

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

**GABRIELA DIEDRICHS BARBOSA**

**PARCERIAS ESTRATÉGICAS ENTRE PROPRIEDADES RURAIS**  
**PARA A GERAÇÃO DE BIOENERGIA**

**DISSERTAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2018**

**GABRIELA DIEDRICHS BARBOSA**

**PARCERIAS ESTRATÉGICAS ENTRE PROPRIEDADES RURAIS  
PARA A GERAÇÃO DE BIOENERGIA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

**PONTA GROSSA**

**2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa  
n.18/18

B238 Barbosa, Gabriela Diedrichs

Parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de  
bioenergia. / Gabriela Diedrichs Barbosa, 2018.  
86 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, Ponta Grossa, 2018.

1. Resíduos de animais. 2. Biogás. 3. Energia - Fontes alternativas. 4.  
Algoritmos. I. Francisco, Antonio Carlos de. II. Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná. III. Título.

CDD 670.42

Elson Heraldo Ribeiro Junior. CRB-9/1413. 26/03/2018.



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Ponta Grossa**  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Título da Dissertação Nº 314/2018

**PARCERIAS ESTRATÉGICAS ENTRE PROPRIEDADES RURAIS PARA A GERAÇÃO DE**  
**BIOENERGIA**

por

Gabriela Diedrichs Barbosa

Esta dissertação foi apresentada às 10h00min de 16 de fevereiro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, linha de pesquisa em Sistemas Produtivos Sustentáveis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho  
(UNICENTRO)

Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser (UTFPR)

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski (UTFPR)

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco  
(UTFPR) – *Orientador*

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco  
(UTFPR)  
Coordenador do PPGEP

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE  
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR – CÂMPUS PONTA GROSSA

Dedico este trabalho ao meu pai,  
meu maior exemplo de garra e dedicação.  
Agora eu sou mestre... E este sonho é seu!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças, principalmente quando tudo parecia estar errado, e por me ensinar diariamente que tudo na vida tem um por que e para que...

Sou imensamente grata por tudo o que aprendi durante o mestrado. Foi um grande desafio conciliar estudo e trabalho, mas todos os meus sacrifícios valeram a pena. Aprendi muito e tive a sorte de ter ao meu lado pessoas maravilhosas, para as quais escrevo aqui um agradecimento especial.

Ao meu orientador, professor Tico, eu agradeço por acreditar no meu potencial, pela oportunidade de fazer o mestrado, por toda a ajuda, incentivo, apoio, orientações, conversas e conselhos, relacionados tanto ao mestrado quanto à vida.

Aos professores do PPGE e do LESP, principalmente ao professor Cassiano, eu agradeço pelos ensinamentos, orientações e ideias.

Aos professores da banca, Paulo, Cassiano e Daniel, eu agradeço por dedicarem seu tempo e conhecimentos na correção deste trabalho e por todas as sugestões dadas. Em especial, eu agradeço ao professor Paulo, por estar presente em mais esta etapa de meus estudos.

Ao meu chefe, Henry, eu agradeço por toda a ajuda e incentivo desde o início do mestrado, por acompanhar de perto o desenvolvimento deste trabalho, pelas inúmeras conversas, dicas, sugestões, por torcer e por acreditar em mim.

Aos amigos e colegas do LESP, principalmente o Jovani, a Carol, a Eliane, a Mari, o Jean, a Mary, a Cris e a Vanessa, que de alguma forma contribuíram no andamento deste trabalho.

À Maria Helena, eu agradeço pela amizade construída ao longo do mestrado, por compartilharmos as dificuldades e as vitórias, pela parceria, desabafos, ajudas e conversas.

Ao meu namorado, Marcio, eu agradeço por ser o meu porto seguro, por me segurar todas as vezes que eu ameacei cair, por tornar os meus dias mais leves, por todo apoio, motivação, carinho, dedicação, paciência e amor.

Ao meu pai (Marcos), minha mãe (Luciane), meu padrasto (Sergio), minha madrasta (Marísia), minha irmã (Bruna), minha madrinha (Regina) e meus avós (Walter, Ruth e Ivone), eu agradeço por sempre estarem presentes, por todo o amor,

pelo incentivo aos estudos e por compreenderem – ou ao menos tentarem – o meu stress e correria.

Às minhas melhores amigas, Ellen e Bianca, eu agradeço pela parceria, carinho e cumplicidade, por torcerem por mim, por estarem ao meu lado nas dificuldades e por comemorarem comigo as minhas conquistas.

À minha amiga Moara, eu agradeço por me mostrar que distância alguma prejudica uma amizade, por todas as nossas conversas, desabafos, conselhos, incentivos, cuidado, carinho e risadas.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, Bete, Thiago, Camila e Luiz, eu agradeço pelas conversas e apoio.

Ao meu enteado, Pedro, e meus sogros, Lena e Dito, eu agradeço pelo carinho e por tornarem os meus finais de semana mais leves e divertidos.

E a todos aqueles que estiveram comigo nesses dois anos de desafios, superações e conquistas... Muito obrigada!

## RESUMO

BARBOSA, Gabriela Diedrichs. **Parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

O setor agropecuário gera uma enorme quantidade de resíduos que constituem um grave problema ambiental quando não são corretamente dispostos ou reaproveitados. A busca pela sustentabilidade nesse setor e os problemas associados à crise energética e ao aquecimento global incentivam o uso de resíduos agropecuários como fonte de energia. Porém, a instalação de uma central para a geração da bioenergia requer altos investimentos e volume de resíduos. Estes acabam sendo estímulos para a cooperação entre produtores rurais. No Brasil, a geração conjunta de energia por meio de fontes renováveis é autorizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi identificar alternativas de parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia. O estudo foi realizado em propriedades rurais criadoras de bovinos e/ou suínos, associadas a uma cooperativa agroindustrial, localizadas no município de Castro-Paraná-Brasil. A metodologia baseou-se na criação de um cenário de parcerias, levando em consideração as variáveis consumo de energia, potencial de geração de bioenergia e localização geográfica das propriedades rurais. O potencial de geração de bioenergia foi calculado por meio de uma média entre os índices obtidos na literatura. O método Elbow definiu o número ideal de agrupamentos. Os cenários de parcerias foram criados pelo algoritmo *k-means*, por meio do *software* de geoprocessamento QGIS e do *software* estatístico SPSS. Foram obtidos três cenários de parcerias entre as propriedades rurais. A sobreposição deles resultou em um cenário final de parcerias, composto por três agrupamentos. As propriedades que constituem o agrupamento 1 tem potencial para atender 36% de sua demanda energética; as propriedades do agrupamento 2 tem potencial para atender 32% de sua demanda energética; e, por fim, as propriedades do agrupamento 3 tem potencial para atender 72% de sua demanda energética. A metodologia desenvolvida neste trabalho possibilitou encontrar alternativas de parcerias para a geração de bioenergia entre as propriedades rurais estudadas, podendo ser replicada em outras amostras. A produção conjunta de bioenergia contribui com a sustentabilidade e a segurança energética do setor rural.

**Palavras-chave:** Agrupamento. SIG. Algoritmo *k-means*. Biogás. Dejeito animal.



## ABSTRACT

BARBOSA, Gabriela Diedrichs. **Strategic partnerships between rural properties for the generation of bioenergy.** 2018. 85 p. Dissertation (Master Degree in Production Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

The agricultural sector generates a lot of residues. These residues are a serious environmental problem when they are not properly disposed or reused. The search for sustainability in this sector and the problems associated with the energy crisis and global warming encourage the use of agricultural waste as an energy source. However, the installation of a plant for the generation of bioenergy requires high investments and volume of waste. These are stimuli for cooperation between rural producers. In Brazil, the joint generation of energy through renewable sources is authorized by the National Electric Energy Agency. In this sense, the objective of this work was to identify alternatives of strategic partnerships between rural properties for the generation of bioenergy. The study was carried out on cattle and/or pigs farms, associated to an agroindustrial cooperative, located in the municipality of Castro-Paraná-Brazil. The methodology was based on the creation of a partnership scenario. The variables energy consumption, bioenergy generation potential and geographic location of rural properties were taken into account. The bioenergy generation potential was calculated by means of a mean between the indices obtained in the literature. The Elbow method defined the optimal number of clusters. The partnership scenarios were created by the k-means algorithm, using the QGIS geoprocessing software and the SPSS statistical software. Three scenarios of partnerships between rural properties were obtained. The overlap of the scenarios generated a final scenario of partnerships, composed of three groups. The group 1 has the potential to meet 36% of its energy demand; the group 2 has the potential to meet 32% of its energy demand; and, finally, the group 3 has the potential to meet 72% of its energy demand. The methodology developed in this work made it possible to find alternative partnerships for the generation of bioenergy among the rural properties studied. This methodology can be applied in other samples. The joint production of bioenergy contributes to the sustainability and energy security of the rural sector.

**Keywords:** Cluster. GIS. K-means algorithm. Biogas. Animal waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do trabalho.....	20
Figura 2 - Localização geográfica das propriedades rurais.....	35
Figura 3 - Procedimentos metodológicos.....	36
Figura 4 - Estradas entre as propriedades rurais.....	46
Figura 5 - Consumo médio de energia.....	47
Figura 6 - Potencial de geração de bioenergia.....	48
Figura 7 - Sobreposição de camadas.....	48
Figura 8 - Capacidade energética.....	50
Figura 9 - Cenário 1 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais.....	54
Figura 10 - Cenário 2 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais.....	55
Figura 11 - Cenário 3 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais.....	56
Figura 12 - Cenário final de parcerias estratégicas entre propriedades rurais.....	59
Figura 13 - Consumo médio de energia dentro do agrupamento 1.....	60
Figura 14 - Potencial de geração de bioenergia dentro do agrupamento 1.....	61
Figura 15 - Estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 1.....	62
Figura 16 - Consumo médio de energia dentro do agrupamento 2.....	63
Figura 17 - Potencial de geração de bioenergia dentro do agrupamento 2.....	64
Figura 18 - Estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 2.....	65
Figura 19 - Consumo médio de energia dentro do agrupamento 3.....	66
Figura 20 - Potencial de geração de bioenergia dentro do agrupamento 3.....	67
Figura 21 - Estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 3.....	68
Figura 22 - Principais características do cenário final de parcerias.....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de análise espacial .....	31
Quadro 2 - Palavras-chave e suas combinações .....	37
Quadro 3 - Cenários de parcerias .....	41
Quadro 4 - Diagnóstico da capacidade energética.....	49
Quadro 5 - Menores distâncias entre as propriedades rurais do agrupamento 1 .....	62
Quadro 6 - Menores distâncias entre as propriedades rurais do agrupamento 2.....	65
Quadro 7 - Menores distâncias entre as propriedades rurais do agrupamento 3.....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das propriedades rurais .....	43
Tabela 2 - Índices de produção de esterco, biogás e energia elétrica .....	44
Tabela 3 - Produção de esterco, biogás e energia elétrica das propriedades rurais.	44
Tabela 4 - Soma da distância ao quadrado.....	51
Tabela 5 - Cenário 3 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais.....	55
Tabela 6 - Principais características do cenário final de parcerias.....	70

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO .....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 PARCERIAS ESTRATÉGICAS .....	21
2.1.1 Cooperativas Agroindustriais .....	21
2.1.1.1 Resíduos agropecuários.....	22
2.1.2 Técnica de Agrupamentos .....	23
2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS .....	24
2.2.1 Bioenergia .....	25
2.2.1.1 Condomínios de bioenergia .....	28
2.3 ANÁLISE ESPACIAL .....	30
2.3.1 Análise Espacial no Setor da Bioenergia .....	32
2.3.2 Parcerias Estratégicas no Setor da Bioenergia .....	33
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	34
3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA .....	34
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	35
3.3.1 Coleta de Dados.....	37
3.3.2 Tratamento dos Dados.....	38
3.3.2.1 Cálculo do potencial de geração de bioenergia .....	38
3.3.2.2 Caracterização espacial da amostra.....	39
3.3.2.3 Definição do número ideal de agrupamentos .....	40
3.3.2.4 Identificação de parcerias entre as propriedades rurais .....	41
3.3.2.5 Caracterização do cenário final de parcerias.....	42
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>43</b>
4.1 COLETA DE DADOS.....	43
4.2 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOENERGIA .....	44
4.3 CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA AMOSTRA.....	45
4.4 DEFINIÇÃO DO NÚMERO IDEAL DE AGRUPAMENTOS .....	51
4.5 IDENTIFICAÇÃO DE PARCERIAS ENTRE AS PROPRIEDADES RURAIS...53	
4.6 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO FINAL DE PARCERIAS .....	59
4.6.1 Agrupamento 1 do Cenário Final de Parcerias .....	59
4.6.2 Agrupamento 2 do Cenário Final de Parcerias .....	63
4.6.3 Agrupamento 3 do Cenário Final de Parcerias .....	65
4.6.4 Caracterização Geral .....	69
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>72</b>

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE A - Planilha para Coleta de Dados .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No atual cenário mundial, onde os males provocados pelo consumismo excessivo estão constantemente em pauta, apenas 14% da energia ofertada em todo o mundo provêm de fontes renováveis (WBA, 2016). Já no Brasil, esse número corresponde a 43%, o que faz do país líder na participação de fontes renováveis em sua matriz energética (EPE, 2017).

No que diz respeito à energia elétrica, a matriz brasileira tem origem predominantemente renovável, respondendo por cerca de 82%, onde 68% são provenientes de hidrelétricas (EPE, 2017). Contudo, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2014), a demanda energética brasileira dobrou desde 1990 e a expansão da geração hidráulica está cada vez mais limitada, pelo afastamento e sensibilidade ambiental de grande parte dos recursos hídricos restantes. Dessa maneira, faz-se necessária a busca por diferentes alternativas para a geração de energia.

A biomassa tem se destacado como fonte de energia renovável pela sua disponibilidade, quantidade e baixo custo (MONLAU et al., 2015). As atividades agropecuárias produzem uma enorme quantidade de resíduos de biomassa, como restos de colheita e dejetos animais, que podem ser utilizados para gerar a chamada bioenergia (CARNEIRO et al., 2013).

A agropecuária brasileira é uma das que mais cresce no mundo, com um aumento de cerca de 4,3% ao ano, seguido pela China (3,2%), Chile (3,1%), Japão (2,9%) e Argentina (2,7%) (USDA, 2017). Nos últimos anos, o Brasil passou de importador para um significativo exportador de produtos agropecuários (BRASIL, 2017). De acordo com os dados do último Censo Agropecuário brasileiro (IBGE, 2007), o país tem mais de cinco milhões de estabelecimentos agropecuários. A área desses estabelecimentos é de 3.336.800 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 40% de todo o território nacional. Em termos comparativos, a área agropecuária brasileira equivale a toda área territorial da Índia, ou duas vezes a área territorial do Alasca.

Tal fato faz do Brasil uma grande potência para o uso de resíduos de biomassa para gerar energia, a chamada bioenergia. No entanto, apesar dos produtores rurais gerarem resíduos com alto potencial energético, pela gestão ineficiente dos mesmos esse potencial é desperdiçado. Além disso, os investimentos para a instalação de uma central de geração de bioenergia são altos, muitas vezes

não sendo viável para pequenas propriedades rurais possuírem a sua própria instalação, tendo em vista o baixo volume de resíduos gerado individualmente. Isso leva à busca por estratégias para aumentar a competitividade e o desenvolvimento deste setor.

A cooperação é uma alternativa cada vez mais utilizada como parte da solução para diversos problemas encontrados no dia-a-dia. Trabalhar em conjunto e manter relações de parceria aumenta a competitividade dos pequenos negócios (CARDOSO et al., 2014). A cooperação entre interessados em gerar energia, através de redes de parcerias, reduz custos, traz vantagens de escala e centraliza a produção. No Brasil, esse tipo de cooperação é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015).

Aproveitando o expressivo setor agropecuário brasileiro, essa pesquisa explora o potencial de geração de bioenergia de propriedades rurais localizadas no Município de Castro, situado no Estado do Paraná, região sul do Brasil. Castro tem como base de sua economia a atividade agropecuária, sendo considerado um dos maiores produtores de bovinos de leite e suínos do Estado. A criação destes no município é de 111.489 e 210.800, respectivamente (IBGE, 2016).

As propriedades rurais estudadas neste trabalho, mesmo fazendo parte de um meio de cooperação, característica base de uma cooperativa, deixam de explorar as vantagens decorrentes da proximidade geográfica e do potencial de geração de energia dos seus resíduos. Portanto, o problema de pesquisa deste trabalho foi definido como: **“Quais são as parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia?”**. Com o intuito de responder este questionamento, foram traçados os objetivos descritos a seguir.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Identificar parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia.



### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Calcular o potencial mensal de geração de bioenergia por meio de dejetos bovinos e suínos de cada propriedade rural.
- Caracterizar espacialmente o consumo médio de energia e o potencial de geração de bioenergia das propriedades rurais.
- Diagnosticar a capacidade energética das propriedades rurais.
- Definir o número ideal de agrupamentos para parcerias.
- Obter cenários de parcerias entre as propriedades rurais de acordo com as variáveis estudadas.
- Propor um cenário final de parcerias sobrepondo os cenários iniciais.
- Descrever as características do cenário final de parcerias.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Várias iniciativas globais têm como foco proteger o planeta da degradação, para que ele possa atender as necessidades das presentes e futuras gerações. Entre outros aspectos, ressaltam a preocupação com as emissões dos gases de efeito estufa e, ao mesmo tempo, o desejo de ampliar o acesso à energia, melhorando a vida das pessoas em todos os lugares.

A 21ª Conferência das Partes, realizada em 2015, resultou no Acordo de Paris, que tem como objetivo limitar o aumento da temperatura média global em no máximo 2°C. Tal medida implicará em mudanças profundas no sistema de energia de todo o mundo, pois exige a diminuição das emissões globais de gases de efeito estufa, concentrando esforços e investimentos na redução da emissão de carbono (IEA, 2016).

Um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, estipulado pela Organização das Nações Unidas, é “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos”. Este, juntamente com os demais 16 objetivos globais, deverão ser implementados até 2030 por todos os países do mundo (UN, 2015). Nesse contexto, aponta-se a questão abordada pelo Acordo de Paris: “Onde estão as oportunidades para a expansão de energias renováveis e

eficiência energética e quais políticas são necessárias para impulsionar estas fontes de energia de baixo carbono?” (IEA, 2016).

A bioenergia, energia proveniente da biomassa, é atualmente a maior fonte renovável do planeta, fornecendo 10% da oferta energética mundial. Ela é uma alternativa para substituir as fontes não renováveis de energia. Gerar energia por meio de biomassa contribui com a redução dos impactos negativos ao meio ambiente. No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, a geração da bioenergia é uma medida que contribui significativamente para melhorar a situação energética atual e alcançar os objetivos mundiais de energia mais limpa (IEA, 2015).

Alves et al. (1980) ressaltam a importância de se difundir a produção da bioenergia no setor rural. O objetivo é tornar o agricultor energeticamente autossuficiente no que diz respeito a energia térmica, elétrica e na substituição dos combustíveis derivados do petróleo para acionar pequenos motores.

Utilizar resíduos agropecuários para gerar energia é uma maneira de contribuir com a sustentabilidade. Tal medida é ambientalmente correta, por destinar adequadamente resíduos com alto potencial poluidor; economicamente viável, pela redução da fatura de energia elétrica e pela oportunidade de gerar renda extra com a venda de biofertilizante; e socialmente justa, pela criação de empregos, ampliação do acesso à energia e consequente melhora na qualidade de vida das comunidades rurais (KHISHTANDAR et al., 2016; TOMA et al., 2016).

Nesse contexto, aponta-se a dificuldade que produtores rurais têm em descartar adequadamente os seus resíduos, ricos em matéria orgânica, ao mesmo tempo em que há o aumento no preço da energia elétrica e a necessidade de reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

Portugal-Pereira et al. (2015) sugere, em seu estudo, a proposta de políticas para incentivar os regimes de cooperação entre produtores agroindustriais, através de redes de parcerias entre eles. Tal prática reduz custos de transporte, traz vantagens de escala e centraliza a geração de energia.

Quando os recursos de biomassa disponíveis não são suficientes para satisfazer as necessidades locais de eletricidade, a biomassa tem de ser importada. Assim, tem-se a necessidade do uso de estratégias para minimizar custos de transporte e distribuição de energia (KAUNDINYA et al., 2013). Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG contribuem significativamente para o planejamento e

gerenciamento dos recursos energéticos de uma região (HILOIDHARI; BARUAH, 2014). Se potenciais geradores e consumidores de energia estiverem concentrados nas mesmas áreas, o gerenciamento se torna muito mais fácil (PORTUGAL-PEREIRA et al., 2015).

O uso de *softwares* de SIG como ferramenta para auxiliar a criação de parcerias estratégicas no setor da bioenergia durante os últimos cinco anos pode ser evidenciado em algumas regiões do mundo: Estados Unidos da América (GALIK et al., 2016), Grécia (MANOS et al., 2014; FANTOZZI et al., 2014), Itália (FANTOZZI et al., 2014) e União Europeia (SESANA et al., 2015). Apesar dessa incidência em alguns locais específicos, não foram encontradas publicações do tema relacionado no Brasil.

As buscas realizadas nas bases de dados *Science Direct* e *Scopus*, combinando as palavras-chave *bioenergy*, *biogas*, *biomass*, *spatial analysis*, *GIS*, *partnership*, *cluster* e *k-means*, como apresentado posteriormente na metodologia, não resultaram em trabalhos similares a este. Em geral, os estudos realizados apontam uma tendência em parcerias entre potenciais geradores de bioenergia e grandes consumidores de energia. Até os limites desta pesquisa, não foram encontradas publicações que apontem parcerias mútuas entre propriedades rurais, baseadas em SIG, para a geração de bioenergia. Essa lacuna na literatura motivou o presente trabalho.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO (2008), a Engenharia de Produção é dividida nas seguintes áreas: Engenharia de Operações e Processos da Produção; Logística; Pesquisa Operacional; Engenharia da Qualidade; Engenharia do Produto; Engenharia Organizacional; Engenharia Econômica; Engenharia do Trabalho; Engenharia da Sustentabilidade; e Educação em Engenharia de Produção.

Essa pesquisa está enquadrada na área de Engenharia da Sustentabilidade que, de acordo com a ABEPRO (2008), refere-se ao “planejamento da utilização eficiente dos recursos naturais nos sistemas produtivos diversos, da destinação e

tratamento dos resíduos e efluentes destes sistemas, bem como da implantação de sistema de gestão ambiental e responsabilidade social” e na área de Engenharia Organizacional, que se refere ao “conjunto de conhecimentos relacionados à gestão das organizações, englobando em seus tópicos o planejamento estratégico e operacional, as estratégias de produção, a gestão empreendedora, a propriedade intelectual, a avaliação de desempenho organizacional, os sistemas de informação e sua gestão e os arranjos produtivos” (ABEPRO, 2008).

A área da Engenharia da Sustentabilidade justifica-se pelo estudo de uma energia renovável, a bioenergia, a qual é gerada por meio de resíduos que ocasionam impactos negativos ao meio ambiente quando descartados de forma inadequada. A área da Engenharia Organizacional justifica-se pelo objetivo de identificar parcerias estratégicas entre atores que possuem interesses em comum.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Essa pesquisa está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresentou a introdução ao tema, trazendo o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa do estudo e a delimitação da pesquisa.

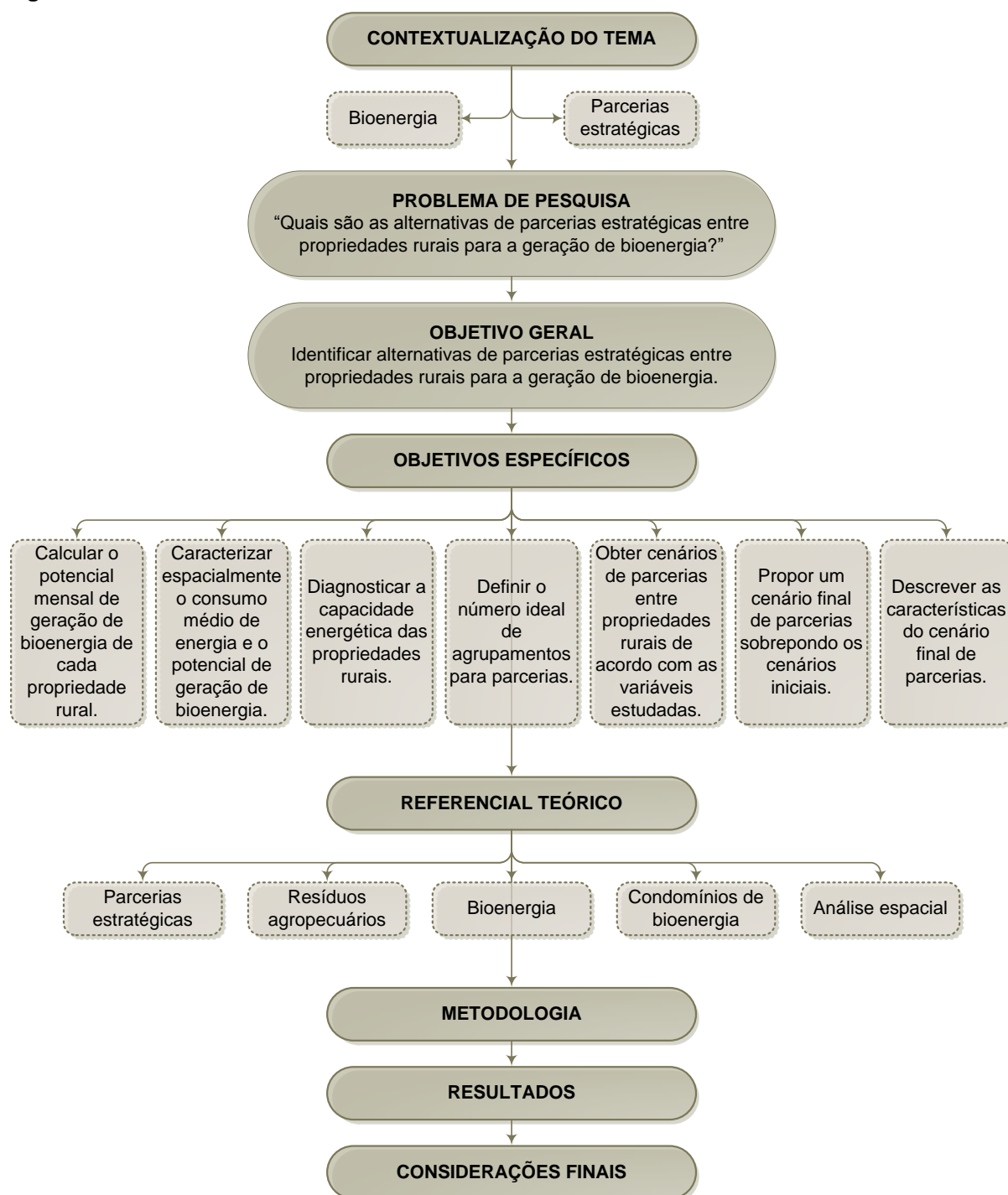
O capítulo dois apresenta a fundamentação teórica, onde são abordados assuntos como: parcerias estratégicas, cooperativas agroindustriais, resíduos agropecuários, técnica de agrupamento, energias renováveis, bioenergia, condomínios de bioenergia, análise espacial e estudos relevantes ao tema em questão.

O capítulo três apresenta a metodologia utilizada para contemplar os objetivos propostos, a classificação da pesquisa, a população e a amostra e as etapas para a coleta e tratamento dos dados.

O capítulo quatro apresenta os resultados desse estudo e sua discussão.

Por fim, o capítulo cinco apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. O fluxograma a seguir fornece uma visão geral do desenvolvimento desse estudo (Figura 1).

Figura 1 - Estrutura do trabalho



Fonte: Autoria própria

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os temas teóricos que serviram para o embasamento da pesquisa, como: parcerias estratégicas, cooperativas agroindustriais, resíduos agropecuários, técnica de agrupamentos, energias renováveis, bioenergia, condomínios de bioenergia, análise espacial e estudos relevantes ao tema em questão.

### 2.1 PARCERIAS ESTRATÉGICAS

Parcerias entre atores é uma competência estratégica. As parcerias implicam em um compromisso conjunto de responsabilidades, caracterizado pelo compartilhamento das obrigações e das conquistas, com igualdade e equilíbrio de poder (CARDOSO et al., 2014; FOWLER, 2000).

São inúmeros benefícios que a parceria proporciona, como o fortalecimento do poder de compras, o compartilhamento de recursos, a combinação de competências, a divisão de riscos e custos para explorar novas oportunidades e a geração de produtos com qualidade superior e diversificada. Esses fatores colaboram com o aumento da competitividade dos atores no mercado (CARDOSO et al., 2014).

O desenvolvimento de parcerias estratégicas constitui uma ferramenta eficiente para os mais variados setores. Tal ferramenta integra e implementa ações baseadas na participação de um conjunto de atores onde as similaridades nos problemas e nos interesses contribuem para que haja cooperação em busca de benefícios mútuos (MANOS et al., 2014).

#### 2.1.1 Cooperativas Agroindustriais

O relacionamento de cooperação pode ser observado em empreendimentos coletivos, como é o caso das cooperativas. A cooperativa é um meio para que um grupo de indivíduos voluntários para a cooperação recíproca atinja objetivos específicos, de forma a solucionar problemas e atender necessidades comuns que

vão além de suas capacidades individuais. Por meio do cooperativismo, os produtos e serviços dos cooperados são colocados no mercado de forma mais vantajosa do que teriam isoladamente (CARDOSO et al., 2014).

As cooperativas se desenvolvem em várias áreas e as propriedades rurais estudadas neste trabalho fazem parte de uma cooperativa agroindustrial. As cooperativas agroindustriais pertencem ao segmento agropecuário e são cooperativas de produtores rurais onde a produção pertence ao cooperado. São caracterizadas pela prestação de serviços aos associados, como recebimento ou comercialização da produção conjunta, armazenamento e industrialização, além da assistência técnica, educacional e social (OCB, 2016).

O segmento cooperativista economicamente mais forte do Brasil é formado pelas cooperativas agropecuárias. Elas abastecem o mercado interno de produtos alimentícios e participam significativamente nas exportações. São 1.543 cooperativas agropecuárias e 993.564 produtores cooperados em todo o país, as quais são classificadas conforme os tipos de produção e gerenciam toda a cadeia produtiva, desde o manejo da terra até a industrialização e comercialização dos produtos (OCB, 2016).

#### 2.1.1.1 Resíduos agropecuários

A agropecuária brasileira destaca-se por sua eficiência e sustentabilidade, estando o país entre um dos maiores produtores e exportadores do mundo (EMBRAPA, 2016). Contudo, a grande quantidade de resíduos gerados pela agricultura e pela pecuária (FORSTER-CARNEIRO et al., 2013) constituem um grave problema ambiental caso estes não sejam corretamente dispostos ou reaproveitados. Sua elevada carga orgânica contamina os solos e as águas e emite gases que contribuem com o efeito estufa (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014).

Os resíduos agropecuários consistem em sobras de culturas agrícolas e esterco animal (PORTUGAL-PEREIRA et al., 2015; FORSTER-CARNEIRO et al., 2013). Como a sua gestão é complicada e custosa (MENARDO; BALSARI, 2012), eles geralmente são abandonados, queimados em campos, encaminhados para aterros (MACEDO et al., 2016; MONLAU et al., 2015; MENARDO; BALSARI, 2012) ou, ainda, utilizados como fertilizantes. Apesar da vantagem do uso destes como

fertilizante, tal prática tem causado poluição dos solos, corpos hídricos, ar, fauna e na comunidade ao redor, devido ao mau odor e proliferação de vetores (RIBEIRO; RAIHER, 2013).

Dejetos animais apresentam um elevado valor poluente, superior ao esgoto humano em até 12 vezes (KONZEN, 1983). Seu descarte incorreto causa grandes impactos negativos ao meio ambiente, originando desequilíbrios ecológicos e poluição. Nos corpos hídricos, ocorre a redução do teor de oxigênio dissolvido na água, a disseminação de patógenos e a contaminação das águas com diversos elementos tóxicos. Além disso, a evaporação dos compostos voláteis contribui com a chuva ácida e com o efeito estufa (DIESEL et al., 2002; INOVAGRID, 2015).

A digestão anaeróbia é uma forma de reutilizar resíduos agropecuários (MENARDO; BALSARI, 2012). Estes são matérias-primas interessantes para a produção de energia devido à sua elevada carga orgânica, disponibilidade, acessibilidade e baixo custo (MONLAU et al., 2015).

### 2.1.2 Técnica de Agrupamentos

Parcerias estratégicas dentro de um conjunto de elementos podem ser formadas por meio de técnicas de agrupamentos. A criação de agrupamentos, ou *cluster*, em inglês, pode ser realizada por diferentes procedimentos. Cada procedimento usa um algoritmo distinto para executar a análise. O objetivo é agrupar elementos conforme um grau de semelhança. Um agrupamento ótimo possui grande similaridade dentro do grupo e baixa similaridade entre grupos (IBM, 2016; FUNG, 2001).

O algoritmo *k-means* tem como objetivo minimizar a soma do erro quadrado em todos os *k clusters*. Ou seja, esse método busca tornar mínima a distância euclidiana dos elementos a um conjunto de *k* centros. Cada elemento é associado ao centro mais próximo e então é recalculado o centro de cada grupo. Os passos são repetidos até que nenhum elemento mude de grupo, resultando em *k* agrupamentos finais (XU, 2009; IBM, 2016; LIKAS et al., 2003). O algoritmo é dado pela equação:

$$E(m_1, \dots, m_M) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M I(x_i \in C_k) \|x_i - m_k\|^2$$



Onde  $X$  é o conjunto de dados  $\{x_1, \dots, x_N\}$ ;  $M$  são os agrupamentos  $C_1, \dots, C_M$ ;  $m_k$  é o centro de cada agrupamento  $C_k$ ; e  $I(X)=1$  se  $X$  for verdadeiro e  $I(X)=0$  se não o for (LIKAS et al., 2003).

O algoritmo *k-means* requer que seja previamente especificado o número de agrupamentos para que a análise possa ser realizada. O número  $k$  de agrupamentos pode ser definido de forma aleatória ou utilizando um método chamado *Elbow*, ou método do cotovelo. Esse método define o número ideal de agrupamentos para um conjunto de elementos. Para isso, deve ser calculada a soma da distância ao quadrado (em inglês, *Sum of Squared Error* – SSE) entre cada membro do agrupamento e seu centro, para alguns valores de  $k$  (GHAYEKHLOO et al., 2015; JAIN, 2010).

O método *Elbow* seleciona o número ideal de agrupamentos onde a SSE cai abruptamente, chamado de “elbow effect” ou cotovelo. Nesse ponto, a diferença da SSE diminui, tornando-se quase insignificante. Essa análise pode ser melhor observada por meio de um gráfico de dispersão  $k \times$  SSE. O gráfico facilita visualizar para qual número de agrupamentos o valor de SSE possui uma queda maior, formando um cotovelo. De posse do número ideal  $k$  de agrupamentos, o algoritmo *k-means* pode ser utilizado para distribuir um conjunto de elementos nos  $k$  grupos (KETCHEN; SHOOK, 1996; JAIN, 2010).

## 2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

As fontes de energia não renováveis, como óleos, gás natural e carvão, não se reabastecem em um curto período de tempo (IEA, 2017). Já a energia renovável é a energia proveniente de processos naturais, repostos a um ritmo mais rápido do que são consumidos. Solar, eólica, geotérmica, hídrica e biomassa são fontes comuns de energia renovável (IEA, 2016).

No ano de 2015, 81,4% da demanda mundial de energia foi proveniente de combustíveis fósseis (WBA, 2016). No mesmo ano, no Brasil, a demanda de energia proveniente de combustíveis não renováveis foi de 57,5% (EPE, 2016). Apenas 14,3% da matriz energética mundial é proveniente de fontes renováveis de energia (WBA, 2016), já a matriz energética brasileira apresenta 41,2% da oferta de energia

nacional proveniente de fontes renováveis (EPE, 2016), o que faz do setor energético do país um dos menos carbono-intensivos do mundo (IEA, 2016). O indicador é superior ao de países desenvolvidos, como Canadá, Estados Unidos, Suíça, Alemanha, entre outros, que possuem menos de 10% da oferta de energia proveniente de fontes renováveis (MME, 2016).

A escassez dos recursos não renováveis, os seus impactos negativos ao meio ambiente e as crises energéticas incentivam a comunidade global a pesquisar e utilizar os recursos renováveis de energia (HILOIDHARI; BARUAH, 2014). O crescimento da produção de energia através de fontes renováveis contribui para a diversificação e segurança energética, reduz a importação de combustíveis e resguarda a economia de aumentos e oscilações de preço de combustíveis fósseis (IEA, 2016).

### 2.2.1 Bioenergia

A bioenergia é a energia proveniente da biomassa. Biomassa é qualquer material orgânico passível de decomposição, como derivado de plantas e animais (IEA, 2016). A energia obtida por meio da biomassa pode ser gerada de forma direta ou indireta. Para a produção direta, o processo chama-se combustão, que resulta principalmente em dióxido de carbono e vapor de água, utilizado para aquecimento doméstico e processos industriais. Na produção indireta, há o processo de fermentação da biomassa, resultando em biocombustíveis, como o etanol, o biodiesel e o biometano; e o processo de decomposição anaeróbia da biomassa, resultando no biogás (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014).

A digestão anaeróbia ocorre por meio de biodigestores. Um biodigestor é constituído de um poço e uma câmara de acumulação de gás. Nesse poço ocorre a decomposição da matéria orgânica por bactérias anaeróbias, as quais retiram da biomassa parte das substâncias que precisam para viver e, assim, liberam gases e calor (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014; SEIXAS et al., 1981; MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016).

Devido à biomassa ser um recurso volumoso, recomenda-se que os biodigestores sejam instalados próximos à fonte, reduzindo custos com transporte (SHANE et al., 2016). A instalação do biodigestor deve ser feita apenas por técnicos

especializados. Em contrapartida, a sua manutenção é simples, podendo ser realizada pelos próprios funcionários do local (KUNZ; OLIVEIRA, 2008). Kunz (2015) ainda recomenda que seja redigido um protocolo de manejo para ser seguido de forma padronizada por todos os funcionários.

Para uma melhor operação e rendimento do biodigestor, sua alimentação deve ser diária e com entrada uniforme, devendo ser evitada a diluição excessiva do material orgânico. Durante a operação do biodigestor, devem ser observados a temperatura, o pH, as concentrações de sólidos e a composição da biomassa (SEIXAS et al., 1981), visto que tais fatores influenciam a capacidade de degradação do biodigestor (KUNZ; OLIVEIRA, 2008; KUNZ, 2015).

A decomposição anaeróbia da matéria orgânica no biodigestor resulta em biogás e um líquido efluente. O biogás é um composto gasoso constituído por gás metano, gás carbônico e outros gases, podendo ser convertido em energia elétrica ou térmica (MONLAU et al., 2015; COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014). O líquido efluente possui alto potencial de fertilização, por ser rico em minerais e nutrientes, podendo ser aplicado ao solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas (ACHINAS; EUVERINK, 2016; RIBEIRO; RAIHER, 2013).

O poder calorífico do biogás depende da quantidade de metano presente, sendo que, quanto maior a quantidade de metano, maior será a pureza do biogás e maior o seu poder calorífico. A conversão da energia do biogás em energia elétrica pode ser obtida por meio de motores acoplados a geradores (RIBEIRO; RAIHER, 2013).

Os resíduos agropecuários são responsáveis por cerca de 87% da produção de biogás no mundo (MAGHANAKI et al., 2013), assim, o principal fornecedor de biomassa para a produção de energia é o setor agrícola (JANKOWSKI et al., 2016).

O uso de resíduos de biomassa, como restos de colheita e dejetos animais, para a geração de energia, não ameaça a segurança alimentar, não afeta o manejo da terra e não prejudica a biodiversidade, pois os resíduos têm a sua produção garantida no desenvolvimento das atividades agropecuárias (KHISHTANDAR et al., 2016; LIJÓ et al., 2015). Já a produção de culturas em larga escala para fins exclusivamente energéticos é criticada por motivos de sustentabilidade e ética social, tendo em vista que as culturas poderiam ser utilizadas para a produção de alimentos e contribuir para a redução da crise alimentar em vários países do mundo (SIEGMEIER et al., 2015; ROSEGRANT et al., 2008).

O manejo inadequado de dejetos animais na agricultura e na pecuária pode causar perdas de elementos como nitrogênio, fósforo e carbono, acarretando em mudanças climáticas, acidificação de solos e eutrofização de recursos hídricos. A geração de energia por meio desses resíduos somada à utilização do líquido efluente como fertilizante, é a alternativa que oferece um melhor desempenho do ponto de vista ambiental (VRIES et al., 2015; VRIES et al., 2012).

Diversos trabalhos na literatura (AGEITEC, 2017; KONZEN, 1983; WINROCK, 2008; NOOROLLAHI et al., 2015; ROMERO et al., 2014; CENBIO, 2001; COLLADO, 2007) apresentam índices de produção de dejetos, produção de biogás e produção de bioenergia de criações de diferentes animais. O potencial de energia da biomassa é obtido a partir da quantidade de resíduos gerada dentro de um espaço de tempo e de um espaço geográfico e do teor de energia de cada resíduo (GÓMEZ et al., 2010).

Os animais que produzem a maior quantidade de dejetos por dia são os de maior porte, como elefantes e bovinos, porém os animais que possuem o maior potencial de produção de biogás por quilograma de dejetos são as galinhas e os cachorros (BGS, 2013). A palha e a silagem de milho são as matérias-primas mais eficientes para a produção de biogás. A co-digestão anaeróbia de estrume animal e palha melhora consideravelmente o desempenho ambiental do biogás, devido a maior densidade de energia (POESCHL et al., 2012).

A biomassa animal possui elevados custos de transporte, devido ao seu alto peso por unidade de energia gerada. A sua viabilidade econômica dependerá da configuração da rede de abastecimento, tendo em vista que uma logística bem projetada reduzirá os custos operacionais do processo (MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016).

As dificuldades mais evidentes na utilização da biomassa como fonte para a geração de energia não estão relacionadas à falta de recursos, mas sim às barreiras econômicas e políticas, a falta de conhecimento sobre o potencial energético da biomassa e a falta de infraestrutura (LOURINHO; BRITO, 2015; PORTUGAL-PEREIRA et al., 2015).

A instalação de um biodigestor demanda alto investimento financeiro. A organização de produtores rurais em associações permite o investimento em biodigestores e geradores, além do uso conjunto da energia produzida, que pode ser utilizada em seus próprios sistemas de produção, contribuindo para a redução de

custos das atividades agropecuárias. No caso de cooperativas ou associações, a energia excedente pode ser transferida para outras propriedades ou para unidades comunitárias, como fábricas de processamento, produção ou secadoras (SHANE et al., 2016; RIBEIRO; RAIHER, 2013).

Para estimular a produção de energia por meio de fontes renováveis, muitos países fornecem incentivos e apoios para acelerar o seu uso. Na Itália, por exemplo, são dados certificados verdes e descontos em tarifas para os geradores de bioenergia (LIJÓ et al., 2015). A bioenergia beneficia principalmente os países em desenvolvimento, que dependem de energia e importam combustíveis de outros países (KHISHTANDAR et al., 2016). No Brasil, existe o Programa Agricultura de Baixo Carbono, que tem, entre outros, o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa oriundas das atividades agropecuárias (MAPA, 2016).

No ano de 2009, Demirbas et al. (2009) constataram que a geração da bioenergia poderia desempenhar um papel relevante na geração de eletricidade num futuro próximo. Atualmente, nove anos depois, a energia proveniente da biomassa é a maior fonte de energia renovável no mundo, fornecendo 10% da oferta mundial de energia (IEA, 2016). Em âmbito internacional, a Alemanha é o país líder desse setor, onde o número de biodigestores ultrapassa 6.000 unidades (EBA, 2016).

A bioenergia distingue-se das demais tecnologias energéticas de fontes renováveis existentes a nível mundial. Isso ocorre porque a energia gerada por meio do biogás a partir de resíduos de biomassa atinge um desempenho global de sustentabilidade mais elevado em comparação às demais tecnologias. A bioenergia realiza a logística reversa de resíduos e reduz os impactos negativos ao meio ambiente, contribui e estimula o desenvolvimento rural através da criação de empregos e renda e proporciona autonomia energética às propriedades rurais (KHISHTANDAR et al., 2016).

#### 2.2.1.1 Condomínios de bioenergia

A energia elétrica gerada próxima aos consumidores e distribuída por simples instalações, sem a necessidade de redes de transmissão, é chamada de geração distribuída e tem sido cada vez mais utilizada nas zonas rurais. A geração distribuída de energia com recursos de biomassa apresenta planejamento,

implantação e gestão simples e é capaz de fornecer um abastecimento contínuo de energia (MOHAMMED et al., 2014).

A combinação de propriedades rurais próximas é uma alternativa para produzir energia em grande escala, através da produção conjunta de biogás, formando condomínios agroenergéticos. Tais condomínios permitem que a produção rural seja mais sustentável (ALMEIDA et al., 2017).

A primeira instalação comunitária para produzir biogás começou a operar em meados da década de 80, na Finlândia. Na década de 90, esses condomínios se tornaram populares especialmente na Dinamarca. Isso ocorreu porque a cultura dinamarquesa enfatiza a cooperação e o desenvolvimento da sociedade. Além disso, as comunidades já possuíam redes de distribuição de calor com caldeiras centrais que poderiam utilizar o calor residual produzido a partir dos sistemas de geração de biogás (ESCOBAR; HEIKKILÄ, 1999).

No Brasil, esse tipo de arranjo foi autorizado somente em 2015, pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Desde então, ela permite que o consumidor brasileiro produza a sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, possibilitando a geração distribuída de energia e a sua instalação em empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

As resoluções normativas da ANEEL preveem ainda que o excedente de energia seja fornecido para a rede de distribuição local. Assim, origina créditos ao consumidor, os quais podem ser utilizados para diminuir a fatura de energia elétrica quando o consumo for maior que a geração (ANEEL, 2015).

Essa iniciativa alia econômica financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade. Possui como estímulos o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética nacional (ANEEL, 2017).

No Paraná, Estado onde está situada a região de estudo deste trabalho, há o Condomínio de Agroenergia Ajuricaba, localizado no Município de Marechal Cândido Rondon. Ele é formado por 33 pequenas propriedades rurais criadoras de bovinos e suínos, que produzem biogás e biofertilizante por meio de biodigestores (COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014).

Existem no Estado outros projetos para a implantação de novos condomínios agroenergéticos (INCRA, 2015; PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO, 2016). O setor agropecuário do Paraná apresenta grande importância

socioeconômica e o Estado possui um enorme potencial para a produção de biogás. O Paraná é um grande gerador de excedente de eletricidade, principalmente devido à presença da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. Contudo, o potencial de geração de energia proveniente da biomassa excede a quantidade de energia gerada pelas fontes hidráulicas no Estado (RIBEIRO; RAIHER, 2013).

### 2.3 ANÁLISE ESPACIAL

Análise espacial é o processo de examinar locais, atributos e relações de fenômenos, tendo como base a sua localização espacial, com a finalidade de discutir uma questão ou gerar conhecimento (ESRI, 2016; CÂMARA et al., 2004). Com a análise espacial é possível visualizar e compreender um mapa, encontrar quais são os significados de determinados objetos ou fatores e as relações entre eles, fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real e, através desses resultados, discutir quais são as melhores ações que devem ser tomadas (ESRI, 2016; CÂMARA et al., 1996).

A análise espacial é a essência da tecnologia de um Sistema de Informações Geográficas – SIG (ESRI, 2016). SIG, ou GIS, do inglês *Geographic Information System*, é uma ferramenta computacional que realiza análises complexas ao combinar informações espaciais e criar bancos de dados georreferenciados. A informação espacial possui uma localização, expressa em coordenadas geográficas, e atributos descritivos, que a caracterizam e relacionam com outros objetos (CÂMARA; MEDEIROS, 1996). Os dados georreferenciados são dados localizados na superfície terrestre e que estão representados numa projeção cartográfica (CÂMARA et al., 2004).

Dessa forma, um SIG é um banco de dados espacializado, ou seja, todos os dados nele inseridos são associados a uma representação espacial baseada em um conjunto de coordenadas geográficas. Qualquer objeto passível de georreferenciar pode ser estudado espacialmente (LOURINHO; BRITO, 2015). A disponibilidade e interfaces amigáveis dos SIG tornam mais comuns os estudos que buscam compreender a distribuição espacial de fenômenos (CÂMARA et al., 2004; HILOIDHARI; BARUAH, 2014).

O Quadro 1 apresenta alguns exemplos de análise espacial através de um SIG.

**Quadro 1 - Exemplos de análise espacial**

Análise	Pergunta Geral	Exemplo
Condição	“O que está...?”	“Qual a população desta cidade?”
Localização	“Onde está...?”	“Quais as áreas com declividade acima de 20%?”
Tendência	“O que mudou...?”	“Esta terra era produtiva há cinco anos?”
Roteamento	“Por onde ir...?”	“Qual o melhor caminho para o metrô?”
Padrões	“Qual o padrão...?”	“Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?”
Modelos	“O que acontece se...?”	“Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia?”

**Fonte: Câmara; Medeiros (1996).**

A análise espacial possui vantagens distintas em relação aos métodos tradicionais que se limitam à pesquisa e coleta de dados, fator que leva ao aumento na popularidade do uso de SIG. Algumas dessas vantagens são: local para uma cobertura global, informações precisas e capacidade de interação com o usuário (HILOIDHARI; BARUAH, 2014).

O SIG pode ser utilizado como ferramenta para produzir mapas, como apoio para análise espacial de fenômenos e como um banco de dados geográficos (CÂMARA; MEDEIROS, 1996). Ele proporciona a visualização, questionamento, análise e interpretação de dados, a fim de compreender relações, padrões e tendências entre eles (ESRI, 2016).

Pelo menos 80% dos dados corporativos possuem uma componente geográfica (IMG, 2016). Tal fato que faz aumentar a conscientização do valor econômico e estratégico do SIG (ESRI, 2016), fazendo essa tecnologia crescer 30% ao ano em novos mercados (IMG, 2016).

Com um SIG é possível reduzir despesas com combustível e tempo de pessoal através da otimização de rotas, tomar decisões corretas referentes a melhores localizações, gerenciar as mudanças geográficas e, principalmente, melhorar a comunicação entre diferentes públicos e campos profissionais, pois visualizações contribuem muito para compreender uma narrativa (ESRI, 2016).



### 2.3.1 Análise Espacial no Setor da Bioenergia

Estudos recentes mostram o uso de *softwares* de SIG como ferramenta que contribui com o gerenciamento da geração de bioenergia. Em seu trabalho, Lourinho e Brito (2015) utilizaram SIG para avaliar o potencial de geração de energia elétrica através da biomassa em uma região de Portugal. Eles realizaram uma quantificação do potencial energético de resíduos agrícolas e florestais produzidos na região e fizeram o mapeamento das informações, onde analisaram a adequação das localizações das usinas de geração da bioenergia.

Hiloidhari e Baruah (2014) fizeram uma avaliação espaço-temporal, em ambiente SIG, da disponibilidade de palha de arroz em uma área rural da Índia, a fim de verificar o potencial de geração de bioenergia deste resíduo agrícola.

Portugal-Pereira et al. (2015) quantificaram os resíduos agrícolas e agroindustriais que são ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis potenciais geradores de eletricidade no Brasil e desenvolveram uma metodologia, baseada em SIG, para este fim. Em seus resultados, as regiões sul, sudeste e centro-oeste do país têm os maiores potenciais para a geração de energia através da biomassa e os resíduos da cana-de-açúcar, da soja e do milho são as principais matérias-primas disponíveis para a geração da bioenergia.

Motghare et al. (2016) analisaram a localização, por meio de análise espacial, de diferentes tipos de resíduos de biomassa na Índia, a fim de avaliar os seus potenciais para a geração da bioenergia.

Ooba et al. (2016) analisaram, em ambiente SIG, o mapeamento das áreas com oferta de biomassa com potencial para geração de energia, numa região do Japão. A comparação entre as áreas possibilitou a identificação dos locais prioritários com potencial para a geração de energia através da biomassa.

Tais pesquisas apontam o uso do SIG como ferramenta que auxilia a visualização espacial dos dados coletados, permitindo mapear informações, identificar localizações e analisar as características da área de interesse.

### 2.3.2 Parcerias Estratégicas no Setor da Bioenergia

O uso de *softwares* de SIG como ferramenta para auxiliar a criação de parcerias estratégicas no setor da bioenergia podem ser evidenciados em poucos estudos. Galik et al. (2016) analisaram, em ambiente SIG, a possível parceria entre instalações militares localizadas numa região dos Estados Unidos da América, as quais consomem uma grande quantidade de energia, e propriedades vizinhas de produtores de materiais florestais e agrícolas para a geração de energia através da biomassa.

Manos et al. (2014) listaram os esforços que precisam ser desenvolvidos para a criação de uma parceria público-privada para a implantação de um projeto de geração de bioenergia no setor rural de uma região da Grécia. A metodologia utilizou *software* de SIG para analisar os dados e a localização de biomassa disponível.

Fantozzi et al. (2014) apresentaram uma metodologia, baseada em SIG, para desenvolver projetos de bioenergia por meio de parcerias entre o setor público e empresas privadas. A análise foi realizada em áreas rurais da Grécia e da Itália.

Sesana et al. (2015) fizeram uma análise de parcerias, em ambiente SIG, entre edifícios de países da União Europeia, para avaliar o potencial para a implantação de sistemas de energia sustentáveis.

Em geral, as pesquisas apontam uma tendência em parcerias entre potenciais geradores de bioenergia e grandes consumidores de energia. Até os limites desta pesquisa, não foram encontradas publicações que apontem parcerias mútuas entre propriedades rurais, baseadas em SIG, para a geração da bioenergia.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos empregados na execução do estudo. Apresenta-se a classificação da pesquisa, a população e a amostra e as etapas de coleta e tratamento dos dados.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com as classificações propostas por Gil (2008), essa pesquisa se classifica como:

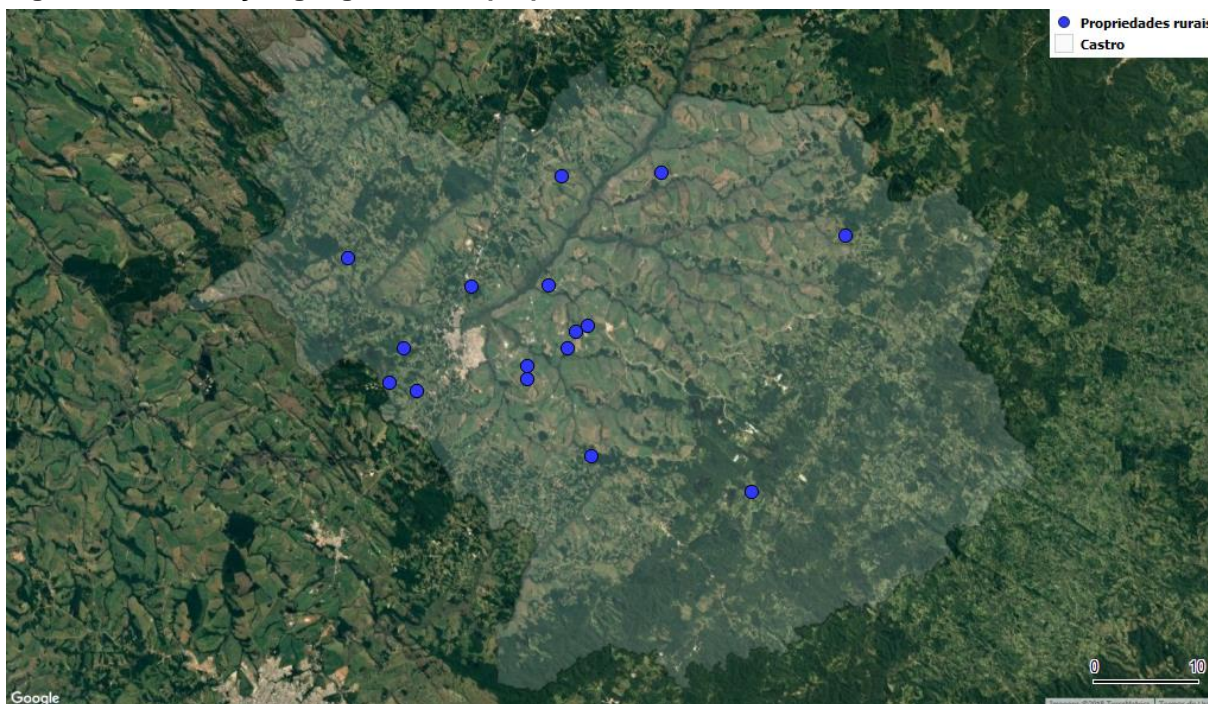
- Do ponto de vista do objeto: de campo, tendo em vista que a coleta de dados é efetuada em propriedades rurais;
- Do ponto de vista da sua natureza: aplicada, pois os conhecimentos resultantes da pesquisa poderão auxiliar a gestão de resíduos agropecuários e o desenvolvimento da autossuficiência energética de setores rurais;
- Do ponto de vista da forma de abordagem do problema: quantitativa, pois os dados coletados e os cálculos são apresentados na forma de números e as parcerias estratégicas são obtidas pela aplicação de um algoritmo matemático;
- Do ponto de vista de seus objetivos: exploratória, pois as análises realizadas mostrarão possíveis alternativas para a parceria estratégica entre produtores rurais;
- Do ponto de vista dos procedimentos técnicos: estudo de caso, pois há um estudo detalhado do objeto.

#### 3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população deste trabalho são propriedades rurais que possuem potencial para gerar bioenergia. A amostra foi definida por acessibilidade. O estudo foi feito com 16 propriedades rurais criadoras de bovinos de leite e/ou suínos, localizadas no município de Castro, Estado do Paraná, e associadas a uma cooperativa

agroindustrial localizada na região. A Figura 2 apresenta a localização geográfica das propriedades rurais estudadas.

**Figura 2 - Localização geográfica das propriedades rurais**



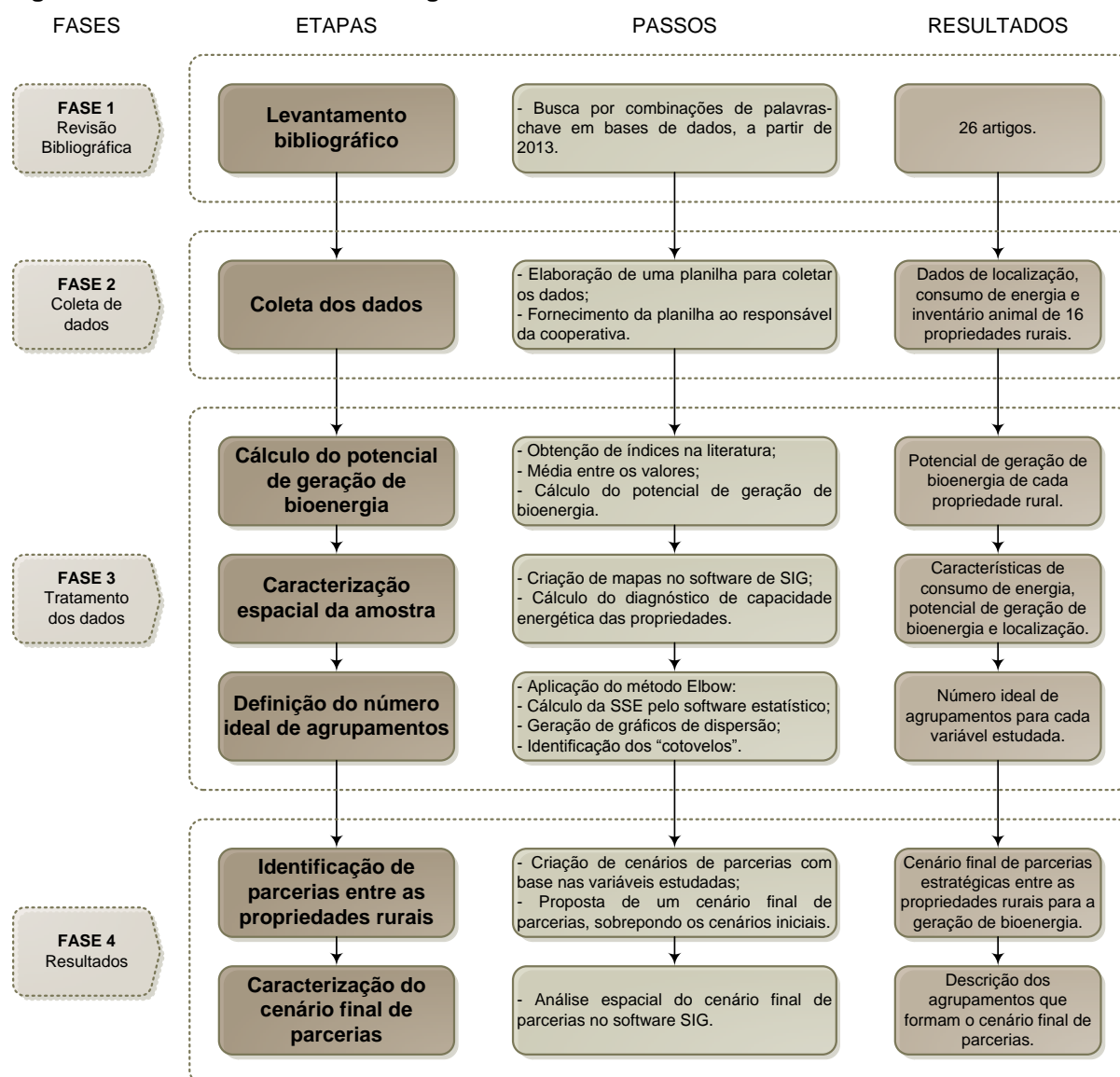
**Fonte: Autoria própria**

O objetivo de optar por propriedades rurais associadas a uma cooperativa é pelo fato das mesmas já estarem situadas em um ambiente de parcerias e cooperação. Esperou-se que, assim, haveria maior facilidade na criação de outros vínculos entre elas.

### 3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o intuito de realizar este estudo, foram definidos os procedimentos apresentados na Figura 3 e descritos a seguir.

Figura 3 - Procedimentos metodológicos



Fonte: Autoria própria

O portfólio bibliográfico utilizado como referência para a revisão bibliográfica apresentada neste trabalho foi levantado utilizando as bases de dados *Science Direct* e *Scopus*, a partir do ano 2013. As palavras-chave pesquisadas, suas variações e suas combinações estão apresentadas no Quadro 2.

**Quadro 2 - Palavras-chave e suas combinações**

<b>Palavras-chave 1</b>	<b>Palavras-chave 2</b>
<i>bioenergy; biomass energy</i>	<i>livestock waste; livestock manure</i>
	<i>animal waste; animal manure</i>
	<i>bovine waste; cattle waste; bovine manure; cattle manure</i>
	<i>swine waste; pig waste; swine manure; pig manure</i>
	<i>power generation</i>
	<i>potential of power generation</i>
	<i>distributed generation</i>
	<i>spatial analysis; GIS</i>
<i>potential of power generation</i>	<i>livestock waste; livestock manure</i>
	<i>animal waste; animal manure</i>
	<i>bovine waste; cattle waste; bovine manure; cattle manure</i>
	<i>swine waste; pig waste; swine manure; pig manure</i>
	<i>Biogas</i>
<i>distributed generation</i>	<i>spatial analysis; GIS</i>
	<i>partnership; cluster; k-means</i>
<i>spatial analysis; GIS</i>	<i>Biomass</i>
	<i>Biogas</i>
	<i>partnership; cluster; k-means</i>
<i>partnership; cluster; k-means</i>	<i>Biomass</i>
	<i>Biogas</i>

**Fonte:** Autoria própria

Para cada combinação de palavras-chave, foram lidos o título e o resumo dos 25 artigos com maior relevância dentro das bases de dados resultantes de cada busca. Foram selecionados para o portfólio bibliográfico os artigos que estavam dentro do tema estudado, totalizando 26 artigos. Também foram utilizados sites e outros materiais, nacionais e internacionais, disponíveis na internet e relacionados ao assunto abordado, além de trabalhos fora do espaço temporal estipulado, por serem relevantes à pesquisa.

### 3.3.1 Coleta de Dados

A planilha (Apêndice A) para a coleta e organização dos dados relevantes ao estudo foi elaborada a partir de conceitos levantados na revisão teórica, a fim de

atender às próximas etapas da pesquisa. As variáveis estudadas neste trabalho para identificar as alternativas de parcerias entre as propriedades rurais foram localização geográfica, consumo médio de energia e potencial de geração de bioenergia por meio de dejetos bovinos e suínos. Assim, foram solicitadas as seguintes informações de cada produtor rural: localização (coordenadas geográficas), consumo médio mensal de energia (kWh/mês) e número de bovinos de leite e/ou número de suínos criados na propriedade.

A coleta de dados foi obtida junto à cooperativa agroindustrial a qual os produtores rurais estavam associados, durante o segundo semestre de 2016. A planilha de coleta de dados foi entregue ao coordenador de engenharia responsável da cooperativa, que solicitou o recolhimento e preenchimento dos dados pelos portadores das informações.

### 3.3.2 Tratamento dos Dados

O tratamento dos dados está dividido em cinco etapas: cálculo do potencial de geração de bioenergia, caracterização espacial da amostra, definição do número ideal de agrupamentos, identificação das parcerias entre as propriedades rurais e caracterização do cenário final de parcerias. Os passos de cada etapa estão descritos a seguir.

#### 3.3.2.1 Cálculo do potencial de geração de bioenergia

O tratamento dos dados se iniciou pela obtenção de índices de produção de esterco (kg/animal/dia), biogás (m<sup>3</sup>/animal/dia) e energia elétrica (kWh/animal/dia) para bovinos e para suínos. Foi realizada uma média entre os valores encontrados na literatura (AGEITEC, 2017; KONZEN, 1983; WINROCK, 2008; NOOROLLAHI et al., 2015; ROMERO et al., 2014; CENBIO, 2001; COLLADO, 2007), excluindo do cálculo os números que claramente destoaram dos demais.

Os índices encontrados foram multiplicados pelo número de animais criados em cada propriedade rural, obtendo dados individuais por produtor. Sequencialmente, os valores foram multiplicados por 30, a fim de se obter um dado mensal. O potencial de geração de energia por meio de dejetos bovinos e o

potencial de geração de energia por meio de dejetos suínos das propriedades com ambas as criações foram somados.

Essa etapa resultou no potencial mensal total de geração de bioenergia de cada propriedade rural, alcançando o primeiro objetivo específico deste trabalho.

### 3.3.2.2 Caracterização espacial da amostra

As coordenadas geográficas das propriedades rurais foram inseridas em um *software* de sistema de informações geográficas (SIG), QGIS versão 2.18. De acordo com um estudo global realizado em 2014, o QGIS é o *software* livre de geoprocessamento mais utilizado pelos profissionais do setor, com 86% de uso entre os participantes da pesquisa (DAVIS, 2015). A inserção das coordenadas geográficas resultou em um mapa, onde foi possível observar a área de abrangência do estudo e a distribuição espacial das propriedades rurais.

O banco de dados do SIG foi alimentado pelo consumo médio de energia e potencial de geração de bioenergia, obtidos nas etapas anteriores. Esses dados foram associados a cada propriedade rural, representadas por circunferências de três milímetros de diâmetro e nomeadas por letras do alfabeto romano, a fim de identificá-las.

Através do complemento disponível no *software* de visualização da área estudada em uma carta imagem de satélite, foram traçadas as estradas principais que dão acesso às propriedades rurais. O *software* possibilitou calcular facilmente o comprimento de cada trecho.

Foram criadas duas novas camadas de visualização, onde os dados de consumo médio de energia e de potencial de geração de bioenergia foram classificados em intervalos definidos conforme suas quebras claras. Cada camada teve as circunferências que representam as propriedades rurais categorizadas por uma graduação de cor, onde a intensidade da cor varia de acordo com o intervalo. As duas camadas resultaram em dois diferentes mapas, que permitiram visualizar a distribuição espacial das características das propriedades rurais.

Para uma visualização conjunta desses dados, a camada de potencial de geração de bioenergia teve as circunferências que representam as propriedades rurais categorizadas em níveis de diâmetros, onde o tamanho do diâmetro varia de



acordo com o intervalo. A sobreposição das duas camadas resultou em um novo mapa, onde foi possível observar simultaneamente o potencial de geração de bioenergia e o consumo de energia das propriedades rurais.

Foi calculada a diferença entre o potencial de geração de bioenergia e o consumo médio de energia de cada propriedade rural, a fim de se obter um diagnóstico de capacidade energética individual e geral das propriedades rurais. Os resultados foram inseridos no *software* de SIG, permitindo a visualização da sua distribuição espacial.

Essa etapa permitiu conhecer as características de consumo de energia, potencial de geração de bioenergia, capacidade energética e localização geográfica da amostra estudada. Assim, foram alcançados o segundo e o terceiro objetivos específicos deste trabalho.

### 3.3.2.3 Definição do número ideal de agrupamentos

Para determinar o número ideal  $k$  de grupos de parcerias entre as propriedades rurais, foi utilizado o método Elbow. A soma da distância ao quadrado (SSE – *Sum of Squared Error*) foi calculada por meio do *software* estatístico IBM SPSS Statistics (*Software Package Used for Statistical Analysis*) versão 23.

Tendo em vista que não é possível calcular a SSE de coordenadas geográficas, este cálculo foi feito apenas para os dados de consumo médio de energia e de potencial de geração de bioenergia. Foram calculados os valores de SSE para tais variáveis, tanto individualmente quanto juntas, para o intervalo de dois a 16 grupos.

Para visualizar em qual número de grupos a SSE cai abruptamente, foram gerados gráficos de dispersão por meio do *software* de planilhas eletrônicas Microsoft Excel. O “cotovelo” dos gráficos indicou qual é o número ideal  $k$  de agrupamentos para as variáveis consideradas.

Essa etapa resultou no número ideal de agrupamentos para cada variável estudada, alcançando o quarto objetivo específico deste trabalho.

### 3.3.2.4 Identificação de parcerias entre as propriedades rurais

As variáveis foram divididas em pares, compondo três cenários de parcerias. Cada cenário levou em consideração o número ideal  $k$  de agrupamentos, encontrados na etapa anterior, e duas variáveis diferentes, como apresentado no Quadro 3. Nos três cenários, a seleção dos agrupamentos entre as propriedades rurais foi feita pela aplicação do algoritmo *k-means*.

**Quadro 3 - Cenários de parcerias**

Cenários	Variável 1	Variável 2
1	Potencial mensal de geração de bioenergia	Localização geográfica
2	Consumo médio mensal de energia	Localização geográfica
3	Potencial mensal de geração de bioenergia	Consumo médio mensal de energia

Fonte: Autoria própria

O *software* de SIG utilizado na espacialização dos dados dispõe de um complemento baseado no algoritmo *k-means* para a criação de grupos, dado um conjunto de elementos. Esse complemento, chamado *Cluster Points*, realiza o agrupamento espacial de uma camada de pontos, levando em consideração as distâncias entre eles e alguma outra variável a sua escolha, inserida no *software*. Os agrupamentos dos cenários 1 e 2 foram obtidos dessa forma.

O cenário 3, por não levar em consideração a localização geográfica das propriedades rurais, não pode ser obtido pelo *software* de SIG. Os agrupamentos deste cenário foram criados pelo *software* estatístico SPSS, o mesmo utilizado para a definição do número ideal de agrupamentos, por meio da análise *k-means cluster*.

Por fim, notou-se a necessidade de um cenário que atendesse todas as variáveis estudadas. Assim, um quarto cenário foi proposto. Para tal, foram observados e discutidos os padrões, tendências, semelhanças e diferenças dos três cenários obtidos pelo algoritmo *k-means*. Os cenários foram comparados um a um e listadas as propriedades rurais que sempre pertencem ao mesmo agrupamento e as propriedades rurais que em cenário algum pertencem ao mesmo agrupamento. Dessa forma, o quarto cenário uniu as três variáveis estudadas: localização geográfica, potencial de geração de bioenergia e consumo médio de energia.

Essa etapa resultou em três cenários de parcerias, cada um deles baseado em duas variáveis, e em um quarto cenário final, baseado nos três cenários iniciais. Assim, foram alcançados o quinto e o sexto objetivos específicos deste trabalho.

### 3.3.2.5 Caracterização do cenário final de parcerias

O cenário final de parcerias, obtido na etapa anterior, foi analisado espacialmente por meio do *software* QGIS. Foram traçados polígonos ao redor de cada agrupamento, representando as parcerias.

As camadas de visualização criadas na etapa de caracterização da amostra foram ativadas, gerando dois novos mapas para cada agrupamento. Esses mapas permitiram visualizar a distribuição espacial do consumo médio de energia e do potencial de geração de bioenergia das propriedades rurais dentro dos grupos de parcerias.

Através da ferramenta de mapas de distância foi possível obter os caminhos mais curtos que ligam as propriedades rurais. Foi tida como base a camada vetorial das estradas, traçadas anteriormente. O *software* apontou a menor rota entre duas propriedades selecionadas e calculou a sua distância.

Essa etapa resultou na descrição do cenário final de parcerias estratégicas para geração de bioenergia entre as propriedades rurais, alcançando o último objetivo específico deste trabalho.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados alcançados com a aplicação dos procedimentos metodológicos e as suas discussões.

### 4.1 COLETA DE DADOS

Ficou estabelecida uma amostra não probabilística equivalente a 16 propriedades rurais. A Tabela 1 apresenta o consumo médio mensal de energia e o inventário animal de cada uma das propriedades rurais estudadas.

**Tabela 1 - Dados das propriedades rurais**

Propriedades rurais	Consumo de energia (kWh/mês)	Inventário animal	
		Nº de bovinos	Nº de suínos
A	11.509	303	120
B	42.933	0	850
C	31.180	341	0
D	6.318	89	0
E	39.165	1.384	1.000
F	10.149	0	1.200
G	956	18	0
H	858	0	780
I	17.540	99	200
J	28.972	0	210
K	3.081	301	0
L	3.244	56	0
M	4.215	116	0
N	1.565	48	0
O	3.273	45	0
P	226	28	0

Fonte: Autoria própria

As 16 propriedades rurais possuem um total de 2.828 bovinos de leite e de 4.360 suínos, consumindo juntas mais de 200.000 kWh de energia por mês. Elas estão localizadas dentro de um raio de 72 km. Os dados coletados nesta etapa foram tratados e os seus resultados estão descritos a seguir.

## 4.2 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOENERGIA

Os índices de produção de esterco, biogás e energia elétrica para bovinos e suínos encontrados na literatura estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Índices de produção de esterco, biogás e energia elétrica**

Produção dia/animal	Bovinos			Suínos		
Referências	Esterco (kg)	Biogás (m <sup>3</sup> )	Energia elétrica (kWh)	Esterco (kg)	Biogás (m <sup>3</sup> )	Energia elétrica (kWh)
AGEITEC (2017)	-	0,36	-	-	0,24	-
KONZEN (1983)	12,67	0,61	1,02	2,4	0,18	0,29
WINROCK (2008)	10	2,7	-	2,25	1,26	-
NOOROLLAHI et al. (2015)	3,56	-	-	1,54	-	-
ROMERO et al. (2014)	11	0,44	-	1,5	0,10	-
CENBIO (2001)	25	1	-	2,5	0,22	-
COLLADO (2007)	11	0,44	-	1,5	0,10	-
<b>Média</b>	<b>11,17</b>	<b>0,57</b>	<b>1,02</b>	<b>1,95</b>	<b>0,17</b>	<b>0,29</b>

Fonte: Autoria própria

Os valores destacados em vermelho foram desconsiderados, pois claramente destoam dos demais, com variações superiores a 50%. A última linha da tabela apresenta os índices médios de produção obtidos.

O número de animais criados em cada propriedade rural foi multiplicado pelos índices médios de produção e, sequencialmente, multiplicados por 30, a fim de se obter um dado mensal. Para as propriedades com criações tanto de bovinos de leite quanto de suínos, seus potenciais de geração de energia foram somados. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Produção de esterco, biogás e energia elétrica das propriedades rurais**

(continua)

Propriedades rurais	Bovinos		Suínos		Potencial total de geração de bioenergia (kWh/mês)
	Potencial de produção de esterco (kg/mês)	Potencial de produção de biogás (m <sup>3</sup> /mês)	Potencial de produção de esterco (kg/mês)	Potencial de produção de biogás (m <sup>3</sup> /mês)	
<b>A</b>	101.535	5.181	7.020	612	10.316
<b>B</b>	0	0	49.725	4.335	7.395
<b>C</b>	114.269	5.831	0	0	10.435

**Tabela 3 - Produção de esterco, biogás e energia elétrica das propriedades rurais (conclusão)**

Propriedades rurais	Bovinos		Suínos		Potencial total de geração de bioenergia (kWh/mês)
	Potencial de produção de esterco (kg/mês)	Potencial de produção de biogás (m <sup>3</sup> /mês)	Potencial de produção de esterco (kg/mês)	Potencial de produção de biogás (m <sup>3</sup> /mês)	
D	29.824	1.522	0	0	2.723
E	463.778	23.666	58.500	5.100	51.050
F	0	0	70.200	6.120	10.440
G	6.032	308	0	0	551
H	0	0	45.630	3.978	6.786
I	33.175	1.693	11.700	1.020	4.769
J	0	0	12.285	1.071	1.827
K	100.865	5.147	0	0	9.211
L	18.766	958	0	0	1.714
M	38.872	1.984	0	0	3.550
N	16.085	821	0	0	1.469
O	15.080	770	0	0	1.377
P	9.383	479	0	0	857

Fonte: Autoria própria

As 16 propriedades rurais produzem 947.663 kg de estrume bovino e 255.060 kg de estrume suíno por mês, com um potencial para produzir 48.359 m<sup>3</sup> de biogás bovino e 22.236 m<sup>3</sup> de biogás suíno.

As 12 propriedades rurais com criação de bovinos de leite tem potencial para gerar 86.537 kWh/mês de bioenergia e as sete propriedades rurais com criação de suínos tem potencial para gerar 37.932 kWh/mês de bioenergia. As 16 propriedades rurais totalizam um potencial de 124.469 kWh/mês para gerar bioenergia.

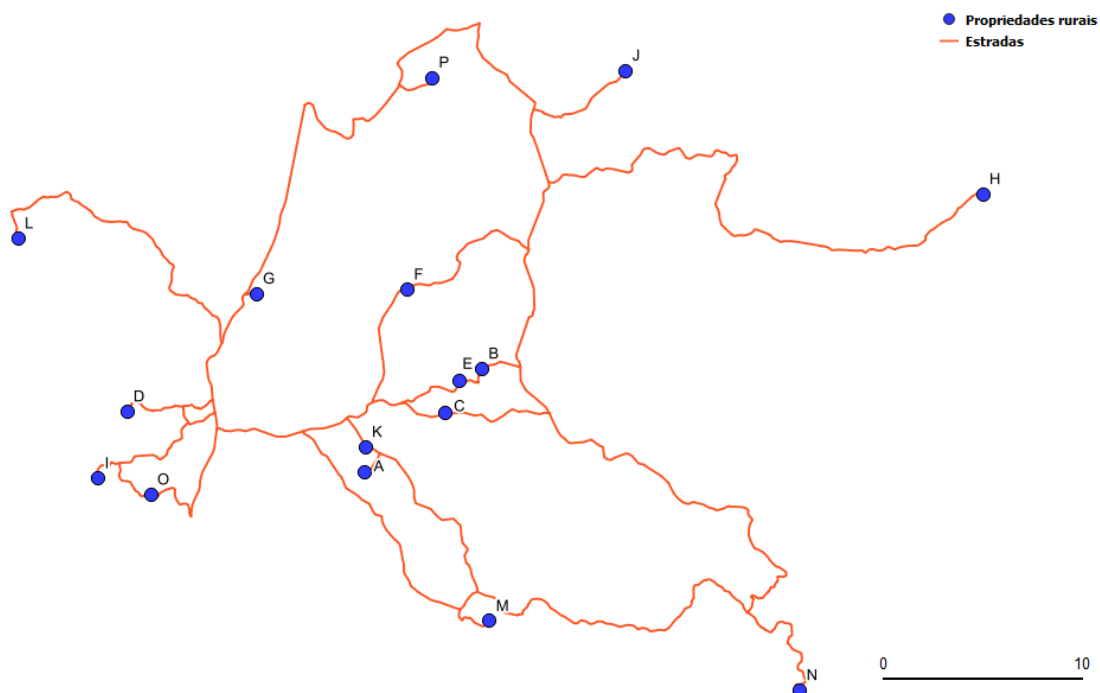
A última coluna apresenta o potencial mensal total de geração de bioenergia de cada propriedade rural. Esses valores foram utilizados para alcançar os próximos resultados.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA AMOSTRA

As coordenadas geográficas das propriedades rurais, obtidas por meio da planilha de coleta de dados, foram inseridas no *software* de SIG QGIS versão 2.18.

Foram traçadas as estradas principais que dão acesso às propriedades rurais e calculado o comprimento de cada trecho pelo próprio *software*. As estradas foram representadas por linhas alaranjadas, como mostra a Figura 4.

**Figura 4 - Estradas entre as propriedades rurais**



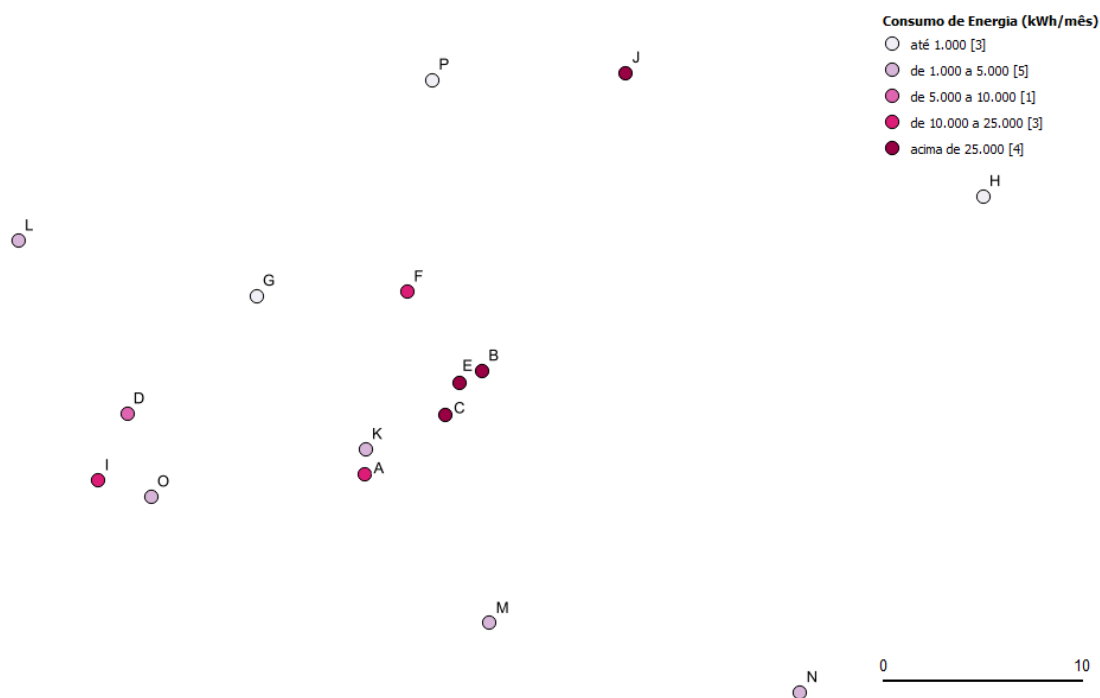
**Fonte: Autoria própria**

São 72 km de estrada que separam as propriedades rurais mais distantes entre si (L e H). As propriedades rurais mais próximas estão a menos de 2 km uma da outra (E e B).

Os dados de consumo médio de energia e potencial de geração de bioenergia, obtidos nas etapas anteriores, foram inseridos no *software*. Eles foram classificados nos seguintes intervalos: até 1.000 kWh/mês, de 1.000 a 5.000 kWh/mês, de 5.000 a 10.000 kWh/mês, de 10.000 a 25.000 kWh/mês e acima de 25.000 kWh/mês. A intensidade da cor da circunferência que representa as propriedades rurais variou de acordo com o intervalo em que ela se encontra.

A Figura 5 mostra a distribuição espacial do consumo médio de energia das propriedades rurais.

Figura 5 - Consumo médio de energia



Fonte: Autoria própria

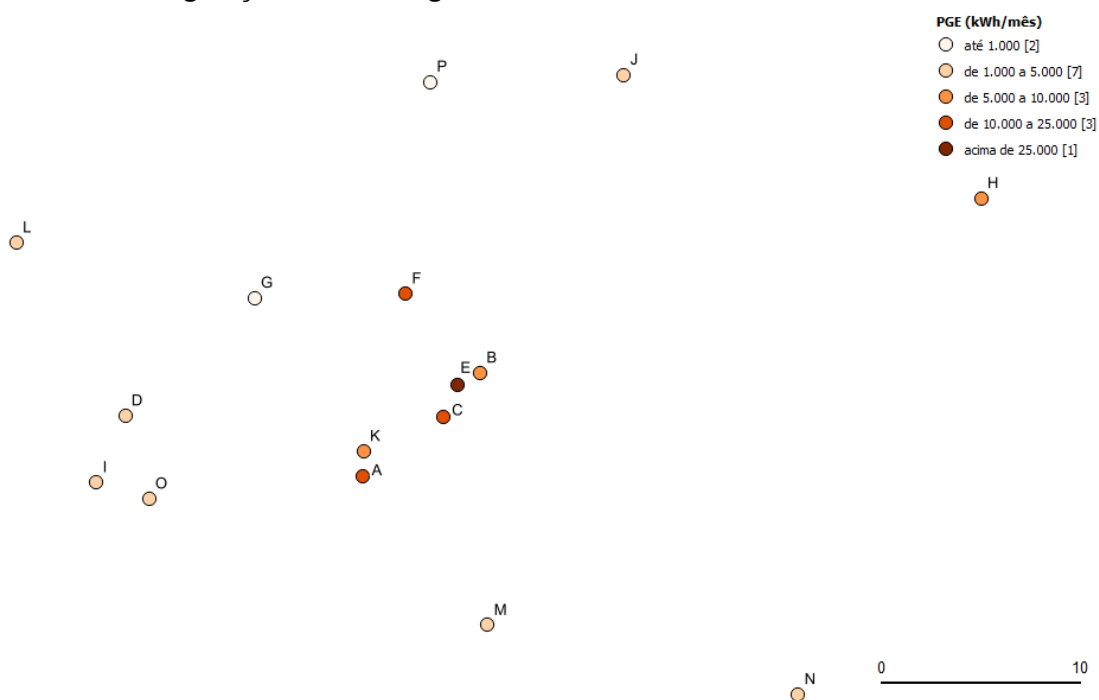
As propriedades rurais que menos consomem energia são G, P e H, com média mensal inferior a 1.000 kWh. L, O, K, M e N consomem uma média de 1.000 a 5.000 kWh de energia por mês e D, I, F e A consomem uma média de 5.000 a 25.000 kWh de energia por mês. As propriedades rurais que mais consomem energia são C, E, B e J, com uma média mensal superior a 25.000 kWh, e três delas (C, E e B) estão muito próximas umas das outras, localizadas no centro da área de estudo.

A Figura 6 mostra a distribuição espacial do potencial de geração de bioenergia das propriedades rurais.

Apenas 25% das propriedades rurais possuem potencial mensal superior a 10.000 kWh para gerar bioenergia. Estas são as propriedades A, F, C e E, todas próximas umas das outras e localizadas no centro da área de estudo. As demais propriedades rurais (L, I, D, O, G, K, M, B, P, J, N e H) possuem potencial para gerar bioenergia inferior a 10.000 kWh/mês, distribuídas em toda a área de estudo.



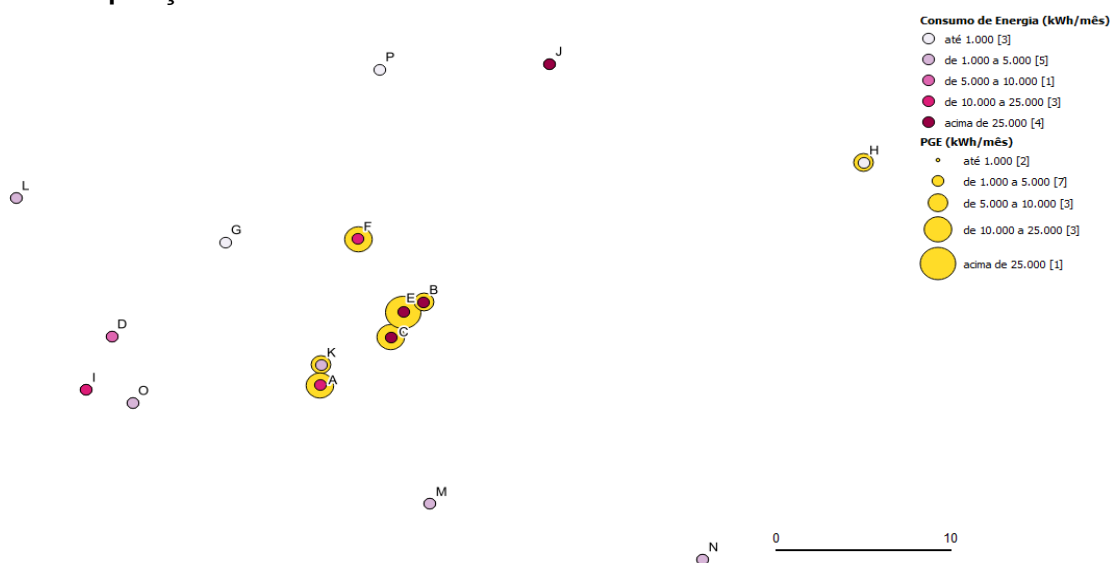
**Figura 6 - Potencial de geração de bioenergia**



Fonte: Autoria própria

Para visualizar simultaneamente os dados, a camada de potencial de geração de bioenergia teve as circunferências que representam as propriedades rurais categorizadas em níveis de diâmetros, onde o tamanho do diâmetro varia de acordo com o intervalo. A sobreposição desta com a camada de consumo médio de energia é mostrada na Figura 7.

**Figura 7 - Sobreposição de camadas**



Fonte: Autoria própria

A sobreposição das camadas permitiu identificar quais propriedades rurais consomem mais ou menos energia e, ao mesmo tempo, quais delas tem maior ou menor potencial para gerar bioenergia. As propriedades rurais L, D, O, G, K, P, M, N e H consomem pouca energia e possuem baixo potencial para gerar bioenergia; I, B e J consomem muita energia e possuem baixo potencial para gerar bioenergia; e A, C, E e F consomem muita energia e possuem alto potencial para gerar bioenergia.

O diagnóstico da capacidade energética de cada propriedade rural foi calculado pela diferença entre o potencial mensal de geração de bioenergia e o consumo médio mensal de energia. Os resultados estão apresentados no Quadro 4 e espacializados na Figura 8.

**Quadro 4 - Diagnóstico da capacidade energética**

Propriedades rurais	Diferença entre potencial de geração de bioenergia e consumo médio de energia (kWh/mês)	Resultado
A	- 1.193	Energia faltante
B	- 35.538	Energia faltante
C	- 20.745	Energia faltante
D	- 3.595	Energia faltante
E	11.885	Energia excedente
F	291	Energia excedente
G	- 405	Energia faltante
H	5.928	Energia excedente
I	- 12.771	Energia faltante
J	- 27.145	Energia faltante
K	6.130	Energia excedente
L	- 1.530	Energia faltante
M	- 665	Energia faltante
N	- 96	Energia faltante
O	- 1.896	Energia faltante
P	631	Energia excedente

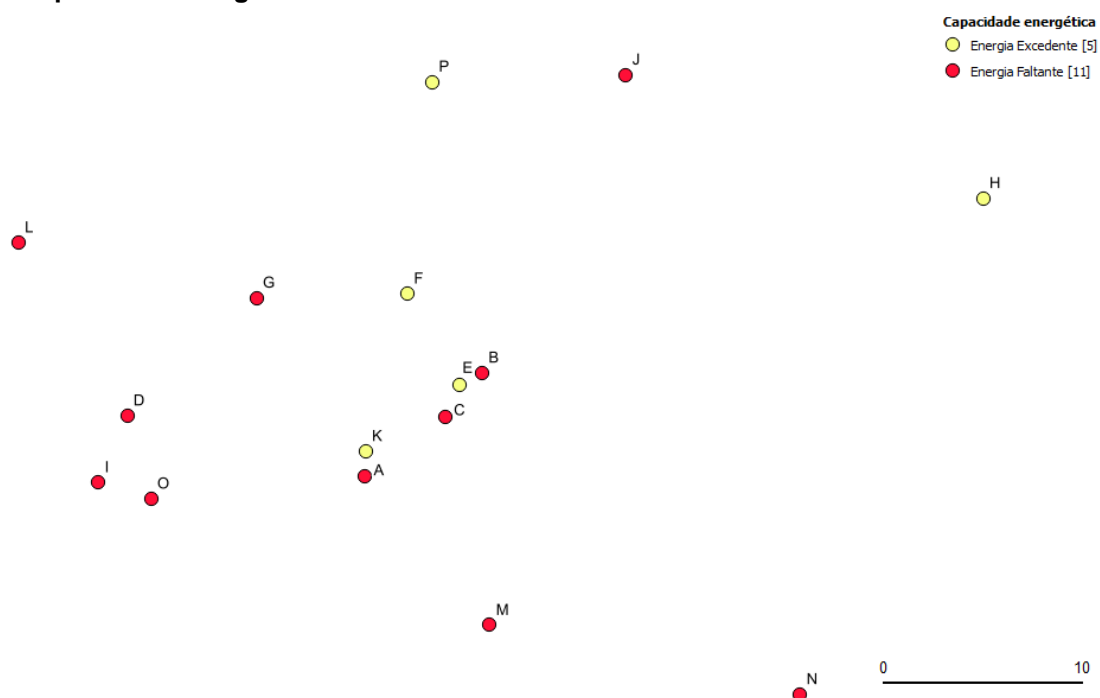
Fonte: Autoria própria

Cinco propriedades rurais (K, F, E, P e H) tem excedente de energia. O mapa da Figura 8 mostra que três delas (K, F e E) estão localizadas próximas umas das outras, na região central. Duas propriedades estão mais distantes destas, sendo uma no centro superior (P) e a outra no canto superior direito (H). Se as propriedades com excedente de energia utilizarem todo o seu potencial de geração

de bioenergia para suprir suas demandas internas, ainda sobrarão 24.865 kWh de energia por mês.

As 11 demais propriedades rurais estão distribuídas por toda a área de abrangência do estudo. Se estas utilizarem seus potenciais de geração de bioenergia para suprir suas demandas internas, faltarão 105.580 kWh de energia por mês.

**Figura 8 - Capacidade energética**



**Fonte: Autoria própria**

O diagnóstico final de capacidade energética das 16 propriedades rurais apresenta um déficit total de 80.715 kWh de energia por mês. Mesmo assim, se todas as propriedades rurais utilizarem todo o potencial dos seus dejetos bovinos e suínos para gerar bioenergia, mais de 60% de toda a demanda energética seria atendida.

Todavia, as propriedades rurais estudadas estão distribuídas em uma grande área e possuem características distintas. Constituir parcerias considerando as proximidades geográficas e as semelhanças das propriedades rurais facilitaria o gerenciamento da geração conjunta de bioenergia. Os resultados para tal análise estão descritos nas etapas a seguir.

#### 4.4 DEFINIÇÃO DO NÚMERO IDEAL DE AGRUPAMENTOS

O número ideal de agrupamentos entre as propriedades rurais foi definido pela aplicação do método Elbow. Para tal, primeiramente foi calculada a soma da distância ao quadrado (SSE) dos dados de consumo médio de energia e de potencial de geração de bioenergia. Esses dados foram inseridos no *software* SPSS versão 23, onde foram geradas tabelas ANOVA para o intervalo de dois a 16 grupos. Os valores de SSE encontrados estão apresentados na Tabela 4.

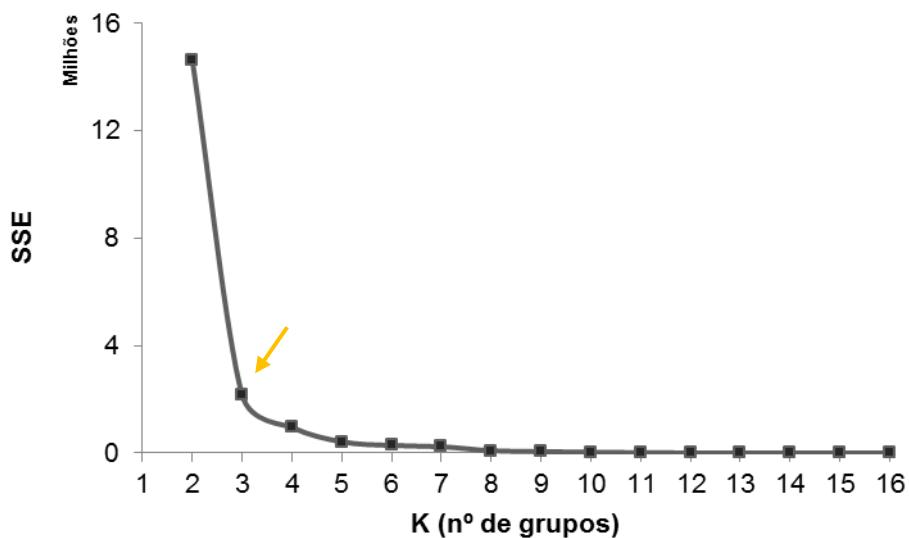
**Tabela 4 - Soma da distância ao quadrado**

Grupos	Potencial de geração de bioenergia	Consumo médio de energia	Potencial de geração de bioenergia e Consumo médio de energia
2	14.617.107	31.111.369	189.831.229
3	2.156.499	14.681.209	47.122.348
4	957.427	5.870.749	25.248.324
5	419.129	3.522.667	17.428.435
6	283.284	1.872.328	15.222.977
7	237.016	1.291.597	11.160.921
8	89.343	632.367	4.916.136
9	53.349	374.472	2.469.670
10	31.334	282.751	1.979.580
11	13.463	184.564	1.122.705
12	5.125	101.644	581.363
13	3.553	8.742	464.313
14	2.114	2.611	185.169
15	15	420	57.070
16	0	0	0

Fonte: Autoria própria

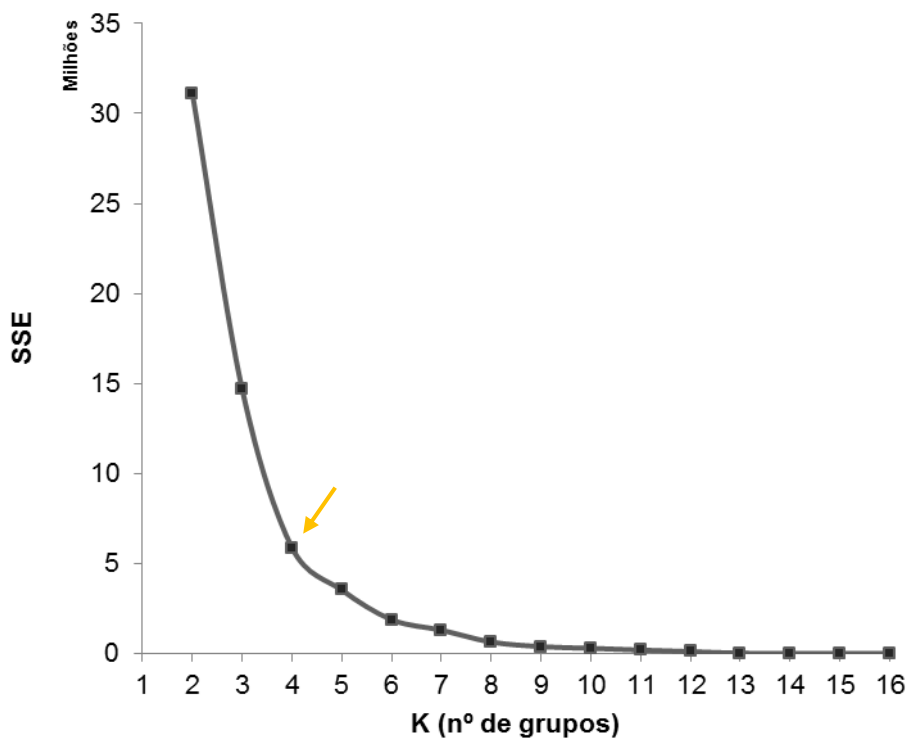
O número ideal de grupos para um conjunto de elementos corresponde ao valor de SSE que diminui abruptamente. É neste ponto em que a diferença da soma da distância ao quadrado entre cada membro do grupo e seu centro é quase insignificante. Para visualizar em qual número de grupos a SSE cai abruptamente para cada variável, foram gerados gráficos de dispersão em uma planilha Excel.

O Gráfico 1 mostra o efeito elbow para o potencial de geração de bioenergia. A SSE cai abruptamente em  $k=3$ . Isso significa que três é o número ideal de agrupamentos para tal variável.

**Gráfico 1 - Efeito elbow para o potencial de geração de bioenergia**

Fonte: Autoria própria

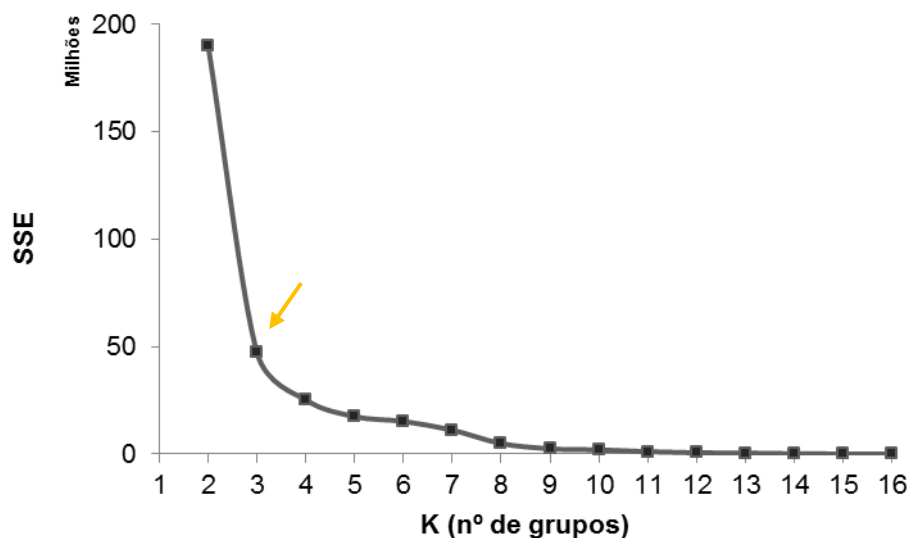
O Gráfico 2 mostra o efeito elbow para o consumo médio de energia. A SSE cai abruptamente em  $k=4$ . Isso significa que quatro é o número ideal de agrupamentos para tal variável.

**Gráfico 2 - Efeito elbow para o consumo de energia**

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 3 mostra o efeito elbow para o potencial de geração de bioenergia e o consumo médio de energia. A SSE cai abruptamente em  $k=3$ . Isso significa que três é o número ideal de agrupamentos para tais variáveis.

**Gráfico 3 - Efeito elbow para o potencial de geração de bioenergia e o consumo de energia**



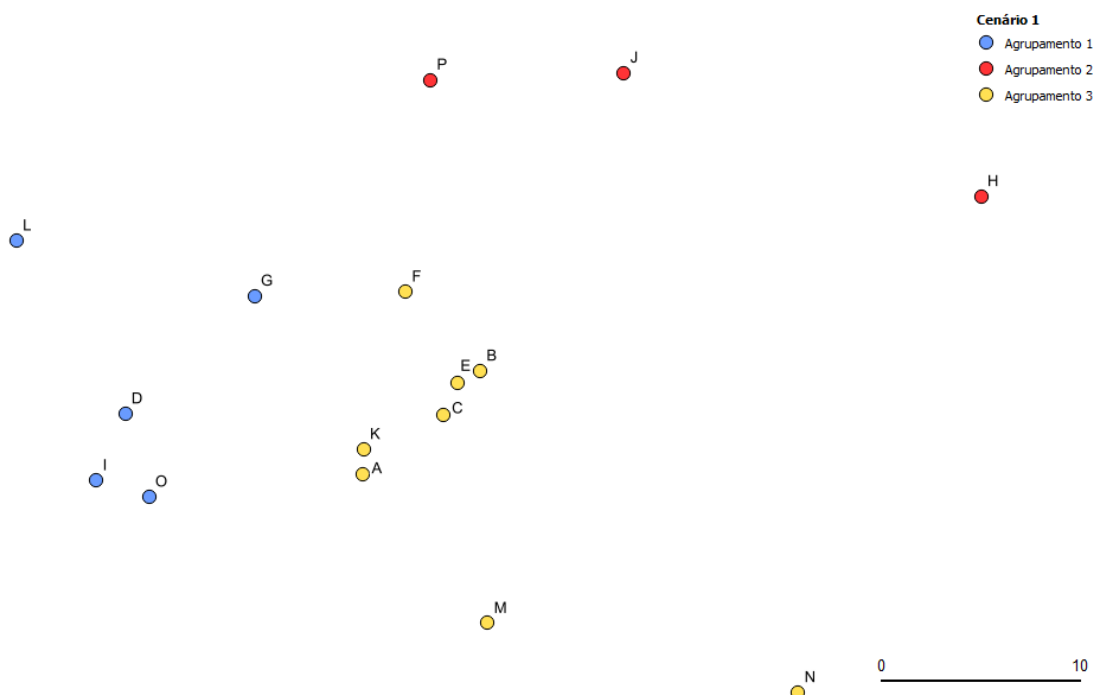
**Fonte:** Autoria própria

Essa etapa definiu os números de agrupamentos para cada variável estudada, tanto individualmente quanto juntas. Os valores encontrados foram utilizados para identificar os cenários de parcerias entre as propriedades rurais, apresentados a seguir.

#### 4.5 IDENTIFICAÇÃO DE PARCERIAS ENTRE AS PROPRIEDADES RURAIS

O cenário 1 de parcerias leva em consideração as localizações geográficas e os potenciais de geração de bioenergia das propriedades rurais. Esse cenário foi obtido por meio do *Cluster Points*, um complemento baseado no algoritmo *k-means* para a criação de grupos, disponível no *software* QGIS. O *software* gerou um mapa (Figura 9), onde os agrupamentos de parcerias estão identificados por cores.

Figura 9 - Cenário 1 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais



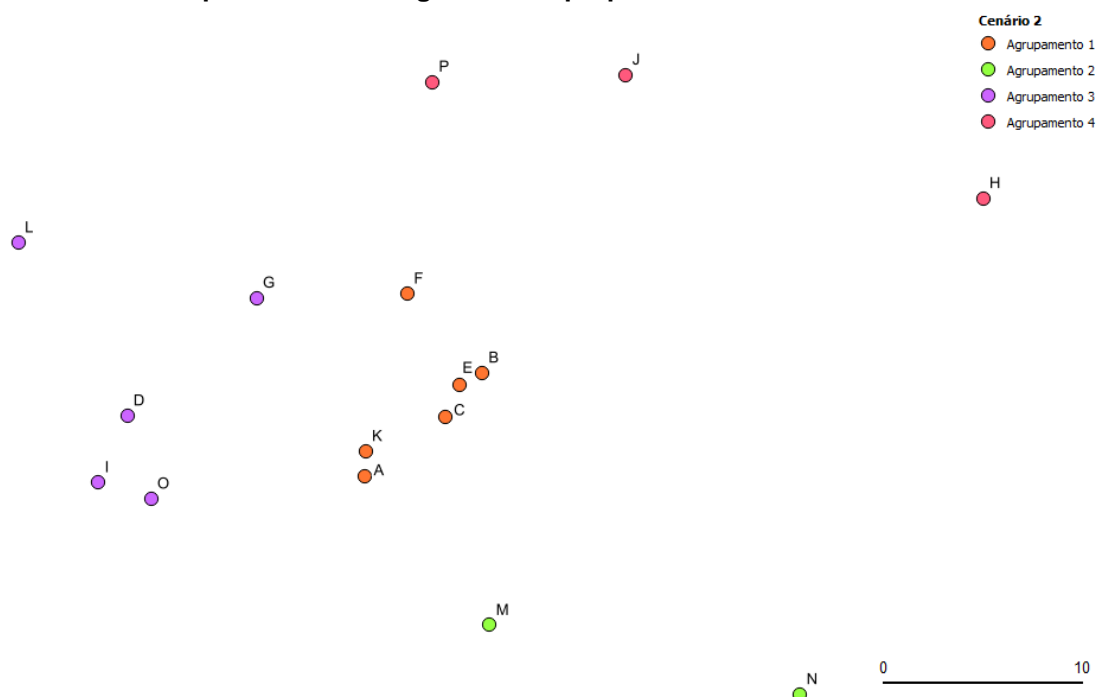
Fonte: Autoria própria

O primeiro cenário de parcerias possui três grupos, como definido na etapa anterior. O agrupamento 1 é composto por cinco propriedades (L, D, I, O e G), localizadas no lado esquerdo da área de estudo; o agrupamento 2 é composto por três propriedades (P, J e H), localizadas na região superior da área de estudo; e o agrupamento 3 é composto por oito propriedades (K, A, F, C, E, B, M e N), localizadas nas regiões central e inferior da área de estudo.

O cenário 2 de parcerias leva em consideração as localizações geográficas e os consumos médios de energia das propriedades rurais. Esse cenário foi obtido pelo mesmo complemento utilizado para a obtenção do cenário 1. O *software* gerou um mapa (Figura 10), onde os agrupamentos de parcerias estão identificados por cores.

O segundo cenário de parcerias possui quatro grupos, como definido na etapa anterior. O agrupamento 1 é composto por seis propriedades (K, A, F, C, E e B), localizadas na região central da área de estudo; o agrupamento 2 é composto por duas propriedades (M e N), localizadas na região inferior da área de estudo; o agrupamento 3 é composto por cinco propriedades (L, D, I, O e G), localizadas no lado esquerdo da área de estudo; e o agrupamento 4 é composto por três propriedades (P, J e H), localizadas na região superior da área de estudo.

Figura 10 - Cenário 2 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais



Fonte: Autoria própria

O cenário 3 de parcerias leva em consideração os potenciais de geração de bioenergia e os consumos médios de energia das propriedades rurais. Esse cenário foi obtido por meio do algoritmo *k-means* disponível no *software* estatístico SPSS. Ele possui três grupos, como definido na etapa anterior. O *software* gerou uma tabela (Tabela 5), onde cada propriedade rural foi atribuída a um dos três agrupamentos.

Tabela 5 - Cenário 3 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais  
(continua)

Propriedade rural	Agrupamento
A	1
B	2
C	2
D	1
E	3
F	1
G	1
H	1
I	1
J	2
K	1



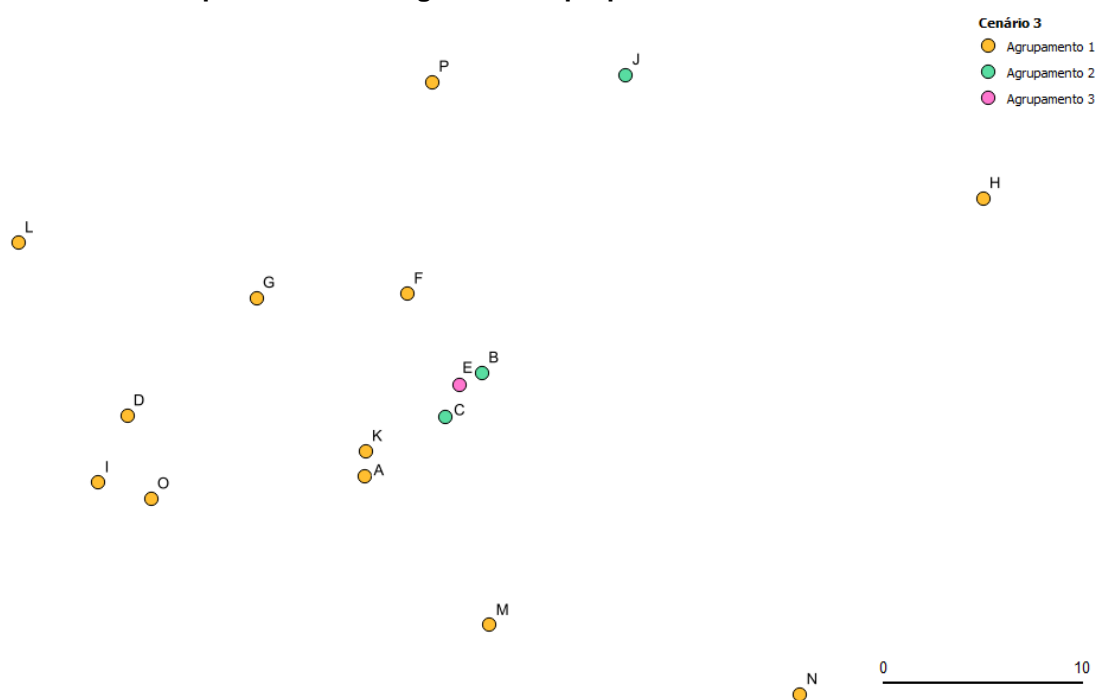
**Tabela 5 - Cenário 3 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais (conclusão)**

Propriedade rural	Agrupamento
L	1
M	1
N	1
O	1
P	1

Fonte: Autoria própria

O terceiro cenário de parcerias foi espacializado no *software* QGIS, com a finalidade de facilitar a sua visualização, interpretação e comparação com os outros cenários. A Figura 11 mostra o cenário 3, onde os agrupamentos de parcerias estão identificados por cores.

**Figura 11 - Cenário 3 de parcerias estratégicas entre propriedades rurais**



Fonte: Autoria própria

No cenário 3, o agrupamento 1 é composto por 12 propriedades (L, D, I, O, G, K, A, F, P, M, N e H), todas localizadas na região periférica da área de estudo; o agrupamento 2 é composto por três propriedades (C, B e J), localizadas na região central e superior da área de estudo; e o agrupamento 3 é composto por apenas uma propriedade (E), localizada na região central da área de estudo.

Apesar de possuírem quantidades diferentes de agrupamentos, os cenários 1 e 2 possuem dois grupos compostos pelas mesmas propriedades. São eles o agrupamento L, D, I, O e G e o agrupamento P, J e H. O agrupamento central do cenário 1 (agrupamento 3: A, K, F, C, E, B, M e N) foi dividido em dois agrupamentos distintos no cenário 2 (agrupamento 1: A, K, F, C, E e B e agrupamento 2: M e N).

Os cenários 1 e 3 possuem três agrupamentos, todos com composições diferentes. Apesar disso, as propriedades que constituem o agrupamento 1 do cenário 1 (L, D, I, O e G) continuam juntas no cenário 3, compondo o agrupamento 1 juntamente com outras sete propriedades. Dessas sete, duas fazem parte do agrupamento 2 do cenário 1 (P e H) e cinco fazem parte do agrupamento 3 do cenário 1 (A, K, F, M e N). Uma propriedade que compõe o agrupamento 2 do cenário 3 (J) faz parte do agrupamento 2 do cenário 1 e as duas outras propriedades que compõem o agrupamento 2 do cenário 3 (C e B) fazem parte do agrupamento 3 do cenário 1.

Os cenários 2 e 3 possuem quantidades diferentes de agrupamentos e todos com composições diferentes. Apesar disso, três das propriedades que fazem parte do agrupamento 1 do cenário 2 (A, K e F) continuam juntas no cenário 3 compondo o agrupamento 1, juntamente com todas as propriedades que constituem o agrupamento 2 do cenário 2 (M e N), todas as propriedades que constituem o agrupamento 3 do cenário 2 (L, D, I, O e G) e duas propriedades que fazem parte do agrupamento 4 do cenário 2 (P e H). Duas propriedades que compõem o agrupamento 2 do cenário 3 (C e B) fazem parte do agrupamento 1 do cenário 2 e uma propriedade que compõe o agrupamento 2 do cenário 3 (J) faz parte do agrupamento 4 do cenário 2.

O último passo da metodologia para a identificação de parcerias entre as propriedades rurais diz respeito à proposta de um cenário final de parcerias, observando os cenários obtidos anteriormente. A análise conjunta dos três cenários de parcerias mostrou que algumas propriedades rurais sempre pertencem ao mesmo agrupamento. São elas:

- L, D, I, O e G;
- M e N;
- A, K e F;
- C e B;
- P e H.

Algumas propriedades rurais em cenário algum pertencem ao mesmo agrupamento. São elas:

- L, D, I, O e G não pertencem ao mesmo agrupamento que C, E, B e J;
- M e N não pertencem ao mesmo agrupamento que J;
- A, K e F não pertencem ao mesmo agrupamento que J;
- C e B não pertencem ao mesmo agrupamento que L, D, I, O, G, P e H;
- P e H não pertencem ao mesmo agrupamento que C, E e B.

Os três cenários de parcerias identificados nesse trabalho se assemelham em muitos aspectos. Além das propriedades que permanecem juntas em todos os cenários e das propriedades que em cenário algum estão juntas, também pode-se observar que a quantidade de agrupamentos se repete para dois cenários (3 agrupamentos nos cenários 1 e 3) e tem um valor muito próximo para o outro cenário (4 agrupamentos no cenário 2).

Quando comparados, os cenários 1 e 2 são ainda mais semelhantes entre si. Sua diferença está apenas na quantidade de agrupamentos (3 e 4, respectivamente), onde um dos agrupamentos do cenário 1 está dividido em dois agrupamentos no cenário 2.

O cenário 1 é o que mais se assemelha ao cenário 3. Além de possuírem a mesma quantidade de agrupamentos, sua constituição se torna mais semelhante devido as propriedades rurais A, K, F, M e N estarem no mesmo agrupamento nos dois cenários, diferente do que acontece no cenário 2.

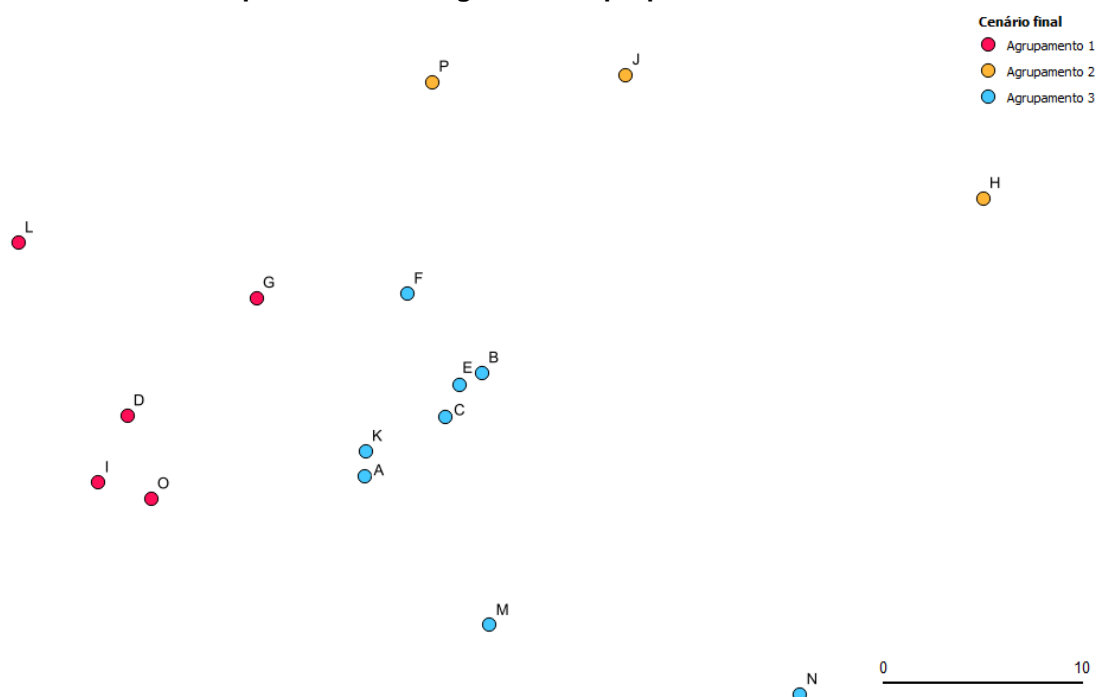
Assim, para este trabalho, devido ao alto grau de semelhança entre os três cenários, a sobreposição deles para a obtenção do cenário final de parcerias tende a ser a mesma distribuição encontrada no cenário 1. Ressalta-se que uma amostra com uma maior quantidade de propriedades rurais e características diferentes desta, o cenário final poderá ser diferente dos cenários obtidos inicialmente, onde a sobreposição deles poderá resultar em uma nova divisão das propriedades rurais.

Essa etapa definiu o cenário final de parcerias entre as propriedades rurais e a sua caracterização é apresentada a seguir.

## 4.6 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO FINAL DE PARCERIAS

O cenário final de parcerias entre as propriedades rurais estudadas neste trabalho corresponde a distribuição encontrada no cenário 1. A caracterização espacial deste cenário foi feita por meio do *software* QGIS. As 16 propriedades rurais estão divididas em três grupos de parcerias, como mostra a Figura 12.

**Figura 12 - Cenário final de parcerias estratégicas entre propriedades rurais**



**Fonte: Autoria própria**

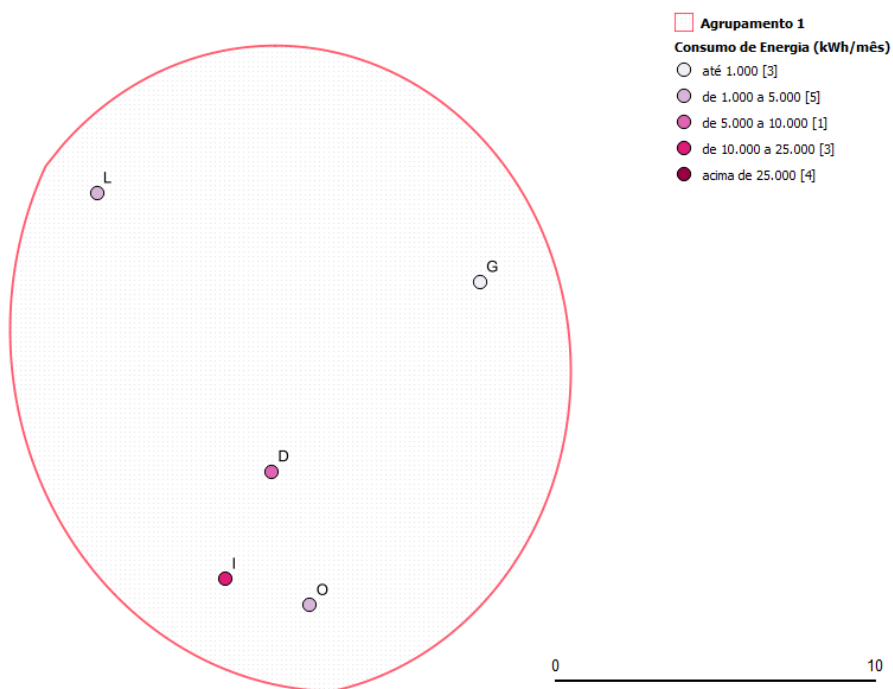
Os três agrupamentos foram analisados e caracterizados separadamente. Suas descrições estão apresentadas a seguir.

### 4.6.1 Agrupamento 1 do Cenário Final de Parcerias

O agrupamento 1 é composto por cinco propriedades: L, D, I, O e G, localizadas no lado esquerdo da área de estudo. Todas elas possuem criação de bovinos, com um total de 307 animais. Apenas uma das propriedades possui criação de suínos (I), com 200 animais.

A Figura 13 mostra a distribuição espacial do consumo médio de energia dessas propriedades.

**Figura 13 - Consumo médio de energia dentro do agrupamento 1**



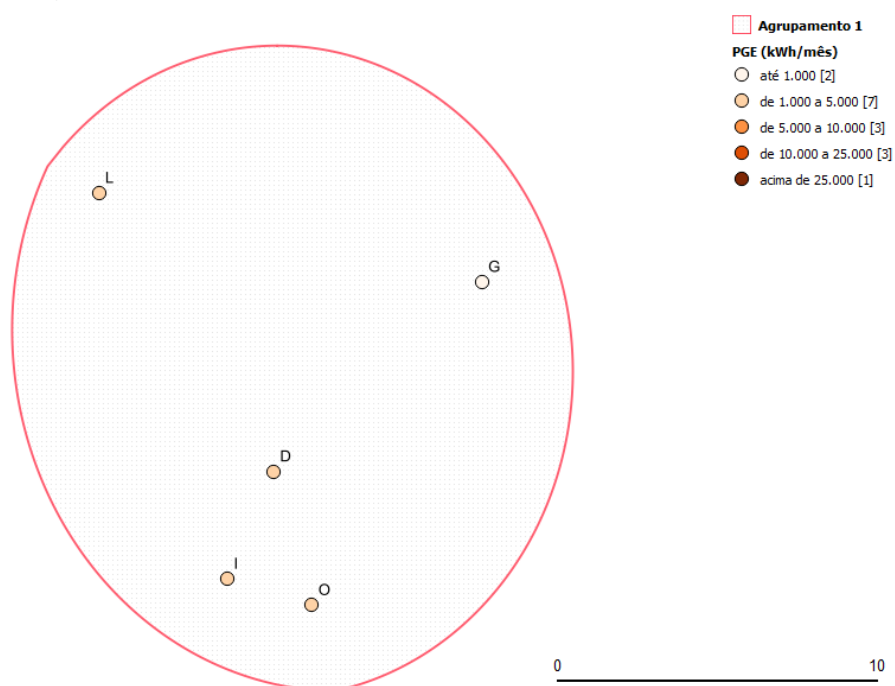
**Fonte: Autoria própria**

Há uma propriedade com consumo médio de energia até 1.000 kWh/mês (G), duas propriedades com consumo médio de energia de 1.000 a 5.000 kWh/mês (L e O), uma propriedade com consumo médio de energia de 5.000 a 10.000 kWh/mês (D) e uma propriedade com consumo médio de energia de 10.000 a 25.000 kWh/mês (I).

Ao todo, as propriedades rurais desse agrupamento consomem 31.331 kWh de energia por mês. A propriedade que menos consome energia (G) possui criação de bovinos e a única propriedade que possui ambas as criações é a que mais consome energia (I).

A Figura 14 mostra a distribuição espacial do potencial de geração de bioenergia dessas propriedades.

**Figura 14 - Potencial de geração de bioenergia dentro do agrupamento 1**



**Fonte: Autoria própria**

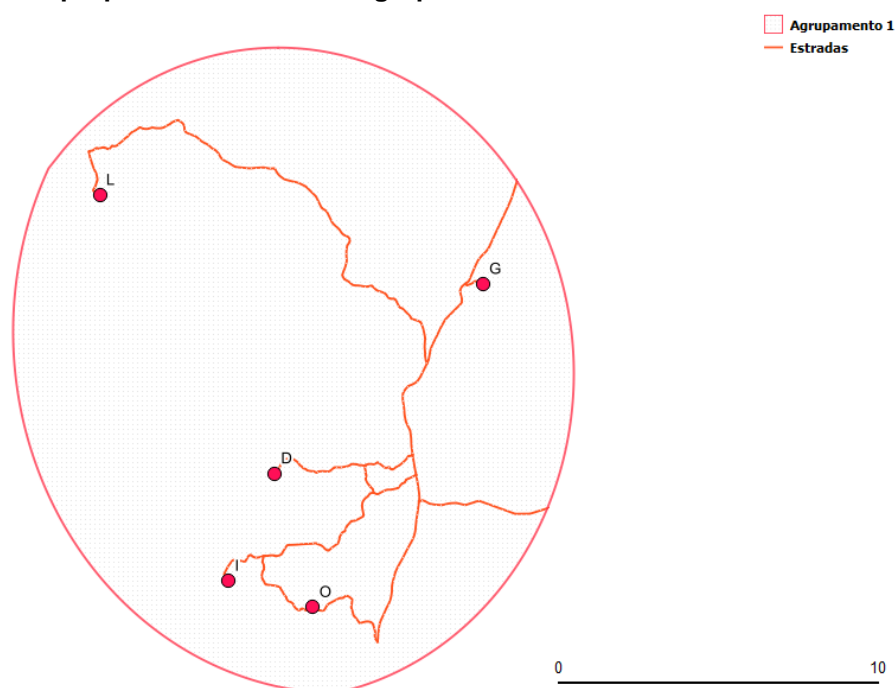
Uma propriedade tem potencial de geração de bioenergia até 1.000 kWh/mês (G) e as outras quatro tem potencial de geração de bioenergia de 1.000 a 5.000 kWh/mês (L, D, I e O).

Ao todo, as propriedades tem potencial para gerar 11.134 kWh/mês de bioenergia. A propriedade que tem o maior potencial (I) possui criações de bovinos e de suínos e a propriedade que tem o potencial mais baixo (G) possui criação de bovinos. Coincidentemente, também são essas propriedades que possuem o maior e o menor consumo de energia, respectivamente.

Para as cinco propriedades rurais, falta energia para atingir a autossuficiência energética. O diagnóstico de capacidade energética desse agrupamento apresenta um déficit de 20.197 kWh de energia por mês. Se todas as propriedades rurais utilizarem todo o potencial dos seus dejetos bovinos e suínos para gerar bioenergia, 36% de toda a demanda energética seria atendida.

As estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 1 estão apresentadas na Figura 15.

Figura 15 - Estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 1



Fonte: Autoria própria

A ferramenta de mapas de distância calculou os caminhos mais curtos que ligam uma propriedade à outra. O Quadro 5 mostra as distâncias entre elas.

Quadro 5 - Menores distâncias entre as propriedades rurais do agrupamento 1

Propriedade rural 1	Propriedade rural 2	Distância (km)
I	O	4
D	I	10
D	O	11
D	G	11
I	G	14
O	G	15
L	G	19
L	D	23
L	I	27
L	O	28

Fonte: Autoria própria

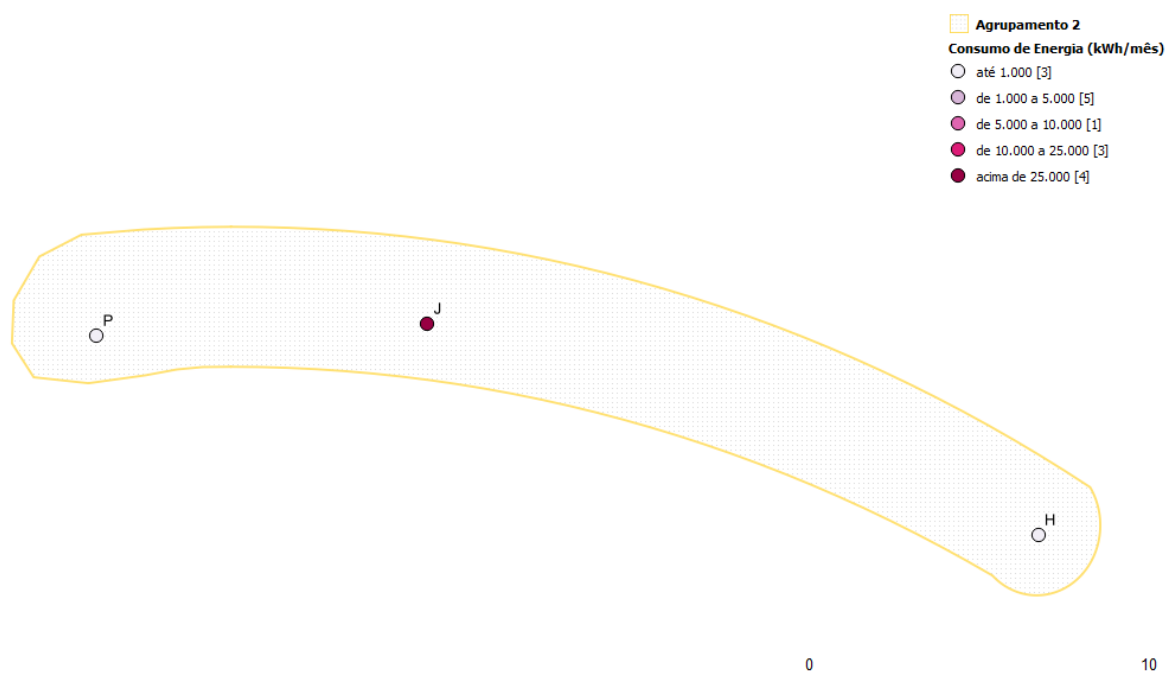
São 28 km de estrada que separam as propriedades rurais mais distantes entre si (L e O). As propriedades rurais mais próximas estão a 4 km uma da outra (I e O). Esse é o agrupamento que, em média, as propriedades estão localizadas mais próximas uma da outra.

#### 4.6.2 Agrupamento 2 do Cenário Final de Parcerias

O agrupamento 2 é o menor dos três e é composto por três propriedades: P, J e H, localizadas na região superior da área de estudo. Apenas uma das propriedades (P) possui criação de bovinos, com 28 animais. As outras duas propriedades (J e H) possuem criação de suínos, com um total de 990 animais.

A Figura 16 mostra a distribuição espacial do consumo médio de energia dessas propriedades.

**Figura 16 - Consumo médio de energia dentro do agrupamento 2**



**Fonte: Autoria própria**

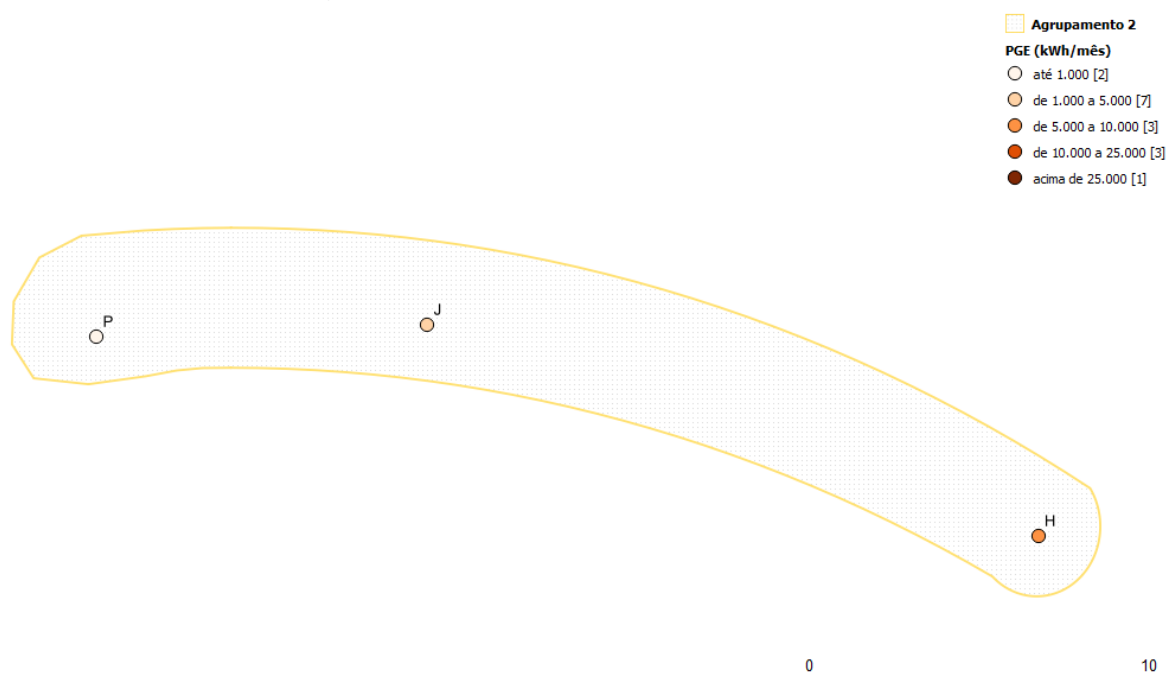
Duas propriedades tem consumo médio de energia até 1.000 kWh/mês (P e H) e uma propriedade tem consumo médio de energia acima de 25.000 kWh/mês (J).

Ao todo, as propriedades rurais desse agrupamento consomem 30.056 kWh de energia por mês. A propriedade que menos consome energia (P) possui criação de bovinos e a propriedade que mais consome energia (J) possui criação de suínos.

A Figura 17 mostra a distribuição espacial do potencial de geração de bioenergia dessas propriedades.



Figura 17 - Potencial de geração de bioenergia dentro do agrupamento 2



Fonte: Autoria própria

Há uma propriedade com potencial de geração de bioenergia até 1.000 kWh/mês (P), uma propriedade com potencial de geração de bioenergia de 1.000 a 5.000 kWh/mês (J) e uma propriedade com potencial de geração de bioenergia de 5.000 a 10.000 kWh/mês (H).

Ao todo, as propriedades tem potencial para gerar 9.470 kWh/mês de bioenergia. A propriedade que tem o maior potencial (H) possui criação de suínos e a propriedade que tem o potencial mais baixo (P) possui criação de bovinos. A propriedade com o menor potencial para gerar bioenergia também é a propriedade com o menor consumo de energia.

O diagnóstico de capacidade energética desse agrupamento apresenta um déficit de 20.586 kWh de energia por mês. Se todas as propriedades rurais utilizarem todo o potencial dos seus dejetos bovinos e suínos para gerar bioenergia, 32% de toda a demanda energética seria atendida. Porém, duas das três propriedades deste agrupamento (P e H) possuem excedente de energia. Dessa forma, para que a parceria valha a pena para tais propriedades, devem ser levados em consideração outros interesses.

As estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 2 estão apresentadas na Figura 18.

Figura 18 - Estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 2



Fonte: Autoria própria

A ferramenta de mapas de distância calculou os caminhos mais curtos que ligam uma propriedade à outra. O Quadro 6 mostra as distâncias entre elas.

Quadro 6 - Menores distâncias entre as propriedades rurais do agrupamento 2

Propriedade rural 1	Propriedade rural 2	Distância (km)
P	J	18
J	H	37
P	H	44

Fonte: Autoria própria

São 44 km de estrada que separam as propriedades rurais mais distantes entre si (P e H). As propriedades rurais mais próximas estão a 18 km uma da outra (P e J). Esse é o agrupamento que, em média, as propriedades estão localizadas mais distantes uma da outra.

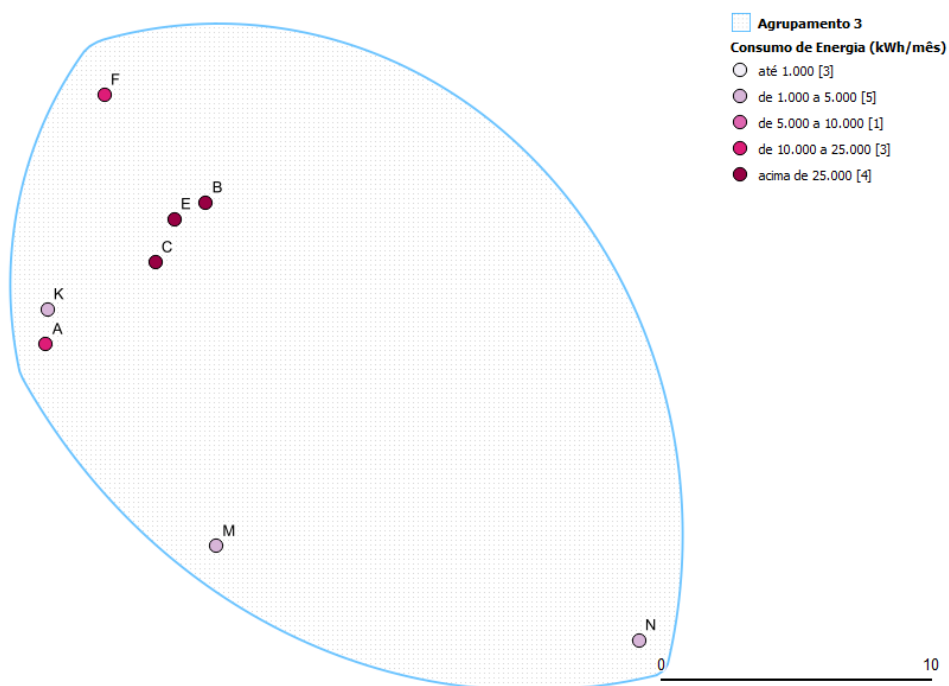
#### 4.6.3 Agrupamento 3 do Cenário Final de Parcerias

O agrupamento 3 é o maior dos três e é composto por oito propriedades: K, A, F, C, E, B, M e N, localizadas nas regiões central e inferior da área de estudo. Elas possuem um total de 2.493 bovinos e de 3.170 suínos, sendo que seis

propriedades tem bovinocultura (K, A, C, E, M e N) e quatro tem suinocultura (A, F, E e B).

A Figura 19 mostra a distribuição espacial do consumo médio de energia dessas propriedades.

**Figura 19 - Consumo médio de energia dentro do agrupamento 3**



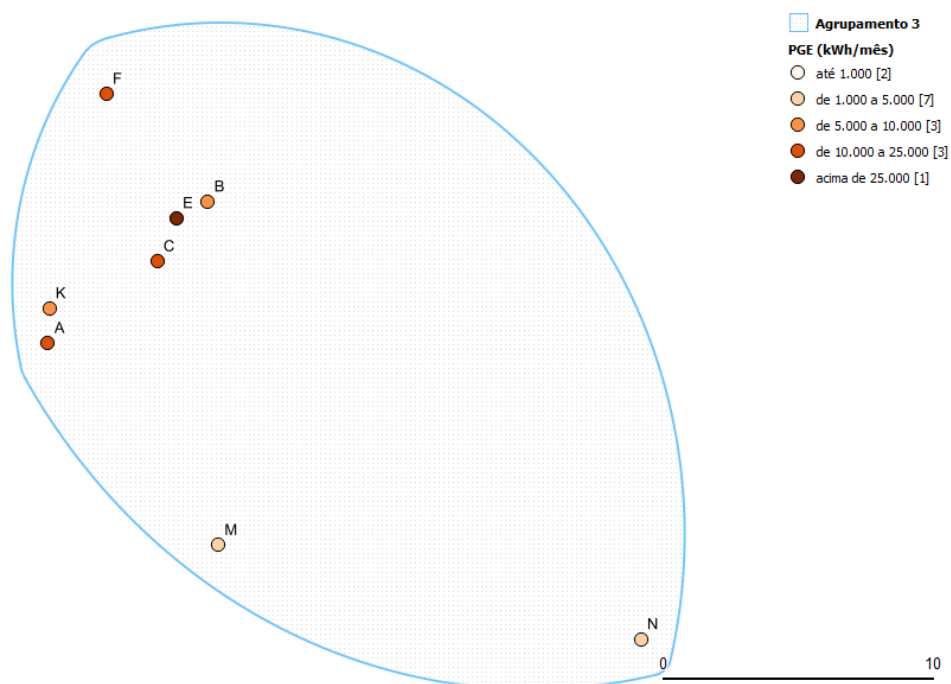
**Fonte: Autoria própria**

Há três propriedades com consumo médio de energia de 1.000 a 5.000 kWh/mês (K, M e N), duas propriedades com consumo médio de energia de 10.000 a 25.000 kWh/mês (A e F) e três propriedades com consumo médio de energia acima de 25.000 kWh/mês (C, E e B).

Ao todo, as propriedades rurais desse agrupamento consomem 143.797 kWh de energia por mês. A propriedade que menos consome energia (N) possui criação de bovinos e a propriedade que mais consome energia (B) possui criação de suínos.

A Figura 20 mostra a distribuição espacial do potencial de geração de bioenergia dessas propriedades.

Figura 20 - Potencial de geração de bioenergia dentro do agrupamento 3



Fonte: Autoria própria

Há duas propriedades com potencial de geração de bioenergia de 1.000 a 5.000 kWh/mês (M e N), duas propriedades com potencial de geração de bioenergia de 5.000 a 10.000 kWh/mês (K e B), três propriedades com potencial de geração de bioenergia de 10.000 a 25.000 kWh/mês (A, F e C) e uma propriedade com potencial de geração de bioenergia acima de 25.000 kWh/mês (E).

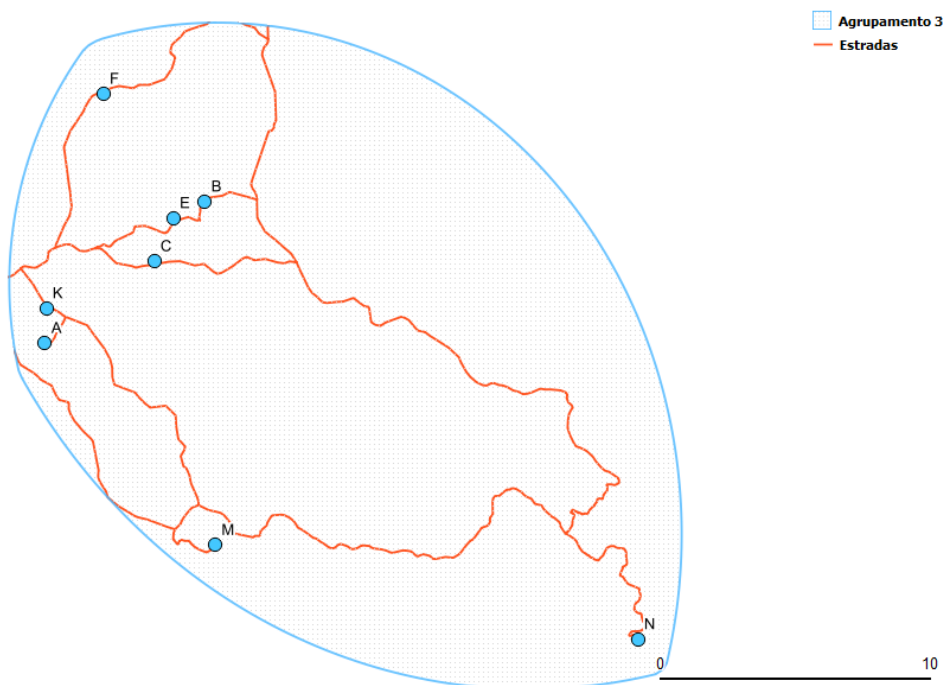
Ao todo, as propriedades tem potencial para gerar 103.865 kWh/mês de bioenergia. A propriedade que tem o maior potencial (E) possui criações de bovinos e de suínos e a propriedade que tem o potencial mais baixo (N) possui criação de bovinos. A propriedade com o menor potencial para gerar bioenergia também é a propriedade com o menor consumo de energia.

O diagnóstico de capacidade energética desse agrupamento apresenta um déficit de 39.932 kWh de energia por mês. Se todas as propriedades rurais utilizarem todo o potencial dos seus dejetos bovinos e suínos para gerar bioenergia, 72% de toda a demanda energética seria atendida. Apesar de possuir o maior déficit de energia, esse agrupamento é o que possui o maior potencial para gerar bioenergia e, portanto, apresenta o melhor quadro de capacidade energética.

Contudo, três das oito propriedades deste agrupamento (K, F e E) possuem excedente de energia. Dessa forma, para que a parceria valha a pena para tais propriedades, devem ser levados em consideração outros interesses.

As estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 3 estão apresentadas na Figura 21.

**Figura 21 - Estradas entre as propriedades rurais do agrupamento 3**



**Fonte: Autoria própria**

A ferramenta de mapas de distância calculou os caminhos mais curtos que ligam uma propriedade à outra. O Quadro 7 mostra as distâncias entre elas.

**Quadro 7 - Menores distâncias entre as propriedades rurais do agrupamento 3 (continua)**

Propriedade rural 1	Propriedade rural 2	Distância (km)
E	B	2
K	A	2
C	E	6
K	C	7
C	B	7
K	E	8
K	F	9
K	B	9
A	C	9
A	E	10
F	C	10
A	F	11

**Quadro 7 - Menores distâncias entre as propriedades rurais do agrupamento 3 (conclusão)**

Propriedade rural 1	Propriedade rural 2	Distância (km)
A	B	11
F	E	11
F	B	12
K	M	13
A	M	13
C	M	20
E	M	21
F	M	22
B	M	22
M	N	26
B	N	30
C	N	31
K	N	32
E	N	32
A	N	33
F	N	41

Fonte: Autoria própria

São 41 km de estrada que separam as propriedades rurais mais distantes entre si (F e N). As propriedades rurais mais próximas estão a menos de 2 km uma da outra (E e B). Nesse agrupamento há um aglomerado de propriedades localizadas muito próximas umas das outras (K, A, F, C, E e B) e duas propriedades localizadas mais distantes dessas (M e N).

#### 4.6.4 Caracterização Geral

A Tabela 6 apresenta um apanhado das principais características do cenário final de parcerias.

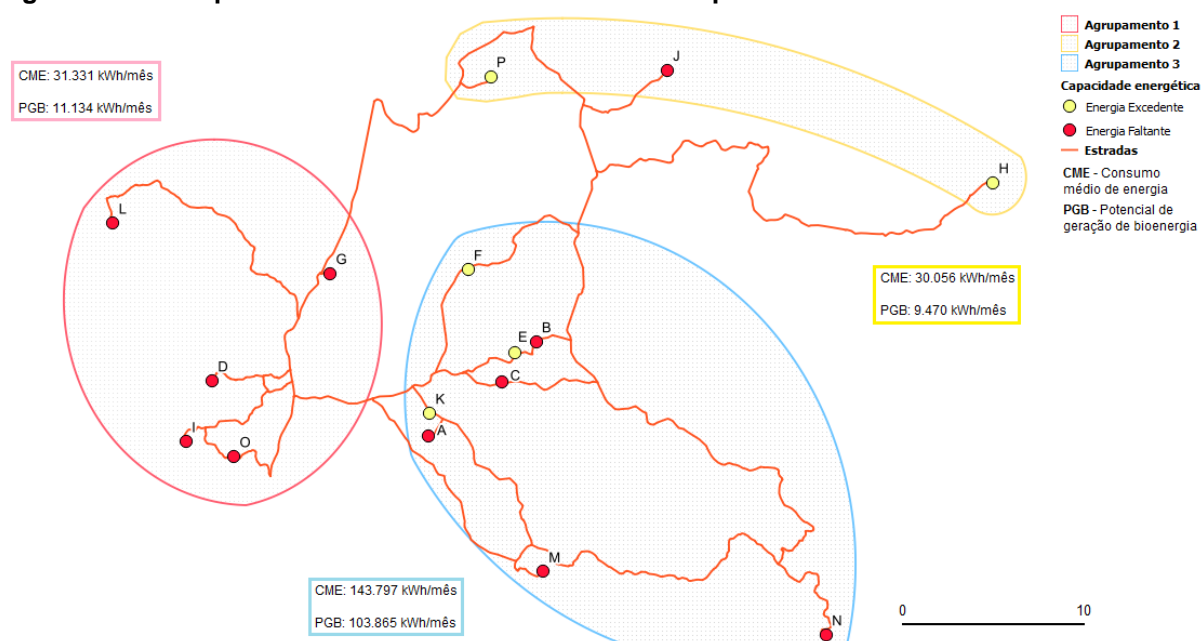
Tabela 6 - Principais características do cenário final de parcerias

Características	Agrupamento 1	Agrupamento 2	Agrupamento 3	Cenário final
Consumo de energia (kWh/mês)	31.331	30.056	143.797	205.184
Potencial de geração de bioenergia (kWh/mês)	11.134	9.470	103.865	124.469
Capacidade energética (kWh/mês)	- 20.197	- 20.586	- 39.932	- 80.715
Propriedades com excedente de energia	---	P e H	K, F e E	P, H, K, F e E
Menor distância entre propriedades (km)	4	18	2	2
Maior distância entre propriedades (km)	28	44	41	72

Fonte: Autoria própria

Tais características estão apresentadas na Figura 22.

Figura 22 - Principais características do cenário final de parcerias



Fonte: Autoria própria

O cenário final apresenta alternativas de parcerias entre as 16 propriedades rurais estudadas. Ao todo, as propriedades consomem mensalmente mais de 200.000 kWh de energia. Se elas utilizarem todo o potencial dos seus dejetos bovinos e suínos para gerar bioenergia, a demanda energética atendida seria de 36% no agrupamento 1, 32% no agrupamento 2 e 72% no agrupamento 3. Cinco propriedades possuem excedente de energia.

Os agrupamentos 1 e 2 são muito semelhantes em consumo de energia e potencial para gerar bioenergia. As propriedades do agrupamento 2 estão localizadas mais distantes umas das outras do que nos demais agrupamentos. O agrupamento 3 é o que possui mais propriedades, mais animais, maior consumo de energia e maior potencial para gerar bioenergia.

Essa etapa descreveu as características do cenário final de parcerias estratégicas para a geração de bioenergia por meio de dejetos bovinos e suínos entre as propriedades rurais estudadas. O conhecimento das características das parcerias possibilita uma melhor compreensão e planejamento das medidas a serem tomadas para a sua efetivação.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi identificar parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia. Para que esse objetivo pudesse ser atingido, foi necessário alcançar os objetivos específicos inicialmente traçados.

Como resposta ao primeiro objetivo específico, foi obtido o potencial mensal de geração de bioenergia por meio de dejetos bovinos e suínos de cada propriedade rural. A literatura apresenta índices muito variados de produção de dejetos, biogás e bioenergia, dificultando os cálculos e reduzindo a credibilidade desses dados. Os índices utilizados neste trabalho para calcular o potencial de geração de bioenergia das propriedades rurais foram resultado de uma média entre os índices encontrados na literatura.

A caracterização espacial das variáveis estudadas foi obtida pelo cumprimento do segundo objetivo específico. O *software* de SIG mostrou-se adequado e eficiente para fundamentar a caracterização. Foram encontrados os comprimentos das estradas que dão acesso às propriedades rurais e a distribuição espacial do consumo de energia e do potencial de geração de bioenergia das propriedades.

O terceiro objetivo específico resultou no diagnóstico da capacidade energética das propriedades rurais. Este foi calculado pela diferença entre o potencial de geração de bioenergia e o consumo médio de energia de cada propriedade rural. Foram verificadas quais propriedades rurais possuem excedente e faltante de energia, considerando o potencial dos resíduos estudados neste trabalho.

Em resposta ao quarto objetivo específico, foi definido o número ideal de agrupamentos para parcerias entre as propriedades rurais estudadas. O método Elbow mostrou-se apropriado para tal. O *software* estatístico facilitou o cálculo da soma da distância ao quadrado das variáveis potencial de geração de bioenergia e consumo de energia, tanto individualmente quanto juntas. Os gráficos de dispersão permitiram a visualização dos resultados.

As variáveis foram estudadas em pares, formando três cenários. O quinto objetivo específico resultou nos cenários de parcerias entre as propriedades rurais. A metodologia empregada foi baseada na aplicação do algoritmo *k-means*. Para os cenários 1 e 2, foi utilizado um complemento disponível no *software* de SIG. Para o

cenário 3, foi utilizado o *software* estatístico SPSS. Ambos os *softwares* mostraram-se eficientes na aplicação do algoritmo k-means e criação dos agrupamentos.

O cenário final de parcerias foi obtido pelo cumprimento do sexto objetivo específico. A sobreposição dos cenários foi feita pela observação e discussão dos padrões, tendências, semelhanças e diferenças entre os cenários. Essa análise foi suficiente para a amostra estudada, porém, provavelmente haveria dificuldades na análise de uma amostra maior.

O resultado obtido com o cumprimento do sétimo objetivo específico foi a caracterização do cenário final de parcerias. O *software* de SIG contribuiu com eficiência na visualização das características dos agrupamentos que constituem o cenário final de parcerias e no cálculo das distâncias entre as propriedades rurais.

A metodologia desenvolvida neste trabalho possibilitou encontrar alternativas de parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia. Vale ressaltar que neste trabalho foram considerados apenas os dejetos bovinos e suínos. As propriedades estudadas geram outros tipos de resíduos de biomassa com alto potencial para geração de bioenergia, podendo estes suprir o restante da energia consumida pelas propriedades. Há também a possibilidade de aumentar o teor de metano produzido através da mistura de diferentes resíduos no processo de codigestão.

Os agrupamentos de propriedades encontrados poderão formar condomínios agroenergéticos para a geração distribuída de energia com recursos de biomassa. Os resultados obtidos neste estudo abrem uma ótima oportunidade para países que possuem pequenas propriedades agropecuárias, possibilitando abordar questões de cooperação entre elas, a fim de buscar sua independência energética.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este foi um estudo base, realizado com uma pequena amostra. Em seu desenvolvimento, foram identificadas oito oportunidades para trabalhos futuros. São elas:

- Desenvolver um estudo piloto em uma propriedade rural a fim de obter dados reais de produção de dejetos, produção de biogás e geração de bioenergia,

tendo em vista que os índices encontrados na literatura possuem uma variação muito grande;

- Empregar outras fontes renováveis para a geração de energia, como eólica, solar e diferentes tipos de biomassa;
- Utilizar outras variáveis para compor os cenários de parcerias, como a presença de rede elétrica, o tipo e qualidade das estradas que dão acesso às propriedades rurais e o potencial para gerar energia por meio de outras fontes;
- Criar um procedimento mais criterioso para sobrepor os cenários iniciais e gerar o cenário final de parcerias;
- Identificar as melhores localizações para a instalação dos biodigestores e geradores de bioenergia em cada agrupamento;
- Estudar os custos para a implantação do cenário final de parcerias;
- Aplicar a metodologia em uma amostra maior, verificando se a metodologia proposta é compatível para uma maior quantidade de casos e propondo os ajustes necessários para a sua aplicação;
- Avaliar possibilidades para implementação da economia circular do cenário final de parcerias entre as propriedades rurais, observando e discutindo os ciclos dos insumos utilizados e gerados na área estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPRO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<https://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&ss=1&c=362>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

ACHINAS, S.; EUVERINK, G. J. W. Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. **Resource-Efficient Technologies**, 2, p. 143-147, 2016.

AGEITEC – AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Biogás**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 18 set. 2017.

ALMEIDA, C.; BARICCATTI, R. A.; FRARE, L. M.; NOGUEIRA, C. E. C.; MONDARDO, A. A.; CONTINI, L.; GOMES, G. J.; ROVARIS, S. A.; SANTOS, K. G.; MARQUES, F. Analysis of the socio-economic feasibility of the implementation of an agro-energy condominium in western Paraná – Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 75, p. 601-608, 2017.

ALVES, S. M.; MELO, C. F. M.; WISNIEWSKI, A. Biogás: uma alternativa de energia no meio rural. 4., **Miscelânea**. Belém: EMBRAPA, 1980.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Geração Distribuída. **Informações Técnicas**. Brasília, 2017. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false)> Acesso em: 27 mai. 2017.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2017.

BGS EQUIPAMENTOS. **Cálculo de produção de biogás**. Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://bgsequipamentos.com.br/blog/calculo-de-producao-de-biogas-2/>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

BRASIL. Infraestrutura. **Agropecuária brasileira é uma das que mais cresce no mundo**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/05/agropecuaria-brasileira-e-uma-das-que-mais-cresce-no-mundo>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C.; FREITAS, U. M. **Operações de análise geográfica**. São José dos Campos, 1996. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/3opera.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/3opera.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2016.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. São José dos Campos, 1996. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/)>. Acesso em: 22 jun. 2016.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. **Análise Espacial e Geoprocessamento**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CARDOSO, U. C.; CARNEIRO, V. L. N.; RODRIGUES, E. R. Q. **Cooperativa**. Brasília: SEBRAE, 2014.

CARNEIRO, T. F.; BERNI, M. D.; DORILEO, I. L.; ROSTAGNO, M. A. Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, 77, p. 78-88, 2013.

CENBIO – CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. Geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos e rurais. 7., **Nota Técnica**. São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://143.107.4.241/documentos/documentos.htm>>. Acesso em: 18 set. 2017.

COIMBRA-ARAÚJO, C. H.; MARIANE, L.; BLEY JÚNIOR, C.; FRIGO, E. P.; FRIGO, M. S.; ARAÚJO, I. R. C.; ALVES, H. J. Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 40, p. 826-839, 2014.

COLLADO, C. M. Volumen de biodigestores. **Energia y tú**, 39, 2007.

DAVIS, P. **Overcoming barriers to open source software**. Corpus Christi, 2015. Disponível em: <<https://www.surveymonkey.com/results/SM-D2VMP5WV/>>. Acesso em: 26 set. 2017.

DEMIRBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management**, 50, p. 1746-1760, 2009.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R. PERDOMO, C. C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. 14., **Boletim Informativo**. Ano 10. Concórdia: EMBRAPA, 2002.

EBA – EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION. **Biogas**. Bélgica, 2016. Disponível em: <<http://european-biogas.eu/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2016**: Ano base 2015. Rio de Janeiro, 2016.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro, 2017.

ESCOBAR, G. J.; HEIKKILÄ, M. A. **Biogas production in farms, through anaerobic digestion of cattle and pig manure**. Case studies and research activities in Europe. Finlândia: OPET, 1999.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Spatial Analysis**. Redlands, 2016. Disponível em: <<http://www.esri.com/>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

FANTOZZI, F.; BARTOCCI, P.; D'ALESSANDRO, B.; ARAMPATZIS, S.; MANOS, B. Public-private partnerships value in bioenergy projects: Economic feasibility analysis based on two case studies. **Biomass and Bioenergy**, 66, p. 387-397, 2014.

FORSTER-CARNEIRO, T.; BERNI, M. D.; DORILEO, I. L.; ROSTAGNO, M. A. Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, 77, p. 78-88, 2013.

FOWLER, A. Introduction beyond partnership. **IDS Bulletin**, 31, p. 1-13, 2000.

FUNG, G. A comprehensive overview of basic clustering algorithms. 2001. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.5.7425>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

GALIK, C. S.; ABT, R. C.; LATTA, G.; MÉLEY, A.; HENDERSON, J. D. Meeting renewable energy and land use objectives through public-private biomass supply partnerships. **Applied Energy**, 172, p. 264-274, 2016.

GHAYEKHLOO, M.; GHOFRANI, M.; MENHAJ, M. B.; AZIMI, R. A novel clustering approach for short-term solar radiation forecasting. **Solar Energy**, 122, p. 1371-1383, 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GÓMEZ, A.; ZUBIZARRETA J.; RODRIGUES, M.; DOPAZO, C.; FUEYO, N. An estimation of the energy potential of agro-industrial residues in Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, 54, p. 972-984, 2010.

HILOIDHARI, M.; BARUAH, D. C. GIS mapping of rice straw residue for bioenergy purpose in a rural area of Assam, India. **Biomass and Bioenergy**, 71, p. 125-133, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2007**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html?edicao=9829&t=resultados>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Pecuária Municipal 2016**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?&t=downloads>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

IBM – INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES. **IBM SPSS Statistics Base 24**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <[ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/24.0/pt-BR/client/Manuals/IBM\\_SPSS\\_Statistics\\_Base.pdf](ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/24.0/pt-BR/client/Manuals/IBM_SPSS_Statistics_Base.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2017.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Bioenergy**. Paris, 2015. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/bioenergy/>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Brazil (partner country)**. Paris, 2014. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/non-membercountries/brazil/>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy, Climate Change and Environment 2016**. Paris, 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-climate-change-and-environment-2016-inphts.html>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Nonrenewable Energy Explained**. Washington, 2017. Disponível em: <[https://www.eia.gov/energyexplained/?page=nonrenewable\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/?page=nonrenewable_home) >. Acesso em: 29 mai. 2017.

IMG – IMAGEM - ESRI OFFICIAL DISTRIBUTOR. **Desafio Planejamento e Análise**. São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://www.img.com.br/5desafios/desafio01>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Assentamento do Paraná receberá projeto de bioenergia**. Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/noticias/assentamento-do-parana-recebera-projeto-de-bioenergia>>. Acesso em: 29 mai. 2017.

INOVAGRID. **Geração de energia com biogás**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://leads.inovagrid.com/geracao-energia-biogas-cs>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond K-means. **Pattern Recognition Letters**, 31, p. 651-666, 2010.

JANKOWSKI, K. J.; DUBIS, B.; BUDZYNSKI, W. S.; BÓRAWSKI, P.; BULKOWSKA, K. Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. **Energy**, 109, p. 277-286, 2016.

KAUNDINYA, D. P.; BALACHANDRA, P.; RAVINDRANATH, N. H.; ASHOK, V. 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**, 52, p. 77-88, 2013.

KETCHEN, D. J.; SHOOK, C. L. The application of cluster analysis in strategic management research: An analysis and critique. **Strategic Management Journal**, 17, p. 441-458, 1996.

KHISHTANDAR, S.; ZANDIEH, M.; DORRI, B. A multi criteria decision making framework for sustainability assessment of bioenergy production technologies with hesitant fuzzy linguistic term sets: The case of Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2016.

KONZEN, E. A. Manejo e utilização dos dejetos de suínos. 6., **Circular Técnica**. Concórdia: EMBRAPA, 1983.

KUNZ, A. **Experiência da EMBRAPA com biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos**. Campinas: EMBRAPA, 2015.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais**. Ed. 1. Concórdia: EMBRAPA, 2008.

LIJÓ, L.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; BACENETTI, J.; NEGRI, M.; FIALA, M.; FEIJOO, G.; MOREIRA, M. T. Environmental assessment of farm-scaled anaerobic co-digestion for bioenergy production. **Waste Management**, 41, p. 50-59, 2015.

LIKAS, A.; VLASSIS, N.; VERBEEK, J. J. The global k-means clustering algorithm. **Pattern Recognition**, 36, p. 451-461, 2003.

LOURINHO, G.; BRITO, P. Assessment of biomass energy potential in a region of Portugal (Alto Alentejo). **Energy**, 81, p. 189-201, 2015.

MACEDO, W. N.; MONTEIRO, L. G.; CORGOZINHO, I. M.; MACEDO, E. N.; RENDEIRO, G.; BRAGA, W.; BACHA, L. Biomass based microturbine system for electricity generation for isolated communities in amazon region. **Renewable Energy**, 91, p. 323-333, 2016.

MAGHANAKI, M. M.; GHOBADIAN, B.; NAJAFI, G.; GALOGAH, R. J. Potential of biogas production in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 28, p. 702-714, 2013.

MANOS, B.; PARTALIDOU, M.; FANTOZZI, F.; ARAMPATZIS, S.; PAPAPOPOULOU, O. Agro-energy districts contributing to environmental and social sustainability in rural areas: Evaluation of a local public-private partnership scheme in Greece. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 29, p. 85-95, 2014.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano ABC: Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

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

MENARDO, S.; BALSARI, P. An analysis of the energy potential of anaerobic digestion of agricultural by-products and organic waste. **Bioenergy Research**, 5, p. 759-767, 2012.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**. Exercício de 2015: Edição de maio de 2016. Brasília: MME, 2016.

MOHAMMED, Y. S.; MUSTAFA, M. W.; BASHIR, N.; OGUNDOLA, M. A.; UMAR, U. Sustainable potential of bioenergy resources for distributed power generation development in Nigeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 34, p. 361-370, 2014.

MONLAU, F.; SAMBUSITI C.; ANTONIOU N.; BARAKAT A.; ZABANIOTOU A. A new concept for enhancing energy recovery from agricultural residues by coupling anaerobic digestion and pyrolysis process. **Applied Energy**, 148, p. 32-38, 2015.

MOTGHARE, K. A.; RATHOD, A. P.; WASEWAR, K. L.; LABHSETWAR, N. K. Comparative study of different waste biomass for energy application. **Waste Management**, 47, p. 40-45, 2016.

NOOROLLAHI, Y.; KHEIRROUZ, M.; ASL, H. F.; YOUSEFI, H.; HAJINEZHAD, A. Biogas production potential from livestock manure in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 50, p. 748-754, 2015.

OCB – ORGANIZAÇÃO DAS COOPERATIVAS BRASILEIRAS. Brasília, 2016. Disponível em: <[http://www.ocb.org.br/site/ramos/agropecuário\\_numeros.asp](http://www.ocb.org.br/site/ramos/agropecuário_numeros.asp)>. Acesso em: 14 jun. 2016.

OOBA, M.; FUJII, M.; HAYASHI, K. Geospatial distribution of ecosystem services and biomass energy potential in eastern Japan. **Journal of Cleaner Production**, 130, p. 35-44, 2016.

POESCHL, M.; WARD, S.; OWENDE, P. Environmental impacts of biogas deployment – Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. **Journal of Cleaner Production**, 24, p. 184-201, 2012.

PORTUGAL-PEREIRA, J.; SORIA, R.; RATHMANN, R.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, 81, p. 521-533, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO. **Prefeitura dá continuidade aos estudos sobre projeto de bioenergia do Lajeado Grande**. Toledo, 2016. Disponível em: <<https://www.toledo.pr.gov.br/noticia/prefeitura-da-continuidade-aos-estudos-sobre-projeto-de-bioenergia-do-lajeado-grande>>. Acesso em: 29 mai. 2017.

RIBEIRO, M. F. S.; RAIHER, A. P. Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by agricultural sector in Brazil: The case of the State of Paraná. **Energy Policy**, 60, p. 208-216, 2013.

ROMERO, I. V.; JARAMILLO, M. E.; REYES, J. M.; SORIANO, A. O. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica – Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. **Ingeniería Investigación y Tecnología**, 3, p. 429-436, 2014.

ROSEGRANT, M. W.; ZHU, T.; MSANGI, S.; SULSER, T. Global scenarios for biofuels: Impacts and implications. **Applied Economic Perspectives and Policy**, 30, p. 495-505, 2008.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA, 1981.

SESANA, M. M.; CUCA, B.; IANNACONE, G.; BRUMANA, R.; CACCAVELLI, D.; GAY, C. Geomapping methodology for the geocluster mapping tool to assess deployment potential of technologies for energy efficiency in buildings. **Sustainable Cities and Society**, 17, p. 22-34, 2015.

SHANE, A.; GHEEWALA, S. H.; FUNGTAMMASAN, B.; SILALERTRUKSA, T.; BONNET, S.; PHIRI, S. Bioenergy resource assessment for Zambia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 53, p. 93-104, 2016.

SIEGMEIER, T.; BLUMENSTEIN, B.; MÖLLER, D. Farm biogas production in organic agriculture: System implications. **Agricultural Systems**, 139, p. 196-209, 2015.

TOMA, L.; VOICU, G.; FERDES, M.; DINCA, M. Animal manure as substrate for biogas production. **Engineering for Rural Development**, 25, p. 629-634, 2016.

UN – UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals: 17 goals to transform our world**. 2015. Disponível em: <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>>. Acesso em: 26 dez. 2016.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Economic Research Service. **Overview**. Washington, 2017. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/topics/international-markets-trade/countries-regions/brazil/>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

VRIES, J. W.; GROENESTEIN, C. M.; BOER, I. J. M. Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. **Journal of Environmental Management**, 102, p. 173-183, 2012.

VRIES, J. W.; HOOGMOED, W. B.; GROENESTEIN, C. M.; SCHRÖDER, J. J.; SUKKEL, W.; BOER, I. J. M.; KOERKAMP, P. W. G. G. Integrated manure management to reduce environmental impact: I. Structured design of strategies. **Agricultural Systems**, 139, p. 29-37, 2015.

WBA – WORLD BIOENERGY ASSOCIATION. **Global Bioenergy Statistics 2016**. Estocolmo: WBA, 2016.

WINROCK INTERNATIONAL. **Global projects and financial statement**. Arkansas, 2008. Disponível em: <[https://www.winrock.org/sites/default/files/publications/attachments/2008\\_global\\_projects\\_and\\_financial\\_statement.pdf](https://www.winrock.org/sites/default/files/publications/attachments/2008_global_projects_and_financial_statement.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2017.

XU, R.; WUNSCH, D. C. **Clustering**. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xplbkabstractplus.jspreload=true&bkn=5236612>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

**APÊNDICE A - Planilha para Coleta de Dados**

	Identificação da propriedade	Localização		Energia	Inventário animal		
		Nº da matrícula	Latitude		Longitude	Nº de bovinos	Nº de suínos
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							