

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

Willian Leopoldino Nunes

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM ESCOLAS
PÚBLICAS DE ARARANGUÁ, SC

Araranguá
2023

Willian Leopoldino Nunes

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ARARANGUÁ, SC

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof^a. Carla de Abreu D'Aquino, Dr^a.

Coorientador: Políbio Ícaro Moro Capo. Msc.

Araranguá

2023

Nunes, Willian Leopoldino

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ARARANGUÁ, SC / Willian Leopoldino Nunes ; orientadora, Carla de Abreu D'aquino, coorientador, Políbio Ícaro Moro Capo, 2023.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Energia Solar. 3. Software SAM. 4. Prédios Públicos. I. D'aquino, Carla de Abreu. II. Capo, Políbio Ícaro Moro. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Energia. IV. Título.

Willian Leopoldino Nunes

Título: ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM
ESCOLAS PÚBLICAS DE ARARANGUÁ, SC

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia,
foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes
membros:

Carla de Abreu D'aquino, Dr^a.
Universidade Federal de Santa Catarina

Edvana da Silva da Silveira, Msc

Letícia Toreti Scarabelot, Dr^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado
adequado para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Prof. Carla de Abreu D'aquino, Dr^a.
Coordenadora do Curso e Orientadora

Willian Leopoldino Nunes
Autor

Araranguá, 23 de novembro de 2023.

Dedico este trabalho a todos os que sempre me incentivaram e acreditaram em minha capacidade, mesmo quando eu mesmo não fui capaz de acreditar e contribuíram de forma significativa na construção da pessoa que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Neste momento de conclusão, é impossível expressar toda a gratidão que sinto por cada pessoa que, de alguma forma, contribuiu para a realização deste trabalho. Estes agradecimentos são mais do que simples palavras; são a manifestação de uma profunda emoção e reconhecimento.

Aos meus orientadores, Carla e Políbio, cuja paciência, sabedoria e orientação moldaram não apenas este trabalho, mas também meu percurso acadêmico. Suas palavras de incentivo foram como luz em momentos de escuridão, e sou imensamente grato por cada conselho oferecido.

Aos meus pais, Tatiana e Renato, meus irmãos Jackson e Alisson, minha avó Maria e ao Paulo que são a base inabalável que sustentou meus sonhos. Cada membro contribuiu com amor, compreensão e apoio, fazendo este caminho mais significativo e possível. Obrigado por serem minha inspiração constante.

Aos amigos, em especial Pedro, Laryssa, Natalia e Luis Henrique que compartilharam risadas, desafios e conhecimento ao longo desta jornada. Cada conversa, cada momento de colaboração, foi uma bênção. Juntos, formamos uma comunidade que enriqueceu minha experiência acadêmica.

Agradeço também à instituição e aos professores que proporcionaram um ambiente propício para o aprendizado e crescimento. Cada aula, cada desafio, foi uma oportunidade de desenvolvimento, e sou grato por fazer parte dessa comunidade educacional.

Por último, agradeço a todos os que, de alguma forma, contribuíram para este projeto. Cada gesto, grande ou pequeno, não passou despercebido. Este trabalho é o resultado do apoio coletivo de muitos corações generoso

Este é mais do que um agradecimento; é uma expressão profunda de gratidão pela rede de apoio que tornou este momento possível. Cada um de vocês é uma estrela brilhante na constelação desta jornada, e meu coração se enche de alegria e gratidão ao olhar para o céu que construímos juntos. Obrigado(a) por fazerem parte desta conquista tão especial.

RESUMO

As energias renováveis têm ganhado destaque em comparação às energias fósseis, com a energia solar fotovoltaica emergindo como uma das principais alternativas. Este cenário proporciona aos consumidores a oportunidade de gerar sua própria energia diretamente em suas residências. Diante desse avanço, estudos têm surgido com o intuito de compreender a viabilidade da implementação dessa tecnologia em edifícios públicos, visando tornar o consumo final mais sustentável. O presente trabalho possui como objetivo analisar a viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos em três escolas públicas localizadas na cidade de Araranguá. O objetivo é verificar se essas instituições possuem o espaço físico necessário e se o investimento resultará em retorno financeiro satisfatório. Para a avaliação de parâmetros e dimensionamento, utilizou-se o software SAM. Cada dimensionamento individual resultou em uma análise técnica e econômica. Considerando as três maiores escolas estaduais de Araranguá, os sistemas foram caracterizados conforme a demanda anual individual, projetados conforme características específicas, como orientação, localização e área disponível para instalação. A análise dos resultados conduz à conclusão de que o investimento é viável para todos os objetos de estudo, considerando a presença de área adequada e retorno financeiro positivo.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica; Sistema Fotovoltaico; Escolas Públicas, Software SAM.

ABSTRACT

Renewable energies have gained prominence compared to fossil fuels, with photovoltaic solar energy emerging as one of the primary alternatives. This scenario provides consumers with the opportunity to generate their own energy directly at their residences. In light of this advancement, studies have emerged with the intention of understanding the feasibility of implementing this technology in public buildings, aiming to make final consumption more sustainable. The present work aims to analyze the feasibility of installing photovoltaic systems in three public schools located in the city of Araranguá. The objective is to verify whether these institutions have the necessary physical space and whether the investment will result in a satisfactory financial return. For the assessment of parameters and sizing, the SAM software was utilized. Each individual sizing resulted in a technical and economic analysis. Considering the three largest state schools in Araranguá, the systems were characterized according to individual annual demand, designed based on specific characteristics such as orientation, location, and available installation area. The analysis of the results leads to the conclusion that the investment is viable for all study objects, considering the presence of adequate space and a positive financial return.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy; Photovoltaic System; Public Schools, Software SAM.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	12
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM ÓRGÃOS PÚBLICOS	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 ÁREA DE ESTUDO	20
3.2 DEMANDA ENERGÉTICA DAS ESCOLAS	21
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ATRAVÉS DO SOFTWARE SAM E VIABILIDADE ESPACIAL	32
4.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A - ÁREA DISPONÍVEL PARA CADA ESCOLA	54

1 INTRODUÇÃO

A energia solar é uma fonte de energia renovável que vem ganhando cada vez mais destaque em todo o mundo. O uso da energia solar tem como principal objetivo a redução dos impactos ambientais ocasionados pela geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis, como o petróleo, o carvão e o gás natural. Além disso, o uso da energia solar apresenta vantagens econômicas, uma vez que a fonte é gratuita e disponível em todo o mundo. Nesse contexto, os módulos fotovoltaicos têm sido uma solução cada vez mais utilizada para a geração de energia elétrica a partir da energia solar.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no ano de 2023 a energia solar fotovoltaica representou uma parcela de 4,97% da matriz energética brasileira. Assim, tornando-se a segunda maior fonte de energia do país, ficando atrás apenas de hidrelétricas.

Com a expansão da tecnologia, segundo Pereira (2021), a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em órgãos públicos pode contribuir para a redução do consumo de energia elétrica, além de gerar economia para a instituição de ensino.

De acordo com Limberger (2022), o uso de sistemas fotovoltaicos em prédios públicos pode trazer benefícios tanto para a comunidade local como incentivos do uso da tecnologia e a diversificação da matriz energética brasileira quanto para a economia local, tendo em vista que o retorno financeiro que os projetos podem trazer são superiores aos custos de implementação.

Conforme os dados do Atlas Solarimétrico do Brasil, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e publicado em 2017, a cidade de Araranguá/SC apresenta uma irradiação solar média anual de aproximadamente 1.640 kWh/m². Isso significa que a região tem potencial para a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica. Além disso, a região também apresenta uma temperatura média anual (19,6 °C) agradável, o que pode contribuir para a maior eficiência dos painéis solares instalados.

Nesse contexto, identifica-se a necessidade da análise de viabilidade para a instalação de Sistemas Fotovoltaicos em escolas públicas da região de Araranguá/SC.

Dessa forma, visando a redução de custos de energia elétrica e do impacto socioambiental que tal mudança pode gerar para o município.

O presente trabalho realizou um estudo técnico em três escolas públicas da cidade utilizando para a pesquisa a área provável disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, as contas de energia elétrica e o modelo System Advisor Model (SAM).

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho apresenta dos seguintes objetivos:

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica para instalação de sistemas fotovoltaicos em escolas públicas da cidade de Araranguá-SC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar a demanda energética das escolas;
- b) Analisar a área disponível;
- c) Dimensionar os sistemas fotovoltaicos por meio do software SAM;
- d) Analisar a viabilidade econômica dos projetos dimensionados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo foram abordadas as referências bibliográficas utilizadas para a realização deste trabalho, bem como conceitos importantes para a realização dele.

2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A energia fotovoltaica é a energia produzida a partir da radiação solar, captada por meio de módulos fotovoltaicos, sendo a mesma considerada uma fonte renovável ou perene. Segundo Morais *et al.* (2021), a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma das principais escolhas para o futuro, devido à sua abundância na natureza, à constante melhoria de sua eficiência de produção e à minimização dos impactos negativos ao meio ambiente durante a fabricação de células fotovoltaicas.

Com o avanço da tecnologia se tornou cada vez mais comum a instalação de sistemas fotovoltaicos, sejam eles residenciais, empresariais ou usinas para comercialização no mercado livre. Conforme a ANEEL (2022) o Brasil chegou a ultrapassar a marca dos 10 GW de potência instalados em micro e minigeração distribuídas. Pinho e Galdino. (2014), apontam que o recurso solar é um dos parâmetros importantes a serem analisados para a realização do dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Ainda conforme os autores é sugerido a utilização de calculadoras solares e mapas de insolação disponibilizadas por estações meteorológicas, sendo que para os projetos a insolação diária mínima é de 3 a 4 kWh/m².

De acordo com Villalva (2015), o elemento fundamental de conversão é a célula fotovoltaica, sendo ela composta por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior. Elas possuem uma camada de material anti reflexivo fundamental para aumentar a absorção de luz da célula.

Segundo Moraes (2020), assim que se encontra o equilíbrio entre as camadas, ao receberem energia externa ocorrerá o deslocamento dos elétrons da camada N para a camada P fazendo com que passagem da camada de valência para a de condução. Por meio de um circuito externo conectando o terminal negativo ao positivo

surge o fluxo de elétrons gerando a carga. A figura 1 mostra o princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica.

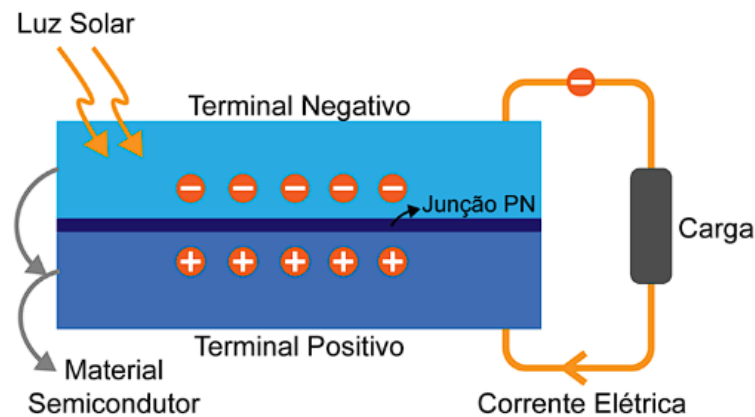


Figura 1 - Princípio básico de uma célula fotovoltaica (Moraes, 2020.)

O conjunto de células fotovoltaicas formam os módulos solares, responsáveis pela captação e transformação da luz solar em energia elétrica em corrente contínua. Essa energia gerada é conduzida então por um inversor que irá transformá-la em corrente alternada. Os sistemas podem ser divididos em dois tipos, *off-grid* e *on-grid*.

Os sistemas isolados ou *off-grid* são sistemas que não precisam ser conectados à rede elétrica. Conforme Santos *et al.* (2021) são comumente utilizados em locais de acesso restrito a energia elétrica. Essas instalações podem produzir energia durante o dia, porém para utilizar o excedente da produção no período noturno, é necessário a utilização de baterias, o que acaba por refletir diretamente nos custos para a operação do sistema.

Dias *et al.* (2022) afirmam que o banco de baterias então é conectado a um inversor onde a energia será convertida de corrente contínua (C.C) para corrente alternada (C.A) sendo utilizados nos equipamentos elétricos. Os sistemas são geralmente projetados para terem dois dias de autonomia para devido à intermitência do recurso de radiação solar suficiente para geração de energia. A figura 2 mostra o modelo do sistema fotovoltaico Off Grid.



Figura 2 - Modelo de um sistema off-grid. (Neosolar, 2023.)

Segundo Macena *et al.* (2020) um dos problemas deste tipo de sistema é sua grande quantidade de equipamentos e sua vida útil, além de não possuírem o auxílio da rede elétrica para eventuais problemas inesperados como a falta de energia, sendo o mesmo indicados apenas para locais em que não exista energia elétrica disponibilizada por alguma concessionária.

Alves (2019) descreve que os sistemas on-grid diferem dos off-grid são ligados diretamente na rede, através de um medidor bidirecional, que é capaz de medir a entrada e a saída de energia do sistema. Com isso, a distribuidora é capaz de saber ao fim do mês a quantidade de energia produzida e consumida pela residência. A energia excedente também é captada e o valor distribuído na rede é retornado ao fim do mês em forma de créditos na fatura, cujo objetivo é abater no valor gasto nos horários em que o consumo foi maior que a produção final.

Para Alves (2019) este tipo de sistema vem crescendo exponencialmente em países desenvolvidos, sendo considerado uma fonte complementar ao sistema elétrico, pois a rede da concessionária funciona como uma bateria que recebe o excedente gerado pelo sistema.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) os sistemas solares de porte médio, ou seja, de até 5 MW instalados nos seguintes locais:

- Casas;
- Fazendas;
- Empresas;

- Prédios públicos.

A ABSOLAR diz que nos sistemas on-grid, a geração distribuída (GD) possui quatro modalidades, sendo elas:

- GD junto a carga (local)** - Instala-se um sistema em uma unidade consumidora e a energia produzida é utilizada no próprio local.
- Condomínio com GD/EMUC (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras)** - A energia gerada é dividida entre os condôminos de acordo com percentuais estabelecidos pelos próprios consumidores. Além disso, a energia pode ser utilizada para abastecer as áreas comuns do edifício.
- Autoconsumo remoto** - é dada ao consumidor a opção de instalar um micro ou minigerador em um local diferente do local de residência e utilizar os créditos gerados para compensar o consumo.
- Geração compartilhada (Community Solar)** - Diversas partes interessadas, sejam elas pessoas ou empresas, se reúnem em um consórcio ou cooperativa e investem em um sistema de micro ou minigeração distribuída. Esse sistema gera créditos de energia injetados na rede elétrica. Esses créditos de energia são divididos entre o grupo de consumidores que investiram no sistema.

A figura 3 mostra o modelo de um sistema fotovoltaico on-grid.

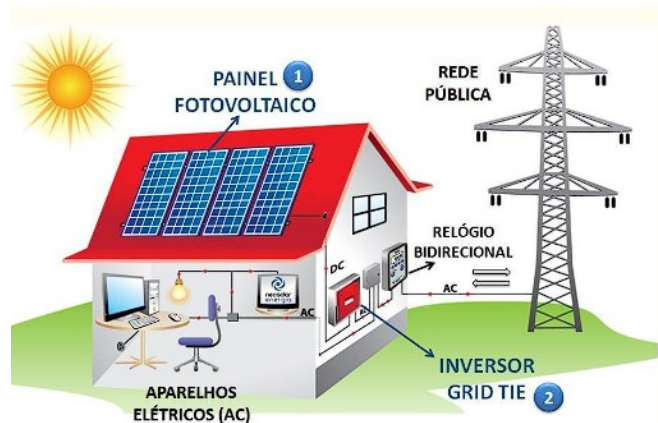


Figura 3 - Modelo de um sistema on-grid. (Neosolar, 2023.)

O quadro 1 aborda um breve comparativo entre os dois sistemas, on-grid e off-grid apresentando as vantagens e desvantagens de ambos modelos.

Quadro 1- Comparativo on-grid e off-grid

SISTEMA	ON GRID	OFF GRID
VANTAGENS	Dispensa a utilização de baterias e controladores de carga	Pode ser utilizado em regiões remotas, por ser independente da rede de distribuição de energia.
	Possibilita ao consumidor adquirir créditos de energia	Não há necessidade de pagar conta de luz.
	Créditos podem ser usados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário	Possui sistema de armazenamento de energia.
DESVANTAGENS	Necessita do acesso à rede de distribuição.	Necessita da utilização de baterias e controladores de energia.
	Não há sistema de armazenamento de energia.	Custo mais elevado.
	Necessidade de pagar conta de luz quando a demanda for maior que a produção e não houve créditos disponíveis.	Menos eficiente.

Fonte: Rampinelli *apud* Santos; Sousa (2021)

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM ÓRGÃOS PÚBLICOS

Com os gastos energéticos provenientes de edifícios públicos, torna-se interessante a busca de maneiras sustentáveis para reduzir custos. Diante desse desafio, as tecnologias de geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, vêm ganhando popularidade, segundo o sistemas de informações energéticas Brasil a produção de energia solar passou de 2360,32 MW em 2018 para 7387,11 MW em 2022. Isso aponta para uma direção a ser explorada nos órgãos públicos, visando a redução de despesas de forma consciente e sustentável.

Para Mendonça *et al.* (2021) o investimento para tornar a prefeitura de Itajubá-MG autossuficiente em termos de energia é atraente em diversas circunstâncias, pois visa a mitigação dos impactos sociais e ambientais, sugerindo por fim a implementação de leis regulamentadoras que tornem obrigatório a utilização de sistemas fotovoltaicos em prefeituras a fim de se gerar um impacto significativo na geração de energia nas cidades do país. Este tipo de lei já existe em alguns municípios, como em Ilhabela em São Paulo, no qual o projeto de lei 101/2019 foi aprovado pela câmara municipal, onde os prédios públicos devem ser equipados com sistemas fotovoltaicos em até 5 anos após a aprovação da lei.

Gavioli *et al.* (2020) realizaram um estudo de viabilidade de instalação de um sistema fotovoltaico para um hospital público localizado em Curitiba - Paraná e após o dimensionamento percebeu-se que apesar do alto investimento inicial o projeto ainda é viável se considerado o tempo de vida útil de 25 anos dos módulos além de o projeto apresentar um indicador do tempo de retorno do investimento (payback) de 13 anos. Outro ponto é a existência da lei 9.991/2000 que obriga a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) a financiar este tipo de projeto, evitando gastos diretos dos cofres públicos.

Moura (2019) aplicaram uma metodologia para avaliação de viabilidade da implementação de uma usina de minigeração fotovoltaica na Universidade Federal de Santa Maria através do software PV*SOL, percebeu-se que com os dados utilizados e com os incentivos do governo a usina ainda não seria totalmente viável, pois a mesma não produziria a quantidade total de energia utilizada pelo campus devido ao seu tamanho e seu alto consumo de energia mensal.

Oliveira (2021) realizou uma análise para implementação de um sistema fotovoltaico para geração de energia em prédios públicos no município de São Paulo - SP. O autor mostrou que a implementação deste tipo de sistema possibilita que diferentes edifícios em diferentes regiões possam realizar suas funções, diminuindo seus gastos com energia elétrica, gerando um impacto ambiental positivo e aliviando as redes de distribuição.

Oliveira (2017) percebeu que o investimento para a instalação de um sistema fotovoltaico em prédios públicos na cidade de São Domingos das Dores - MG teria um payback abaixo dos dez anos, tornando-o atrativo e viável, além disso, foi apresentado que o município apresenta área disponível para implementação, podendo até mesmo suportar uma expansão do sistema para distribuição de energia para prédios que não foram discutidos na pesquisa, ressaltando assim a importância da utilização de fontes alternativas para geração de energia tanto no setor privado quanto público.

Por fim, analisando os tipos de sistemas fotovoltaicos, percebe-se que para áreas que possuem acesso à rede de distribuição de energia o sistema on-grid é o mais utilizado. Em prédios públicos a implementação de sistemas fotovoltaicos costuma ser viável. Contudo, existem casos onde é possível averiguar a possibilidade de utilização do sistema para abater uma parte do consumo. Todavia, para locais onde

existam políticas públicas de incentivo o investimento torna-se ainda mais interessante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho possui uma natureza aplicada, onde se busca a investigação de um problema real visando fornecer informações práticas para a tomada de decisões.

Têm uma abordagem quali-quantitativa que irá coletar e analisar dados tanto qualitativos quanto quantitativos, buscando uma compreensão mais abrangente do fenômeno estudado.

Os objetivos visam explorar e compreender a viabilidade técnica da instalação de sistemas fotovoltaicos em escolas públicas, permitindo uma investigação aprofundada do tema.

A pesquisa utilizou um estudo de caso, para uma análise detalhada, permitindo uma compreensão mais ampla dos desafios e oportunidades específicas nesse contexto.

A metodologia utilizada está sumarizada na figura 4. Na etapa da coleta de dados, foi levantada a quantidade de escolas públicas da região de Araranguá. O levantamento foi feito através do site da Secretaria de Estado da Educação (SED) de Santa Catarina (SC) pela função de busca de escolas existente na página, onde são catalogadas todas as escolas municipais e estaduais por município, além de oferecer informações como endereço, telefone e quantidade de alunos matriculados que será de suma importância para a realização final.

Para a realização do dimensionamento foram necessárias algumas informações, como o consumo mensal no período de um ano, dados obtidos na Coordenadoria Regional de Educação (CRE) do município de Araranguá.

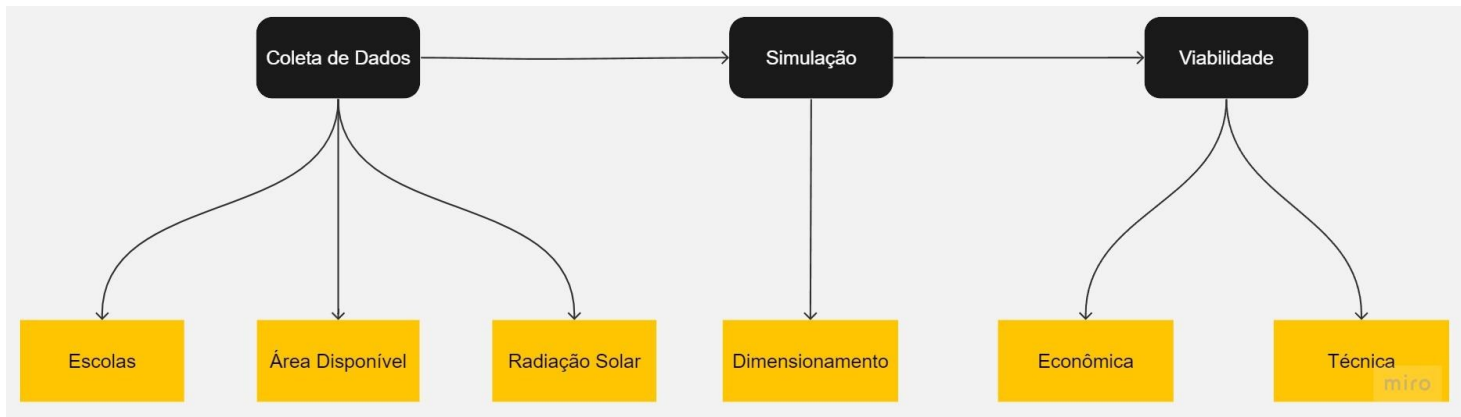


Figura 4 - Metodologia do projeto. (dados da pesquisa)

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Araranguá que fica localizado no extremo sul de Santa Catarina, Brasil, conforme mostrado na figura 5:

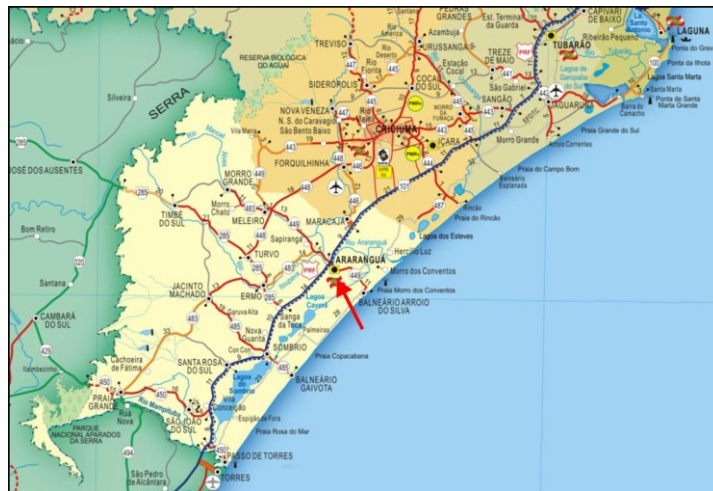


Figura 5 - Mapa de Araranguá/SC. (Prandi, 2012)

O município de Araranguá fica localizado na latitude $28^{\circ}56'05''$ S e a longitude $49^{\circ}29'09''$ O, com uma altitude de 13 metros. Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022, possui 71.922 habitantes e uma área de $304,05 \text{ km}^2$. A cidade conta com quinze escolas estaduais e seis municipais para os níveis de ensino fundamental e médio. Possui como clima predominante o

mesotérmico úmido, ou seja, não possui estação seca e depende da massa polar atlântica e da massa tropical atlântica para as mudanças de estação e temperatura.

A cidade está às margens do Rio Araranguá e possui como principais atividades econômicas a agricultura, a indústria, o comércio e o turismo. Além disso, conta com a presença de um campus da Universidade Federal de Santa Catarina, onde são lecionados 5 cursos, dentre eles o de Engenharia de Energia, que possui o núcleo Tecnológico de Energia Elétrica (NTELL), onde são realizados estudos sobre sistemas fotovoltaicos, sendo estes um dos motivos da escolha da cidade para o estudo, além de possuir um campus do Instituto Federal Catarinense (IFSC).

3.2 DEMANDA ENERGÉTICA DAS ESCOLAS

Para o presente estudo foram obtidos dados de quinze escolas estaduais localizadas no município de Araranguá, através da Secretaria de Estado da Educação, a fim de verificar a demanda energética e definir aquelas mais adequadas para o estudo de caso do dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. Das quinze escolas, duas foram excluídas do estudo, sendo elas EEB DE ARARANGUÁ e EEB OPERÁRIA, pois ambas estão em reforma e funcionando em outro prédio, o que acaba por não demonstrar o real consumo. A tabela 1 apresenta as demandas energéticas das escolas.

Tabela 1 - Demanda Energética das escolas

Escola	Consumo Total em kWh	Média de Consumo em kWh	Maior Consumo em kWh	Menor Consumo em kWh
EEB PROF MARIA GARCIA PESSI	95050	7920,83	20953	2893
EEB JORDÃO BERNARDO DA ROSA	64855	5404,58	10934	2267
EEB CASTRO ALVES	58220	4851,67	10950	1620
EEB BERNARDINO SENA CAMPOS	54334	4527,83	8610	1569
EEB PROF NEUSA OSTETTO CARDOSO	48541	4045,08	4975	2668
EEB PROF DOLVINA LEITE DE MEDEIROS	41315	3442,92	6739	1399
EEB PROF ISABEL FLORES HUBBE	27829	2319,08	6295	929
EEF PATRULHEIRO JUCEMAR PAES	22539	1878,25	4629	778
EEB PROF JULIETA AGUIAR BERTONCINI	21100	1758,33	4267	950
EEF PROF MOTA PIRES	13319	1109,92	1932	829
EEB PROF OTILIA DA SILVA BERTI	11365	947,08	1539	385
EEF PE ANTONIO LUIZ DIAS	10490	874,17	1482	119
EEB PROF EREMETA SOUZA	8844	737,00	1273	238

Fonte: dados da pesquisa

A figura 6 demonstra o consumo mensal de cada escola. Com isso, foram selecionadas três escolas que apresentaram com as maiores demandas, sendo elas:

- a) EEB Prof Maria Garcia Pessi;
- b) EEB Jordão Bernardo da Rosa;
- c) EEB Castro Alves.

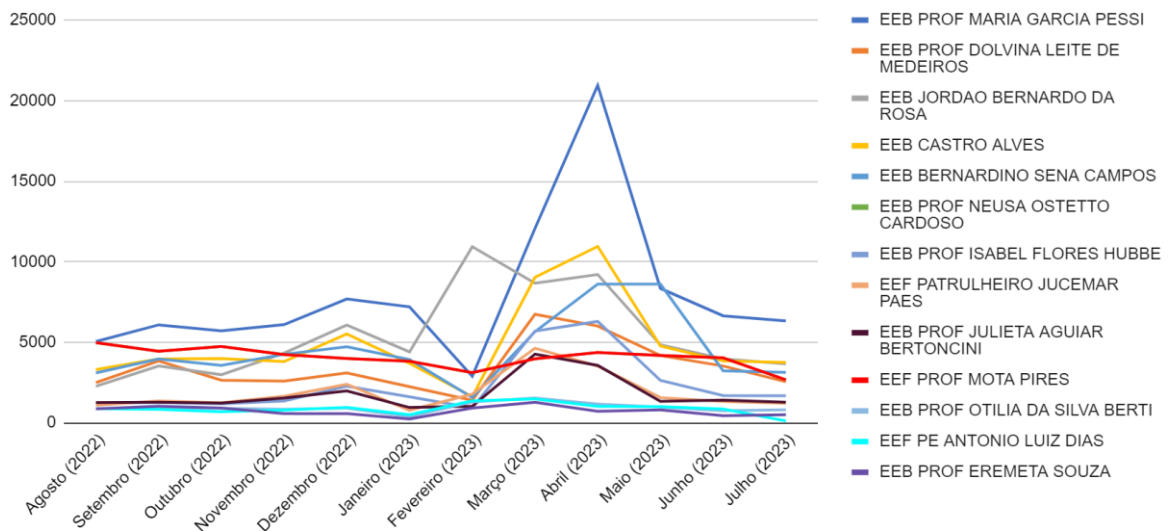


Figura 6 - Consumo mensal de cada escola em kWh. (dados da pesquisa)

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

O potencial solar de Araranguá foi obtido conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), a irradiação média diária anual da cidade é de 4,29 kWh/m².dia, o que significa que a irradiação anual é de 1565,85 kWh/m².ano. Além disso, o software Google Earth foi utilizado para analisar as estruturas das escolas selecionadas. A análise envolveu a existência de telhados adequados e a posição para qual estão direcionados, o espaço disponível para instalação e possíveis obstáculos que possam afetar os projetos.

A figura 7 ilustra a seleção de área de telhado disponível para instalação na escola EEB Jordão Bernardo da Rosa, sendo possível utilizar o outro telhado e uma parte do terreno caso seja necessário. O estudo das áreas disponíveis de todas as escolas investigadas está apresentado no apêndice A.

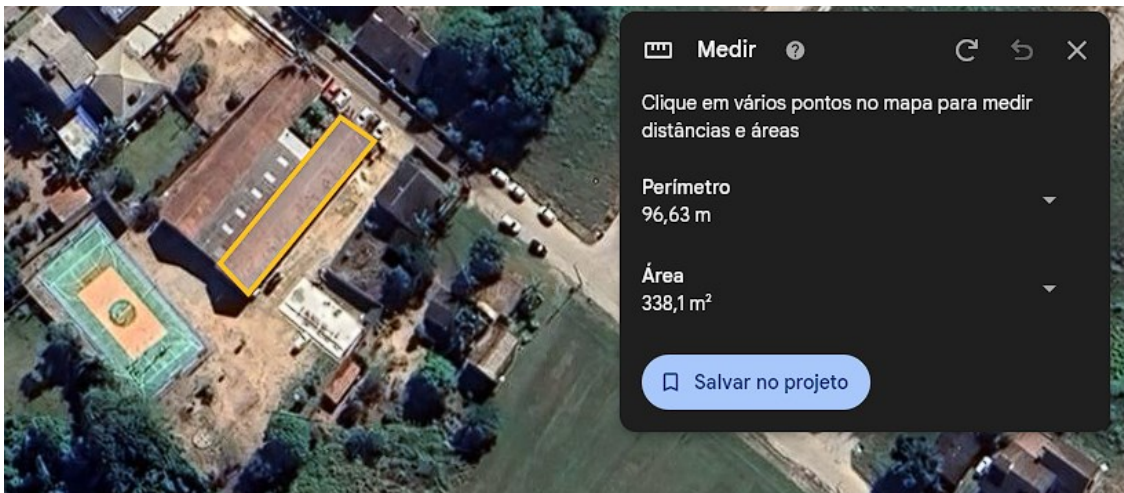


Figura 7 - Área disponível na escola EEB Jordão Bernardo da Rosa. (Google Earth, 2023)

A tabela 2 apresenta o consumo, a área total do terreno escolar e a área utilizada para o projeto em cada escola selecionada para realização do dimensionamento.

Tabela 2 - Consumo total e áreas disponíveis nas escolas,

Escola	Consumo total em kWh	Área total em m ²	Área utilizada em m ²
EEB PROF MARIA GARCIA PESSI	9505	9088,22	369,6
EEB JORDÃO BERNARDO DA ROSA	64855	4133,81	239,04
EEB CASTRO ALVES	58220	9961,19	209,16

Fonte: dados da pesquisa

Na etapa de simulação o dimensionamento foi realizado individualmente para cada escola, partindo da metodologia de dimensionamento de Pereira (2021) que utiliza como ferramenta o software System Advisor Model (SAM) que é um software gratuito para a criação de modelos de sistemas de geração de energia por fontes renováveis. Além disso, o programa oferece vários modelos financeiros para a análise de projetos e suporta a modelagem 3D para a avaliação de sombreamento.

Na versão para desktop, o aplicativo possui como base de dados para valores de entrada as variáveis disponibilizadas pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL), porém caso necessário é possível adicionar novas informações. Ele é um dos

únicos softwares que considera uma taxa de 5% como valor padrão para perdas na geração de energia por sujeira, sendo isto algo levado em consideração no momento da escolha do mesmo.

De acordo com System Advisor Model Version 2022.11.21 (SAM 2022.11.21) User Documentation os modelos de desempenho do SAM fazem cálculos passo a passo da energia elétrica de um sistema de energia, gerando um conjunto de dados de série temporal que representa a produção de eletricidade do sistema ao longo de um único ano. O timestep da simulação depende da resolução temporal dos dados no arquivo meteorológico, que pode ser de hora em hora ou sub-hora.

A figura 8 apresenta o passo a passo para realização do dimensionamento no SAM.



Figura 8 - Esquema para dimensionamento no SAM (dados da pesquisa)

Na realização do dimensionamento foi utilizado o tutorial de Rampinelli, Prudencio (2020), será necessário escolher a capital mais próxima à cidade da qual se está realizando o dimensionamento e ele usará essa irradiação com uma diferença de aproximadamente 5% sendo este um valor aceitável. Como Araranguá está localizada em Santa Catarina, foi utilizada a cidade de Florianópolis.

Após a definição do local, o software apresenta uma lista com diversos modelos de módulos a com dados de, curva IV, eficiência nominal, potência máxima, tensão máxima, coeficientes de temperatura, além de mostrar dados físicos como material do módulo e área.

Para os inversores o SAM apresenta dados como uso de energia a noite, tensão nominal, tensão máxima, consumo de energia durante a operação, além de outros dados que existem dentro do datasheet do SAM.

Na etapa do design do sistema será inserido o número de módulos que deverá ter sido calculado, o número de strings e o número de subarrays, com isso ele dará a área total do sistema, a capacidade do inversor, a tensão de referência da string e sua tensão máxima nas condições de referência. O próximo passo é definir a inclinação e a orientação do sistema. O azimute foi escolhido conforme a disposição dos prédios com relação ao norte e o ângulo de inclinação foi utilizado a latitude da cidade de 28°.

Após todas as etapas concluídas será possível realizar a simulação com a geração anual de energia do sistema fotovoltaico, além da quantidade de energia gerada mensalmente.

Em caso da existência de sombreamento é possível realizar a simulação em 3D do projeto utilizando a ferramenta shading and layout, ele retornará durante os horários do dia em que será gerado energia normalmente e em quais não ocorrerá devido a sombras de objetos no local no qual foi instalado o sistema.

Na etapa de viabilidade, calculou-se os gastos para aquisição, instalação e manutenção dos sistemas, além de estimar a economia gerada a partir da geração de energia solar durante o período de vida útil dos sistemas. Para averiguar a viabilidade técnica verificou-se a capacidade física dos ambientes para suportarem a quantidade ideal de módulos fotovoltaicos a fim de se abater em 100% os gastos de consumo de energia elétrica.

Para realizar o dimensionamento do sistema foi necessário calcular determinados parâmetros a serem inseridos no SAM para se obter uma modelagem compatível com a realidade de cada escola. A irradiação anual para a cidade de Araranguá foi utilizada a equação 1:

$$H = Hm \times 365 \quad (\text{eq. 1})$$

Onde H é a irradiação média anual (kWh/m².ano) e Hm a irradiação média diária (kWh/m².dia).

De acordo com documento técnico disponibilizado pela SMA solar technology AG o performance ratio padrão é de 0,8 e a irradiância é 1 kW/m². Um sistema fotovoltaico chega a uma eficiência de 80% e a irradiância padrão é 1.

Para calcular a produtividade foi utilizando a equação 2:

$$Y = \frac{H}{G} \text{ (eq. 2)}$$

Onde Y é a produtividade e G a irradiância.

A disponibilidade mensal (kW/h) foi utilizada a mínima disponível por tipo de sistema, como no estudo existem escolas monofásicas e trifásicas foram utilizadas as apresentadas no manual de organização da Celesc aprovado em 2023 que são 30 kW/h e 100 kW/h respectivamente.

A demanda do consumidor (kWh) foi calculada com a equação 3:

$$Demanda = consumo - (disponibilidade\ mensal \times 12) \quad \text{(eq. 3)}$$

Com a demanda foi possível calcular a potência do sistema fotovoltaico (kWp)

$$P = \frac{Demanda}{Y * Pr} \quad \text{(eq. 4)}$$

Onde P é a potência do sistema, e para a razão de performance.

Por possuir uma escola com demanda ponta (período diário de 3h consecutivas, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais) e fora ponta (período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta e intermediário), foi necessário calcular para ela o fator de correção para que o sistema pudesse gerar a quantidade necessária de energia para ambas demandas, o cálculo foi realizado através da equação 5.

$$FC = \frac{Preço\ TE\ ponta}{Preço\ TE\ fora\ ponta} \quad \text{(eq. 5)}$$

Onde FC é o fator de correção, TE é tarifa de energia.

Com o FC calculado foi então multiplicado com o consumo médio na ponta e somado ao consumo médio fora ponta e por fim multiplicado por 12 para se encontrar a demanda real necessária para suprir as necessidades da escola.

Com todos os cálculos realizados foi possível calcular a potência do sistema conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo da potência do sistema para cada escola

Escola	Consumo Total	Disponibilidade Mensal (kWh)	Performance Ratio	Irradiação Anual (kWh/m ² .ano)	Irradiância (kW/m ²)	Produtividade	Demanda do consumidor (kWh)	Potência do sistema (kWp)
EEB Prof Maria Garcia Pessi	102573,4	100	0,8	1565,85	1	$\frac{1565,85}{1} = 1565,85$	$102573,4 - (100 \times 12) = 101373,40$	$\frac{101373,4}{(0,8 \times 1565,85)} = 80,92$
EEB Jordão Bernardo da Rosa	64855	30	0,8	1565,85	1	$\frac{1565,85}{1} = 1565,85$	$64855 - (30 \times 12) = 64495$	$\frac{64495}{(0,8 \times 1565,85)} = 51,48$
EEB Castro Alves	58220	30	0,8	1565,85	1	$\frac{1565,85}{1} = 1565,85$	$58220 - (30 \times 12) = 57860$	$\frac{57860}{(0,8 \times 1565,85)} = 46,18$

Fonte: dados da pesquisa.

O consumo utilizado para a escola EEB Prof Maria Garcia Pessi foi calculado utilizando o fator de correção conforme apresentado nas equações acima.

Com todos os dados obtidos foi então necessário escolher os modelos de módulos e inversores a serem utilizados no sistema, para isto foi utilizado o estudo estratégico de geração distribuída no mercado fotovoltaico em 2023. Greener (2023), cujo objetivo é mostrar a realidade do mercado brasileiro, onde os dados coletados são obtidos por empresas do ramo a fim de se entender como está funcionando o mercado.

Para escolha dos módulos foi então utilizado as dez marcas mais lembradas conforme apresentado na figura 9. E para a escolha do inversor foi adotado o mesmo critério conforme a figura 10.



Figura 9 - Dez módulos mais lembrados (Greener, 2023).

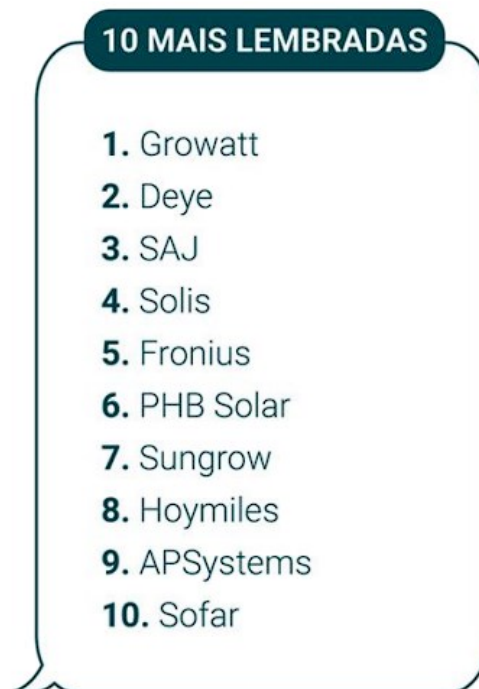


Figura 10 - Dez inversores mais lembrados (Greener, 2023)

Com todos os dados obtidos foi possível realizar o dimensionamento, e com isso realizar a análise de viabilidade técnica e econômica para cada escola, para isso foi utilizada a base de preço de um sistema fotovoltaico apresentado pelo greener que foi calculado com a equação 6.

$$\text{Preço do sistema fotovoltaico} = \text{Preço médio do kit} + \text{preço do serviço de integração (eq. 6)}$$

Com isso chegou-se aos seguintes valores de um sistema fotovoltaico desde o ano de 2021 a 2023. Para os cálculos de viabilidade econômica foram utilizados os valores de janeiro de 2023, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Preço de um sistema fotovoltaico.

	2kWp	4kWp	8kWp	12kWp	30kWp	50kWp	75kWp	75kWp Solo	150kWp	150kWp Solo
jan./21	6,19	4,96	4,42	4,29	4,00	3,88	3,79	4,23	3,64	4,07
jun./21	6,17	4,88	4,38	4,21	3,97	3,89	3,81	4,27	3,64	4,06
jan./22	6,35	5,16	4,66	4,52	4,31	4,10	4,09	4,57	3,89	4,34
jun./22	5,99	4,88	4,35	4,16	3,93	3,88	4,00	4,45	3,69	4,07
jan./23	5,42	4,39	3,92	3,67	3,36	3,73	3,84	4,38	3,54	3,85

Fonte: Greener,2023.

Visando se obter o tempo de retorno do investimento foi necessário realizar alguns cálculos. Inicialmente para encontrar o valor total do investimento foi utilizada a equação 7.

$$\text{Investimento} = \text{potência do sistema} \times \text{preço do sistema} \quad (\text{eq. 7})$$

Na equação foram utilizados os valores em watt (W), e o preço do sistema foi classificado conforme a potência do mesmo, sendo sempre utilizado o valor cobrado para uma potência acima da calculada para cada escola conforme os dados da tabela 3.

Para os cálculos foi utilizado um reajuste anual na tarifa de energia de 2,3% conforme o aumento anunciado pela Celesc em agosto de 2023, e um fator de depreciação de 0,7% conforme Belém *et al.* (2018). As tarifas de energia foram

utilizadas de acordo com as disponíveis nas faturas, sendo as do grupo de baixa tensão de R\$0,57 e as do grupo de alta tensão de R\$0,37 para o horário fora ponta.

O valor da tarifa de energia das escolas estaduais é mais baixo devido a vertente do princípio da imunidade tributária recíproca dos entes. Segundo o direito tributário. De acordo Zauli (2019) “A imunidade recíproca é a limitação do poder de tributar que impede que a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios instituam impostos sobre o patrimônio, a renda ou os serviços, uns dos outros. Essa imunidade tem a finalidade de garantir a autonomia financeira das pessoas jurídicas de direito público e a consequente manutenção da federação.”

Sendo uma vertente dessa aplicação a não incidência do tributo sobre estabelecimentos do próprio ente federado. Isso por que de forma simplificada, seria o mesmo que cobrar tributos do estado (escola estadual) para gerar renda para o próprio estado (ente federado), através de instituição que integra a administração do estado (Celesc) quando o lógico é manter o valor na própria fonte, evitando todo um processo de alocação de recursos que se reverterão de volta à origem. Cumpre salientar que a tarifa cobrada no estado de Santa Catarina é efetivada pela Celesc que é sociedade de economia mista integrante da administração indireta do estado.

Com o valor do investimento inicial calculado para os anos seguintes foram utilizadas as equações 8, 9, 10 e 11.

$$\textit{Remuneração} = \textit{Produção anual} \times \textit{tarifa de energia} \quad (\text{eq. 8})$$

Tendo a remuneração no primeiro ano do sistema instalado, foi calculado o primeiro fluxo de caixa.

$$\textit{Fluxo de caixa} = \textit{Remuneração} + \textit{investimento inicial} \quad (\text{eq. 9})$$

A partir do segundo ano as equações 10 e 11 foram inseridas considerando o aumento da tarifa de energia e o fator de depreciação.

$$\textit{Produção anual} = \textit{Produção ano anterior} \times (1 - 0,7\%) \quad (\text{eq. 10})$$

$$\textit{Tarifa} = \textit{Tarifa ano anterior}(\textit{tarifa ano anterior} \times 2,3\%) \quad (\text{eq. 11})$$

As equações 10 e 11 são repetidas sempre que forem utilizadas para calcular o retorno do investimento ao longo do tempo. Para a remuneração em cada ano será utilizada a equação 8 com os valores obtidos para o mesmo. O fluxo de caixa foi calculado utilizando a equação 9 do ano anterior mais a remuneração obtida naquele ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor compreensão, os resultados serão divididos em 2 subseções. A primeira subseção apresentará o dimensionamento no SAM e a análise de viabilidade espacial das escolas para instalação, enquanto a segunda irá apresentar a viabilidade econômica de instalação final do sistema fotovoltaico.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ATRAVÉS DO SOFTWARE SAM E VIABILIDADE ESPACIAL

Para a realização do dimensionamento em cada escola foi realizado os cálculos apresentados na metodologia e então inseridos no SAM. Os módulos e inversores foram selecionados conforme os modelos apresentados anteriormente, a potência dos módulos foi escolhida visando uma menor quantidade de módulos por sistema, enquanto o inversor foi escolhido segundo a potência total do sistema final. Os dados utilizados no dimensionamento estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Dimensionamento para cada escola (Az. é o azimute e Inc. é a inclinação).

Escola	Irradiação Anual (kWh/m ² . ano)	Consumo (kWh)	Pot. do Sistema (kWp)	Módulo	Pot. do Módulo (W)	Quantidade de Módulos	Área por módulo (m ²)	Área Total (m ²)	Inversor	Pot. do Inv. (Wp)	Az. (°)	Inc. (°)
EEB Prof Maria Garcia Pessi	1565,89	95050	80,92	CSI. Solar Co. Ltd. CS7L-600MS-R	600	132	2,8	369,6	Sungrow Power Supply Co - Ltd: SC60HV (480V)	66000	45	28
EEB Jordão Bernardo da Rosa	1565,89	64855	51,48	CSI. Solar Co. Ltd. CS6W. 530 MS	530	96	2,49	239,04	Shenzhen Growatt New Energy Technology Co - Ltd: GROWATT 40000TL3-US (480V)	39850	315	28
EEB Castro Alves	1565,89	58220	46,18	CSI. Solar Co. Ltd. CS6W. 530 MS	530	84	2,49	209,16	Sungrow Power Supply Co - Ltd: SG36CS-US (480V)	36046	45	28

Fonte: dados da pesquisa

Com o dimensionamento realizado foi possível obter os padrões de geração através do SAM e assim avaliar se as escolas apresentam o espaço necessário para instalação de um sistema que supra todo seu consumo ou apenas para parte dele.

Na escola Maria Garcia Pessi o sistema foi dividido em 3 Maximum Power Point Tracking (MPPT) cujo objetivo é fazer com que o sistema faça o aproveitamento máximo de energia. Cada MPPT contou com 2 strings com 22 módulos cada, totalizando 132 módulos no sistema completo. O dimensionamento final obteve os resultados apresentados na figura 11. Na figura 12 é possível observar a relação de consumo e geração da escola durante os meses do ano.

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	110,881 kWh
DC capacity factor in Year 1	16.0%
Energy yield in Year 1	1,399 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.82

Figura 11 - Resultado do sistema fotovoltaico (dados da pesquisa)

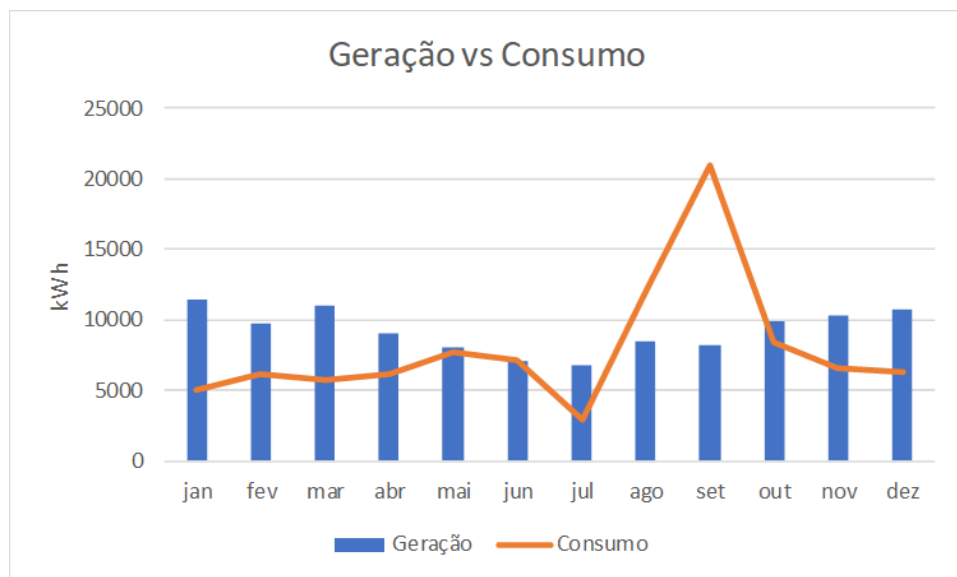


Figura 12 - Geração versus Consumo para escola EEB Maria Garcia Pessi (dados da pesquisa).

Através dos dados obtidos é possível perceber que o sistema dimensionado consegue suprir o consumo total da escola, mesmo ela apresentando uma demanda ponta e fora ponta e sendo necessário dimensionar um sistema que atenda as duas, tornando-o maior que um sistema para o grupo de baixa tensão como ocorre nas outras escolas. Contudo, a edificação acaba por apresentar telhados separados e curtos para que o sistema possa ser colocado na mesma área. Além disso, o maior telhado disponível gera sombra durante uma parte do dia, o que acaba por ocasionar perdas no sistema.

A fim de se evitar esses empecilhos foi utilizado para a instalação final uma parte do terreno, destacada na figura 13, que se apresenta como uma área muito maior do que a necessária de 369,6 m².

Por fim, para definir como o sistema ficaria disposto na escola foi utilizado a simulação tridimensional disponível no SAM, onde não foi utilizado nenhum objeto já que o local não apresenta sombreamento. Nas figuras 13 e 14 é possível comparar a área escolhida da escola e a simulação. Na simulação, cada quadrado azul simboliza uma string com 22 módulos, totalizando as seis strings do sistema.



Figura 13 - Área para instalação EEB Maria Garcia Pessi (Google Earth, 2023)

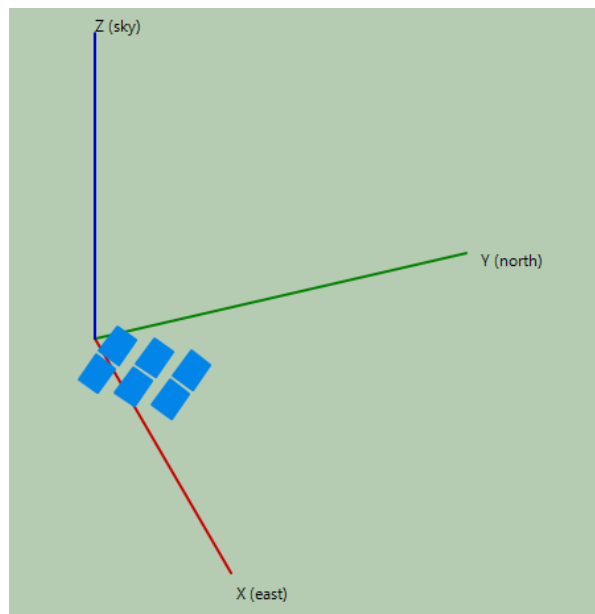


Figura 14 - Simulação em 3D (dados da pesquisa)

Conforme as figuras 13 e 14 é possível perceber que apesar do local escolhido possuir espaço, ele apresenta acesso fácil aos estudantes, o que pode gerar problemas de segurança, sendo necessário a criação de uma estrutura que evite o acesso de qualquer pessoa

Existe a possibilidade de instalar o sistema em cima dos telhados. Porém, será necessário, estudos a fim de verificar se ao dividir os módulos o sistema não sairá prejudicado ou com maior custo de instalação, podendo tornar o retorno do investimento maior.

Outra possibilidade é realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico menor que atenda apenas parte do consumo, fazendo assim com que ele ocupe um espaço menor e possa ser instalado em apenas um dos telhados do prédio. Dessa forma, reduzindo a possibilidade de acesso por parte da comunidade escolar, evitando acidentes.

Para a escola EEB Jordão Bernardo da Rosa o sistema foi dividido em 2 MPPT com cada um possuindo 3 strings com 16 módulos, totalizando assim 96 módulos. Com o dimensionamento completo é possível observar os resultados através da figura 15.

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	71,559 kWh
DC capacity factor in Year 1	16.1%
Energy yield in Year 1	1,406 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.82

Figura 15 - Resultado do sistema fotovoltaico (dados da pesquisa)

Através da figura 16 é possível observar a relação de consumo e geração da escola durante os meses do ano. Observando as figuras 15 e 16, é possível notar que a geração anual para a escola é de 71,5 kWh, fazendo com que o sistema consiga suprir toda a demanda. O excedente de energia pode servir para suprir eventuais meses em que ocorra algum evento climático fora do esperado, como muitas chuvas e poucos dias ensolarados.

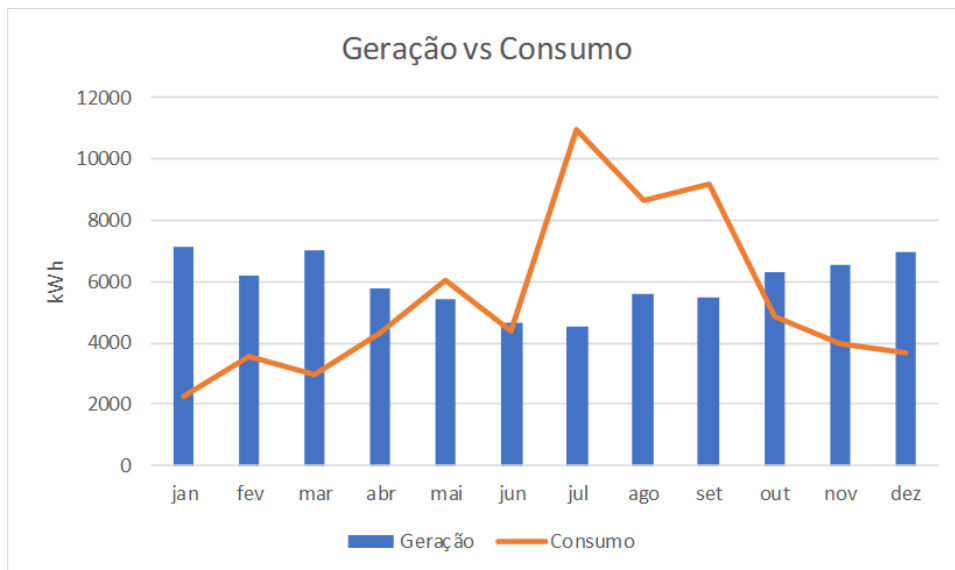


Figura 16 - Geração vs Consumo para a escola EEB Jordão Bernardo da Rosa (dados da pesquisa)

O sistema projetado irá ocupar uma área total de 239,04 m², sendo possível ser instalado nos telhados da escola já que a mesma possui espaço disponível e com boa orientação nas duas maiores estruturas da escola. Os telhados utilizados e a disposição do sistema podem ser vistos nas figuras 17 e 18, respectivamente. Na figura 16, simulação em 3D cada quadrado azul simboliza uma string com 16 módulos, totalizando assim todas as 6 strings com 96 módulos.



Figura 17 - Área para instalação EEB Jordão Bernado da Rosa (Google Earth, 2023).

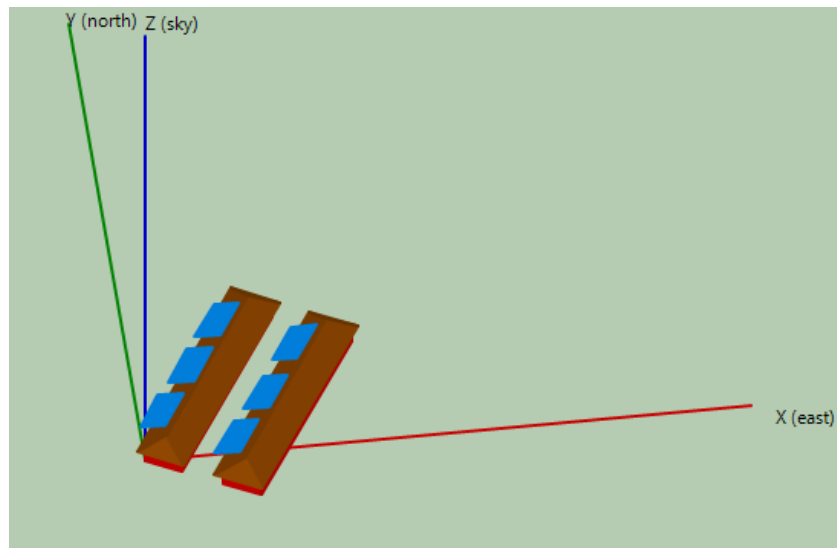


Figura 18 - Simulação em 3D (dados da pesquisa).

Conforme as figuras é possível observar que os telhados apresentam uma área disponível maior que necessária para instalação do sistema de forma ao sistema ser disposto na posição de melhor geração. Apesar de um dos telhados possuir uma antena e a mesma gerar sombra, conforme é possível observar na figura 17, o telhado possui espaço suficiente para alocar os módulos e strings fora da área de cobertura, fazendo com que o sistema fique sem perdas por sombreamento, tornando o local ainda melhor.

Caso seja de interesse não utilizar a estrutura da escola, é possível também utilizar uma área disponível dentro do terreno, porém caso isso ocorra será necessário, assim como na escola EEB Maria Garcia Pessi, construir uma estrutura de proteção para evitar possíveis acessos.

Por fim, para a escola EEB Castro Alves o sistema ficou dividido em 1 MPPT com 6 strings possuindo 14 módulos cada, totalizando 84 módulos. O resultado do dimensionamento pode ser visto na figura 19. Junto ao dimensionamento é possível observar a relação de geração e consumo através da figura 20.

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	62,893 kWh
DC capacity factor in Year 1	16.1%
Energy yield in Year 1	1,413 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.82

Figura 19 - Resultado do sistema fotovoltaico (dados da pesquisa)

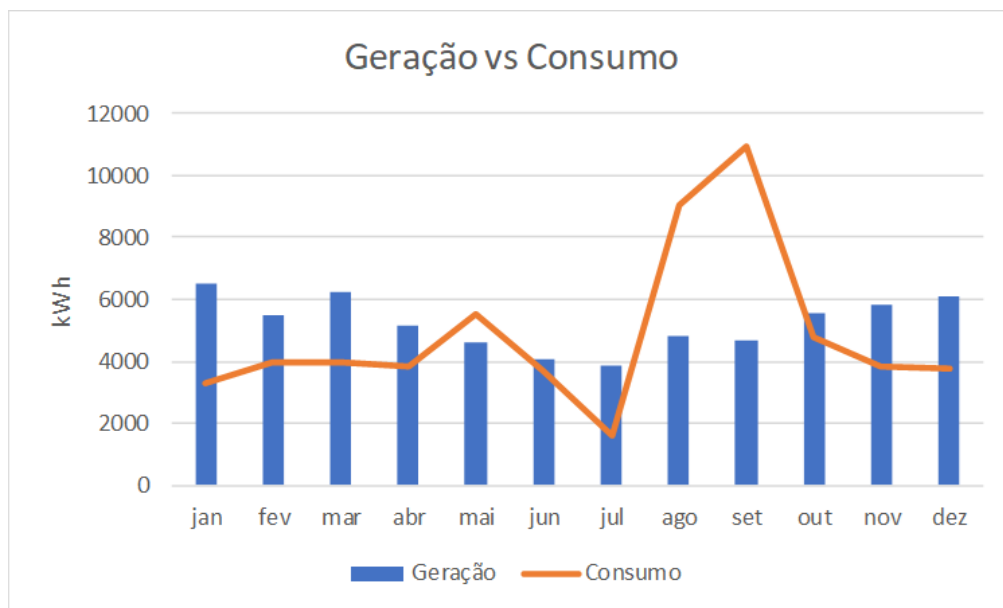


Figura 20 - Geração para a escola EEB Castro Alves (dados da pesquisa)

Através das figuras 19 e 20 percebe-se que a geração anual é de 62,8 kWh, suprimindo o consumo anual, o sistema irá ocupar 209,16 m², sendo possível a instalação nos telhados disponíveis na escola, permitindo apenas acesso a pessoas autorizadas, conforme as figuras 21 e 22. Na simulação, figura 22, cada quadrado azul significa uma string contendo 16 módulos, totalizando 6 strings com 84 módulos. Os módulos aparecem como “saindo” do telhado, isso se dá pelo fato de o SAM não possuir telhados que sejam totalmente retos como o do prédio em questão.



Figura 21 - Área para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)

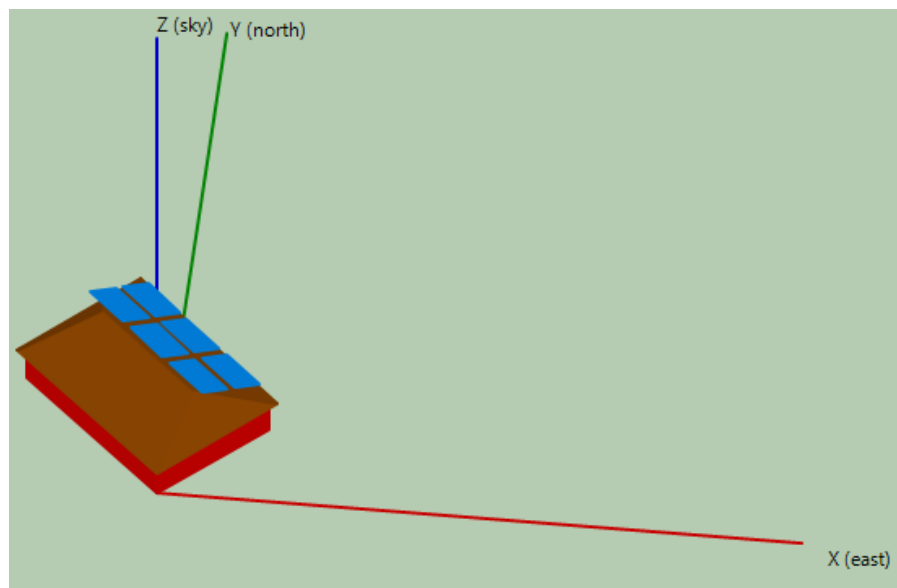


Figura 22 - Simulação em 3D (dados da pesquisa)

Para a EEB Castro Alves a estrutura do ginásio possui o maior telhado disponível, sendo um ponto de atenção à árvore ao lado, que apesar de não fazer sombra no sistema, necessitará de manutenção, como a poda periódica, para evitar que possa prejudicar o sistema causando sombra ou algum galho bater e danificar algum módulo.

Uma característica interessante desta escola é sua quantidade de telhados, então mesmo que o sistema seja dimensionado no ginásio é possível alterar o sistema para os diversos telhados sem preocupação de falta de espaço na execução final do projeto.

Com os dimensionamentos realizados para as três escolas é possível perceber que todas possuem área disponível. Apesar de nem todas possuírem espaço diretamente em seu telhado, todas possuem espaço no solo, e uma solução é a construção de um estacionamento coberto para os funcionários nas áreas selecionadas. Assim, eles teriam um local onde deixar seus veículos e os sistemas poderiam ficar em telhados sem que ocorressem acidentes envolvendo a comunidade escolar. Além disso, a escola EEB Castro Alves já utiliza parte de seu pátio para este fim, logo seria necessário apenas cobrir o mesmo para realizar a construção do projeto final.

4.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para analisar a viabilidade econômica para a prefeitura de Araranguá foram utilizados os cálculos apresentados na metodologia. Foram considerados nos cálculos o retorno em até 25 anos, sendo o tempo de vida útil de um sistema fotovoltaico, considerando apenas as perdas, desprezando manutenção ou eventuais problemas nos módulos.

Para a escola EEB Maria Garcia Pessi, com o sistema operando e gerando energia, o valor do investimento irá retornar em aproximadamente 7 anos, conforme a tabela 6. O investimento inicial para instalação do sistema será de R\$ 311.542,00, considerando nos cálculos o valor do kit fotovoltaico e o preço de instalação final. Ao fim da sua vida útil o sistema retornará o valor de R\$ 934.929,7'. Esse valor ainda poderá sofrer ajuste de acordo com possíveis mudanças na tarifa de energia, já que para os cálculos foi utilizado um aumento fixo anualmente. Outro ponto importante a ser ressaltado é que como poderão ocorrer imprevistos e possíveis trocas de peças no sistema ao longo do tempo, esse valor acabará por diminuir. Porém, o saldo ao final de sua vida continuará positivo e com um valor significativo em relação a seu investimento inicial.

Tabela 6 - Retorno de investimento EEB Maria Garcia Pessi

ano	Produção anual	tarifa	Remuneração	Fluxo caixa
0	-	-	-R\$ 311.542,00	-R\$ 311.542,00
1	110881	R\$ 0,37000	R\$ 41.025,97	-R\$ 270.516,03
2	110104,83	R\$ 0,37851	R\$ 41.675,78	-R\$ 228.840,25
3	109334,10	R\$ 0,38722	R\$ 42.335,88	-R\$ 186.504,37
4	108568,76	R\$ 0,39612	R\$ 43.006,44	-R\$ 143.497,93
5	107808,78	R\$ 0,40523	R\$ 43.687,62	-R\$ 99.810,31
6	107054,12	R\$ 0,41455	R\$ 44.379,59	-R\$ 55.430,72
7	106304,74	R\$ 0,42409	R\$ 45.082,52	-R\$ 10.348,20
8	105560,61	R\$ 0,43384	R\$ 45.796,58	R\$ 35.448,38
9	104821,68	R\$ 0,44382	R\$ 46.521,95	R\$ 81.970,33
10	104087,93	R\$ 0,45403	R\$ 47.258,81	R\$ 129.229,14
11	103359,31	R\$ 0,46447	R\$ 48.007,34	R\$ 177.236,48
12	102635,80	R\$ 0,47515	R\$ 48.767,73	R\$ 226.004,22
13	101917,35	R\$ 0,48608	R\$ 49.540,16	R\$ 275.544,38
14	101203,93	R\$ 0,49726	R\$ 50.324,83	R\$ 325.869,21
15	100495,50	R\$ 0,50870	R\$ 51.121,93	R\$ 376.991,14
16	99792,03	R\$ 0,52040	R\$ 51.931,65	R\$ 428.922,79
17	99093,49	R\$ 0,53237	R\$ 52.754,19	R\$ 481.676,98
18	98399,83	R\$ 0,54461	R\$ 53.589,77	R\$ 535.266,74
19	97711,03	R\$ 0,55714	R\$ 54.438,57	R\$ 589.705,32
20	97027,06	R\$ 0,56995	R\$ 55.300,83	R\$ 645.006,14
21	96347,87	R\$ 0,58306	R\$ 56.176,74	R\$ 701.182,88
22	95673,43	R\$ 0,59647	R\$ 57.066,52	R\$ 758.249,40
23	95003,72	R\$ 0,61019	R\$ 57.970,40	R\$ 816.219,79
24	94338,69	R\$ 0,62423	R\$ 58.888,59	R\$ 875.108,38
25	93678,32	R\$ 0,63858	R\$ 59.821,33	R\$ 934.929,71

Fonte: dados da pesquisa

Na escola EEB Maria Garcia Pessi o sistema acabou por sair mais caro que os outros, pois além de seu tamanho ser maior ele possui a característica de ser em solo, o que acaba por tornar o investimento inicial maior.

Para a escola EEB Jordão Bernardo da Rosa o retorno de investimento está previsto em 4 anos e pode ser visualizado na tabela 7. Para a instalação do sistema será necessário um investimento inicial de R\$ 197.683,20, por ser um sistema menor, porém, como essa escola está no grupo de baixa tensão, ela possui uma tarifa de energia diferente, sendo maior que a do grupo de alta tensão, isso implica diretamente

no retorno de investimento, fazendo com que o seja mais rápido que o da EEB Maria Garcia Pessi

Tabela 7 - Retorno de investimento EEB Jordão Bernardo da Rosa

ano	Produção anual	tarifa	Remuneração	Fluxo caixa
0	-	-	-R\$ 197.683,20	-R\$ 197.683,20
1	71559	R\$ 0,57000	R\$ 40.788,63	-R\$ 156.894,57
2	71058,09	R\$ 0,58311	R\$ 41.434,68	-R\$ 115.459,89
3	70560,68	R\$ 0,59652	R\$ 42.090,97	-R\$ 73.368,92
4	70066,76	R\$ 0,61024	R\$ 42.757,64	-R\$ 30.611,28
5	69576,29	R\$ 0,62428	R\$ 43.434,88	R\$ 12.823,60
6	69089,25	R\$ 0,63864	R\$ 44.122,85	R\$ 56.946,45
7	68605,63	R\$ 0,65332	R\$ 44.821,71	R\$ 101.768,16
8	68125,39	R\$ 0,66835	R\$ 45.531,64	R\$ 147.299,80
9	67648,51	R\$ 0,68372	R\$ 46.252,82	R\$ 193.552,61
10	67174,97	R\$ 0,69945	R\$ 46.985,41	R\$ 240.538,03
11	66704,75	R\$ 0,71554	R\$ 47.729,62	R\$ 288.267,64
12	66237,81	R\$ 0,73199	R\$ 48.485,61	R\$ 336.753,25
13	65774,15	R\$ 0,74883	R\$ 49.253,57	R\$ 386.006,82
14	65313,73	R\$ 0,76605	R\$ 50.033,70	R\$ 436.040,51
15	64856,53	R\$ 0,78367	R\$ 50.826,18	R\$ 486.866,69
16	64402,54	R\$ 0,80170	R\$ 51.631,22	R\$ 538.497,91
17	63951,72	R\$ 0,82013	R\$ 52.449,00	R\$ 590.946,91
18	63504,06	R\$ 0,83900	R\$ 53.279,74	R\$ 644.226,66
19	63059,53	R\$ 0,85829	R\$ 54.123,64	R\$ 698.350,30
20	62618,11	R\$ 0,87804	R\$ 54.980,90	R\$ 753.331,20
21	62179,79	R\$ 0,89823	R\$ 55.851,75	R\$ 809.182,95
22	61744,53	R\$ 0,91889	R\$ 56.736,38	R\$ 865.919,33
23	61312,32	R\$ 0,94002	R\$ 57.635,03	R\$ 923.554,36
24	60883,13	R\$ 0,96164	R\$ 58.547,91	R\$ 982.102,27
25	60456,95	R\$ 0,98376	R\$ 59.475,25	R\$ 1.041.577,52

Fonte: dados da pesquisa

Ao longo da vida útil, 25 anos, o sistema terá gerado um lucro próximo de R\$ 1.041.577,52, tornando assim o investimento viável e atraente, tendo em vista que o mesmo irá conseguir suprir todo o consumo da escola.

Por fim, a tabela 8 apresenta o tempo de retorno de investimento para a escola EEB Castro Alves.

Tabela 8 - Retorno de investimento EEB Castro Alves

ano	Produção anual	tarifa	Remuneração	Fluxo caixa
0	-	-	-R\$ 172.251,40	-R\$ 172.251,40
1	62893	R\$ 0,57000	R\$ 35.849,01	-R\$ 136.402,39
2	62452,75	R\$ 0,58311	R\$ 36.416,82	-R\$ 99.985,57
3	62015,58	R\$ 0,59652	R\$ 36.993,63	-R\$ 62.991,94
4	61581,47	R\$ 0,61024	R\$ 37.579,57	-R\$ 25.412,37
5	61150,40	R\$ 0,62428	R\$ 38.174,79	R\$ 12.762,43
6	60722,35	R\$ 0,63864	R\$ 38.779,44	R\$ 51.541,87
7	60297,29	R\$ 0,65332	R\$ 39.393,67	R\$ 90.935,54
8	59875,21	R\$ 0,66835	R\$ 40.017,63	R\$ 130.953,17
9	59456,08	R\$ 0,68372	R\$ 40.651,47	R\$ 171.604,64
10	59039,89	R\$ 0,69945	R\$ 41.295,35	R\$ 212.899,98
11	58626,61	R\$ 0,71554	R\$ 41.949,42	R\$ 254.849,40
12	58216,23	R\$ 0,73199	R\$ 42.613,86	R\$ 297.463,26
13	57808,71	R\$ 0,74883	R\$ 43.288,82	R\$ 340.752,08
14	57404,05	R\$ 0,76605	R\$ 43.974,47	R\$ 384.726,56
15	57002,22	R\$ 0,78367	R\$ 44.670,98	R\$ 429.397,54
16	56603,21	R\$ 0,80170	R\$ 45.378,53	R\$ 474.776,07
17	56206,98	R\$ 0,82013	R\$ 46.097,28	R\$ 520.873,35
18	55813,54	R\$ 0,83900	R\$ 46.827,41	R\$ 567.700,76
19	55422,84	R\$ 0,85829	R\$ 47.569,11	R\$ 615.269,87
20	55034,88	R\$ 0,87804	R\$ 48.322,56	R\$ 663.592,43
21	54649,64	R\$ 0,89823	R\$ 49.087,94	R\$ 712.680,37
22	54267,09	R\$ 0,91889	R\$ 49.865,44	R\$ 762.545,82
23	53887,22	R\$ 0,94002	R\$ 50.655,26	R\$ 813.201,08
24	53510,01	R\$ 0,96164	R\$ 51.457,59	R\$ 864.658,67
25	53135,44	R\$ 0,98376	R\$ 52.272,63	R\$ 916.931,30

Fonte: dados da pesquisa

O investimento inicial seria em torno de R\$ 172.251,40, o que acabou ficando próximo da escola EEB Jordão Bernardo da Rosa devido a ambos os sistemas serem similares. Apesar disso, a escola EEB Castro Alves apresenta um consumo menor que as outras. O retorno de investimento irá acontecer com aproximadamente 4 anos e ao fim da vida útil o lucro será de R\$ 919.931,30, podendo sofrer alterações em caso de possíveis acidentes com o sistema final. Assim, como as outras unidades avaliadas, o investimento também é atrativo, tendo em vista que o sistema fará com que não seja gasto com energia por aproximadamente 21 anos.

Em todos os casos o retorno financeiro irá acontecer em menos de 7 anos, e ao fim da vida útil os sistemas estarão gerando um lucro maior que o investimento inicial. Um ponto a ser levado em conta é a necessidade da troca dos inversores, pois segundo Freddy *et al.* (2014) a média de vida útil é de 10 anos.

Para os cálculos de retorno de investimento não foram consideradas as trocas de inversores, tendo em vista que para a base do preço foi utilizado o valor médio de um kit fotovoltaico por watt instalado, logo não foi utilizado o valor solo de um inversor a fim de se calcular esta diferença na hora de realizar a troca dele. Porém, mesmo com esta troca, os valores ainda se tornam atrativos e o lucro ainda irá acontecer, mesmo que isso atrase um pouco se comparado aos dados apresentados neste trabalho.

A diferença nos resultados se deu por diferenças presentes em cada escola, como a quantidade de alunos matriculados, área total ocupada pelo prédio e em quais turnos elas operam. Esses dados podem ser observados na tabela 9.

Tabela 9 - Características das escolas

Escola	Quantidade de alunos	Área total (m ²)	Turno de operação
EEB. Prof Maria Garcia Pessi	1602	9088,22	Matutino/Vespertino /Noturno
EEB. Jordão Bernardo da Rosa	238	4133,81	Matutino/Vespertino
EEB. Castro Alves	791	9961,19	Matutino/Vespertino

Fonte - Dados da pesquisa

Através dos dados apresentados é possível perceber que a escola EEB. Prof Maria Garcia Pessi apresenta uma quantidade elevada de alunos matriculados se comparada com as outras, além de ser a única do estudo a trabalhar em três turnos, o que torna perceptível o seu maior consumo já que a noite se é necessário a utilização de iluminação artificial enquanto durante o dia se pode optar pela natural, diminuindo os gastos ao fim do mês.

A escola EEB. Jordão Bernardo da Rosa apresenta os menores dados se comparada com as outras duas, e apesar disso ela possui um consumo maior que a

EEB. Castro Alves, isto pode estar relacionado com a quantidade total de aparelhos que a escola possui, como equipamentos de refrigeração, freezers, ventiladores, gerando um alto consumo de energia mensal. Outro ponto que pode estar ocorrendo é a má utilização dos recursos elétricos disponíveis na escola, tanto pelos alunos quanto pelos servidores, o que acaba resultando em consumos elevados se comparados com outras escolas de porte parecido, conforme apresentado na figura 6 apresentada na metodologia.

Todos os pontos que foram apresentados geram um impacto significativo no resultado mensal de consumo, conforme foi possível observar durante o presente trabalho, fazendo assim com que os dimensionamentos se tornem diferentes e únicos para cada caso. A partir disso é perceptível que as características que levam ao impacto final vão além do consumo final, elas podem variar desde hábitos de consumo a tamanho do local e sua quantidade de equipamentos, podendo esses fatores gerarem consumos muito além do esperado.

Por fim analisando o conjunto completo dos resultados, é possível perceber a viabilidade para a instalação e utilização do sistema para geração de energia através de uma fonte renovável e sustentável, podendo servir além de fonte de energia como área de estudos para os alunos, apresentando-se como uma alternativa para um planeta sustentável e eficiente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos em escolas públicas na cidade de Araranguá-SC, a partir dos dados de consumo e do estudo das áreas via imagem de satélite.

Os resultados encontrados se mostraram satisfatórios com os esperados com a pesquisa, tendo em vista o crescimento do uso de energias renováveis pela sociedade, e que conforme apresentado, são viáveis para edifícios públicos e podem trazer não só benefícios ecológicos como também financeiros, já que todos os sistemas abordados apresentaram um retorno de investimento em menos de 7 anos.

Embora os custos iniciais ainda sejam elevados para implementação dos projetos, todas as escolas apresentaram capacidade para suportarem tal e ainda conseguirem usufruir do mesmo, além de poderem ser utilizados como forma de incentivo não só para regiões vizinhas como para os próprios alunos em sala de aula como forma de visualizarem e entenderem melhor sobre energias renováveis e os impactos que elas podem causar na sociedade. Com isso, o estímulo e a alocação de recursos para empreendimentos dessa magnitude em instalações públicas devem tornar-se cada vez mais rotineiros, já que os benefícios são notáveis quando contrastados com os gastos destinados à implementação dos projetos.

Por fim analisando os resultados obtidos é possível perceber serem satisfatórios quando comparados aos estudos apresentados na revisão bibliográfica, tendo em vista apresentarem um retorno de investimento entre 5 a 13 anos para os casos apresentados, enquanto as escolas ficaram com um tempo de retorno entre 7 e 4 anos, chegando até mesmo a ser inferior aos encontrados na literatura. Esse resultado devido ao avanço da tecnologia e conseqüentemente sua diminuição de custos, podendo tornar cada vez mais rápido esse retorno com o avanço dos anos. Outro ponto importante nessa análise foi a utilização de um aumento fixo na tarifa de energia e baixo quando comparado com os utilizados em outros estudos, o que poderia tornar ainda melhor o retorno final dos projetos e maior seu lucro ao fim de sua vida útil.

Com relação ao espaço físico e as características do sistema, elas se apresentaram coerentes com o esperado e discutido por outros autores, apresentando

nas três escolas espaço suficiente para instalação, sendo possível até mesmo utilizar outra área fora da estipulada no trabalho.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Análise estrutural dos prédios a fim de ver se os mesmos possuem estruturas para suportarem os sistemas em seus telhados.
- Levantamento das leis de incentivo fiscal para sistemas fotovoltaicos em edifícios públicos.
- Coleta de dados da comunidade escolar (pais, alunos, funcionários, comunidade local) sobre a aceitação para este tipo de investimento.
- Investigação do impacto da substituição dos inversores durante a vida útil dos sistemas.

REFERÊNCIAS

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 15 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). (2021, 14 de abril). **Energia solar corresponde a 11,6% da matriz energética brasileira, segundo ABSOLAR**. Brasil 61. Disponível em: <https://brasil61.com/n/energia-solar-corresponde-a-11-6-da-matriz-energetica-brasileira-segundo-absolar-pind233877#:~:text=Segundo%20a%20Associa%C3%A7%C3%A3o%20a%20energia,telhados%20fachadas%20e%20pequenos%20terrenos>. Acesso em: 03 set. 2023

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). (d.d.). **Entenda como funciona a energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 03 set. 2023

BELÉM, Thálisson Câmara; BRITO, Brunno Henrique; ALMEIDA, Márcio Serafim de; BITTENCOURT, Felipe Tozzi. **Análise da produção de 24 meses de um sistema fotovoltaico conectado à rede no estado do tocantins**. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/59/59>. Acesso em: 20 out. 2023.

Blair, N.; Dobos, A.; Freeman, J.; Neises, T.; Wagner, M.; Ferguson, T.; Gilman, P.; Janzou, S. (2014). System Advisor Model, SAM 2014.1.14: General Description. NREL/TP-6A20-61019. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO. Disponível em: www.nrel.gov/docs/fy14osti/61019.pdf. Acesso em: 03 out. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Brasil ultrapassa marca de 10 GW em micro e minigeração distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-ultrapassa-marca-de-10-gw-em-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 28 ago. 2023.

CELESC. **ANEEL anuncia reajuste tarifário da Celesc abaixo da inflação com impacto médio de 2,3%**. 2023. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/listagem-noticias/aneel-anuncia-reajuste-tarifario-da-celesc-abaixo-da-inflacao-com-impacto-medio-de-2-3#:~:text=A%20Ag%C3%A7%C3%A3o%20Nacional%20de%20Energia,%C3%A9%20de%203%2C99%25>. Acesso em: 15 out. 2023.

DIAS, Bruna Guedeihen Cattani; OLIVEIRA, David da Silva; PEREIRA, Herbert Alexandre Galdino; ALCANTARA, Hiago Marques Orneles; MESQUITA, Lucas Henrique de; WAGNER, Marcel Stefan. **Dimensionamento de Sistema Solar Off-Grid com Monitoramento de Energia para Área Rural**. s.d. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, s.d. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/31486/1/Dimensionamento%20de%20Sistema%20Solar%20Off-Grid%20com%20Monitoramento%20de%20Energia%20para%20%20c3%81rea%20Rural.pdf>. Acesso em: 22 set. 2023.

FREDDY, Chan *et al.* Determinación de la vida útil de un Inversor para aplicaciones fotovoltaicas. **Estimation of Mean time between failures (MTBF) of a power inverter for Photovoltaic Applications.(January)**, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/15695734/Determinaci%C3%B3n_de_la_vida_%C3%BAtil_de_un_Inversor_para_aplicaciones_fotovoltaicas_Estimation_of_Mean_time_between_failures_MTBF_of_a_power_inverter_for_Photovoltaic_Applications. Acesso em: 21 Out. 2023

FURTADO, Cleiton Galvão de Mesquita; MARCELO JÚNIOR, Audelis de Oliveira; RAMOS, RAMOS, Teomar Filho de Brito; DEUS, Enio Pontes de. Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de sistemas fotovoltaicos em prédios públicos de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 12, n. 1, jul. 2021. Disponível em: <https://rbens.org.br/rbens/article/view/340/253>. Acesso em: 22 ago. 2023.

GAVIOLI, Amanda Maria; FREDERICO, Maristela; PEREIRA, Victor Hugo; ALBAREDA, Alexandra. Viabilidade financeira para implantação de painéis fotovoltaicos em um hospital público do município de Curitiba. **Brazilian Journal Of Development**. Curitiba, p. 9644-9660. 25 jan. 2021. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23741/19074https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19312/Silva_Talita_TCC_C%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 set. 2023.

GREENER. **Estudo Estratégico: Geração Distribuída – Fevereiro 2023 | Dados do 2º semestre 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-2-semester/>. Acesso em: 12 out. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. (s.d.). **Atlas solarimétrico do Brasil**. Disponível em: <https://atlassolar.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 03 set. 2023

LIMBERGER, Lorivo. **Normativas para implantação do sistema fotovoltaico e estudo de viabilidade econômica em residência e órgão público municipal**. 2022. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2022. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5961/2/Lorivo_Limberger_2022.pdf. Acesso em: 27 set. 2023

MACENA, Thiago Fonseca; VIEIRA, Rafael Lopes. **Estudo técnico e econômico para sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. 2020. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/6010/1/Thiago%20Fonseca%20Macena%20-%20Rafael%20Lopes%20Vieira.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

MENDONÇA, Pedro Marcelo de Moraes; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Avaliação técnica e econômica da geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em edifícios públicos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 525-539, 2021. Disponível em: <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.003.0043/2713>. Acesso em: 20. set. 2023

MORAES, Caio. Célula fotovoltaica: tudo o que você precisa saber. In: **Eletrônica de Potência**, [S.], 2020. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>. Acesso em: 22 ago. 2023.

MORAIS, Fabrício Higo Monturil de; SILVA, Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da; MORAES, Albermec Moura; BARBOSA, Fábio Rocha. Influência da irradiação solar na análise de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 4, p. 723 734, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/RcxGfZVFzQYfdNxxLGLc6Bp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 ago. 2023.

MOURA, Talita. **Minigeração fotovoltaica aplicada a prédios públicos como método de redução de gastos financeiros**. 2019. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19312/Silva_Talita_TCC_C%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 25 set. 2023.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 27 set. 2023.

OLIVEIRA, Joyce Ellen Santos de. **Análise de sistemas de energia fotovoltaica implantados em prédios públicos localizados no município de São Paulo**. 2021. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/2494/2/Joyce%20%c3%89llen%20Santos%20de%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 25 set. 2023.

OLIVEIRA, WEBERT PINHEIRO DE. ESTUDO DA VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS DE SÃO DOMINGOS DAS

DORES-MG. 2017. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/397>. Acesso em: 26 set. 2023.

PEREIRA, Priscila Martins Mateus de Oliveira; **Análise técnica da integração de sistemas fotovoltaicos conectados à rede nas edificações da fundação universidade federal de mato grosso do sul**. Campo Grande, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4213>. Acesso em: 28 ago. 2023

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014.

Portal Solar. (s.d.). **Como funciona a energia solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html#ancora1> Acesso em: 03 set. 2023

PRANDI, Jair. **Mapas de Araranguá - SC**. [2012]. Disponível em: <https://mapasblog.blogspot.com/2012/06/mapas-de-ararangua-sc.html>. Acesso em: 22 ago. 2023.

PRUDENCIO, Bruna Neves; RAMPINELLI, Giuliano Arns. **System advisor model dimensionamento de sistema fotovoltaico**. 2020. Disponível em: <https://energiasolarfotovoltaica.paginas.ufsc.br/files/2020/10/Tutorial-SAM-pdf-Final.pdf>. Acesso em: 08 out. 2023.

SANTOS, Clarice do Amaral; SOUSA, Tiago de Paula e. **Aplicações de sistemas fotovoltaicos on grid e off grid**. 2021. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Colatina, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1991/TCC_Aplica%c3%a7%c3%b5es_de_sistemas_fotovoltaicos_on-grid_e_off-grid.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 08 set. 2023.

Sistema de Informações Energéticas (Sie Brasil). (s.d.). **Capacidade Instalada de Geração Elétrica**. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/reporte-dato42-jerarquizado.aspx?oc=30181&or=30182&ss=2&v=1>. Acesso em: 03 set. 2023

Sma Solar Technology AG. (s.d.) **Performance Ratio**. Disponível em: <https://files.sma.de/downloads/Perfratio-TI-pt-11.pdf>. Acesso em: 08 out. 2023.

VILLALVA, Marcelo Gradelha. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

ZAULI, Guilherme Sales Meira. **O princípio constitucional da imunidade tributária recíproca e a jurisprudência do supremo tribunal federal: uma análise crítica e comparativa do recurso extraordinário 594.015/sp com a súmula vinculante 52/stf. Uma análise crítica e comparativa do Recurso Extraordinário 594.015/SP com a Súmula Vinculante 52/STF**. 2019. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/75818/o->

principio-constitucional-da-imunidade-tributaria-reciproca-e-a-jurisprudencia-do-supremo-tribunal-federal. Acesso em: 01 dez. 2023.

APÊNDICE A - ÁREA DISPONÍVEL PARA CADA ESCOLA



Figura A-1 - Área disponível para instalação EEB Jordão Bernardo da Rosa (Google Earth, 2023)

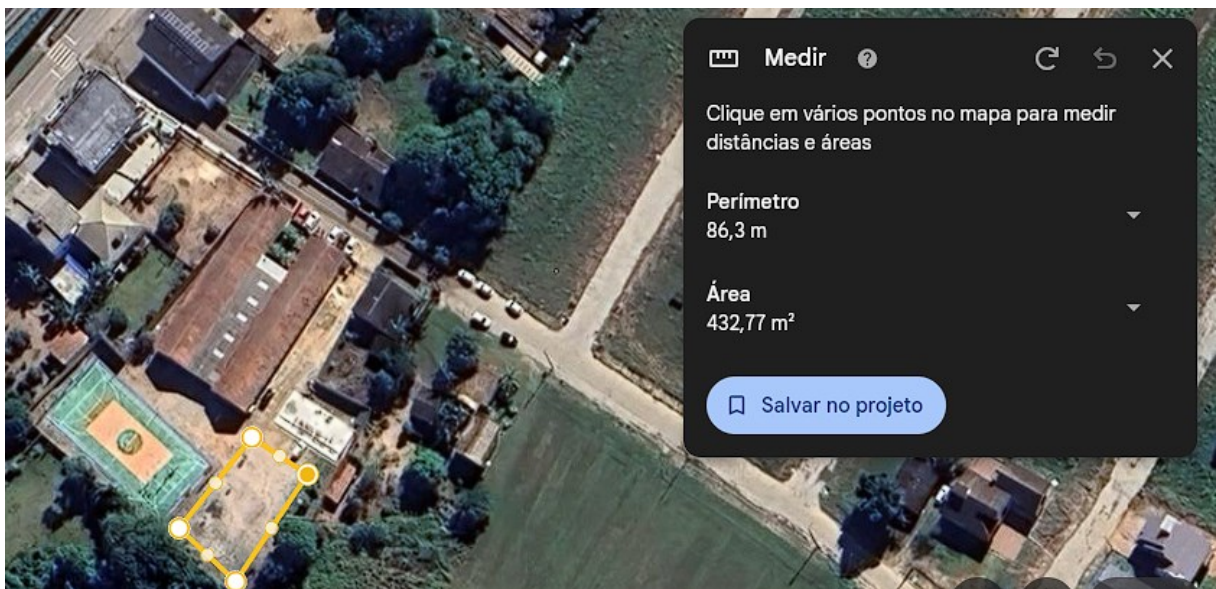


Figura A-2 - Área disponível para instalação EEB Jordão Bernardo da Rosa (Google Earth, 2023)



Figura A-3 - Área disponível para instalação EEB Maria Garcia Pessi (Google Earth, 2023)

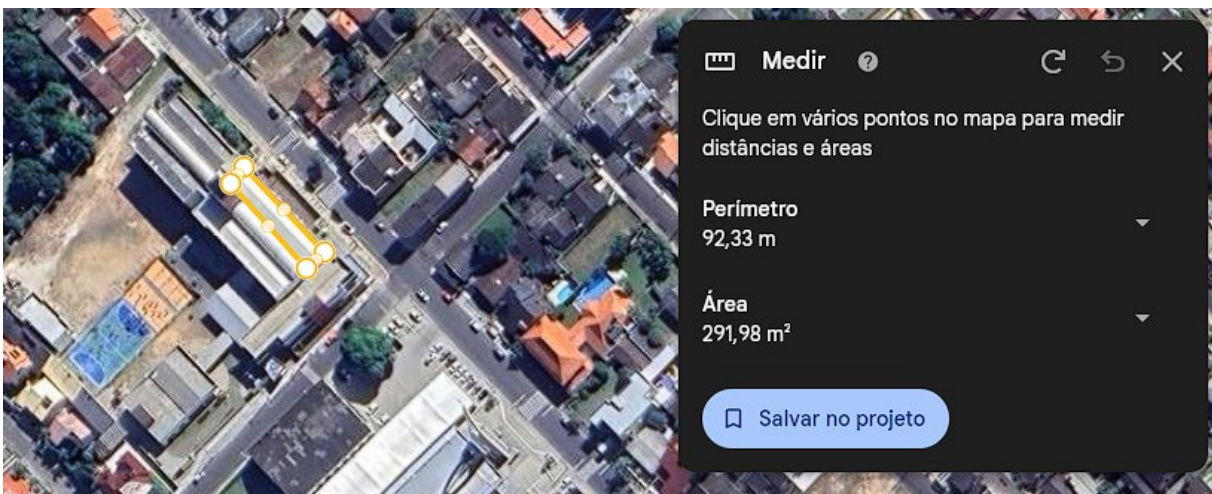


Figura A-4 - Área disponível para instalação EEB Maria Garcia Pessi (Google Earth, 2023)

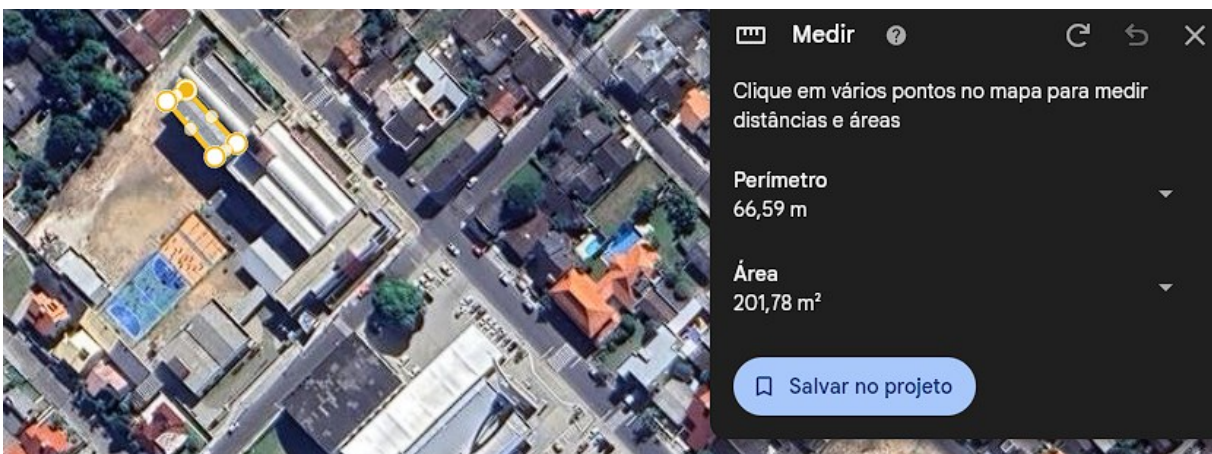


Figura A-5 - Área disponível para instalação EEB Maria Garcia Pessi (Google Earth, 2023)

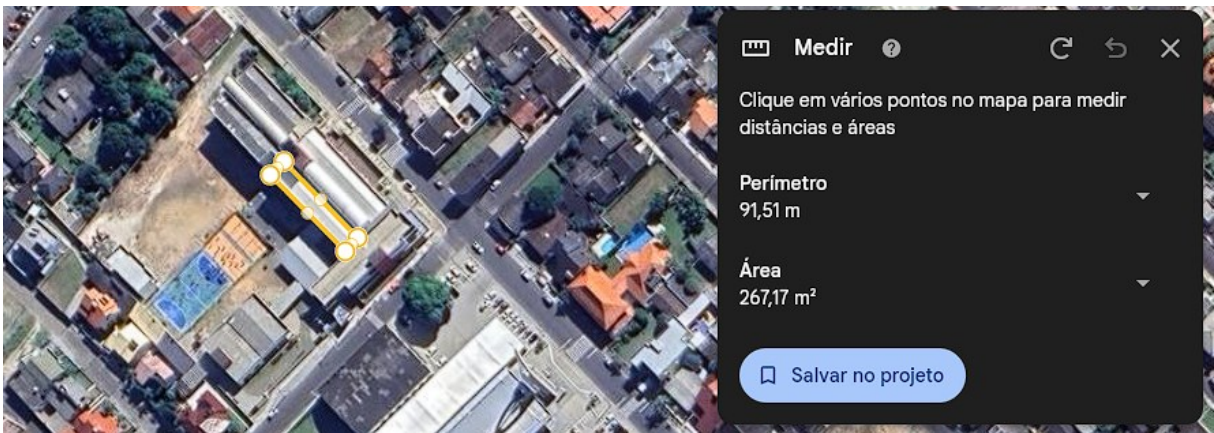


Figura A-6 - Área disponível para instalação EEB Maria Garcia Pessi (Google Earth, 2023)

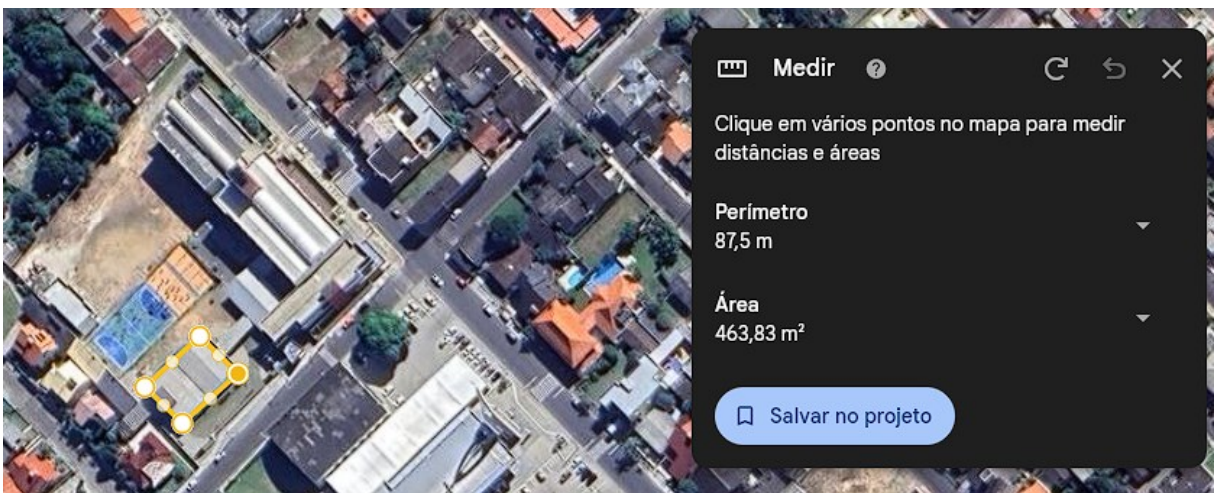


Figura A-7 - Área disponível para instalação EEB Maria Garcia Pessi (Google Earth, 2023)



Figura A-8 - Área disponível para instalação EEB Maria Garcia Pessi (Google Earth, 2023)

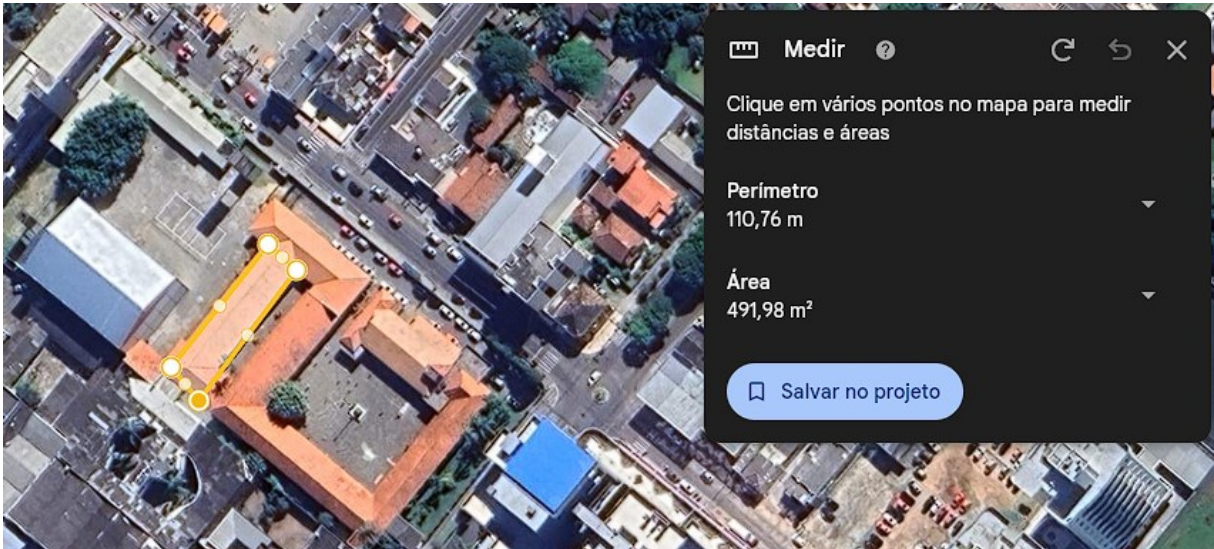


Figura A-9 - Área disponível para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)

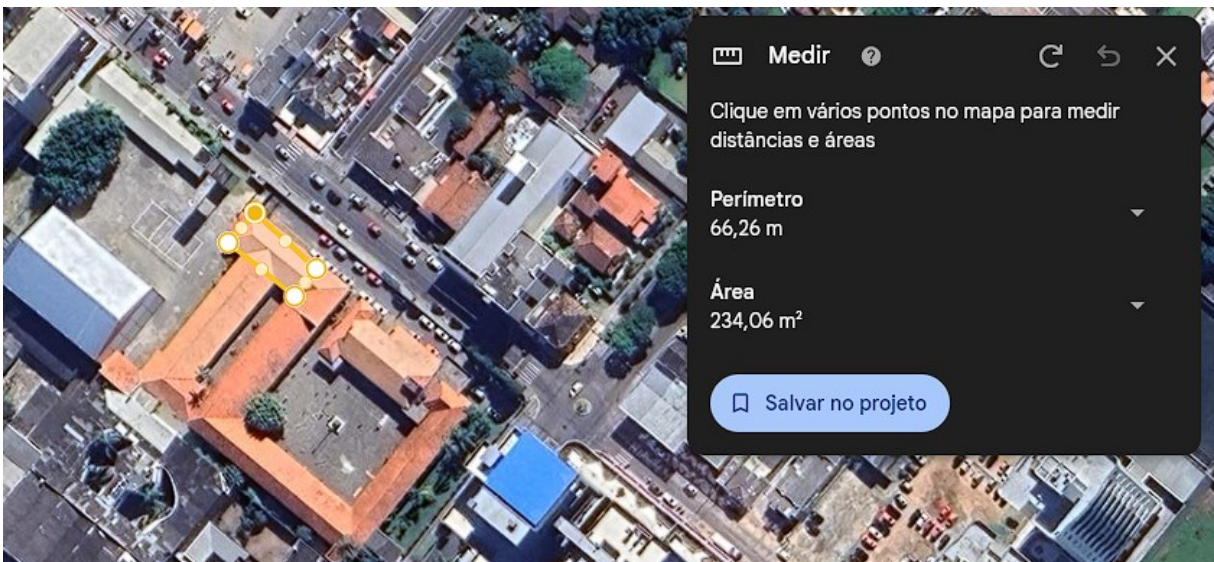


Figura A-10 - Área disponível para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)

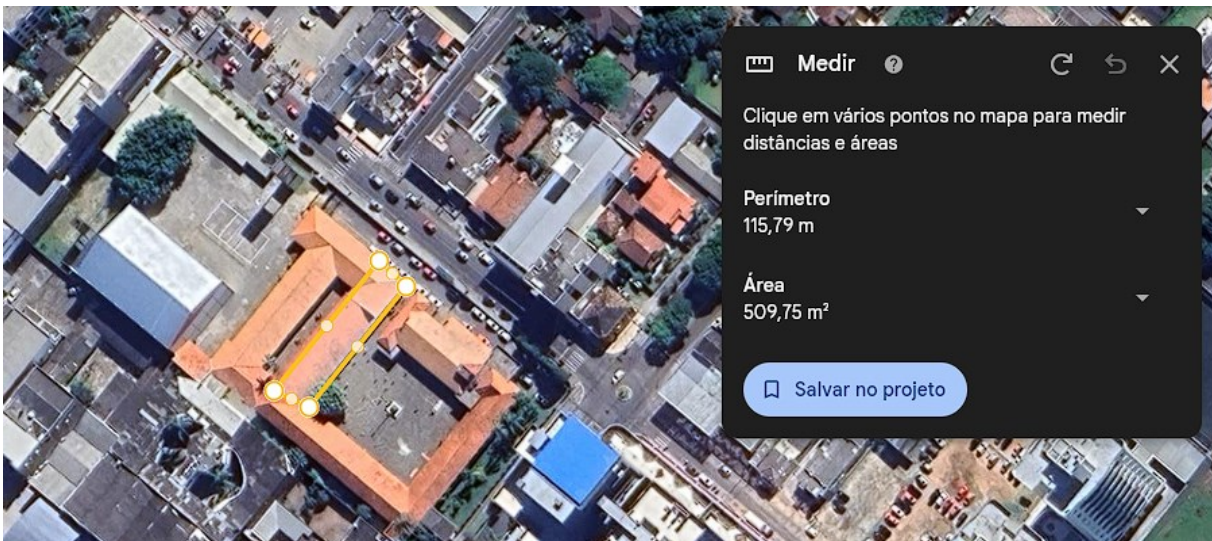


Figura A-11 - Área disponível para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)

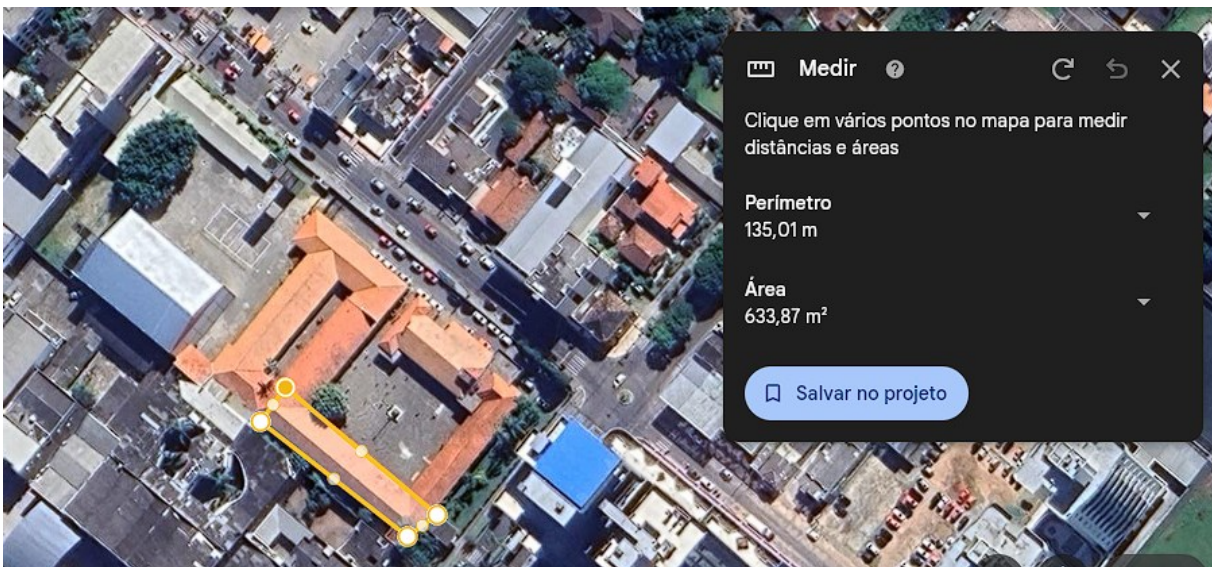


Figura A-12 - Área disponível para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)

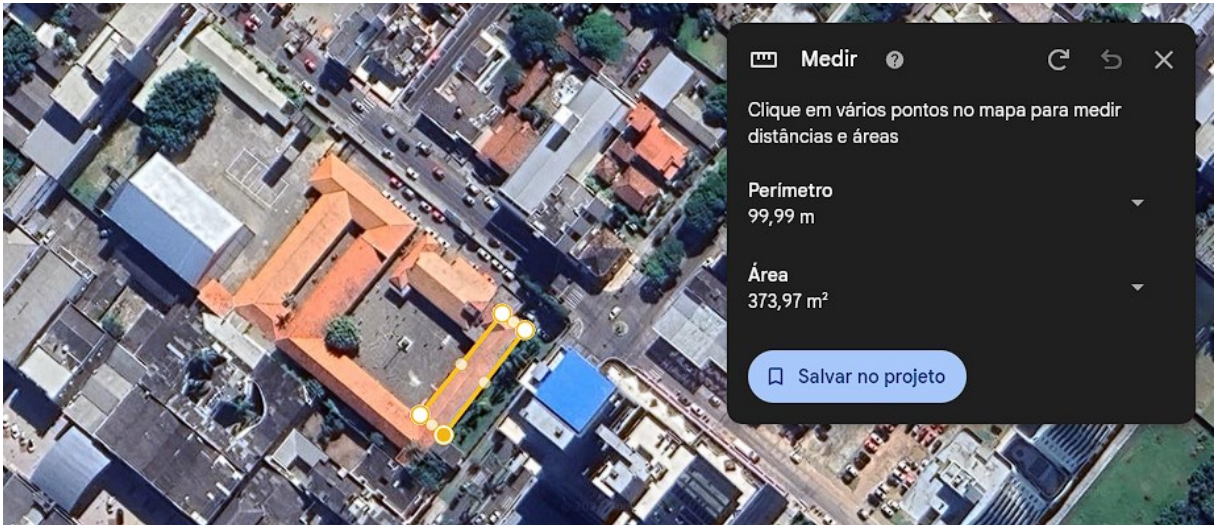


Figura A-13 - Área disponível para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)



Figura A-14 - Área disponível para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)

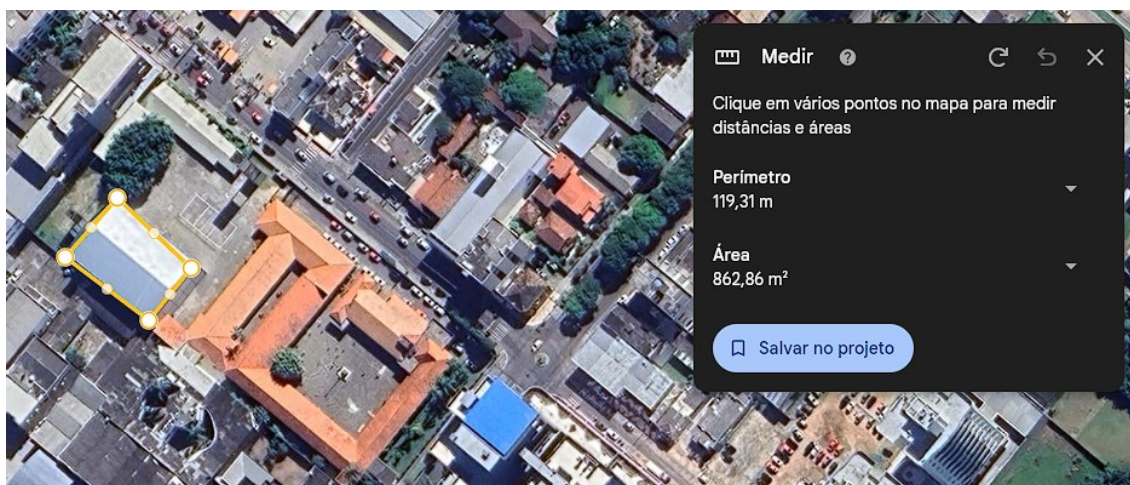


Figura A-15 - Área disponível para instalação EEB Castro Alves (Google Earth, 2023)