

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LARISSA YUMI TSUNETO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA EDIFICAÇÕES NO ESTADO DO
PARANÁ, CONSIDERANDO FUTUROS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

PONTA GROSSA

2020

LARISSA YUMI TSUNETO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA EDIFICAÇÕES NO ESTADO DO
PARANÁ, CONSIDERANDO FUTUROS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho
Área de Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

PONTA GROSSA

2020

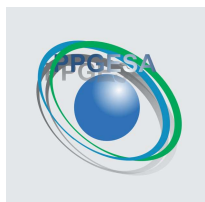
T882 Tsuneto, Larissa Yumi
 Dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial utilizando energia fotovoltaica para edificações no estado do Paraná, considerando futuros cenários de mudanças climáticas / Larissa Yumi Tsuneto. Ponta Grossa, 2020.
 102 f.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental - Área de Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

 Orientador: Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho.

 1. Dimensionamento de reservatórios para água pluvial. 2. Energia solar. 3. Mudanças climáticas. 4. Sustentabilidade. I. Virgens Filho, Jorim Sousa das. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. III.T.

 CDD: 628.4

**CERTIFICADO - 04/2020 - PPGESA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL**
Certificado nº 04/2020 PPGESA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Título da Dissertação: **“DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA EDIFICAÇÕES NO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO FUTUROS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS”.**

Nome: **LARISSA YUMI TSUNETO**

Orientador: **Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho**

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho
UEPG - PR

Prof. Dr. Elcio Silvério Klosowski
UNIOESTE - PR

Prof. Dr. Gustavo Castilho Beruski
FAESB - SP

Ponta Grossa, 29 de outubro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Elcio Silvério Klosowski, Usuário Externo**, em 31/10/2020, às 10:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Castilho Beruski, Usuário Externo**, em 31/10/2020, às 18:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Jorim Sousa das Virgens Filho, Professor(a)**, em 02/11/2020, às 16:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0337631** e o código CRC **474CA598**.

20.000036175-8

0337631v2

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual de Ponta Grossa, à coordenação e a todos os professores do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho, pela grande dedicação e contribuição com seus conhecimentos na orientação deste trabalho, pela confiança em mim depositada e pelo apoio perante todas as dificuldades.

Aos meus pais Mariusa de Freitas Tsuneto e Nelson Akira Tsuneto, por todo amor, apoio, incentivo e suporte oferecido desde o início da minha trajetória.

Aos meus amigos, pelos momentos de descontração e alegria.

À equipe do Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada – LECA, pelo compartilhamento de conhecimentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

A Deus, que cuida de todos os meus passos e me guia pelos melhores caminhos.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar sistemas de captação de água de chuva e sistemas de energia fotovoltaica para três tipos de edificações (uma residência unifamiliar, um edifício multifamiliar e um aviário de frangos de corte) considerando o cenário sob condições meteorológicas atuais e simulações de diferentes cenários de mudanças climáticas projetadas até o final do século. As simulações foram realizadas de acordo com as projeções publicadas no Quinto Relatório do IPCC e pelas tendências locais de alteração na temperatura do ar e no número de dias sem chuva determinadas por análises estatísticas, sendo essas Teste de Mann-Kendall e Análise de Regressão, para verificar a possibilidade de influência sobre os sistemas avaliados. Foram utilizados dados climáticos diários obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia e as simulações foram realizadas utilizando o *software* PGECLIMA_R para oito localidades pertencentes ao Estado do Paraná, sendo essas Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina, Maringá e Paranaguá. Para o dimensionamento dos reservatórios dos sistemas de aproveitamento de água pluvial foram utilizados o Método Prático Brasileiro, o método dos dias sem chuva consecutivos sugerido pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico e a metodologia descrita pela Embrapa. Todas as localidades mostraram a necessidade de aumento do tamanho do reservatório até o final do século para suprir a demanda de água não potável dos respectivos usos. Isso foi evidenciado na simulação do acréscimo do regime anual de chuvas simuladas e alteração na quantidade de dias sem chuva. Além disso, para cada tipo de edificação, uma metodologia de cálculo do reservatório mostrou-se mais coerente. O sistema de energia solar para a residência unifamiliar e para o edifício multifamiliar foi projetado apenas para suprir a demanda referente ao bombeamento da água no sistema de aproveitamento pluvial. Por outro lado, os painéis fotovoltaicos do aviário foram dimensionados para atender além do sistema de bombeamento, também o sistema de iluminação e de controle térmico do ambiente. Em todas as localidades, o sistema de energia fotovoltaica mostrou ser eficiente no atendimento da demanda com percentuais próximos de 100%, evidenciando o fato de que o Paraná possui ótimo potencial para geração de energia fotovoltaica.

Palavras-chave: Dimensionamento de reservatórios para água pluvial. Energia solar. Mudanças climáticas. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate rainwater harvesting systems and photovoltaic energy systems for three types of buildings (a single-family residence, a multifamily building and a broiler house) considering the current climate scenario and simulations of different scenarios of possible climate changes projected until the end of the century. The simulations were realized according to projections published on the IPCC's Fifth Report and by local trends in of changes in air temperature and in the number of days without rain determined by statistical analyzes, which were Regression Analysis and Mann-Kendall Test, to verify the possibility of influence on the evaluated systems. Daily climatic data obtained from the National Meteorological Institute were used and the simulations were realized using the PGECLIMA_R software for eight localities of the State of Paraná, that were Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina, Maringá e Paranaguá. For the dimensioning of the reservoirs of the rainwater harvesting systems were used the Brazilian Practical Method that is mentioned in the NBR 15527:2007, the method of consecutive dry days suggested by the Basic Sanitation Research Program and the methodology described by Embrapa. All localities showed the need to increase the size of the reservoir by the end of the century to supply the demand for non-potable water for the respective uses. This was evidenced in the simulation of the addition on the annual simulated rainfall regime and change in the number of dry days. In addition, for each type of building, a reservoir calculation methodology proved to be more coherent. The solar energy system for the single-family residence and for the multifamily building was designed only to supply the demand of the rainwater harvesting system. On the other hand, the photovoltaic panels of the aviary were dimensioned to supply not only the pumping system, but also the lighting and thermal control system of the environment. In all localities, the photovoltaic energy system proved to be efficient in meeting demand with percentages close to 100%, evidencing the fact Paraná has great potential for photovoltaic energy generation.

Keywords: Sizing of rainwater reservoirs. Solar energy. Climate changes. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Localidades selecionadas no Estado do Paraná	28
Figura 2.2 -	Layout representativo do sistema	30
Figura 2.3 -	Médias da precipitação acumulada anual. A linha pontilhada representa a média histórica, a preta o C1, a vermelha o C2 e a linha azul mostra o C3	35
Figura 2.4 -	Porcentagem de aumento da precipitação considerando o fim do século.....	36
Figura 2.5 -	Volumes dos reservatórios. A linha pontilhada representa o histórico, a preta o C1, a vermelha o C2 e a linha azul mostra o C3	37
Figura 2.6 -	HSP média mensal e média de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos	39
Figura 2.7 -	Percentual de atendimento da demanda de energia elétrica.....	41
Figura 3.1 -	Localidades selecionadas no Estado do Paraná	46
Figura 3.2 -	Layout representativo do sistema	50
Figura 3.3 -	Médias da precipitação acumulada anual. A linha pontilhada representa a tendência média histórica, a preta o C1, a vermelha o C2 e a linha azul mostra o C3.....	57
Figura 3.4 -	Porcentagem de aumento da precipitação até o fim do século em relação ao histórico para os três cenários avaliados (C1, C2 e C3)	60
Figura 3.5 -	Volumes dos reservatórios. A linha pontilhada representa o histórico, a preta o C1, a	61
Figura 3.6 -	Número de dias sem chuva consecutivos e volume do reservatório (m ³) pelo método citado pelo PROSAB	62
Figura 3.7 -	HSP média mensal e média de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos	66
Figura 3.8 -	Percentual mensal de atendimento da demanda de energia elétrica	67
Figura 4.1 -	Locais selecionados no Estado do Paraná	73
Figura 4.2 -	Atlas Climático do Estado do Paraná.....	74

Figura 4.3 -	Layout representativo da parte externa do aviário com os sistemas de bombeamento de água pluvial e energia solar	80
Figura 4.4 -	Número de dias sem chuva e volume do reservatório (m ³) pelo método da Embrapa.....	83
Figura 4.5 -	Número de dias sem chuva consecutivos e volume do reservatório (m ³) pelo método citado pelo PROSAB.....	85
Figura 4.6 -	HSP média mensal e média de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos.....	89
Figura 4.7 -	Percentual de atendimento da demanda de energia elétrica	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Coordenadas geográficas dos locais selecionados para a pesquisa.....	27
Tabela 2.2 -	Demanda de água pluvial	32
Tabela 2.3 -	Motobombas disponíveis no mercado.....	32
Tabela 2.4 -	Valores médios de alteração da temperatura média do ar até o final do século de acordo com a Análise de Regressão.....	33
Tabela 2.5 -	Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	38
Tabela 3.1 -	Coordenadas geográficas dos locais selecionados para a pesquisa.....	46
Tabela 3.2 -	Demanda total de água não potável para o edifício	48
Tabela 3.3 -	Demanda de energia elétrica para o conjunto motobomba para o sistema de bombeamento da água da chuva	49
Tabela 3.4 -	Computação mensal dos p-valores obtidos no teste M-K para análise de tendência da temperatura mínima do ar nas localidades avaliadas.....	52
Tabela 3.5 -	Computação mensal dos p-valores obtidos no teste M-K para análise da tendência da temperatura máxima do ar nas localidades avaliadas	53
Tabela 3.6 -	Computação dos p-valores obtidos no teste M-K para análise da tendência do número mensal de dias sem chuva nas localidades avaliadas.....	54
Tabela 3.7 -	Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração na temperatura mínima do ar.....	55
Tabela 3.8 -	Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração na temperatura máxima do ar.....	56
Tabela 3.9 -	Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração no número mensal de dias sem chuva	56
Tabela 3.10 -	Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	65

Tabela 4.1 -	Coordenadas geográficas dos locais selecionados para a pesquisa.....	73
Tabela 4.2 -	Consumo total de água (m ³) em aviário com alojamento de 27000 frangos	76
Tabela 4.3 -	Demanda de energia elétrica para o conjunto motobomba para o sistema de bombeamento da água da chuva	76
Tabela 4.4 -	Demanda de energia elétrica para o conjunto motobomba para o sistema de nebulização.....	77
Tabela 4.5 -	Demanda de energia elétrica para os ventiladores	77
Tabela 4.6 -	Demanda de energia elétrica para iluminação.....	78
Tabela 4.7 -	Valores de p-valor obtidos no Teste de Mann-Kendall para tendência de alteração no número mensal de dias sem chuva	81
Tabela 4.8 -	Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração no número mensal de dias sem chuva	82
Tabela 4.9 -	Demanda de energia elétrica total	87
Tabela 4.10 -	Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	88

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases de efeito estufa
HSP	Horas de Sol Pleno
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
LECA	Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada
LFC	Lâmpada fluorescente compacta
M-K	Teste de Mann-Kendall
NBR	Norma Brasileira
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
UC	Unidade consumidora
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa das Nações Unidas para o Ambiente)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
1 REVISÃO GERAL	17
1.1 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS	17
1.1.1 Sustentabilidade em construções rurais.....	18
1.2 CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	19
1.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	20
1.3.1 Energia fotovoltaica no Brasil	20
1.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	21
1.4.1 Cenários climáticos	23
2 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA PARA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR UTILIZANDO ENERGIA ALTERNATIVA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ – BRASIL	25
2.1 INTRODUÇÃO	26
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	27
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
2.4 CONCLUSÃO.....	42
3 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA RESIDÊNCIAS MULTIFAMILIARES UTILIZANDO FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ – BRASIL	43
3.1 INTRODUÇÃO	44
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.4 CONCLUSÕES	68
4 AVALIAÇÃO DE UM AVIÁRIO AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL UTILIZANDO SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL E GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ – BRASIL	70
4.1 INTRODUÇÃO	71
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	73

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
4.4 CONCLUSÃO.....	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS.....	95

INTRODUÇÃO GERAL

A água é um elemento essencial sem o qual a vida não existiria, uma vez que os seres vivos e a conservação dos ecossistemas dependem diretamente da existência desse recurso natural. Porém, mesmo a água sendo um fator de importância vital, sua escassez é um problema mundial que está tomando proporções cada vez maiores com o passar do tempo. Um dos fatores que contribui para essa condição é o uso irracional pela população (SOUZA et al., 2016). A situação está se tornando alarmante visto que além do desperdício também existe uma crescente deterioração da qualidade desse recurso natural causada pela poluição indiscriminada, assim como um aumento da demanda provocada pelo crescimento demográfico e desenvolvimento de zonas urbanas e industriais, não obstante, de uma forma desorganizada (OLIVO; IHISKI, 2014). Além do mais, a escassez de água também impacta no setor agropecuário, visto que segundo Faustino et al. (2009), os aspectos ligados à produção animal como qualidade, produtividade e estabilidade da produção dependem diretamente da gestão adequada dos recursos hídricos.

Em virtude dessa questão, torna-se cada vez mais importante a busca de formas de economia e reutilização da água. Dentre as possibilidades, destaca-se a captação e utilização de água pluvial como uma possível solução para esse problema. Giacchini e Andrade Filho (2006) concluíram que o aproveitamento de água da chuva implica em uma redução de aproximadamente 50% do consumo de água potável em residências. Além disso, o armazenamento da água em reservatórios contribui com a redução da vazão nas tubulações de drenagem dos centros urbanos, exercendo um papel importante futuramente, visto que as projeções de cenários climáticos futuros apontam para a ocorrência de chuvas volumosas associadas à eventos extremos que podem causar enchentes e inundações. Apesar dos métodos de dimensionamento dos reservatórios não considerarem as alterações climáticas projetadas, é provável que no futuro elas ocorram e impactem no desempenho dos reservatórios (HAQUE et al., 2016).

Outra preocupação da sociedade é a busca por fontes de geração de energia limpa e renovável que ganhou ênfase com o advento do aquecimento global que está se intensificando ao longo dos anos. Segundo Oliveira e Moura (2015), a energia fotovoltaica é uma ótima opção de geração de energia limpa, uma vez que não emite poluentes. Sendo assim, sua implementação efetiva proporciona redução dos

impactos ambientais. Além disso, a utilização de energia solar também contribui para a diminuição de gastos com energia elétrica proveniente da rede pública de distribuição.

Diante do pressuposto que tanto a irradiação solar como a precipitação pluviométrica são elementos climáticos que podem sofrer alterações causadas por possíveis mudanças climáticas ocasionadas pelo aquecimento global (IPCC, 2014), é importante que nos projetos de edificações sustentáveis se leve em consideração os elementos climáticos, pois esses podem provocar uma futura modificação necessária no dimensionamento desses projetos.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo principal dimensionar sistemas de captação de água pluvial utilizando fontes alternativas de energia em edificações residenciais e rurais localizadas no Estado do Paraná, tendo em vista o impacto das mudanças climáticas globais. Para tanto foram elaborados três artigos que são apresentados em formato de capítulos, compondo uma dissertação acerca da temática proposta. Os artigos abordam uma comparação de métodos de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água da chuva, analisando os impactos que esses podem sofrer com as alterações das lâminas de precipitação previstas para ocorrer até o final do século atual. Além disso, também contemplam o dimensionamento de painéis fotovoltaicos necessários para suprir a demanda de energia elétrica das edificações. O primeiro artigo (capítulo 1) se refere ao aproveitamento de água pluvial numa residência unifamiliar habitada por quatro pessoas. O segundo artigo (capítulo 2) aborda a temática para uma residência multifamiliar de quatro pavimentos. O terceiro artigo (capítulo 3) discorre sobre a implementação de um aviário de corte dentro de um escopo de sustentabilidade. Todos os artigos apresentam metodologia de cálculo do reservatório de água da chuva e o dimensionamento dos painéis solares considerando o cenário climático atual e simulações para possíveis cenários climáticos futuros que foram realizadas utilizando o *software* PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013).

1 REVISÃO GERAL

1.1 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

O desempenho energético das construções é reconhecido como um dos principais fatores influentes no aquecimento global causado pelo homem e no esgotamento dos recursos energéticos fósseis (THIERS; PEUPORTIER, 2012). Para minimizar o efeito negativo causado, conceitos de edifícios sustentáveis estão sendo propostos para que haja um desenvolvimento sustentável, ou seja, o tipo de desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.

Para o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP - *United Nations Environment Programme*), uma edificação pode ser considerada sustentável quando sua estrutura emprega múltiplas estratégias, como eficiência energética, captação e utilização de água pluvial e uso responsável de materiais e recursos (UNEP, 2012). Tajiri, Cavalcante e Potenza (2011) complementam que a construção sustentável proporciona benefícios como conforto, funcionalidade e qualidade de vida aos seus usuários enquanto gera menores impactos para o meio ambiente e alcança uma maior autonomia.

Os edifícios sustentáveis podem ser classificados como estratégias de projeto passivas e ativas. Um design passivo é desenvolvido com o objetivo de utilização das características do local onde será implantado, como incidência luminosa, direção dos ventos e outros fatores que ajudem a melhorar a iluminação e ventilação da estrutura de forma natural, sem o uso de tecnologias. Em contrapartida, segundo a UNEP (2012), um design ativo utiliza tecnologias que reduzem o impacto ambiental, como por exemplo, painéis fotovoltaicos e aerogeradores para geração de energia limpa e sistemas de aproveitamento de água da chuva.

Além de mitigar os impactos ambientais, uma edificação sustentável também é vantajosa em termos financeiros. Para um empreendedor imobiliário, a execução de um prédio sustentável implica em prêmio de preço e venda mais rápida dos imóveis comparada a imóveis convencionais. Já para o proprietário, uma edificação sustentável acarreta em um retorno mais rápido sobre o investimento, menor depreciação do imóvel e menor custo de manutenção (FGV-EAESP, 2017).

1.1.1 Sustentabilidade em construções rurais

A sustentabilidade também está presente nos ambientes rurais e aparece principalmente como forma de suprir a deficiência na quantidade de água disponível para seus diferentes usos no meio rural, como consumo humano, animal e produção agrícola (SOUSA; SOUSA NETO, 2012). Oliveira (2010) afirma que um sistema de produção animal é extremamente dependente da disponibilidade hídrica local, sendo que há uma relação direta entre o custo de produção e os recursos hídricos disponíveis. Entretanto, esses recursos hídricos são utilizados de maneira sem planejamento, sendo necessárias novas formas de produção animal mais sustentáveis para garantir uma quantidade de água suficiente.

De acordo com Feitosa et al. (2018), o uso de tecnologias de captação e armazenamento da água de chuva em reservatórios é uma ótima solução para minimizar os problemas causados por estiagens severas em sistemas de criações de animais em algumas épocas do ano. Oliveira et al. (2012) estudaram o aproveitamento da água pluvial em sistemas de produção de suínos e aves, e verificaram uma redução de até 50% do consumo de água tratada. Palhares e Guidoni (2012) monitoraram variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água de chuva de um reservatório e concluíram que a apresentou qualidade satisfatória para o uso na dessedentação de suínos e bovinos de corte, ficando dentro dos parâmetros estabelecidos na Resolução número 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Em termos financeiros, a possibilidade do uso de água da chuva implica em grande economia para o produtor.

A geração de energia proveniente de fontes renováveis também está presente nas comunidades rurais. Em estudo publicado por Oliveira et al. (2018) foi analisado um sistema de energia solar fotovoltaica em uma residência rural. Os resultados evidenciaram que o custo de implantação do sistema é baixo e se paga em alguns anos. Outro fator relevante é o fato da residência ser independente de outras formas de obtenção de energia como a proveniente da rede pública, tornando-se uma construção totalmente sustentável no âmbito de consumo de energia.

1.2 CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

A captação e armazenamento da água pluvial é a principal alternativa para diminuir o uso da água potável na execução de atividades nas quais a qualidade não é fator de importância, como por exemplo, em descarga de bacias sanitárias, lavagem de carros e irrigação de jardins (TOMAZ, 2009). Tratando-se da questão financeira, isso implica em uma considerável economia para o usuário, visto que segundo Souza et al. (2016), 40% do total de água que é consumida em uma residência unifamiliar é destinada aos fins não potáveis.

Por outro lado, a captação de água pluvial também está relacionada com a redução dos impactos causados na zona urbana. As cidades têm como suas principais características a impermeabilização excessiva do solo e ausência de áreas verdes. Por esses motivos, quando há um excedente de precipitação, que não pode ser infiltrado no solo, esse é direcionado para a tubulação, que por sua vez pode não conseguir conter o volume de chuva a ser escoado, acarretando problemas de inundações e alagamentos. Portanto, o armazenamento de água pluvial ajuda a reduzir o escoamento superficial e auxilia na mitigação dos impactos da urbanização e das precipitações (COSTA, 2016).

Segundo Giacchini (2010), um sistema de captação e armazenamento de água pluvial é constituído pela área de captação, localizada geralmente na cobertura das edificações, calhas e condutores caracterizando os equipamentos de transporte, um sistema de limpeza para remoção de sólidos grosseiros evitando o entupimento da tubulação e pelo reservatório propriamente dito. Marinoski e Ghisi (2018) explicam que as principais variáveis envolvidas no dimensionamento e implantação de um sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de água pluvial são os dados hidrológicos da localidade, as estimativas de demanda de água e a superfície de captação. As diretrizes de projeto e de dimensionamento de um sistema de aproveitamento de água pluvial encontram-se na Norma Brasileira – NBR 15.527 – Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no ano de 2007 (ABNT, 2007).

1.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A irradiação solar pode ser utilizada como fonte para duas vertentes: geração de energia térmica responsável pelo aquecimento de ambientes, assim como eletricidade, gerada por meio de sistemas de energia fotovoltaica (ANEEL, 2008). O efeito fotovoltaico que produz a eletricidade é decorrente da interação dos fótons existentes na luz solar com os elétrons presentes em alguns materiais semicondutores que compõem uma célula fotovoltaica, gerando uma corrente em sentido único, denominada corrente contínua (CC) (CASTRO, 2015). O material semicondutor mais comum utilizado é o silício. Quando o sistema fotovoltaico é conectado à rede pública de distribuição de energia e injeta o excedente de eletricidade gerado nessa rede em que está implantado, diz-se que é um sistema *on-grid*. Por sua vez, quando o sistema é isolado à rede, denomina-se sistema *off-grid*, onde a energia é armazenada em baterias (CAMPOS et al., 2014).

Além dos dois tipos de sistemas já citados, também existe o sistema híbrido, que pode ser isolado ou conectado à rede. Nesse sistema, a fonte de energia fotovoltaica é utilizada com outras fontes auxiliares de energia. Essa fonte auxiliar pode ser proveniente de um gerador a diesel, turbinas eólicas ou até mesmo pequenas centrais hidrelétricas. Assim, o gerador auxiliar fornecerá energia para suprimento das cargas quando não existir condições climáticas favoráveis para a geração de eletricidade por meio dos painéis fotovoltaicos.

1.3.1 Energia fotovoltaica no Brasil

Apesar das diferentes características climáticas existentes no Brasil por se tratar de um país com dimensões continentais, a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com valores relativamente altos em toda a extensão do país, de acordo com Kemerich et al. (2016). Pereira et al. (2017) aponta que no Estado de Santa Catarina ($4,25 \text{ kWh/m}^2$) que é o local menos ensolarado do país é possível gerar mais eletricidade do que no lugar mais ensolarado da Alemanha, país precursor no desenvolvimento de sistemas de energia fotovoltaica.

Segundo Tiepolo (2014) o estado do Paraná apresenta potencial fotovoltaico elevado em comparação com países europeus, que apresentam médias anuais de

irradiação inferiores ao estado paranaense, sendo essas 71,19% abaixo no Reino Unido e 58,75% na Alemanha. Com relação aos outros estados brasileiros, o potencial fotovoltaico anual do Paraná ficou acima da média de 12 estados e abaixo de 14, sendo que as maiores médias são observadas nas localidades do Distrito Federal, Piauí e Goiás (TORRES et al., 2019).

Em relação à legislação, somente no ano de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Segundo a Resolução Normativa 482/2012 uma microgeração possui uma central geradora de fontes renováveis com potência menor ou igual a 75 kW. Já uma minigeração conta com uma central geradora com potência superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

A compensação energética regulamentada pela mesma resolução informa que um telhado solar pode ser ligado à rede pública por meio da Unidade Consumidora (UC) e injetar o excedente de energia gerado, caracterizando um sistema *on-grid*. Assim o consumidor pode acumular créditos a serem compensados em kWh (PEREIRA et al., 2017). No estado do Paraná, a Companhia Paranaense de Energia - COPEL realizou no ano de 2013 a primeira conexão de um projeto de microgeração distribuída. (CASTRO, 2015).

1.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O aquecimento global consiste no aumento da temperatura terrestre causado pela intensificação do efeito estufa (LACERDA; NOBRE, 2010). De acordo com Medeiros (2003) o efeito estufa é um processo natural e de importância vital que acontece em decorrência da presença de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, que por sua vez, são responsáveis pelo aquecimento da superfície terrestre por meio da absorção de parte da radiação infravermelha que é emitida pela Terra. Como consequência, parte do calor é irradiado de volta para a superfície, garantindo o aquecimento da atmosfera para a manutenção da vida no planeta.

A intensificação do efeito estufa é provocada pela ação antropogênica e tem relação com o lançamento desenfreado de gases na atmosfera, dentre os quais o dióxido de carbono (CO₂) é o mais abundante, mas também pode-se citar o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Evidências científicas indicam a possibilidade de uma

mudança no clima global tendendo ao aumento da temperatura do ar devido ao acréscimo da concentração de GEE na atmosfera (JUNGES et al., 2018).

De acordo com Lacerda e Nobre (2010), outro gás poderoso é o vapor d'água. Seu aumento provém de uma atmosfera mais quente e com isso, o aumento da umidade da baixa troposfera atua no ciclo hidrológico, causando precipitações pluviométricas mais intensas devido a uma maior evaporação e evapotranspiração. Outras variáveis climáticas, como os ventos e a umidade relativa do ar também sofrem alteração com o aumento dos GEE na atmosfera.

No ano de 1988, a Organização Meteorológica Mundial - OMM e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA criaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), abreviado como IPCC. O seu objetivo principal é “avaliar as mais recentes informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes para o entendimento do risco das mudanças climáticas induzidas por causas antrópicas”. Em resumo, foi criado para fornecer informações técnicas e científicas sobre as mudanças climáticas.

O IPCC publicou cinco Relatórios de Avaliação, nos anos de 1990, 1995, 2001, 2007 e o mais recente em 2014. No último relatório publicado, foi documentado que a influência humana no clima é extremamente clara, uma vez que as recentes emissões antropogênicas de gases de efeito estufa são as mais elevadas da história. Essas emissões foram impulsionadas pelo crescimento econômico e populacional, sendo que do ano 2000 a 2010, ocorreram as emissões mais altas registradas (IPCC, 2014). Em suma, o crescimento das emissões de GEE é oriundo do setor energético (47%), da indústria (30%), dos transportes (30%) e do setor da construção (3%). Contabilizando esse montante, verifica-se que aproximadamente 80% das emissões globais advêm da zona urbana (OJIMA; HOGAN, 2008). Porém, de acordo com Brunet e Couto (2017), o setor agrícola também é responsabilizado pelo aumento da emissão de GEE na atmosfera.

Iniciativa Verde (2015) explica que no caso de um aumento de temperatura média global de 4°C ou mais, os riscos globais incluem extinção significativa de espécies e comprometimento da segurança alimentar mundial, uma vez que, a combinação de alta temperatura e umidade pode dificultar ou impossibilitar o cultivo de alimentos ou trabalho ao ar livre em algumas áreas, durante determinadas épocas do ano. O IPCC (2014) afirma que as alterações climáticas podem impactar negativamente a produção das principais culturas, como trigo, milho e arroz. Ademais,

o acesso à alimentação e a estabilidade dos preços também podem ser prejudicados, o que pode influenciar na renda e nos empregos em determinadas regiões.

Além das implicações mencionadas anteriormente, a saúde também é afetada pela mudança climática. Confalonieri (2003) expõe que o clima atua de maneira contínua influenciando os fenômenos biológicos e de forma episódica, por meio de eventos climáticos extremos. No primeiro momento, elementos como temperatura, precipitação e umidade influenciam diretamente na capacidade de reprodução e sobrevivência de agentes patológicos. No segundo caso, eventos climáticos extremos podem causar alagamentos e inundações, que por sua vez, em muitos casos causam epidemias de doenças infecciosas, como é o caso da leptospirose.

Algumas mudanças extremas já foram observadas desde a década de 1950, como aumento de frequência de ondas de calor, diminuição de frequência de ondas de frio, eventos de chuvas intensas e aumento dos níveis do mar são exemplos de mudanças que podem ser citadas como correlacionadas com a influência humana (IPCC, 2014).

Haylock et al. (2006) examinaram as precipitações diárias observadas entre 1960 a 2000, a fim de verificar mudanças em estações posicionadas na América do Sul. Os resultados mostram aumento dos totais pluviométricos anuais nas estações localizadas no estado do Paraná, assim como condições mais úmidas em toda a região Sul do país.

As projeções das mudanças climáticas amplificam os riscos já existentes relacionados ao clima e também criam novos riscos para os sistemas naturais e humanos (INICIATIVA VERDE, 2015). Existe uma estimativa de que a fração da população mundial que enfrenta escassez de água e a fração afetada por grandes inundações de rios aumentem com o nível de aquecimento da temperatura do planeta (IPCC, 2014).

1.4.1 Cenários climáticos

Segundo Cardoso e Justino (2014), os cenários climáticos tratam-se de representações sobre o futuro do clima global, com descrições sobre como a alteração da composição atmosférica proveniente das atividades humanas pode modificar o clima do planeta ao longo do tempo. Essas representações do clima futuro são

baseadas em um conjunto de suposições, que incluem tendências futuras de demanda energética, emissões de gases de efeito estufa e mudanças no uso do solo.

Os cenários climáticos futuros projetados pelo IPCC levam em conta fatores tal como o tamanho da população, padrões de consumo, a utilização de combustíveis fósseis e a eficiência energética que influenciam na concentração de emissão de GEE. As projeções do quinto relatório do IPCC apontam que a Terra sofrerá um acréscimo de temperatura média das superfícies até o final do século de 0,9°C a 1,7°C no cenário mais otimista e, de 2,6°C a 4,8°C no cenário mais pessimista (IPCC, 2014).

2 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA PARA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR UTILIZANDO ENERGIA ALTERNATIVA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ – BRASIL

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi dimensionar de um sistema de captação de água da chuva para residência unifamiliar utilizando energia fotovoltaica em diferentes cenários de possíveis mudanças climáticas projetadas para o final do século, no Estado do Paraná, de acordo com o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC. O sistema foi dimensionado para oito localidades do Estado do Paraná, sul do Brasil. Para as simulações de cenários climáticos foi utilizado o software PGECLIMA_R. O sistema foi composto por uma caixa d'água e um reservatório dimensionado pelo Método Prático Brasileiro mencionado no Regulamento Brasileiro de Águas Pluviais (NBR 15527), com um sistema motobomba alimentado por energia fotovoltaica. Séries de 31 anos de dados diários de precipitação pluvial, temperatura do ar e irradiação solar foram usadas para realizar o cálculo do reservatório e do sistema fotovoltaico. Para todas as localidades em análise verificou-se a necessidade de aumento do tamanho do reservatório até o final do século para suprir a demanda de água não potável da residência, tendo em vista evidências originadas pelo acréscimo dos totais anuais de chuvas que foram simuladas. Em relação ao sistema fotovoltaico, todas as localidades apresentaram um valor médio anual de atendimento à demanda de energia próximo de 100%, o que indica que o estado do Paraná tem um grande potencial de produção de energia solar.

Palavras-chave: Aproveitamento de água de chuva. Dimensionamento de reservatório. Energia fotovoltaica. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

The aim of this research was to size a rainwater harvesting system for a single-family residence using photovoltaic energy in different scenarios of possible climate changes projected towards the end of the century, in the State of Paraná, according to the Fifth Assessment Report of the IPCC. The system was designed for eight localities of the State of Paraná, south of Brazil. For the climate scenarios simulations, the PGECLIMA_R software was used. The system was composed by a reservoir dimensioned by the Brazilian Practical Method mentioned in the Brazilian Rainwater Regulation (NBR 15527), with a motor pump powered by photovoltaic energy. A series of 31 years of daily rainfall, air temperature and solar radiation data were used to perform the calculation of the reservoir and solar photovoltaic system. All localities showed the need for an increase in the size of the reservoir until the end of the century to supply the non-potable water demand of the residence, based on evidences obtained by the total annual raise on the amount of rain that was simulated. About the photovoltaic system, all localities presented an average annual value of meeting

energy demand close to 100%, which indicates that the State of Paraná has a great potential to produce solar energy.

Keywords: Rainwater harvesting system. Reservoir sizing. Photovoltaic energy. Climate changes.

2.1 INTRODUÇÃO

A água é um dos fatores determinantes para a vida no planeta, uma vez que plantas, animais e outros seres vivos dependem diretamente de sua disponibilidade, a qual influi diretamente na conservação e manutenção dos ecossistemas (WOLKMER; PIMMEL, 2013). Sendo a água um fator indispensável para a manutenção da qualidade de vida em um ambiente, sua escassez na atualidade é considerada um problema mundial, o qual se intensifica com o passar do tempo (SOUZA et al., 2016). Um dos fatores que contribuem para a redução na disponibilidade hídrica local é o uso desordenado pela população (OLIVO; ISHIKI, 2014). Nesse contexto, a busca por alternativas para economizar e reutilizar a água torna-se imprescindível, sendo a acaptação de água de chuva para uso não potável uma alternativa viável para mitigar tal problemática.

No processo de aproveitamento da água de chuva um reservatório é dimensionado, no qual a água é posteriormente bombeada para utilização. Para isso, a necessidade de energia elétrica se faz necessária para a sua distribuição. Diante disso, um sistema sustentável para captação e distribuição de água pluvial tem como prerrogativa, a utilização de uma fonte renovável de energia que não seja poluente e que não se utilize de recursos hídricos.

De acordo com Juan et al. (2018), a energia solar é uma opção para a geração de energia limpa, uma vez que é oriunda de uma fonte inesgotável, o Sol, e não emite poluentes na atmosfera. Além disso, conforme Oliveira et al. (2018), a implementação de sistemas utilizando efetivamente a energia solar, por meio de painéis fotovoltaicos, além de minimizar os impactos ambientais promovendo a conservação do patrimônio natural regional, também contribui para a redução de gastos com energia elétrica.

Diante do pressuposto que tanto a irradiação solar como a precipitação são elementos climáticos, suas influências ambientais podem impactar de forma positiva ou negativa nas atividades humanas. Assim sendo, com o advento de possíveis

mudanças climáticas ocasionadas pelo aquecimento global (IPCC, 2014), é importante que os projetos de sistemas sustentáveis considerem o regime dos elementos climáticos, que podem futuramente impactar no dimensionamento desses sistemas.

Nessas circunstâncias, fica claro que a construção de edificações sustentáveis utilizando sistemas de captação e uso de água da chuva aliados à geração de energia limpa contribui diretamente na redução da degradação ambiental gerando maior economia para a sociedade. Além do mais, pesquisas que enfatizem a captação de água da chuva e o uso em residências unifamiliares são úteis no sentido de difundir a ideia de uma melhor racionalização dos recursos hídricos regionais. Assim, este trabalho teve como objetivo dimensionar um sistema de captação de água pluvial para uma residência unifamiliar utilizando painéis fotovoltaicos como fonte alternativa de energia, levando em consideração possíveis cenários de mudanças climáticas no Estado do Paraná – Brasil.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida junto ao Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada – LECA da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Os dados climáticos diários utilizados foram precipitação, temperatura do ar (máxima e mínima) e irradiação solar global de oito localidades distribuídas no Estado do Paraná (Tabela 2.1). Os dados foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa - BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, cujas as séries históricas utilizadas compreenderam um período de trinta e um anos, com início em 1987 e término em 2017 e o preenchimento das falhas dos dados foi feito previamente.

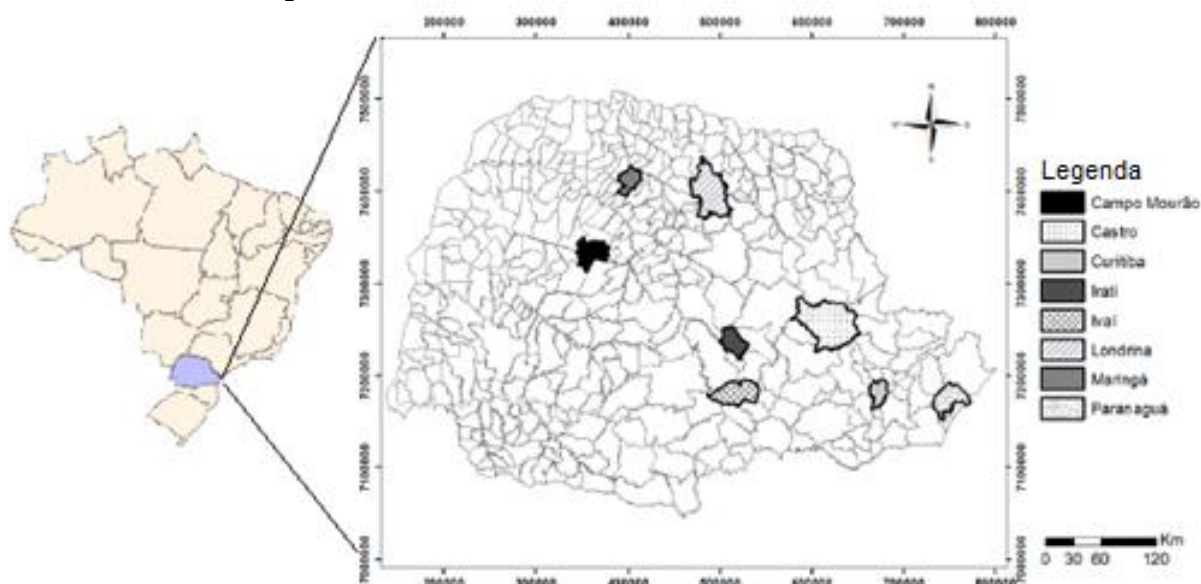
Tabela 2.1 - Coordenadas geográficas dos locais selecionados para a pesquisa

ID	Localidade	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
L1	Campo Mourão	-24°03'	-52°22'	616
L2	Castro	-24°47'	-50°00'	1009
L3	Curitiba	-25°26'	-49°26'	924
L4	Irati	-25°28'	-50°38'	837
L5	Ivaí	-25°00'	-50°51'	808
L6	Londrina	-23°19'	-51°08'	566
L7	Maringá	-23°24'	-51°55'	542
L8	Paranaguá	-25°32'	-48°31'	5

Fonte: a autora, 2020.

O Estado do Paraná está localizado na Região Sul do Brasil, entre os paralelos 22°30'58" e 26°43'00" de latitude Sul e entre os meridianos 48°05'37" e 54°37'08" de longitude Oeste (Figura 2.1). Segundo a classificação climática de Koppen, o Paraná possui dois tipos principais de clima: o Cfa caracterizado por altas temperaturas durante o verão sendo essas superiores a 22°C, geadas menos frequentes e volume de precipitação concentrado nos meses de verão, sem um período de seca definido; e o clima do tipo Cfb que apresenta verões mais frescos, em que a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C, geadas mais frequentes nos meses de inverno e também não mostra um período de seca definido (NITSCHKE et al., 2019).

Figura 2.1 - Localidades selecionadas no Estado do Paraná



Fonte: Adaptado de Sgarbossa e Virgens Filho, 2020.

Para esta pesquisa foi definida uma residência unifamiliar composta por pelo menos uma cozinha, um banheiro, dois quartos e uma sala de estar, projetada para uma família de quatro pessoas, com uma área de captação de água da chuva no telhado de 70 m².

Para o dimensionamento do reservatório do sistema de captação foi utilizado o método de Azevedo Neto, também conhecido como Método Prático Brasileiro, que é mencionado na Norma Brasileira 15527 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos (ABNT, 2007). Esse método considera em seu cálculo a precipitação anual acumulada e os meses mais secos do ano, sendo que o volume do reservatório é estimado por meio da Equação 2.1.

$$VRES_{AN} = 0.042 \times Pa \times A \times T \quad (2.1)$$

em que,

$VRES_{AN}$ = volume final do reservatório (m³);

Pa = precipitação anual acumulada (mm);

A = Área de captação de água de chuva (m²);

T = fator para o período mais seco do ano conforme Lima et al. (2015).

A NBR 15527:2007 não especifica os critérios para determinação do fator referente aos meses mais secos do ano (T), portanto esse fator foi calculado com base na quantidade máxima de dias sem chuva de um determinado mês, para cada localidade, conforme adotado por Lima et al. (2015).

De acordo com a demanda de água não potável utilizada na residência unifamiliar, conforme especificado por Tomaz (2009), foi dimensionado segundo Barbosa et al. (2017), o conjunto motobomba e o consumo de energia elétrica para bombear a água armazenada do reservatório inferior para a distribuição na edificação.

A partir da necessidade da energia elétrica para alimentar a motobomba foi determinado o número de painéis fotovoltaicos destinados ao suprimento da potência exigida. Para isso foram apurados os níveis de irradiação de cada uma das oito localidades e, segundo Pinho e Galdino (2014), para o cálculo é utilizado o número de Horas de Sol Pleno (HSP), conforme Equação 2.2.

$$HSP = \frac{I_g}{1 \frac{kWh}{m^2}} \quad (2.2)$$

em que,

HSP = Horas de Sol Pleno (h);

I_g é a irradiação global da localidade (kWh/m²).

Com a demanda mensal de energia elétrica e de HSP de cada localidade foi determinada a potência pico do sistema fotovoltaico de acordo com a Equação 2.3.

$$P_{pico} = \frac{CD}{HSP} \quad (2.3)$$

em que,

P_{pico} = Potência pico do sistema fotovoltaico (kWp);

CD = Consumo diário de energia elétrica (kWh/dia);

TD = Taxa de desempenho (valor adimensional $\approx 0,75$);

HSP = média diária Horas de Sol Pleno incidentes nos painéis.

Após ser obtido o valor de potência pico do sistema fotovoltaico, foi determinado o número de painéis necessário para gerar a potência calculada, conforme a Equação 2.4.

$$N_{\text{painéis}} = \frac{P_{\text{pico}}}{P_{\text{painel}}} \quad (2.4)$$

em que,

$N_{\text{painéis}}$ = número de painéis fotovoltaicos;

P_{pico} = potência pico do sistema fotovoltaico (kWp);

P_{painel} = potência dos painéis segundo informações fornecidas pelos fabricantes (W).

É importante ressaltar que os painéis fotovoltaicos geram energia em corrente contínua (CC), entretanto o conjunto motobomba considerado na residência opera em corrente alternada (CA), portanto é necessário a utilização de inversor para realizar essa transformação. Porém neste trabalho o dimensionamento desse inversor não foi realizado.

A figura 2.2 representa um corte esquemático do sistema proposto.

Figura 2.2 – Layout representativo do sistema



Fonte: a autora, 2020.

Foram simulados três diferentes cenários climáticos para cada uma das oito localidades em função do aumento médio da temperatura global, utilizando para tanto o *software* PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013), desenvolvido pelo LECA. Essa ferramenta cria cenários climáticos por meio da simulação de séries diárias de irradiação solar, precipitação e temperatura do ar. Tendo em vista que a radiação solar é uma variável climática que não sofrerá alterações significativas até o final do século XXI (Sgarbossa, 2019), essa não foi simulada.

Os cenários climáticos futuros foram simulados até o ano de 2099. Dois dos cenários simulados foram baseados em possíveis mudanças climáticas, considerando as projeções do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2014). De acordo com esse relatório, existe uma relação entre a temperatura do ar em elevação e os níveis crescentes de precipitação. Essa relação também foi estabelecida por Pyke (2005), que associou uma variação de 10% na quantidade de precipitação para cada grau Celsius variado.

Assim, no primeiro cenário simulado (C1), foi considerado um aumento mensal progressivo chegando a 1,7°C até o final do século, projeção mais otimista estabelecida pelo IPCC, com conseqüente aumento de 17% nos níveis de precipitação. No segundo cenário (C2) com a pior perspectiva do IPCC, foi considerado um aumento mensal na temperatura do ar atingindo 4,8°C no final do século, o que poderá provocar um aumento de até 48% nos níveis de precipitação.

Um terceiro cenário (C3) foi elaborado considerando a análise de tendência de alteração da temperatura média das séries históricas de 31 anos das localidades avaliadas. Embora numa análise prévia por meio do Teste de Mann-Kendall (M-K) a maioria dos meses nas localidades analisadas não tenham apresentado tendências estatisticamente significativas de variação de temperatura do ar, foi estimado por meio da Análise de Regressão, para cada mês e local, um acréscimo ou decréscimo na temperatura média do ar de acordo com o coeficiente angular da reta ajustada aos dados (MINUZZI et al., 2011), com conseqüente impacto nos níveis de precipitação, como nos demais cenários. A alteração da temperatura do ar foi determinada multiplicando-se os coeficientes angulares obtidos para as temperaturas (máxima e mínima) pela quantidade de anos até o fim do século, que no caso em questão é de 82 anos. Posteriormente foi realizada a média entre os valores obtidos, encontrando a alteração da temperatura média do ar.

A partir dos dados simulados foram dimensionados os reservatórios levando em consideração os cenários impactados nos períodos de 2018-2039, 2040-2069 e 2070-2099.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A demanda de água pluvial corresponde ao volume de água de chuva que é consumido pelos usuários da edificação, dessa forma está diretamente relacionada aos usos que se destinam essa água. Conforme os valores utilizados para previsão de consumo de acordo com Tomaz (2009), foi obtido uma demanda diária de 293,8 litros, sendo um mensal total de 8,8 m³ para a residência (Tabela 2.2). O valor obtido no presente estudo se aproximou do encontrado por Costa (2016), que utilizou no seu trabalho a mesma metodologia que foi empregada neste trabalho para a estimativa da demanda de uma casa. Novakoski et al. (2013) ressalta que uma residência unifamiliar simples tem uma demanda média de água pluvial de aproximadamente 9 m³ por mês, o que ratifica o valor encontrado nesta pesquisa. Uma caixa d'água de 310 litros, disponível no mercado é capaz de suprir a necessidade diária de água pluvial da residência.

Tabela 2.2 - Demanda de água pluvial

Descrição	Total Diário (L)	Total Mensal (m³)
Descarga da bacia sanitaria	240,0	7,2
Irrigação dos jardins	17,3	0,5
Lavagem das calçadas	16,5	0,5
TOTAL	293,8	8,8

Fonte: a autora, 2020.

Foram selecionados três modelos de motobombas disponíveis no mercado que podem atender a demanda de água pluvial da edificação e seus respectivos consumos médios mensais de energia elétrica, de acordo com a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Motobombas disponíveis no mercado

Motobombas	Potência (W)	Consumo de Energia (kWh/mês)
Modelo A	184,0	2,8
Modelo B	245,0	3,7
Modelo C	368,0	5,5

Fonte: a autora, 2020.

A Análise de Regressão foi aplicada nos dados de temperatura mínima e máxima do ar para determinação de tendência. A alteração da temperatura média do

ar foi estimada multiplicando-se os coeficientes angulares encontrados na Análise de Regressão (da temperatura mínima e máxima) pelo número de anos até o final do século (82 anos). Após isso foi feita a média entre os valores de alteração encontrados para as temperaturas máxima e mínima para cada localidade. Os resultados obtidos constam na Tabela 2.4. Com base na análise de dados, foi possível notar a variabilidade na alteração da temperatura média do ar, sendo que os valores positivos indicam o aumento da temperatura, enquanto que valores negativos indicam a diminuição. Campo Mourão (L1) foi a localidade que apresentou um decréscimo da temperatura média do ar em mais meses do ano. Por outro lado, Curitiba (L3), Ivaí (L5), Londrina (L6) e Maringá (L7) apresentaram acréscimo em todos os meses. Castro (L2), Irati (L4) e Paranaguá (L8) mostraram tanto acréscimo, quanto decréscimo da temperatura do ar ao longo do ano. Essa variabilidade também foi encontrada por Neves et al. (2016) que trabalharam com a análise temporal e espacial da temperatura do ar em localidades paranaenses.

Tabela 2.4 – Valores médios de alteração da temperatura média do ar até o final do século de acordo com a Análise de Regressão

ALTERAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR (°C)								
MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	-2,64	-1,03	1,31	1,56	1,64	1,31	0,66	1,56
Fevereiro	1,12	2,91	5,62	2,26	3,36	5,29	5,58	4,22
Março	-1,12	0,25	1,80	0,70	2,30	2,01	1,60	0,53
Abril	-1,53	-1,89	1,72	1,19	0,53	5,49	1,31	-1,23
Mai	-0,34	2,95	3,98	0,66	2,71	3,03	2,21	2,79
Junho	0,53	1,97	3,81	-0,08	2,79	3,69	2,71	2,01
Julho	1,07	3,40	4,72	-0,25	3,73	4,14	4,59	3,65
Agosto	1,03	2,87	5,95	0,94	5,74	4,59	4,31	3,61
Setembro	1,60	3,57	7,38	2,50	4,47	5,08	7,34	4,10
Outubro	1,60	1,85	4,26	2,50	3,20	4,84	4,55	2,91
Novembro	5,21	0,29	0,45	1,19	3,24	1,76	0,82	0,49
Dezembro	-1,11	0,86	2,38	0,25	3,03	2,50	1,23	1,15

Fonte: a autora, 2020.

Como foi definido pela Análise de Regressão, todas as localidades apresentaram uma tendência de alteração positiva ou negativa na temperatura do ar indicada pelo coeficiente angular, sendo assim, todas as localidades apresentaram alteração no volume de chuva impactada de acordo com a temperatura do ar. A maior variação encontrada foi de aumento de 7,38 °C para o mês de Setembro na localidade de Curitiba (L3). Isso implica num acréscimo de 73,8% no volume de precipitação do referido mês, de acordo com Pyke (2005). Por outro lado o decréscimo mais evidente

da temperatura média do ar foi de $-2,64$ °C para o mês de Janeiro na localidade de Campo Mourão (L1). Essa variação tem como consequência a diminuição de 26,4% no volume de chuva mensal.

A precipitação média anual do período histórico para as oito localidades variou de 1572 mm a 2310 mm. A localidade de Castro (Figura 2.3b) mostrou ser a localização menos chuvosa historicamente e Paranaguá (Figura 2.3h) a mais chuvosa, por se tratar de uma cidade litorânea, conforme Vanhoni e Mendonça (2008).

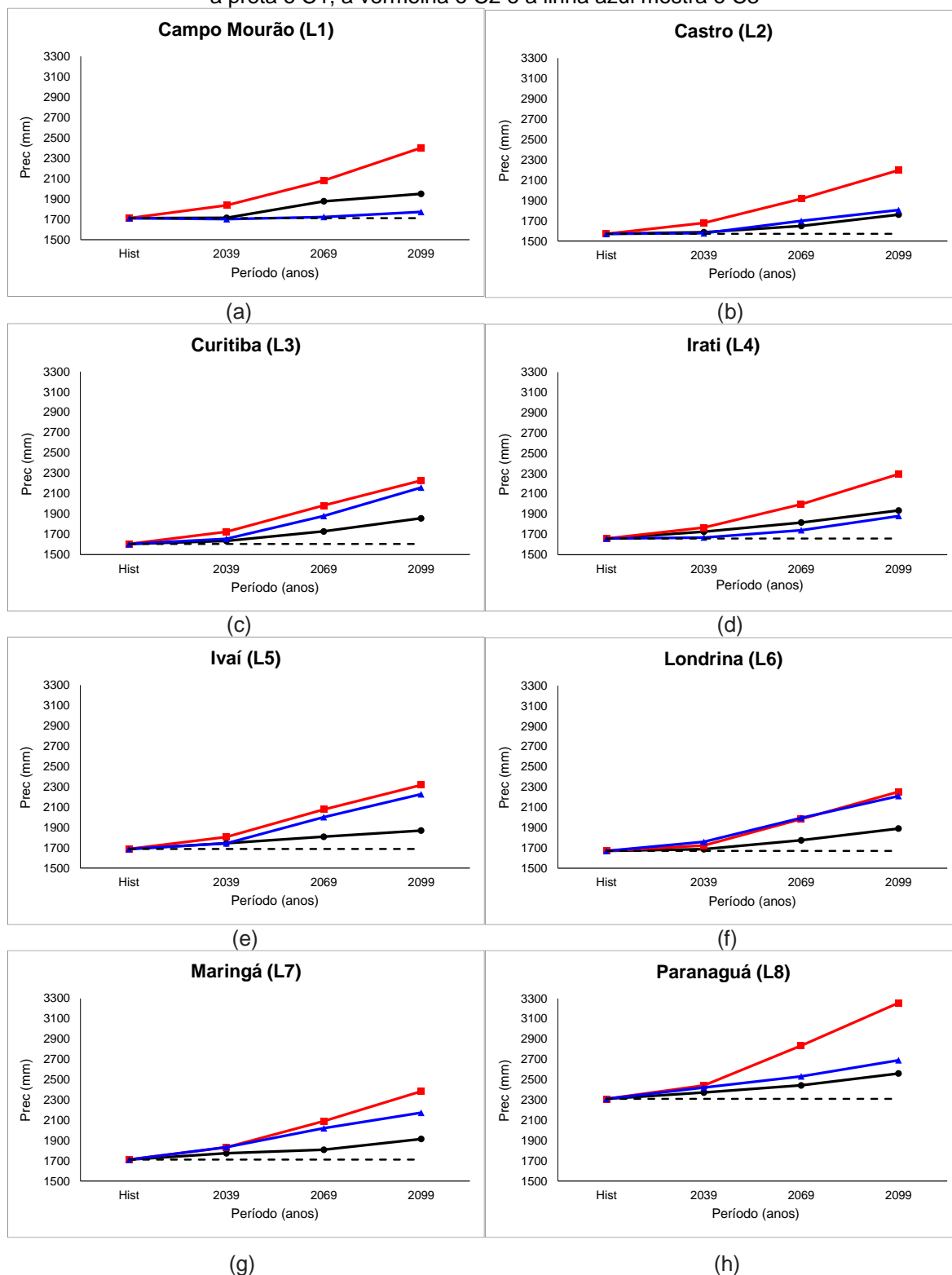
Nas simulações dos três cenários futuros para os períodos de 2018-2039, 2040-2069 e 2070-2099 ficou evidenciada a tendência de aumento no volume de chuva (Figura 2.3), porém devido à grande variabilidade da precipitação, esse acréscimo não ocorreu de forma linear ao longo dos períodos, concordando com Costa (2016) que também trabalhou com a simulação de cenários climáticos futuros. Em todas as localidades analisadas, o cenário mais otimista baseado nas projeções do IPCC (C1) mostrou um aumento mais discreto em relação ao cenário mais pessimista (C2). O C1 apresentou como menor média pluvial o valor de 1761 mm enquanto o C2 2198 mm, ambos relatados para a cidade de Castro (Figura 2.3b). Em termos de maior precipitação, o C1 obteve 2561 mm e o C2 apontou 3257 mm, ambos evidenciados na cidade de Paranaguá (Figura 2.3h), concordando com a média histórica que também foi a maior encontrada nas localidades analisadas.

O cenário C3 determinado por meio da Análise de Regressão, apresentou na simulação um aumento de precipitação variado, uma vez que em algumas localidades o acumulado anual ficou acima do C1 enquanto que em outras, ficou abaixo, caso de Campo Mourão (Figura 2.3a) e Irati (Figura 2.3d). Esse fato se remete à estimativa pela Análise de Regressão, onde foi apontado que em algumas localidades houve tendência de aumento na temperatura em alguns meses, enquanto em outros houve a diminuição. Com isso a média de acréscimo na temperatura exerce influência, determinando por sua vez uma maior ou menor tendência de alteração pluviométrica.

Por esse motivo o C3 de Campo Mourão ficou muito próximo do histórico de 1710 mm, já que na Análise de Regressão foram determinados meses de aumento da temperatura do ar, enquanto outros mostraram diminuição, de acordo com a Tabela 2.4. Já as localidades de Curitiba, Ivaí e Londrina (Figuras 2.3c, 2.3e e 2.3f) apresentaram um C3 muito próximo do C2. Sendo assim é possível observar que suas suas tendências verificadas evidenciam uma maior mudança na temperatura. Nenhuma das cidades apresentou no C3 um resultado tão pessimista quanto o

apontado no C2, mostrando que caso ocorra um aquecimento regional ele se aproximará mais do cenário mais otimista do IPCC.

Figura 2.3 - Médias da precipitação acumulada anual. A linha pontilhada representa a média histórica, a preta o C1, a vermelha o C2 e a linha azul mostra o C3

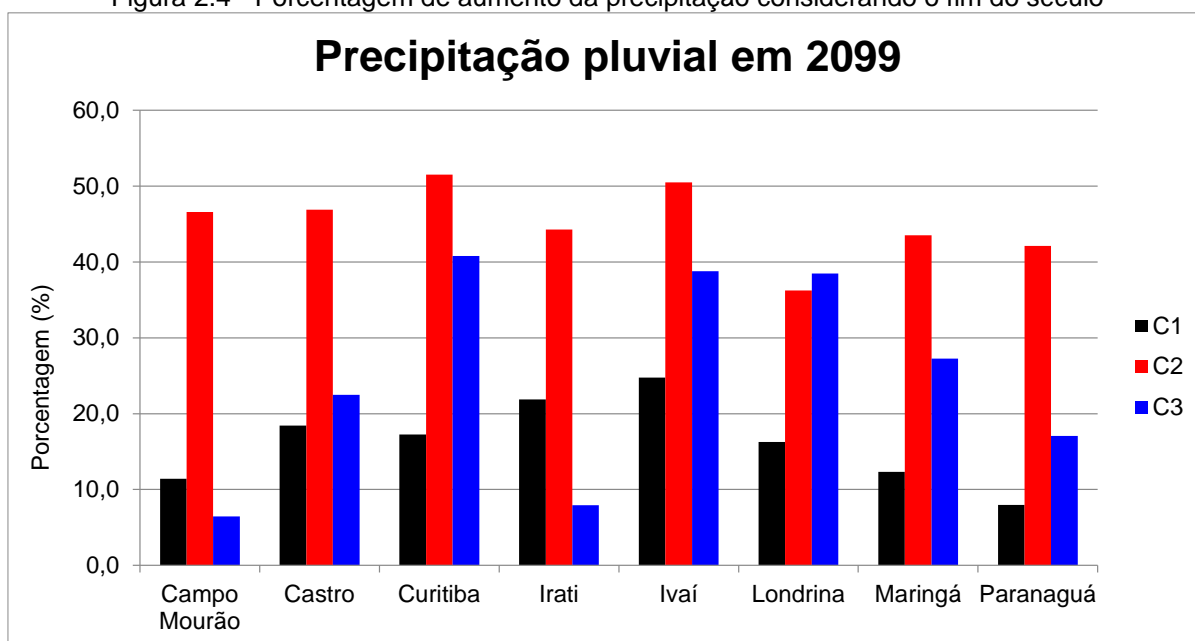


Fonte: a autora, 2020.

Na simulação realizada pelo *software* PGECLIMA_R, para o C1 que é o cenário mais otimista do IPCC foram encontrados percentuais de aumento de precipitação pluvial próximos de 17%, conforme apresenta a Figura 2.4, indicando a validade da simulação. Por sua vez o C2 estima o aumento de 4,8°C determinando uma alteração de 48% na precipitação e também foi simulado com muito boa aproximação pelo PGECLIMA_R.

O cenário 3 por apresentar uma tendência variável em decorrência das diferentes tendências mensais que apontaram para acréscimo e decréscimo da temperatura do ar, mostrou um percentual de aumento de chuva variado, sendo que o maior valor foi para a localidade Curitiba e o menor para Campo Mourão, sendo explicado pela maior e menor tendência de alteração na temperatura calculada, respectivamente.

Figura 2.4 - Porcentagem de aumento da precipitação considerando o fim do século

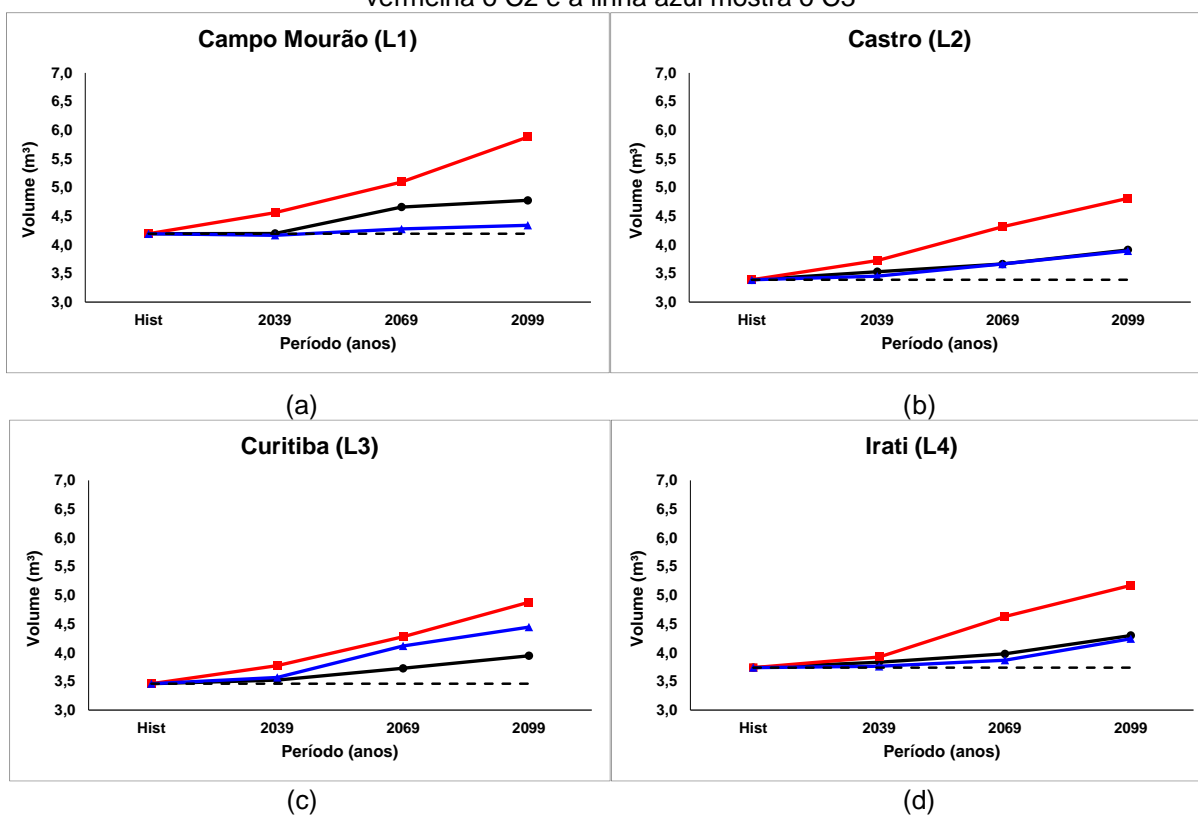


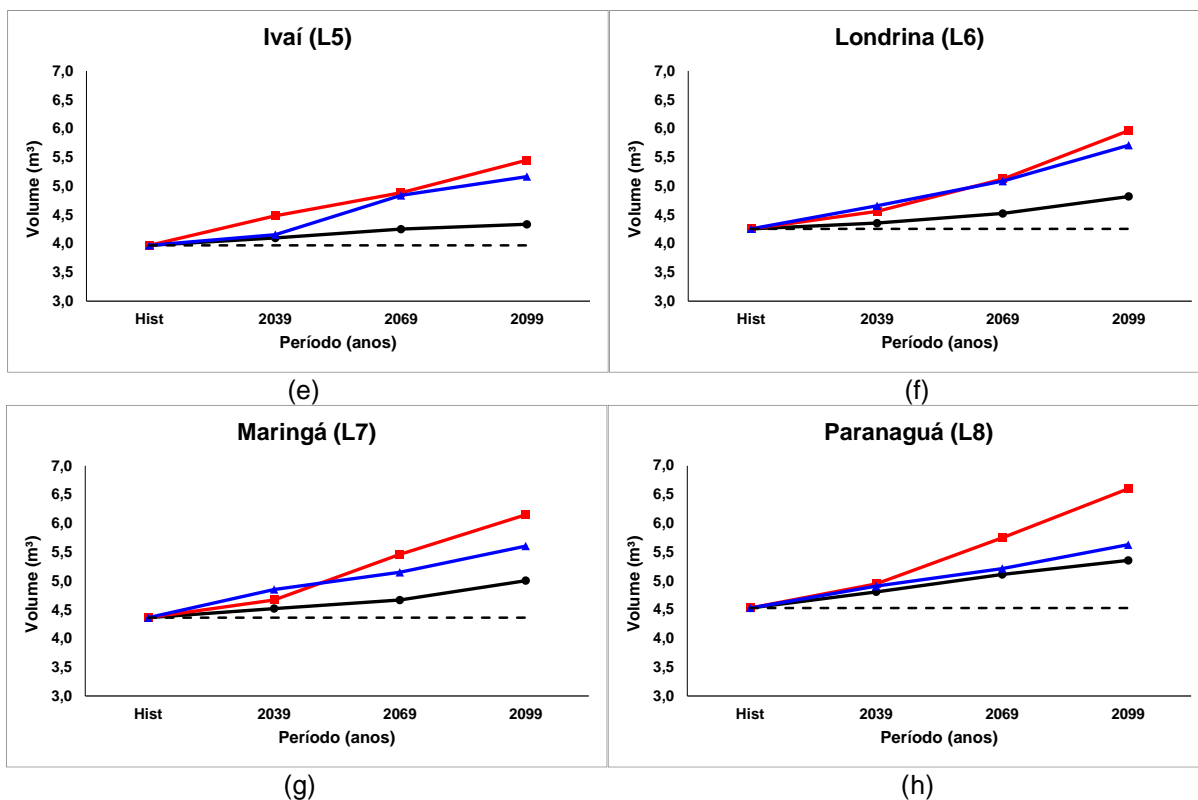
Fonte: a autora, 2020.

Com os valores de média de precipitação acumulada anual apresentados anteriormente foram estimados os volumes dos reservatórios pelo Método Prático Brasileiro. Analisando os resultados de todas as localidades, percebe-se que o menor volume do reservatório considerando a série histórica foi de 3,4 m³ para a localidade de Castro, concordando com o fato de que é a cidade historicamente menos chuvosa e o maior volume foi de 4,5 m³ para Paranaguá, evidenciado pelo fato de ser a cidade com maior precipitação.

Comparando os períodos futuros com o histórico, todas as localidades mostraram uma necessidade de aumento no volume do reservatório no fim do século (Figura 2.5), porém não foi evidenciada uma tendência linear. Isso se deve ao fato que, de acordo com o Método Prático Brasileiro, o cálculo do volume do reservatório é em função de três variáveis diretas: a área de captação de água da chuva, o acumulado de precipitação anual e o fator referente ao período mais seco do ano. Como nessa pesquisa o primeiro fator se manteve constante (sendo a área do telhado de 70 m^2), o volume sofreu alteração conforme as duas últimas variáveis citadas. Silva e Ferreira (2020) também utilizaram o Método Prático Brasileiro para o dimensionamento de um reservatório para uma residência unifamiliar em seu trabalho e obtiveram o volume de $15,91 \text{ m}^3$. Esse resultado mostrou-se superior aos valores encontrados neste trabalho. Isso pode estar relacionado ao fato do uso de diferentes metodologias para a determinação do fator do período mais seco do ano (T), uma vez que a NBR 15527 não apresenta um método para a realização desse cálculo.

Figura 2.5 - Volumes dos reservatórios. A linha pontilhada representa o histórico, a preta o C1, a vermelha o C2 e a linha azul mostra o C3





Fonte: a autora, 2020.

Para atender a demanda de energia elétrica necessária para o funcionamento do conjunto motobomba, foram dimensionados os painéis fotovoltaicos necessários. Para tanto, foi escolhida a motobomba “Modelo C” da Tabela 2.3, por ser o modelo de maior potência. Dessa forma, caso haja um aumento da demanda de água pluvial até certos parâmetros, essa mesma motobomba ainda poderá suprir tal necessidade. Com isso, foi escolhido um painel fotovoltaico disponível no mercado, com potência de 54 W e uma área de aproximadamente 0,42 m², visto que é indicado para uso em sistemas de bombeamento hidráulico de acordo com o fabricante. O cálculo para determinação dos painéis fotovoltaicos leva em consideração as HSP na localidade e o consumo de energia elétrica. Os resultados obtidos constam na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Localidade	HSP média	Ppico (kWp)	Npainéis
L1	4,966	0,049	1
L2	4,040	0,061	2
L3	4,297	0,057	2
L4	4,249	0,058	2
L5	4,599	0,053	1
L6	5,048	0,048	1
L7	5,138	0,047	1
L8	3,813	0,064	2

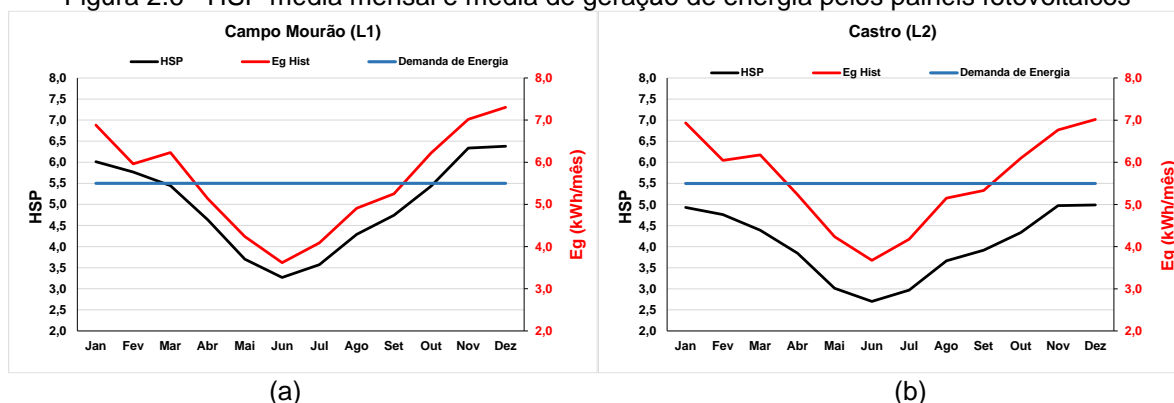
Fonte: a autora, 2020.

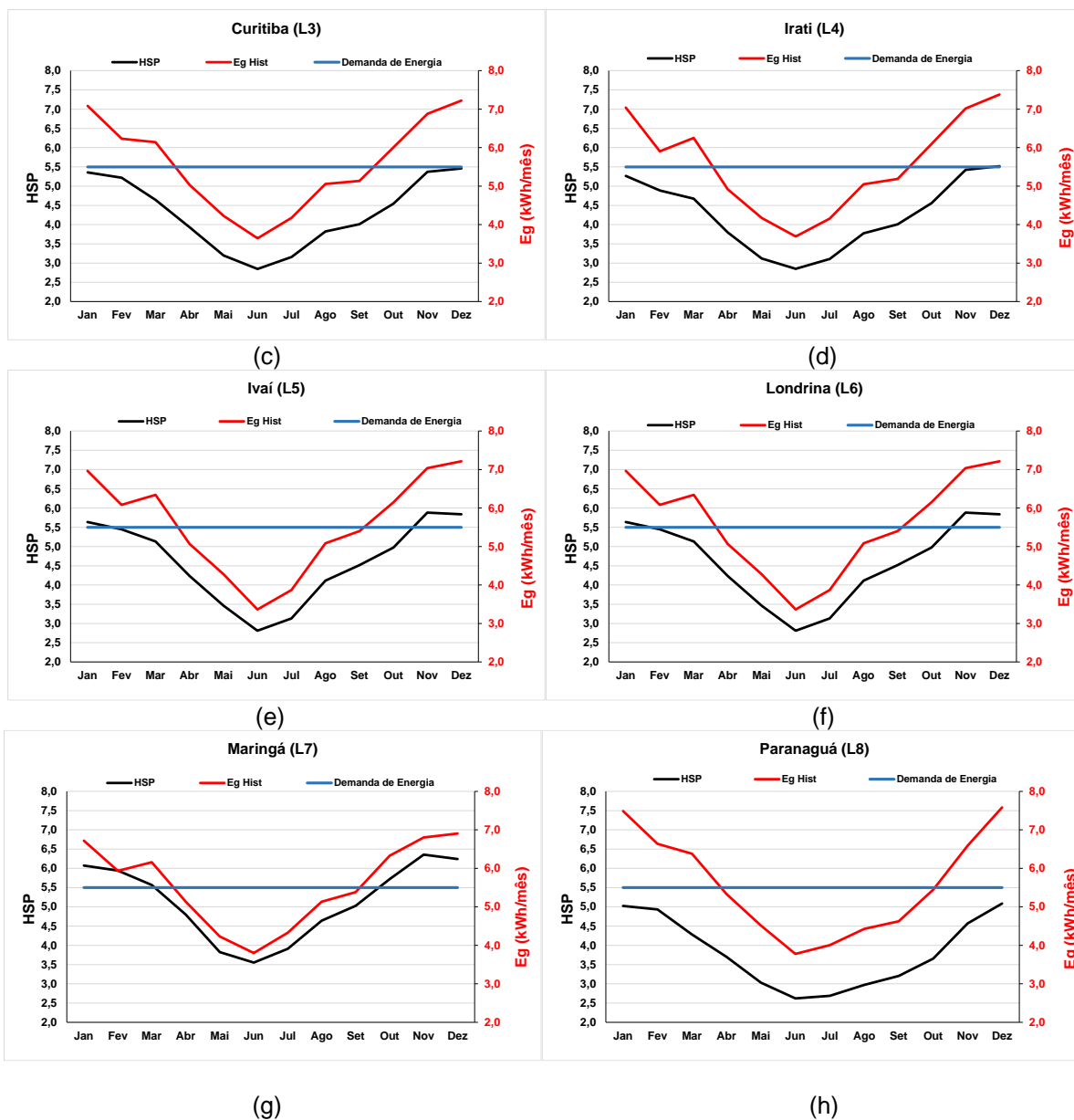
Pode-se verificar que a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para suprir a demanda energética não passou de 2 para todas as localidades. Isso foi devido ao fato de que a demanda da edificação é relativamente baixa, uma vez que o sistema de energia solar foi dimensionado somente para suprir o conjunto motobomba do sistema de aproveitamento de água.

A Figura 2.6 apresenta as HSP's médias dos meses da série histórica e a média de geração de energia por meio dos painéis fotovoltaicos. Foi possível notar que em todas as localidades (Figuras 2.6a-h) houve a diminuição da quantidade de HSP's nos meses de inverno (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e o aumento nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, e Dezembro referentes à estação de verão, quando os raios do Sol se intensificam no hemisfério sul, mesmo resultado encontrado por Sgarbossa (2019). A localidade de Maringá (Figura 2.6g) apresentou a maior média de incidência de radiação, sendo essa de 5,1 kWh/m² e Paranaguá (Figura 2.6h) a menor, de 3,8 kWh/m².

Também foi possível observar que a geração de energia elétrica é relacionada diretamente com a quantidade de HSP média no local, também evidenciado por Gnoatto et al. (2008). Portanto pode-se perceber que nos meses de verão a geração de energia foi maior, enquanto que nos meses de inverno, o potencial fotoelétrico foi menor.

Figura 2.6 - HSP média mensal e média de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos





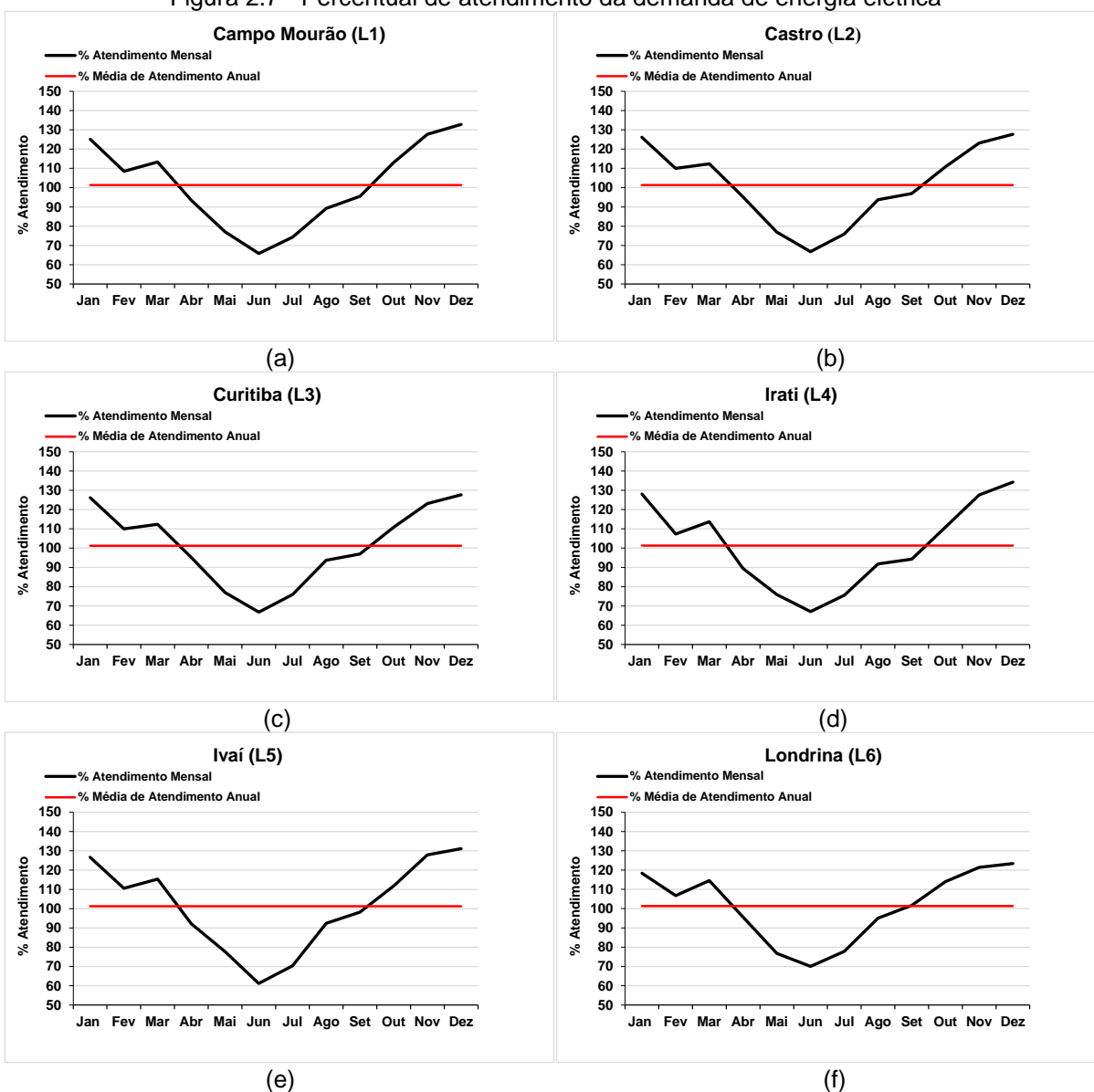
Fonte: a autora, 2020.

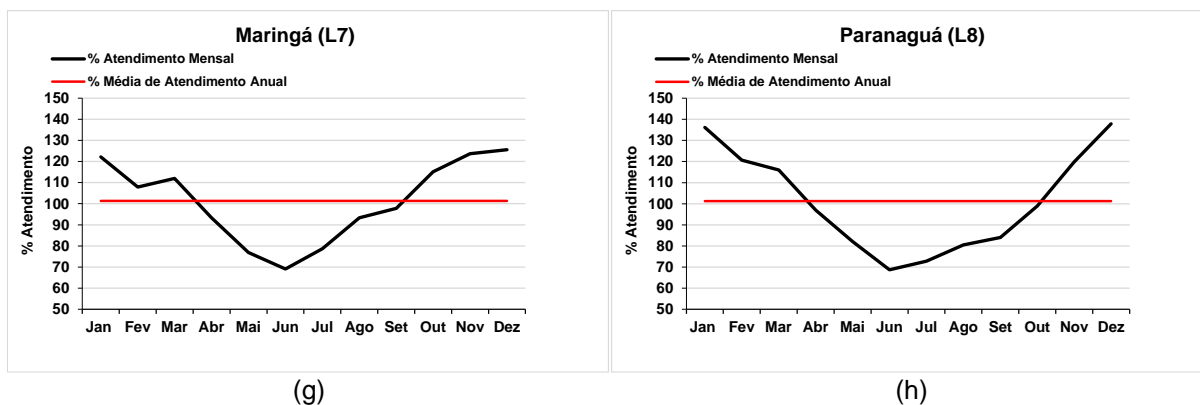
Conforme indicado na Figura 2.7, todas as localidades apresentaram nos meses de verão um superávit no atendimento da demanda de energia elétrica enquanto que nos meses de inverno houve um déficit. Porém, considerando-se a média anual, existe uma porcentagem de atendimento de aproximadamente 100% para as todas as localidades.

Embora exista esse déficit em alguns períodos do ano, os valores de superávit equilibram os meses de pouca produção elétrica, pois existe o mecanismo de compensação de energia. Dessa forma, o sistema fotovoltaico pode ser conectado à rede pública de distribuição de energia (*on-grid*) e o que é produzido em excesso é transferido para a rede, gerando créditos para quando a produção de energia não for

suficiente para atender a demanda. Sendo assim, o sistema fica equilibrado, não gerando gastos extras com energia elétrica proveniente da rede. Santini et al. (2019) dimensionaram um sistema fotovoltaico para suprir a demanda de uma residência unifamiliar localizada em uma cidade paranaense e concluíram que um sistema *on-grid* é viável economicamente e o gasto com o investimento para a instalação é recuperável.

Figura 2.7 - Percentual de atendimento da demanda de energia elétrica





Fonte: a autora, 2020.

2.4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados nesta pesquisa, foi verificado que para o dimensionamento dos reservatórios em sistemas de captação de água da chuva é necessário considerar o possível impacto provocado pelas mudanças climáticas, uma vez que essas demandam a necessidade de aumento do volume do mesmo. Desta maneira, pode-se garantir uma maior vida útil ao sistema, proporcionando uma maior economia aos usuários por reduzir o consumo de água advinda da rede pública.

Também pode ser relatado que a estimativa da produção de energia solar em função da quantidade média de Horas de Sol Pleno na localidade é um aspecto importante para se considerar a viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos em residências. O estado do Paraná mostrou ótimo potencial para a instalação do sistema de geração de energia solar, uma vez que o percentual de atendimento da energia fotovoltaica mostrou valores anuais de aproximadamente 100% para todas as localidades.

Assim, um sistema de captação de água pluvial combinado com um sistema fotovoltaico se apresenta como uma boa alternativa para reduzir os impactos ambientais, principalmente os decorrentes de eventos extremos de chuvas, que por sua vez podem provocar enchentes e inundações impactando assim os corpos hídricos. Ademais, o uso da água da chuva também deve contribuir para a diminuição do uso de água potável, gerando economia para a sociedade e amenizando os efeitos da escassez, que vem sendo acentuada ao longo do tempo.

3 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA RESIDÊNCIAS MULTIFAMILIARES UTILIZANDO FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ – BRASIL

RESUMO

Esta pesquisa objetivou dimensionar um sistema de captação de água pluvial para um edifício residencial multifamiliar utilizando painéis fotovoltaicos como fonte alternativa de energia, levando em consideração possíveis cenários de mudanças climáticas no estado do Paraná – Brasil. O sistema foi dimensionado para oito localidades do Estado do Paraná, pertencente à região sul do Brasil e para as simulações de cenários climáticos foi utilizado o *software* PGECLIMA_R. O sistema foi composto por um reservatório dimensionado pelo Método Prático Brasileiro mencionado no Regulamento Brasileiro de Águas Pluviais (NBR 15527:2007) e pelo método dos dias sem chuva consecutivos sugerido pelo PROSAB, com um sistema de motobomba alimentado por energia solar. Séries com um período de 31 anos de dados climatológicos diários foram usadas para realizar os cálculos dos reservatórios e dos sistemas fotovoltaicos para os locais avaliados. Todas as localidades mostraram a necessidade de aumento do tamanho do reservatório até o final do século para suprir a demanda de água não potável do edifício. Isso foi evidenciado pelo acréscimo dos totais anuais de chuvas simuladas e alteração na quantidade de dias sem chuva. O método sugerido pelo PROSAB apontou para um superdimensionamento do volume do reservatório com relação ao Método Prático Brasileiro. Sobre o sistema de energia fotovoltaica, as localidades paranaenses apresentaram valores médios anuais de atendimento da demanda de energia elétrica próximos de 100%, evidenciando o fato de que o estado do Paraná possui ótimo potencial para geração de energia solar.

Palavras-chave: Aproveitamento de água de chuva. Dimensionamento de reservatório. Energia solar. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

This research aimed to size a rainwater harvesting system for a multifamily residential building using photovoltaic panels as an alternative source of energy, considering possible scenarios of climate change in the State of Paraná – Brazil. The system was designed for eight localities in the State of Paraná, south of Brazil and for the simulations of climatic scenarios, the software PGECLIMA_R was used. The system was composed by a reservoir dimensioned by the Brazilian Practical Method mentioned in the Brazilian Rainwater Regulation (NBR 15527:2007) and by the consecutive dry days method suggested by PROSAB, with a motor pump powered by solar energy. Series with a period of 31 years of daily climatological data were used to

perform the calculation of the reservoirs and photovoltaic systems for the evaluated localities. All locations showed the need to increase the size of the reservoir by the end of the century to supply the building's demand of non-potable water. This was evidenced by the increase in annual totals of simulated rainfall and change in the number of dry days. The method suggested by PROSAB showed an over-dimensioning of the volume of the reservoir in relation to the Brazilian Practical Method. About the photovoltaic energy system, the localities of Paraná presented annual values of meeting the demand for electricity close to 100%, showing the fact that the state of Paraná has great potential for generating solar energy.

Keywords: Rainwater harvesting system. Reservoir sizing. Photovoltaic energy. Climate changes.

3.1 INTRODUÇÃO

A água pode ser considerada uma substância essencial, pois sem ela a vida no planeta não seria possível (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012). Durante um longo período o homem vem usufruindo dos recursos naturais, entre eles a água, de maneira desenfreada e sem preocupação com sua disponibilidade supostamente infinita. Porém esse recurso vem se tornando cada vez mais escasso, pois o crescimento populacional desordenado resultou em um aumento da demanda de água, causando grande ameaça às fontes existentes de recursos hídricos e tornando ainda mais imprescindível a maior apreensão em manter o acesso à essas fontes. É importante ressaltar que a escassez da água também é resultado da poluição e da contaminação cada vez maior dos mananciais e além disso, segundo Olivo e Ishiki (2014) também existe o grande desperdício gerado pela população.

Diante desse contexto faz-se necessária a busca pelo desenvolvimento de melhores e novas relações entre o homem e os recursos hídricos, em que a conscientização da população se torna primordial para promover a diminuição dos desperdícios. Uma das maneiras de atingir esse equilíbrio é pela elaboração de projetos de aproveitamento e reúso da água. May (2004) relata que uma forma de executar isso é realizando a captação e aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis. Segundo Tomaz (2009), em edificações residenciais a água pluvial pode ser utilizada nas descargas das bacias sanitárias, irrigação de gramados e jardins e lavagem de carros e calçadas. Esse reúso de água de chuva promove uma atenuação da demanda de água proveniente da rede de abastecimento e auxilia na diminuição do

risco de enchentes urbanas, pois a água ficará armazenada em um reservatório e conseqüentemente não precisará ser direcionada para galerias de drenagem pluvial que podem não conseguir suportar a vazão em casos de eventos extremos.

Outra preocupação nos tempos atuais é a busca por geração de energia limpa e renovável. De acordo com Oliveira et al. (2018), a utilização de painéis fotovoltaicos é uma das possíveis opções para a geração de energia limpa e renovável, uma vez que, além de minimizar os impactos ambientais, também contribui para a redução de gastos com energia proveniente da rede pública, que em sua maior parte é produzida a partir de fontes hídricas (i.e. energia hidrelétrica). O Brasil é um país que possui alto potencial de geração de energia solar, pois sua localização tropical é beneficiada pela incidência de grande quantidade de radiação solar predominante em quase todos os meses do ano (CABRAL; VIEIRA, 2012).

Assumindo que a irradiação solar e a precipitação pluviométrica são elementos, climáticos, esses podem sofrer alterações devido à possíveis mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global (IPCC, 2014). Portanto, é importante que os projetos habitacionais sustentáveis levem em consideração os elementos climáticos, que por sua vez, podem levar a mudanças necessárias na concepção desses projetos no futuro.

Nesse cenário, fica evidente que a construção de edificações sustentáveis utilizando sistemas de aproveitamento de água da chuva aliados à geração de energia limpa e renovável contribui diretamente na redução da degradação ambiental gerando maior economia para a população e proteção ao patrimônio natural. Diante disso, este trabalho teve como objetivo principal dimensionar um sistema de captação de água pluvial para um edifício residencial multifamiliar utilizando painéis fotovoltaicos como fonte alternativa de energia, levando em consideração possíveis cenários de mudanças climáticas no Estado do Paraná – Brasil.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada - LECA, pertencente ao Departamento de Matemática e Estatística da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Para isso, foram utilizadas séries históricas de 31 anos (1987 – 2017) de dados climáticos diários de precipitação pluvial, temperatura do ar (máxima e mínima) e irradiação solar global obtidos junto ao Banco

de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa - BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. As séries históricas foram obtidas para oito localidades pertencentes ao Estado do Paraná, conforme a Tabela 3.1.

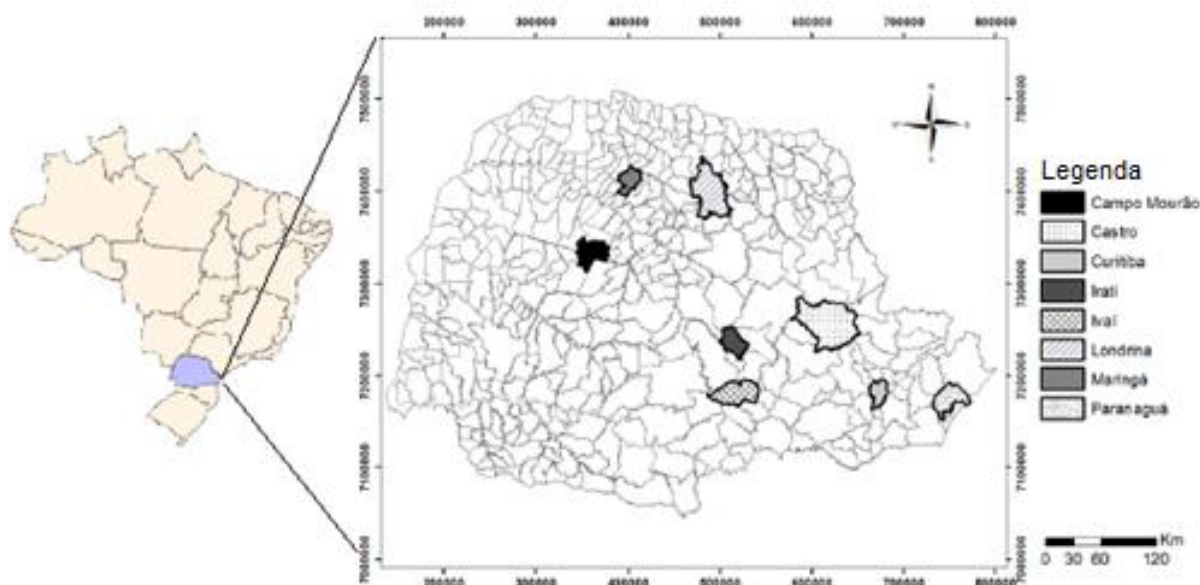
Tabela 3.1- Coordenadas geográficas dos locais selecionados para a pesquisa

ID	Localidade	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
L1	Campo Mourão	-24°03'	-52°22'	616
L2	Castro	-24°47'	-50°00'	1009
L3	Curitiba	-25°26'	-49°26'	924
L4	Irati	-25°28'	-50°38'	837
L5	Jlvaí	-25°00'	-50°51'	808
L6	Londrina	-23°19'	-51°08'	566
L7	Maringá	-23°24'	-51°55'	542
L8	Paranaguá	-25°32'	-48°31'	5

Fonte: a autora, 2020.

O Estado do Paraná localiza-se na Região Sul do Brasil, entre os paralelos 22°30'58" e 26°43'00" de latitude Sul e entre os meridianos 48°05'37" e 54°37'08" de longitude Oeste (Figura 3.1). Conforme a classificação de Koppen, o Paraná possui dois tipos de clima dominantes: o Cfa que apresenta altas temperaturas durante o verão, geadas menos frequentes e concentração do volume de precipitação nos meses de verão, sem período de seca definido; e o clima do tipo Cfb que apresenta verões mais frescos, geadas mais frequentes nos meses de inverno e também não apresenta um período de seca definido (NITSCHKE et al., 2019).

Figura 3.1 - Localidades selecionadas no Estado do Paraná



Fonte: Adaptado de Sgarbossa e Virgens Filho, 2020.

Para esta pesquisa foi definido um edifício multifamiliar composto por 4 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e o térreo com garagem e uma área externa de jardim. Cada apartamento foi considerado como sendo a habitação de uma família de quatro pessoas e para fins de cálculo da demanda de água pluvial, foi determinada a utilização da água nas bacias sanitárias, irrigação do jardim e lavagem da garagem. A cobertura do edifício era em platibanda, com uma área de captação de 350 m².

Para o dimensionamento do reservatório do sistema de captação pluvial foram utilizadas duas metodologias, uma mencionada na Norma Brasileira 15527 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos (ABNT, 2007) e a outra presente no Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB que segue a orientação do Group Raindrops (2002).

O método mencionado na NBR 15527 utilizado neste trabalho foi o de Azevedo Neto, também conhecido como o Método Prático Brasileiro e considera em seu cálculo a precipitação anual acumulada e os meses mais secos do ano, sendo que o volume do reservatório é estimado por meio da Equação 3.1.

$$VRES_{AN} = 0.042 \times Pa \times A \times T \quad (3.1)$$

em que,

$VRES_{AN}$ = volume final do reservatório (m³);

Pa = precipitação anual acumulada (mm);

A = Área de captação de água de chuva (m²);

T = fator para o período mais seco do ano conforme Lima et al. (2015).

A NBR 15527 não detalha os critérios para determinação do fator referente aos meses mais secos do ano (T), portanto esse fator foi calculado pela quantidade máxima de dias sem chuva de um determinado mês, para cada localidade, conforme adotado por Lima et al. (2015).

A outra metodologia utilizada neste trabalho foi a sugerida pelo PROSAB, na qual o dimensionamento do reservatório utilizado para armazenamento da água da chuva é baseado no método do maior período de estiagem, descrito pelo Group Raindrops (2002), que por sua vez, leva em consideração o número de dias consecutivos sem chuva nas determinadas localidades. Além disso, o cálculo também requer a demanda de água que será atendida na edificação, conforme a Equação 3.2.

É importante ressaltar que neste trabalho foi adotado como dia sem precipitação os dias em que ocorreram 0 mm de chuva.

$$VRES_{PRO} = D_{ld} \times N_{dsc} \quad (3.2)$$

em que,

$VRES_{PRO}$ = volume do reservatório (L);

D_{ld} = demanda de água que será atendida na edificação (L/d);

N_{dsc} = maior número de dias consecutivos sem chuva na localidade (dias).

Para a estipulação da demanda de água não potável do edifício levou-se em consideração a utilização na descarga das bacias sanitárias, irrigação de uma área externa com jardim de 85 m² e lavagem de um pátio com área impermeabilizada de 400 m² utilizada como garagem. O cálculo foi realizado de acordo com o trabalho de Tomaz (2009) que prevê parâmetros para a estimativa do consumo de água para descargas de vasos sanitários, irrigação de jardins e lavagem de pátios. Os valores constantes na Tabela 3.2 já consideram a demanda para a população total do edifício de 64 pessoas.

Tabela 3.2 – Demanda total de água não potável para o edifício

Uso	Frequência	Diária (L)	Mensal (m³)
Bacia sanitária	5 descargas/pessoa/dia	3110,4	93,3
Irrigação do jardim	12 irrigações/mês	68,0	2,0
Lavagem de pátios	8 lavagens/mês	213,3	6,4
TOTAL		3391,7	101,7

Fonte: a autora, 2020.

Para realizar o bombeamento da água armazenada no reservatório de água da chuva até o reservatório superior (caixa d'água) foi dimensionado um conjunto motobomba de acordo com a metodologia de Barbosa et al. (2017). Dessa forma, foi determinada uma vazão de projeto de 4 m³/h para encher um reservatório de 4000 litros. A carga hidráulica para o cálculo foi determinada seguindo tabelas de fabricantes de motobombas e de acordo com os projetos arquitetônico e hidráulico pré-definidos. Dessa forma foi escolhido um modelo de conjunto motobomba disponível no mercado e sua respectiva demanda de energia elétrica, conforme a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Demanda de energia elétrica para o conjunto motobomba para o sistema de bombeamento da água da chuva

Bombeamento de Água da chuva	Potência (W)	Horas de funcionamento/dia	Consumo mensal (kWh/mês)
Motobomba 2,0 cv	1471	1	44,13

Fonte: a autora, 2020.

A partir da demanda de energia elétrica necessária para alimentar o conjunto motobomba, foi determinado o número de painéis fotovoltaicos destinados ao suprimento da potência exigida. Para isso foram apurados os níveis de irradiação de cada uma das oito localidades e, segundo Pinho e Galdino (2014), para o cálculo é utilizado o número de Horas de Sol Pleno (HSP), conforme Equação 3.3.

$$HSP = \frac{I_g}{1 \frac{kW}{m^2}} \quad (3.3)$$

em que,

I_g é a irradiação global da localidade (kWh/m²).

De acordo com o trabalho de Ruther (2004), a orientação dos painéis solares instalados no telhado da edificação deve ser voltada para o Equador, portanto como todas as localidades estão no Hemisfério Sul, a orientação é para o Norte. A inclinação deve ser próxima do valor da latitude do local, de forma que seja garantida a máxima incidência solar.

Com o valor da demanda mensal de energia elétrica e de HSP de cada localidade foi determinada a potência pico do sistema fotovoltaico de acordo com a Equação 3.4.

$$P_{pico} = \frac{\frac{CD}{TD}}{HSP} \quad (3.4)$$

em que,

P_{pico} = Potência pico do sistema fotovoltaico (kWp);

CD = Consumo diário de energia elétrica (kWh/dia);

TD = Taxa de desempenho (valor adimensional $\approx 0,75$);

HSP = média diária Horas de Sol Pleno incidentes nos painéis.

A taxa de desempenho utilizada na Equação 2.4 leva em consideração a potência real do sistema sob diversas condições de operação e perdas energéticas. Para o cálculo foi considerada uma estimativa da taxa de 75%, pois de acordo com

Pinho e Galdino (2014), sistemas fotovoltaicos ventilados e não sombreados instalados no Brasil possuem uma TD entre 70% e 80%.

Após ser obtido o valor de potência pico do sistema fotovoltaico, foi determinado o número de painéis necessário para gerar a potência calculada, conforme a Equação 3.5.

$$N_{\text{painéis}} = \frac{P_{\text{pico}}}{P_{\text{painel}}} \quad (3.5)$$

em que,

$N_{\text{painéis}}$ = número de painéis fotovoltaicos;

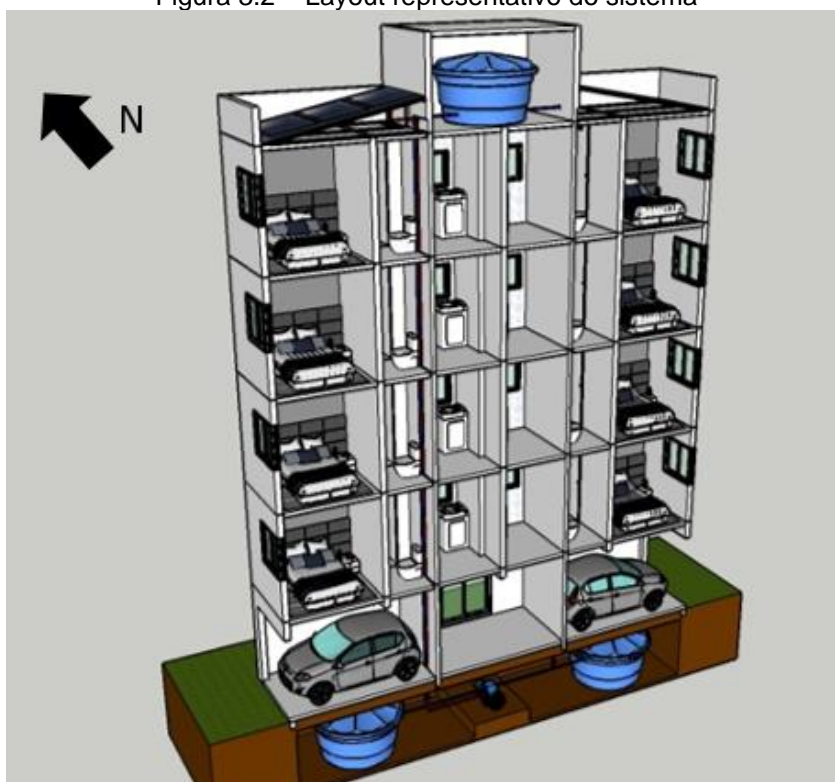
P_{pico} = potência pico do sistema fotovoltaico (kWp);

P_{painel} = potência dos painéis segundo informações fornecidas pelos fabricantes (W).

É importante ressaltar que os painéis fotovoltaicos geram energia em corrente contínua (CC), entretanto o conjunto motobomba considerado no edifício opera em corrente alternada (CA), portanto é necessário a utilização de inversor para realizar essa transformação. Porém neste trabalho o dimensionamento desse inversor não foi realizado.

A Figura 3.2 representa um esquema do sistema proposto.

Figura 3.2 – Layout representativo do sistema



Fonte: a autora, 2020.

Levando em consideração a relação do clima com o desempenho do sistema e o prognóstico de mudanças climáticas, quatro cenários climáticos foram simulados até o final do século para cada uma das oito localidades. Três dos cenários simulados consideraram a alteração do volume de precipitação baseados no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014). Segundo esse relatório existe uma relação entre a temperatura do ar em elevação e os níveis crescentes de precipitação. Essa relação também foi estabelecida por Pyke (2005), que associou uma variação de 10% na quantidade de precipitação para cada grau Celsius variado.

Dessa forma, no primeiro cenário simulado (C1) foi considerado um aumento mensal progressivo na temperatura do ar chegando a 1,7°C até o final do século, projeção mais otimista estabelecida no quinto relatório do IPCC, com consequente aumento de 17% nos níveis de precipitação. No segundo cenário (C2), com a pior perspectiva do IPCC, foi levado em consideração um aumento mensal na temperatura do ar atingindo 4,8°C no final do século, o que poderá provocar um aumento de 48% nos níveis de precipitação. O terceiro cenário (C3) foi elaborado considerando a análise de tendência da alteração da temperatura do ar (máxima e mínima) das séries históricas de 31 anos das localidades avaliadas. Diferentemente dos demais, o quarto cenário (C4) foi simulado em função da variação do número de dias sem chuva em cada localidade, também com base numa análise de tendência.

Para as simulações dos cenários climáticos foi utilizado o *software* PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013). Essa ferramenta é capaz de criar cenários climáticos mediante a simulação de séries diárias de precipitação e temperatura do ar. É importante ressaltar que a radiação solar foi simulada, porém não foi impactada, pois conforme Sgarbossa (2019), essa é uma variável climática que não sofrerá alterações significativas até o final do século.

As séries históricas climáticas de precipitação e temperatura do ar (máxima e mínima) das oito localidades foram submetidas ao teste não paramétrico de Mann-Kendall (M-K) utilizando o R Studio, que é um *software* livre que opera com a linguagem de programação R e, que é voltada para a análise estatística de dados (VERZANI, 2011). O Teste de M-K teve por objetivo analisar se os dados possuíam ou não uma tendência estatisticamente significativa na alteração na quantidade mensal de dias sem chuva e na temperatura do ar. O teste foi realizado com um nível de significância de 5%.

Posteriormente os dados históricos foram submetidos à técnica de Análise de Regressão que avalia possíveis alterações climáticas na quantidade de dias sem chuva e na temperatura do ar por meio da variação do coeficiente angular da reta ajustada aos dados (MINUZZI et al., 2011). Os coeficientes angulares encontrados foram utilizados para a determinação das porcentagens de aumento ou diminuição dos dias sem precipitação pluviométrica e da temperatura do ar (que impacta na precipitação pluvial) a serem inseridas no *software* PGECLIMA_R para promover a perturbação dos dados e gerar a simulação dos cenários climáticos futuros.

A partir dos dados simulados foram dimensionados os sistemas de captação de água da chuva e os painéis fotovoltaicos levando em consideração os cenários impactados nos períodos de 2018-2039, 2040-2069 e 2070-2099.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3.4 apresenta os resultados encontrados na aplicação do teste M-K (p-valor), para avaliação mensal de alterações na tendência das séries diárias de temperatura mínima do ar nas localidades analisadas.

Tabela 3.4 – Computação mensal dos p-valores obtidos no teste M-K para análise de tendência da temperatura mínima do ar nas localidades avaliadas

TEMPERATURA MÍNIMA DO AR								
MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	0,013*	0,497	0,234	0,341	0,838	0,708	0,634	0,196
Fevereiro	0,475	0,196	0,000*	0,292	0,019*	0,008*	0,002*	0,000*
Março	0,037*	0,622	0,066	0,541	0,118	0,386	0,395	0,066
Abril	0,043*	0,163	0,563	0,324	0,734	0,747	0,683	0,812
Mai	0,415	0,292	0,011*	0,518	0,434	0,395	0,333	0,012*
Junho	0,812	0,122	0,045*	0,496	0,359	0,191	0,174	0,497
Julho	0,622	0,324	0,025*	0,587	0,045*	0,043*	0,092	0,004*
Agosto	0,973	0,316	0,003*	0,415	0,005*	0,057	0,066	0,025*
Setembro	0,248	0,368	0,003*	0,838	0,248	0,269	0,083	0,072
Outubro	0,946	0,038*	0,035*	0,248	0,444	0,221	0,043*	0,003*
Novembro	0,683	0,786	0,415	0,563	0,174	0,497	0,497	0,386
Dezembro	0,196	0,405	0,025*	0,563	0,455	0,043*	0,099	0,089

Fonte: a autora, 2020. (*) indica tendência de alteração significativa a um nível de 5%.

Com exceção de Irati (L4), verificou-se que as demais localidades apresentaram tendência de alteração significativa na temperatura mínima do ar em pelo menos um mês do ano. Curitiba (L3) foi a localidade que apresentou valores de significância estatística (p-valor abaixo de 5%) em mais meses do ano, totalizando

oito meses com alteração significativa. Campo Mourão (L1) apresentou tendência em Janeiro e Março, Ivaí (L5) em Fevereiro, Julho e Agosto. Londrina (L6) mostrou alteração significativa em Fevereiro, Julho e Dezembro, enquanto Maringá (L7) em Fevereiro e Outubro. Paranaguá (L8), obteve um total de cinco meses com tendência de alteração significativa na temperatura mínima do ar.

Na Tabela 3.5 são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do teste M-K (p-valor) para análise mensal de alterações na tendência das séries diárias de temperatura máxima do ar nas localidades avaliadas.

Tabela 3.5 – Computação mensal dos p-valores obtidos no teste M-K para análise da tendência da temperatura máxima do ar nas localidades avaliadas

TEMPERATURA MÁXIMA DO AR								
MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	0,659	0,659	0,812	0,529	0,292	0,324	0,734	0,507
Fevereiro	0,053	0,025*	0,001*	0,030*	0,130	0,000*	0,000*	0,099
Março	0,415	1,000	0,610	0,721	0,255	0,051	0,153	0,598
Abril	0,812	0,144	0,812	0,812	0,377	0,017*	0,610	0,004*
Mai	0,683	0,083	0,368	0,610	0,096	0,027*	0,395	0,634
Junho	0,292	0,434	0,341	0,865	0,208	0,035*	0,185	0,646
Julho	0,529	0,057	0,174	0,415	0,062	0,064	0,144	0,221
Agosto	0,395	0,077	0,049*	0,905	0,025*	0,038*	0,110	0,062
Setembro	0,045*	0,163	0,064	0,208	0,135	0,047*	0,009*	0,053
Outubro	0,103	0,587	0,096	0,359	0,027*	0,001*	0,017*	0,248
Novembro	0,158	0,659	0,234	0,852	0,002*	0,032*	0,773	0,359
Dezembro	0,812	0,696	0,905	0,486	0,002*	0,096	0,932	0,865

Fonte: a autora, 2020. (*) indica tendência de alteração significativa a um nível de 5%.

Diferentemente da temperatura mínima do ar (Tabela 3.4), todas as localidades apresentaram tendência significativa de alteração na temperatura máxima do ar em pelo menos um mês do ano. Campo Mourão (L1) e Paranaguá (L8) mostraram alteração significativa em apenas um mês, sendo eles Setembro e Abril, respectivamente. Castro (L2) e Irati (L4) apresentaram tendência somente no mês de Fevereiro. Curitiba (L3) nos meses de Fevereiro e Agosto. Ivaí (L5) mostrou valores de significância (p-valor) inferiores a 5% para quatro meses do ano. Londrina (L6) foi a localidade que apresentou tendência significativa em maior quantidade de meses, totalizando oito e Maringá (L7) em três meses (Fevereiro, Setembro e Outubro).

Minuzzi et al. (2011) trabalharam com a análise de tendência para a temperatura máxima e mínima do ar utilizando o teste M-K e também observaram a ocorrência de tendência significativa em alguns meses do ano para as localidades paranaenses. Neves et al. (2016) que trabalharam com a análise temporal e espacial

da temperatura do ar no estado do Paraná obtiveram resultados similares, também indicando a variabilidade na existência de tendência significativa nas temperaturas máxima e mínima de acordo com o teste M-K.

Para a simulação do C4 foi necessário avaliar a tendência de alteração do número mensal de dias sem chuva. Os resultados obtidos de p-valor pelo teste de M-K estão apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Computação dos p-valores obtidos no teste M-K para análise da tendência do número mensal de dias sem chuva nas localidades avaliadas

NÚMERO DE DIAS SEM CHUVA								
MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	0,402	0,305	0,244	0,631	0,132	0,129	0,189	0,491
Fevereiro	0,745	0,483	0,328	0,784	0,495	0,864	0,584	0,945
Março	0,543	0,539	0,608	0,620	0,771	0,155	0,402	0,505
Abril	0,078	0,733	0,045*	0,212	0,932	0,654	0,986	0,732
Mai	0,505	0,945	0,177	0,645	0,225	0,657	0,862	0,087
Junho	0,645	0,645	0,141	0,644	0,905	0,905	0,905	0,904
Julho	0,346	0,757	0,039*	0,891	0,483	0,547	0,756	0,619
Agosto	0,771	0,904	0,495	0,959	0,527	0,595	0,878	0,287
Setembro	0,205	0,644	0,090	0,517	0,694	0,932	0,124	0,044*
Outubro	0,294	0,097	0,811	0,669	1,000	0,972	0,809	0,410
Novembro	0,877	0,128	0,481	0,837	0,515	0,083	0,267	0,057
Dezembro	0,719	0,067	0,017*	0,362	0,441	0,745	0,019*	0,059

Fonte: a autora, 2020. (*) indica tendência de alteração significativa a um nível de 5%.

Foi possível notar que apenas três das localidades apresentaram tendência de alteração significativa no número mensal de dias sem precipitação pluviométrica, sendo essas Curitiba (L3), Maringá (L7) e Paranaguá (L8). Curitiba mostrou tendência de alteração em três meses do ano (Abril, Julho e Dezembro) enquanto que Maringá e Paranaguá somente em um mês, sendo Dezembro e Setembro, respectivamente.

Uma vez que nem todas as localidades apresentaram tendências de alteração estatisticamente significativas nas temperaturas do ar e no número mensal de dias sem chuva, conforme mostrado nas Tabelas 3.4, 3.5 e 3.6, e tendo em vista uma perspectiva experimental, os cenários simulados para todos os meses foram baseados unicamente nas tendências verificadas por meio do coeficiente angular da Análise de Regressão que foi aplicado nas séries históricas das localidades.

As Tabelas 3.7, 3.8 e 3.9 apresentam os coeficientes angulares obtidos por meio da Análise de Regressão apontando as tendências locais. Coeficientes positivos indicam tendência de aumento enquanto os negativos indicam diminuição nas temperaturas máxima e mínima do ar, assim como na quantidade de dias sem chuva.

Tabela 3.7 – Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração na temperatura mínima do ar

TEMPERATURA MÍNIMA DO AR								
MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	-0,050	-0,077	0,025	0,014	0,010	-0,001	0,001	0,025
Fevereiro	-0,012	0,022	0,064	0,017	0,037	0,035	0,048	0,061
Março	-0,039	0,008	0,034	0,004	0,028	0,013	0,010	0,022
Abril	-0,049	-0,023	0,018	0,024	-0,003	0,044	0,011	0,001
Mai	-0,024	0,036	0,069	0,022	0,018	0,022	0,026	0,055
Junho	-0,014	0,031	0,067	0,011	0,024	0,032	0,034	0,036
Julho	0,002	0,033	0,073	0,012	0,048	0,037	0,060	0,065
Agosto	-0,008	0,024	0,082	0,024	0,064	0,029	0,044	0,044
Setembro	-0,025	0,022	0,075	0,013	0,034	0,035	0,070	0,051
Outubro	-0,001	0,028	0,051	0,026	0,030	0,032	0,047	0,046
Novembro	0,050	-0,002	0,025	0,020	0,028	0,015	0,012	0,021
Dezembro	-0,023	0,021	0,049	0,014	0,021	0,028	0,025	0,030

Fonte: a autora, 2020.

Conforme a Tabela 3.7, foi possível observar que a maioria das localidades apresentaram uma tendência de aumento na temperatura mínima do ar em mais meses do ano. Isso pode estar relacionado ao fato do desmatamento que vem se intensificando e da ocupação agrícola, pois de acordo com o trabalho de Gasparotto et al. (2005), a maior exposição do solo é responsável por aumentar o calor que é armazenado durante o dia, que por consequência pode elevar as temperaturas mínimas durante o período da noite. Apenas Campo Mourão (L1) apresentou tendência de diminuição da temperatura mínima do ar em maior número de meses.

Tratando-se da temperatura máxima do ar, todas as localidades apresentaram tendência de aumento na maioria dos meses do ano, conforme a Tabela 3.8. A possível causa dessa ocorrência é a expansão da área urbana, sendo a característica principal o crescimento demográfico rápido e desordenado (NEVES et al. , 2016).

Tabela 3.8 – Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração na temperatura máxima do ar

TEMPERATURA MÁXIMA DO AR								
MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	-0,015	-0,017	0,007	0,024	0,030	0,033	0,015	0,013
Fevereiro	0,040	0,049	0,073	0,038	0,045	0,094	0,088	0,042
Março	0,011	-0,002	0,010	0,013	0,028	0,036	0,029	-0,009
Abril	0,012	-0,023	0,024	0,005	0,016	0,090	0,021	-0,031
Mai	0,016	0,036	0,028	-0,006	0,048	0,052	0,028	0,013
Junho	0,027	0,017	0,026	-0,013	0,044	0,058	0,032	0,013
Julho	0,024	0,050	0,042	-0,018	0,043	0,064	0,052	0,024
Agosto	0,033	0,046	0,063	-0,001	0,076	0,083	0,061	0,044
Setembro	0,064	0,065	0,105	0,048	0,075	0,089	0,109	0,049
Outubro	0,040	0,017	0,053	0,035	0,048	0,086	0,064	0,025
Novembro	0,077	0,009	-0,014	0,009	0,051	0,028	0,008	-0,009
Dezembro	-0,004	0,000	0,009	-0,008	0,053	0,033	0,005	-0,002

Fonte: a autora, 2020.

Com a Análise de Regressão foi possível verificar que para os dias sem precipitação pluviométrica em alguns meses do ano existe a tendência de aumento na quantidade, enquanto que em outros existe a diminuição, conforme a Tabela 3.9. Paranaguá (L8) foi a localidade que apresentou tendência de diminuição do número de dias sem chuva em mais meses do ano enquanto que Campo Mourão (L1) e Curitiba (L3) foram os locais que mostraram tendência de aumento do número de dias sem chuva em mais meses do ano.

Tabela 3.9 – Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração no número mensal de dias sem chuva

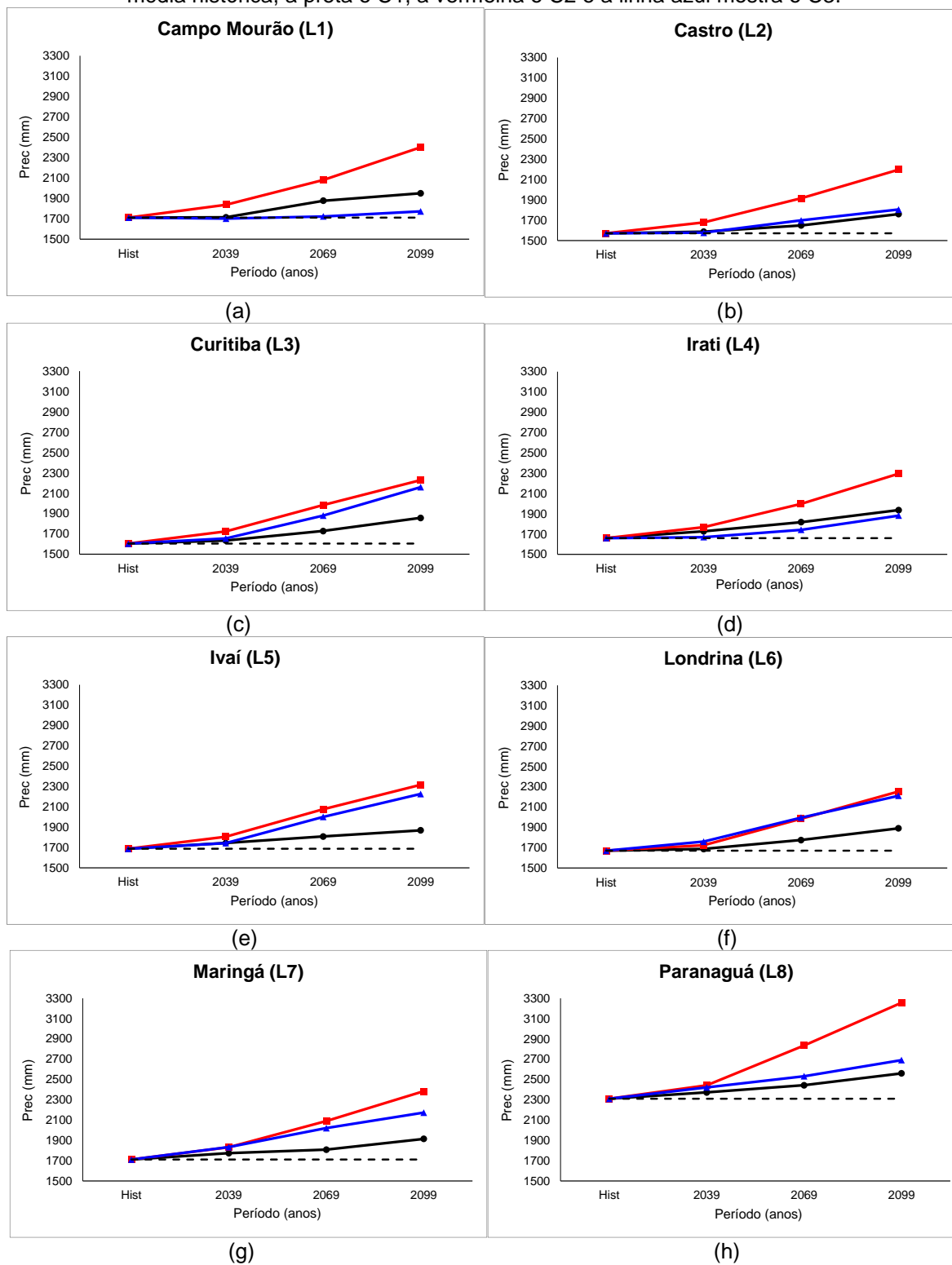
NÚMERO DE DIAS SEM CHUVA								
MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	0,096	-0,094	-0,075	0,003	-0,094	-0,145	-0,110	-0,056
Fevereiro	0,227	0,126	0,129	0,124	0,234	0,034	0,225	-0,007
Março	0,048	-0,041	0,048	-0,030	0,024	-0,100	0,067	-0,073
Abril	0,112	-0,022	0,167	0,142	0,007	0,030	0,039	-0,004
Mai	0,079	0,015	0,146	0,059	0,123	0,029	0,019	-0,147
Junho	-0,054	-0,140	0,065	0,001	-0,026	0,014	-0,001	-0,028
Julho	-0,097	-0,047	0,129	-0,004	-0,062	-0,009	-0,043	0,042
Agosto	0,044	-0,030	0,052	-0,003	-0,051	-0,034	-0,015	0,067
Setembro	0,077	0,042	0,163	0,056	0,027	0,009	0,113	0,145
Outubro	0,065	-0,107	0,024	-0,038	-0,004	0,000	0,013	-0,077
Novembro	-0,037	-0,146	-0,073	-0,011	0,057	-0,135	-0,098	-0,151
Dezembro	0,007	-0,112	-0,169	-0,059	0,054	-0,043	-0,127	-0,116

Fonte: a autora, 2020.

Nesse contexto pode-se afirmar que a variabilidade no número de dias sem chuva e a alteração na temperatura do ar impacta na disponibilidade de água pluvial,

que por sua vez impacta no volume do reservatório. A Figura 3.3 apresenta os gráficos com a variação do volume pluvial acumulado anual considerando os cenários simulados impactados pela temperatura do ar em cenários de mudanças climáticas.

Figura 3.3 - Médias da precipitação acumulada anual. A linha pontilhada representa a tendência média histórica, a preta o C1, a vermelha o C2 e a linha azul mostra o C3.



Fonte: a autora, 2020.

A precipitação média anual acumulada do período histórico para as oito localidades paranaenses variou de 1572 mm a 2310 mm. Castro (Figura 3.3b) mostrou ser o local historicamente mais seco enquanto Paranaguá (Figura 3.3h) o mais chuvoso, por se tratar de uma cidade litorânea, de acordo com Vanhoni e Mendonça (2008).

Nas simulações dos três cenários climáticos futuros que levaram em consideração a alteração da temperatura para os períodos de 2018-2039, 2040-2069 e 2070-2099, foi possível identificar a tendência de aumento no volume anual de chuva, porém devido à grande variabilidade da precipitação, esse acréscimo não ocorreu de forma linear ao longo dos períodos, mesma observação feita por Costa (2016) que também trabalhou com a simulação de cenários climáticos futuros baseados nas projeções do IPCC. O período de 2018-2039 apresentou um acréscimo na precipitação mais brando, com valores próximos do histórico para os três cenários. O segundo período (2040-2069) mostrou um aumento do volume pluvial mais acentuado em relação ao primeiro período, sendo que o C2 destacou-se por apresentar valores mais distantes do período histórico do que os outros cenários. Por fim, o período de 2070-2099 expôs os maiores acréscimos de precipitação com relação ao histórico, pois as perturbações inseridas no *software* PGECLIMA_R para a simulação dos cenários climáticos futuros foram pré-determinadas para gerar o impacto total no volume de chuva até o final do século.

O cenário mais otimista baseado nas projeções do IPCC (C1) mostrou para todas as localidades um aumento mais brando em relação ao C2 que é o mais pessimista. A menor média pluvial encontrada para o C1 foi de 1761 mm para Castro (Figura 3.3b), enquanto o C2 apresentou o valor de 2198 mm, para a mesma localidade. Tratando-se de maior volume de precipitação, o C1 projetou 2561 mm e o C2 apontou 3257 mm, ambos evidenciados na cidade de Paranaguá (Figura 3.3h), concordando com a média histórica que também foi a maior encontrada nas localidades analisadas.

O cenário C3 que foi determinado por meio da Análise de Regressão, apresentou na simulação um aumento de precipitação variado, uma vez que em algumas localidades o acumulado anual ficou acima do C1 (Figuras 3.3b, 3.3c, 3.3e, 3.3f, 3.3g e 3.3h) enquanto que em outras, ficou abaixo, caso de Campo Mourão e Irati (Figuras 3.3a e 3.3d). Esse fato se remete à estimativa pela regressão, onde foi apontado que em algumas localidades houve tendência de aumento na temperatura

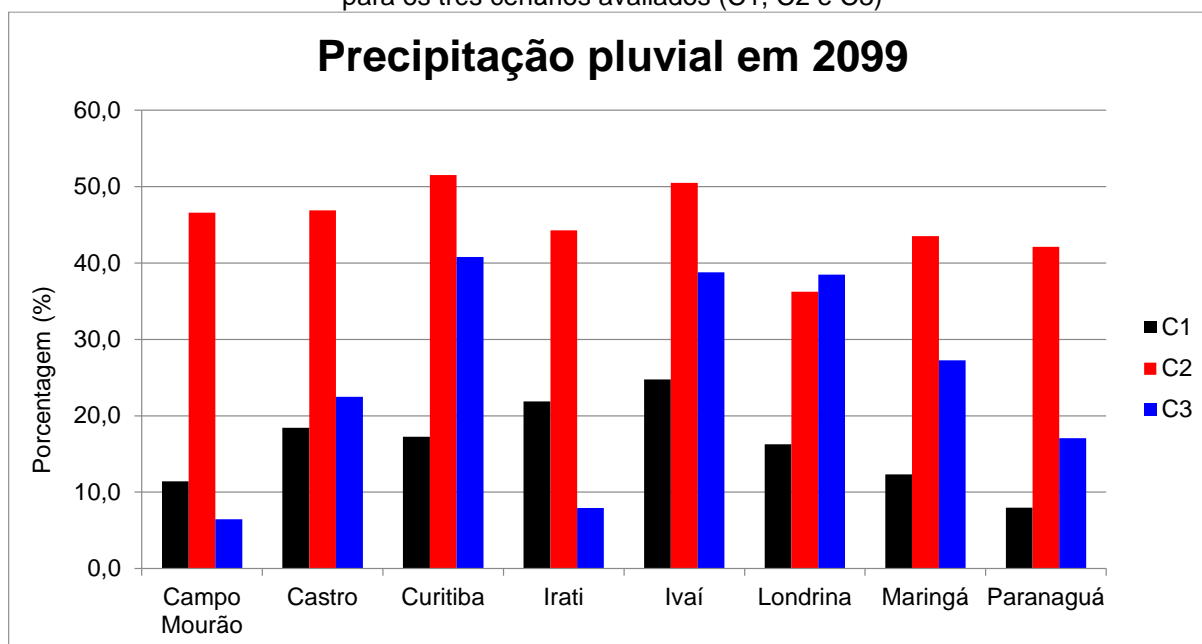
em alguns meses, enquanto em outros houve a diminuição. Com isso a média de acréscimo na temperatura exerce influência, determinando por sua vez uma maior ou menor tendência de alteração pluviométrica.

Por esse motivo o C3 de Campo Mourão (Figura 3.3a) ficou muito próximo do histórico de 1710 mm, pois na Análise de Regressão foram determinados meses de aumento, como também meses de diminuição de temperatura, de acordo com a Tabela 3.8. Por outro lado as localidades de Curitiba (Figura 3.3c), Ivaí (Figura 3.3e) e Londrina (Figura 3.3f) apresentaram um C3 muito próximo do C2. Sendo assim é possível observar que suas tendências verificadas evidenciam uma maior mudança na temperatura. Nenhuma das localidades apresentou no C3 um resultado tão pessimista quanto o apontado no C2 até o final do século, mostrando que caso ocorra um aquecimento regional até o ano de 2099 este se aproximará mais do cenário mais otimista do IPCC.

De acordo com as projeções do IPCC, no C1 haverá o aumento de 1,7°C até 2099 e segundo Pyke (2005) isso implica num acréscimo de 17% na chuva. Na simulação realizada pelo Software PGECLIMA_R, para esse cenário mais otimista foram encontrados percentuais de aumento próximos de 17%, conforme apresenta a Figura 3.4, indicando a concordância da simulação. Por sua vez o C2 estima o aumento de 4,8°C determinando uma alteração de 48% na precipitação e também foi simulado com muito boa aproximação pelo PGECLIMA_R.

Em contrapartida, o cenário 3 por apresentar uma tendência variável em decorrência das diferentes tendências mensais que apontaram para acréscimo e decréscimo da temperatura do ar, mostrou um percentual de aumento de chuva variado, sendo que o maior valor foi para a localidade Curitiba e o menor para Campo Mourão, sendo explicado pela maior e menor tendência de alteração na temperatura do ar simulada, respectivamente, como pode ser observado nas Tabelas 3.7 e 3.8.

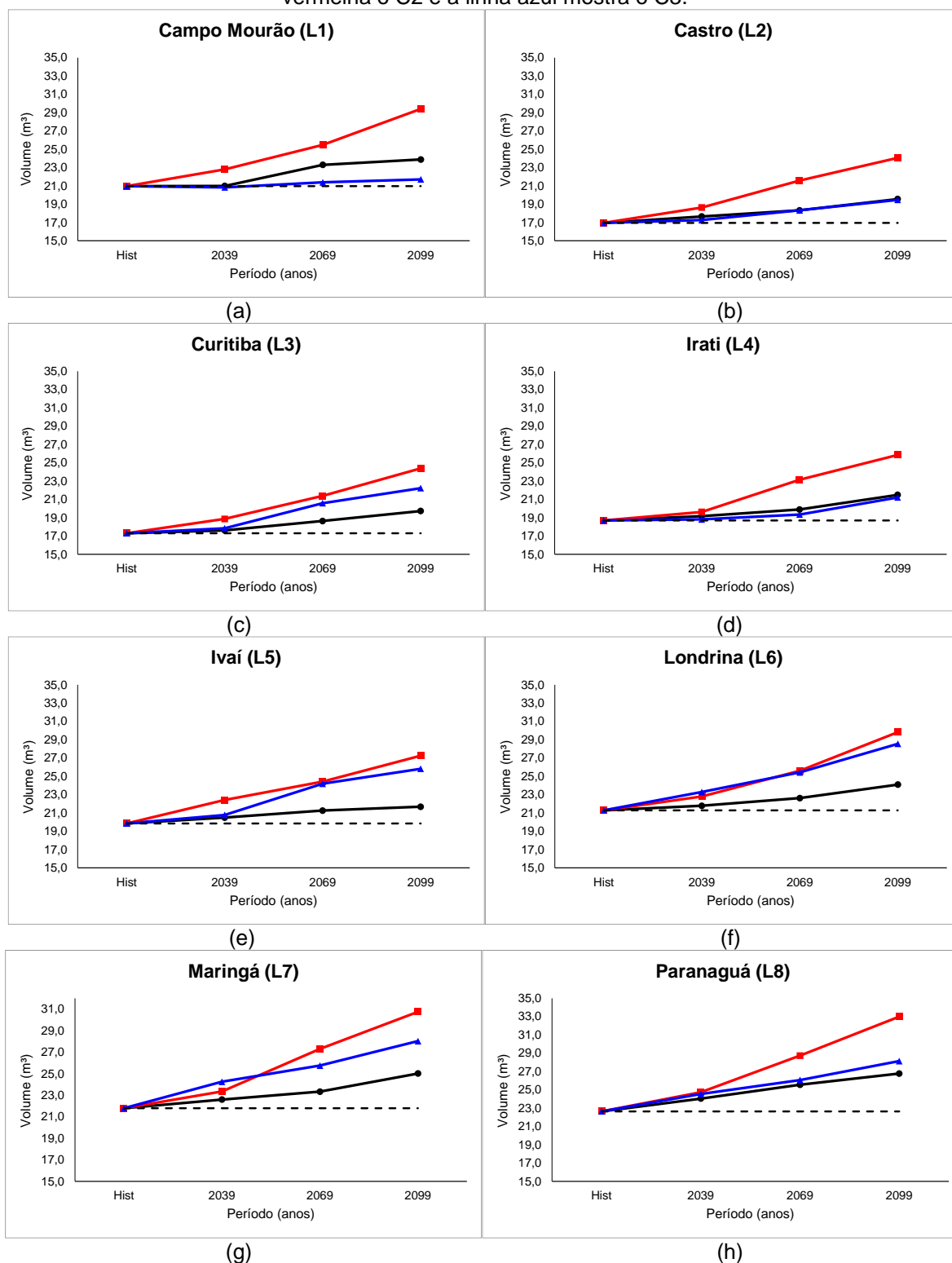
Figura 3.4 – Porcentagem de aumento da precipitação até o fim do século em relação ao histórico para os três cenários avaliados (C1, C2 e C3)



Fonte: a autora, 2020.

Com os valores de média de precipitação acumulada anual apresentados anteriormente foram estimados os volumes dos reservatórios pelo Método Prático Brasileiro. Comparando com o período histórico, todas as localidades mostraram uma necessidade de aumento no volume do reservatório até o final do século, como explicita a Figura 3.5, porém não foi evidenciada uma tendência linear. Isso se deve ao fato que, de acordo com o Método Prático Brasileiro, o cálculo do volume do reservatório é em função de três variáveis diretas: a área de captação de água da chuva, o acumulado de precipitação anual e o fator referente ao período mais seco do ano. Como nesta pesquisa o primeiro fator se manteve constante, sendo a área do telhado do edifício de 350 m², o volume sofreu alteração conforme as outras duas variáveis, de acordo com a Equação 3.1. Brandão e Marcon (2018) também trabalharam com o Método Prático Brasileiro e observaram que essa metodologia não considera o balanço entre o volume de água captada e a demanda para abastecimento.

Figura 3.5 - Volumes dos reservatórios. A linha pontilhada representa o histórico, a preta o C1, a vermelha o C2 e a linha azul mostra o C3.



Fonte: a autora, 2020.

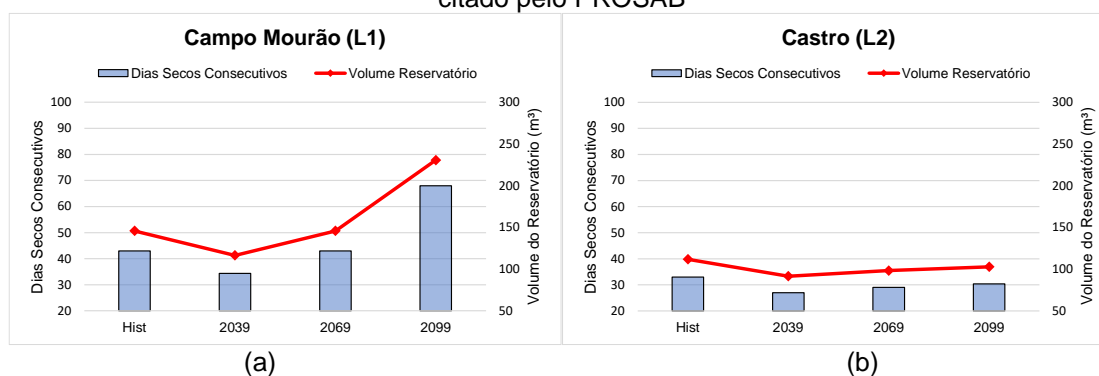
Analisando os resultados de todas as localidades, foi possível notar que considerando a série histórica, o menor volume do reservatório foi de 17 m³ para a localidade de Castro (Figura 3.5b), concordando com o fato de que é a localidades

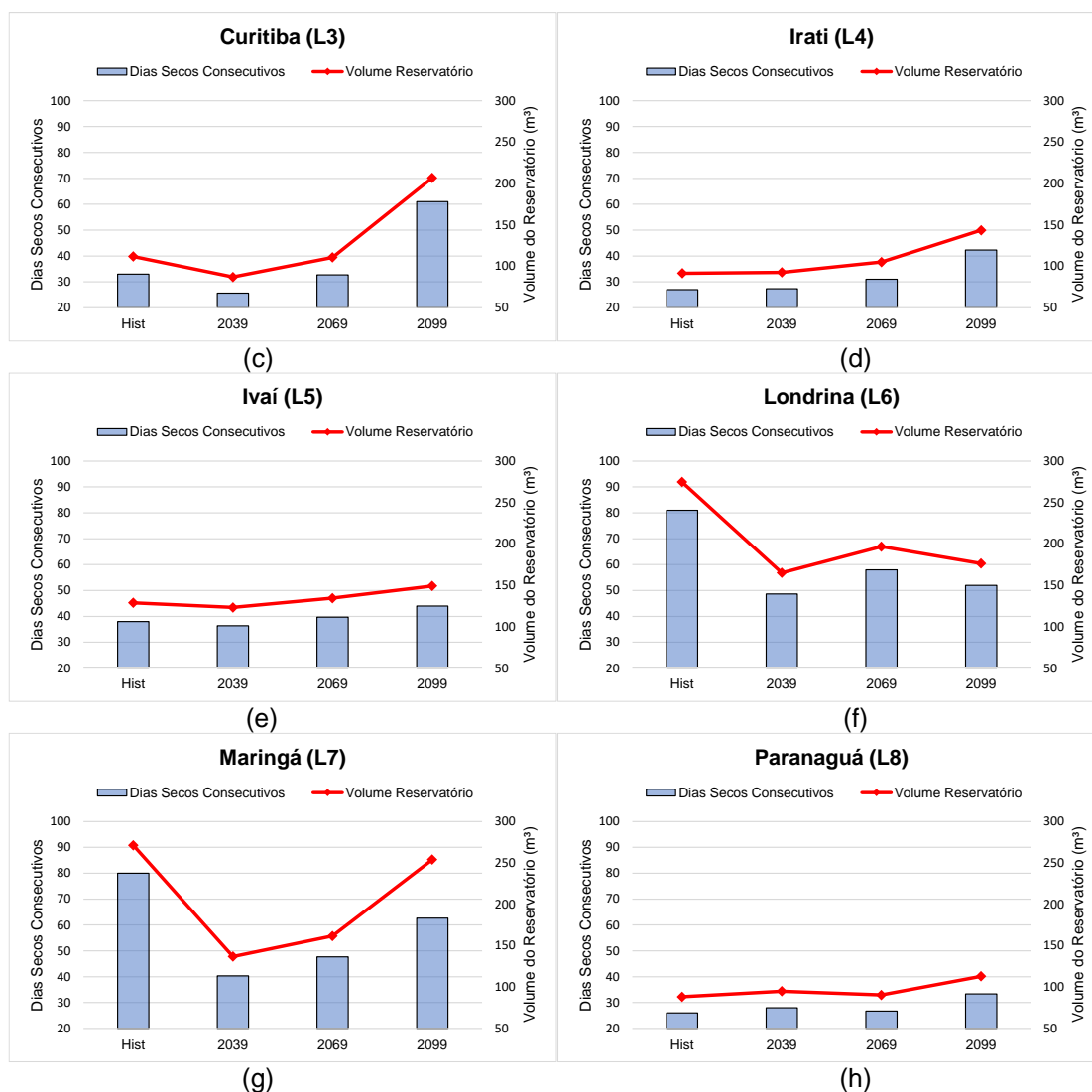
historicamente menos chuvosa (Figura 3.3b) e o maior volume foi de 23 m³ para Paranaguá (Figura 3.5h), evidenciado pelo fato de ser o local com maior precipitação (Figura 3.3h). Todas as localidades apresentaram um maior volume de reservatório para o C2, pois de acordo com esse cenário haverá um maior aumento na temperatura do ar que por sua vez impacta no volume anual de precipitação conforme Pyke (2005).

Observando o C3, algumas localidades apresentaram um volume de reservatório muito próximo do cenário mais otimista do IPCC (C1), como Castro (Figura 3.5b) e Irati (Figura 3.5d), enquanto outras se aproximaram do C2, caso de Ivaí (Figura 3.5e) e Londrina (Figura 3.5f). Essa variabilidade está relacionada à Análise de Regressão que revelou uma maior ou menor tendência regional de alteração na temperatura do ar e como consequência no volume de chuva que impacta no volume do reservatório. Campo Mourão (Figura 3.5a) apresentou um C3 com uma tendência próxima da histórica, ficando abaixo do C1. Isso se deve ao fato de que na Análise de Regressão a localidade apresentou aumento assim como diminuição da temperatura em alguns meses do ano, resultando em um aumento de temperatura até o fim do século mais suave.

Ao contrário do Método Prático Brasileiro, a metodologia dos dias sem chuva consecutivos descrita pelo Group Raindrops e citada no PROSAB considera em seu cálculo a demanda estimada de água da chuva estimada para a edificação de 101,7 m³/mês, conforme a Tabela 3.2. Os resultados do dimensionamento por meio desse método podem ser observados na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Número de dias sem chuva consecutivos e volume do reservatório (m³) pelo método citado pelo PROSAB





Fonte: a autora, 2020.

Analisando os gráficos ficou evidente que quanto maior o período de estiagem, maior o volume do reservatório, pois são grandezas diretamente proporcionais. A maioria das localidades apresentou o acréscimo do reservatório até o final do século, pois houve o aumento do período de dias sem chuva consecutivos com exceção de Castro (Figura 3.6b), Londrina (Figura 3.6f) e Maringá (Figura 3.6g). Castro apresentou uma leve diminuição do volume do reservatório quando comparado o período histórico com a projeção até o final do século. Isso se deve ao fato de que esse local não apresentou tendência de aumento do número de dias sem precipitação pluviométrica em muitos meses do ano, como pode ser observado na Tabela 3.9. Dessa maneira também foi possível observar que variações mais aparentes no volume do reservatório são determinadas por maiores tendências de alteração no número de dias sem chuva.

De forma similar, as localidades de Londrina (Figura 3.6f) e Maringá (Figura 3.6g) apresentaram uma diminuição do reservatório mais acentuada comparado ao período histórico. Isso pode estar associado à ocorrência de um evento extremo de estiagem no ano de 1988, com um período de dias sem chuva consecutivos de aproximadamente 80 dias, possivelmente sendo causado pelo fenômeno La Niña que pode impactar na ocorrência de chuva na região Sul do Brasil (CAVALCANTI et al., 2009). De acordo com o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, citado por Pessini (2017), houve ocorrência desse evento no período de 1988 a 1989, sendo um dos episódios de maior intensidade do fenômeno. Dessa maneira, nas simulações do cenário climático futuro (C4) para essas duas localidades não foram encontrados períodos maiores de estiagem do que o ocorrido no histórico, acarretando na diminuição do volume do reservatório, uma vez que houve tendência de diminuição, conforme mostra a Tabela 3.9.

Comparando os dois métodos utilizados para o cálculo do reservatório, a metodologia sugerida pelo PROSAB mostrou-se superdimensionada em relação ao Método Prático Brasileiro tanto para o período histórico das localidades, quanto para os períodos simulados conforme os cenários climáticos futuros. Enquanto o Método Prático Brasileiro determinou volumes de reservatórios de dezenas de m^3 , o método dos dias sem chuva consecutivos apresentou volumes de centenas de m^3 . Portanto, o método descrito na NBR 15527 apresentou volumes de reservatórios mais viáveis para as situações abordadas neste trabalho. Esse resultado mostrou-se contrário ao encontrado por Amorim e Pereira (2008) que concluíram que o Método Prático Brasileiro gera reservatórios superdimensionados quando comparados com outros métodos citados na NBR 15527 e com o método dos dias sem chuva consecutivos que é sugerido pelo PROSAB. Isso pode estar relacionado ao fato de que o método utilizado pelos autores para a determinação do fator de período mais seco do ano (T) para o Método Prático Brasileiro pode ter sido diferente do adotado neste trabalho, uma vez que a NBR referenciada não especifica como esse cálculo deve ser realizado e além disso, a edificação considerada pelos autores tinha área e ocupação diferentes da residência multifamiliar deste trabalho. Ademais, a metodologia de determinação do número de dias sem chuva consecutivos utilizado pelos autores para o dimensionamento pelo método descrito pelo Group Raindrops apresentou valores menores do que os encontrados neste trabalho utilizando o mesmo método, visto que

foi usada uma técnica diferente para determinação de sequência de dias sem precipitação pluviométrica.

Para o cálculo do sistema fotovoltaico deste trabalho foi utilizada a demanda média mensal encontrada de 44,13 kWh/mês, conforme a Tabela 3.3. Os painéis escolhidos para o dimensionamento tinham potência de placa de 54 W e os resultados constam na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Localidade	HSP média	Ppico (kWp)	Npainéis
L1	4,966	0,395	8
L2	4,040	0,485	9
L3	4,297	0,456	9
L4	4,249	0,462	9
L5	4,599	0,426	8
L6	5,048	0,389	8
L7	5,138	0,382	8
L8	3,813	0,514	10

Fonte: a autora, 2020.

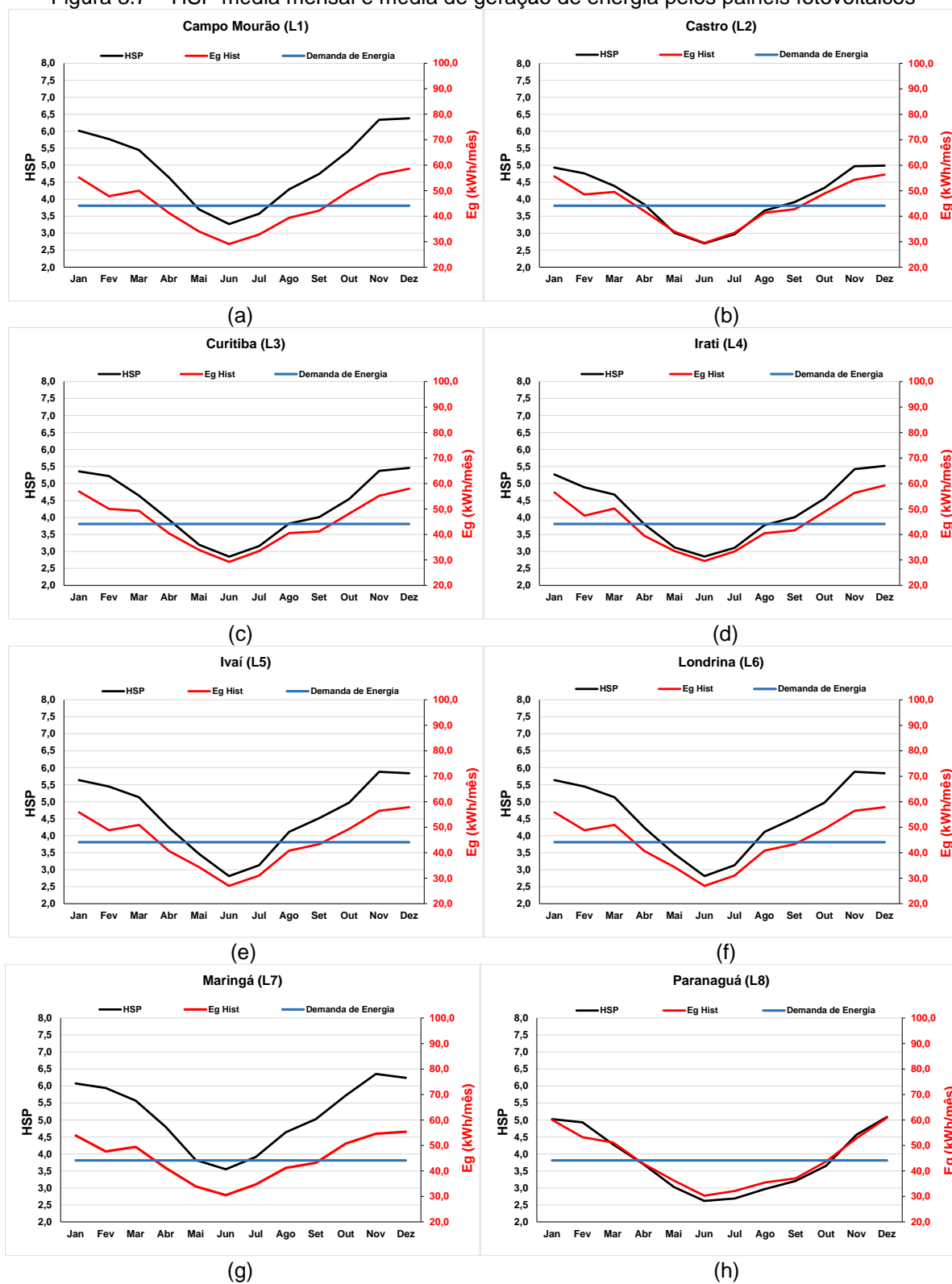
Foi possível constatar que a P_{pico} do sistema é inversamente proporcional a quantidade de HSP. Dessa forma, quanto menor a incidência de irradiação solar, maior será a P_{pico} necessária para suprir a demanda de energia elétrica. Enquanto que a P_{pico} é diretamente proporcional ao número de painéis fotovoltaicos, de modo que quanto maior a potência pico, maior será a quantidade de painéis para gerar essa potência. Sendo assim, Maringá (L7) que apresentou a maior quantidade de HSP, mostrou a necessidade de painéis 8 painéis fotovoltaicos, enquanto Paranaguá (L8) que possuiu o menor número de HSP, necessitou de uma maior quantidade (10 painéis fotovoltaicos).

A Figura 3.7 apresenta as HSP's médias dos meses da série histórica e a média de geração de energia por meio dos painéis fotovoltaicos. É possível observar que em todas as localidades (Figuras 3.7a-h) houve a diminuição das HSP's nos meses de inverno (Junho, Julho, Agosto e Setembro), causada pela menor disponibilidade de irradiação solar na estação do inverno e o aumento mais evidente nos meses referentes à estação do verão, quando os raios do Sol se intensificam no hemisfério Sul, conforme Sgarbossa (2019).

Ainda observando a Figura 3.7, também pode-se notar que quanto maior a quantidade de HSP média mensal disponível na localidade, maior será a geração de energia pelos painéis fotovoltaicos, evidenciando o fato de que são grandezas

diretamente proporcionais, também relatado por Gnoatto et al. (2008). Portanto, nos meses de verão a geração de energia foi maior, enquanto que nos meses de inverno, o potencial fotoelétrico foi menor.

Figura 3.7 – HSP média mensal e média de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos

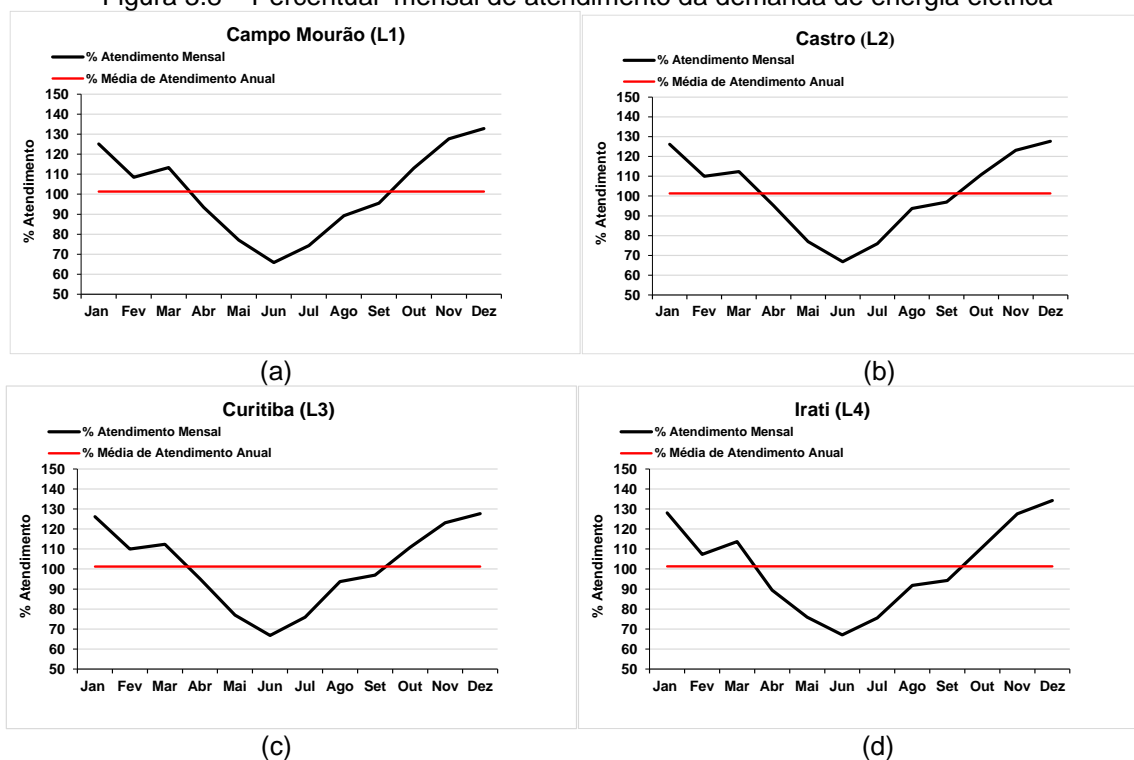


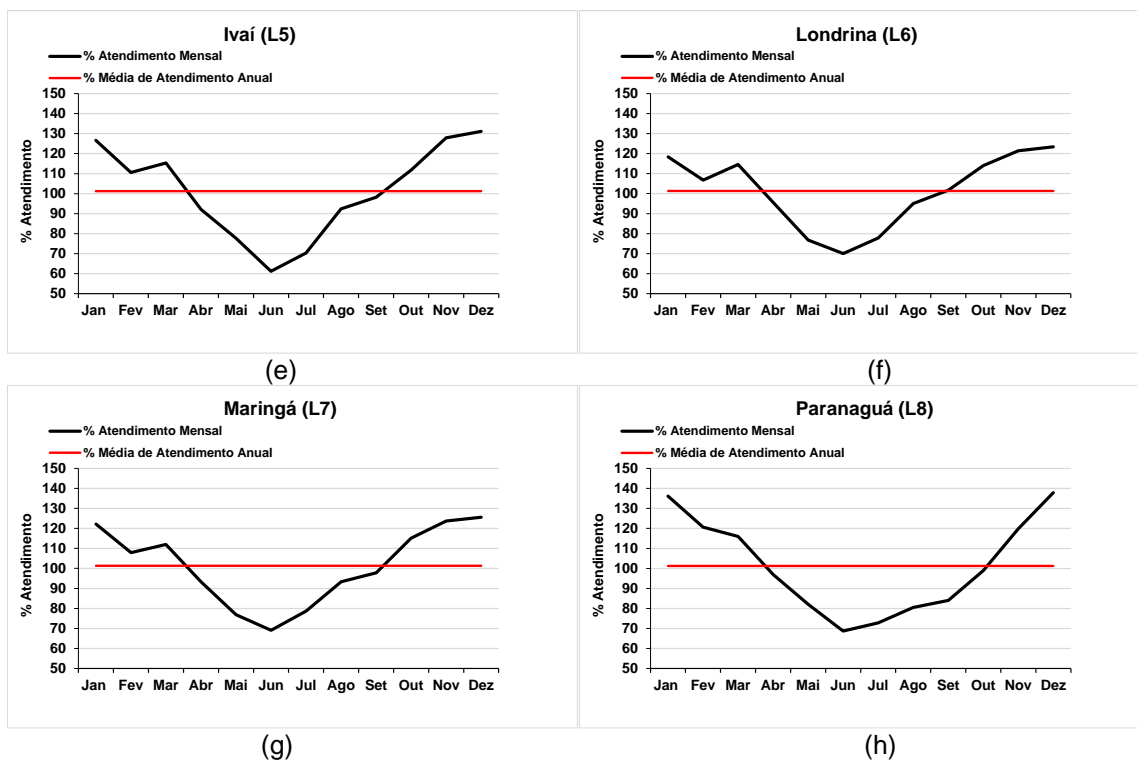
Fonte: a autora, 2020.

De acordo com a Figura 3.8, todas as localidades em análise mostraram que nos meses mais quentes existem um superávit no atendimento da demanda de energia elétrica e por outro lado nos meses mais frios há a ocorrência de um déficit. Porém, considerando-se a médial anual de atendimento da demanda, foi possível observar que existe uma porcentagem de atendimento de aproximadamente 100% para as todas as localidades.

Ainda que exista o déficit de geração de energia em alguns meses do ano, os valores de superávit em outros meses equilibram os períodos de pouca produção elétrica, uma vez que quando o sistema fotovoltaico for *on-grid*, ou seja, for conectado à rede pública de distribuição de energia, existe o mecanismo de compensação. Nesse caso, a quantidade de energia que é produzida em excesso pelo sistema é transferida para a rede. Dessa forma existe a geração de créditos para quando a produção de eletricidade não for suficiente para suprir a demanda necessária, então o sistema fica em equilíbrio e não promove gastos extras com energia elétrica proveniente da rede ao longo do ano. Mesma observação feita por Boso et al. (2015) que em seu trabalho comparativo de análise de custos de sistemas fotovoltaicos concluíram que um sistema conectado à rede é mais viável do que um sistema *off-grid* (não conectado à rede) e garante à residência créditos em energia que são convertidos em redução de custos na conta de luz.

Figura 3.8 – Percentual mensal de atendimento da demanda de energia elétrica





Fonte: a autora, 2020.

3.4 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste trabalho, foi verificado que para o dimensionamento dos reservatórios em sistemas de captação de água de chuva para utilização em edifícios multifamiliares é necessário levar em consideração a influência das mudanças climáticas, uma vez que essas podem provocar a necessidade de alteração do volume do mesmo e, conseqüentemente, alteração do projeto nos cenários futuros e isso pode impactar na vida útil do sistema e acarretar em maiores gastos para os moradores. Portanto, um sistema dimensionado considerando essas projeções pode promover uma maior vida útil em termos de eficiência de suprimento de demanda, quando combinado com uma correta manutenção.

O Método Prático Brasileiro citado na NBR 15527 mostrou-se mais coerente no dimensionamento dos reservatórios quando aplicado ao uso em edifícios multifamiliares, pois resultou em volumes menores e mais plausíveis de serem executados nesses prédios. O método dos dias sem chuva consecutivos apresentado no PROSAB revelou-se superdimensionado, com volumes de reservatórios aproximadamente 10 vezes maiores do que os encontrados pelo Método Prático Brasileiro. Portanto, torna-se inviável a execução de volumes tão grandes para esse tipo de edificação.

Quanto ao suprimento da energia elétrica para o bombeamento da água da chuva por meio de energia solar a partir da média de HSP, foi possível notar que as localidades paranaenses apresentaram um ótimo potencial para a instalação desse sistema, uma vez que o percentual de atendimento da energia fotovoltaica gerada revelou valores anuais de aproximadamente 100%.

Portanto, um sistema de captação de água pluvial combinado com um sistema de geração de energia fotovoltaica é uma boa solução para promover a redução de impactos ambientais e aproveitamento racional dos recursos naturais. O armazenamento da água pluvial em reservatórios pode diminuir as chances de desastres naturais em decorrência de eventos extremos de precipitação, pois colabora com a redução da quantidade de água que escorre para os corpos hídricos evitando enchentes e inundações. Além do mais, o aproveitamento da água de chuva contribui significativamente para a diminuição do uso de água potável num possível cenário de escassez, que pode vir a se intensificar ao longo dos anos.

4 AVALIAÇÃO DE UM AVIÁRIO AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL UTILIZANDO SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL E GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ – BRASIL

RESUMO

A avicultura é um dos setores agropecuários mais proeminentes no Brasil. Esse tipo de produção agrícola exige grande quantidade de água para a ingestão das aves, além de elevada demanda de eletricidade para o funcionamento de sistemas de iluminação e ventilação. O uso de tecnologias para captação de água pluvial combinadas com fontes alternativas de energia, se configura como estratégia sustentável para a produção em aviários. Esta pesquisa objetivou avaliar um aviário com um sistema de captação de água pluvial e um sistema fotovoltaico de energia, considerando o cenário climático atual e cenários simulados com mudanças climáticas até o final do século XXI no Paraná. Os sistemas foram projetados para oito localidades paranaenses, utilizando 31 anos de dados diários de precipitação e irradiação solar, sendo que os cenários climáticos futuros foram gerados pelo *software* PGECLIMA_R. Análises estatísticas da tendência das séries climatológicas foram conduzidas. No dimensionamento do reservatório de água pluvial foram utilizadas as metodologias do PROSAB e da Embrapa. O sistema fotovoltaico visou o bombeamento da água, a iluminação e a ventilação do aviário. Todas as localidades avaliadas mostraram a necessidade de ajuste do tamanho do reservatório até o final do século para suprir a demanda de água dos aviários, uma vez que, ficou evidenciada a tendência de alteração no número de dias sem chuva verificada pela análise estatística. O Estado do Paraná revelou um ótimo potencial para geração de energia fotovoltaica, uma vez que todas as localidades mostraram um percentual anual de atendimento da demanda de energia elétrica próximo de 100%.

Palavras-chave: Aproveitamento de água pluvial. Energia fotovoltaica. Mudanças climáticas. Aviário. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Poultry farming is one of the most prominent agricultural sectors in Brazil. This type of agricultural production requires a large amount of water for ingestion of the poultry, in addition to a high demand for electricity for the operation of lighting and ventilation systems. The use of rainwater harvesting technologies combined with alternative energy sources is a sustainable strategy for poultry production. This research aimed to evaluate poultry house with a rainwater harvesting system, considering the current climate scenario and scenarios simulated with climate changes until the end of the 21st

century in Paraná. The systems were designed for eight localities in Paraná, using 31 years of daily rainfall and solar radiation data, and future climate scenarios were generated by the PGECLIMA_R software. Statistical analyzes of the trend of the climatological series were conducted. In the dimensioning of the rainwater reservoir, PROSAB and Embrapa methodologies were used. The photovoltaic system aimed at pumping water, lighting and ventilation of the poultry house. All locations evaluated showed the need to adjust the size of the reservoir by the end of the century to supply the demand of the poultry houses, since the trend of change in the number of dry days verified by the statistical analysis was evidenced. The State of Paraná showed great potential for the generation of photovoltaic energy, since all localities showed an annual percentage of meeting the demand for electricity close to 100%.

Keywords: Rainwater harvesting system. Photovoltaic energy. Climate changes. Aviary. Sustainability.

4.1 INTRODUÇÃO

A avicultura de corte é um dos setores agropecuários que vem ganhando espaço no mercado do Brasil. O desenvolvimento desse setor pode ser considerado como um símbolo do grande crescimento e da modernização do agronegócio brasileiro (COELHO; BORGES, 1999). Segundo Vogado et al. (2018), inovações na área de genética, nutrição e melhorias de manejo e na ambiência dos aviários contribuíram para a evolução desse setor, promovendo melhores resultados em menores períodos, alcançando o patamar de eficiência de produção que o setor se encontra atualmente.

De acordo com dados divulgados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos no ano de 2018, o Brasil ocupa a segunda posição no *ranking* de países produtores de carne de frango, sendo responsável por 14% da produção mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos que produz 20% do total global, correspondendo a um volume de 19,4 milhões de toneladas. Já em termos de exportação, o Brasil é o maior exportador, seguido pelos Estados Unidos. Juntos são responsáveis por mais de 60% das exportações mundiais (TALAMINI et al., 2018). Fatores como controle sanitário em nível de adequação conforme as normas internacionais e câmbio favorável para as exportações foram responsáveis para que o Brasil obtivesse vantagem competitiva no mercado mundial, resultando no crescimento de sua produção (VOGADO et al., 2018).

Porém, a produção de aves de corte exige uma grande demanda de água e essa é uma das maiores preocupações dos produtores. Além de gastos excessivos também existe o problema da crise hídrica que está se acentuando ao longo dos anos. Sendo assim, a reflexão sobre os problemas de abastecimento de água para as atividades humanas e de produção animal é de grande relevância, uma vez que, a água é essencial na manutenção da vida, porém, na atual perspectiva de abrangência mundial, vem se apresentando como um recurso natural com tendências à escassez.

Nesse contexto, a busca por alternativas para economia e reutilização de água se torna imprescindível e o armazenamento de água da chuva para posterior utilização em aviários se configura como uma possibilidade. No caso da dessedentação de aves, é necessário que a água captada passe por dois processos básicos de tratamento: a filtração e a desinfecção química. Essa indicação de se pré-tratar a água é uma função preventiva para que a contaminação que possa existir não seja ingerida pelos animais (OLIVEIRA et al., 2012).

Outro fator econômico que tem grande relevância para os produtores de aves é o gasto com energia elétrica para a iluminação do aviário e bombeamento da água pluvial captada. De acordo com Oliveira et al. (2018), a utilização de painéis fotovoltaicos é uma das possíveis opções para a geração de energia limpa, uma vez que, além de minimizar os impactos ambientais, também contribui para a redução de gastos com energia proveniente da rede pública.

Diante do pressuposto que tanto a irradiação solar como a precipitação pluviométrica são elementos climáticos, esses podem sofrer alterações causadas por possíveis mudanças climáticas ocasionadas pelo aquecimento global (IPCC, 2014). Portanto, é importante que nos projetos de sistemas sustentáveis se leve em consideração os fatores climáticos, que por sua vez, podem futuramente provocar uma modificação necessária no dimensionamento desses sistemas.

Nesse cenário, fica claro que a construção de edificações rurais sustentáveis utilizando sistemas de captação e uso de água da chuva aliados à geração de energia limpa contribui diretamente na redução da degradação ambiental gerando maior economia para os produtores. Diante disso, este trabalho teve como objetivo principal projetar um aviário ambientalmente sustentável, a partir do dimensionamento de um sistema de captação de água de chuva e da utilização da energia solar como fonte alternativa de energia, em um panorama envolvendo cenários de mudanças climáticas no Estado do Paraná – Brasil até o final do século XXI.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida junto ao Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada - LECA pertencente ao Departamento de Matemática e Estatística da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Para isso, foi necessária a utilização de séries históricas de 31 anos (1987 – 2017) de dados climáticos diários de precipitação pluvial, temperatura do ar (máxima e mínima) e radiação solar global obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa - BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. As séries históricas foram coletadas para oito localidades distribuídas no Estado do Paraná, conforme a Tabela 4.1.

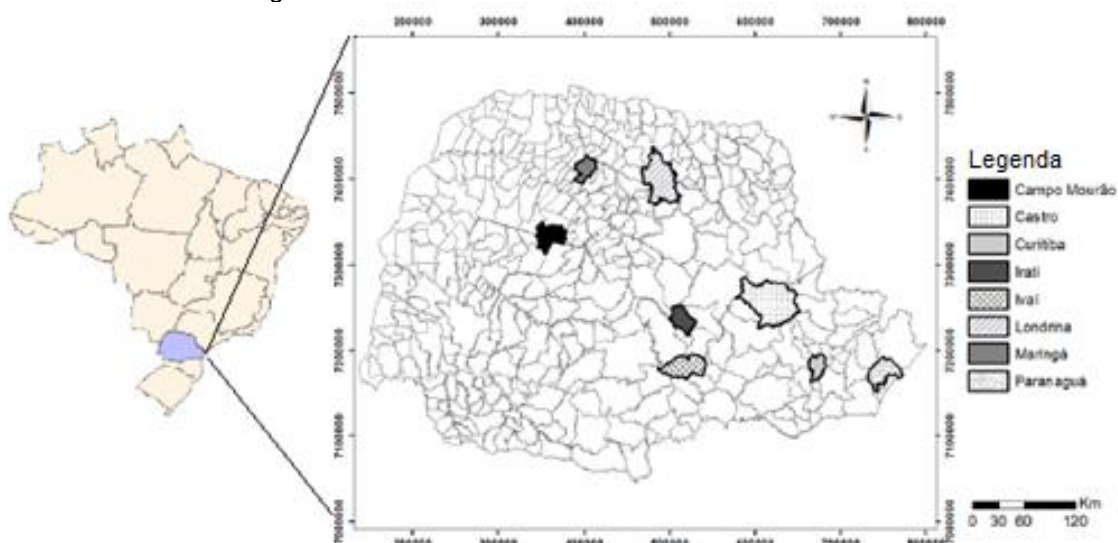
Tabela 4.1 - Coordenadas geográficas dos locais selecionados para a pesquisa

ID	Localidade	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
L1	Campo Mourão	-24°03'	-52°22'	616
L2	Castro	-24°47'	-50°00'	1009
L3	Curitiba	-25°26'	-49°26'	924
L4	Irati	-25°28'	-50°38'	837
L5	Ivaí	-25°00'	-50°51'	808
L6	Londrina	-23°19'	-51°08'	566
L7	Maringá	-23°24'	-51°55'	542
L8	Paranaguá	-25°32'	-48°31'	5

Fonte: a autora, 2020.

O Estado do Paraná está localizado na Região Sul do Brasil, entre os paralelos 22°30'58" e 26°43'00" de Latitude Sul e entre os meridianos 48°05'37" e 54°37'08" de Longitude Oeste (Figura 4.1).

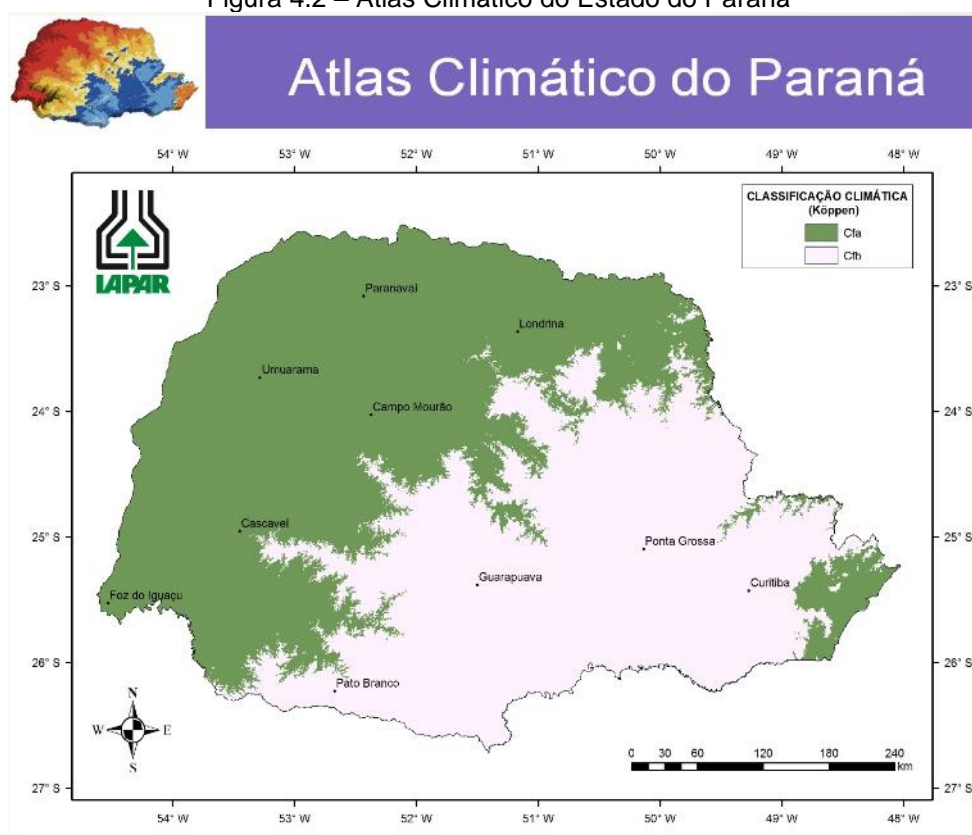
Figura 4.1 – Locais selecionados no Estado do Paraná



Fonte: Adaptado de Sgarbossa e Virgens Filho, 2020.

Em estudo desenvolvido pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (NITSCHKE et al., 2019), baseado na classificação de Köppen, existem dois tipos predominantes de clima no Estado do Paraná: o Cfa, sendo um Clima Subtropical que apresenta tendência de concentração do volume de precipitação nos meses de verão, porém sem um período de seca definido; e o Cfb, Clima Temperado que apresenta verões mais amenos, geadas mais frequentes nos meses de inverno e também não possui um período de seca definido. O Cfa ocupa a porção norte, oeste e cidades litorâneas enquanto que o Cfb é predominante na porção sul do Estado, de acordo com a Figura 4.2.

Figura 4.2 – Atlas Climático do Estado do Paraná



Fonte: Nitsche et al., 2019.

Nesta pesquisa foi definido um aviário para aves de corte com área de 1800 m² e capacidade para 27000 aves, resultando em uma densidade de 15 aves/m², conforme normativa estabelecida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa que especifica que a densidade máxima recomendável é de 16 aves/m² (ABREU; ABREU, 2000). Para fins de cálculo, para a determinação das demandas de água e energia elétrica no aviário em questão, foi considerada a existência de um sistema de resfriamento evaporativo composto por ventiladores associados à nebulizadores e também a presença de um sistema de controle de luminosidade.

Para o dimensionamento do reservatório do sistema de captação de água da chuva foram utilizadas duas metodologias, uma sugerida pela Embrapa Suínos e Aves (GRINGS; OLIVEIRA, 2005) e a outra apresentada no Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB (GONÇALVES, 2006) que segue orientação do Group Raindrops (2002).

No método descrito pela Embrapa, o reservatório dimensionado deve ter capacidade de armazenagem de água suficiente para atender a demanda da propriedade por um período de no mínimo 15 dias. Neste trabalho, esse período foi determinado de acordo com a época de estiagem, levando em consideração o mês mais seco do ano para todas as séries históricas e cenários simulados das oito localidades em questão. No cálculo também deve-se considerar um adicional referente ao coeficiente de evaporação do sistema, conforme a Equação 4.1:

$$VRES_{EMB} = (V_d \times N_d) \times 1,1 \quad (4.1)$$

em que,

$VRES_{EMB}$ = Volume do reservatório (m^3);

V_d = Volume de demanda de água diária (m^3);

N_d = Número de dias de armazenagem (período seco).

A segunda metodologia utilizada neste trabalho foi a sugerida pelo PROSAB, na qual o dimensionamento do reservatório utilizado para armazenamento da água da chuva é baseado no método dos dias sem chuva, descrito pelo *Group Raindrops*, que por sua vez, leva em consideração o número de dias consecutivos sem chuva nas determinadas localidades. Além disso, o cálculo também requer a demanda de água que será atendida na edificação, conforme a Equação 4.2.

$$VRES_{PRO} = D_{ld} \times N_{dsc} \quad (4.2)$$

em que,

$VRES_{PRO}$ = volume do reservatório (L);

D_{ld} = demanda de água que será atendida na edificação (L/d);

N_{dsc} = maior número de dias consecutivos sem chuva na localidade (dias).

Para a estipulação da demanda de água do aviário levou-se em consideração o consumo das aves nos bebedouros tipo *nipple* e o gasto com resfriamento evaporativo por meio do sistema de nebulização. Para o trabalho foi considerada a

produção do frango de corte do tipo *Griller* que é criado por um período de até 4 semanas (GARCIA et al., 2008). De acordo com a metodologia de Dacroce (2017) que trabalhou com a mesma quantidade e tipo de aves, foi determinado o valor de demanda de água de 136,12 m³/mês, também considerando o consumo das aves e o gasto com o resfriamento evaporativo, de acordo com a Tabela 4.2. É importante citar que essa demanda pode variar conforme o período do ano, a tecnologia utilizada no aviário, o sistema de higienização e perdas (REICHERT; MUSA, 2012), porém para fins de cálculo foi considerado esse valor como constante.

Tabela 4.2 – Consumo total de água (m³) em aviário com alojamento de 27000 frangos

Idade em semanas	Ingestão/dia	Resf./dia	Consumo/dia (Ingestão+Resfrim.)	Consumo/ semana
1	0,906	-	0,906	6,342
2	2,6	0,5	3,1	21,7
3	5,24	0,98	6,22	43,54
4	7,26	1,96	9,22	64,54
Consumo lote	16,01	3,44	19,45	136,12

Fonte: Modificado de Dacroce, 2017.

Para bombear a água armazenada no reservatório de água da chuva até o reservatório superior (caixa d'água) foi dimensionado um conjunto motobomba de acordo com Barbosa et al. (2017). Assim, foi determinada uma vazão de projeto de 2 m³/h para encher um reservatório de 2000 litros e a carga hidráulica foi encontrada seguindo tabelas de fabricantes de motobombas e de acordo com o projeto arquitetônico e hidráulico pré-definidos, resultando em uma altura manométrica total de 10 m.c.a (metros de coluna d'água). Conforme a Tabela 4.2, o consumo de água varia com a idade das aves, sendo assim, apenas para fins de cálculo para escolha do conjunto motobomba, foi estipulado a constante de 4 horas de funcionamento diário do sistema até a terceira semana e 5 horas diárias na quarta semana de vida das aves. Dessa forma foi escolhido um modelo de conjunto motobomba disponível no mercado e sua respectiva demanda de energia elétrica, conforme a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Demanda de energia elétrica para o conjunto motobomba para o sistema de bombeamento da água da chuva

Bombeamento de Água da chuva	Potência (W)	Horas de funcionamento/dia	Consumo mensal (kWh/mês)
Motobomba 0,75 cv	552	4h/5h	65,69

Fonte: a autora, 2020.

O sistema de nebulização projetado foi composto por uma motobomba que pressurizava a água por meio de tubos PVC dispostos em três linhas longitudinais com bicos nebulizadores posicionados a cada 2 m com uma altura de 3,50 m, conforme o trabalho de Sartor et al. (2001). A bomba era de alta pressão e trabalhava com um motor de baixo consumo de 2,0 cv de potência, conforme pesquisa de mercado consultando fabricantes desses sistemas.

A nebulização foi estipulada de forma intermitente programada por um *timer* digital, com cinco minutos de funcionamento e dez minutos desligada, de acordo com Welker et al. (2008), totalizando 8 horas de funcionamento diário. É importante ressaltar que a temperatura corporal das aves varia, entre outros fatores, conforme o peso e idade (NORTH; BELL, 1990), portanto o sistema de resfriamento varia com as fases de criação dos frangos, de modo que na primeira semana de vida do lote não há a necessidade de resfriamento (Tabela 4.2). Porém, como o foco deste trabalho é apenas o dimensionamento do aviário, foi considerado o funcionamento diário da bomba de nebulização constante de 8 horas durante 3 semanas por mês, conforme a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Demanda de energia elétrica para o conjunto motobomba para o sistema de nebulização

Nebulização	Potência (W)	Horas de funcionamento/dia	Consumo mensal (kWh/mês)
Motobomba 2,0 cv	1471	8	270,66

Fonte: a autora, 2020.

Em conjunto com o sistema de nebulização foi considerado um sistema de ventilação positiva com o uso de ventiladores axiais de potência de 368 W distribuídos a cada 12,5 m na lateral do galpão, totalizando a quantidade de 12 ventiladores (SARTOR et al., 2001). O acionamento dos ventiladores é dado quando a temperatura do aviário atinge 25°C. Porém, a variação da temperatura durante o dia não foi avaliada neste trabalho, sendo assim, foi suposto cerca de 8 horas de funcionamento diário dos ventiladores para o cálculo de demanda de energia elétrica, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Demanda de energia elétrica para os ventiladores

Ventilador	Quantidade	Horas de funcionamento/dia	Consumo mensal (kWh/mês)
Axial 368 W	12	8	1059,84

Fonte: a autora, 2020.

A iluminação artificial utilizada para aumentar o fotoperíodo diário e induzir a ingestão de alimentos proporcionando o maior ganho de peso das aves foi dimensionada de acordo com Pereira (2011), que em seu trabalho com aviários de frangos de corte, configurou a distribuição dos sistemas de iluminação considerando a intensidade luminosa necessária. Sendo assim, foram determinadas 3 linhas de lâmpadas do tipo fluorescentes compactas (LFCs) de 34 W com distância entre linhas de 4 m e distância entre lâmpadas de 8 m, totalizando 54 lâmpadas. De acordo com Bastos (2011), essas lâmpadas apresentam uma maior economia de energia e uma vida útil mais extensa quando comparadas com as lâmpadas incandescentes. Foi considerado um programa de luz constante que utiliza um fotoperíodo do mesmo comprimento durante toda a vida do frango. Segundo Pan (2015), nesse tipo de programa de luz, os mais utilizados são 24 horas de luz/dia (24L:0E), 23 horas de luz e 1 hora de escuro/dia (23L:1E) ou 12 horas de luz e 12 horas de escuro/dia (12L:12E). Para o cálculo foi escolhido o programa 24L:0E, pois trata-se do pior cenário considerando a necessidade de demanda de energia elétrica. É importante ressaltar que o aviário em questão possui as laterais abertas, sendo assim, a iluminação está sujeita ao comprimento do dia, possibilitando cerca de 12 horas de iluminação natural. Dessa maneira, para determinar a demanda de energia foi estipulada a necessidade em média de 12 horas de iluminação artificial por dia, de acordo com a Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Demanda de energia elétrica para iluminação

Lâmpada	Quantidade	Horas de funcionamento/dia	Consumo mensal (kWh/mês)
Fluorescente 34 W	54	12	660,96

Fonte: a autora, 2020.

De acordo com Pinho et al. (2008), para efeito do dimensionamento dos painéis fotovoltaicos a irradiação dada em kWh/m² disponível em um determinado período é convertida em outra unidade numérica denominada Horas de Sol Pleno (HSP). Essa unidade determina o tempo médio diário de horas em que a irradiação solar permanece constante e com intensidade de 1 kWh/m², que é o valor de irradiação máximo ao nível da superfície terrestre. Essa conversão é feita, pois é usual ignorar os efeitos da irradiação instantânea e considerar o acumulado de energia solar ao longo de um dia. Segundo Pinho e Galdino (2014), o cálculo do número de HSP pode ser realizado conforme a Equação 4.3.

$$HSP = \frac{I_g}{1 \frac{kWh}{m^2}} \quad (4.3)$$

em que,

I_g é a irradiação global da localidade (kWh/m²).

De acordo com Ruther (2004), a orientação dos painéis fotovoltaicos instalados no telhado deve ser voltada para o Equador e a inclinação deve ser próxima do valor de latitude do local, para ser garantida a máxima incidência solar.

A partir da demanda de energia elétrica necessária para alimentar os sistemas de bombeamento e a iluminação e já encontrado anteriormente o valor de HSP para cada localidade, foi determinada a potência pico do sistema fotovoltaico, de acordo com a Equação 4.4. Visto que os sistemas também funcionam em alguns períodos da noite, a energia excedente gerada durante o dia pode ser armazenada em baterias caso o sistema solar for isolado da rede (*off-grid*) e utilizada posteriormente durante a noite. Caso o sistema seja conectado (*on-grid*), o excedente pode ser devolvido à rede de abastecimento gerando uma compensação de créditos, que será aproveitada no período noturno.

$$P_{\text{pico}} = \frac{CD}{TD \cdot HSP} \quad (4.4)$$

em que,

P_{pico} = Potência pico do sistema fotovoltaico (kWp);

CD = Consumo diário de energia elétrica (kWh/dia);

TD = Taxa de desempenho (valor adimensional $\approx 0,75$);

HSP = média diária Horas de Sol Pleno incidentes nos painéis.

Após obtido o valor de potência pico do sistema fotovoltaico, foi determinado o número de painéis que será necessário para gerar a potência calculada, conforme a Equação 4.5.

$$N_p = \frac{P_{\text{pico}}}{P_{\text{painel}}} \quad (4.5)$$

em que,

N_p = número de painéis fotovoltaicos;

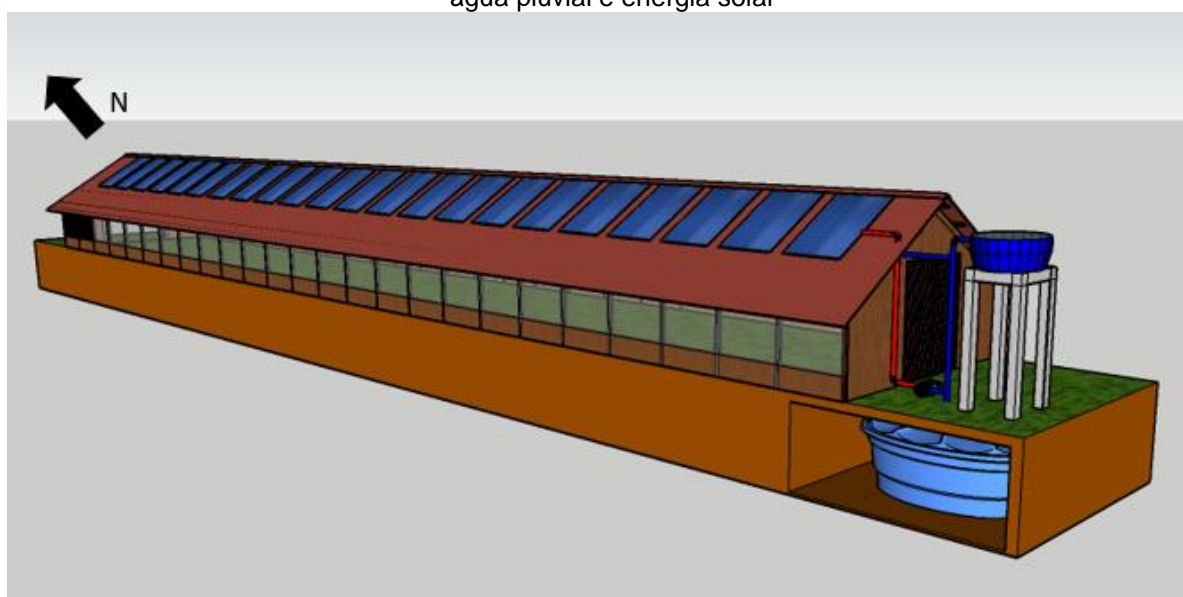
P_{pico} = potência pico do sistema fotovoltaico (kWp);

P_{painel} = potência dos painéis segundo informações fornecidas pelos fabricantes (W).

Os painéis fotovoltaicos geram energia em corrente contínua (CC), entretanto os sistemas considerados no aviário operam em corrente alternada (CA), portanto é necessário a utilização de inversores para realizar essa transformação. Porém neste trabalho o dimensionamento desses não foi feito, assim como das baterias que seriam necessárias se o sistema fosse considerado como *off-grid*.

A Figura 4.3 representa um esquema do sistema proposto.

Figura 4.3 – Layout representativo da parte externa do aviário com os sistemas de bombeamento de água pluvial e energia solar



Fonte: a autora, 2020

Tendo em vista a dependência do clima para a eficiência do sistema e o prognóstico de mudanças climáticas, um cenário climático foi simulado até o ano de 2099 para cada uma das oito localidades, em função da tendência de variação do número de dias sem chuva. Para a geração desses cenários climáticos foi utilizado o *software* PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013), o qual foi desenvolvido pelo LECA. Essa ferramenta é capaz de criar cenários climáticos mediante a simulação de séries diárias de precipitação e temperatura do ar. É importante ressaltar que a irradiação solar foi simulada, porém não foi impactada, pois conforme Sgarbossa (2019), essa é uma variável climática que não sofrerá alterações significativas até o final do século.

As séries históricas climáticas de precipitação das oito localidades foram submetidas ao teste não paramétrico de Mann-Kendall (M-K) utilizando o R Studio, que é um *software* livre que opera com a linguagem de programação R que é voltada

para a análise estatística de dados (VERZANI, 2011). O Teste de M-K tem por objetivo testar se os dados possuem ou não uma tendência estatisticamente significativa de alteração na quantidade mensal de dias sem precipitação pluviométrica. O teste foi realizado com um nível de significância de 5%.

Posteriormente os mesmos dados históricos foram submetidos à técnica de Análise de Regressão que indica alterações climáticas na quantidade de dias sem chuva por meio da ponderação do coeficiente angular de uma reta que é ajustada aos dados (MINUZZI; CARAMORI, 2011). Os coeficientes encontrados foram utilizados para a determinação das porcentagens de aumento ou diminuição dos dias sem chuva a serem inseridas no *software* PGECLIMA_R para promover a perturbação dos dados e gerar a simulação dos cenários climáticos futuros.

A partir dos dados simulados foram dimensionados os sistemas de captação de água da chuva e os painéis fotovoltaicos levando em consideração os cenários impactados nos períodos de 2018-2039, 2040-2069 e 2070-2099, os quais foram apresentados e analisados graficamente.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries históricas de dados de precipitação das oito localidades foram submetidas ao teste não paramétrico de Mann-Kendall para identificação de alterações estatisticamente significativas no número de dias sem chuva. O teste foi realizado com um nível de significância de 5% e os valores de p-valor obtidos constam na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Valores de p-valor obtidos no Teste de Mann-Kendall para tendência de alteração no número mensal de dias sem chuva

MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	0,402	0,305	0,244	0,631	0,132	0,129	0,189	0,491
Fevereiro	0,745	0,483	0,328	0,784	0,495	0,864	0,584	0,945
Março	0,543	0,539	0,608	0,620	0,771	0,155	0,402	0,505
Abril	0,078	0,733	0,045*	0,212	0,932	0,654	0,986	0,732
Mai	0,505	0,945	0,177	0,645	0,225	0,657	0,862	0,087
Junho	0,645	0,645	0,141	0,644	0,905	0,905	0,905	0,904
Julho	0,346	0,757	0,039*	0,891	0,483	0,547	0,756	0,619
Agosto	0,771	0,904	0,495	0,959	0,527	0,595	0,878	0,287
Setembro	0,205	0,644	0,090	0,517	0,694	0,932	0,124	0,044*
Outubro	0,294	0,097	0,811	0,669	1,000	0,972	0,809	0,410
Novembro	0,877	0,128	0,481	0,837	0,515	0,083	0,267	0,057
Dezembro	0,719	0,067	0,017*	0,362	0,441	0,745	0,019*	0,059

Fonte: a autora, 2020. (*) indica tendência de alteração significativa a um nível de 5%.

Foi possível identificar que por meio do Teste de M-K apenas três das localidades analisadas apresentaram tendência significativa de alteração no número de dias sem chuva e somente em alguns meses do ano, sendo essas Curitiba (L3), Maringá (L7) e Paranaguá (L8). Curitiba apresentou tendência de alteração significativa nos meses de Abril, Julho e Dezembro, Maringá no mês de Dezembro e Paranaguá no mês de Setembro.

Diante disso, tendo em vista uma perspectiva experimental, os cenários foram baseados unicamente na tendência verificada pelo método da Análise de Regressão que foi aplicado nas séries históricas das localidades. Os coeficientes angulares positivos indicam tendência de aumento enquanto os negativos indicam diminuição na quantidade de dias sem precipitação pluviométrica. Os valores estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Valores dos coeficientes angulares obtidos pela Análise de Regressão para tendência de alteração no número mensal de dias sem chuva

MÊS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Janeiro	0,096	-0,094	-0,075	0,003	-0,094	-0,145	-0,110	-0,056
Fevereiro	0,227	0,126	0,129	0,124	0,234	0,034	0,225	-0,007
Março	0,048	-0,041	0,048	-0,030	0,024	-0,100	0,067	-0,073
Abril	0,112	-0,022	0,167	0,142	0,007	0,030	0,039	-0,004
Mai	0,079	0,015	0,146	0,059	0,123	0,029	0,019	-0,147
Junho	-0,054	-0,140	0,065	0,001	-0,026	0,014	-0,001	-0,028
Julho	-0,097	-0,047	0,129	-0,004	-0,062	-0,009	-0,043	0,042
Agosto	0,044	-0,030	0,052	-0,003	-0,051	-0,034	-0,015	0,067
Setembro	0,077	0,042	0,163	0,056	0,027	0,009	0,113	0,145
Outubro	0,065	-0,107	0,024	-0,038	-0,004	0,000	0,013	-0,077
Novembro	-0,037	-0,146	-0,073	-0,011	0,057	-0,135	-0,098	-0,151
Dezembro	0,007	-0,112	-0,169	-0,059	0,054	-0,043	-0,127	-0,116

Fonte: a autora, 2020.

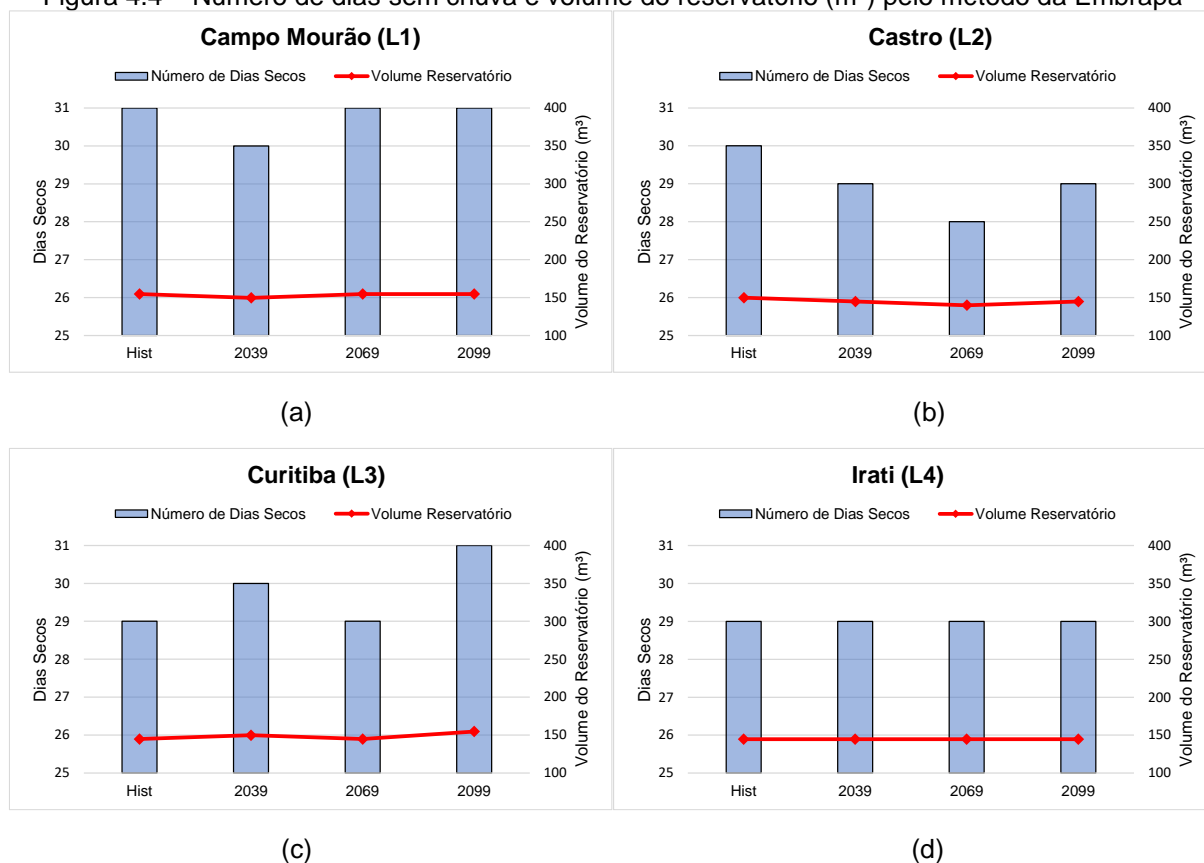
Com a Análise de Regressão foi verificado que em alguns meses do ano existe a tendência de aumento do número de dias sem precipitação pluviométrica, enquanto em outros há a diminuição. Nenhuma das localidades apresentou unicamente uma tendência de aumento ou diminuição, todas apresentaram ambas. Paranaguá (L8) foi o local que apresentou tendência de diminuição do número de dias sem chuva em mais meses do ano, isso pode estar relacionado ao fato de que por ser uma cidade litorânea, existe uma maior probabilidade de ocorrência de precipitação e consequentemente uma menor probabilidade de ocorrência de dias sem chuva no decorrer do ano (Vanhoni; Mendonça, 2008). Por outro lado, Campo Mourão (L1) e

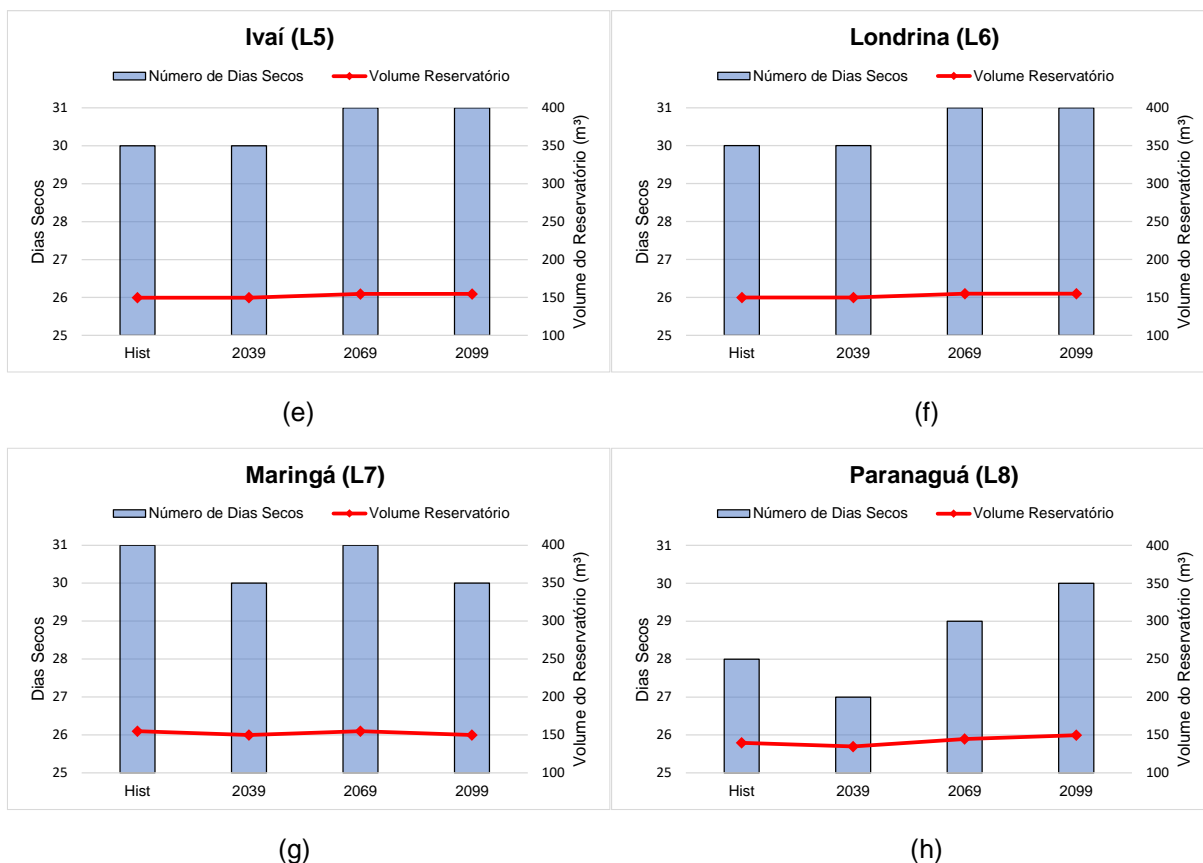
Curitiba (L3) foram as localidades que apresentaram tendência de aumento do número de dias sem precipitação pluviométrica em mais meses do ano.

Nesse contexto pode-se inferir que a variabilidade no número de dias sem chuva impacta na disponibilidade de água pluvial, que por sua vez impacta no volume do reservatório. A demanda total de água mensal para suprir o consumo das aves e o gasto com a nebulização foi de 136,12 m³/mês, determinada conforme a Tabela 4.2. Esse valor foi utilizado para a determinação do valor da demanda diária de água utilizada no cálculo do volume do reservatório de água de chuva pelo método da Embrapa e pela metodologia sugerida no PROSAB.

O método da Embrapa utiliza em seu cálculo o número de dias de armazenagem de água que está relacionado ao período de estiagem da localidade, de acordo com a Equação 4.1. Segundo essa metodologia, é recomendável o valor de 15 dias de armazenagem, porém neste trabalho foram utilizados valores mensais de estiagem que variaram com a tendência de aumento ou diminuição que foi encontrada por meio da Análise de Regressão. A Figura 4.4 apresenta os gráficos com a variação do número de dias sem chuva desde o histórico até o final do período simulado e os respectivos volumes do reservatórios para cada período.

Figura 4.4 – Número de dias sem chuva e volume do reservatório (m³) pelo método da Embrapa





Fonte: a autora, 2020.

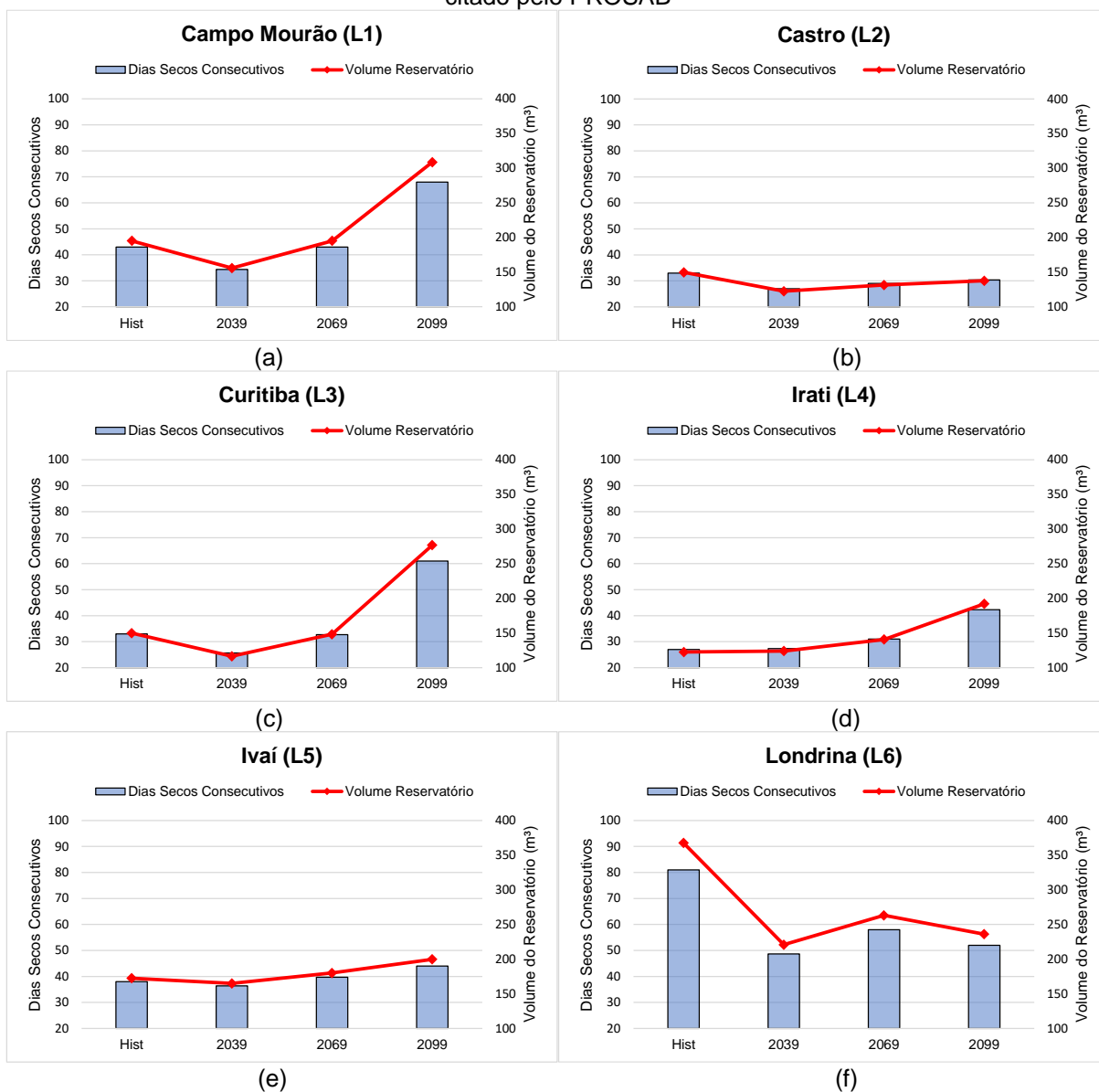
Ficou evidenciado que para a maioria das localidades o volume do reservatório aumentou ou diminuiu conforme o número de dias sem chuva, pois são grandezas diretamente proporcionais. Exclui-se apenas Irati (Figura 4.4d) que não apresentou variação no volume do reservatório, pois não houve alteração no número de dias sem precipitação pluviométrica do histórico ao fim do período simulado.

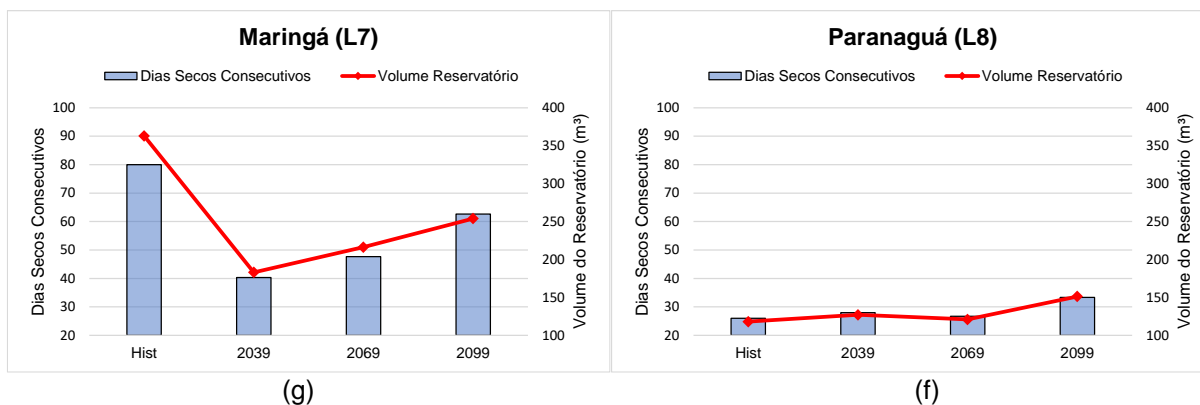
Como nesse método foi considerado o período de estiagem mensal, o valor máximo possível de ser obtido foi de 31 dias sem chuva. Dessa forma, não houveram grandes variações nos volumes dos reservatórios quando comparando o histórico com os períodos simulados, pois a maioria das localidades apresentou número de dias sem chuva próximos da máxima de 31, com exceção de Paranaguá (Figura 4.4h), pois trata-se de uma cidade litorânea, caracterizada por ser mais úmida que as demais, não apresentando nenhum período seco durante o ano conforme Vanhoni e Mendonça (2008). Essa localidade obteve o menor volume do reservatório para o período histórico, de $139,75\text{m}^3$. Já o maior volume encontrado foi de $154,72\text{m}^3$, resultado obtido para localidades que tiveram 31 dias sem chuva no mês (Figuras 3.4a, 3.4c, 3.4e, 3.4f e 3.4g). Castro (Figura 4.4b) obteve um leve decréscimo no volume do reservatório quando comparado o histórico com o período simulado.

Proença e Schimidt (2014) trabalharam com o método da Embrapa e obtiveram o volume do reservatório de 60 m³ para um aviário com capacidade para 12000 frangos, porém foi considerado um período de estiagem de 15 dias.

O método dos dias sem chuva descrito pelo Group Raindrops (2002) e citado pelo PROSAB, utiliza em seu cálculo o número de dias consecutivos sem chuva, de acordo com a Equação 3.2. Os resultados podem ser observados na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Número de dias sem chuva consecutivos e volume do reservatório (m³) pelo método citado pelo PROSAB





Fonte: a autora, 2020.

Ficou evidente que quanto maior o período de estiagem, maior o volume do reservatório dimensionado, assim como no método da Embrapa. A maioria das localidades apresentou o acréscimo do reservatório até o final do século, pois houve o aumento do período de dias sem chuva consecutivos. Porém Castro (Figura 4.5b) apresentou uma leve diminuição do volume do reservatório quando comparado o período histórico com a projeção até o final do século. Isso se deve ao fato de que esse local não apresentou tendência de aumento do número de dias sem chuva em muitos meses do ano, como pode ser observado na Tabela 4.8. Sendo assim, também ficou evidente que variações mais aparentes no volume do reservatório são determinadas por maiores tendências de alteração no número de dias sem chuva.

As localidades de Londrina (Figura 4.5f) e Maringá (Figura 4.5g) apresentaram uma diminuição do reservatório mais aparente, pois no período histórico houve um evento extremo de estiagem no ano de 1988, possivelmente sendo causado pelo fenômeno La Niña (que ocorreu entre os meses de Abril e Junho) que pode impactar na ocorrência de chuva na região Sul do Brasil (CAVALCANTI et al., 2009). Segundo o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, citado por Pessini (2017), uma das últimas ocorrências desse evento foi no período de 1988 a 1989, sendo um dos episódios de maior intensidade do fenômeno. Dessa maneira, nas simulações para essas duas localidades não foram encontrados períodos maiores de estiagem do que o ocorrido no histórico, acarretando na diminuição do volume do reservatório, uma vez que houve tendência de diminuição, conforme a Tabela 4.8.

Comparando os dois métodos utilizados para o cálculo do reservatório, as diferenças mais evidentes apenas ocorreram nas localidades que apresentaram maiores períodos de estiagem. Localidades como Castro e Paranaguá que não obtiveram número de dias sem chuva consecutivos muito acima de 30 dias não

resultaram em grandes diferenças de volumes do reservatório entre as duas metodologias. Londrina (Figura 4.5f) e Maringá (Figura 4.5g) mostraram um volume de reservatório maior pela metodologia descrita no PROSAB.

Irati (Figura 4.5d) e Ivaí (Figura 4.5e) apresentaram ligeiramente um acréscimo no volume do reservatório. Por outro lado, Campo Mourão (Figura 4.5a) e Curitiba (Figura 4.5c) foram as localidades que apresentaram maior propensão de acréscimo do volume do reservatório ao final do século. Isso pode ser explicado pelo fato de que também foram os locais que mais mostraram tendência de aumento do número de dias sem precipitação pluviométrica em mais meses do ano, conforme a Tabela 4.8. Ambas as localidades obtiveram volumes em torno de 300 m³ para o ano de 2099, ficando superdimensionados em relação ao método da Embrapa. Porém, o método do PROSAB mostra-se mais eficiente, uma vez que considera períodos de estiagens mais longos em seu cálculo, desprezando a utilização de outras fontes de água. O método da Embrapa, por considerar períodos secos mais curtos, pode tornar necessária a existência de outro meio de captação de água, de forma que caso houvessem as estiagens mais longas previstas pela simulação, o período máximo mensal de 31 dias de seca considerado não seria suficiente para atender a demanda por um período maior.

Além do sistema de captação de água da chuva também foi dimensionado o sistema fotovoltaico para suprimento da demanda de energia elétrica no aviário. Para o cálculo foi considerado o somatório do consumo de energia com os sistemas de bombeamento de água da chuva, nebulização, ventilação e iluminação que totalizaram 2057,15 kWh/mês, conforme a Tabela 4.9. Esse resultado é próximo de Dacroce (2017) que encontrou a demanda média mensal de 2705 kWh/mês para um aviário com capacidade para 32000 frangos de corte.

Tabela 4.9 – Demanda de energia elétrica total

Sistema	Consumo mensal (kWh/mês)
Bombeamento de água da chuva	65,69
Bombeamento para nebulização	270,66
Ventilação	1059,84
Iluminação	660,96
Total	2057,15

Fonte: a autora, 2020.

Assim sendo, o sistema fotovoltaico foi dimensionado para atender a demanda média mensal encontrada de 2057,15 kWh/mês. Os painéis escolhidos para o dimensionamento tinham potência de placa de 325 W. Os resultados constam na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Localidade	HSP média	Ppico (kWp)	Npainéis
L1	4,966	18,411	57
L2	4,040	22,631	70
L3	4,297	21,278	66
L4	4,249	21,518	67
L5	4,599	19,881	62
L6	5,048	18,111	56
L7	5,138	17,796	55
L8	3,813	23,976	74

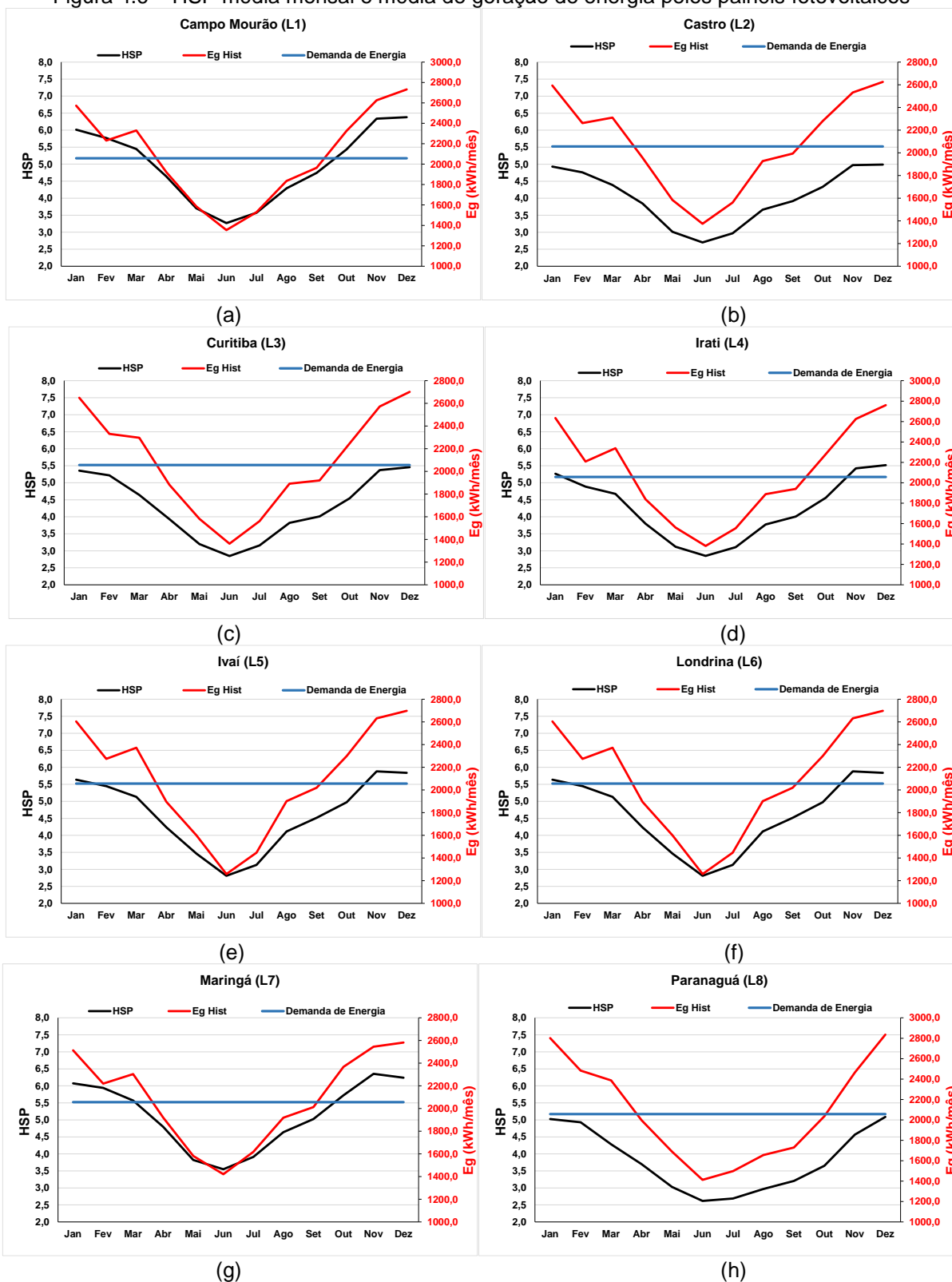
Fonte: a autora, 2020.

É possível notar que a P_{pico} do sistema é inversamente proporcional a quantidade de HSP. Ou seja, quanto menor a incidência de irradiação solar, maior será a P_{pico} necessária para suprir a demanda de energia. Enquanto que a P_{pico} é diretamente proporcional ao número de painéis fotovoltaicos, de modo que quanto maior a potência pico, maior será a quantidade de painéis para gerar essa potência. Sendo assim, Maringá (L7) apresentou a menor necessidade de painéis fotovoltaicos (55 painéis), enquanto Paranaguá (L8) a maior (74 painéis).

A Figura 4.6 apresenta as HSP's médias dos meses da série histórica e a média de geração de energia por meio dos painéis fotovoltaicos. É possível observar que em todas as localidades (Figuras 4.6a-h) houve a diminuição das HSP's nos meses de inverno, causados pela menor disponibilidade de irradiação solar na estação do inverno e o aumento mais evidente nos meses de verão, quando os raios do Sol se intensificam no hemisfério Sul, conforme Sgarbossa (2019). A localidade de Maringá (Figura 4.6g) apresentou a maior média anual de quantidade de HSP de 5,138, enquanto Paranaguá (Figura 4.6h) apresentou a menor, de 3,813.

Ainda observando a Figura 4.6, também pode-se notar que quanto maior a quantidade de HSP média mensal disponível na localidade, maior será a geração de energia pelos painéis fotovoltaicos, evidenciando o fato de que são grandezas diretamente proporcionais, também relatado por Gnoatto et al. (2008). Portanto, nos meses mais quentes a geração de energia foi maior, enquanto que nos meses mais frios, o potencial fotoelétrico foi menor.

Figura 4.6 – HSP média mensal e média de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos



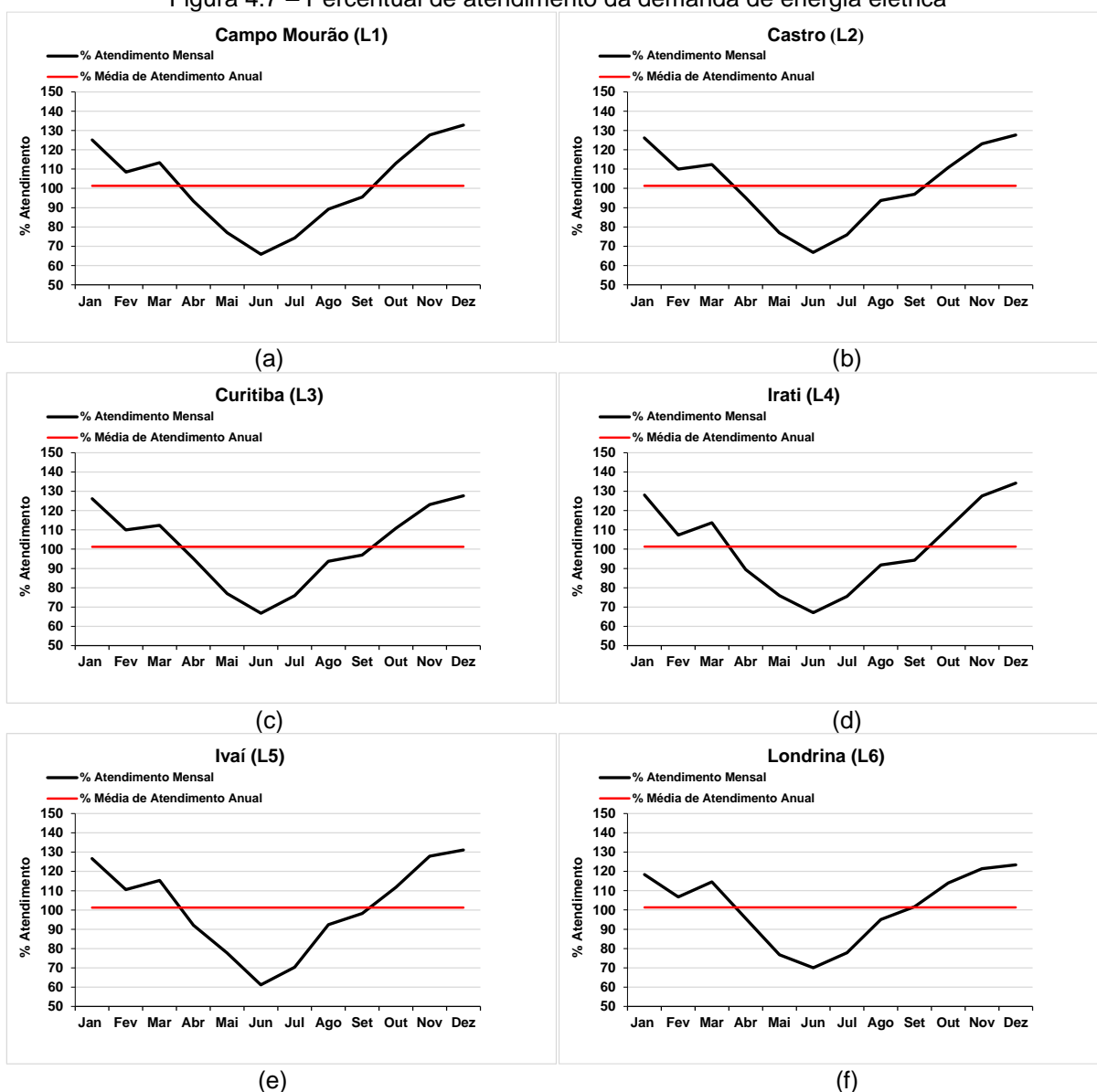
Fonte: a autora, 2020.

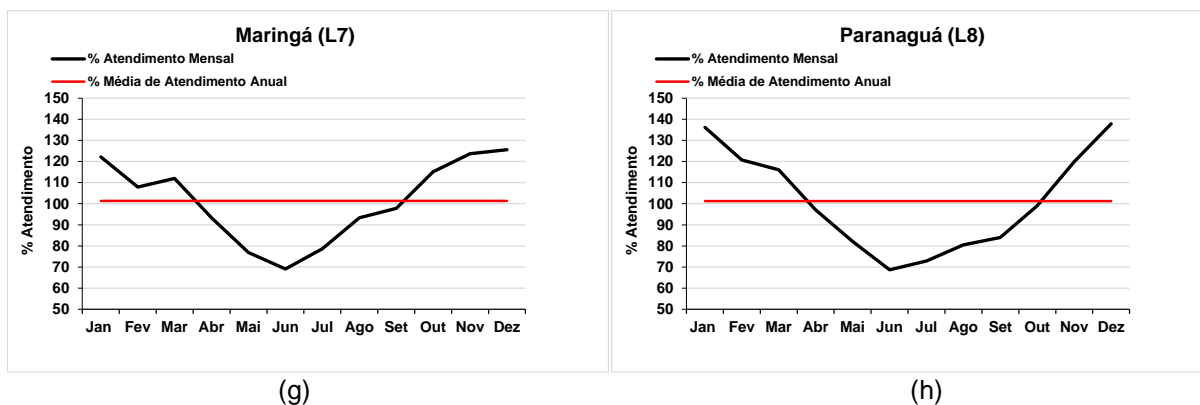
Conforme indicado na Figura 4.7, todas as localidades apresentaram nos meses de verão um superávit no atendimento da demanda de energia elétrica enquanto que nos meses de inverno houve um déficit. Porém, considerando-se a

médial anual, existe uma porcentagem de atendimento de aproximadamente 100% para as todas as localidades.

Embora exista esse déficit em alguns períodos do ano, os valores de superávit equilibram os meses de pouca produção elétrica, pois existe o mecanismo de compensação de energia. Dessa forma, se o sistema fotovoltaico for conectado à rede pública de distribuição de energia (*on-grid*) o que é produzido em excesso é transferido para a rede, gerando créditos para quando a produção de energia não for suficiente para atender a demanda. Sendo assim, o sistema fica equiponderado, não gerando gastos a mais com energia elétrica proveniente da rede.

Figura 4.7 – Percentual de atendimento da demanda de energia elétrica





Fonte: a autora, 2020.

4.4 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos neste trabalho, foi verificado que para o dimensionamento dos reservatórios em sistemas de captação de água de chuva para utilização em aviários é necessário levar em consideração a influência das mudanças climáticas, uma vez que essas podem provocar a necessidade de alteração do volume do mesmo e, conseqüentemente, alteração do projeto, o que pode garantir uma maior vida útil ao sistema, proporcionando uma maior economia aos produtores.

O método do PROSAB mostrou-se mais coerente no dimensionamento dos reservatórios nas localidades paranaenses, pois considera um período maior de estiagem que é plausível de acontecer em decorrência das possíveis mudanças climáticas, previstas para o final do século XXI. Por outro lado, o método da Embrapa, que considera períodos de seca menores, não seria capaz de atender a demanda do aviário em casos de secas maiores do que as mensais encontradas, acarretando na necessidade de uma segunda fonte de água ou redimensionamento do sistema.

No tocante ao suprimento de energia elétrica de construções rurais, a estimativa da produção de energia solar em aviários, a partir da média de HSP na localidade, apresenta uma perspectiva interessante do ponto de vista econômico e ambiental, por considerar a viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos. Nesse sentido, as localidades paranaenses avaliadas mostraram ótimo potencial para a instalação de sistemas de geração de energia solar em aviários, uma vez que o percentual de atendimento da energia fotovoltaica gerada revelou valores anuais de aproximadamente 100%.

Desta forma, um sistema de captação de água pluvial combinado com um sistema para geração de energia fotovoltaica são boas iniciativas alternativas no setor

avícola, para reduzir impactos ambientais e aproveitar racionalmente os recursos naturais, protegendo desta maneira o patrimônio natural regional. Além do mais, o aproveitamento da água de chuva, principalmente, contribui significativamente para a diminuição do uso de água potável num possível cenário de escassez, que vem se apresentando como irremissível ao longo dos anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No primeiro capítulo desta dissertação, referente ao primeiro artigo, foi apresentado um dimensionamento para sistemas de aproveitamento de água de chuva utilizando energia fotovoltaica para uma residência unifamiliar considerando cenários de mudanças climáticas para o final do século XXI. Com os resultados encontrados ficou evidente a necessidade de se levar em consideração as projeções de cenários climáticos futuros para o cálculo desses sistemas, uma vez que isso pode exercer impactos sobre os mesmos, causando possíveis alterações de projeto a longo prazo.

Uma abordagem semelhante também foi realizada no segundo artigo, o qual se refere ao Capítulo 2, onde foi realizado o dimensionamento dos mesmos sistemas, porém para uma residência multifamiliar de quatro pavimentos. Além disso, nesse artigo, foi realizada uma comparação entre dois métodos de cálculo do reservatório de água pluvial, sendo esses o Método Prático Brasileiro e a metodologia descrita pelo Group Raindrops e citada no PROSAB, concluindo-se que o primeiro método se mostrou mais viável e realístico em relação ao segundo, pois apresentou volumes de reservatórios menores e mais adequados. Com relação ao sistema de energia fotovoltaica, foi utilizada a mesma potência de placa determinada para a residência unifamiliar e foi possível notar que para o edifício multifamiliar a necessidade do número de painéis foi superior do que a da casa, uma vez que o sistema de bombeamento de água pluvial exigiu uma maior demanda de energia elétrica.

Diferentemente dos anteriores, o terceiro artigo (referente ao terceiro capítulo), foi elaborado numa perspectiva sustentável direcionado para uma construção rural, que além de abranger o dimensionamento do sistema de aproveitamento de água pluvial, também considerou o sistema de energia fotovoltaica para suprir a demanda de energia do sistema de bombeamento de água da chuva, iluminação e conforto térmico em aviários de frangos de corte. Neste artigo também foi realizada uma análise comparativa entre duas metodologias de cálculo do reservatório: a sugerida pela Embrapa e a citada pelo PROSAB. Conclui-se que para esse tipo de edificação, o método do PROSAB se mostrou mais coerente do que o método da Embrapa, pois determinou volumes de reservatórios que poderão atender as demandas sob possíveis mudanças climáticas projetadas até o final do século. No que se refere ao sistema fotovoltaico, a necessidade de painéis solares foi bem superior em relação às

edificações residenciais, por se tratar de um ambiente com uma demanda de energia elétrica muito maior.

Diante dos resultados obtidos, pôde-se verificar a importância de se levar em consideração o impacto das mudanças climáticas no dimensionamento de sistemas de captação de água pluvial, pois são plausíveis de acarretar alterações nos volumes dos reservatórios e conseqüentemente modificações no projeto de edificações. Sendo assim, sistemas dimensionados em função dessas projeções deverão possuir uma maior vida útil em termos de eficiência, se realizadas as corretas manutenções periodicamente. Sobre as metodologias de dimensionamento de reservatórios foi possível notar que a escolha do melhor método de cálculo depende do tipo de edificação e do seu uso, assim como das variáveis de precipitação pluvial e demanda. No que diz respeito aos sistemas fotovoltaicos, o estado do Paraná mostrou-se potencialmente excelente quanto à geração de energia, disponibilizando um percentual anual de atendimento da energia necessária de aproximadamente 100% em todas as localidades analisadas, considerando o uso nos três tipos de edificações.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Planejamento de aviários para criação de frangos de corte. **Embrapa Suínos e Aves**, p. 1-4, 2000.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento de reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, v. 8, n.2 , p. 53-66, 2008.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília, 2008.
- BARBOSA, R. K. R.; COCCO, G. P. R.; ALMEIDA, G. H. L.; LUPP, L. S. L.; BODEVAN, R. I.; SALES, V. S. L.; JACOB, R. S. Projeto de aproveitamento da água da chuva para o uso não potável domiciliar. **Percorso Acadêmico – Revista Interdisciplinar da PUC Minas no Barreiro**, v. 7, n. 13, p. 42-73, 2017.
- BASTOS, F, C. **Análise da política de banimento da lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Análise de custos dos sistemas on-grid e off-grid no Brasil. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 12, p. 57-66, 2015.
- BRANDÃO, J. L. B.; MARCON, P. Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 1031– 041, 2018.
- BRISTOT, R., I.; BACK, A. J. Captação de água de chuvas para uso na avicultura. **Tecnologia e Ambiente**, v.15, p. 17–29, 2009.
- BRUNES, L. C.; COUTO, V. R. M. Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de produção de bovinos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, p. 287-299, 2017.
- CABRAL, I.; VIEIRA, R. Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 3., 2012, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: IBEAS, 2012. p. 1–12.
- CAMPOS, H. M.; MANRIQUE, A. K. R.; KOBISKI, B. V.; CASAGRANDE JÚNIOR, E. F.; URBANETZ JÚNIOR, J. Study of technical feasibility and the payback period of the invested capital for the installations of a grid-connected photovoltaic system at the library of the Technological Federal University of Paraná. **International Journal of Energy and Environment**, v. 5, n. 6, p. 643-654, 2014.

CARDOSO, G. M.; JUSTINO, F. Simulação dos componentes da evapotranspiração sob condições climáticas atuais e de cenários climáticos futuros de aquecimento global com o uso de modelos de clima-vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 85-95, 2014.

CASTRO, R. D. **Energia solar térmica e fotovoltaica em residências: estudo comparativo em diversas localidades do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 464 p.

COELHO, C. N; BORGES, M. O complexo agro-industrial (CAI) da avicultura. **Revista de Política Agrícola**, v. 8, n. 3, 1999.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 193-204, 2003.

COSTA, L. C. **Dimensionamento de reservatórios para sistemas de abastecimento de água da chuva para a região dos campos gerais tendo em vista cenários de mudanças climáticas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

DACROCE, N. P. D. **Aviário sustentável: um estudo de caso aplicado em uma pequena propriedade rural familiar**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

FAUSTINO, R.; CAVALCANTI, O.; ARRUDA, V. C. M.; TAVARES, R. G.; SANTOS, A. F. M. S. Captação de águas de chuvas na criação de frangos de corte no semi-árido nordestino. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25., 2009, Recife. **Anais** [...] Recife: ABES, 2009.

FEITOSA, E. R. S.; YADA, M. M.; SOARES, N. M. Uso de cisternas na captação da água da chuva para uso animal. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 305-314, 2018.

FGV-EAESP – Centro de estudos em sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas. **Edificações sustentáveis e eficiência energética**. 1 ed. 2017, 52 p.

GARCIA, GARCIA, R.G., CALDARA, F.R.; VARGAS JR, F.M.; FREITAS, L.W.; GRACIANO, J.D.; SCHWINGEL, A.W.; MARIN, D.; AMADORI, A.H. Jejum alimentar pré-abate no rendimento e qualidade de carcaça de frangos de corte tipo "griller". **Agrarian**, v. 1, n.2, p. 113-121, 2008.

GASPAROTTO, F. K.; CARAMORI, P. H.; VASCONCELLOS, M. E. C. Análise de tendência de variáveis climáticas térmicas e hídricas para o Estado do Paraná. *In*: Congresso brasileiro de agrometeorologia, 14., 2005, Campinas. **Anais** [...] Campinas: Agrometeorologia, agroclimatologia e agronegócio, UNICAMP, 2005. 2 p.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GIACCHINI, M.; ANDRADE FILHO, A. G. Aproveitamento da água da chuva nas edificações. *In: Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais*, 2., 2006, Ponta Grossa. **Anais** [...] Ponta Grossa: UTFPR, 2006.

GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FERRUZI, Y. Efficiency of a photovoltaic array under real working conditions in the Cascavel region. **Acta Scientiarum Technology**, v. 30, p. 215-219, 2008.

GONÇALVES, R. F. **Uso Racional de Água em Edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 352 p.

GRINGS, V. H.; OLIVEIRA, P. A. V. **Cisternas para armazenagem da água da chuva**. MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária e Embrapa Suínos e Aves, 2005.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Tradução de Masato Kobiyama et al. Curitiba: Organic Trading, 2002, 196 p.

HAQUE, M.; RAIHMAN, A; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting Md Mahmudul. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 60-69, 2016.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A. BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNNIL, D; F; NECHET, D. QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

INICIATIVA VERDE. **Sumário para os tomadores de decisão do quinto relatório de avaliação (2014)**. Grupo de trabalho II do IPCC: impactos, adaptação e vulnerabilidade. WGII AR5. Versão em português. São Paulo, 2015.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: IPCC, 2014.

JUAN, R. O.; PÉREZ-SÁNCHEZ, M.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, P. A. Blades design for a small wind turbine to supply a rural house. Case study. **International Journal of Energy and Environment**, Valencia, v. 9, n. 1, p. 11, 2018.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T.; SANTOS, F. A. C. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n.5, p. 126-151, 2018.

KEMERICH, P. D. C.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; SILVEIRA, R. B.; FRANÇA, J. R.; LEVANDOSKI, N. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

KENDALL, M. A new measure of rank correlation. **Biometrika**, 30: 81-89, 1938.

KUHNEN, A. D. R. Energia solar fotovoltaica nas áreas comuns dos prédios residenciais das superquadras sul e norte do distrito federal *In*: Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental, 14., 2016, Brasília. **Anais [...]** Brasília: SBEA, 2016. p. 391-398.

LACERDA, F.; NOBRE, P. Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, n.1, p. 14-17, 2010.

LIMA, M. G. M.; MELO, D. F.; OLIVEIRA, H.; SOUZA, F. G.; DANTAS NETO, J. Dimensionamento de reservatório de água pluvial: uso do método de Azevedo Neto para residência unifamiliar. *In*: Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2., 2015, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: Revista WIASB 2015.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em habitação de baixo padrão: estudo de caso em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 423-443, 2018.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água da chuva para consumo não potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MEDEIROS, Y. D. P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semi-árida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.2, p. 127-136, 2003.

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. **Revista Ceres**, v. 58, n.5, 2011.

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H.; BORROZINO, E. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.2, p. 471-479, 2011.

NEVES, G. L.; VIRGENS FILHO, J. S.; LEITE, M. L.; SANTOS, E. N. Trend of air temperature in the state of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 180-193, 2016.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NORTH, M. O.; BELL, D. P. **Commercial chicken production manual**. 4 ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 913 p, 1990.

NOVAKOSKI, C. K.; MARQUES, M. G.; CONTERATO, E. TEIXEIRA, E. ED.; FERLA, R. Análise do método da simulação para dimensionamento de reservatórios de águas pluviais em residências unifamiliares. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]** Bento Gonçalves: ABRHidro, 2013. p. 8.

OJIMA, R.; HOGAN, D. J. População, urbanização e ambiente no cenário das mudanças ambientais globais: debates e desafios para a demografia brasileira. *In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, 16., 2008, Caxambú. **Anais [...]** Caxambú: ABEP, 2008.

OLIVEIRA, D. C.; SOUZA R. E.; SILVA, G. G. Análise da implementação de sistemas de energia fotovoltaica em residência na área rural. **Pensar acadêmico**, v. 16, p. 40-48, 2018.

OLIVEIRA, M. V. A. M. Recursos Hídricos e a Produção Animal Legislação e Aspectos Gerais. *In: Simpósio de Produção Animal e Recursos Hídricos*, 1., 2010, Concórdia. **Anais [...]** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2010.

OLIVEIRA, P. A. V.; MATTHIENSEN, A.; ALBINO, J. J.; BASSI, L. J.; GRINGS, V. H.; BALDI, P. C. **Aproveitamento da água da chuva na produção de suínos e aves**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012.

OLIVEIRA, R. A.; MOURA, M. R. Consumo de energia elétrica: uma análise de fonte alternativa de coletor solar de baixo custo. **Perspectivas Online: Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, Campos dos Goytacazes, v. 13, n. 5, p. 15-26, 2015.

OLIVO, A. M.; ISHIKI, H. M. Brasil frente à escassez de água. **Colloquium Humanarum**, v. 11, n. 3, p. 41-48, 2014.

PALHARES, J. C. P.; GUIDONI, A. L. Qualidade da água de chuva armazenada em cisterna utilizada na dessedentação de suínos e bovinos de corte. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 244-254, 2012.

PAN, K. F. **Avaliação de sistemas de iluminação de aviários dark house, com e sem isolamento térmico: um estudo de caso na região de Palotina – PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RUTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, S. M.; PEREIRA, S. V.; SOUSA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2 ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, P. A. **Sistemas de iluminação para galpões de frangos de corte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PESSINI, P. B. **Estudo dos eventos de seca meteorológica na região Sul do Brasil**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PINHO, J.T.; BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B; MACÊDO, W. N. **Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia**. 1 ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008, 396 p.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014, 529 p.

PROENÇA, G. G.; SCHMIDT, C. A. P. Aproveitamento de água da chuva: um dimensionamento para caso de aviários. **Revista DAE**, n. 197, p. 26-30, 2014.

PYKE, C. R. Interactions between habitat loss and climate change: implications for fairy shrimp in the central valley ecoregion of California, USA. **Climatic Change**, v. 68, p. 199-218, 2005.

REICHERT, N. J.; MUSA, C. I. Aproveitamento de água da chuva na criação de aves e suínos no município de São Vendelino – RS. **Revista Liberato**, v. 13, n. 20, p. 69-78, 2012.

REIS, Lineu, Belico ; FADIGAS, Eliane A. F. Amaral; CARVALHO, Cláudio Elias. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. Barueri: Editora Manole, 2012, 400 p.

REZENDE, J. H.; TECEDOR, N. Aproveitamento de água de chuva de cobertura em edificações: dimensionamento do reservatório pelos métodos descritos na NBR 15527. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 6, 2017.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração de energia integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC, 2004, 118 p.

SANTINI, D. L. G.; MARAVIESKI, S. P.; MEDEIROS, R. F.; BREKAILO, B.; PEDROSO, M. D.; BETIM, L. M. Proposta de implantação de sistema fotovoltaico *on-grid* aplicado a residências. **Revista Technoeng**, v. 19, 2019.

SARTOR, V.; BAÊTA, F. C.; LUZ, M, L.; ORLANDO, R. C. Sistemas de resfriamento evaporativo e o desempenho de frangos de corte. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 17-20, 2001.

SGARBOSSA, C. K. **Estimation potential of photovoltaic energy and solar heating of water for buildings in the state of Paraná considering scenarios of climate change**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

SGARBOSSA, C. K.; VIRGENS FILHO, J. S. Estimation of daily global solar irradiance from the air temperature in the state of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n.8, p. 512-519, 2020.

SILVA, K. C. A.; FERREIRA, A. T. Comparação entre métodos de dimensionamento de reservatório propostos pela NBR 15527:2007 para sistemas de aproveitamento de

águas pluviais em residência unifamiliar – Carapicuíba – SP. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 273-286, 2020.

SOUSA, T. P.; SOUSA NETO, E. P. Capacidade de captação e armazenamento da água de chuva em comunidades rurais do município de João Dias – RN. *In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 8., 2012, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: ABCMAC, 2012.

SOUZA, J. F.; NETO, M. R. F.; VENEU, M. Aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis na Universidade Severino Sombra. **Revista Eletrônica Teccen**, Vassouras, v. 9, n. 1, p. 35-46, 2016.

TAJIRI, C. A. H.; CAVALCANTE, D. C.; POTENZA, J. L. **Caderno de Educação Ambiental: Habitação Sustentável**. São Paulo: SMA/CPLA, 2011.

TALAMINI, D. J. D.; MARTINS, F. M.; SANTOS FILHOS, J. I. Conjuntura econômica da avicultura brasileira em 2018. **Anuário 2019 da Avicultura Industrial**, n. 11, 2018.

THIERS, S.; PEUPORTIER, B. Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. **Building and Environment**, v. 51, p. 276-284, 2012.

TIEPOLO, G. M.; CANGIOLIERI, O. J.; URBANETZ, J. J.; VIANA, T. PEREIRA, E. B. Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha. *In: Congresso Brasileiro de Energia Solar*, 5., 2014, Recife. **Anais [...]** Recife: ABENS, 2014.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2009, 278 p.

TORRES, D. G. B.; CASAROLLI, D.; SILVA, E. D. C.; LUCA, B. H.; MALACARNE, J. A.; SOUZA, J.; GUERRA, T. Análise do potencial fotovoltaico do estado do Paraná. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Ed. Especial, p. 1-6, 2019.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Building Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable Development**. 2012.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 49-53, 2008.

VERZANI, J. **Getting started with R Studio: An Integrated Development Environment for R**. 1 ed. O Reilly Media Inc., 2011, 98 p.

VIRGENS FILHO, J.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, M. L.; TSUKAHARA, R. Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 3, 2013.

VOGADO, G. M. S.; VOGADO, K. T. S.; FONSECA, W. J. L.; VOGADO, W. F.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, N. M.; LUZ, C. S. M. Evolução da avicultura brasileira. **Nucleus Animalium**, v. 8, n.1, 2016.

WELKER, J. S.; ROSA, A. P.; MOURA, D. J.; MACHADO, L. P; CATELAN, F.; UTTPATEL, R. Temperatura corporal de frangos de corte em sistemas de climatização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1463 – 1467, 2008.

WOLKMER, M. D. F.; PIMMEL, N. F. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Sequência: Estudos Jurídicos e Políticos**, v. 34, n. 67, p. 165-198, 2013.