

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE**  
**CAMPUS CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA - PGEAGRI**

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E IMPLANTAÇÃO DE  
MICRORREDES NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE CASCAVEL UTILIZANDO  
GEOTECNOLOGIAS**

**ISAQUE DE SOUZA MENDES**

**CASCAVEL – PR**  
**FEVEREIRO – 2019**

**ISAQUE DE SOUZA MENDES**

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E IMPLANTAÇÃO DE  
MICRORREDES NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE CASCAVEL UTILIZANDO  
GEOTECNOLOGIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Biológicos e Agroindustriais – SBA.

Orientador: Prof. Dr. Erivelto Mercante.

Coorientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maritane Prior  
Coorientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz  
Siqueira

**CASCAVEL – PR**

**FEVEREIRO – 2019**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Mendes, Isaque de Souza  
POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E  
IMPLANTAÇÃO DE MICRORREDES NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE  
CASCAVEL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS / Isaque de Souza  
Mendes; orientador(a), Erivelto Mercante; coorientador(a),  
Jair Antônio Cruz Siqueira, coorientador(a)II, Maritane  
Prior, 2019.  
64 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste  
do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e  
Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola, 2019.

1. Energias renováveis. 2. Radiação solar. 3.  
Sensoriamento remoto. I. Mercante, Erivelto. II. Siqueira,  
Jair Antônio Cruz . III. Prior, Maritane. IV. Título.

Revisão português, inglês e normas: Dr. José Carlos da Costa 22/04/2019.

## BIOGRAFIA

Isaque de Souza Mendes, nascido em 23/01/1991, é natural da cidade de Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. Concluiu o curso de graduação em Engenharia Ambiental, pelo Centro Universitário Dinâmica das Cataratas - UDC, no ano de 2014. Durante o ano de 2014, atuou como bolsista no projeto BiogásFert, realizado pelo Parque Tecnológico de Itaipu, em parceria com a ITAIPU Binacional, EMBRAPA, Fundação Arthur Bernardes (FUNARBE), CIBiogás e o Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), onde atuou no levantamento do plantel suíno e bovino no Brasil. Em 2015, integrou o projeto Plantio Direto com Qualidade, atuando no levantamento de dados para a avaliação da qualidade do plantio direto na Bacia do Paraná 3, bem como na disseminação do conhecimento do manejo adequado nesse sistema de cultivo. No ano de 2016, participou do projeto “Uso de geotecnologias para melhorias da agricultura familiar com vistas à produção agroecológica sustentável”, no Laboratório de Topografia e Geoprocessamento - GeoLab da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, no levantamento de dados em propriedades de agrícolas de base familiar. No ano de 2017, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Biológicos e Agroindustriais, sob orientação do Prof. Dr. Erivelto Mercante, estudando o tema: Geotecnologias aplicadas à identificação do potencial de geração de energia fotovoltaica e microrredes na área rural do município de Cascavel - PR, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

“A mente que se abre a uma nova  
ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

A minha mãe Neuza Rita de Souza  
que, apesar das dificuldades, sempre  
priorizou minha educação.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pelo apoio e infraestrutura.

Ao meu orientador Erivelto Mercante e aos meus coorientadores, Jair Antônio Cruz Siqueira e Maritane Prior, por terem me conduzido e orientado, mostrando novos horizontes na pesquisa acadêmica. Obrigado pelos ensinamentos, conselhos e entusiasmo.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola- PGEAGRI, e ao seu corpo docente, pelos conhecimentos e ensinamentos compartilhados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Capes e à Fundação Araucária, pela concessão da Bolsa de estudos.

Ao Laboratório de Topografia e Geoprocessamento – GeoLab, por disponibilizar o espaço, pelo apoio e bom humor, essenciais para o desenvolvimento do trabalho.

A todos os meus amigos e colegas, que me ajudaram nesta etapa, principalmente Leonardo Peripolli, Gabriela Isbrescht, Alex Augusto, Ivã Luiz Caon, Diandra Ganascini e Carlos Eduardo Vizoto Cattani.

# POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E IMPLANTAÇÃO DE MICRORREDES NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE CASCAVEL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS

## RESUMO

O modelo de geração de energia distribuída por meio de fontes renováveis é visto, atualmente, como uma solução no que concerne ao aumento da demanda, que limita o desenvolvimento econômico e tecnológico. Contudo, a flutuabilidade na geração que utiliza fontes renováveis, dificulta o gerenciamento de fluxo na rede de distribuição por parte das concessionárias. Com isso a determinação do potencial de geração, bem como a busca por métodos de controle da energia introduzida na rede, é de fundamental importância na expansão desse sistema em relação ao modelo convencional de geração centralizada. O uso de geotecnologias facilita essa estimativa, pois permite a análise de características espaciais de locais de interesse e suas características específicas, como radiação incidente e área disponível, dentre outros, com precisão, agilidade e custo reduzido, em relação a medições de campo. Este trabalho teve como objetivo identificar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica na área rural do município de Cascavel - PR, com base nas áreas úteis disponíveis e as perdas inerentes ao sistema, em aviários e pocilgas. Foi verificado um potencial anual médio de 9,36 MWh/mês para pocilgas, e 17,61 MWh/mês para aviários, com excedentes médios de geração de energia de 8,56 MWh/mês e 14,71 MWh/mês, para pocilgas e aviários, respectivamente. Também foram identificados os pontos com maior potencial de geração de energia no perímetro rural do município, para que sirva de indicativo das áreas propícias a estudos de viabilização de implantação de microrredes inteligentes na região.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto; radiação solar; cobertura de nuvens.

**POTENTIAL FOR THE GENERATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY AND  
IMPLANTATION OF MICROGRID IN THE RURAL AREA OF THE MUNICIPALITY OF  
CASCAVEL USING GEOTECHNOLOGIES**

**ABSTRACT**

The model of distributed generation energy through renewable sources is currently seen as a solution to increase demand, which limits economic and technological development. However, the buoyancy in the renewable sources' generation hinders the management of distribution flow in the network by the concessionaires. Thereby, the determination of the generation potential, as well as the search for methods of control of the energy introduced in the network, is fundamentally important to the expansion of this system in relation to the conventional model of centralized generation. The use of geotechnologies facilitates this estimation, since it allows the analysis of spatial characteristics of places of interest and their specifications, such as incident radiation, available area, among others, with precision, agility, and low cost, in relation to field measurements. Thus, this work aimed to identify the potential of photovoltaic solar energy generation in the rural area of the municipality of Cascavel, based on the useful areas available, and the losses inherent to the system, from aviaries and pigpens. Averages for annual potential of 9.36 MWh/month for piglets and 17.61 MWh/month for aviaries were verified; with average power surplus of 8.56 MWh/month and 14.71 MWh/month for piglets and aviaries, respectively. The points with the greatest potential of energy generation in the rural perimeter of the municipality were also identified, to serve as an indicator of propitious areas for feasibility studies aiming for the implantation of intelligent micro grids in the region.

**Key-words:** Remote sensing; solar radiation; cloud covering.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1 Economia regional .....	4
3.1.1 Produção de frango de corte.....	4
3.1.2 Suinocultura .....	6
3.2 Geração distribuída .....	7
3.2.1 Microrredes de distribuição .....	8
3.2.2 <i>Smart grid</i> .....	9
3.3 Aproveitamento da radiação solar .....	10
3.3.1 Energia fotovoltaica.....	11
3.3.2 Desempenho dos sistemas .....	12
3.4 Sensoriamento remoto .....	13
3.4.1 Levantamento de informações .....	13
3.4.2 Classificação de alvos.....	14
3.4.3 Radiação solar e sensoriamento remoto .....	15
3.4.4 Obstrução de radiação .....	16
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
4.1 Área de estudo.....	18
4.2 <i>Softwares</i> .....	19
4.3 Organização do trabalho .....	19
4.3.1 A – Aquisição e armazenamento de dados .....	20
4.3.2 B – Estimativa de perdas por sombreamento.....	21
4.3.3 C - Delimitação do telhado das edificações de interesse.....	23
4.3.4 D - Cálculo do potencial de geração de energia fotovoltaica .....	24
4.3.5 E – Identificação de aptidão a microrredes.....	25
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
5.1 Área útil dos telhados.....	26
5.2 Radiação solar .....	29

5.3	Determinação da cobertura de nuvens.....	30
5.4	Geração de energia .....	33
5.5	Balanco energético e microrredes .....	37
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Proposta de qualificação de inversores conectados à rede .....	13
<b>Tabela 2</b>	Orientação dos telhados.....	28
<b>Tabela 3</b>	Estatística descritiva da eficiência de módulos fotovoltaicos.....	33
<b>Tabela 4</b>	Estatística descritiva do potencial de geração (MWh/mês) .....	34

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Exemplo de configuração de microrrede.....	9
<b>Figura 2</b>	Dados solarimétricos do Brasil. ....	15
<b>Figura 3</b>	Localização do município de Cascavel - PR, apresentando os perímetros urbano e rural. ....	18
<b>Figura 4</b>	Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho. ....	20
<b>Figura 5</b>	Informação pontual disponibilizada pelo governo municipal de Cascavel - PR. .	21
<b>Figura 6</b>	Figura ilustrativa do procedimento de interação temporal de imagens.....	22
<b>Figura 7</b>	Resultados da classificação de telhados. ....	26
<b>Figura 8</b>	Distribuição de frequência de áreas de pocilgas (a) e aviários (b). ....	27
<b>Figura 9</b>	Influência de <i>pixels</i> sobre os telhados. ....	28
<b>Figura 10</b>	Comportamento temporal da radiação solar no município de Cascavel - PR.....	29
<b>Figura 11</b>	Distribuição espacial da radiação solar anual em Cascavel - PR.....	30
<b>Figura 12</b>	Classificação temporal do índice de cobertura de nuvens em Cascavel - PR....	31
<b>Figura 13</b>	Comportamento temporal do índice de cobertura de nuvens.....	32
<b>Figura 14</b>	Correlação entre área e potencial de geração. ....	34
<b>Figura 15</b>	Potencial médio de geração de energia.....	35
<b>Figura 16</b>	Perfil temporal da geração de energia fotovoltaica de diferentes módulos no município de Cascavel - PR.....	36
<b>Figura 17</b>	Potencial teórico médio de geração de energia elétrica e seus desvios-padrão.	37
<b>Figura 18</b>	Consumo médio mensal de energia elétrica em aviários no município de Cascavel - PR.....	38
<b>Figura 19</b>	Excedente de geração de energia para aviários e pocilgas. ....	38
<b>Figura 20</b>	Distribuição espacial do potencial de geração de energia excedente. ....	39

## 1 INTRODUÇÃO

A garantia da qualidade no fornecimento de energia no meio rural apresenta diversos empecilhos, ainda nos dias atuais, ao sistema produtivo. Seja pela dificuldade de acesso, seja pelo modelo de distribuição centralizada predominante no país, esse ainda é um fator limitante para a expansão no agronegócio, em especial ao pequeno produtor.

O setor agroindustrial, em especial o modelo cooperativista predominante na região Oeste do Paraná, tem estabelecido o aporte ao pequeno produtor no mercado, agregando competitividade e tecnologia ao sistema produtivo, aumentando produtividade em espaços relativamente pequenos, o que acarreta o aumento da demanda por recursos energéticos confiáveis.

A produção animal representa uma fatia considerável do mercado nacional, tanto na exportação quanto no consumo interno, principalmente no tocante à produção avícola e na suinocultura. O sistema de criação em confinamento, adotado para a produção intensiva na região, é realizado seguindo as diretrizes que envolvem do controle patogênico ao conforto térmico, sendo este fator determinante na sobrevivência animal, na avicultura; influenciando diretamente a eficiência do processo de engorda, na suinocultura, o que demanda energia elétrica de qualidade para o controle térmico, iluminação dentre outros mecanismos utilizados no sistema produtivo.

Desde eventos como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (RIO 92) e a assinatura do Protocolo de Kyoto (1997), as pressões para a promoção do desenvolvimento sustentável e a diminuição de emissão de gases potencializadores do efeito estufa estão difundidas pelo mundo, em especial em países em desenvolvimento. Com isso, o apelo para a utilização de fontes renováveis de energia tem aumentado em escala global, com destaque para as energias solar e eólica, com potencial evidente, mas pouco aproveitado.

O Brasil possui um grande potencial de produção de energia solar, visto que a irradiação média em território nacional é maior que em países europeus, nos quais a utilização dessa tecnologia de geração de energia já é bem difundida e tem mostrado resultados promissores. Além de emissão zero de gases do efeito estufa, a energia solar fotovoltaica proporciona a utilização de energia elétrica em localidades remotas desconectadas da rede de transmissão, e em localidades cuja produção é conectada, auxilia no fluxo energético, em especial nos horários de maior demanda do sistema de distribuição. Contudo, a geração fotovoltaica, assim como outras fontes de energia renovável, apresenta oscilações durante horários do dia, em função da intensidade de radiação recebida, o que

resulta na necessidade de um controle do fluxo energético na rede, demandando esforços técnicos e financeiros por parte da concessionária de distribuição (SALAMONI, 2004).

O sistema de microrredes inteligentes contorna o problema do controle, pela extensão da rede que, devido ao tamanho reduzido, torna esse processo mais simples e dá margem à diversificação dos sistemas de geração que integram a microrrede. Por outro lado, a intercomunicação entre sensores possibilita o controle automatizado da distribuição, intervenções na rede, manutenção ágil e redução do tempo demandado para a resolução de problemas, pois a identificação de falhas bem como sua localização específica, é agilizada pela rede inteligente (AGHAJANI; GHADIMI, 2018).

As geotecnologias já estão bastante difundidas em sistemas de localização, em aplicações comerciais e em projetos de pesquisa ou obras de engenharia. A utilização desse recurso facilita a análise da superfície, e fornece subsídios, técnicos e científicos, para a implementação de obras e gestão política, no que concerne a incentivos para investimentos nos setores de interesse para a economia (SANTOS et al., 2016).

Nesse contexto, as geotecnologias mostram-se recursos facilitadores na análise espacial de grandes áreas, possibilitando a aferição, tratamento e transformação de dados espacializados de radiação, bem como o reconhecimento da estrutura da rede de distribuição de energia.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Determinar as áreas disponíveis para instalação de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, na área rural do município de Cascavel - PR e mensurar o potencial energético da região, utilizando imagens de alta resolução espacial e dados solarimétricos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, identificando locais propícios para a implantação de microrredes inteligentes na região, utilizando geotecnologias.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Delimitar a área dos telhados de aviários e pocilgas da área rural do município de Cascavel - PR;
- b) Definir a capacidade de geração de energia fotovoltaica, com base no Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE) e na área útil dos telhados das edificações rurais;
- c) Determinar o Índice de Cobertura de nuvens na região estudada;
- d) Identificar espacialmente os locais propícios para a implantação de microrredes na região.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Economia regional

A região Oeste do Paraná caracteriza-se pela economia fundamentada no desenvolvimento do setor agrícola. A produção de grãos na região é bastante expressiva, em relação ao restante do estado, devido à grande extensão de área cultivada (ROESE et al., 2001).

O setor agroindustrial, do suporte à produção de insumos até o beneficiamento e comercialização de produtos agrícolas, tem presença massiva na região Oeste e é altamente representativo na economia nacional. As características locais proporcionam destaque à produção de frango de corte e suínos de terminação. Carvalho (2007) destaca a importância desses alimentos no consumo nacional de carnes, já que está intimamente ligado ao poder aquisitivo do consumidor, porquanto esses produtos apresentam custos menos onerosos, quando comparados aos da produção de carne bovina.

##### 3.1.1 Produção de frango de corte

A produção avícola colocou o Brasil na liderança do ranking mundial de exportação de frango de corte em 2017, com cerca de 3,85 milhões de toneladas, e em quarto lugar na produção de carne suína, com aproximadamente 786 mil toneladas exportadas (USDA, 2018).

A produção de frango de corte, segundo Giron et al. (2013), é responsável, direta ou indiretamente, por cerca de 5 milhões de postos de trabalho. Isso se justifica pelo aumento considerável na produção, que atingiu o patamar sistemático e extensivo que se observa hoje, devido à utilização de tecnologias de melhoramento genético dos animais, avanços em manejo da criação, melhor controle nutricional, patológico e de ambiência (RODRIGUES et al. 2011).

A produção avícola no Brasil segue algumas diretrizes que padronizam a produção extensiva, de modo a aumentar a eficiência produtiva e criar condições de conforto térmico e sanitário para diminuir o risco de mortalidade dos animais. Costa (2008), aponta a crescente utilização do modelo *Dark House*, de confinamento no Brasil, em especial na região Oeste do Paraná.

Esse sistema se caracteriza por ser totalmente fechado, com isolamento da iluminação natural, por ter controle de iluminação interna, sistema de conforto térmico, comedouros automáticos, exaustores de pressão negativa, o que torna indispensável à utilização de geradores para a manutenção da atividade dos equipamentos (ABREU; ABREU, 2011).

Carvalho (2012) comparou o modelo Dark House com os métodos de confinamento tradicionais, de cortina amarela e de cortina azul. As aves confinadas em *Dark House* apresentaram melhores taxas de conversão alimentar e peso final, comprovando a eficiência no ganho de peso proporcionada pelo conforto ambiental promovido pelo sistema.

Outro fator importante a se destacar é a orientação dos ambientes de confinamento, nos quais se deve preconizar a edificação com o eixo longitudinal no sentido Leste-Oeste, a fim de evitar a incidência solar excessiva no empreendimento, reduzindo custos com equipamentos e gasto energético para controle térmico, pois a climatização interna para controle de temperatura pode ser realizada com a instalação de sistemas de ventilação e sistemas de aquecimento, que pode ser à lenha, a gás ou elétrico (SANTOS, 2009).

Richetti, Melo Filho e Fernandes (2002) observam a existência de dificuldade entre os pequenos produtores para serem competitivos no mercado de produção de frangos de corte, devido aos elevados investimentos em infraestrutura e conhecimentos em tecnologia de produção. Entretanto, apontam como alternativa a associação do pequeno produtor ao setor agroindustrial, que aporte a inserção deste produtor no mercado, denominada integração vertical.

Segundo Lima e Alves (2011), a presença representativa de cooperativas na região Oeste do Paraná cumpre o papel agroindustrial de fornecimento de suporte aos pequenos produtores, sendo que esses compõem 70% do quadro de cooperados a essas empresas. Destacam ainda, que as cooperativas são responsáveis por 56% da economia do Estado, colocando-o como o único da federação em que a agroindústria cooperativista exerce influência significativa sobre o crescimento econômico de diversos municípios de pequeno e médio porte, bem como sobre a transformação agroalimentar do estado.

A participação cooperativista no aumento da produtividade avícola no Paraná fica evidente, quando se analisa a participação estadual nas exportações nacionais de carne de frango.

De acordo com os dados do Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná - Sindiavipar (2018), é possível aferir que o Paraná representa cerca de 27% da exportação nacional de carne de frango, entretanto nos dados disponibilizados por esse sindicato, verifica-se um declínio na exportação, a partir de meados do ano de 2016. De acordo com dados da pesquisa trimestral de abate de animais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, apesar da queda em exportação, a produção nacional

continua aumentando, atingindo a marca de, aproximadamente, 1,84 bilhões de cabeças abatidas em 2017 (BRASIL, 2017a).

Abreu e Abreu (2001) apontam a importância da energia elétrica nos ambientes de confinamento avícola que, além da utilização na iluminação, destina-se ao conforto térmico dos animais confinados, fator determinante na sobrevivência animal, em especial nas fases finais da criação para terminação, o que acarreta aumento do custo produtivo em períodos quentes do ano.

Conforme EMBRAPA (2018), ocorre uma variação na representatividade do custo da eletricidade nos custos totais do sistema produtivo, que pode ser atribuído a alterações nas tarifas de energia elétrica, bem como na diferenciação dos valores em horários de pico, com média de custo de 2,05% do total, em 2018.

### 3.1.2 Suinocultura

A produção paranaense de carne suína corresponde a 22,29% da produção nacional, o que a coloca como o segundo maior produtor do país, logo depois de Santa Catarina, e o terceiro maior exportador, com o Rio Grande do Sul ocupando a segunda posição, precedido por Santa Catarina (ABPA, 2017).

Brasil (2017a), com base em dados do IBGE, aponta que, assim como no caso do frango de corte, ainda que em menor escala, houve incremento na produção de carne suína.

Como no caso da produção avícola, as granjas de suínos também recebem orientações das cooperativas, as quais os produtores estejam vinculados. A orientação do recinto segue os mesmos preceitos, recomendando-se que, desde que permitido pelo relevo, o eixo longitudinal esteja orientado de Leste a Oeste.

Quando ocorre o afastamento da temperatura corporal de 21°C por parte dos animais, ocorre também a diminuição do ganho de peso, entretanto, além da orientação, a utilização de outros métodos de controle de temperatura podem ser aplicados, como a instalação de sistemas de ventilação forçada, como complemento da ventilação natural do ambiente, bem como aspersão de água juntamente com a ventilação e o plantio de árvores no entorno a edificação (CARVALHO, 2009; EDMONDS et al., 1998; QUINIOU et al., 2000). Esses fatores acarretam aumento de consumo de eletricidade e dos custos da produção, o que pode ser contornado com o emprego de fontes alternativas de energia elétrica pela geração distribuída, como, por exemplo, a utilização da energia fotovoltaica.

A representatividade do custo da eletricidade no sistema produtivo da suinocultura é menor, quando comparado à avicultura, já que a sensibilidade a alterações térmicas é

significativamente menor nos suínos. A representatividade média desse custo para o ano de 2018 foi de 0,6% do total (EMBRAPA, 2018).

### 3.2 Geração distribuída

A geração distribuída de energia elétrica é regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que dispõe sobre as categorias de geração e sobre os sistemas de compensação a serem recebidos por parte do usuário/gerador. Descreve microgeração distribuída como aquela que possua potência instalada de até 75 kW conectada à rede e com instalações consumidoras. A minigeração segue essas mesmas características, exceto que a potência instalada deve ser maior que 75 kW e menor que 5 MW e o retorno econômico ao consumidor/gerador deve vir em forma de compensação, em que o mesmo cede à concessionária, de forma gratuita, a energia excedente ao consumo em horários de produção e, quando da necessidade, pode consumir da rede a mesma quantidade de energia (ANEEL, 2012). De maneira sucinta, nesse caso a rede cumpriria a função das baterias, em caso de sistemas isolados, mas sem limite de carga armazenada e sem o custo adicional de instalação e materiais.

Dentre as vantagens da geração distribuída, Sharma, Bhattacharjee e Bhattacharya (2018) destacam o reforço energético na rede de distribuição, aumento da qualidade e confiabilidade da energia, diminuição de gases poluentes na atmosfera dentre outros.

A incidência de impostos sobre a geração distribuída é um empecilho para investimentos nesse setor, porquanto o retorno econômico esperado (economia financeira no consumo de energia) sofre considerável redução. Contudo, a legislação nacional tem dado passos assertivos no incentivo a novas fontes de energia. Como exemplo de acerto, pode-se citar o Projeto de Lei do Senado (PLS) 167/2013, que prevê a isenção de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), da contribuição para os Programas de Integração Social e de formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP) e de recolhimento da Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre dispositivos fotossensíveis semicondutores, como células fotovoltaicas, comercializados e fabricados no país, bem como a isenção de Imposto de Importação de componentes que integrem essas tecnologias, desde que não haja componente similar, qualitativamente e com capacidade de conversão similar, produzido nacionalmente (BRASIL, 2013).

Mais recentemente, o PL 378/2015, aprovado em 17 de maio de 2018, isenta o produtor de minigeração e microgeração distribuída do ICMS sobre a energia consumida da

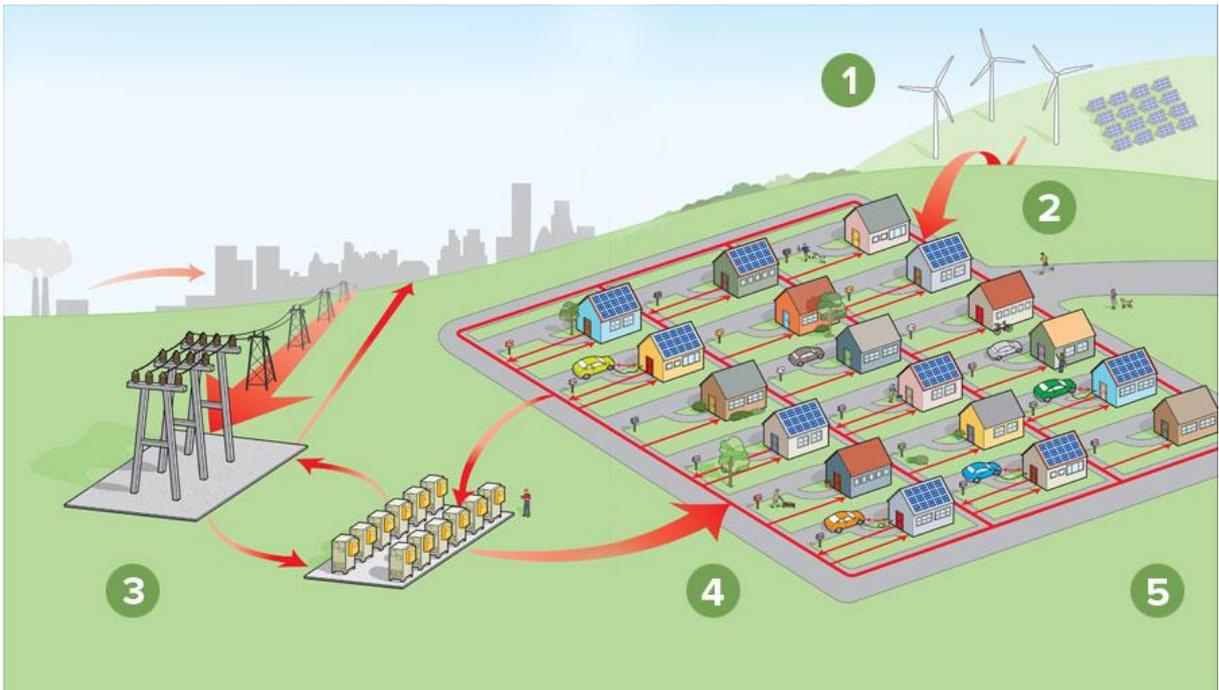
rede, incidindo somente sobre o consumo além da geração. Ou seja, se o produtor gerar mais energia do que consome, não haverá cobrança de ICMS (PARANÁ, 2015).

### 3.2.1 Microrredes de distribuição

As microrredes são basicamente redes de distribuição em pequena escala, com as características de uma rede de distribuição convencional, constituídas por um conjunto de cargas, geradores e sistemas de armazenamento, com gerenciamento próprio. Podendo ser conectada ou não à rede de distribuição de energia convencional, esse sistema garante a integridade da distribuição, ainda que ocorra falha ou interrupção da rede normal, em caso de sistemas conectados. Segundo Aghajani e Ghadimi (2018), as microrredes fornecem um sistema de controle, no nível de distribuição e tensão, combinando diversas fontes de geração distribuída, pois elas podem apresentar inconstância na geração de energia, com variações ao longo do dia, em diferentes temperaturas dentre outros fatores.

Conforme Barelli et al. (2018), as inconstâncias na geração de energias renováveis, com subproduções e superproduções em função de fatores específicos inerentes a esse tipo de produção energética, por vezes obriga as fontes de geração convencionais centralizadas, como usinas hidrelétricas, a compensar essas variações para evitar a instabilidade e promover a segurança da rede, enfatizando, assim, a importância de um sistema de gerenciamento próprio para a produção renovável de energia.

Existem diversas configurações de microrredes, contando com diferentes fontes energéticas como a integração de energia solar fotovoltaica e eólica, geradores a gás e energia solar térmica, dentre outras, como pode ser visualizado na Figura 1, em que os pontos 1 e 2 representam a geração e transmissão de energia a partir de fontes renováveis, o ponto 3 representa o sistema convencional de distribuição de energia, o ponto 5 indica o sistema de microrrede de distribuição local e o ponto 4 mostra a ligação da microrrede com a rede convencional e a troca de fluxo de energia elétrica que essa configuração proporciona.



**Figura 1** Exemplo de configuração de microrrede.

Fonte: Sierra Magazine (2018).

Nesse contexto, é necessário o levantamento de dados e estudos locais para se averiguar a configuração ideal, com base nas condições climáticas e de recursos que determinada região de implantação de microrrede dispõe, de modo a tornar o sistema eficiente e economicamente viável. Chan, Cameron e Yoon (2017) já confirmaram essa afirmação, verificando a aplicação de um modelo de microrrede da cidade de Qingdao (China), nas cidades de Nova York (EUA), Hong Kong (China) e Dubai (Emirados Árabes Unidos) e determinaram que a demanda energética relacionada ao tipo de consumo (aquecimento, refrigeração etc.) e às características climáticas locais é determinante na configuração da microrrede adequada, bem como as tarifas de energia e políticas públicas, para a determinação da viabilidade econômica.

### 3.2.2 Smart grid

As *smart grid* ou redes inteligentes são sistemas formados por duas redes interdependentes, uma rede de transmissão e uma rede de comunicação, através das quais será realizada a intercomunicação entre dispositivos de monitoramento de cargas na rede e sistemas automatizados de chaves seccionadoras e centrais de comando na concessionária de energia (PENG et al., 2018).

Dantas et al. (2018) afirmam que a utilização das microrredes na inserção das energias renováveis no setor elétrico convencional tem o papel de monitoramento e

gerenciamento de cargas, relacionando os níveis inconstantes da geração por fontes renováveis com a demanda e capacidade da rede de distribuição. Destacam ainda a importância da participação governamental, por meio de políticas públicas, no incentivo da disseminação desse sistema de gerenciamento de distribuição energética, pois o investimento no setor elétrico é pouco atrativo, devido às suas características econômicas.

As comunidades rurais se beneficiariam desse sistema, aproveitando os resíduos rurais, como excrementos suínos, que são passíveis de conversão em energia renovável. Os recintos de criação animal são propícios, em grande parte, para a produção de energia fotovoltaica, dentre outras fontes que o meio rural proporciona. As redes inteligentes, por meio do sistema de monitoramento de fluxo bidirecional, facilitariam a quantificação, em curto espaço de tempo, do balanço entre a energia excedente produzida pelo sistema renovável nas propriedades e aquela consumida da rede, em horários de baixa produção (ZAFAR et al., 2018).

A melhoria do acesso à energia elétrica com qualidade, evitando quedas de transmissão, é vital para o meio rural, como destacam Andrade et al. (2017). Esse fator é responsável pela produção de alimentos e a falta de energia constante pode acarretar uma diminuição de produção, como por exemplo, pela mortalidade de aves em um sistema de produção cooperativista, em que o ambiente necessita de controle térmico.

### 3.3 Aproveitamento da radiação solar

Segundo estimativas do Ministério de Minas e Energia, a oferta interna de energia elétrica se caracteriza pela predominância de fontes renováveis de geração e, nesse segmento, destaca-se a energia hidráulica com 67,9%, seguida pela biomassa com 9%, eólica com 6,5%. A energia solar não foi estimada, evidenciando o baixo aproveitamento desta fonte (BRASIL, 2017b).

A radiação solar exerce efeito, direto ou indireto, sobre a maioria dos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem no planeta, como nos processos de fotossíntese, ciclo hidrológico, metabolização de nutrientes dentre outros, e vem se mostrando uma fonte promissora no que diz respeito ao aproveitamento energético para processos específicos de interesse humano. Esse aproveitamento está diretamente relacionado à quantidade de radiação incidente sobre o local onde se deseja realizar a instalação de implementos que utilize essa fonte de energia como meio de ação.

Salamoni (2004) afirma que o aproveitamento energético da radiação solar no Brasil ainda é baixo, quando comparado ao de países como Alemanha, Japão e Estados Unidos,

ainda que possua níveis de incidência solar superiores, pois se encontra em latitudes menores. Segundo Encalada (2007), alguns países da Europa apresentam níveis de radiação solar global inferiores a  $2 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , no Brasil a média nacional é de aproximadamente  $4,9 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , evidenciando um potencial que ainda é pouco explorado (PEREIRA et al., 2017).

Entre os usos mais comuns da energia proveniente da radiação solar, destacam-se a conversão desta em energia térmica e energia elétrica em conversão direta. Alonso, Bernal e Camargo (2016) destacam que a utilização da radiação solar no aquecimento de água para uso doméstico, por meio de painéis coletores instalados em residências e edifícios, permite uma significativa economia de energia elétrica e promove preservação ambiental, principalmente quando se verifica que boa parte da energia elétrica produzida globalmente, provém de termelétricas movidas pela queima de combustíveis fósseis.

Stutz et al. (2017) afirmam que, além da utilização da energia proveniente da radiação solar como fonte energética para o aquecimento de água para fins de utilização doméstica em instalações prediais/residenciais, a conversão em energia térmica dessa fonte também é empregada em usinas solares termodinamicamente concentradas, que utilizam coletores para promover o aquecimento de fluido térmico para possibilitar o aquecimento de água, de modo que esta, encontrando-se sob pressão, sirva de impulso a uma turbina conectada a um gerador que converterá a energia cinética em energia elétrica.

### 3.3.1 Energia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico ocorre quando uma célula fotovoltaica converte a energia dos fótons presentes na luz em energia elétrica (GARCIA, 2009).

A geração distribuída de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos, além de gerar economia para o usuário, diminui a necessidade de investimentos, por parte da concessionária local, para expansão da oferta de energia (JARDIM et. al., 2004).

Existem dois sistemas de geração de energia por meio de células fotovoltaicas, com diferentes finalidades e vantagens. Os sistemas isolados são aqueles instalados em locais remotos, com pouca infraestrutura, que possibilitam que locais sem nenhuma conexão a uma rede de distribuição de energia elétrica possuam esse recurso. Entretanto, a geração depende das horas em que ocorra incidência solar sobre as células fotovoltaicas, necessitando do acréscimo de baterias ao sistema, para armazenar energia nos horários em que não ocorra geração, o que torna a implantação do sistema mais onerosa, em relação ao sistema conectado. Os sistemas conectados à rede são aqueles em que o excedente de energia gerada é direcionado à rede de distribuição. Em horários em que não há geração

por meio do sistema fotovoltaico, utiliza a energia fornecida pela concessionária, dispensando a utilização de baterias para o armazenamento (SALAMONI, 2004).

Existem diversos materiais em estudo para servirem de base para células fotovoltaicas, como células translúcidas, de material orgânico e tecnologias comercializadas em menor escala, como a de filme fino. Contudo, o material base mais comumente utilizado na confecção de células fotovoltaicas é o silício, podendo ser monocristalino, policristalino ou amorfo. Um dos fatores que influenciam nessa predominância é a abundância desse elemento na natureza (ZILLES et al., 2012). Apesar dos diferentes materiais utilizados na fabricação, a maioria das células tem eficiência de conversão em torno de 15 a 20%, da radiação solar incidente sobre o local de instalação (PRAVEEN; VIJAYARAMARAJU, 2017).

### 3.3.2 Desempenho dos sistemas

Além da própria eficiência das células, de acordo com suas características construtivas e dos materiais utilizados na fabricação, outros fatores afetam o desempenho do sistema fotovoltaico instalado como, por exemplo, a inclinação dos painéis, que deve ser igual à latitude local, em função da inclinação da radiação solar que ocorre com o afastamento da Linha do Equador; devem ser voltadas para o Norte, caso o sistema seja implantado no hemisfério Sul, com variações de 15° positivos acrescentados ao ângulo de latitude no inverno e -15° no verão (FOUAD; SHIHATA; MORGAN, 2017). Os autores afirmam, também, que as células que utilizam o silício cristalino são as que apresentam maior eficiência atualmente, com 16 a 22% de eficiência para o monocristalino e de 14 a 18% para o policristalino.

O sombreamento dos painéis, seja por obstrução da luz por vegetação, seja por nuvens ou poeira, também acarreta diminuição da produtividade energética no sistema. Bayrak, Ertürk e Oztop (2017) realizaram um estudo experimental com diferentes porcentagens de cobertura em células fotovoltaicas e a influência de cada uma na produção energética e afirmam que, no que concerne à eficácia dos painéis fotovoltaicos, o sombreamento é o parâmetro com maior efetividade.

A eficiência do sistema fotovoltaico pode ser estabelecida considerando as perdas de potência ocasionadas por diversos fatores, como apresentado por Santos (2017), que estimou o potencial de geração fotovoltaico para o estado de São Paulo em cenários que consideravam perdas no sistema, eficiência dos inversores e orientação dos telhados.

Quanto aos inversores, Pinto, Zilles e Almeida (2011) destacam que o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), por meio da Portaria INMETRO/MDIC Nº 04 de 04/01/2011, promove a qualificação de equipamentos utilizados

em sistemas fotovoltaicos. Contudo, os inversores conectados à rede não são qualificados quanto à eficiência. Esses pesquisadores desenvolveram uma proposta metodológica que considera as condições brasileiras de produção energética nesse setor, classificando os inversores conforme Tabela 1.

**Tabela 1** Proposta de qualificação de inversores conectados à rede

<b>Eficiência Brasileira (%)</b>	<b>Classe</b>
> 96	A
≥ 94	B
≥ 92	C
≥ 90	D
< 90	E

**Fonte:** Adaptado de Pinto, Zilles e Almeida (2011).

### 3.4 Sensoriamento remoto

#### 3.4.1 Levantamento de informações

O Sensoriamento Remoto (SR) consiste em um conjunto de ferramentas e técnicas que possibilitam a compreensão da superfície terrestre, tanto o meio natural como o antrópico e as interações e influências que um exerce sobre o outro (AUGUSTO FILHO, 2013). De maneira simplificada, Jensen (2009) descreve o SR como a ciência que proporciona a aquisição de informações acerca de um objeto sem a necessidade de contato físico com este.

A aquisição de dados é realizada por meio de sensores, que coletam informações específicas da superfície. A energia solar é a base para o sensoriamento remoto, pois os sensores passivos dependem da reflectância da radiação por parte dos alvos e, mesmo os sensores ativos, dependem dela para a manutenção de suas reservas de energia (MOREIRA, 2007). Sendo assim, pode-se considerar que a diferenciação dos alvos se baseia na resposta espectral particular de cada alvo, ou seja, na quantidade de radiação refletida pelo alvo.

### 3.4.2 Classificação de alvos

A resultante da resposta espectral pode ser convertida em imagens em escalas de cinza para que seja visível ao olho humano. Essas imagens, por sua vez, são passíveis de combinações, destacando alvos de interesse do usuário, possibilitando a realização de classificações por meio de algoritmos ou mesmo por análise visual, com técnicas de fotogrametria, que preconiza a diferenciação dos alvos por cor, forma ou textura (LÓPEZ GARCÍA et al., 2016).

Ao utilizar a fotogrametria para classificação visual, o usuário necessita de imagens de alta resolução, de modo que possa diferenciar os alvos na superfície. Um bom exemplo de produto orbital de alta resolução são as imagens produzidas pela constelação de satélites Plêiades. Segundo Collin et al. (2018), esses satélites, lançados em 2011, registram uma faixa pancromática com 0,7 m de resolução espacial e disponibilizam imagens realizadas por meio de reamostragem, com 0,5 m de resolução.

Métodos de classificação automáticos e semiautomáticos também são utilizados para a identificação de alvos e demandam menos tempo e recursos, em relação à classificação visual. Diferentemente do método automático, o usuário desempenha um papel fundamental no método semiautomático, pois esse tipo de classificação necessita de informações de entrada, denominadas amostras de treinamento, para a realização do processo (BAKHTIARI; ABDOLLAHI; REZAEIAN, 2017).

A avaliação da resultante dos processos de classificação é realizada por meio de índices de acurácia, de modo a mensurar o grau de confiabilidade dos processos. O índice *kappa* é amplamente utilizado em processos de classificação, para verificar a concordância entre classificações. O resultado desse índice varia de 0 (zero) a 1 (um), sendo 1 referente a uma concordância perfeita (WARRENS, 2016).

Outros índices utilizados são a exatidão global, que corresponde aos acertos de classificação em proporção ao total classificado, acurácia do produtor, representando a classificação correta de uma determinada classe por parte do algoritmo de classificação, e acurácia do usuário, que diz respeito à probabilidade de uma determinada amostra, selecionada pelo usuário pertencer de fato à classe a que foi designada (ALMEIDA; WERNECK; RESENDES, 2014).

Sakamoto et al. (2018) obtiveram resultados satisfatórios ao utilizarem uma análise temporal do Índice de Água Normalizada (*Normalized Difference Water Index – NDWI*), que se trata de uma matemática de bandas que relaciona a banda do verde do espectro visível com as bandas do infravermelho de ondas curtas, utilizando cenas Landsat para a classificação de campos de arroz, no Japão, utilizando algoritmos de classificação semiautomática.

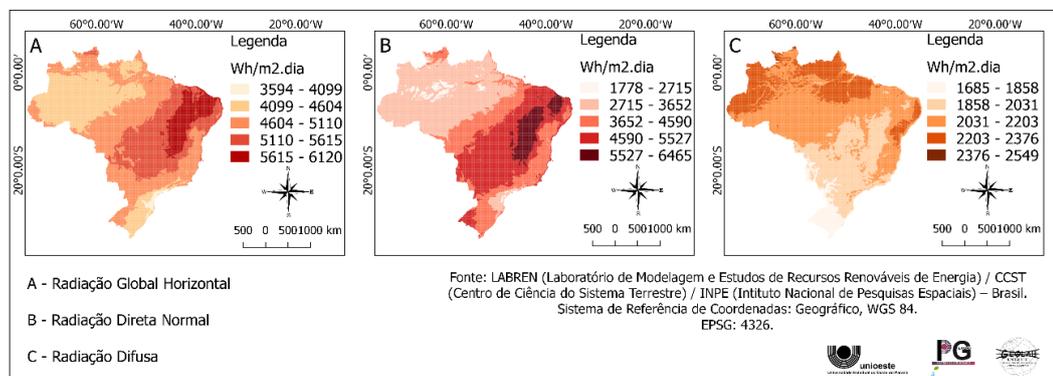
Dados Landsat em conjunto com dados de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) MODIS foram utilizados por Jia et al. (2014), com método de fusão de imagens, para melhorar a identificação de coberturas florestais ao Norte da China.

Em um estudo desenvolvido em Genebra, Mohajeri et al. (2018) utilizaram dados *Light Detection and Ranging* (LIDAR) na identificação da área e orientação de telhados, por meio de classificação por *Support Vector Machine* e, em seguida, associaram essas informações com dados de radiação solar, para obter uma estimativa do potencial de aproveitamento de energia solar.

### 3.4.3 Radiação solar e sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto contribui de maneira significativa para a observação e análise espaço-temporal de dados terrestres. Contudo, as incertezas decorrentes de interferências e obstrução entre sensor e alvo, em diferentes níveis, pela presença de nuvens ou aerossóis, suscitam a necessidade de validação dos dados levantados, englobando aspectos como julgamento qualitativo dos dados coletados, as necessidades do usuário, resultados quantitativos de medições na superfície e o conhecimento das incertezas derivadas do levantamento por parte do sensor (WANG; DENG; FAN, 2018).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), do seu Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) desenvolveu a segunda edição do *Atlas Brasileiro de Energia Solar* utilizando dados de sensores solarimétricos coletados ao longo de 17 anos. Para a validação, utilizou dados de 98 estações meteorológicas e de estações solarimétricas, possibilitando a produção de informações acerca da radiação solar incidente em todo território nacional, das componentes global horizontal, direta normal e difusa, da irradiação, como se visualiza no gráfico na Figura 2 (PEREIRA et al., 2017).



**Figura 2** Dados solarimétricos do Brasil.

Fonte: LABREN, CCST e INPE (2017). Adaptado por GeoLab.

A aferição da incidência de radiação solar pode ser realizada de diversas maneiras: por atlas solarimétricos, por medição de incidência no local da instalação do sistema fotovoltaico ou por meio de dados de estações, dentre outros (HAUSCHILD, 2006).

Contudo, para grandes áreas, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, pode facilitar análises de potencial. Como exemplo de utilização dessa tecnologia, Cheng et al. (2018) utilizaram imagens tridimensionais baseadas em dados *Light Detection and Ranging* (LiDAR) e fotogrametria, para obter dados de cobertura e fachada de edifícios, a fim de calcular o potencial de geração de energia fotovoltaica. Wang et al. (2016) utilizaram dados de irradiância proveniente de sensores orbitais e Modelo Digital de Elevação (MDE) para a determinação de áreas de interesse, para aproveitamento fotovoltaico, no Tibete.

Além da rapidez, Calaudi et al. (2016) apontam que o custo reduzido, proporcionado pela mensuração de potencial energético por meio de sensoriamento remoto, comparado a métodos convencionais de quantificação de potencial que incluem aferições *in loco*, uso de equipamentos específicos dentre outros fatores, é um importante fator relacionado a essa metodologia. Esses pesquisadores utilizaram geotecnologias para mensurar a quantidade energética a ser produzida agregando as energias solar e eólica, no litoral sul da Itália.

#### 3.4.4 Obstrução de radiação

A cobertura de nuvens é o principal fator de influência na variabilidade espaço-temporal da disponibilidade de radiação solar viável em sistemas de geração de energia fotovoltaica (JAMALY; KLEISSL, 2018). A obtenção convencional de proporção de cobertura de nuvens é realizada por meio de classificação visual, de um observador humano em um ponto determinado ou com a utilização de um ceilômetro (SMITH; BRIGHT; CROOK, 2017). Yang, Jirutitijaroen e Walsh (2012) concluíram, ao comparar três modelos de previsão de incidência de radiação solar, que a inserção de parâmetros de cobertura de nuvens, melhora significativamente os resultados em relação ao valor real na superfície.

A utilização de geotecnologias para a estimativa de cobertura de nuvens tem apresentado resultados satisfatórios, como Luiz et al. (2018) comprovaram, ao comparar a câmera *All Sky*, usada como método de referência, radiação de onda longa com dados meteorológicos de superfície e dados provenientes de sensor em satélite geoestacionário, onde o último obteve probabilidades de detecção de nuvens de 93,3 % e 87,6%, para céu limpo e nublado, respectivamente.

Os dados *Quality Assurance* dos produtos MOD09GQ e MYD09GQ, dos sensores *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) embarcados nos satélites *Terra* e *Aqua* se mostram promissores na detecção de nuvens, porquanto permitem a identificação

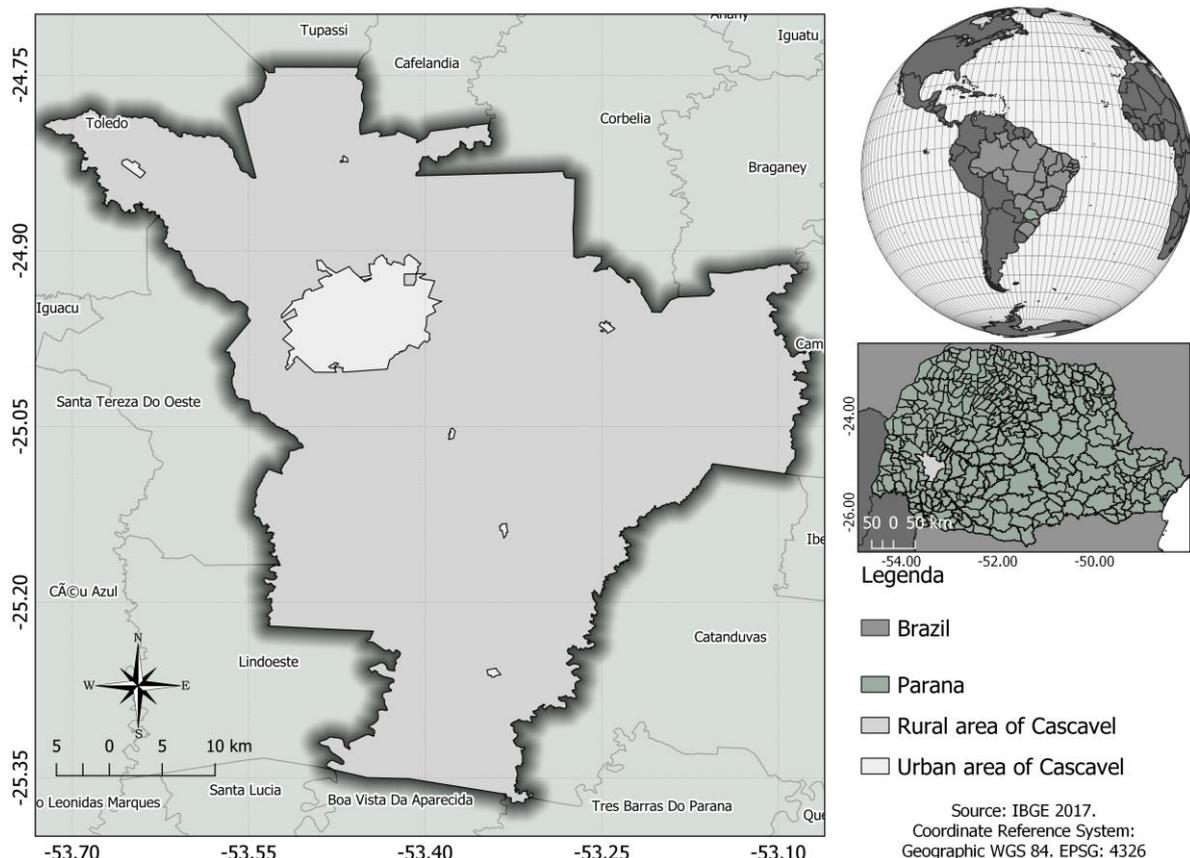
desses alvos com facilidade (VERMOTE e VERMEULEN, (1999). Os autores informam que os produtos MOD09GQ e MYD09GQ são submetidos ao estágio 3 de validação, que consiste na avaliação da exatidão dos dados por meio de medições independentes e análises estatísticas robustas.

Zhang et al. (2019) utilizaram um algoritmo para corrigir os dados de máscara de nuvens do MODIS sobre o leste da China. Essa correção se faz necessária em regiões com altos índices de poluição atmosférica, já que os poluentes do ar induzem o sensor a superestimar a presença de nuvens.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a extensão rural do município de Cascavel - PR (coordenadas -24.9555, -53.4552), conforme se visualiza na Figura 3. O clima da região é classificado como Subtropical Mesotérmico Úmido, com temperaturas médias anuais variando entre 18°C e 22°C, nos meses mais frios e nos meses mais quente, respectivamente (SANTOS et al., 2012). O município possui área total de, aproximadamente, 2088,29 km<sup>2</sup> de extensão, com 1982,19 km<sup>2</sup>, aproximadamente, caracterizados como área rural. A Radiação Solar Global Anual média é de 4737,1 Wh.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, variando entre 4702 Wh.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e 4776 Wh.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> (LABREN; CCST; INPE, 2017).



**Figura 3** Localização do município de Cascavel - PR, apresentando os perímetros urbano e rural.

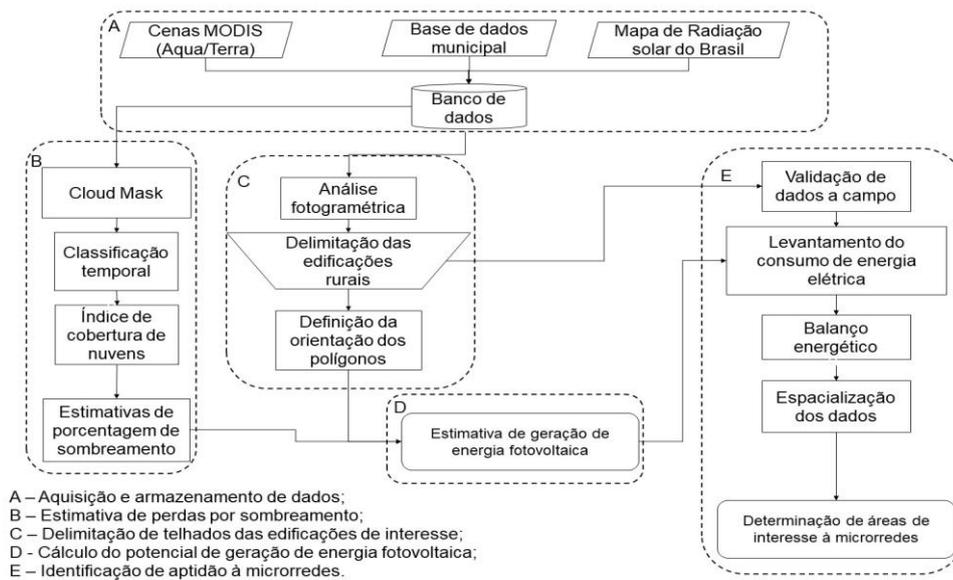
## 4.2 Softwares

Os procedimentos de delimitação dos telhados das edificações rurais, a definição da taxa de cobertura de nuvens e o cálculo do potencial de geração de energia fotovoltaica foram realizados com o *software* QGIS 2.18 *Las Palmas*. Trata-se de um Sistema de Informação Geográfica livre, ou seja, de aquisição gratuita e de código aberto, o que possibilita do desenvolvimento de aplicações por parte da comunidade, de maneira voluntária e colaborativa.

O QGIS passou por diversos avanços entre suas versões, o que o torna um *software* robusto, com destaque para a vasta biblioteca de *plugins*, que supre boa parte da necessidade de ferramentas específicas, muitas vezes encontradas, no passado, somente em *softwares* comerciais. A integração com outras plataformas de informação geográfica também garante grande versatilidade em suas aplicações e levantamento de dados, como por exemplo, integração com o *Geoserver*, o *OpenLayers* e o *Google*, dentre outros. A aquisição e a classificação das imagens MODIS foram realizadas por meio de algoritmos desenvolvidos em linguagem *Python*, por meio do editor *Spider*, do pacote *Anaconda*.

## 4.3 Organização do trabalho

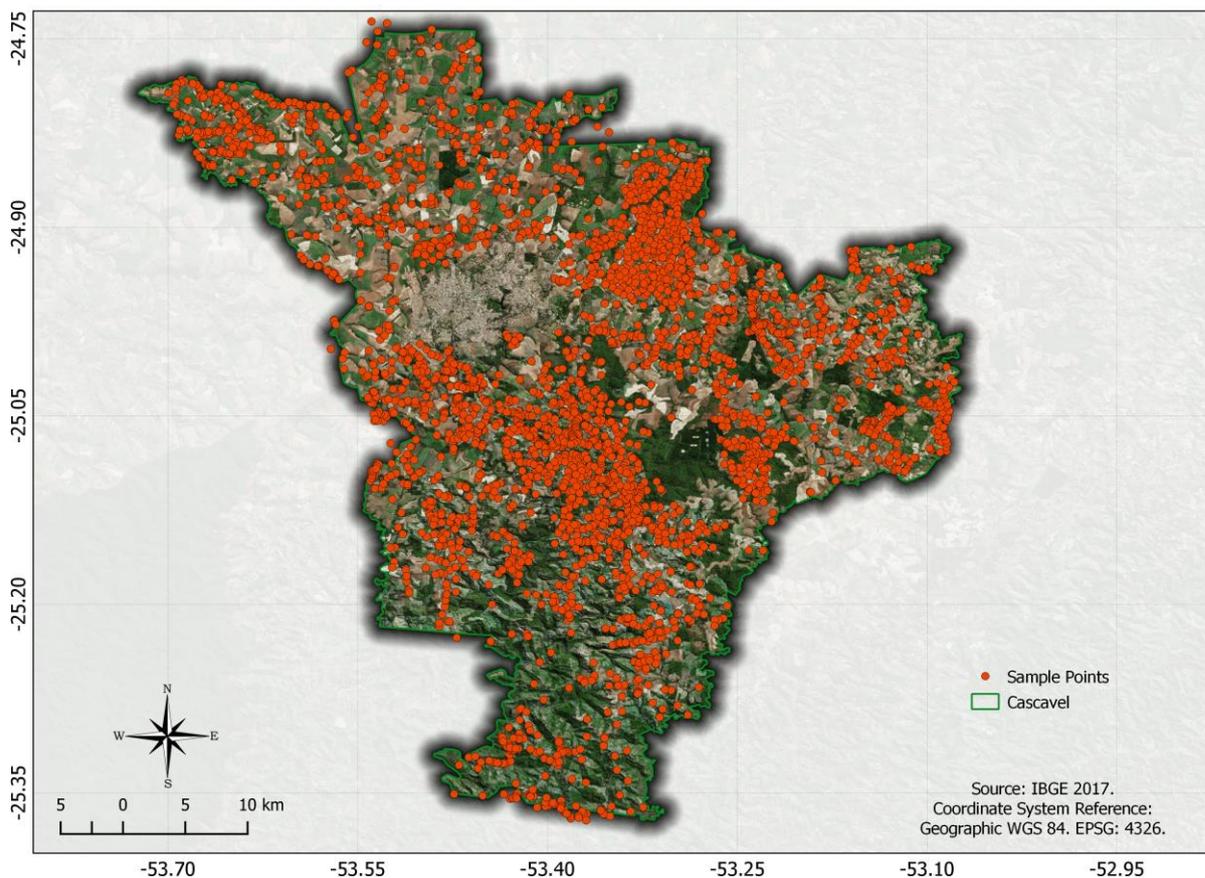
O trabalho proposto foi organizado em quatro etapas, como apresentado no diagrama da Figura 4. A primeira é inerente ao levantamento de dados-base, as cenas Plêiades e a identificação de empreendimentos nas propriedades rurais junto à prefeitura, as imagens MODIS, utilizadas na quantificação do índice de nuvens e os dados de radiação solar da base de dados do INPE. A segunda compreendeu a estimativa de cobertura de nuvens na região e sua influência sobre a área em estudo. A terceira etapa foi a determinação das áreas úteis e a orientação dos telhados de interesse, para a estimativa de geração de energia solar fotovoltaica. A quarta foi a validação de campo, bem como o levantamento de dados de consumo junto aos produtores rurais, para a realização do balanço energético, a fim de determinar a localização de áreas passíveis de implementação de microrredes.



**Figura 4** Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho.

#### 4.3.1 A – Aquisição e armazenamento de dados

Em parceria com o Laboratório de Topografia e Geoprocessamento (GeoLab) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel - PR, a prefeitura do município disponibilizou um conjunto de cenas de alta resolução espacial datadas do ano de 2014, com cobertura de todo o perímetro municipal. Essas imagens provêm dos sensores *High Resolution Imager* - HiRi, embarcados na constelação de satélites Plêiades, com resolução espacial de 0,5 m. Também disponibilizou a localização pontual de propriedades rurais e suas características, destacadas no mapa da Figura 5, como a presença de aviários, granja de produção suína, presença de barracões, dentre outras informações.



**Figura 5** Informação pontual disponibilizada pelo governo municipal de Cascavel - PR.

Proveniente da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram utilizados os dados de radiação da segunda edição do *Atlas Solar do Brasil*, a fim de compor a variável radiação nas equações utilizadas neste trabalho.

Junto à base de dados da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), foram obtidas imagens MODIS, dos satélites *Terra* e *Aqua*, dos últimos 10 (Dez) anos, para a determinação da cobertura de nuvens (VERMOTE E VERMEULEN, 1999).

#### 4.3.2 B – Estimativa de perdas por sombreamento

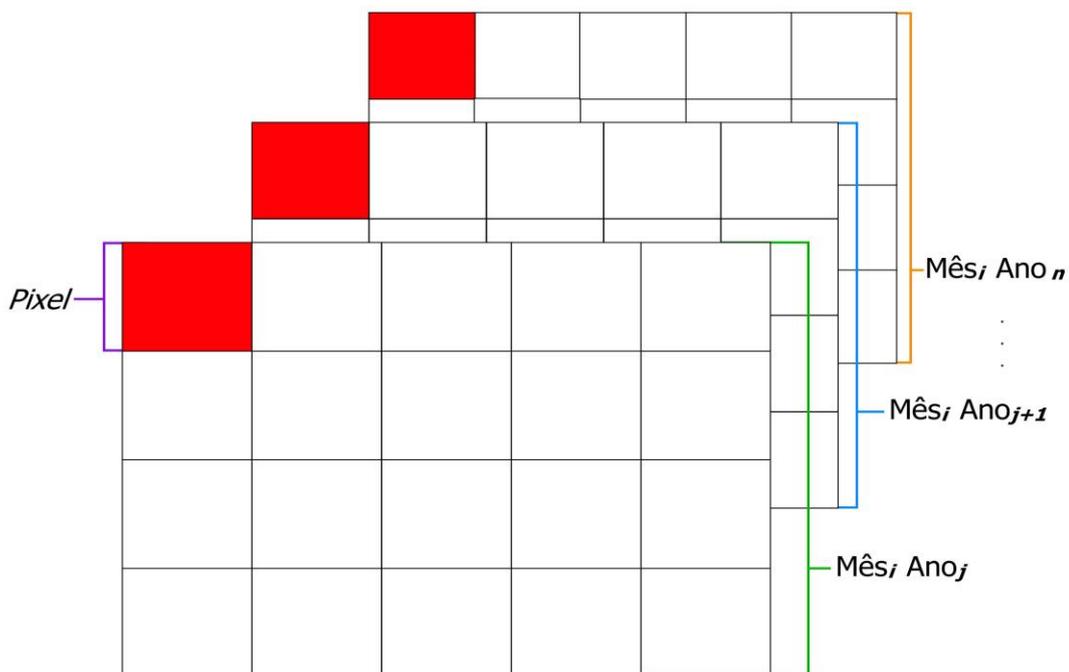
Para identificação de áreas de sombreamento foi elaborado um índice de cobertura de nuvens, por meio de *Scripts* em linguagem *Python*, em função do grande volume de dados. Para tanto foi utilizada a banda *Quality* dos produtos MOD09GQ e MYD09GQ que, segundo Vermote e Vermeulen, (1999), fornecem informações confiáveis e sistematicamente aferidas, quanto à presença de nuvens. Outro motivo da escolha desses produtos foi a resolução espacial de 250 m, que permite a aferição de um maior número de pixels.

Foi identificado o valor correspondente à presença de nuvens em cada *pixel* das imagens, posto que a Banda também fornece informações referentes à presença de aerossóis, e procedeu-se com a classificação. Após esse procedimento, as imagens resultantes foram reclassificadas como 1 (um), para *pixels* com presença de nuvens, e 0 (zero), para ausência de nuvens. Este procedimento foi realizado para uma série temporal de 10 (dez) anos (2008 a 2018), contendo duas imagens diárias, totalizando 7974 imagens, em virtude dos anos bissextos (2008, 2012 e 2016), e em 2018 foram utilizadas imagens até o dia 30 de novembro. Posteriormente, foram calculadas médias mensais e anuais, resultando na proporção mensal (em porcentagem), de dias em que cada *pixel* apresentou cobertura de nuvens em relação ao total, utilizando a Equação (1).

$$I(x, y, i) = \frac{\sum_{j=0}^n p(x, y, j)}{n} \quad (1)$$

em que: o Índice 'I' do *pixel* 'x;y' no mês 'i' é igual à somatória dos 'n' *pixel* s 'x;y', divididos por 'n'.

Vale ressaltar que a proporção foi calculada para cada *pixel* com seu correspondente espacial ao longo dos anos, conforme demonstrada na ilustração da Figura 6. Em suma, o valor de cada *pixel* expressa a possibilidade de a região a qual corresponde à imagem estar coberta por nuvens em cada mês, sendo assim passível da aplicação desse valor como fator limitante para a geração de energia solar fotovoltaica.



**Figura 6** Figura ilustrativa do procedimento de interação temporal de imagens.

Fonte: O autor.

#### 4.3.3 C - Delimitação do telhado das edificações de interesse

De posse dos dados disponibilizados pela prefeitura, foi realizada a delimitação do telhado das edificações rurais, utilizando-se de códigos específicos para cada tipo de edificação, a fim de se evitar erros de digitação de nomes completos, o que demandaria tempo de correção e, eventualmente, erros em processos posteriores.

As delimitações foram separadas em 'Barracão', 'Edificações' (para construções menores como casa sede, galpões de ferramentas), 'Pocilgas', 'Aviário' e 'Não Identificado', em caso de incertezas entre 'Aviário' e 'Pocilgas' (nos locais em que não constavam dados de campo da prefeitura), para cada um deles foi estabelecido um código: 1, 2, 3, 4, e 5, respectivamente.

Para este trabalho, foram selecionados apenas os polígonos correspondentes a 'Aviário' e 'Pocilgas', devido à configuração simplificada dos telhados, o que torna mais simples a determinação da proporção de área voltada para o Norte, aqui discriminada como área útil. Também foi realizada a determinação da orientação dos telhados de forma manual, para cada edificação. As perdas, inerentes à orientação, foram levantadas junto a empresas do setor, que apontam 12% a 20%, para painéis voltados para L (Leste) ou O (Oeste) e perdas de 3% a 8%, para painéis voltados para NE (Nordeste) ou NO (Noroeste). Neste estudo, foram adotadas as perdas máximas, a fim de se evitar superestimação de geração de energia.

Após o término de definição dos polígonos, estes passaram por uma averiguação com imagens da base de dados do *Google*, de 2015, a fim de atualizar a delimitação quanto a mudanças estruturais dos empreendimentos rurais delimitados e aproximar os dados do período da realização deste estudo. A fim de aumentar a confiabilidade dos dados, os polígonos marcados como 'Não Identificados' foram aferidos a campo e inseridos na categoria a que corresponderam. Também houve levantamento, junto aos produtores, do consumo de energia das unidades produtoras, a fim de se verificar a economia energética, em KWh. Para os aviários foram obtidas informações por meio de relatórios da concessionária de energia, cedidos pelos proprietários, e utilizadas somente as informações referentes a aviários que possuíam marcadores individuais. No caso das pocilgas, as informações obtidas foram declarações verbais dos produtores, que não diferiram entre si, quanto ao consumo médio de energia.

Não foram aplicados índices de acurácia, visto que a realização da classificação foi de maneira visual e, presumivelmente, mais exata que classificadores automáticos e

semiautomáticos, contando somente com a validação dos dados em campo, em função do tempo decorrido desde o imageamento até a elaboração do trabalho.

O cálculo de áreas foi realizado com o *software* QGIS 2.18, assim como a determinação das orientações com seus respectivos ‘pesos’, para que pudessem compor a equação de determinação do potencial de geração de energia elétrica.

#### 4.3.4 D - Cálculo do potencial de geração de energia fotovoltaica

O potencial de geração de energia solar fotovoltaica foi definido com base nos dados do *Atlas Solar do Brasil*, cruzando esses dados com as áreas úteis dos telhados dos empreendimentos rurais de interesse. Leia-se ‘área útil’ metade da área total do telhado, já que a face voltada para o sul não foi considerada, em função da baixa eficiência que esta orientação proporciona. Os valores médios de irradiação mensal são dados em Wh/m<sup>2</sup>.dia, e para que pudessem concordar com os dados de cobertura do céu, dados em porcentagem mensal, foram convertidos para Wh/m<sup>2</sup>.mês.

Para fins de cálculo da produção energética foi utilizada a metodologia proposta por Santos (2017), que realizou o cálculo do potencial teórico, que leva em consideração a relação entre irradiação, a área dos painéis, a eficiência das placas fotovoltaicas e o potencial técnico, que considera as demais variáveis que interferem na produção. O potencial teórico foi definido pela Equação (2) proposta por Villavicencio, Melo e Feltrin (2015).

$$P_g = \eta \cdot A \cdot R_s \quad (2)$$

em que:  $P_g$  corresponde ao potencial de geração de energia,  $\eta$  à máxima eficiência do painel fotovoltaico,  $A$  é a área disponível para a instalação dos painéis e  $R_s$  corresponde à irradiação solar global no local de implantação.

O potencial técnico foi calculado inserindo os fatores limitantes, com base na literatura, na Equação 2, como no cenário em que foi inserida a eficiência nos inversores. Neste trabalho, aplicaram-se, além da eficiência do inversor e das células fotovoltaicas, as perdas por obstrução de radiação por nuvens e deslocamento de orientação em relação ao Norte, já que o relevo nem sempre permite a aplicação das recomendações descritas por Santos (2009), quanto à orientação do eixo longitudinal das edificações.

Com base nos dados de cobertura de nuvens, foi realizada uma análise estatística de média ponderada, levando em conta o fator espacial, pois uma determinada localidade pode sofrer influência de mais de um *pixel*. O cálculo de sombreamento por barreiras físicas

não foi realizado, em função da configuração das edificações englobadas neste estudo que, geralmente, são construídas afastadas de edificações maiores, por questões sanitárias e de ventilação. A arborização ao redor, em caso de sistemas convencionais, pode ser manejada para que não haja sombreamento dos painéis solares.

Quanto à eficiência dos painéis fotovoltaicos, foram analisados os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), e utilizada a eficiência média dos painéis homologados pertencentes à categoria 'A' de desempenho. Da eficiência dos inversores, utilizou-se o valor padrão de 96% de eficiência, conforme proposto por Pinto, Zilles e Almeida (2011).

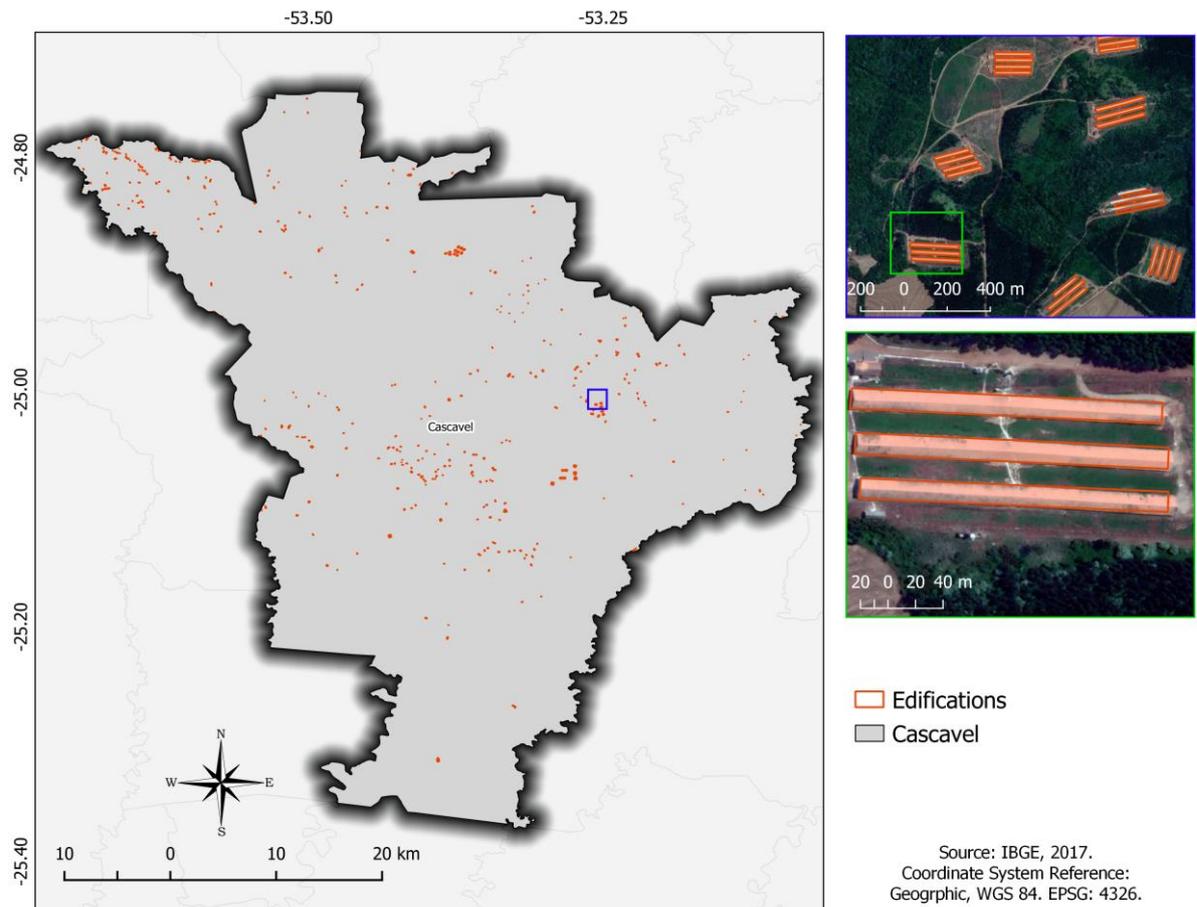
#### 4.3.5 E – Identificação de aptidão a microrredes

Para encontrar locais propícios à implantação de microrredes, na região rural do município de Cascavel - PR, foi realizada uma estimativa da energia excedente da geração fotovoltaica nas propriedades. Foram reunidas informações de 23 propriedades, contendo pocilgas e aviários, de diferentes dimensões de sistemas produtivos, e com diferentes quantidades de ambientes de confinamento, a fim de se obter informações de consumo. Foram utilizados dados isolados para cada aviário e pocilga, descartando dados de consumo conjunto de mais de uma unidade produtora ou que continham medidor em conjunto com outras cargas, como bombas d'água ou residências. Foram obtidos dados de consumo por meio de faturas da concessionária local, no caso dos aviários, e declaração verbal das propriedades com suínos. De posse desses dados foram considerados os índices de maior consumo nos períodos quentes e frios do ano, para aviários, e determinada a energia excedente a ser injetada na rede e, por meio de análise espacial, foram determinadas as regiões com maior concentração de potencial de geração de energia, de modo a destacar essas regiões como ponto de partida para a viabilização da implantação de microrredes inteligentes na região em estudo. A análise espacial consistiu na utilização do método de interpolação do inverso da distância ao quadrado (IDW), que, segundo Molin, Amaral e Colaço (2015), tende a gerar círculos ao redor dos pontos amostrais, o que atende aos requisitos desta pesquisa, que visa identificar os agrupamentos de propriedades com potenciais similares de geração de energia.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Área útil dos telhados

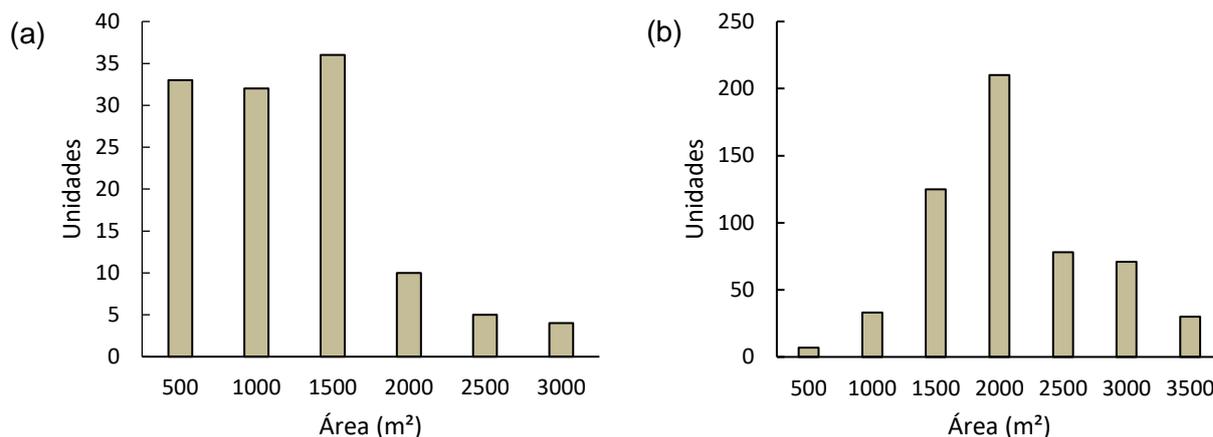
As imagens de alta resolução Plêiades possibilitaram a classificação visual dos alvos. Os vetores resultantes dessa classificação são apresentados no mapa da Figura 7.



**Figura 7** Resultados da classificação de telhados.

Fonte: O autor.

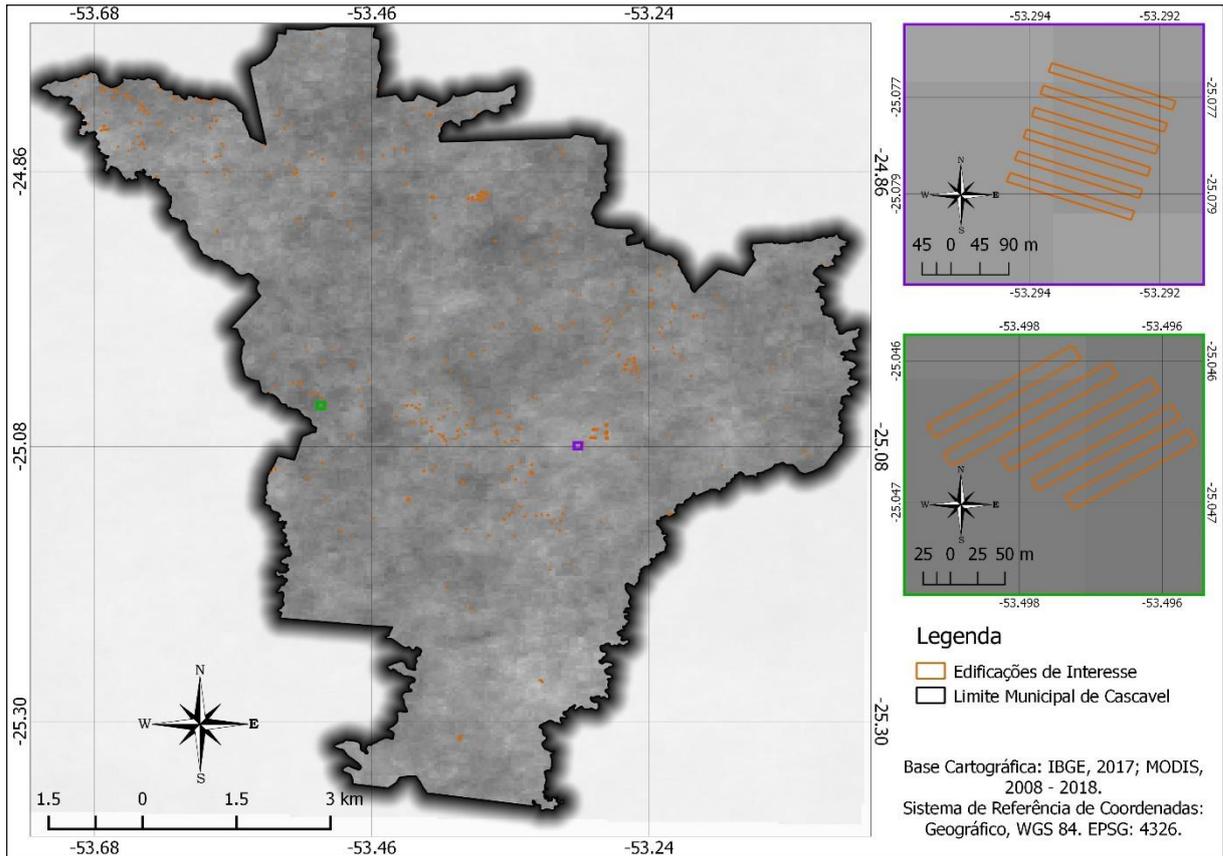
Foram identificados 554 aviários e 120 pocilgas. Não foram realizados testes de acurácia, em virtude de a delimitação manual seguir os pontos sistematicamente levantados pelo governo municipal a campo, e os empreendimentos sem a identificação pontual foram averiguados a campo e devidamente inseridos em sua classe correspondente. A distribuição das áreas encontradas é apresentada no gráfico da Figura 8.



**Figura 8** Distribuição de frequência de áreas de pocilgas (a) e aviários (b).

Nos diagramas a e b verifica-se que, para pocilgas, a maior frequência de áreas identificadas foi de 1000 a 1500 m<sup>2</sup>, e para aviários a maior frequência foi de 1500 a 2000 m<sup>2</sup>. A variação na distribuição das áreas das pocilgas ocorre em virtude de que existem variações nos tamanhos padrão das edificações cooperadas, assim como para aviários, e foram encontradas unidades domésticas, sem vínculo a cooperativas, cuja edificação segue a necessidade do produtor rural. Quanto aos aviários, foram identificadas poucas unidades de criação sem fins cooperativistas e as unidades vinculadas possuem diversos padrões de dimensão, principalmente os empreendimentos mais modernos que, além de extensões maiores, utilizam sistemas de criação diferentes, como o Dark House (COSTA, 2008).

Pelo mapa da Figura 9 verifica-se a influência de mais de um *pixel* sobre áreas de telhados, o que justifica a extração dos índices de cobertura do céu e radiação solar, por meio de estatística zonal, para que se pudesse obter a representatividade desses dados nos empreendimentos (CAMARA et al., 2002).



**Figura 9** Influência de *pixels* sobre os telhados.

Ainda é possível observar, na Figura 9, que nem todos os telhados estão instalados de Leste para Oeste, longitudinalmente. Esses dados são apresentados mais detalhadamente na **Tabela 2**, com a distribuição da orientação encontrada nas edificações, bem como sua representatividade, em relação à quantidade total de edificações delimitadas.

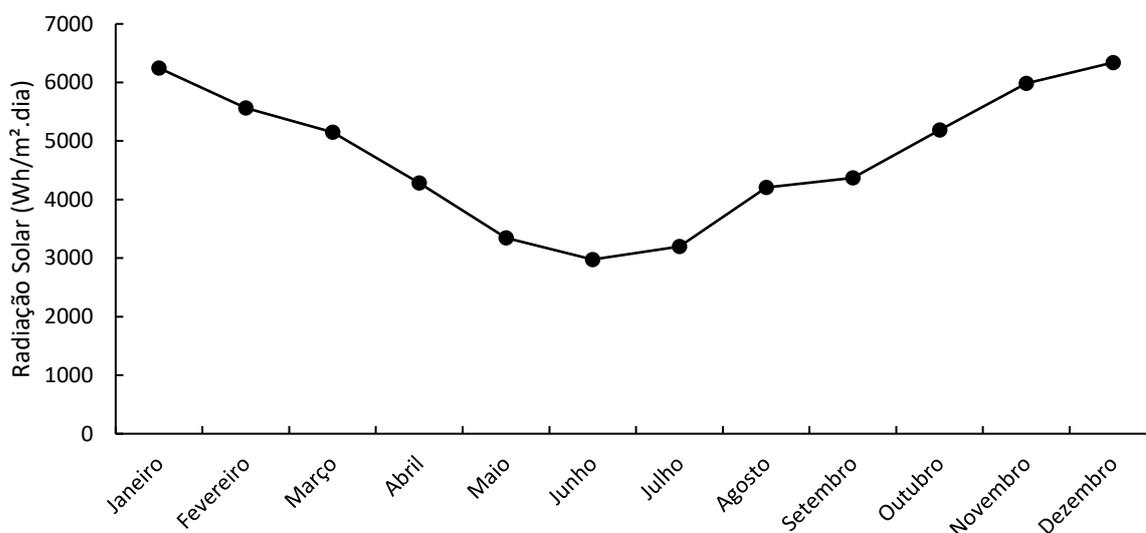
**Tabela 2** Orientação dos telhados

Orientação	Frequência	Representatividade (%)
N	109	16,17
NE - NO	559	82,94
L - O	6	0,89

As edificações com as áreas úteis voltadas para NE ou NO representaram 82,94% das edificações analisadas, com perdas de eficiência fixadas em 8%. 0,89% das edificações apresentaram áreas úteis voltadas para L ou O, com perdas de 20% no potencial de geração, e para N 16,17%, sem perdas de eficiência quanto à orientação, já que é a direção recomendada para a instalação de painéis, no hemisfério Sul (MARINOSKI; SALAMONI; RÜTHER, 2004).

## 5.2 Radiação solar

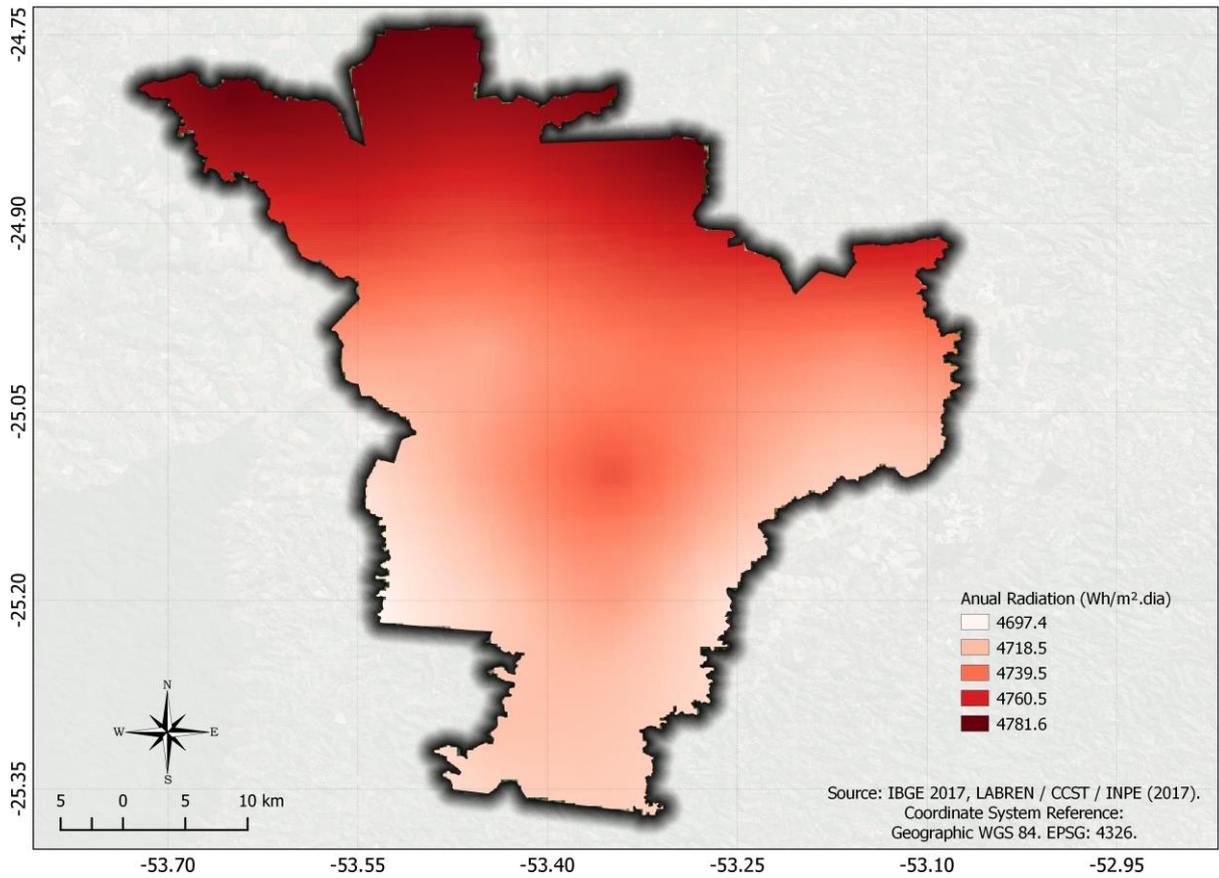
No gráfico da Figura 10, visualiza-se o comportamento da radiação solar no município de Cascavel - PR. Observa-se que o início e o final do ano se caracterizam pela maior incidência de radiação solar. Esse comportamento está, principalmente, relacionado ao movimento da Terra ao redor do Sol, que promove a incidência desuniforme de radiação no planeta (KAMBEZIDIS, 2018).



**Figura 10** Comportamento temporal da radiação solar no município de Cascavel - PR.

Fonte: LABREN, CCST e INPE (2017).

Os dados destacados no gráfico da Figura 10 correspondem às médias de radiação para todo o município. No mapa da Figura 11, visualiza-se o comportamento espacial da radiação solar anual no município, discriminando e evidenciando a variação entre valores de radiação *pixel a pixel*, como são disponibilizados todos os dados de radiação utilizados neste trabalho, no qual se observa maior incidência de radiação solar nas áreas ao Norte do município. A variação na incidência é de 143 Wh/m<sup>2</sup> e ocorre devido à variação de latitude na extensão municipal, pois a incidência de radiação solar tende a aumentar com a aproximação à Linha do Equador (FOUAD; SHIHATA; MORGAN, 2017).

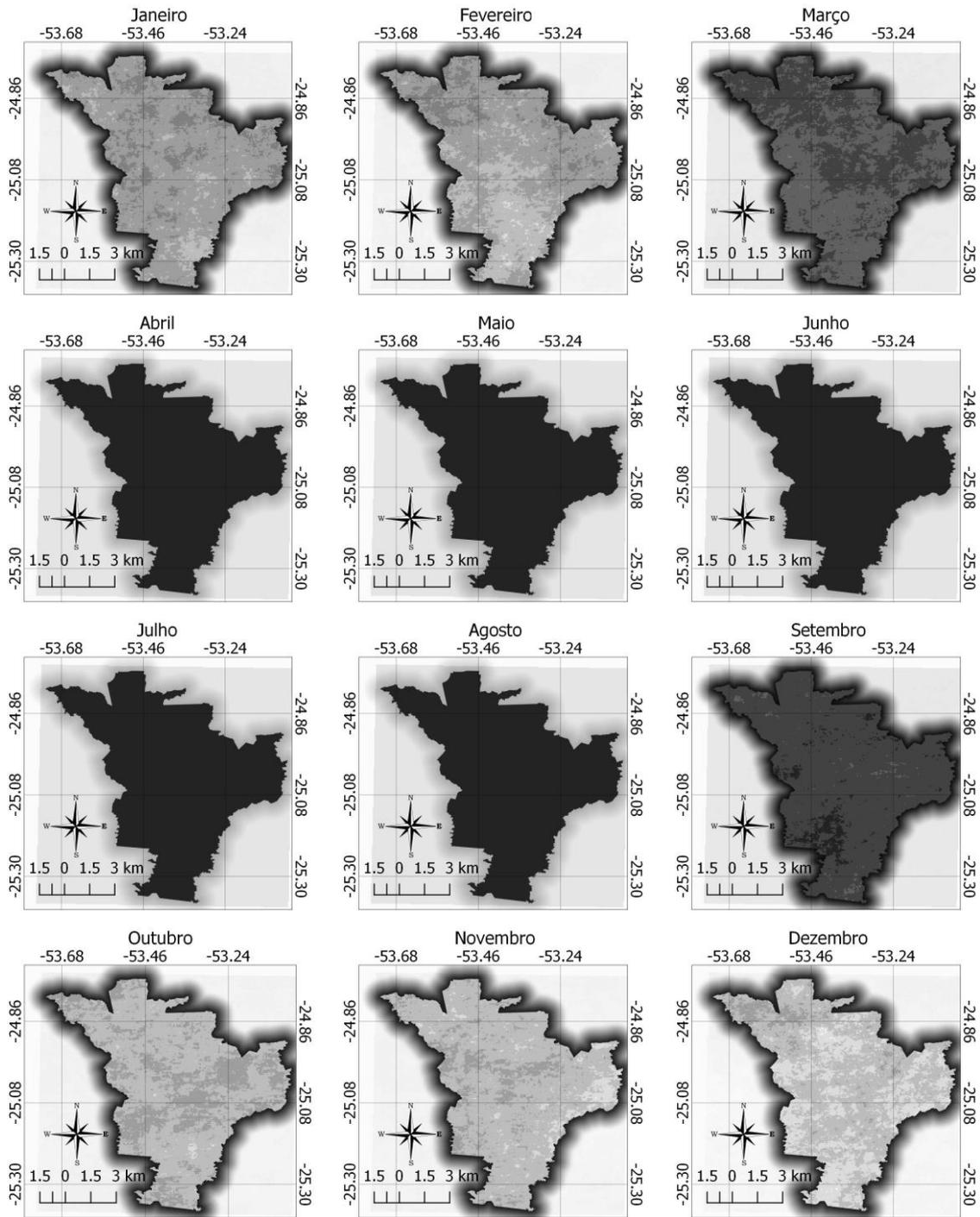


**Figura 11** Distribuição espacial da radiação solar anual em Cascavel - PR.

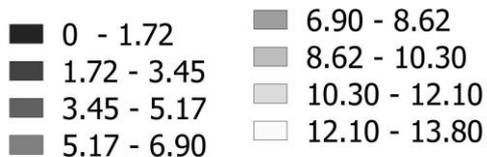
Fonte: LABREN, CCST e INPE (2017).

### 5.3 Determinação da cobertura de nuvens

O cálculo *pixel a pixel* das cenas MODIS, para cálculo do índice de cobertura de nuvens, resultou nos dados apresentados nos mapas da Figura 12.



#### Cobertura de nuvens (%)



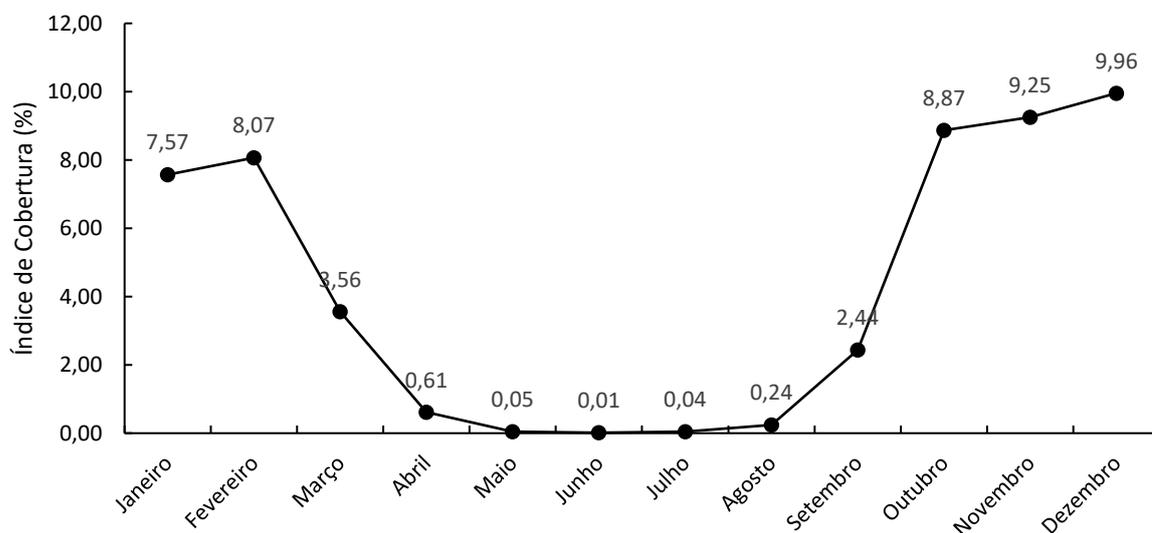
Base Cartográfica: IBGE, 2017; MODIS, 2008 - 2018.  
Sistema de Referência de Coordenadas: Geográfico,  
WGS 84. EPSG: 4326.

**Figura 12** Classificação temporal do índice de cobertura de nuvens em Cascavel - PR.

Fonte: O autor.

Observa-se que a cobertura de nuvens, conforme se visualiza nos mapas da Figura 12, tem maiores índices no início e no final do ano e não apresenta padrões na distribuição

espacial de cobertura, como esperado para esse tipo de fenômeno, que é dependente das condições atmosféricas, que se apresenta como um sistema complexo e de difícil padronização em escala regional (NOURI et al., 2019). Esse comportamento pode ser mais bem observado no gráfico da Figura 13, em que está apresentado o perfil da cobertura de nuvens ao longo do ano.



**Figura 13** Comportamento temporal do índice de cobertura de nuvens.

Fonte: O autor.

Nos valores médios de índice de cobertura de nuvens (Figura 13), verifica-se queda na presença de nuvens de março a junho, tornando a aumentar a partir do final do mês de agosto e início de setembro, quando a temperatura volta a subir, com o fim do inverno. Esses dados corroboram Santos e Bassegio (2011), que determinaram que o período chuvoso no município de Cascavel - PR vai de outubro à fevereiro, e os meses mais secos, de julho à setembro. Vale ressaltar que essa diferença entre períodos pode ser explicada devido ao intuito da pesquisa proposta. A incidência de precipitação é um evento, logicamente, dependente da presença de nuvens, já a presença de nuvens pode ocorrer sem que haja precipitação.

Um fator limitante, no que diz respeito à determinação de cobertura de nuvens em pequenas áreas, como é o caso dos telhados avaliados nesta pesquisa, é a resolução espacial das imagens de satélite e têm limitação similar se comparados a métodos convencionais de estimativa de cobertura, como imagens de câmera *All Sky*, que determinam presença de nuvens a partir do solo. Luiz et al. (2018) utilizaram imagens do *Geostationary Operational Environmental Satellite Monitoring South America (GOES-East)*, com resolução espacial de 1, 4 e 8 Km, de acordo com o comprimento de onda, para a determinação de cobertura de nuvens em Cachoeira Paulista e concluíram que a resolução

espacial foi determinante para a detecção de grandes aglomerados de nuvens, baixando a eficiência de detecção quando se trata de pequenos fragmentos.

#### 5.4 Geração de energia

Na Tabela 3 está apresentado o resultado de estatística descritiva da eficiência dos painéis homologados no INMETRO.

**Tabela 3** Estatística descritiva da eficiência de módulos fotovoltaicos

Parâmetro	Eficiência (%)
Média	15,65
Mediana	15,70
Desvio Padrão	1,11
Mínimo	9,70
Máximo	20,80
Contagem	766

Fonte: INMETRO (2017).

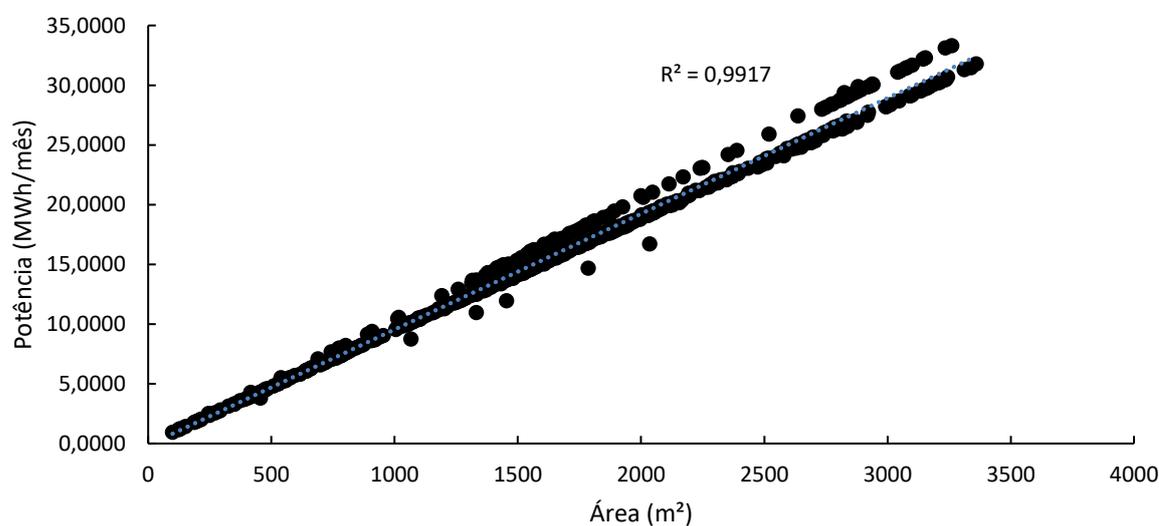
Os dados disponibilizados pelo INMETRO caracterizam 766 módulos fotovoltaicos pertencentes à classe de eficiência 'A', compostos por Silício Policristalino, Silício Monocristalino e Filmes, com eficiências variando de 9,7 a 20,8%, de acordo com o fabricante. A média utilizada, observada para fins de cálculo de potencial, é de 15,65%. Informação que já havia sido encontrada por Teo, Lee e Hawlader (2012) e Praveen e Vijayaramaraju (2017). Esses pesquisadores afirmam que, relativamente à eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos, somente cerca de 15% a 20% da radiação, pode ser convertida em eletricidade.

A partir dos dados de área útil de cobertura, eficiência dos inversores, orientação dos telhados, radiação solar e eficiência dos painéis, obteve-se o potencial de geração de energia solar fotovoltaica para cada uma das edificações; os dados estatísticos estão apresentados na Tabela 4.

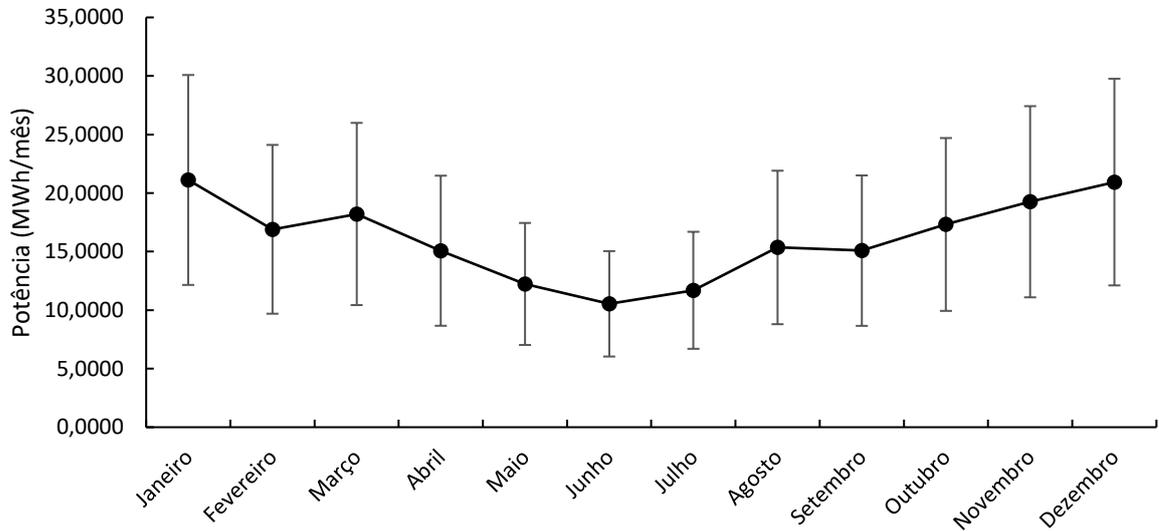
**Tabela 4** Estatística descritiva do potencial de geração (MWh/mês)

Mês	Média	Erro padrão	Mediana	Desvio padrão	CV (%)
Janeiro	21,1163	0,3453	20,0364	8,9650	43
Fevereiro	16,9030	0,2777	16,0199	7,2090	43
Março	18,2117	0,2997	17,2591	7,7803	43
Abril	15,0737	0,2468	14,3428	6,4084	43
Mai	12,2357	0,2007	11,5767	5,2098	43
Junho	10,5410	0,1734	9,9568	4,5017	43
Julho	11,6937	0,1925	11,0338	4,9968	43
Agosto	15,3532	0,2525	14,5690	6,5544	43
Setembro	15,0802	0,2475	14,2585	6,4243	43
Outubro	17,3165	0,2843	16,3969	7,3816	43
Novembro	19,2576	0,3144	18,2209	8,1632	42
Dezembro	20,9352	0,3399	19,8718	8,8234	42

Os desvios-padrão apresentaram grandes amplitudes em relação à média e os coeficientes de variação de, aproximadamente, 42% em todos os meses, indicam uma dispersão muito alta dos dados em relação à média (PIMENTEL-GOMES, 2009). Essa dispersão ocorre porque o potencial de geração de energia tem correlação direta com a área disponível para a instalação dos painéis, como se verifica no gráfico da Figura 14 (LANGE, 2012).

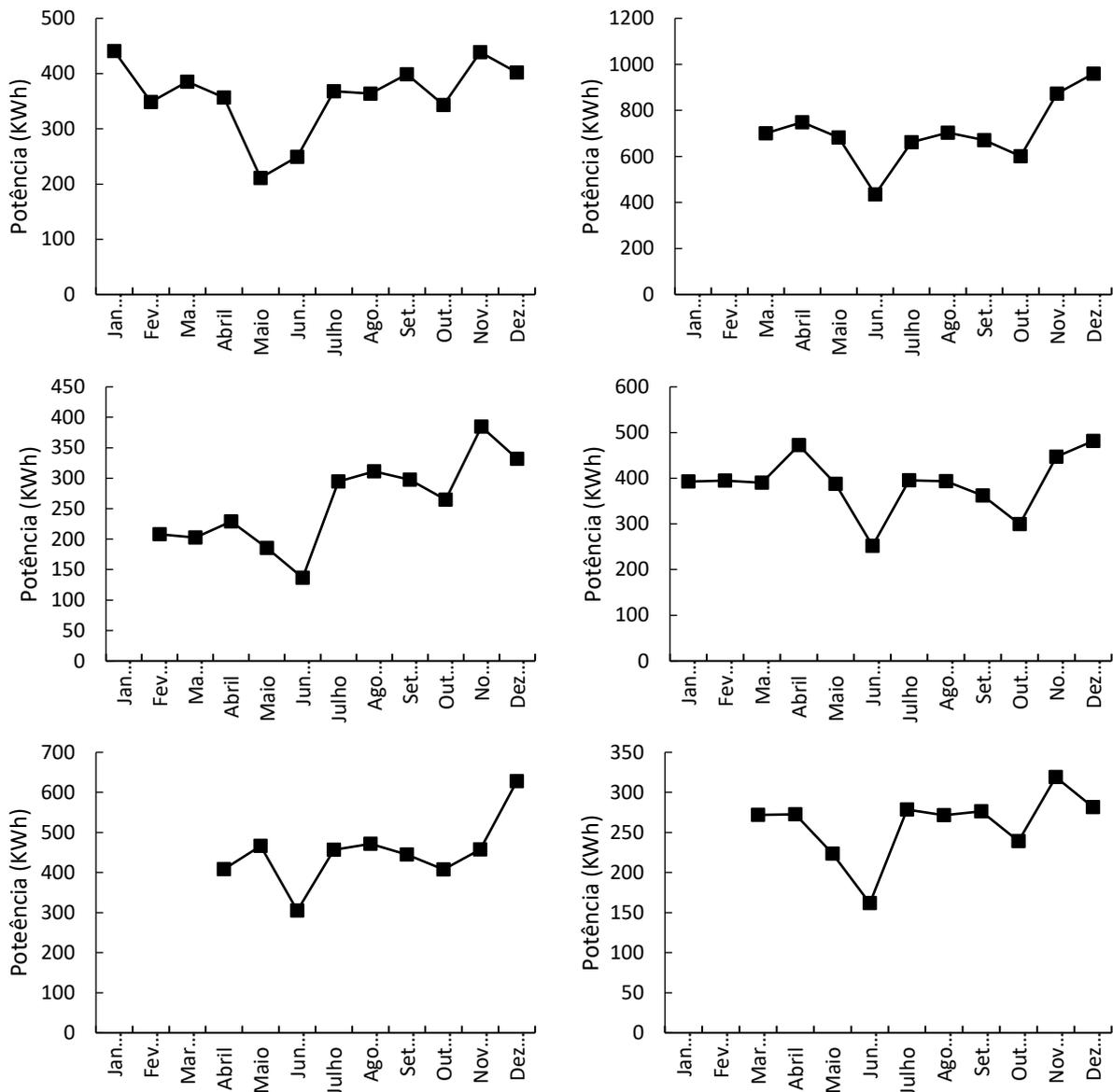
**Figura 14** Correlação entre área e potencial de geração.

Para melhor visualização do perfil de geração, os potenciais médios mensais de geração de energia das edificações, com seus respectivos desvios, são apresentados no gráfico da Figura 15.



**Figura 15** Potencial médio de geração de energia.

Nos gráficos que formam a Figura 16, observa-se que o comportamento geral se assemelha ao dos dados medidos em módulos fotovoltaicos instalados em diversos pontos do município de Cascavel - PR, com maiores potenciais de geração no início e final do ano. Os valores de geração de energia não são comparáveis, somente o comportamento, pois cada dado se refere a uma configuração diferente de sistema.



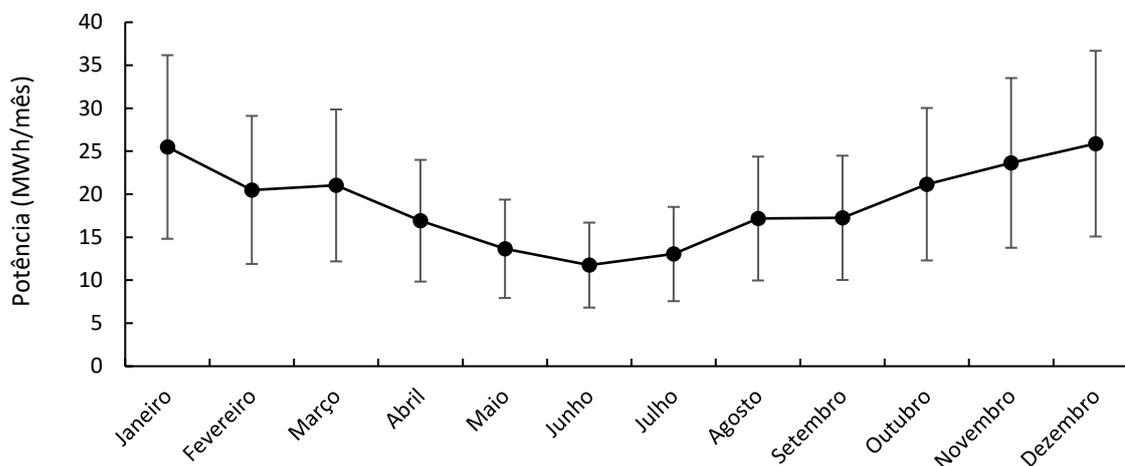
**Figura 16** Perfil temporal da geração de energia fotovoltaica de diferentes módulos no município de Cascavel - PR.

Fonte: Adaptado de PELPER (2018).

Cabe a ressalva de que o comportamento observado no gráfico da Figura 15 é menos acentuado em sua variação. Esse comportamento pode ser explicado em função de se tratarem de valores médios de todos os telhados abordados neste estudo.

O fator temporal das imagens utilizadas neste trabalho, de duas imagens diárias, também exerce influência na acentuação das variações, enquanto os dados levantados pela empresa, que são apresentados para via de comparação, são coletados a cada 5 (cinco) minutos, logo, a interferência de massas de nuvens em um curto espaço de tempo se torna mais evidente. Outro aspecto que pode causar interferência na geração é a sujidade dos painéis, que é outro fator limitante (LU; ZHANG, 2018).

Para a visualização do efeito das perdas no sistema, foi calculado o potencial teórico, considerando-se apenas a irradiação, a eficiência do painel e a área útil, conforme apresentado no gráfico da Figura 17.



**Figura 17** Potencial teórico médio de geração de energia elétrica e seus desvios-padrão.

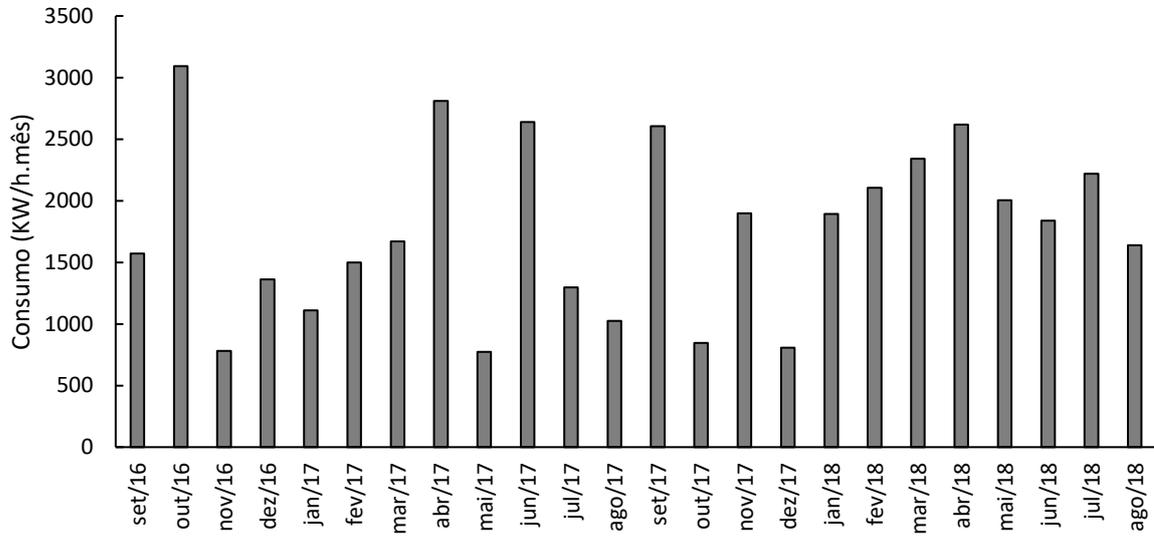
Fonte: Do autor.

Apesar de o comportamento similar ao potencial técnico, atribuído principalmente às áreas úteis, que são as mesmas, observa-se uma nítida variação de escala de geração, que apresentou, em média, 2,82 MWh/mês a mais de diferença.

## 5.5 Balanço energético e microrredes

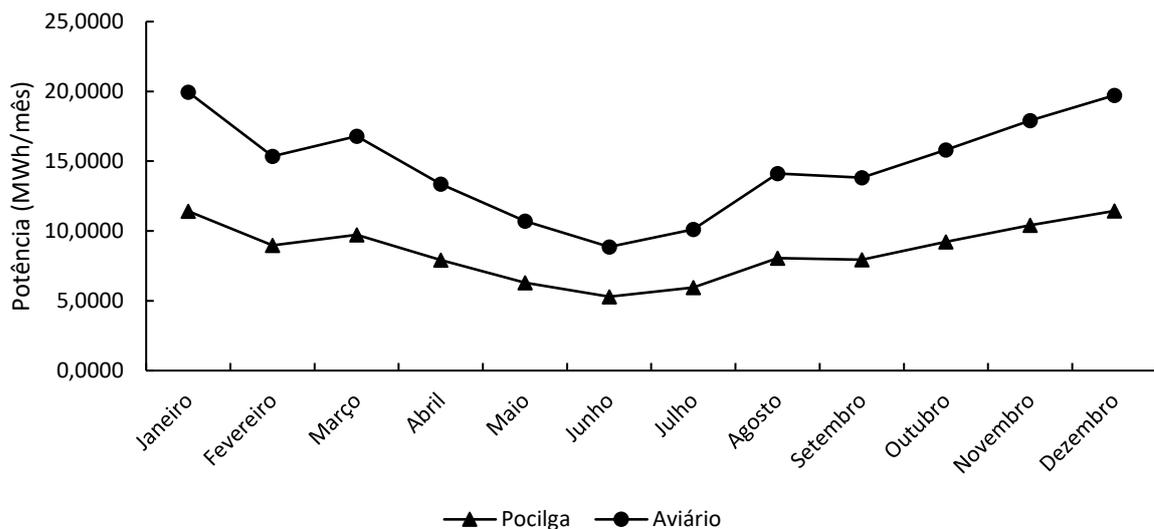
No gráfico da Figura 18, verifica-se a variação no consumo de energia em aviários da região de Cascavel - PR, tendo influência econômica no processo, embargos de exportação de carne, por exemplo, o que culminou na seleção dos maiores valores de consumo, em períodos mais frios e mais quentes do ano, a fim de verificar o balanço energético, considerando o cenário mais crítico do processo produtivo e pressupondo a capacidade máxima de alojamento de animais, no que concerne ao consumo de energia elétrica. Portanto, para aviários adotou-se o consumo de 3092 KWh para os meses quentes (de outubro a abril), e 2640 KWh nos meses mais frios (de maio a setembro); para as pocilgas o valor máximo encontrado foi de 800 KWh. Essa diferença de consumo entre pocilgas e aviários se pauta na menor necessidade de controle térmico em pocilgas, visto que a

sensibilidade ao controle ambiental térmico é maior na avicultura, podendo até mesmo acarretar em mortalidade animal (ABREU; ABREU, 2001).



**Figura 18** Consumo médio mensal de energia elétrica em aviários no município de Cascavel - PR.

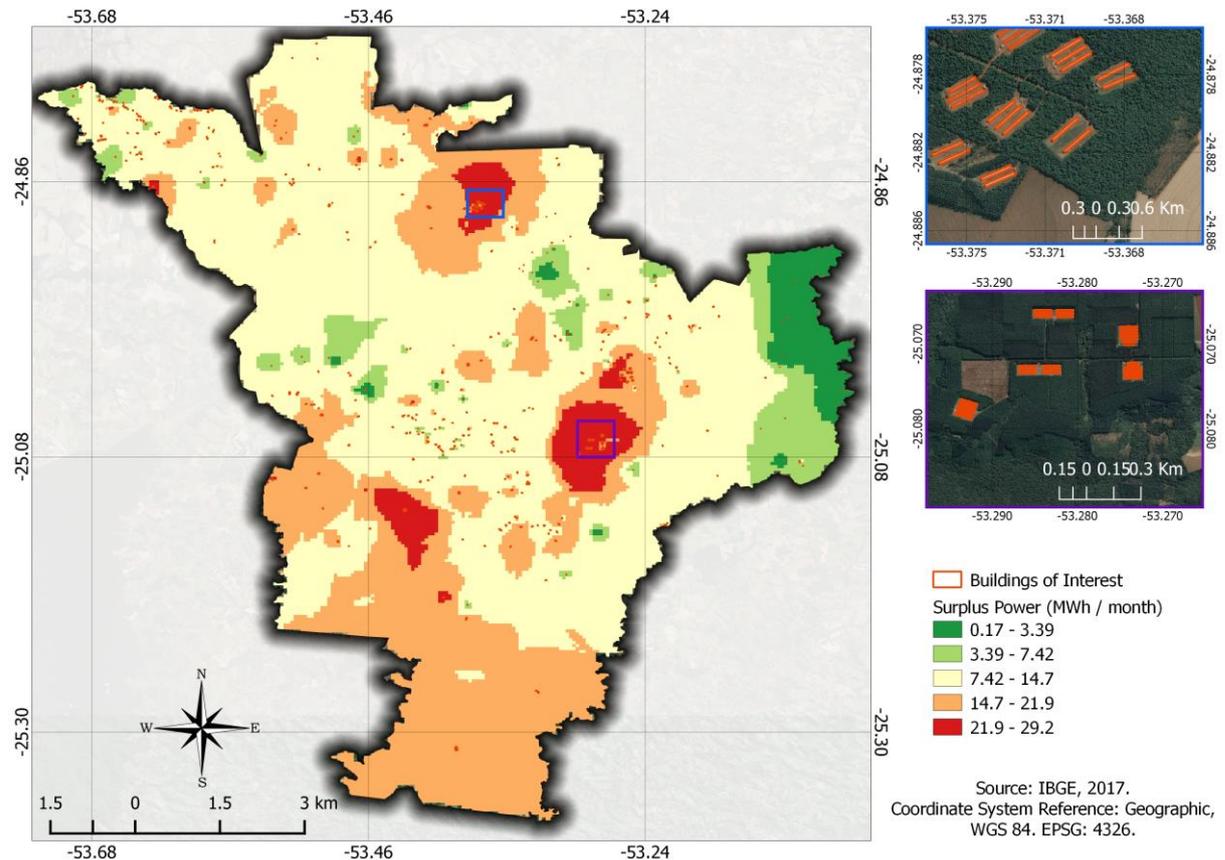
No gráfico da Figura 19, visualizam-se as potências excedentes de geração de energia resultantes, do balanço entre geração e consumo médios, para pocilgas e aviários. Os aviários apresentaram maiores excedentes de energia, visto que possuem maiores áreas úteis.



**Figura 19** Excedente de geração de energia para aviários e pocilgas.

Fonte: O autor.

A variação do potencial excedente médio anual foi de 8,56 MWh/mês para pocilgas, e 14,71 MWh/mês para aviários, evidenciando um grande potencial infimamente explorado na região. Contudo, o agrupamento dos valores individuais e interpolação espacial desses dados, resultaram nos dados de distribuição de potencial apresentados no mapa da Figura 20.



**Figura 20** Distribuição espacial do potencial de geração de energia excedente.

Fonte: O autor.

No mapa da Figura 20 visualizam-se as áreas nas quais se encontram os maiores excedentes potenciais do balanço energético para a região rural do município de Cascavel - PR. O conhecimento dessas áreas é importante como meio de economia de recursos na busca de locais propícios a campo e viabiliza o enfoque na prospecção de outras fontes de energia, pois o modelo de geração por microrredes pressupõe a geração combinada de diversas fontes, a fim de uma suprir as limitações da outra, possibilitando menor perda de carga, posto que a distância entre gerador e carga são menores, assim acarretando menos perdas na transmissão (NUMMINEN; LUND, 2019).

Foram identificadas seis áreas com adensamento de edificações com potencial variando entre 21,9 MWh/mês e 29,2 MWh/mês, os maiores potenciais de excedentes de energia. As menores produções excedentes foram identificadas na região Leste, do município.

Dois outros pontos foram identificados mais ao Sul, entretanto, nessa região, existe um espaço maior entre as propriedades rurais, o que não coloca essas áreas entre as prioritárias para a realização de um estudo mais aprofundado e possível viabilização da implementação de microrredes.

## 6 CONCLUSÕES

Considerando as condições e os objetivos estabelecidos para esta pesquisa, os resultados alcançados permitem concluir que:

1. O estudo do potencial de geração de energia solar fotovoltaica permitiu quantificar o vasto potencial não explorado na região, que pode ser uma alternativa ao aumento da demanda por parte do setor agroindustrial do Oeste do Paraná;
2. A utilização de geotecnologias possibilitou a identificação das áreas disponíveis para instalação de sistemas de geração de energia, bem como propiciou a detecção de perdas percentuais de geração por obstrução da radiação por nuvens e a espacialização dos potenciais de geração excedente a ser distribuída da rede de transmissão de energia elétrica. Contudo, o processo de delimitação manual dos telhados se mostrou trabalhoso e demandou muito tempo, porém a limitação de *hardware* se mostrou um empecilho maior, no impedimento da utilização de técnicas de classificação automáticas e semiautomáticas, em virtude do grande volume de dados contidos na imagem Plêiades, devido à altíssima resolução espacial;
3. A utilização de algoritmos para a aquisição e processos repetitivos se mostrou vantajosa, no que concerne à economia de tempo demandado para a realização do mesmo processo de forma manual;
4. A utilização de fatores limitantes da geração de energia, promove maior aproximação do cenário encontrado no local de implementação, viabilizando a tomada de decisões mais assertivas, em relação a investimentos no setor;
5. A espacialização dos dados de geração de energia, bem como o excedente do consumo, fornece base de dados georreferenciada para adoção de medidas para a melhoria da distribuição de energia, bem como a busca por mecanismos de controle de carga, que é facilitado quando a configuração da rede é menor que as convencionais.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta pode ser replicada para outras localidades, visto que existe base de dados para todo o território nacional de valores de incidência de radiação solar. Também vale destacar a relevância da continuidade deste trabalho, no levantamento do potencial de outras fontes renováveis de energia para que se possa viabilizar a implementação de microrredes inteligentes nas áreas de maior potencial indicadas.

O índice de cobertura por nuvens poderia ter um resultado mais apurado com intervalo de tempo menor entre as imagens, contudo esse fator está sujeito a limitações de *hardware*, no tocante à capacidade de processamento de dados, o que pode tornar a determinação do índice, onerosa. Ainda assim, houve concordância com os períodos de maior e menor ocorrência de nuvens estabelecidos na literatura, o que evidencia o potencial da metodologia proposta.

Este trabalho possibilitou a construção de uma base de dados com potenciais de produção individual para cada estabelecimento rural, o que viabiliza a adoção de medidas estratégicas por parte do poder público, como a criação de incentivos para a aquisição de equipamentos fotovoltaicos ou mecanismos de redução de custos, visto que a tecnologia disponível ainda é dispendiosa.

## REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa - MG, v. 40, n. 256, p. 1-14, 2011.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Diagnóstico bioclimático: qual sua importância na produção de aves. **Avicultura Industrial**, Itu - SP, n. 1093, p. 16-20, 2001. Disponível em: <<http://www.aviculturaindustrial.com.br>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília - DF, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76. 19 abr. 2012.

AGHAJANI, G.; GHADIMI, N. Multi-objective energy management in a micro-grid. **Energy Reports**, v. 4, p. 218–225, 1 nov. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484717301154>>. Acesso em: 7 maio. 2018.

ALMEIDA, A. S.; Werneck, G. L.; Resendes, A. P. C. Classificação orientada a objeto de imagens de sensoriamento remoto em estudos epidemiológicos sobre leishmaniose visceral em área urbana. **Cad Saude Publica**, v. 30, n. 8, p. 1639-53, 2014.

ALONSO, L.; BERNAL, M.; CAMARGO, G. Influencia de los materiales cerámicos en colectores solares de placa plana para precalentamiento de agua en procesos agroindustriales. **Mutis**, v. 5, p. 55–66, 2016.

ANDRADE, M. G.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; DIETER, J.; SATO, M.; HERMES, E.; MERCANTE, E.; TOKURA, L. K. Statistical quality control for the evaluation of the uniformity of microsprinkler irrigation with photovoltaic solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 743–753, 1 out. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117306469>>. Acesso em: 9 maio. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (Brasil). **Relatório Anual ABPA**. 2017. Disponível em: <[http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c\\_final\\_abpa\\_relatorio\\_anual\\_2016\\_portugues\\_web\\_reduzido.pdf](http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web_reduzido.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2018.

AUGUSTO FILHO, O. A. Sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia ambiental. *In*: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental**. [s.l.: s.n.] p. 643–667, 2013.

BAKHTIARI, H. R. R.; ABDOLLAHI, A.; REZAEIAN, H. Semi automatic road extraction from digital images. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 20, n. 1, p. 117–123, 1 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982317300820>>. Acesso em: 29 maio. 2018.

BARELLI, L. BIDINI, G. BONUCCI, F. OTTAVIANO, A. Residential micro-grid load management through artificial neural networks. **Journal of Energy Storage**, v. 17, p. 287-298, 1 jun. 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X17305716#fig0030>>. Acesso em: 8 maio 2018.

BAYRAK, F.; ERTÜRK, G.; OZTOP, H. F. Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 58–69, 15 out. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617312799>>. Acesso em: 27 maio. 2018.

BRASIL. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. 2017a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/abate/parana>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Energia**. 2017b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

CALAUDI, R.; LO FEUDO, T.; CALIDONNA, C. R.; SEMPREVIVA, A. M. Using remote sensing data for integrating different renewable energy sources at coastal site in south Italy. **Energy Procedia**, v. 97, p. 172–178, 1 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216310049>>. Acesso em: 3 maio 2018.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. **Análise espacial de dados geográficos**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos - SP, v. 2, 2002.

CARVALHO, H. G. Planejamento e análise do recurso mão-de-obra em projetos de instalações de suínos. 2009. 91 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - Ufla**. Lavras, 2009.

CARVALHO, T. B. Estudo da elasticidade-renda da demanda de carne bovina, suína e de frango no Brasil. 2007. 90 f. **Dissertação (Mestrado) - Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz"**. Piracicaba, 2007

CHAN, D.; CAMERON, M.; YOON, Y. Key success factors for global application of micro energy grid model. **Sustainable Cities and Society**, v. 28, p. 209–224, 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670716303237>>. Acesso em: 8 maio 2018.

CHENG, L. LI, S.; XU, H.; LIU, X.; MAO, J.; RUAN, X.; LI, M. Calculating potential of solar energy and CO2 emissions reduction for city-scale buildings based on 3D remote sensing technologies. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, p. 612–632, 1 maio 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425718300956>>. Acesso em: 2 maio. 2018.

COLLIN, A. HENCH, J. L.; PASTOL, Y.; PLANES, S.; THIAULT, L.; SCHMITT, R. J.; HOLBROOK, S. J.; NEIL DAVIES, N.; TROYER, M. High resolution topobathymetry using a Pleiades-1 triplet: Moorea Island in 3D. **Remote Sensing of Environment**, v. 208, p. 109-119, 1 abr. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442571830021X>>. Acesso em: 29 maio. 2018.

COSTA, R. B. Dark House: mais barato que o convencional. <http://www.aviculturaindustrial.com.br/PortalGessulli/WebSite/Noticias/dark-house-mais-barato-que-oconvencional>, v. 31686, p. 20081118094055, 2008.

DANTAS, G. A. CASTRO, J. N.; DIAS, L.; ANTUNES, C. H.; VARDIERO, P.; BRANDÃO, R.; ROSENAL, R.; ZAMBONI, L. Public policies for smart grids in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 501–512, set. 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118303071>>. Acesso em: 9 maio. 2018.

EDMONDS, M. S.; ARENTSON B. E.; MENTE G. A. Effect of protein levels and space allocations on performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 814-821, 1 mar. 1998. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jas/articleabstract/76/3/814/4625203?redirectedFrom=PDF>>. Acesso em 25 março. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Suínos e aves. Central de Inteligência de Aves e Suínos. **ICP Frango/ICP Suíno/Embrapa - Portal Embrapa**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/suinos-e-aves/cias/estatisticas>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

ENCALADA, J. P. Reducción de costos en el calentamiento de agua en Ecuador , a través de la sustitución de calefones con uso de GLP por sistemas de energía solar térmica. **Escuela de Ingeniería Industrial** - Facultad de Ingeniería Industrial, p. 0-3, 2007.

FOUAD, M. M.; SHIHATA, L. A.; MORGAN, E. I. An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 1499–1511, 1 dez. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117307803>>. Acesso em: 2 maio 2018.

GARCIA, S. B. Projeto e construção de um forno para processamento de células solares. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/3342>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

GIRON, E.; OPAZO, M.; ROCHA JUNIOR, W.; GIMENES, R. Aplicação do controle estatístico de processo em uma empresa do setor avícola. **Revista de Administração e Inovação - RAI**, v. 10, n. 4, p. 38–62, 1 out. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1809203916302807>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

Hauschild, L. (2006) Evaluation of Operational Strategies of Hybrid Photovoltaic Wind-Diesel Systems. **Master Dissertation**, Energy, Universidade de São Paulo (USP), 117 p.

Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia INMETRO. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA - MÓDULOS - Edição 2017**. 2017. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acesso em: 22 maio 2018.

JAMALY, M.; KLEISSL, J. Robust cloud motion estimation by spatio-temporal correlation analysis of irradiance data. **Solar Energy**, v. 159, p. 306–317, 1 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X17309556>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

JARDIM, C. S.; SALAMONI, I.; RUTHER, R; Knob, P.; Diniz, A. S. C. O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em áreas urbanas: dois estudos de caso. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 5., 2004, Campinas. Proceedings online. Disponível em:

<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022004000200029&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200029&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 30 Apr. 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2a. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

JIA, K.; LIANG, S.; ZHANG, L.; WEI, X.; YAO, Y.; XIE, X. Forest cover classification using Landsat ETM+ data and time series MODIS NDVI data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 33, p. 32–38, 1 dez. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414001056>>. Acesso em: 28 maio. 2018.

KAMBEZIDIS, H. D. The solar radiation climate of Athens: variations and tendencies in the period 1992–2017, the brightening era. **Solar Energy**, v. 173, p. 328–347, 1 out. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18307400>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

LANGE, W. J. Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico. **TerraGis**, Rio de Janeiro, 2012.

LIMA, J. F.; ALVES, L. R. **Cooperativismo e desenvolvimento rural no Paraná do agronegócio**. 2011. Disponível em: <[http://files.luciralves.com/200000041-5598056904/Cooperativismo e desenvolvimento rural no Paraná do agronegócio.pdf](http://files.luciralves.com/200000041-5598056904/Cooperativismo_e_desenvolvimento_rural_no_Paran%C3%A1_do_agroneg%C3%B3cio.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2018.

LÓPEZ GARCÍA, J.; MOLINA, J. P.; DELGADO, L. M.; HIGUERA, A. P. Monitoring changes of forest canopy density in a temperate forest using high-resolution aerial digital photography. **Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía**, n. 90, p. 59–74, 1 ago. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S018846111630036X>>. Acesso em: 3 maio. 2018.

LU, H.; ZHANG, L. Numerical study of dry deposition of monodisperse and polydisperse dust on building-mounted solar photovoltaic panels with different roof inclinations. **Solar Energy**, v. 176, p. 535–544, 1 dez. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18310478>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

LUIZ, E. W.; MARTINS, F. R.; COSTA, R. S.; PEREIRA, E. B. Comparison of methodologies for cloud cover estimation in Brazil - A case study. **Energy for Sustainable Development**, v. 43, p. 15–22, 1 abr. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082617311481>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CLACS; ENTAC, 2004. ISBN 85-89478-08-4.

MOHAJERI, N. ASSOULINE, D.; GUIBOUD, B.; BILL A.; GUDMUNDSSON, A.; SCARTEZZINI, J. A city-scale roof shape classification using machine learning for solar energy applications. **Renewable Energy**, v. 121, p. 81–93, 1 jun. 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117313009>>. Acesso em: 28 maio. 2018.

MOLIN, José Paulo; DO AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 3. ed. Viçosa: **Editora Ufv**, 2007. 320 p.

NOURI, B. KUHN, P.; WILBERT, S.; HANRIEDER, N.; PRAHL, C.; ZARZALEJO, L.; KAZANTZIDIS, A.; BLANC, P.; PITZ-PAAL, R. Cloud height and tracking accuracy of three all sky imager systems for individual clouds. *Solar Energy*, v. 177, p. 213–228, 1 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18310570>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

NUMMINEN, S.; LUND, P. D. Evaluation of the reliability of solar micro-grids in emerging markets – Issues and solutions. **Energy for Sustainable Development**, v. 48, p. 34–42, 1 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082618311797>>. Acesso em: 16 jan. 2019.

PARANÁ. ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARANÁ. **Lei nº 378, de 2015**. Institui benefícios para incentivar o aproveitamento de energia elétrica produzida por microgeradores e minigeradores. Curitiba, PR, 17 maio 2018. Disponível em: <[http://portal.alep.pr.gov.br/modules/mod\\_legislativo\\_arquivo/mod\\_legislativo\\_arquivo.php?leiCod=55447&tipo=l](http://portal.alep.pr.gov.br/modules/mod_legislativo_arquivo/mod_legislativo_arquivo.php?leiCod=55447&tipo=l)>. Acesso em: 20 maio 2018.

PELPER. **Sistemas FV**. 2018. Disponível em: <[http://www.pelper.com.br/page\\_24.html](http://www.pelper.com.br/page_24.html)>. Acesso em: 26 dez. 2018.

PENG, H. KAN, Z.; ZHAO, D.; HAN, J.; LU, J. HU, Z. Reliability analysis in interdependent smart grid systems. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 500, p. 50–59, 15 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437118301043>>. Acesso em: 9 maio 2018.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. Disponível em: <[http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas\\_solar.html](http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html)>. São José dos Campos : INPE, 2017. 64 p.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 395 p.

PINTO, A.; ZILLES, R.; ALMEIDA, M. Eficiência brasileira de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. **ASADES: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 15, 2011.

PRAVEEN, J.; VIJAYARAMARAJU, V. Materials for optimizing efficiencies of solar photovoltaic panels. **Materials today: proceedings**, v. 4, n. 4, p. 5233–5238, 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531730740X>>. Acesso em: 9 maio. 2018.

QUINIOU, N.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. **Livestock Production Science**, v. 63, n. 3, p. 245–253, 1 maio 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622699001359>>. Acesso em: 29 maio. 2018.

RICHETTI, A. MELO FILHO, G. A.; FERNANDES, F. M. Sistema integrado de produção de frango de corte em área de assentamento de reforma agrária. 2002. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38323/1/DOC44.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

RODRIGUES, W. MORAIS, M. R.; CRUZ, F.V.; ALMEIDA, A. Competitividade do sistema agroindustrial do frango de corte no Tocantins: o caso da empresa Frango Norte. **REGE - Revista de Gestão**, v. 18, n. 2, p. 195–209, 1 abr. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1809220761633666>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

ROESE, A. D.; ROMANI, R. D.; FURLANETTO, C.; STANGARLIN, J. R.; PORTZ, R. L. Levantamento de doenças na cultura da soja, *Glycine max* (L.) Merrill, em municípios da região Oeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá - PR, v. 23, n. 5, p. 1296–1297, 2001. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/277034904>>. Acesso em: 30 maio. 2018.

SAKAMOTO, T.; SPRAGUE, D. S.; OKAMOTO, K.; ISHITSUKA, N. Semi-automatic classification method for mapping the rice-planted areas of Japan using multi-temporal Landsat images. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 10, p. 7–17, 1 abr. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938517302173>>. Acesso em: 28 maio 2018.

SALAMONI, I. T. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. 2004. 155 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2004. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0319.pdf>>.

SANTOS, A. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; PELUZIO, T. M. O.; PELUZIO, J. B. E.; QUEIROZ, V. T.; BRANCO, E. R. F.; LORENZON, A. S.; DOMINGUES, G. F.; MARCATTI, G. E.; CASTRO, N. L. M.; TEIXEIRA, T. R.; SANTOS, G. M. A. D. A.; MOTA, P. H. S.; SILVA, S. F.; VARGAS, R.; CARVALHO, J. R.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S.; ALMEIDA, S. L. H. Geotechnology and landscape ecology applied to the selection of potential forest fragments for seed harvesting. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 1050–1063, 1 dez. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716307447>>. Acesso em: 7 fev. 2019.

BEDIN, JANAINA. Evaluation of Energy Consumption in Poultry Dark House, with and without Thermal Insulation: A Case Study in the Region of Palotina, Paraná. 2015. 81 f. **Dissertação (Mestrado em Agroenergia)** - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascavel, 2015.

SANTOS, M. Equipamento do avário em projeto técnico para produção de frangos de corte. **Jornal dia de Campo**, 2009. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/secoes/Home.asp>>. Acesso em: 04 de maio de 2018.

SANTOS, P. A. Potencial Teórico e Técnico de Geração de Energia a Partir de Biomassa e Fotovoltaica para O Estado de São Paulo. 2017. 102 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

DOS SANTOS, DARLISSON Bentes et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 2, p. 7-18, 2012.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D. Comportamento histórico da precipitação e ocorrências de dias secos e chuvosos em Cascavel, Paraná. **Revista Thêma et Scientia, Cascavel**, v. 1, n. 1, p. 30-40, 2011.

SENADO FEDERAL. Congresso. Senado. **PLS nº 167, de 2013**. Reduz alíquotas de tributos incidentes em painéis fotovoltaicos e similares. Brasília, DF, 13 maio 2015. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/112612>>. Acesso em: 20 maio 2018.

SHARMA, S.; BHATTACHARJEE, S.; BHATTACHARYA, A. Probabilistic operation cost minimization of micro-grid. **Energy**, v. 148, p. 1116–1139, 1 abr. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218301920>>. Acesso em: 8 maio 2018.

SINDIAVIPAR - SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE PRODUTOS AVÍCOLAS DO ESTADO DO PARANÁ (Paraná). **Exportação de Carne de Frango**. 2018. Disponível em: <<https://www.sindiaVIPAR.com.br/index.php?modulo=8&acao=detalhe&cod=1018>>. Acesso em: 25 abr. 2018

SMITH, C. J.; BRIGHT, J. M.; CROOK, R. Cloud cover effect of clear-sky index distributions and differences between human and automatic cloud observations. **Solar Energy**, v. 144, p. 10–21, 1 mar. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X16306624>>. Acesso em: 24 dez. 2018.

STUTZ, B. LE PIERRES, N.; KUZNIK, F.; JOHANNES, K.; DEL BARRIO, E. P.; JEAN-PIERRE BÉDÉCARRATS, J.; GIBOUT, S.; MARTY, M.; ZALEWSKI, L.; SOTO, J.; MAZET, N.; OLIVES, R.; BEZIAN, J.; MINH, D. P. Storage of thermal solar energy. **Comptes Rendus Physique**, v. 18, n. 7-8, p. 401–414, 1 set. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070517300646>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

TEO, H. G.; LEE, P. S.; HAWLADER, M. N. A. An active cooling system for photovoltaic modules. **Applied Energy**, v. 90, n. 1, p. 309–315, 1 fev. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911000201>>. Acesso em: 8 set. 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. (Org.). Foreign Agricultural Service. **Data & Analysis**. 2018. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/data/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

VERMOTE, E. F.; VERMEULEN, A. MODIS algorithm technical background document atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/product\\_documentation/atbd\\_mod09.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/product_documentation/atbd_mod09.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2018.

VILLAVICENCIO, J.; MELO, J. D.; FELTRIN, A. P. Estimation of photovoltaic potential on residential rooftops using empirical Bayesian estimator. *In*: 2015 IEEE PES INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES LATIN AMERICA (ISGT LATAM), **Anais...IEEE**, out. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7381161/>>. Acesso em: 11 maio. 2018.

WANG, S.; ZHANG, L.; FU, D.; LU, X.; WU, T.; TONG, Q. Selecting photovoltaic generation sites in Tibet using remote sensing and geographic analysis. **Solar Energy**, v. 133, p. 85–93, 1 ago. 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X16300226>>. Acesso em: 2 maio. 2018.

WANG, Z.; DENG, Y.; FAN, Y. Validation plays the role of a “bridge” in connecting remote sensing research and applications. **Advances in Space Research**, abr. 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0273117718303338>>. Acesso em: 2 maio. 2018.

WARRENS, M. J. Category kappas for agreement between fuzzy classifications. **Neurocomputing**, v. 194, p. 385–388, 19 jun. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231216002721>>. Acesso em: 30 maio. 2018.

YANG, D.; JIRUTITIJAROEN, P.; WALSH, W. M. Hourly solar irradiance time series forecasting using cloud cover index. **Solar Energy**, v. 86, n. 12, p. 3531–3543, 1 dez. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X12003039>>. Acesso em: 24 dez. 2018.

ZAFAR, R.; MAHMOOD, A. RAZZAQ, S. ALI, W.; NAEEM, U.; SHEHZAD, K.; Prosumer based energy management and sharing in smart grid. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1675–1684, 1 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310894>>. Acesso em: 9 maio. 2018.

ZHANG, X. TAN, S. YUSHI, G.; WANG, H. Improvement of MODIS cloud mask over severe polluted eastern China. **Science of The Total Environment**, v. 654, p. 345–355, 1 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718342700>>. Acesso em: 24 dez. 2018.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 208 p.