro (2013)	EC + AM + SO	GIS + AHP
Silva; Alçada-Almeida; Dias (2014)	EC + AM + SO	GIS + ELECTRE TRI
Franco <i>et al.</i> (2015)	EC + SO	GIS + AHP
Villamar; Rivera; Aguayo (2016)	EC + AM + SO	GIS + AHP
Escalante (2016)	EC + AM	GIS + AHP
Khademalhosseiny; Ahmadi Nadoushan; Radnezhad (2017)	EC + AM	GIS + FAHP and FANP
Rodríguez; Gauthier-Maradei; Escalante (2017)	EC + AM + SO	GIS + AHP
Jeong; Ramírez-Gómez (2017)	EC + AM + SO	GIS + AHP
Jeong; Ramírez-Gómez (2018)	EC + AM + SO	GIS + FDEMATEL

Tabela 2 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram apenas GIS+Multicritério

		(conclusão)
Konstantinos <i>et al.</i> (2018)	EC + AM + SO	GIS + AHP
Jeong; González-Gómez (2020)	EC + AM + SO	GIS + FDEMATEL
Yalcinkaya (2020)	EC + AM	GIS + AHP

Fonte: Autoria Própria

Ma *et al.* (2005) propuseram um modelo GIS para avaliação da adequação da terra e sistemas potencial de energia. O modelo foi capaz de fornecer uma visão ampla do potencial desenvolvimento de sistemas de bioenergia na área de estudo e identificou locais para produção de bioenergia em uma região de Nova York, usando a técnica GIS e multicritério.

Perpiña, Martínez-Llario e Pérez-Navarro (2013) propuseram uma metodologia que combina multicritério e GIS para identificar áreas adequadas para localização de biodigestores para promoção de energias renováveis. A motivação do estudo foi encontrar uma resposta para os países europeus diante da estratégia europeia de promoção de energias renováveis. O estudo foi aplicado em uma região de Valência (Espanha).

Silva, Alçada-Almeida e Dias (2014) desenvolveram uma abordagem multicritério espacial para apoiar os tomadores de decisão no processo de localização de biodigestores. Os autores identificaram locais para produção de bioenergia em grandes regiões de Portugal, com ênfase na abordagem multicritério ELECTRE TRI e GIS.

Franco *et al.* (2015) propuseram a metodologia GIS-AHP-FWOD (Fuzzy Weighted Overlap Dominance) para apoiar diferentes tomadores de decisão na identificação de locais adequados para localização de biodigestores anaeróbicos, levando em consideração a minimização de custos econômicos e sociais. O estudo contribui com a literatura, pois aborda Multi Criteria Decision Making Methods (MCDM) para localizar biodigestores. Assim, o modelo de sistema de apoio à decisão permitiu o manuseio de informações imprecisas sobre os múltiplos critérios.

Villamar, Rivera e Aguayo (2016) utilizaram modelos GIS e AHP para localizar áreas viáveis de resíduos agrícolas e animais para produção de bioenergia. Para essa finalidade, buscaram estabelecer mapas regionais do potencial energético da indústria agropecuária da região de Bío-Bío, Chile. O modelo demonstrou a viabilidade do uso de sistemas de informação geográfica no estabelecimento de plantas de digestão anaeróbica para resíduos agrícolas e pecuários.

Escalante *et al.* (2016) identificaram locais para produção de bioenergia em uma região da Colômbia, com ênfase no Spatial Decision Support System (SDSS). Esse sistema foi construído para auxiliar os tomadores de decisão na seleção de matérias-primas apropriadas de acordo com o potencial de biometanação, identificar os locais mais adequados para instalações de biodigestores, bem como determinar a capacidade ideal da planta e cadeia de suprimentos e, por fim, avaliar os riscos e custos associados.

Khademalhosseiny, Ahmadi Nadoushan e Radnezhad (2017) propuseram um método para selecionar o melhor local para instalação de aterro sanitário e produção de biogás com base na integração dos métodos GIS com Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) e Fuzzy Analytic Network Process (FANP).

Rodríguez, Gauthier-Maradei e Escalante (2017) identificaram locais para a produção de bioenergia em uma região da Colômbia, utilizando GIS integrado com Fuzzy e AHP. Os autores contribuíram para o avanço de métodos de decisão multicritério, fornecendo uma metodologia de decisão espacial. A metodologia é útil nos estágios iniciais do processo de tomada de decisão no nível estratégico, pois ajuda a determinar as combinações de alternativas mais adequadas (maior benefício socioeconômico e menor impacto ambiental) na identificação dos melhores locais para a instalação de plantas de bioenergia.

Jeong e Ramírez-Gómez (2017) identificaram locais para produção de bioenergia em uma região da Espanha, com ênfase em GIS combinado com multicritério-AHP. A análise de sensibilidade foi utilizada para mostrar a percepção dos critérios mais influentes para a tomada de decisão. Os mesmos autores, (2018) também utilizaram outros métodos para identificar esses locais, que são o GIS integrado com Fuzzy-DEcision-MAking Trial e Evaluation Laboratory – FDEMATEL). O método foi aplicado para otimizar a localização de biodigestores, a fim de garantir a sustentabilidade a longo prazo. .

Konstantinos *et al.* (2018) identificaram locais para produção de bioenergia em uma região da Grécia através do desenvolvimento do Spatial Decision Support System (SDSS), combinando AHP e Fuzzy para determinar os coeficientes de peso dos critérios.

Jeong e González-Gómez (2020) propuseram um protótipo de ferramenta (GIS-multicritério) baseado na Web. O protótipo gera avaliações da adequação da localização do biodigestor em resposta às várias estratégias governamentais.

Yalcinkaya (2020) propôs um modelo que combina AHP e GIS para localizar biodigestores. O estudo foi aplicado na cidade Izmir (Turquia) e constituiu uma etapa importante no estabelecimento de sistemas locais de apoio à decisão que visa reduzir custos e proteger o meio ambiente ao planejar a utilização de fontes para produção de bioenergia na Turquia.

c) Contribuição dos estudos aplicados (modelo matemático)

Segundo Zema (2017) técnicas de programação matemática requerem o conhecimento de variáveis que são usadas para descrever problemas complexos, além de, exigir longo tempo para processamento computacional. Assim, esta técnica é mais adequada para detalhar projetos de instalação de biodigestores ao invés de realizar análise de viabilidade preliminar.

Os estudos analisados nesta seção ficaram classificados conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram apenas Modelo Matemático

Autor	Aspectos	Técnica
Balaman, Selim (2014)	EC + AM	MILP
Wu; Sarker; Paudel (2015)	EC	MINLP
Mayerle; De Figueiredo (2016)	EC	MIP
Silva; Alçada-Almeida; Dias (2017)	EC + SO	MMILP
López-Díaz (2017)	EC + AM	MINLP
Sarker; Wu ; Paudel (2018)	EC	MINLP

Fonte: Autoria Própria

Balaman e Selim (2014) desenvolveram um modelo que otimiza a cadeia de suprimentos para produção de bioenergia, com ênfase na maximização dos lucros por meio da abordagem Mixed Integer Linear Programming (MILP), a fim de determinar a localização mais apropriada para identificação de número, capacidade e localização dos biodigestores e de armazenamento de biomassa.

Wu, Sarker e Paudel (2015) desenvolveram um método analítico para determinar o local ideal para instalação de um biodigestor, além de alocar a quantidade de matéria-prima que cada hub deve enviar para o biodigestor, a fim de minimizar o custo total no fornecimento de matérias-primas (resíduos florestais, esterco e grama) e construção de um sistema de produção de biometano. Segundo os autores esta foi a primeira pesquisa que abordou e modelou o problema de alocação de biodigestor para geração de biometano usando uma ou mais fontes de matéria-prima. Os autores utilizaram mixed integer nonlinear programming (MINLP) como técnica de localização aplicada ao modelo proposto.

Mayerle e Neiva De Figueiredo (2016) investigaram a importância dos sistemas logísticos para a produção de energia a partir da decomposição anaeróbica. O estudo contribui com a literatura, fornecendo uma formulação conceitual e uma solução analítica para o problema de otimização da rede logística que liga fazendas com excesso de biomassa a uma unidade de biodigestão, para a geração de biogás, a fim de ser usado por uma usina elétrica ou outro tipo de instalação produtora de energia. De acordo com os autores, este estudo foi o primeiro tratamento analítico na literatura que inclui soluções para determinar localização ideal da planta, identificação de fornecedores de biomassa de animais de fazenda e agendamento de operações de coleta de biomassa. Os autores utilizaram Mixed-Integer Programming (MIP) como técnica de otimização no estudo.

Silva, Alcada-Almeida e Dias (2017) abordaram o problema de localizar biodigestores anaeróbicos, além de definir simultaneamente o tamanho da planta em cada local e quantidade de esterco que cada fazenda de gado leiteiro deve processar em cada biodigestor. Assim, os autores apresentaram uma abordagem de Programação Linear Inteira Mista Multiobjetiva (MMILP) para identificar locais e capacidades de plantas de biogás para tratar resíduos de animais de fazendas leiteiras e atribuir cada fazenda a um subconjunto das plantas de biogás.

López-Díaz *et al.* (2017) apresentaram uma estrutura de otimização para projeto de construção da cadeia de suprimento de biodigestores. Os autores otimizaram o modelo ao incluir restrições de uma bacia hidrográfica, desta forma, foram identificados locais para produção de bioenergia em uma região do México. O estudo incluiu a seleção ideal de matérias-primas, bem como a distribuição de matérias-primas e produtos e utilizou Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP), como técnica de programação matemática para otimizar o projeto de sistema de biodigestores.

Sarker, Wu e Paudel (2018) propuseram um modelo de localização com vários resíduos, vários centros de distribuição e vários biodigestores, a fim de projetar a logística do sistema de produção de biometano. Os autores contribuíram para o avanço da literatura, visto que faltam pesquisas que se concentrem no projeto da cadeia de suprimentos em um sistema de produção gás biometano. Segundo os autores, este foi o primeiro estudo que abordou a cadeia de suprimentos de produção de biometano modelada como um problema de MINLP.

d) Contribuição dos estudos aplicados (outras técnicas e combinações de técnicas)

É comum na literatura encontrar técnicas combinadas para determinar a localização de biodigestores, além de outras técnicas diferentes das abordadas anteriormente. Neste contexto, os estudos analisados nesta subseção ficaram classificados conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Estudos aplicados do portfólio final que utilizaram outras técnicas e combinações de técnicas

Autor	Aspectos	Técnica
Kaundinya <i>et al</i> (2013)	EC	Algoritmo de agrupamento
Maier; Gemenetzi (2014)	EC	Process Network Synthesis (PNS)
Grigoras; Scarlatache (2015)	AM	Algoritmo de agrupamento
Mukherjee <i>et al</i> (2015)	EC	Modelo Matemático + GIS
Hu <i>et al</i> (2015)	EC + AM	Modelo Matemático + GIS
O'shea <i>et al</i> (2016)	EC	Simulação
Zema (2017)	EC	Baricentro
Hu <i>et al</i> (2017)	EC	Simulação + Multicritério
Hrabec (2017)	EC	Programação Estocástica
Khishtandar (2019)	EC	Simulação + Metaheurística
Laasasenaho <i>et al</i> (2019)	EC	GIS + Algoritmo de agrupamento
Sarker; Wu; Paudel (2019)	EC	Modelo Matemático + Metaheurística
Falconer <i>et al</i> (2020)	EC + AM + SO	Simulação + Multicritério
Sharara <i>et al</i> (2020)	EC	Simulação + Multicritério
Thiriet; Bioteau; Tremier (2020)	AM	Modelo Matemático + GIS

Fonte: Autoria Própria

O estudo de Kaundinya *et al.* (2013) identificaram locais para produção de bioenergia em várias fazendas localizadas no distrito de Tumkur (Índia), com ênfase na formação de clusters de vilas. A abordagem ajudou a selecionar potenciais locais para instalação de biodigestores e permitiu combinar oferta de bioenergia com a demanda por energia. No estudo foi proposto um algoritmo de agrupamento K-metoids, que iterativamente atinge um número ideal de locais para usinas de bioenergia, com o objetivo de minimizar o custo total do transporte de biomassa, além de minimizar o custo de transmissão e instalação do sistema.

Maier e Gemenetzi (2014) otimizam a cadeia de suprimento para produção de bioenergia usando a técnica Process Network Synthesis (PNS). O estudo enfatiza na integração de indústrias e residências. A pesquisa aborda o fornecimento de bioenergia para grandes complexos industriais e concentra-se na construção de

sistemas inteligentes para utilizar os recursos disponíveis sem causar concorrência direta ao fornecimento de alimentos e rações para a sociedade do contexto da pesquisa.

Grigoras e Scarlatache (2015) propuseram um método de mineração de dados baseado em cluster para avaliar o potencial de biomassa. O estudo dos autores contribui para a literatura, pois sugere um programa de gerenciamento de informações que possibilita avaliar o potencial de energia renovável de diferentes áreas geográficas. Para esse fim o método K-means foi usado na formação dos clusters.

Mukherjee *et al.* (2015) identificaram a disponibilidade de biomassa, número ideal, tamanho e localização dos biodigestores em uma região com várias fazendas nos Estados Unidos. Para esse fim, os autores combinaram técnicas como modelo matemático e GIS.

Hu *et al.* (2015) desenvolveram um modelo de otimização da cadeia de suprimentos através do processo de decisão espacial para transformar biomassa em biocombustível com ênfase na metodologia BioScope, que usa programação matemática. Segundo os autores, a maioria dos aplicativos de suporte à decisão existentes para o desenvolvimento de biocombustíveis não foi bem integrada à modelagem de otimização da cadeia de suprimentos. Assim, o CyberGIS-BioScope é desenvolvido no estudo para fornecer os benefícios do suporte à decisão espacial escalável e interativo para otimização da cadeia de suprimentos de biomassa.

O'shea *et al.* (2016) determinaram os pontos ideais de injeção de biometano na rede para grandes instalações de digestão anaeróbica centralizada (CAD) que processam matérias-primas e resíduos, sob vários cenários de tamanho e incentivo da planta. O artigo também identifica a quantidade de biodigestores, capacidade e preço mínimo da energia gerada, com ênfase no nível de incentivo e maximização do tamanho do biodigestor. Neste contexto, segundo os autores, o artigo visa suprir os poucos estudos sobre efeito do tamanho da planta, disponibilidade e localização da matéria-prima, além de gerar informação para apoio de políticas que favoreçam a implantação do biometano em sistemas de rede.

Zema (2017) propôs um método que usa a técnica de baricentro para estimar a produção ótima de energia elétrica e a lucratividade dos biodigestores anaeróbicos, além de fornecer a localização mais apropriada e a combinação ideal de substratos. Segundo o autor, o trabalho representa uma contribuição relevante

para a literatura, pois aborda questões econômicas da digestão anaeróbica, identificação de substratos, além da localização e tamanho mais adequados para os biodigestores anaeróbicos.

Hu *et al.* (2017) desenvolveram uma abordagem de cyberGIS (também conhecido como ciência da informação geográfica e sistemas baseados em infraestrutura cibernética avançada e ciência eletrônica) para otimizar as cadeias de suprimento de biomassa sob incertezas. O sistema serve como uma nova abordagem que integra gerenciamento de dados, modelagem matemática, análise de incerteza e sensibilidade, análise de cenários hipotéticos e representação e visualização de resultados para a otimização da cadeia de suprimentos de biomassa. Desta forma, um aplicativo CyberGIS-BioScope foi desenvolvido para permitir o suporte a decisões on-line para a otimização determinística da cadeia de suprimentos de biomassa. Segundo os autores, a abordagem cyberGIS, preenche as lacunas entre pesquisa, desenvolvimento e implementação da otimização da cadeia de suprimentos de biomassa sob incertezas. Para esse fim, os autores utilizaram técnicas como simulação de cenários combinado com multicritério.

Hrabec *et al.* (2017) sugerem uma ferramenta de localização de biodigestor baseada em resíduos públicos e resíduos domésticos, com ênfase em programação estocástica. O estudo realizado na República Checa demonstra que os riscos adicionais de custos, para a cadeia de suprimento do biodigestor, ocorrem devido a mudanças no mercado. Desta forma, segundo os autores, mudanças no mercado podem ser difíceis de prever, portanto a pesquisa identifica que reduções de riscos podem ser alcançadas através do investimento em processos da cadeia de suprimentos.

Khishtandar (2019) desenvolveu um modelo para localização da cadeia de suprimento de biogás que inclui fazendas, hubs e um único reator de biogás. Segundo o autor, a novidade do artigo decorre da metodologia da solução, que abrange combinação de simulação de Monte Carlo e algoritmos evolutivos. Além disso, o autor afirma que é o primeiro estudo que projeta cadeia de suprimentos de biogás para uma província no Irã.

Laasasenaho *et al.* (2019) desenvolveram um modelo para investigar a localização ideal para dois tipos de biodigestores, usinas agrícolas e centrais de biogás e para terminais de madeira em áreas rurais, respectivamente. O estudo objetivou minimizar distâncias de transporte. Segundo o autor, o mesmo tipo de

análise através do software R não havia sido usado anteriormente na literatura para planejamento de usinas de biogás. Desta forma, o estudo otimiza a localização através da formação de clusters gerados no software R. A ferramenta de otimização de localização identificou logicamente clusters viáveis de fazendas e outros locais de origem de biomassa para futura produção de biogás.

Sarker, Wu e Paudel (2019) propuseram localizar hubs para coletar matéria-prima que serão transportadas para biodigestores anaeróbicos para produção de biometano. No estudo o transporte do biometano é feito através de redes de tubulações que ligam o biodigestor a um condensador. Segundo os autores, nenhum estudo abordou completamente os locais dos hubs de coleta de matéria-prima, biodigestores, condensador para liquefação e distribuição do biometano aos clientes. Assim, uma heurística baseada em algoritmo genético é desenvolvida e combinada com a técnica MINLP. Desta forma, a novidade do estudo para a literatura é a abordagem da combinação de algoritmo genético com programação matemática para solução de problemas da cadeia de suprimento do biometano.

Falconer *et al.* (2020) criaram uma ferramenta de suporte à decisão para o planejamento de biodigestor anaeróbico na Inglaterra. Segundo os autores, o estudo contribui com a literatura, pois há escassez de estudos explorando o papel de biodigestor anaeróbico a partir de resíduos de alimentos, além de considerar o impacto ambiental em termos de emissões e respostas sociais. Nesta pesquisa é utilizada a técnica de simulação de cenário combinado com técnica multicritério.

Sharara *et al.* (2020) desenvolveram uma metodologia de planejamento para apoiar sistemas de digestão anaeróbica sob incerteza. O estudo de caso foi realizado em regiões de produção de laticínios em Wisconsin, Estados Unidos. Assim, os autores abordaram os impactos de informações específicas do local, como tamanhos de fazenda e distribuições espaciais, e também a incerteza dos parâmetros técnicos e econômicos envolvidos na configuração ideal dos sistemas digestão anaeróbica. Para esse fim, foram utilizadas técnicas de simulação e multicritério.

Thiriet, Bioteau e Tremier (2020) criaram uma abordagem para projetar micro redes de digestores anaeróbicos descentralizados, a fim de agregar valor nos resíduos biológicos urbanos e peri-urbanos. Segundo os autores, o estudo contribui para o avanço da literatura, pois não foi identificado anteriormente nenhum estudo

que focava especificamente em uma rede descentralizada de tratamento de resíduos biológicos baseada na digestão micro-anaeróbica.

2.4.4 Contribuição dos Estudos Exploratórios e Revisão da literatura

Nesta subseção é apresentado os estudos exploratórios e de revisão da literatura do portfólio final desta pesquisa. Neste contexto, os estudos analisados nesta subseção ficaram classificados conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Estudos exploratórios e revisão da literatura

Autor	Tipo de estudo	Revista
Iakovou <i>et al.</i> (2010)	Revisão da literatura	Waste Management
Swindal, Gillespie, Welsh (2010)	Estudo exploratório	Agriculture and Human Values
Gold, Seuring (2011)	Revisão da literatura	Journal of Cleaner Production
Kremmydas, Petsakos, Rozakis (2012)	Estudo exploratório	International Journal of Decision Support System Technology
Wirth (2014)	Estudo exploratório	Energy Policy
De Figueiredo, Mayerle (2014)	Estudo exploratório	Renewable Energy
De Meyer <i>et al.</i> (2014)	Revisão da literatura	Renewable and Sustainable Energy Reviews

Fonte: Autoria Própria

Assim, Iakovou *et al.* (2010) apresentaram uma síntese crítica da literatura com o objetivo de gerar novos conhecimentos a respeito de questões relacionadas ao gerenciamento da cadeia de suprimentos. O estudo analisa a literatura sobre a perspectiva da avaliação da biomassa potencial e alocação de locais de coleta de biomassa e instalações de produção de energia.

Swindal, Gillespie e Welsh (2010) avaliaram o nível de interesse por biodigestores comunitários entre produtores de leite, a fim de entender os fatores, estruturas das fazendas e aspectos social e demográficos que afetam esse interesse. O estudo analisou o interesse dos produtores de leite da região de Nova York sobre biodigestores comunitários.

Gold e Seuring (2011) realizaram uma revisão da literatura que analisa e avalia sistematicamente trabalhos que tratam da cadeia de suprimentos e logística para implementação de sistemas de produção de bioenergia. Assim, o estudo estrutura de forma conceitual o gerenciamento da cadeia de suprimentos e questões logísticas para produção de bioenergia.

Kremmydas, Petsakos e Rozakis (2012) propõem um modelo de melhoria da eficiência WEB –SDSS (WEB – Spatial Decision Support Systems) através de

Parellel Computing em avaliação de projetos de bioenergia, examinando a eficácia do tempo de resposta da WEB – SDSS, a fim de reduzi-lo. No estudo os resultados obtidos são que o tempo total da solução diminui significativamente à medida que as experiências dos usuários aumentam. Essa declaração é ilustrada pela comparação de modelos matemáticos no setor agrícola através da programação matemática linear e não linear.

Wirth (2014) em seu estudo analisa o surgimento e constituição de cooperativas de biogás no Sul de Tyrol, na Itália. O estudo contribui para o entendimento das características institucionais da cooperativa, além de contribuir para modelagem das decisões dos cooperados associados que levaram à criação da cooperativa.

De Figueiredo e Mayerle (2014) apresentaram uma abordagem sistêmica para dimensionar e projetar a cadeia de suprimentos de um biodigestor. Desta forma, os autores buscam minimizar o custo de transporte de biomassa. Segundo os autores a pesquisa visa cobrir o gap da literatura tendo como foco a determinação de viabilidade econômica de pequenas e médias fazendas, visto que, a literatura aborda somente macros regiões ou fazendas individuais na análise de viabilidade.

De Meyer *et al.* (2014) revisaram a literatura e forneceram uma visão geral dos métodos e modelos de otimização com ênfase nas decisões relacionadas ao projeto e gerenciamento da cadeia de suprimentos. Após uma descrição geral da cadeia de suprimentos e das decisões que acompanham o projeto e gerenciamento, todas as publicações selecionadas são classificadas e discutidas de acordo com a metodologia de otimização matemática usada, nível de decisão e variáveis de decisão, além do objetivo a ser otimizado.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Em uma pesquisa científica a metodologia é definida como: “conjunto de processos empregados na investigação e na demonstração da verdade” (CERVO *et al.* 2007). Pela metodologia evidenciam as etapas e procedimentos utilizados, com o intuito de organizar melhor os fatos e conseqüentemente o seu entendimento. Devido aos diferentes tipos de pesquisas existentes, torna-se necessário classificar a pesquisa de acordo com um sistema de classificação, a fim de, ambientar a presente pesquisa quanto às semelhanças e diferenças entre as modalidades de pesquisas existentes.

Desta forma esta pesquisa foi classificada de acordo com a finalidade, abordagem, objetivos e métodos empregado (GIL, 2010), conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação da pesquisa

Classificação	Tipo de pesquisa	Definição
Finalidade	Aplicada	Busca resolver problemas identificados no âmbito das sociedades em que os pesquisadores vivem
Abordagem	Predominantemente quantitativa	As preocupações da abordagem quantitativa são: <ul style="list-style-type: none"> • Mensurabilidade – mensuração de variáveis; • Causalidade – expressa o relacionamento de causa e efeito entre variáveis dependentes e independentes; • Generalização – os resultados da pesquisa podem ser generalizados para além dos limites da pesquisa, e por fim; • Replicação – Trata-se de refazer a pesquisa e encontrar o mesmo resultado.
Objetivo	Exploratória	Possui como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, a fim de, torná-los mais explícitos.
Método empregado	Survey	Possibilita responder questões de um público alvo.

Fonte: Autoria Própria

Quanto ao método empregado esta pesquisa é classificada como *survey*, pois responde a questões (no contexto real de uma agroindústria localizada no Paraná) por meio da aplicação do modelo proposto para localização de biodigestor e criação de parceria estratégica.

3.2 PROCEDIMENTO DA METODOLOGIA

O procedimento da metodologia desta dissertação está dividido entre procedimentos para o referencial teórico e procedimento metodológico, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Procedimento da metodologia

Procedimentos para referencial teórico	Capítulos	Definição do problema	
	Introdução Metodologia	1- Busca e leitura preliminar de artigos 2- Definição da pergunta e objetivos da pesquisa 3- Definição das palavras-chave	
Procedimentos metodológicos	Capítulos	Contribuição para o conhecimento	Atendimento aos objetivos específicos
	Revisão teórica Metodologia	1- Levantamento do estado da arte 2- Análise de GAP 3- Identificação de elementos para solução do problema	i. Identificação de técnicas para localização de biodigestor
Procedimentos metodológicos	Capítulos	Construção da solução do problema	Atendimento aos objetivos específicos
	Metodologia Resultados e Discussões	1- Proposta para formação de cluster 2- Proposta para localização de biodigestor	ii. Identificação de critérios para validação de estruturação de clusters;
	Capítulos	Aplicação do modelo	Atendimento aos objetivos específicos
	Metodologia Resultados e Discussões	1- Análise de resultados	iii. Aplicar modelo de criação de cluster e localização de biodigestor; iv. Identificar potencialidades do modelo com vistas às propostas para o desenvolvimento territorial da região estudada.

Fonte: Autoria Própria

Através do procedimento para referencial teórico buscou-se, por meio da revisão da literatura, atender ao objetivo específico (i) identificar técnicas para localizar biodigestor.

Já no procedimento metodológico buscou-se atender aos objetivos específicos (ii) identificação de critérios para validação de cluster (iii) aplicação do modelo proposto e (iv) identificação de potencialidades do modelo proposto. Estes objetivos foram atendidos ao aplicar o modelo proposto em um caso real de uma cooperativa da agroindústria localizada no Paraná. Desta forma, estas etapas foram seguidas a fim de manter o rigor metodológico e atender aos objetivos específicos.

3.2.1 Procedimento para Referencial Teórico

O procedimento para o referencial teórico visou identificar o estado da arte sobre a temática desta pesquisa sendo definida sobre as etapas de definição do problema e contribuição do conhecimento (Quadro 2). Estas etapas foram detalhadas nos tópicos seguintes.

- Definição do Problema

Para definir o problema da pesquisa foi realizada uma busca exploratória na literatura visando identificar a resposta para a seguinte pergunta: Como localizar um biodigestor no agronegócio tendo em vista a formação de clusters de parcerias estratégicas para produção de bioenergia?

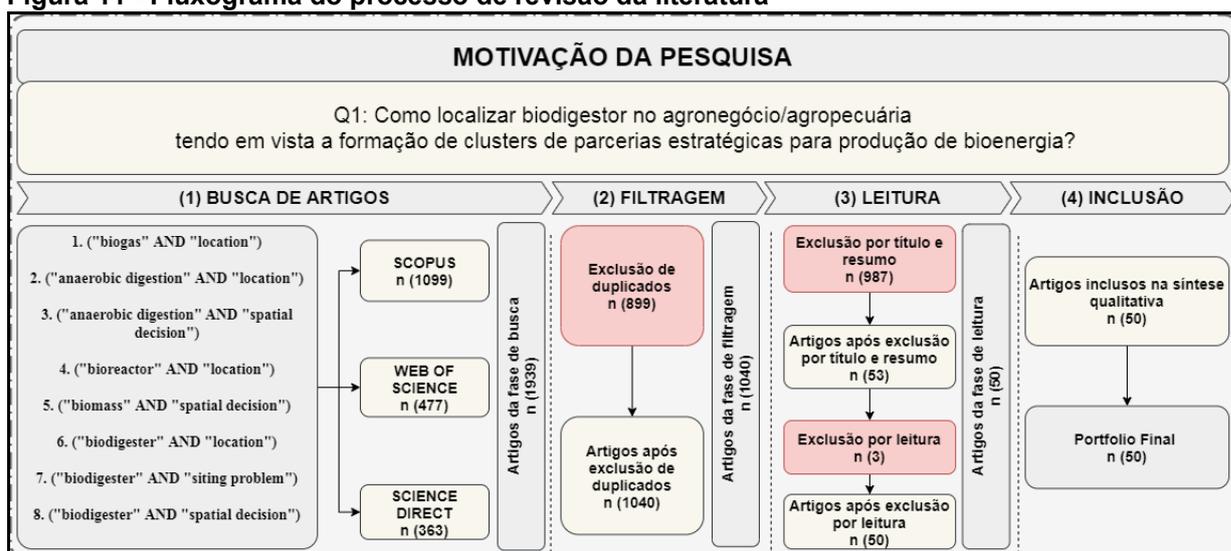
Tendo em vista que não foi encontrada pesquisa que responda a esta pergunta os objetivos gerais e específicos foram definidos ([tópico 1.1](#)) e também as palavras chaves relevantes para o tema da pesquisa. O conjunto de palavra chave foi definido da seguinte maneira: (“*biogas*” AND “*location*”) OR (“*anaerobic digestion*” AND “*location*”) OR (“*anaerobic digestion*” AND “*spatial decision*”) OR (“*bioreactor*” AND “*location*”) OR (“*biomass*” AND “*spatial decision*”) OR (“*biodigester*” AND “*location*”) OR (“*biodigester*” AND “*siting problem*”) OR (“*biodigester*” AND “*spatial decision*”).

- Contribuição para o Conhecimento

Após a etapa da definição do problema uma busca por artigos foi realizada nas bases da Scopus, Web of Science e Science Direct com as palavras chaves definidas ([tópico 3.2.1](#)) e contemplou publicações sem limite temporal. Buscou-se somente artigos de pesquisa e artigos de revisão sendo a busca das palavras chaves feitas nos títulos, resumos e palavras chaves das publicações das bases de dados. Assim, foi realizada uma revisão sistemática da literatura ([tópico 2.4](#)).

Para Liberati *et al.* (2009) uma revisão sistemática utiliza métodos sistemáticos visando identificar, selecionar e avaliar pesquisas relevantes, além de, coletar e analisar dados dos estudos que serão incluídos na revisão. Neste contexto, a revisão sistemática foi estruturada sobre as seguintes fases (1) busca de artigos, (2) filtragem, (3) leitura e (4) inclusão. A Figura 11, contém as etapas da revisão sistemática aplicada nesta pesquisa.

Figura 11 - Fluxograma do processo de revisão da literatura



Fonte: Autoria Própria

Na primeira etapa foram identificados 1939 artigos que passaram pela segunda etapa de filtragem, assim, foram removidos artigos duplicados que resultou na exclusão de 899 artigos, ficando o portfólio com 1040 estudos. Já a terceira fase selecionou após a leitura integral dos títulos e resumos, somente os artigos que se enquadram na temática da pesquisa. Desta forma, foram eliminados 987 artigos, por fim, a leitura integral dos 53 artigos foi realizada e foram excluídos 3 artigos pois estavam fora do escopo desta pesquisa, ficando portfólio final com 50 artigos. Em seguida, o software JabRef® foi utilizado para exportar os dados para uma planilha do software Excel® possibilitando tabelar as publicações selecionadas, conforme Apêndice A.

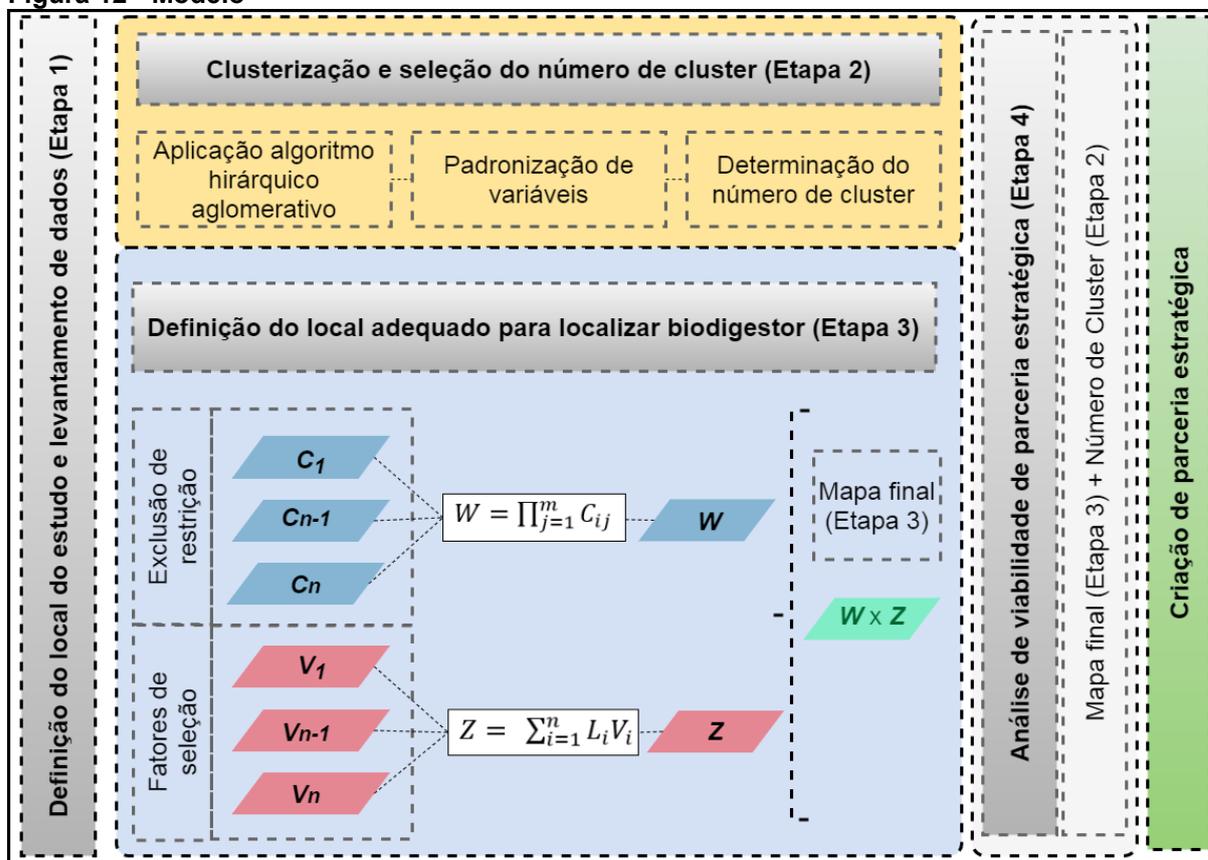
3.2.2 Procedimentos metodológicos

Neste tópico estão escritas as etapas do modelo proposto para localização de biodigestor tendo como ênfase a criação de clusters para parceria estratégica e geração de bioenergia. Também está escrita a metodologia usada para aplicar o modelo proposto em um estudo de caso. Assim, este tópico está dividido entre a construção da solução do problema e aplicação do modelo proposto.

- Construção da Solução do Problema

Um modelo para criação de cluster de parcerias estratégicas para produção de bioenergia e localização de biodigestor é proposto sendo estruturado conforme a Figura 12.

Figura 12 - Modelo



Fonte: Autoria Própria

Cada etapa do modelo proposto na Figura 12 foi detalhada, com maior profundidade, nos tópicos seguintes.

a) Definição do local do estudo e levantamento de dados (Etapa 1)

A etapa 1 visa delimitar o local do estudo e realizar o levantamento de dados, neste contexto, para aplicação do modelo proposto, deve-se identificar a região que contenham as propriedades que possuem interesse em formar parcerias estratégica para geração de bioenergia. As informações mínimas necessárias para formar clusters através do modelo proposto são coordenadas geográficas das propriedades, potencial de produção de biogás das respectivas propriedades e fatores de seleção (locais propícios ao biodigestor) e restrições (locais não propícios ao biodigestor).

b) Clusterização (Etapa 2)

A etapa 2 aborda a aplicação do algoritmo para formação de clusters de produção de bioenergia, desta forma, o algoritmo hierárquico aglomerativo foi aplicado no software R. A heurística deste algoritmo considera inicialmente cada propriedade como um cluster, em seguida, busca por propriedades similares. Ao encontrar estas propriedades similares elas são incluídas no cluster inicial, assim, o processo se repete até que todas as propriedades estejam em um único cluster, conforme passos abaixo:

1. Cada propriedade representa um cluster
2. Busca por propriedade similar próxima
3. Inclusão da propriedade similar no cluster e repetição do passo 2
4. Repetição dos passos 2 e 3 até formar um único cluster que abrange todas as propriedades.

O seguinte algoritmo foi usado para formação dos cluster no software R:

```
A1 #matriz de dados
A<-scale(A1)
d <-dist(A)
fit.average<-hclust(d,method="average")
plot(fit.average,hang=-1,cex=.8,main="Average Linkage Clustering")
```

Na aplicação do algoritmo, (A1) representa a tabela que contém as informações de coordenadas geográficas em graus de latitude e longitude e potencial de produção de biogás das respectivas propriedades identificadas na etapa 1. O comando (A<-scale(A1)) insere no software R a tabela de dados, o comando (d<-dist(A)) calcula a distância entre as propriedades através das coordenadas geográficas e potencial de produção de biogás, o comando fit.average<-hclust(d,method="average") aplica o algoritmo hierárquico aglomerativo para formação dos clusters no software R e por fim o comando plot(fit.average,hang=-1,cex=.8,main="Average Linkage Clustering") é usado para gerar o gráfico dendograma com os clusters criados.

Após a geração do dendograma, para determinar o número adequado de clusters o ponto de equilíbrio é considerado para o *trade off* entre (1) número de clusters, (2) potencial médio de biogás dos clusters e (3) distâncias média entre propriedades dos clusters. Estas variáveis constituem um *trade off* pois o número de

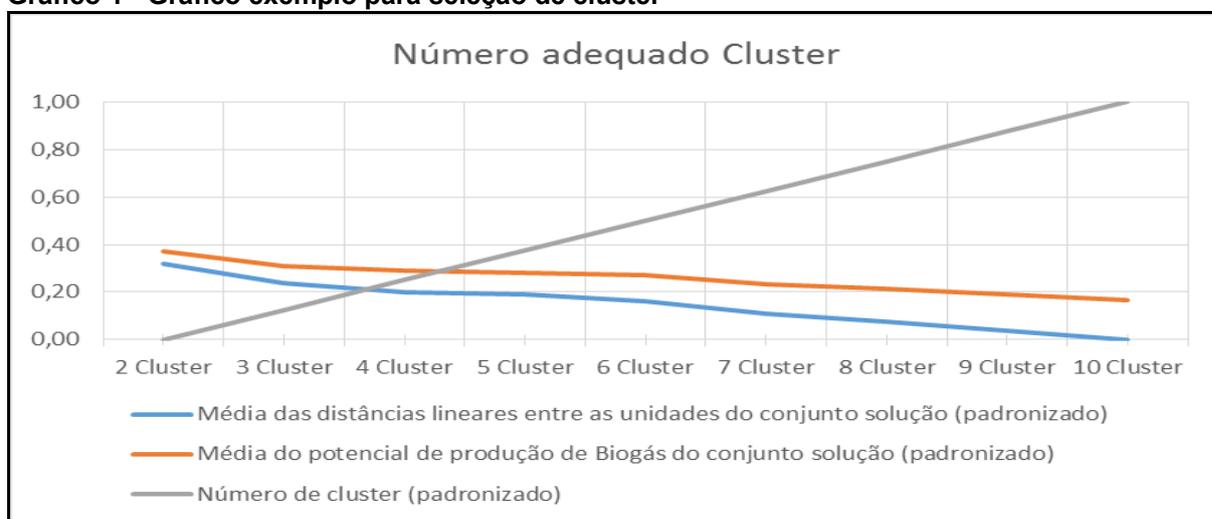
clusters é inversamente proporcional ao potencial de biogás e distâncias entre as propriedades. Neste contexto, para análise do *trade off* as variáveis são padronizadas através da seguinte equação Eq. 1 a fim de colocá-las na mesma escala.

$$K = (X - G)/(H - G) \quad (1)$$

Onde K é o valor padronizado, X o valor do conjunto de dados que se deseja padronizar, G o menor valor entre os dados e H o maior valor entre os dados.

Desta forma, os valores das variáveis ficam padronizados no intervalo de $[0,1]$. Após a padronização das variáveis do *trade off* e determinação do intervalo para as soluções dos cluster, estas são plotados em um gráfico de linha, conforme o exemplo do Gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráfico exemplo para seleção de cluster



Fonte: Autoria Própria

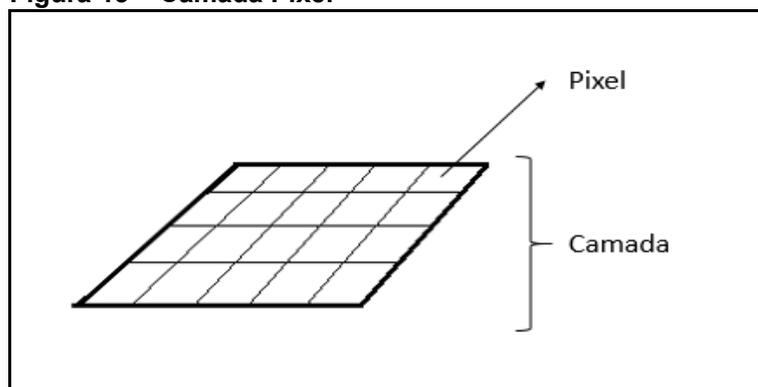
Neste contexto, o ponto de equilíbrio do *trade off* está no encontro das retas, que representa o máximo número adequado de agrupamento.

c) Definição dos locais adequados para biodigestor (Etapa 3)

A definição dos locais adequados para localizar biodigestor é realizada na etapa 3, para esse fim, são considerados no ambiente GIS exclusão de restrições e fatores de seleção (MA *et al.*, 2005). As restrições de exclusão representam locais que não podem ser usados para localizar biodigestor, por exemplo, região sobre hidrografia e rodovia. Já os fatores de seleção são locais propícios para localizar o biodigestor como superfícies planas, proximidades das propriedades geradoras de rejeitos, proximidades de rodovias, proximidade de gasoduto entre outros. Os fatores

de seleção e restrição de exclusão são arquivos de camadas do tipo raster, estas possuem pixels e cada pixel tem um valor (Figura 13).

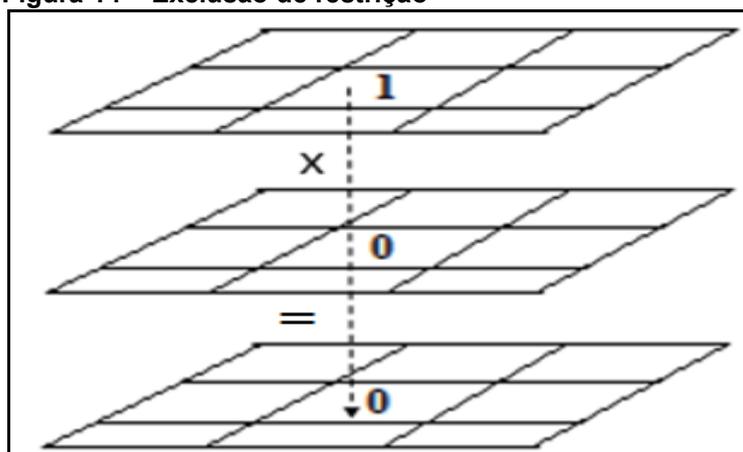
Figura 13 – Camada Pixel



Fonte: Autoria Própria

As camadas de exclusão de restrição recebem os valores 0 para pixels que devem ser excluídos e valores 1 para pixels que não devem ser excluídos. Um mapa final é calculado através da multiplicação das camadas de exclusão de restrição, assim, as camadas que possuem valor de pixel igual a 0 são excluídas do mapa final. Já as camadas que possuem valor de pixel igual 1 não são excluídas do mapa final, conforme Figura 14.

Figura 14 – Exclusão de restrição



Fonte: Autoria Própria

A Eq. (2) é aplicada nas camadas de exclusão de restrição a fim de obter o mapa final com os locais de exclusão.

$$W = \prod_{j=1}^m C_{ij} \quad (2)$$

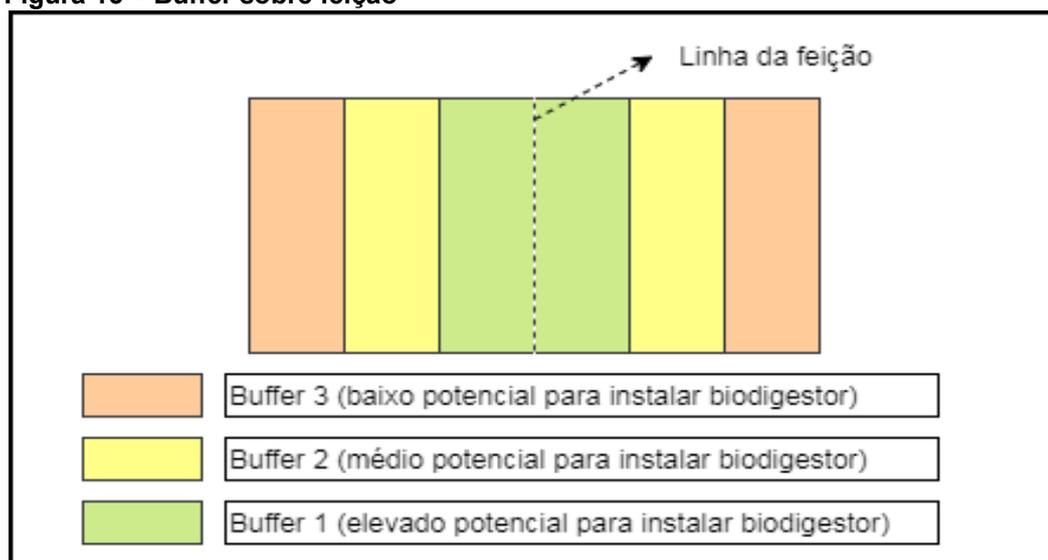
Onde C_i são camadas de exclusão de restrição e j o posicionamento de seu respectivo pixel. Neste sentido a camada W terá apenas valores booleanos (0,1)

sendo 0, o local onde não pode haver biodigestor e 1, o local onde pode haver biodigestor.

Após a definição do mapa final de exclusão de restrição o mapa final dos fatores de seleção é elaborado, assim, os fatores de seleção são áreas classificadas em potencial - alto, médio, baixo e inadequado - para instalação de biodigestor.

Para os fatores de seleção foram criados 3 buffers (Figura 15) sobre as feições de linha, já sobre as feições de ponto foi feita [interpolação](#) através da ferramenta IDW do software ESRI® ArcGIS® 10.3.

Figura 15 – Buffer sobre feição



Fonte: Autoria Própria

Em seguida, as camadas das feições foram transformadas em arquivos raster e os buffers foram reclassificados, recebendo valores padronizados para os pixels. As reclassificações dos fatores de seleção em potencial elevado, médio, baixo e inadequado foram realizadas no *software* ESRI® ArcGIS® 10.3.

Posteriormente as camadas de fatores de seleção recebem seus respectivos pesos, de forma a ponderar sua importância atribuída pelos *stakeholders*. Nesse contexto, a metodologia AHP é utilizada para encontrar os pesos das camadas. O *software* ESRI® ArcGIS® 10.3 e sua ferramenta ArcGIS® *raster calculator* são usadas para operacionalizar a metodologia multicritério AHP. A metodologia AHP é projetada para facilitar a tomada de decisão a fim de capturar informações de aspectos qualitativos e quantitativos (MA *et al.*, 2005). Na metodologia AHP, os critérios definidos (por exemplo, distância de estradas, distância de gasodutos e distância de propriedades rurais) são comparados a fim de levar em consideração os julgamentos de especialistas que expressam valores que podem variar de 1 a 9

(SAATY, 1977). Assim, 1 é indicativo de pares igualmente preferidos e 9 é indicativo de que, no par, um elemento é extremamente preferível sobre o outro, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Matriz de julgamento de especialistas

Descrição	Definição	Grau de importância
Dois elementos possuem igual importância	Importância igual	1
Um elemento é relativamente mais importante que outro	Relativamente mais importante	3
Um elemento é alta prioridade que outro	Alta prioridade	5
Um elemento é imensamente superior que outro	Imensamente superior	7
Um elemento é extremamente superior que outro	Extremamente superior	9
Julgamento de valor facultativo		8-6-4-2

Fonte: Autorial Própria

A comparação par a par do julgamento dos especialistas é avaliada através do Índice de Consistência (IC). Para Villamar, Rivera e Aguayo (2016) o valor do IC quando menor que 0,1 significa que o julgamento dos especialistas é aceitável.

Os pesos obtidos com a aplicação da metodologia AHP são aplicados nas respectivas camadas, em seguida a soma das camadas dos fatores de seleção é realizada no ArcGis por meio da ferramenta ArcGIS® *raster calculator*, conforme a Eq. (3) (ver MA *et al.*, 2005).

$$Z = \sum_i^n L_i V_i(W) \quad (3)$$

Onde Z representa o mapa de adequação da região - potencial elevado, médio, baixo e inadequado - para localizar biodigestor, L_i representa o peso do critério obtido por meio da metodologia AHP e V_i representa o valor reclassificado dos pixels da respectiva camada. Por fim, W representa a camada de exclusão de restrição.

d) Análise da viabilidade de parceria estratégica (Etapa 4)

A etapa 4 consiste na análise de viabilidade para criação de parceria estratégica para produção de bioenergia nos clusters. Esta é realizada sobre a perspectiva da região adequada para localizar biodigestor, para esse propósito, no ambiente GIS, a camada de saída do estágio 2 é sobreposta à camada de saída do estágio 3. Assim, é aconselhado a criação de parceria estratégica para produção de biogás havendo local com potencial elevado, médio ou baixo para instalação de

biodigestor no entorno das propriedades do cluster. A análise sobre a perspectiva da distância de transporte de rejeito também é realizada, este valor pode ser facilmente configurado de forma a incluir a distância conveniente para realizar a análise. Assim, a distância máxima 15 km entre as propriedades é considerada viável (KHADEMALHOSEINY; AHMADI NADOUSHAN; RADNEZHAD, 2017).

Por fim a análise de sensibilidade - consulte a Eq. (4) - é realizada com o objetivo de verificar qual critério (utilizando a metodologia AHP) tem a maior interferência nos resultados do modelo proposto aplicado a um caso específico. Para tanto, a análise de sensibilidade é realizada considerando a variação percentual (PC) de cada critério (JEONG; RAMÍREZ-GÓMEZ, 2017).

$$W_i = W_{i0} \pm W_{i0} \times PC \quad (4)$$

Onde W_{i0} é o critério que receberá a variação percentual e W_i é o resultado após variação. Na análise de sensibilidade, a soma dos pesos deve ser 100%, ou 1 em valor absoluto. Assim, quando um dos pesos sofre variação pela Eq. (4), os outros terão que ser ajustados pela Eq. (5) de forma que a soma dos pesos relativos não ultrapasse 1.

$$W_j = \{(1 - W_i) \times [W_{j0} \times (1 - W_{i0})^{-1}]\} \quad (5)$$

Onde W_{j0} são os critérios de ponderação que se deseja ajustar e W_j são os critérios após ajuste.

Esta abordagem apresentada, para análise de sensibilidade, já foi utilizada em pesquisas anteriores (ver PERPIÑA, MARTÍNEZ-LLARIO e PÉREZ-NAVARRO, 2013; RODRÍGUEZ, GAUTHIER-MARADEI E ESCALANTE 2017; JEONG e RAMÍREZ-GÓMEZ, 2017; YALCINKAYA, 2020) para avaliar a sensibilidade dos pesos obtidos pela metodologia AHP aplicados em ambiente GIS.

- Aplicação do modelo proposto

Por meio de parceria para desenvolver ferramentas que alavancam oportunidades relacionadas à produção de biogás na agroindústria firmada entre Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO). Uma cooperativa que está localizada no estado do Paraná (Brasil) foi escolhida para ser objeto do estudo. A região da cooperativa foi selecionada pois tem predominância pecuária com alta

geração de dejetos suínos/bovinos, possui suporte técnico da cooperativa, linha de gás natural e proximidade de indústrias com potencial para consumo de biogás.

A área de estudo da cooperativa corresponde a uma região de 91,54 km². Esta área é caracterizada por terrenos planos e estradas não pavimentadas, possui também rios no entorno e uma pequena linha de gás natural ao sul. Nesta área existem 30 propriedades rurais, onde a atividade predominante é a pecuária com alta geração de esterco suíno / bovino com potencial de geração de biogás de 1.912.265 (metro cúbico por ano). Essas propriedades têm interesse em produzir biogás para autoconsumo em seus processos de produção, a fim de reduzir os custos de produção e também encontrar uma solução para o tratamento dos resíduos gerados. Desta forma, é desejado a criação de parceria estratégica e instalação de um biodigestor centralizado com abastecimento comum de resíduos rurais.

Para o estudo de caso as 4 etapas do modelo foram aplicadas, como segue.

a) Etapa 1: Definição do local do estudo e levantamento de dados

As primeiras informações coletadas foram as coordenadas geográficas das 30 propriedades rurais de suinocultura e pecuária. A segunda informação coletada foi o volume potencial de resíduos rurais gerados pela suinocultura e pecuária. Também foram coletadas as coordenadas geográficas da hidrografia, das estradas e do gasoduto. Após serem fornecidos pela cooperativa, os arquivos coletados no formato shapefile (rios, hidrografia, estradas e potencial de geração de biogás) foram utilizados como entrada no ArcGis. Os shapefiles estavam no Sistema de Coordenadas Projetadas SIRGAS 2000 UTM Zone 22S e foram transformados em arquivos raster com resolução de 30 metros utilizando a ferramenta ArcGis para rasterização.

b) Etapa 2: Clusterização

Esta etapa é dividida entre a aplicação do algoritmo de clusterização e definição do número de clusters. As coordenadas geográficas das 30 propriedades rurais e potencial de geração de resíduos rurais foram os *inputs* utilizados no processo de clusterização. A ferramenta de software R (*hclust*) foi usada para aplicar o algoritmo hierárquico aglomerativo e o método *average linkage clustering* foi usado para calcular a dissimilaridade entre grupos de observações. Após a aplicação do algoritmo de agrupamento aglomerativo hierárquico, as distâncias lineares entre as

propriedades rurais foram calculadas por meio da ferramenta ArcGIS® *point distance* no software ESRI® ArcGIS® 10.3.

Para definir o número de clusters, a primeira etapa foi estabelecer o número máximo de clusters aceitáveis para a região. Depois disso, a Eq. (1) foi utilizado para padronizar as informações de cada cluster na faixa de 2 clusters até o número máximo de clusters aceitáveis. A informação padronizada para cada respectivo cluster foi: (i) o número de clusters, (ii) potencial médio de biogás dos clusters e (iii) distâncias média entre as propriedades dos agrupamentos presentes em cada cluster.

Valores padronizados obtidos na Eq. (1) foram usados para construir um gráfico de linha a fim de encontrar o número apropriado de clusters, ou seja, o ponto de convergência entre as linhas no gráfico.

c) Etapa 3: Definição dos locais adequados para biodigestor

Esta etapa é dividida na construção das camadas de exclusão de restrições e fatores de seleção conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Exclusão de restrição e fatores de seleção

Camada	Tipo	Objetivo
Vias	Exclusão de restrição	Excluir região das vias a fim de evitar que o biodigestor seja localizado sobre estas
Hidrografia	Exclusão de restrição	Excluir 30 metros além das margens do curso de água a fim de evitar que o biodigestor seja localizado sobre esta região
Gasoduto	Exclusão de restrição	Excluir região do gasoduto a fim de evitar que o biodigestor seja localizado sobre este
Vias	Fatores de seleção	Maximizar a proximidade do biodigestor das vias
Produtores de biogás	Fatores de seleção	Maximizar a proximidade do biodigestor aos produtores de biogás
Gasoduto	Fatores de seleção	Maximizar a proximidade do biodigestor ao gasoduto

Fonte: Autoria Própria

Na etapa de exclusão de restrição, os pixels da camada receberam valor 1 para os locais considerados adequados para a localização do biodigestor e valor 0 para locais não adequados para o biodigestor. Então, Eq. (2) foi usado para

encontrar a camada final de exclusão de restrição usando a ferramenta ArcGIS® *raster calculator*.

No estágio de fatores de seleção, a ferramenta ArcGIS® *Multiple Ring Buffer* foi usada para criar três buffers sobre as feições de linha que representam a hidrografia e rodovias. Os buffers foram criados com o objetivo de dividir a região em áreas potenciais para localização de biodigestor. Para as feições de pontos foi utilizada a ferramenta ArcGIS® *IDW* na camada contendo informações sobre o volume potencial de resíduos rurais gerados.

No contexto de fatores de seleção, a fim de determinar os pesos dos critérios um formulário [on-line](#) foi enviado para especialistas no período de agosto de 2020 a setembro de 2020, este foi respondido por 4 especialistas, sendo três doutores pesquisadores e um representante técnico da cooperativa. Em seguida, utilizou-se o software *Super Decisions* para designar os pesos das camadas por meio da metodologia AHP. O somatório das camadas de fatores de seleção foi realizado através da ferramenta *raster calculator* do ArcGis. Então Eq. (3) foi utilizada para classificar os locais entre alto potencial a inadequados para a localização do biodigestor.

d) Etapa 4: Análise da viabilidade de parceria estratégica

No estágio 4, foi feita a análise de viabilidade para criação de parceria estratégica por meio da sobreposição do *output* do estágio 2 ao *output* do estágio 3, isto é, sobreposição dos clusters sobre as regiões adequadas para localizar biodigestor.

Em seguida foi realizado a análise de sensibilidade que permite verificar a variação em quilômetros quadrados das áreas classificadas quando o peso de um critério na metodologia AHP é alterado. Para conduzir a análise de sensibilidade foi utilizada a Eq. 4 que aplica a variação percentual (PC) à variável. Em seguida a Eq. 5 foi utilizada nas demais variáveis a fim de ajustá-las de forma que o somatório dos pesos não ultrapasse 100%.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 ETAPA 1

A Etapa 1 do modelo proposto consiste na definição do local de estudo e levantamento de dados. Assim, através da parceria para desenvolver ferramentas que alavancam oportunidades relacionadas à produção de biogás na agroindústria firmada entre Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO). Uma cooperativa que está localizada no estado do Paraná foi escolhida para ser objeto do estudo. Esta foi selecionada pois tem predominância pecuária com alta geração de dejetos suínos/bovinos, possui suporte técnico da cooperativa, linha de gás natural e proximidade de indústrias com potencial para consumo de biogás.

Na região do estudo há um problema real de viabilidade de projeto de produção de biogás que se deseja otimizar através da aplicação do modelo proposto nesta dissertação, neste contexto, as informações coletadas foram coordenadas geográficas (latitude/longitude) das propriedades, potencial de produção de biogás das propriedades e coordenadas geográficas de rodovias, gasoduto e hidrografia.

A região escolhida para o estudo possui 91,41 Km² além de ser composta por trinta propriedades que possuem potencial de biogás conforme Tabela 6. Estas informações foram colhidas na cooperativa objeto do estudo.

Tabela 6 - Produção de biogás das propriedades (Nm³ de biogás/ano)

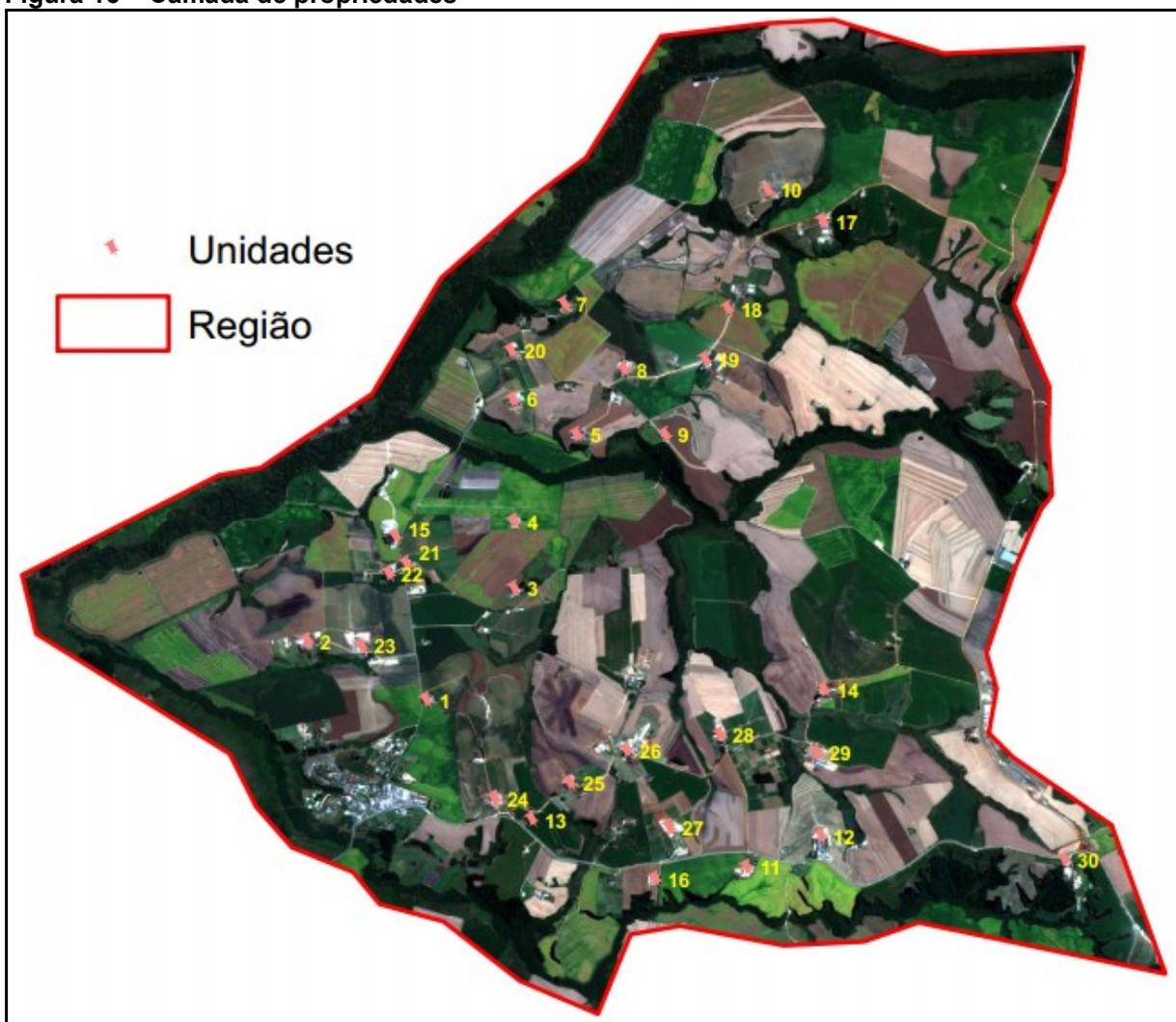
Propriedade	Biogás(Nm ³ /ano)	Propriedade	Biogás(Nm ³ /ano)	Propriedade	Biogás(Nm ³ /ano)
1	87.576,64	11	89.138,74	21	7.665,00
2	154.096,98	12	279.683,32	22	10.950,00
3	2.140,13	13	62.398,36	23	88.300,80
4	8.757,66	14	45.452,28	24	27.740,00
5	148.223,46	15	84.380,09	25	17.660,16
6	52.545,98	16	86.649,03	26	132.451,20
7	15.457,28	17	48.565,44	27	47.093,76
8	22.513,08	18	35.320,32	28	29.433,60
9	4.729,14	19	48.565,44	29	176.601,60
10	66.451,27	20	15.695,00	30	16.060,00

Fonte: Cooperativa objeto do estudo.

As coordenadas geográficas das propriedades foram omitidas nesta dissertação devido a questão de sigilo exigido pela cooperativa.

A Figura 16, representa a localização geográfica das trinta propriedades (unidades) da cooperativa que possuem interesse de participar de cluster para produção de biogás. Estas estão numeradas na Figura 16 a fim de facilitar a identificação visual das suas localizações.

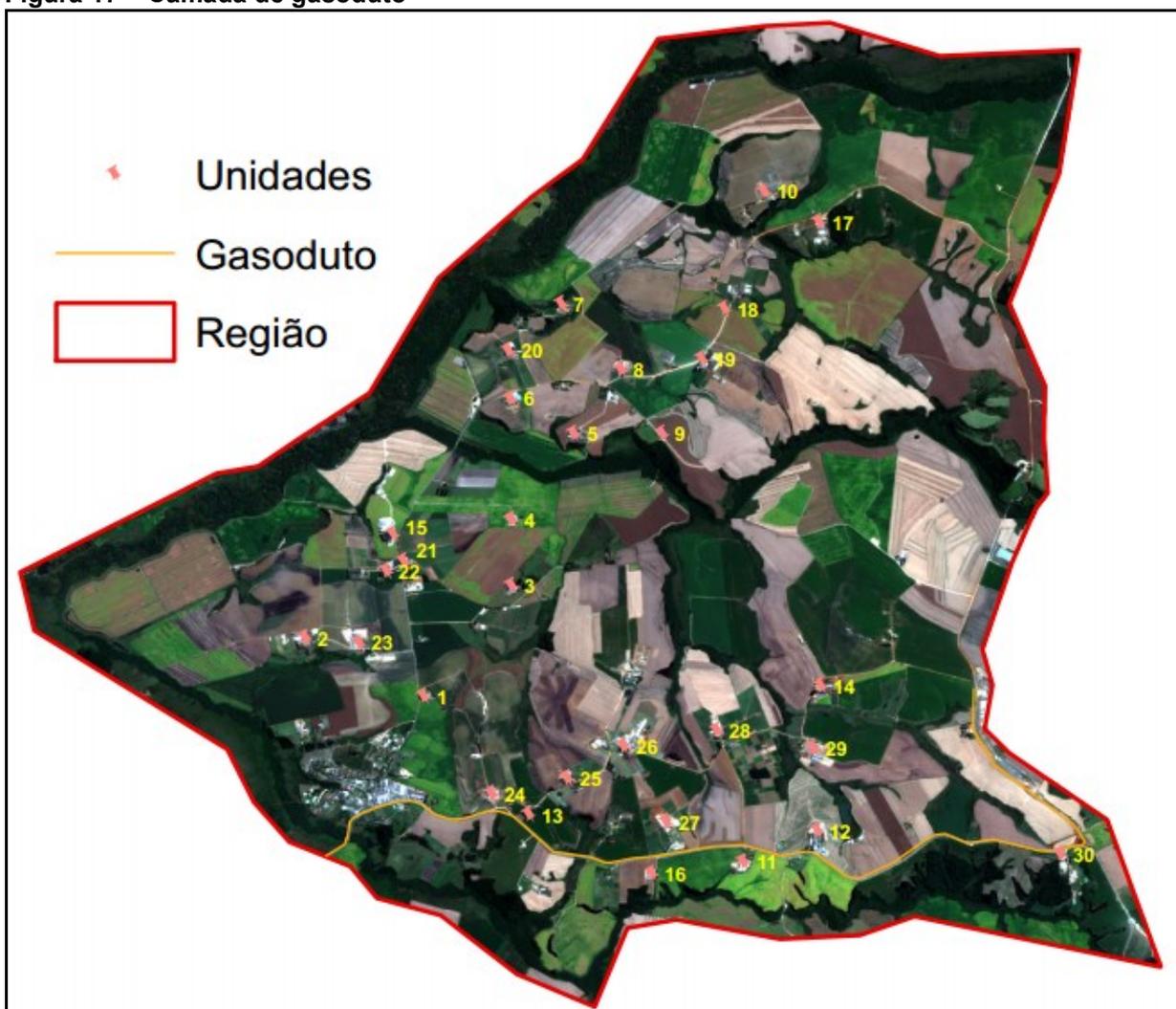
Figura 16 – Camada de propriedades



Fonte: Autoria Própria

No território do estudo há linha de gasoduto, desta forma, a Figura 17 (shape file de gasoduto) exibe a linha de gasoduto na região do estudo.

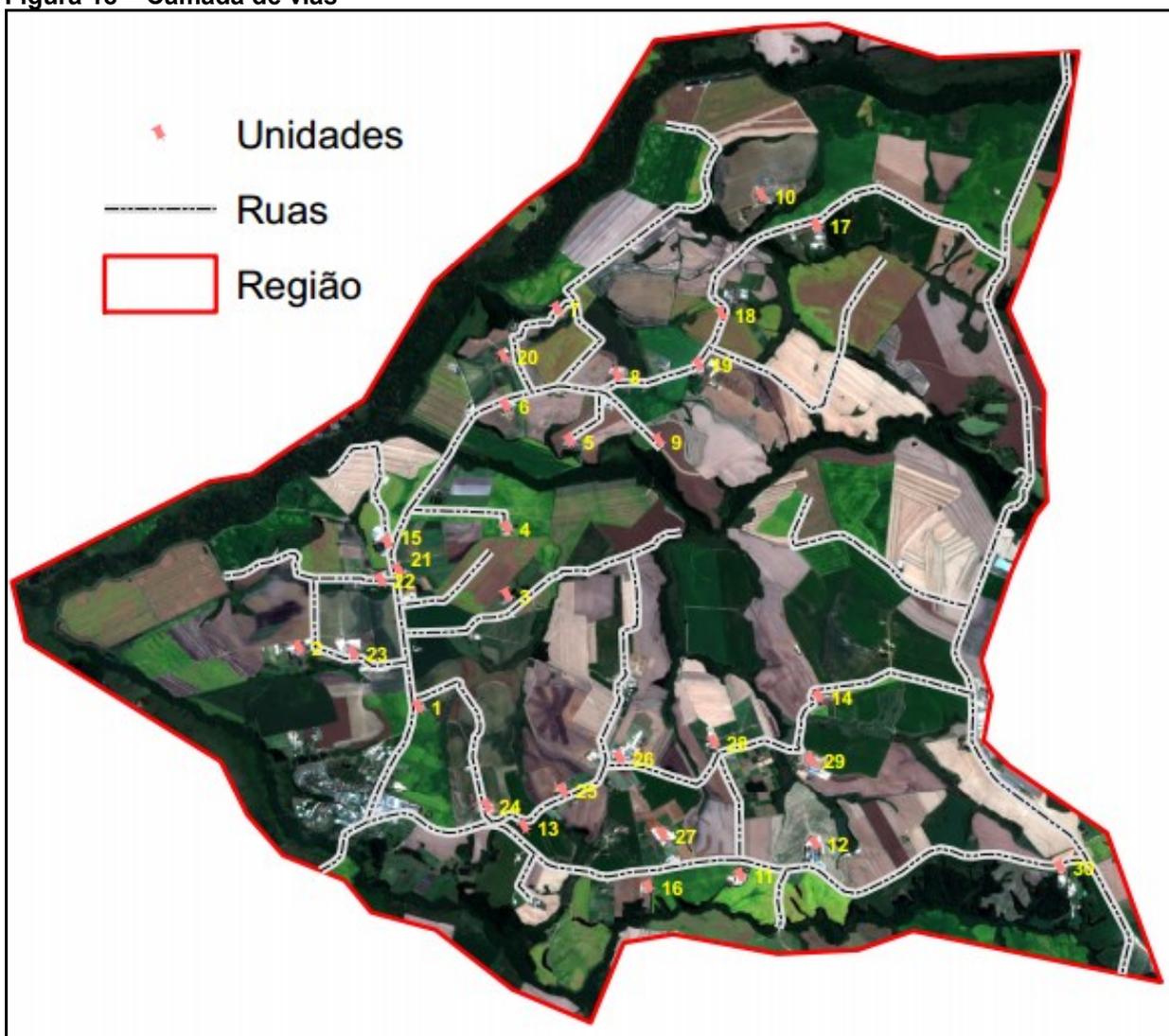
Figura 17 – Camada de gasoduto



Fonte: Autoria Própria

A Figura 18 representa as vias na região de estudo. Algumas destas não possuem pavimentação tendo em vista que pertencem a uma área rural.

Figura 18 – Camada de vias



Fonte: Autoria Própria

A hidrografia da região foi informada pela cooperativa para ser integrada ao modelo proposto nesta dissertação. Neste contexto, a Figura 19 representa a camada de hidrografia da região do estudo.

Figura 19 – Camada de hidrografia



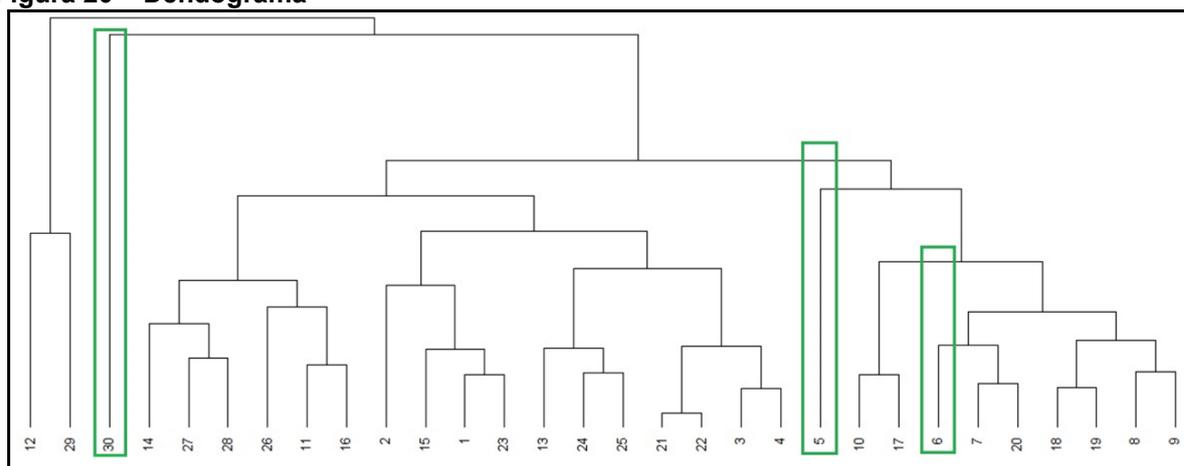
Fonte: Autoria Própria

A etapa seguinte consiste na formação dos agrupamentos das propriedades conforme descrito a seguir.

4.2 ETAPA 2

A Etapa 2 consiste na formação dos clusters, assim, o agrupamento das propriedades foi realizado no software R, conforme algoritmo presente no tópico 3.4.1. Para o agrupamento foram consideradas as coordenadas geográficas e potencial de produção de biogás de cada propriedade. Neste contexto, o dendograma foi construído, conforme exibido na Figura 20.

Figura 20 – Dendrograma



Fonte: Autoria Própria

Tendo em vista que um cluster é formado pela união de mais de duas propriedades, as propriedades que ficaram sozinhas no dendrograma foram incluídas ao agrupamento da propriedade mais próxima. Isto é, a propriedade 30 foi incluída ao agrupamento da propriedade 12 (para agrupamento superior a dois clusters), a propriedade 5 foi incluída ao agrupamento da propriedade 8 (para agrupamento superior a dois clusters), por fim, a propriedade 6 incluída no agrupamento da propriedade 20 (para agrupamento superior a cinco clusters).

O número adequado de cluster foi determinado após encontrar o ponto de equilíbrio do *trade off* (1) número de clusters, (2) potencial médio de biogás dos clusters e (3) distâncias média entre as propriedades dos agrupamentos presentes em cada cluster. Neste contexto, a Tabela 7 contém os valores padronizados para o *trade off* citado.

Tabela 7 - Determinação do número ideal de cluster

Quantidade de Cluster	Média das distâncias lineares média entre as propriedades de cada cluster (padronizada)	Média do potencial de produção de biogás médio do conjunto solução dos clusters (padronizado)	Número de cluster padronizado
2 Cluster	0,32	0,37	0
3 Cluster	0,24	0,31	0,25
4 Cluster	0,20	0,29	0,5
5 Cluster	0,19	0,28	0,75
6 Cluster	0,20	0,27	1

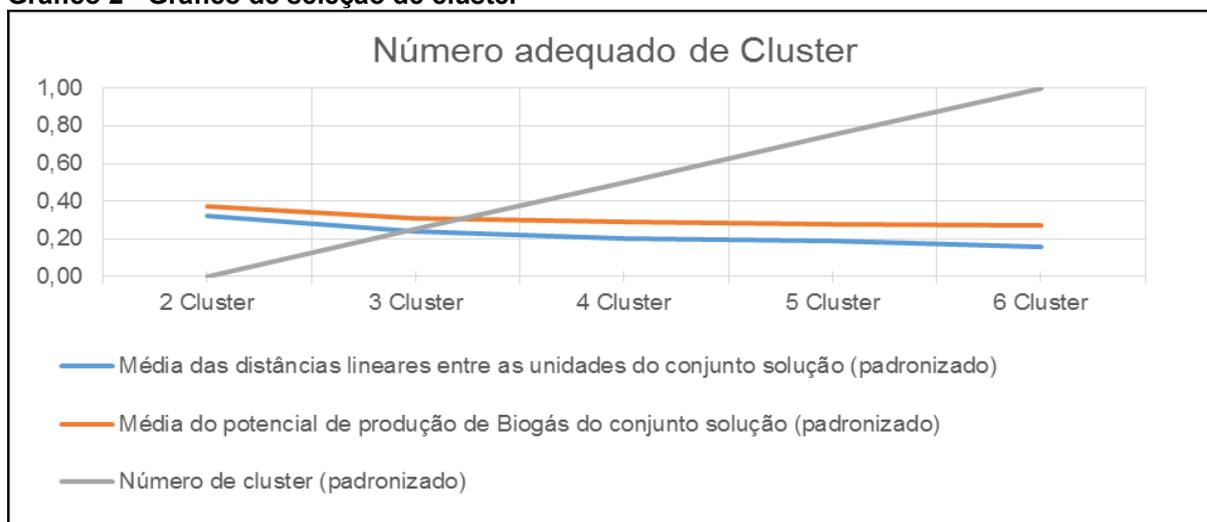
Fonte: Autoria Própria

A máxima quantidade adequada de cluster é determinada pelo ponto em que o valor padrão da quantidade de cluster se iguala a médias das distâncias lineares entre as propriedades e média do potencial de produção de biogás, para o respectivo cluster. Neste contexto, o intervalo [0,6] de soluções de cluster foi

analisado, visto que área de estudo possui 91,41 Km² e acima de 6 cluster a parceria estratégica é inviável pois não atende a expectativa da cooperativa para a região.

O Gráfico 2 representa visualmente o número máximo adequado de cluster proposto pelo modelo aplicado. Desta forma, a criação de até 3 cluster é aconselhada para a região do estudo, visto que é o ponto de equilíbrio do *trade off*.

Gráfico 2 - Gráfico de seleção de cluster



Fonte: Autoria Própria

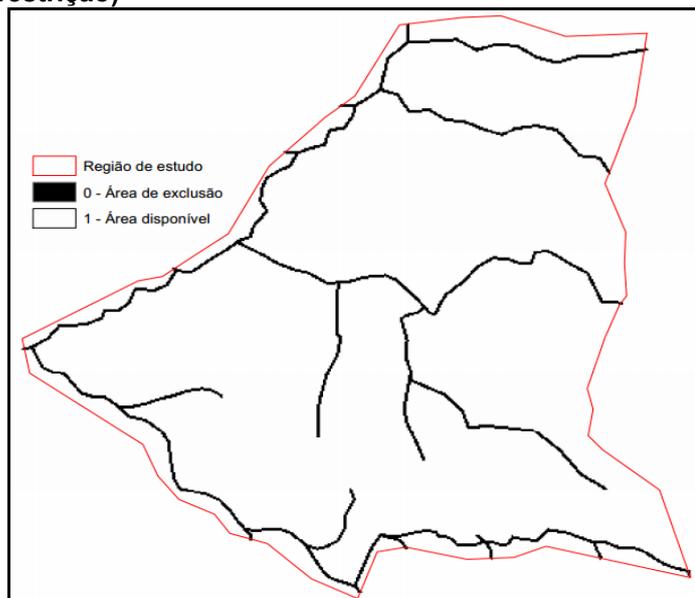
A próxima etapa do modelo consiste na identificação das regiões adequadas para instalar o biodigestor. Neste sentido, serão abordados os tópicos exclusão de restrição, fatores de seleção e aplicação do método AHP.

4.3 ETAPA 3

Na etapa 3 é aplicado o processo de exclusão das restrições, isto é, eliminar a possibilidade de localizar o biodigestor sobre hidrografia, linha de gasoduto e vias. Para essa finalidade o software ESRI® ArcGIS® 10.3 foi utilizado conforme especificado na seção de exclusão de restrição do tópico 3.4.1.

Neste contexto, a Figura 21 representa a exclusão de restrição da hidrografia. Desta forma, se aplicou o valor 0 aos locais onde o biodigestor não pode ser localizado, para este fim, a cooperativa determinou a restrição de 30 metros além das margens do curso de água. Já a região com valor 1 não há impedimento referente a hidrografia para construir biodigestor anaeróbico.

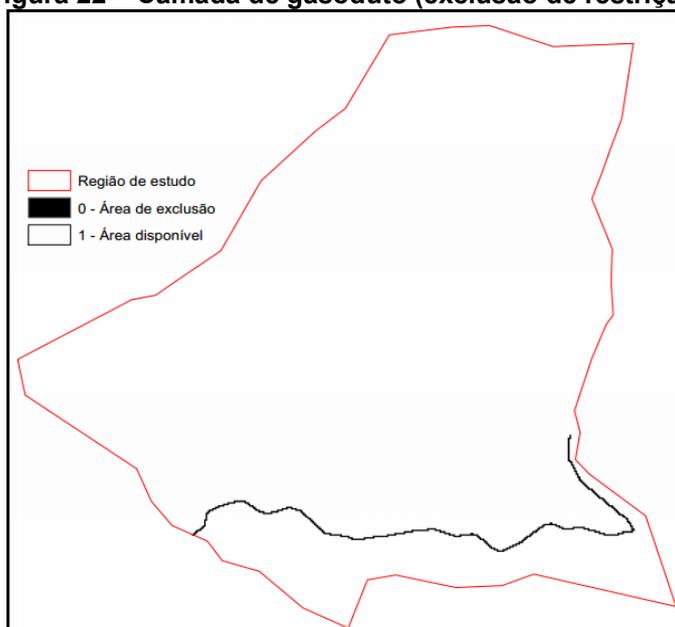
Figura 21 – Camada de hidrografia (exclusão de restrição)



Fonte: Autoria Própria

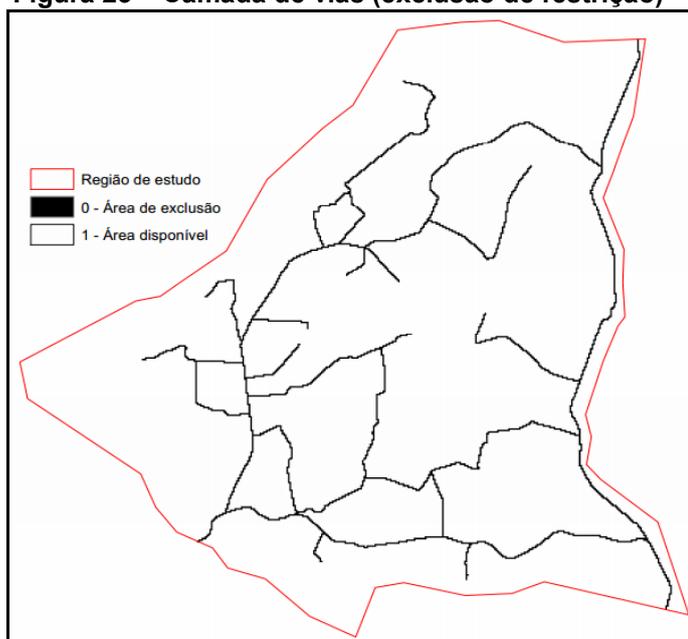
Visto que o biodigester anaeróbico não deve ficar sobre a linha de gasoduto estes locais também receberam valores 0, assim, o local onde passa a linha de gasoduto foi excluído por meio do processo de exclusão de restrição, conforme Figura 22.

Figura 22 – Camada de gasoduto (exclusão de restrição)



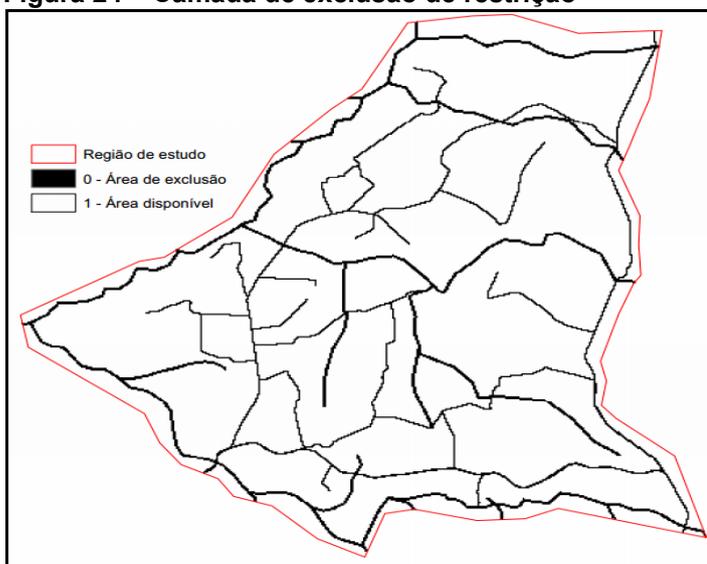
Fonte: Autoria Própria

Os biodigestores anaeróbicos também não devem ser localizados sobre vias, assim, foi atribuído o valor 0 para locais que possuem vias de acesso e 1 aos locais que não possuem vias, conforme Figura 23.

Figura 23 – Camada de vias (exclusão de restrição)

Fonte: Autoria Própria

Após a construção das camadas que fazem parte da etapa de exclusão de restrição (Figura 21, Figura 22 e Figura 23), estas foram multiplicadas conforme Eq. (2). Neste contexto, no mapa final de exclusão de restrição as regiões que possuem vias, gasoduto e extensão de até 30 metros além dos cursos de água foram excluídos, conforme Figura 24.

Figura 24 – Camada de exclusão de restrição

Fonte: Autoria Própria

Em seguida foram analisados os fatores de seleção, estes contribuem para a seleção das regiões adequadas para localizar biodigestor. Neste contexto, foram

utilizados fatores como proximidade de vias, proximidade de gasoduto e proximidade dos potenciais produtores de biogás.

Desta forma, para seleção das regiões adequadas que estejam localizadas próximo das vias e gasoduto foram criados buffer de acordo com modelo proposto no item 3.2.2. Os buffers foram estabelecidos conforme Tabela 8, e visam maximizar a proximidade do biodigestor das vias e gasoduto.

Tabela 8 - Determinação do número ideal de cluster

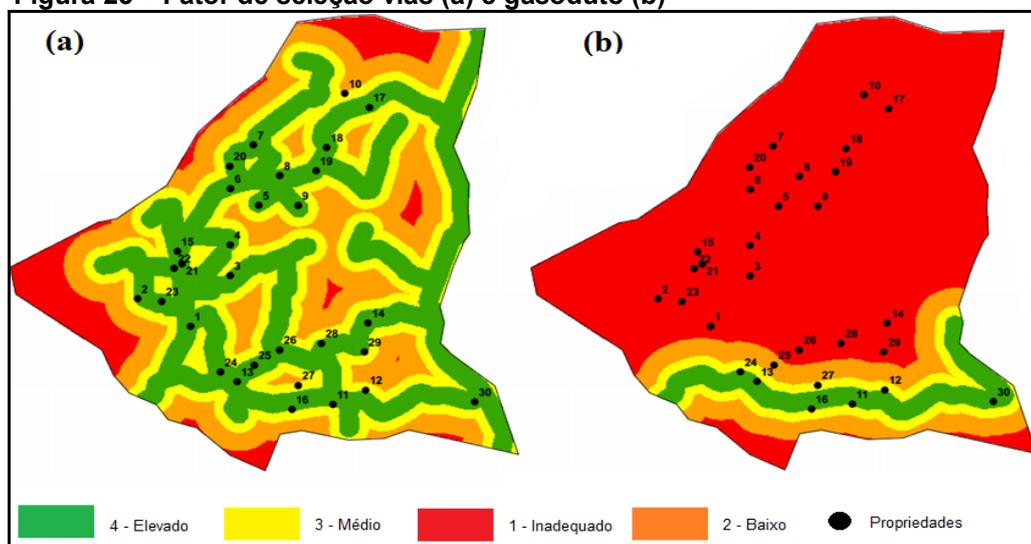
Buffer	Distância (m)	Classificação	Valor
Buffer 1	0 - 250	Elevado	4
Buffer 2	250 - 500	Médio	3
Buffer 3	500 - 1000	Baixo	2

Fonte: Autoria Própria

Após criação dos buffers as áreas foram reclassificadas de acordo com o potencial para localizar biodigestor. Desta forma, regiões até 250 metros das vias e gasodutos foi reclassificada com alto potencial para instalar biodigestor, assim, atribuiu-se o valor 4. As regiões entre 250 metros e 500 metros foram reclassificadas como médio potencial para instalar biodigestor recebendo valor 3. E região entre 500 metros e 1000 metros foram reclassificadas com baixo potencial para instalar biodigestor recebendo valor 2. As áreas inapropriadas para localizar biodigestor, isto é, com distância a partir de 1000 metros das vias e gasoduto, receberam o valor 1.

Desta forma, a Figura 25 representa os buffers reclassificados da área de estudo para vias Figura 25 (a) e gasoduto Figura 25 (b).

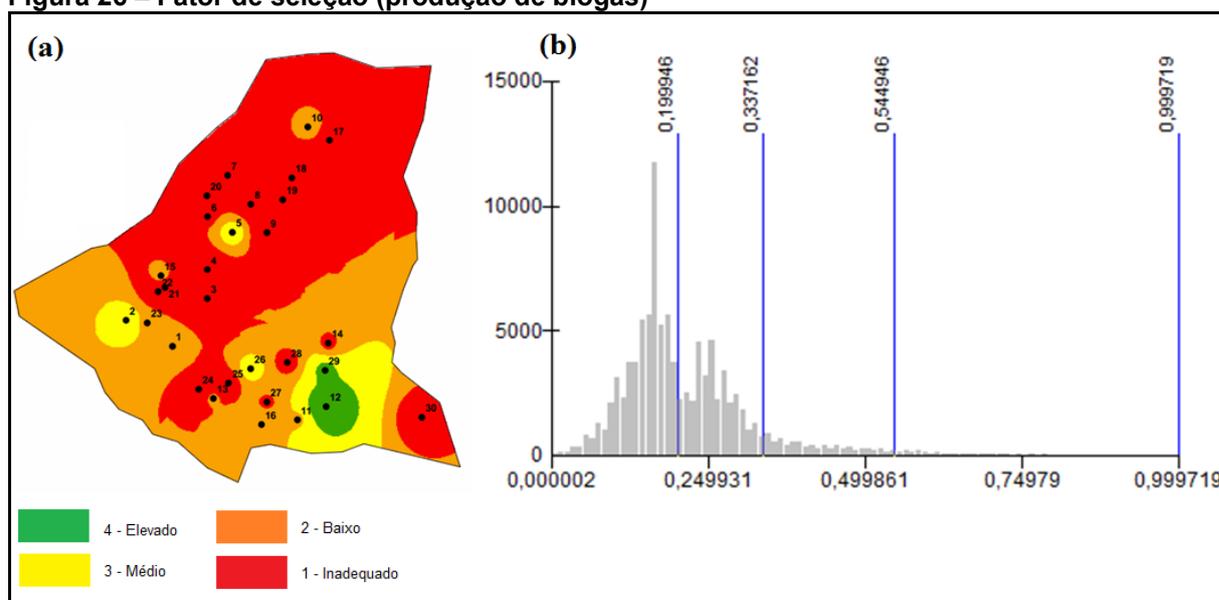
Figura 25 – Fator de seleção vias (a) e gasoduto (b)



Fonte: Autoria Própria

Além das vias e gasodutos a proximidade dos maiores produtores de biogás também foi analisada. Desta forma, a [interpolação](#) foi realizada e regiões foram reclassificadas em quatro classes conforme Figura 26 (a). Para esse fim, áreas próximas aos maiores produtores de biogás foram reclassificadas com potencial elevado para produção de biogás recebendo valor 4. As áreas com potencial médio para produção de biogás foram reclassificadas recebendo valor 3 e áreas com baixo potencial para produção de biogás foram reclassificadas recebendo valor 2. Os locais inapropriados para localizar biodigestor receberam o valor 1, conforme divisão das classes Figura 26 (b).

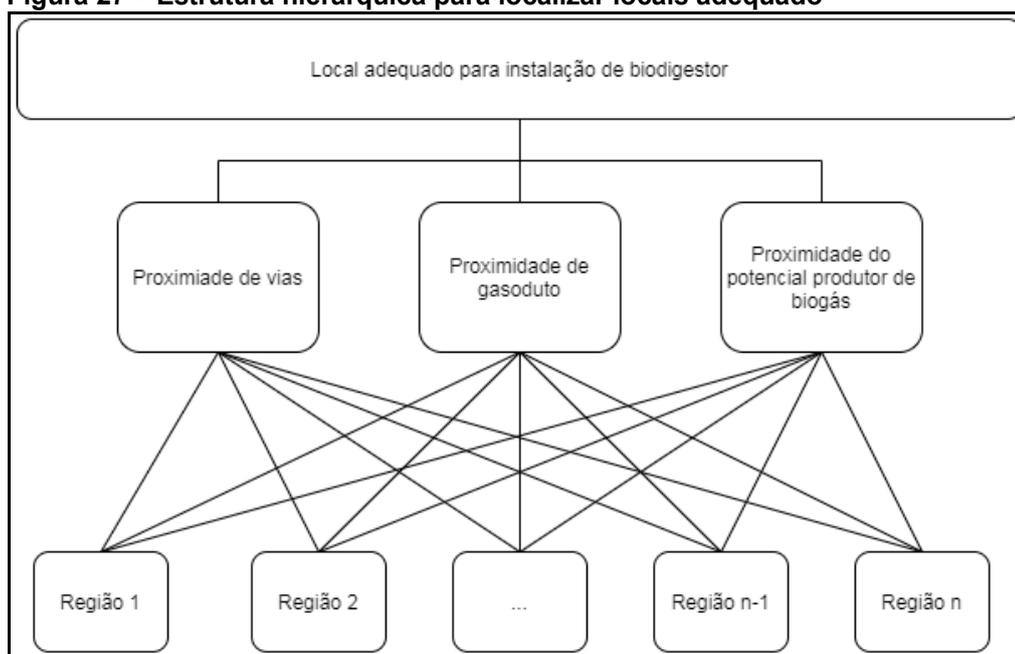
Figura 26 – Fator de seleção (produção de biogás)



Fonte: Autoria Própria

Após a etapa de fatores de seleção o método AHP foi aplicado tendo em vista a seleção dos locais mais apropriados para localizar biodigestor, conforme explicado a seguir.

A metodologia AHP foi aplicada a fim de obter um mapa final que agrupe informações obtidas através da etapa de fatores de seleção (proximidade de vias, gasoduto e potenciais produtores de biogás). A estrutura do problema foi organizada conforme Figura 27, a fim de possibilitar a aplicação da metodologia AHP.

Figura 27 – Estrutura hierárquica para localizar locais adequado

Fonte: Autoria Própria

No primeiro nível se encontra o objetivo do problema, no segundo nível os critérios e no último nível as possíveis alternativas para o problema. Para ponderar os critérios um [questionário](#) eletrônico foi utilizado para coletar de especialistas informações sobre o grau de importância dos critérios (proximidade de vias, gasoduto e potencial produtor de biogás).

O questionário foi respondido por três especialistas da academia e um representante técnico da cooperativa objeto do estudo. Após aplicação do questionário o software *SuperDecion* foi utilizado tendo em vista obter os pesos para cada critério por meio da aplicação do método AHP. Desta forma, a Tabela 9 foi estabelecida. O índice de consistência menor que 1, isto é igual a 0,02795, representa que o julgamento feito pelos *stakeholders* teve consistência aceitável.

Tabela 9 - Fatores de seleção (AHP)

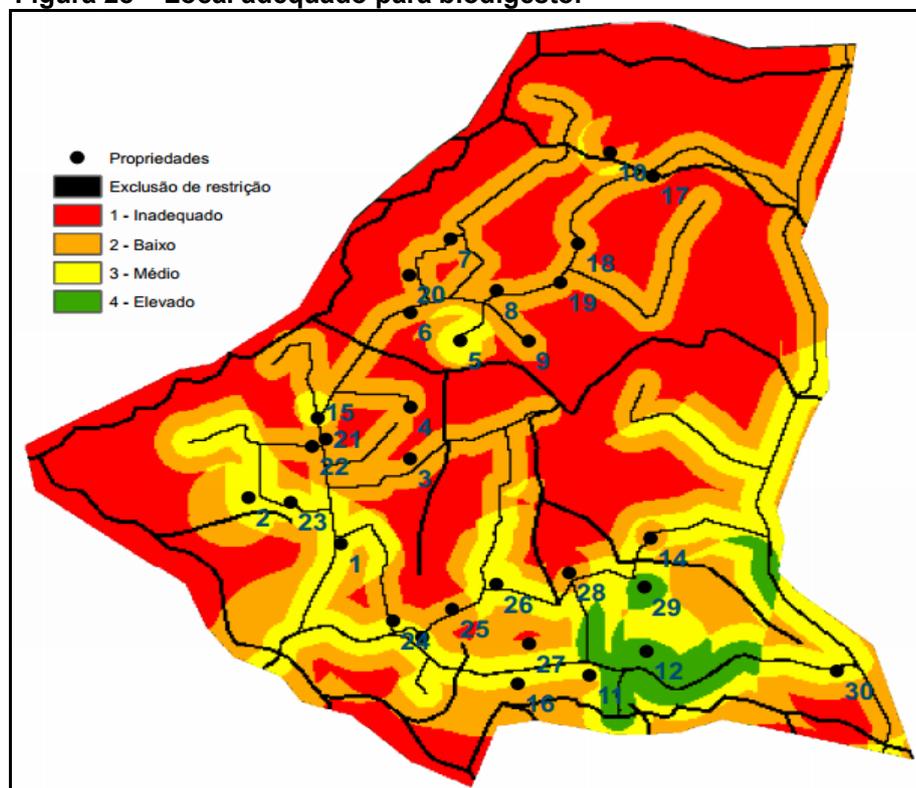
Critério	Peso AHP
Proximidade ao maior produtor de biogás (PPB)	0,48064
Proximidade ao gasoduto (PG)	0,11397
Proximidade das vias (PV)	0,40539
IC 0,02795	

Fonte: Autoria Própria

Tendo em vista os pesos estabelecidos para os critérios proximidade ao maior produtor de biogás, proximidade ao gasoduto e proximidade das vias o mapa final de fatores de seleção da região foi obtido ao aplicar a Eq. (3).

Neste contexto a Figura 28, representa o mapa final de fatores de seleção da região considerando os potencial elevado, médio, baixo e inadequado para localizar biodigestor.

Figura 28 – Local adequado para biodigestor



Fonte: Autoria Própria

A próxima etapa consiste de análise dos clusters tendo em vista as regiões selecionadas na Figura 28.

4.4 ETAPA 4

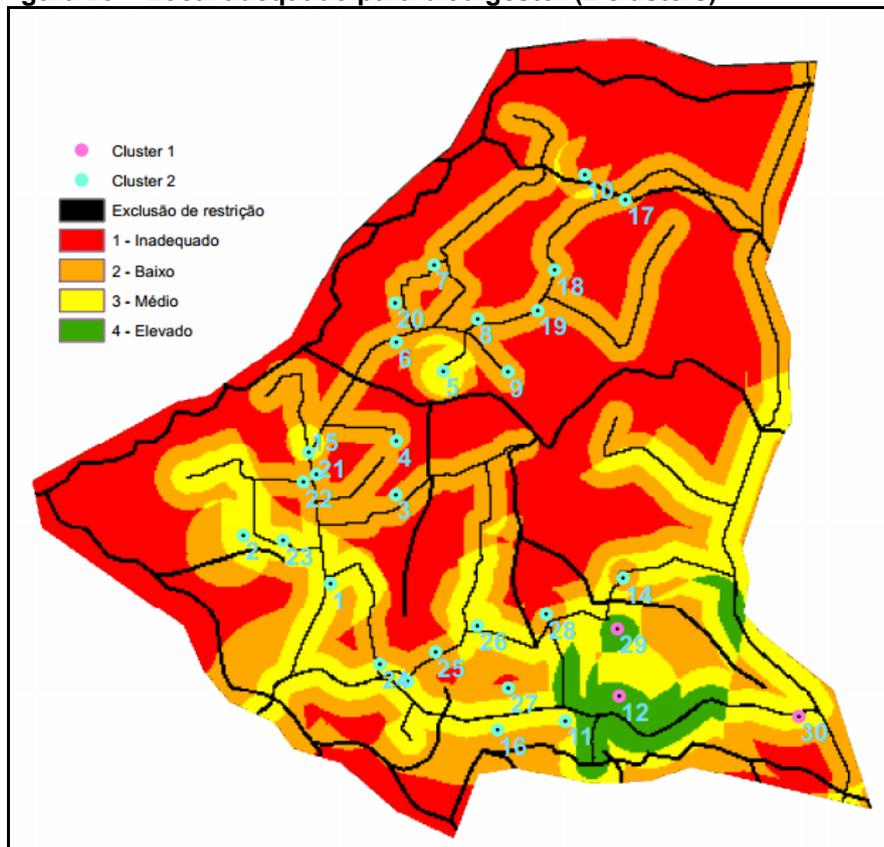
Após as etapas 2 e 3 onde foram definidos respectivamente os possíveis conjuntos de clusters e locais adequados para instalar biodigestor. A etapa 4 consiste em analisar a viabilidade de parceria estratégica. Neste contexto, foram analisados a criação de dois e três clusters.

- Análise para criação de dois clusters

Ao analisar a região classificada como adequada para localizar biodigestor sobre a perspectiva da criação de dois clusters. Foi constatado, para o cluster 2, que as regiões com potencial médio para instalação de biodigestor estão no entorno das propriedades 5, 15, 2, 23, 1, 13, 24, 26, 16 e 11 (Figura 29). Já para o cluster 1 a

região com potencial médio para instalação de biodigestor está no entorno da propriedade 30. E as regiões com potencial elevado para instalação de biodigestor estão no entorno das propriedades 29 e 12, conforme Figura 29.

Figura 29 – Local adequado para biodigestor (2 clusters)



Fonte: Autoria Própria

No cenário com dois clusters a maior distância entre duas propriedades está no cluster 2, conforme Tabela 10. Neste sentido, o cluster 2 apresenta distância médias entre as propriedades 1.538,19 metros a mais que o cluster 1. Assim, as propriedades do cluster 2 são mais dispersas na região de estudo. No contexto do potencial de produção de biogás, o cluster 2 possui setenta e cinco por cento da produção de biogás da região e o cluster 1 vinte e cinco por cento, ainda conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Análise de viabilidade para dois clusters

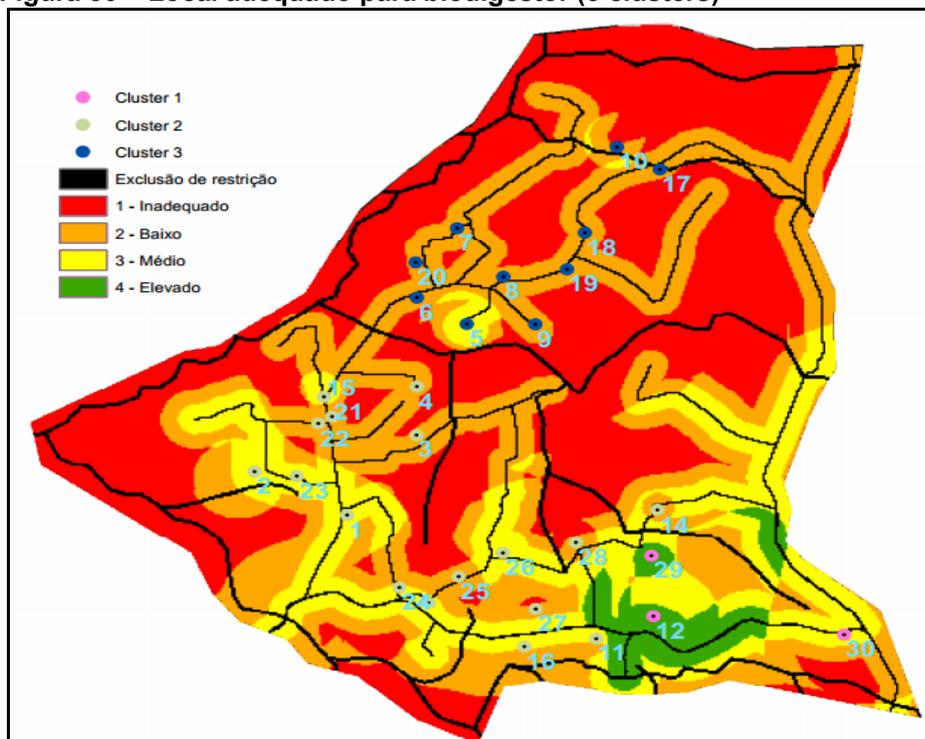
Cluster	Maior distância entre propriedades do cluster (m)	Distância média entre propriedades do cluster (m)	Potencial de biogás (Nm ³ de biogás/ano)
1	3.081,94	2.291,69	0,25%
2	8.633,93	3.829,88	0,75%

Fonte: Autoria Própria

- Análise para criação de três clusters

Ao considerar a criação de três clusters a Figura 30 apresenta espacialmente a localização das propriedades no território de estudo com seus respectivos clusters. Neste contexto, não há abundância de local propício para localização de biodigestor no cluster 3, sendo a propriedade 5 a única inserida dentro de uma região com potencial médio para localizar biodigestor.

Figura 30 – Local adequado para biodigestor (3 clusters)



Fonte: Autoria Própria

Os clusters 1 e 2 possuem mais alternativas para localizar biodigestor, sendo o cluster 1 o menos disperso no território de estudo, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Análise de viabilidade para três clusters

Cluster	Maior distância entre propriedades do cluster (m)	Distância média entre propriedades no cluster (m)	Potencial de biogás do cluster (Nm ³ de biogás/ano)
1	3.081,94	2.291,69	25%
2	6.245,43	2.818,52	51%
3	4.120,13	2.012,42	24%

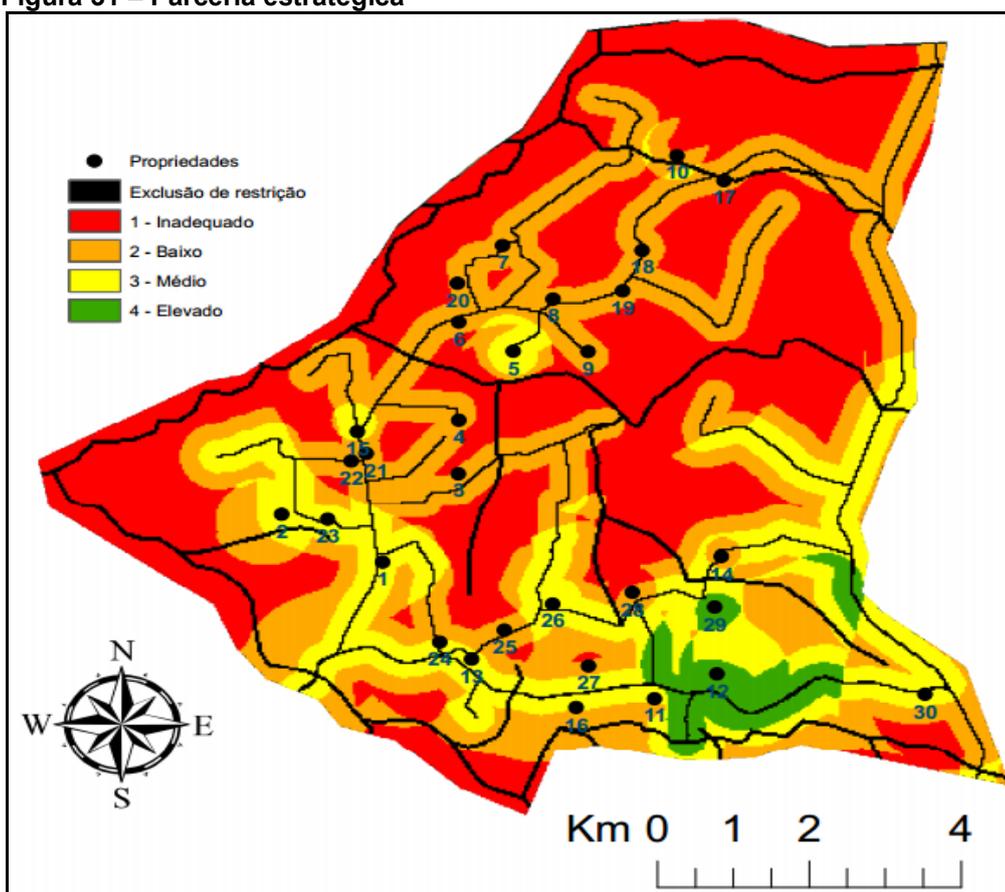
Fonte: Autoria Própria

Ao considerar a distância média entre as propriedades os três clusters estão dentro do intervalo [2km, 3km] sendo o cluster 2 detentor de 51% do potencial de biogás da região e o cluster 1 e 3 respectivamente 25% e 24% do potencial de biogás da região.

- Criação de parceria estratégica

No sudeste da região de estudo há locais com alto potencial para localizar biodigestor devido a presença de gasoduto, vias de acesso e propriedades com elevado potenciais para produção de biogás, isto é, propriedades 12 e 29. Já o sul e sudoeste embora não possuam locais com potencial elevado para localizar biodigestor há regiões com potêncial médio devido a presença de vias e propriedades com potencial elevado de produção de biogás, isto é, propriedades 2 e 26, conforme Figura 31.

Figura 31 – Parceria estratégica



Fonte: Autoria Própria

Tendo em vista este cenário, a configuração da cooperativa com dois ou três cluster é viável sobre a perspectiva de ambas as configurações de clusters possuírem região com potencial médio e elevado para localizar biodigestor. O agrupamento das propriedades em três cluster pode deixar o projeto de agrupamento de propriedades com custo elevado ao comparado com dois biodigestores, visto que, irá demandar a construção de três biodigestores ao invés de dois. Neste contexto, embora três clusters possibilite agrupamentos mais

uniformes das propriedades sobre a perspectiva de ocupação do solo e produção de biogás, ao agrupar as propriedades em dois cluster é possível reduzir custo de instalação assim a maior produção de biogás ficará no biodigestor do cluster 2, produzindo 75% do biogás potencial. E o cluster 1 terá seu biodigestor atendendo o potencial de produção de 25% do biogás da região.

Com esta configuração de 2 biodigestores, havendo variações futuras do potencial de biogás entre as propriedades da cooperativa, na região sudoeste, devido a proximidade entre propriedades dos clusters 1 e 2 é possível redistribuir as propriedades entre os clusters tendo em vista balancear entre os biodigestores a produção de biogás.

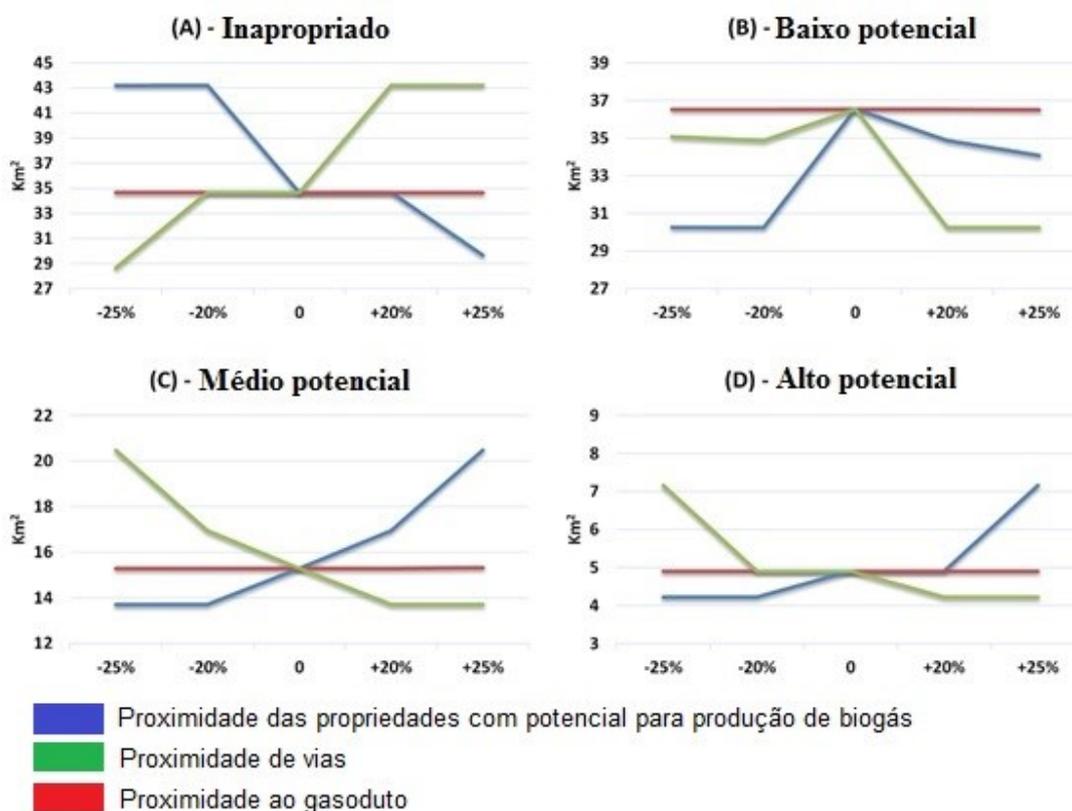
Sobre a perspectiva do custo de transporte, a criação de dois ou três clusters também são viáveis para a cooperativa, visto que, a maior distância entre duas propriedades da região de estudo é inferior a 15 km.

Assim, é recomendado a criação de dois clusters, desta forma, para o cluster 1 é sugerido a construção de um biodigestor na proximidade da propriedade 12 pois esta possui o maior potencial de produção de biogás do respectivo cluster. Já no cluster 2 é recomendado a construção do biodigestor nas proximidades da propriedade 2 visto que ao redor há vias de acesso, além de ser a propriedade com maior potencial de produção de biogás para o respectivo cluster. A construção do biodigestor próximo à propriedades com maior potencial de produção de biogás e em locais com adequação elevada/média é aconselhada pois reduz custo de transporte de dejetos, além de serem locais que atendem aos critérios de proximidade de vias, gasoduto e maiores potenciais produtores de biogás.

- Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para verificar a influência dos pesos das camadas dos fatores de seleção (proximidade de vias, gasoduto e propriedade com potencial para produção de biogás) obtidas com a metodologia AHP e usadas na aplicação do modelo.

Neste contexto, considerou-se a variação em Km² das regiões com potencial elevado, médio, baixo e inadequado para localizar biodigestor tendo em vista o incremento de $\pm 20\%$ e $\pm 25\%$ no peso de cada critério. Os critérios proximidade de vias e propriedades com potencial para produção de biogás são as variáveis com maior sensibilidade no modelo aplicado, conforme Gráfico 3.

Gráfico 3 – Análise de sensibilidade (variação em Km²)

Fonte: Autoria Própria

Ao mudar os pesos das variáveis proximidade de vias e propriedade com potencial para produção de biogás foi observado um *trade-off*. Conforme pode-se verificar no Gráfico 3 (mais proeminente em A, C e D) que essas variáveis parecem apresentar tendências opostas de crescimento e decrescimento. E a variável proximidade de gasodutos apresenta apenas variações marginais ao alterar os pesos dados pela metodologia AHP.

Conclui-se que o aumento do peso da variável proximidade das propriedades com potencial para produção de biogás, transferiu áreas consideradas inadequadas e de baixo potencial para áreas mais favoráveis com médio e alto potencial à instalação da planta de biodigestor anaeróbico. Assim, estar próximo a um produtor de biogás é a característica mais restritiva na hora de escolher a localização do biodigestor. E a menos restritiva é a proximidade do gasoduto, pois, as áreas inadequadas, bem como as áreas com potencial baixo, médio ou alto tiveram pouquíssima variação em Km².

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho é propor um modelo de localização de biodigestor anaeróbico na agroindústria mediante criação de clusters de parcerias estratégicas para geração de bioenergia. E para atender a este objetivo, uma revisão da literatura foi realizada tendo em vista fornecer a base teórica para a criação do modelo proposto. Após a revisão sistemática da literatura o modelo foi estruturado utilizando-se de técnica multicritério AHP, GIS e algoritmo hierárquico aglomerativo para formação dos clusters.

Além do objetivo geral esta dissertação buscou responder aos objetivos específicos. Neste contexto, como resposta ao primeiro objetivo específico (i) identificar técnicas para localizar biodigestor, esta dissertação por meio da revisão sistemática da literatura, identificou que foram encontrados mais estudos que abordam o problema de localização/alocação, assim, a técnica mais encontrada na literatura foi influenciada por esse tipo de problema. Devido a este fato, a técnica GIS-multicritério é a mais dominante na literatura e tende a ser a mais comum para solucionar o problema de localização de biodigestores.

Em resposta ao segundo objetivo específico (ii) identificação de critérios para validação de cluster. Foi identificado o *trade off* existente entre número de clusters, distância entre as propriedades e potencial de produção de biogás dos respectivos clusters. O *trade off* existe pois quanto maior o número de agrupamentos menor a distância entre as propriedades e menor o potencial de produção de biogás dos respectivos clusters. Neste contexto, o ponto de equilíbrio entre estas variáveis foi determinado como o número máximo adequado de clusters no modelo proposto.

Como resposta ao objetivo específico (iii) aplicação do modelo proposto. Foi possível testar o modelo com dados de uma cooperativa localizada no Paraná. A cooperativa foi escolhida devido a facilidade de acesso aos dados e interesse da mesma em criar um cluster de parceria estratégica para geração de bioenergia, isto é, biogás. O acesso aos dados da cooperativa foi obtido mediante parceria firmada entre UNIDO e UTFPR tendo em vista o desenvolvimento de ferramentas a fim de encontrar e avaliar a partir de resíduos da agroindústria/agropecuária oportunidades para aplicação do biogás tendo como diretriz fins energéticos.

Por fim, em resposta ao objetivo específico (iv) identificação de potencialidades do modelo proposto. Observou-se que o modelo proposto possui potencial para análise preliminar de regiões com interesse em criação de parceria estratégica para geração de bioenergia. Visto que através do modelo proposto é possível identificar locais com potencial elevado, médio, baixo e inadequado para localizar biodigestor como também propor parceria estratégica entre geradores de resíduos orgânicos por meio de agrupamento de propriedades.

Nesta pesquisa as características usadas para localizar biodigestor se limitou às consideradas importantes por pesquisadores da academia e cooperativa (objeto do estudo). Desta forma, foram consideradas características como potencial de produção de biogás, distância de gasoduto, distância de rodovias e distância de hidrografia. Assim, através da aplicação do modelo proposto foi verificado sobre a perspectiva da existência do local adequado para localizar biodigestor que a configuração com dois ou três clusters são viáveis pois ambos possui local adequado para localizar biodigestor próximo de propriedades do respectivo cluster.

Como resultado o estudo sugere que sejam criados dois clusters, visto que com esta configuração é minimizado o custo de instalação. A criação da parceria estratégica pode favorecer ao desenvolvimento territorial da região do estudo por meio de benefícios sociais, econômicos e ambientais. Visto que através da geração de biogás por cluster de propriedades é possível obter sistema produtivo mais sustentável e competitivo, criação de novos empregos, preservação do meio ambiente e redução dos custos de produção através do aproveitamento da energia autoconsumida.

Embora o estudo recomende a parceria estratégica, estudos adicionais são recomendados tendo em vista a viabilidade econômica e técnica para construção de biodigestores. Desta forma, é recomendável que sejam consideradas características como tecnologia do biodigestor e tipo de substrato a fim de validar sobre a perspectiva técnica e econômica a construção de biodigestores na região.

Ainda que o modelo tenha sido aplicado a uma pequena região, este possui funcionalidades que permite aplica-lo a contextos macros, isto é, a regiões com grandes territórios, sendo possível maximizar ou minimizar a distância aos fatores de seleção. Esta característica de otimização possibilita integrar fatores particulares dos *stakeholders* a análise de parceria estratégica e localização do biodigestor desmostrando-se um modelo flexível.

Este modelo, apesar de possuir pontos importantes que precisam ser desenvolvidos, proporciona para sociedade procedimentos de análise que permite, por meio visual como mapas e figuras, identificar de forma preliminar a possibilidade de criação de parceria estratégica e localização de biodigestor. Por fim, o modelo proposto mostrou-se eficaz ao ser aplicado em uma região com propriedades que possuem interesse de produzir bioenergia de forma cooperativa. Sendo este modelo viável, também, para análise de instalação de biodigestor.

A principal dificuldade encontrada para aplicação do modelo proposto foi computacional visto que a utilização de *software* GIS exige computadores com alta capacidade de processamento de dados, também, pode-se destacar o amplo conhecimento exigido das ferramentas usadas no *software* ESRI® ArcGIS® 10.3.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Adicionar ao modelo critérios sociais e econômicos;
- Adicionar ao modelo a análise de viabilidade econômico;
- Abordar o tipo de substrato como critério de agrupamento;
- Abordar a tecnologia do biodigestor como fator de restrição para localização do biodigestor;
- Automatizar a aplicação do modelo em uma plataforma digital.

REFERÊNCIAS

ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção). Referências de conteúdos da engenharia de produção. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/%C3%81reas%20da%20Engenharia%20de%20Produ%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2019.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ARAVIND, S. et al. Conversion of green algal biomass into bioenergy by pyrolysis. A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 3, p. 829-849, 2020.

BALAMAN, Ş. Y.; SELIM, H. A network design model for biomass to energy supply chains with anaerobic digestion systems. **Applied Energy**, v. 130, p. 289–304, 2014.

CERVO, A. LUIZ; BERVIAM P. ALCINO; SILVA, ROBERTO. Metodologia científica. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

DE FIGUEIREDO, J.; MAYERLE, S. F. A systemic approach for dimensioning and designing anaerobic bio-digestion/energy generation biomass supply networks. **Renewable Energy**, v. 71, p. 690–694, 2014.

DE MEYER, A. *et al.* Methods to optimise the design and management of biomass-for-bioenergy supply chains: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 657–670, 2014.

DE SOUZA, J. T. *et al.* Data Mining and Machine Learning to Promote Smart Cities: A Systematic Review from 2000 to 2018. **Sustainability**, v. 11, n. 4, 2019.

ESRI. What is geoprocessing?. Disponível em: <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/analyze/main/what-is-geoprocessing.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

ESCALANTE, H. *et al.* Spatial decision support system to evaluate crop residue energy potential by anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 80–90, 2016.

FALCONER, R. E. *et al.* Anaerobic Digestion of food waste: Eliciting sustainable water-energy-food nexus practices with Agent Based Modelling and visual analytics. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, 2020.

FIGUEIREDO, E. *et al.* Swarm intelligence for clustering — A systematic review with new perspectives on data mining. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 82, p. 313–329, 2019.

FRANCO, C. *et al.* A fuzzy approach to a multiple criteria and Geographical Information System for decision support on suitable locations for biogas plants. **Applied Energy**, v. 140, p. 304–315, 2015.

FRANCISCO, A. C de. Projeto de Biogás é contemplado com recursos da ONU. 18 jul. 2019. Disponível em: < <http://portal.utfpr.edu.br/noticias/geral/projeto-de-biogase-contemplado-com-recursos-da-onu>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

GIL, A. CARLOS. Como elaborar projeto de pesquisa. 5^a ed. São Paulo: Altas, 2010.

GOLD, S.; SEURING, S. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 1, p. 32–42, 2011.

GRIGORAS, G.; SCARLATACHE, F. An assessment of the renewable energy potential using a clustering based data mining method. Case study in Romania. **Energy**, v. 81, p. 416–429, 2015.

HÖHN, J. *et al.* A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. **Applied Energy**, v. 113, p. 1–10, 2014.

HRABEC, D. *et al.* Robust facility location problem for bio-waste transportation. **Chemical Engineering Transactions**, v. 61, p. 1093–1098, 2017.

HU, H. *et al.* CyberGIS-BioScope: A cyberinfrastructure-based spatial decision-making environment for biomass-to-biofuel supply chain optimization. **Concurrency Computation**, v. 27, n. 16, p. 4437–4450, 2015.

HU, H. *et al.* A cyberGIS approach to uncertainty and sensitivity analysis in biomass supply chain optimization. **Applied Energy**, v. 203, p. 26–40, 2017.

IAKOVOU, E. *et al.* Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis. **Waste Management**, v. 30, n. 10, p. 1860–1870, 2010.

IEO. International Energy Outlook 2017. U.S. Energy Information Administration, 14 Set. 2017. Disponível em: <[https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf)> Acesso em: 18 set. 2019

JEONG, J. S.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. A web-based tool framing a collective method for optimizing the location of a renewable energy facility and its possible application to sustainable STEM education. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, 2020.

JEONG, J. S.; RAMÍREZ-GÓMEZ, A. A multicriteria GIS-based assessment to optimize biomass facility sites with parallel environment - A case study in Spain. **Energies**, v. 10, n. 12, 2017.

JEONG, J. S.; RAMÍREZ-GÓMEZ, Á. Optimizing the location of a biomass plant with a fuzzy-DECision-MAking Trial and Evaluation Laboratory (F-DEMATEL) and multi-criteria spatial decision assessment for renewable energy management and long-term sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 509–520, 2018.

JI, L. *et al.* The evolution of Resources Conservation and Recycling over the past 30 years: A bibliometric overview. **Resources Conservation and Recycling**, v. 134, p. 34–43, jul. 2018.

KAUNDINYA, D. P. *et al.* A GIS (geographical information system)-based spatial data mining approach for optimal location and capacity planning of distributed biomass power generation facilities: A case study of Tumkur district, India. **Energy**, v. 52, p. 77–88, 2013.

KHADEMALHOSEINY, M. S.; AHMADI NADOUSHAN, M.; RADNEZHAD, H. Site selection for landfill gas extraction plant by fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy analytic network process in the city of Najafabad, Iran. **Energy and Environment**, v. 28, n. 7, p. 763–774, 2017.

KHISHTANDAR, S. Simulation based evolutionary algorithms for fuzzy chance-constrained biogas supply chain design. **Applied Energy**, v. 236, p. 183–195, 2019.

KONSTANTINOS, I. *et al.* A spatial decision support system framework for the evaluation of biomass energy production locations: Case study in the regional unit of drama, Greece. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 2, 2018.

KREMMYDAS, D.; PETSAKOS, A.; ROZAKIS, S. Parametric Optimization of Linear and Non-Linear Models via Parallel Computing to Enhance Web-Spatial DSS Interactivity. **International Journal of Decision Support System Technology**, v. 4, n. 1, p. 14–29, 2012.

LAASASENAHO, K. *et al.* GIS-data related route optimization, hierarchical clustering, location optimization, and kernel density methods are useful for promoting distributed bioenergy plant planning in rural areas. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 32, p. 47–57, 2019.

LIAO, H. *et al.* A Bibliometric Analysis and Visualization of Medical Big Data Research. **Sustainability**, v. 10, n. 1, jan. 2018.

LIBERATI, A. *et al.* The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, p. W-65-W-94, 2009.

LÓPEZ-DÍAZ, D. C. *et al.* Optimal location of biorefineries considering sustainable integration with the environment. **Renewable Energy**, v. 100, p. 65–77, 2017.

MA, J. *et al.* Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 6, p. 591–600, 2005.

MAIER, S.; GEMENETZI, A. Optimal renewable energy systems for industries in rural regions. **Energy, Sustainability and Society**, v. 4, n. 1, 2014.

MAYERLE, S. F.; NEIVA DE FIGUEIREDO, J. Designing optimal supply chains for anaerobic bio-digestion/energy generation complexes with distributed small farm feedstock sourcing. **Renewable Energy**, v. 90, p. 46–54, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Nacional de Energia 2050. Publicado em: 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em: Jan. 2020.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTIC). Portaria MCTIC nº 1.122, de 19.03.2020. Disponível em: <
http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTIC_n_1122_de_19032020.html>. Acesso em: Jan. 2020

MUKHERJEE, D. *et al.* Optimal location of centralized biodigesters for small dairy farms: A case study from the United States. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**, v. 8, p. 3–16, 2015.

O'SHEA, R. *et al.* Assessment of the impact of incentives and of scale on the build order and location of biomethane facilities and the feedstock they utilise. **Applied Energy**, v. 182, p. 394–408, 2016.

PERPIÑA, C.; MARTÍNEZ-LLARIO, J. C.; PÉREZ-NAVARRO, Á. Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants. **Land Use Policy**, v. 31, p. 326–335, 2013.

PORTUGAL-PEREIRA, J. *et al.* Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 521–533, 2015.

RAMACHANDRA, T. V; KRISHNA, S. V; SHRUTHI, B. V. Decision support system to assess regional biomass energy potential. **International Journal of Green Energy**, v. 1, n. 4, p. 407–428, nov. 2004.

REVOLUÇÃO ENERGÉTICA. Greenpeace. Disponível em: <
https://storage.googleapis.com/planet4-brasil-stateless/2018/07/Relatorio_RevolucaoEnergetica2016_completo.pdf>. Acesso em Fev. 2020.

RODRIGUEZ, R. *et al.* Fuzzy spatial decision tool to rank suitable sites for allocation of bioenergy plants based on crop residue. **Biomass & Bioenergy**, v. 100, p. 17–30, 2017.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.

SALVADOR, R. *et al.* Life cycle assessment of electricity from biogas: A systematic literature review. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 38, n. 4, p. 13133, 2019.

SARKER, B. R.; WU, B.; PAUDEL, K. P. Optimal number and location of storage hubs and biogas production reactors in farmlands with allocation of multiple feedstocks. **Applied Mathematical Modelling**, v. 55, p. 447–465, 2018.

SARKER, B. R.; WU, B.; PAUDEL, K. P. Modeling and optimization of a supply chain of renewable biomass and biogas: Processing plant location. **Applied Energy**, v. 239, p. 343–355, 2019.

SCARLAT, N. *et al.* A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 915–930, 2018.

SHARARA, M. A. *et al.* Planning methodology for anaerobic digestion systems on animal production facilities under uncertainty. **Waste Management**, v. 104, p. 262–269, 2020.

SILVA, S.; ALCADA-ALMEIDA, L.; DIAS, L. C. Multiobjective programming for sizing and locating biogas plants: A model and an application in a region of Portugal. **Computers & Operations Research**, v. 83, p. 189–198, jul. 2017.

SILVA, S.; ALÇADA-ALMEIDA, L.; DIAS, L. C. Biogas plants site selection integrating Multicriteria Decision Aid methods and GIS techniques: A case study in a Portuguese region. **Biomass and Bioenergy**, v. 71, p. 58–68, 2014.

SWINDAL, M. G.; GILLESPIE, G. W.; WELSH, R. J. Community digester operations and dairy farmer perspectives. **Agriculture and Human Values**, v. 27, n. 4, p. 461–474, 2010.

THIRIET, P.; BIOTEAU, T.; TREMIER, A. Optimization method to construct micro-anaerobic digesters networks for decentralized biowaste treatment in urban and peri-urban areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, 2020.

THOMPSON, E.; WANG, Q.; LI, M. Anaerobic digester systems (ADS) for multiple dairy farms: A GIS analysis for optimal site selection. **Energy Policy**, v. 61, p. 114–124, 2013.

UNITED NATIONS. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. Disponível em:
<<https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>>. Acesso em. Jan. 2021

VALENTI, F. *et al.* Spatial analysis of feedstock supply and logistics to establish regional biogas power generation: A case study in the region of Sicily. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 97, p. 50–63, 2018.

VAN DER HORST, D. *et al.* What can the location of biogas plants tell us about agricultural change? A case study from the Czech Republic. **Deturope**, v. 10, n. 1, p. 33–52, 2018.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

VENIER, F.; YABAR, H. Renewable energy recovery potential towards sustainable cattle manure management in Buenos Aires Province: Site selection based on GIS spatial analysis and statistics. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 1317–1333, 2017.

VIEIRA, S. *et al.* Sustainability of sugarcane lignocellulosic biomass pretreatment for the production of bioethanol. **Bioresource Technology**, v. 299, p. 122635, 2020.

VILLAMAR, C. A.; RIVERA, D.; AGUAYO, M. Anaerobic co-digestion plants for the revaluation of agricultural waste: Sustainable location sites from a GIS analysis. **Waste Management and Research**, v. 34, n. 4, p. 316–326, 2016.

WIRTH, S. Communities matter: Institutional preconditions for community renewable energy. **Energy Policy**, v. 70, p. 236–246, 2014.

WU, B.; SARKER, B. R.; PAUDEL, K. P. Sustainable energy from biomass: Biomethane manufacturing plant location and distribution problem. **Applied Energy**, v. 158, p. 597–608, 2015.

YALCINKAYA, S. A spatial modeling approach for siting, sizing and economic assessment of centralized biogas plants in organic waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, 2020.

ZAREEI, S. Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. **Renewable Energy**, v. 118, p. 351–356, 2018.

ZEMA, D. A. Planning the optimal site, size, and feed of biogas plants in agricultural districts. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 11, n. 3, p. 454–471, 2017.

ZHOU, J.; LIU, B. Modeling capacitated location–allocation problem with fuzzy demands. **Computers & Industrial Engineering**, v. 53, n. 3, p. 454–468, 2007.

APÊNDICE A - Portfólio final de artigos

Autor	Título
Thiriet; bioteau; tremier, 2020	Optimization method to construct micro-anaerobic digesters networks for decentralized biowaste treatment in urban and peri-urban areas
Yalcinkaya, 2020	A spatial modeling approach for siting, sizing and economic assessment of centralized biogas plants in organic waste management
Falconer <i>et al.</i> , 2020	Anaerobic Digestion of food waste: Eliciting sustainable water-energy-food nexus practices with Agent Based Modelling and visual analytics
Jeong; gonzález-gómez, 2020	A web-based tool framing a collective method for optimizing the location of a renewable energy facility and its possible application to sustainable STEM education
Sharara <i>et al.</i> , 2020	Planning methodology for anaerobic digestion systems on animal production facilities under uncertainty
Sarker; wu; paudel, 2019	Modeling and optimization of a supply chain of renewable biomass and biogas: Processing plant location
Khishtandar, 2019	Simulation based evolutionary algorithms for fuzzy chance-constrained biogas supply chain design
Laasasenaho <i>et al.</i> , 2019	GIS-data related route optimization, hierarchical clustering, location optimization, and kernel density methods are useful for promoting distributed bioenergy plant planning in rural areas.
Scarlat <i>et al.</i> , 2018	A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe
Jeong; ramírez-gómez, 2018	Optimizing the location of a biomass plant with a fuzzy-DEcisionMAking Trial and Evaluation Laboratory (F-DEMATEL) and multi-criteria spatial decision assessment for renewable energy management and long-term sustainability
Zareei, 2018	Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran
Konstantinos <i>et al.</i> , 2018	A Spatial Decision Support System Framework for the Evaluation of Biomass Energy Production Locations: Case Study in the Regional Unit of Drama, Greece
Valenti <i>et al.</i> , 2018	Spatial analysis of feedstock supply and logistics to establish regional biogas power generation: A case study in the region of Sicily
Van der Horst <i>et al.</i> , 2018	What can the location of biogas plants tell us about agricultural change? A case study from the czech republic
Sarker; Wu; Paudel, 2018	Optimal number and location of storage hubs and biogas production reactors in farmlands with allocation of multiple feedstocks
Hu <i>et al.</i> , 2017	A cyberGIS approach to uncertainty and sensitivity analysis in biomass supply chain optimization
López-DdÍaz <i>et al.</i> , 2017	Optimal location of biorefineries considering sustainable integration with the environment
Silva; Alcada-Almeida; Dias, 2017	Multiobjective programming for sizing and locating biogas plants: A model and na application in a region of Portugal
Zema, 2017	Planning the optimal site, size, and feed of biogas plants in agricultural districts
Rodriguez <i>et al.</i> , 2017	Fuzzy spatial decision tool to rank suitable sites for allocation of bioenergy plants based on crop residue

Autor	Título
Venier; Yabar, 2017	Renewable energy recovery potential towards sustainable cattle manure management in Buenos Aires Province: Site selection based on GIS spatial analysis and statistics.
Jeong; Ramírez-Gómez, 2017	A Multicriteria GIS-Based Assessment to Optimize Biomass Facility Sites with Parallel Environment—A Case Study in Spain
Khademalhosseiny; Ahmadi nadoushan; Radnezhad, 2017	Site selection for landfill gas extraction plant by fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy analytic network process in the city of Najafabad, Iran
Hrabec <i>et al.</i> , 2017	Robust Facility Location Problem for Bio-waste Transportation
O'shea <i>et al.</i> , 2016	Assessment of the impact of incentives and of scale on the build order and location of biomethane facilities and the feedstock they utilise
Mayerle; Neiva de Figueiredo, 2016	Designing optimal supply chains for anaerobic bio-digestion/energy generation complexes with distributed small farm feedstock sourcing
Escalante <i>et al.</i> , 2016	Spatial decision support system to evaluate crop residue energy potential by anaerobic digestion
Villamar; Rivera; Aguayo, 2016	Anaerobic co-digestion plants for the revaluation of agricultural waste: Sustainable location sites from a GIS analysis
Portugal-Pereira <i>et al.</i> , 2015	Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Technoeconomic and environmental assessment in Brazil
Franco <i>et al.</i> , 2015	A fuzzy approach to a multiple criteria and Geographical Information System for decision support on suitable locations for biogas plants
Grigoras; Scarlatache, 2015	An assessment of the renewable energy potential using a clustering based data mining method. Case study in Romania
Wu; Sarker; Paudel, 2015	Sustainable energy from biomass: Biomethane manufacturing plant location and distribution problem
Hu <i>et al.</i> , 2017	CyberGIS-BioScope: a cyberinfrastructure-based spatial decision-making environment for biomass-to-biofuel supply chain optimization
Mukherjee <i>et al.</i> , 2015	Optimal location of centralized biodigesters for small dairy farms: A case study from the United States
De Meyer <i>et al.</i> , 2014	Methods to optimise the design and management of biomass-for-bioenergy supply chains: A review
Höhn <i>et al.</i> , 2014	A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland
Wirth, 2014	Communities matter: Institutional preconditions for community renewable energy
Balaman; Selim, 2014	A network design model for biomass to energy supply chains with anaerobic digestion systems
Silva; Alçada-Almeida; Dias, 2014	Biogas plants site selection integrating Multicriteria Decision Aid methods and GIS techniques: A case study in a Portuguese region
De figueiredo; Mayerle, 2014	A systemic approach for dimensioning and designing anaerobic bio-digestion/energy generation biomass supply networks
Maier; Gemenetzi, 2014	Optimal renewable energy systems for industries in rural regions
Perpiña; Martínez-Llario; Pérez-Navarro, 2013	Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants

Autor	Título
Kaundinya <i>et al.</i> , 2013	A GIS (geographical information system)-based spatial data mining approach for optimal location and capacity planning of distributed biomass power generation facilities: A case study of Tumkur district, India
Thompson; Wang; Li, 2013	Anaerobic digester systems (ADS) for multiple dairy farms: A GIS analysis for optimal site selection
Kremmydas; Petsakos; Rozakis, 2012	Parametric Optimization of Linear and Non-Linear Models via Parallel Computing to Enhance Web-Spatial DSS Interactivity
Gold; Seuring, 2011	Supply chain and logistics issues of bio-energy production
Iakovou <i>et al.</i> , 2010	Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis
Swindal; Gillespie; Welsh, 2010	Community digester operations and dairy farmer perspectives
Ma <i>et al.</i> , 2005	Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS
Ramachandra; Krishna; Shruthi, 2004	Decision Support System to Assess Regional Biomass Energy Potential

Fonte: Aatoria Própria