

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FERNANDO EDUARDO FEY

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO LAGO
MUNICIPAL DE NOVA SANTA ROSA - PR

CASCADEL/PR

2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FERNANDO EDUARDO FEY

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO LAGO
MUNICIPAL DE NOVA SANTA ROSA - PR

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Esp. Maycon Roberto Boeing.

CASCADEL/PR

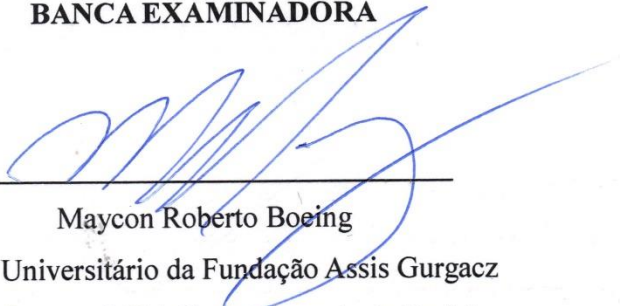
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FERNANDO EDUARDO FEY

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO LAGO
MUNICIPAL DE NOVA SANTA ROSA - PR

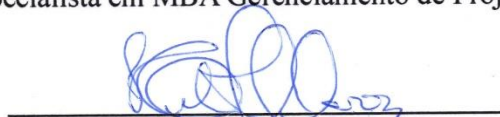
Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Professor Especialista Maycon Roberto Boeing.

BANCA EXAMINADORA



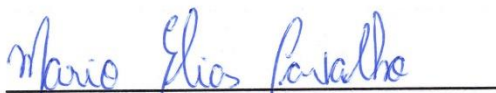
Maycon Roberto Boeing

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz
Especialista em MBA Gerenciamento de Projetos



Helder José Costa Carozzi

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz
Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura



Mario Elias Carvalho do Nascimento

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz
Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura

Cascavel, 09 de Dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela saúde e pela força de vontade de vencer os obstáculos que foram propostos durante a vida acadêmica. Agradeço de forma especial a minha família que não mediu esforços para que eu conseguisse concluir essa graduação, e sempre deu todo o suporte tanto emocional como também financeiro nessa jornada.

Ao meu orientador Maycon Roberto Boeing, pelo suporte no decorrer do TCC e também nas correções que foram necessárias para esse trabalho em questão.

A universidade, seu corpo docente e direção que me auxiliaram, e me ajudaram nesse período de graduação.

Agradeço em especial minha noiva Luiza Kramer que de forma especial e carinhosa me ajudou nesse tempo, dando apoio nos momentos difíceis.

E a todas as pessoas, de forma especial meus amigos que de alguma forma me ajudaram a concluir a tão sonhada Engenharia Elétrica.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de viabilidade de um sistema de iluminação com dois tipos de fonte de energia, sendo um deles o sistema da concessionária local e o outro, utilizando energia solar fotovoltaica. Para esse fim, escolheu-se o Lago Municipal de Nova Santa Rosa – PR que até o momento não possui nenhum tipo de iluminação. Foram levados em consideração os equipamentos e todo aparato necessário para a execução do projeto em questão, comparando o custo de ambos os projetos para verificar qual se apresenta mais rentável num período de 25 anos. Os dados de irradiação solar foram utilizados para o cálculo do sistema solar e para o dimensionamento do inversor solar. A partir disso, obtiveram-se dados estimados de produção do sistema em comparação com o consumo da iluminação. Por fim, foi calculado o tempo de retorno do investimento projetado.

Palavras-chave: *On-Grid*, Iluminação Pública, Viabilidade

ABSTRACT

The present work aims to present a feasibility study of a lighting system with two types of energy source, one of them being the local distribution system and the other one being a photovoltaic solar energy system. For this purpose, the Municipality of Nova Santa Rosa in the state of Paraná, which has no existing lighting system, was chosen to take into consideration all the equipment needed to carry out the project in question. The full cost of both projects has been analyzed and compared with solutions to see if it becomes more cost-effective in a period of 25 years. Solar irradiation data were used for solar system calculation and solar inverter sizing. From this we obtained estimated system production data compared to the lighting consumption. Finally, the project's return on investment was calculated.

Key words: On-grid, Public Lighting, Feasibility

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética Brasileira 2017	13
Figura 2 - Variação de radiação solar no Brasil.....	16
Figura 3 - Irradiação solar para cidade de Nova Santa Rosa.....	17
Figura 4 - Estrutura módulo fotovoltaico	18
Figura 5 – Silício Policristalino	19
Figura 6 - Silício Monocristalino.....	19
Figura 7 - Orientação dos painéis para o norte geográfico.....	20
Figura 8 - Inclinação dos painéis conforme latitude do local.....	21
Figura 9 - Inversor fotovoltaico.....	24
Figura 10 – <i>String-box</i> - Fusíveis de proteção.....	25
Figura 11 - Característica física e simbologia elétrica.....	26
Figura 12 - Curva característica intensidade luminosa x resistência.....	26
Figura 13 - Classificação das vias	30
Figura 14 - Entrada das coordenadas do programa Sundata	34
Figura 15 - Insolação solar no plano inclinado.....	34
Figura 16 - Padrão existente	35
Figura 17 - Lago municipal de Nova Santa Rosa.....	35
Figura 18 - Disposição da calçada.....	36
Figura 19 - Especificações importadas no Dialux	39
Figura 20 - Tela de operação do Dialux.....	39
Figura 21 – Linhas Isográficas	40
Figura 22 - Cenário das luminárias no local.....	41
Figura 23 - Estrutura solo em concreto	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Carga diária das lâmpadas	27
Tabela 2 - Classes de iluminação.....	31
Tabela 3 - Iluminação mínima necessária.....	36
Tabela 4 - Especificações técnicas do fabricante.....	38
Tabela 5 - Características técnicas painel Canadian 405W	43
Tabela 6 - Característica inversor Fronius	44
Tabela 7 - Custo sistema com fotovoltaico.....	47
Tabela 8 - Tarifa da iluminação pública.....	48
Tabela 9 - Reajuste médio anual.....	48
Tabela 10 - Custo da iluminação ao longo de 25 anos sem fotovoltaico.....	49
Tabela 11 - Fluxo de caixa - Sistema fotovoltaico.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdS	Sulfeto de Cádmio
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COB	<i>Chips onBoard</i> (Chip Integrada a placa)
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVA	<i>EthyleneVinylAcetate</i> (Acetato-vinilo etileno)
GWh	Gigawatt-hora
IES	<i>IlluminationEngeneeringSociety</i> (Sociedade de Engenharia de Iluminação)
IP	Índice de Proteção
kHz	Quilohertz
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i> (Resistor Variável)
LED	<i>Light EmittingDiode</i> (Diodo emissor de Luz)
Lx	Lux
m²	Metro Quadrado
MJ	Megajoules
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
NBR	Norma técnica
<i>On-Grid</i>	Sistema conectado à rede
<i>Off-Grid</i>	Sistema não conectado à rede
PRI	Prazo de Retorno de Investimento
R\$	Reais
TIR	Taxa Interna de Retorno
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido

W	Watt
Wh	Watt-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA	15
2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	16
2.2.1 Irradiância Solar	17
2.3 PLACAS FOTOVOLTAICAS.....	18
2.3.1 Silício Policristalino	18
2.3.2 Silício Monocristalino	19
2.4 INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS	20
2.4.1 Orientação.....	20
2.4.2 Angulação	20
2.5 LED – DIODO EMISSOR DE LUZ	21
2.6 ILUMINAÇÃO PÚBLICA	22
2.7 TARIFAS COPEL.....	22
2.7.1 – Tarifas Convencionais	22
2.7.2 – Tarifas Horárias	22
2.8 INVERSOR	23
2.8 FUSÍVEIS DE PROTEÇÃO	25
2.9 SENSORES FOTOELÉTRICOS (LDR).....	25
2.10 CÁLCULO DA DEMANDA E CONSUMO DA ILUMINAÇÃO	26
2.11 VIABILIDADE ECONÔMICO - FINANCEIRA.....	28
2.11.1 Valor Presente Líquido (VPL)	28
2.11.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	28
2.11.3 Fluxo de Caixa.....	28
2.11.4 Prazo de Retorno do Investimento (PRI).....	29
2.12 – ILUMINAÇÃO PÚBLICA (NBR 5101).....	29

2.13 – CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS.....	29
2.14 – ILUMINÂNCIA E FATOR DE UNIFORMIDADE	31
2.15 – CÁLCULO DO GERADOR FOTOVOLTAICO	32
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE ILUMINAÇÃO E CONEXÃO.....	33
3.2 IRRADIAÇÃO SOLAR NO MUNICÍPIO DE NOVA SANTA ROSA – PR.....	33
3.3 – LOCAL DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA.....	34
3.4 – DIMENSIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO – <i>DIALUX</i>	36
3.5 – CÁLCULO CONSUMO MENSAL/ANUAL	41
3.5 – DIMENSIONAMENTO GERADOR FOTOVOLTAICO	42
3.6 – PAINÉIS SOLARES	42
3.7 – INVERSOR SOLAR	43
3.8 – AUTOTRANSFORMADOR.....	45
3.9 – ESTRUTURA SOLO	45
4 RESULTADOS.....	47
4.1 – VALOR DO SISTEMA CONECTADO À REDE COPEL COM SISTEMA FOTOVOLTAICO	47
4.2 – CUSTO DO SISTEMA CONECTADO À COPEL SEM FOTOVOLTAICO AO LONGO DE 25 ANOS	48
4.3 – CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AO LONGO DE 25 ANOS.....	50
4.4 – COMPARATIVO DE AMBAS AS PROPOSTAS	52
5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

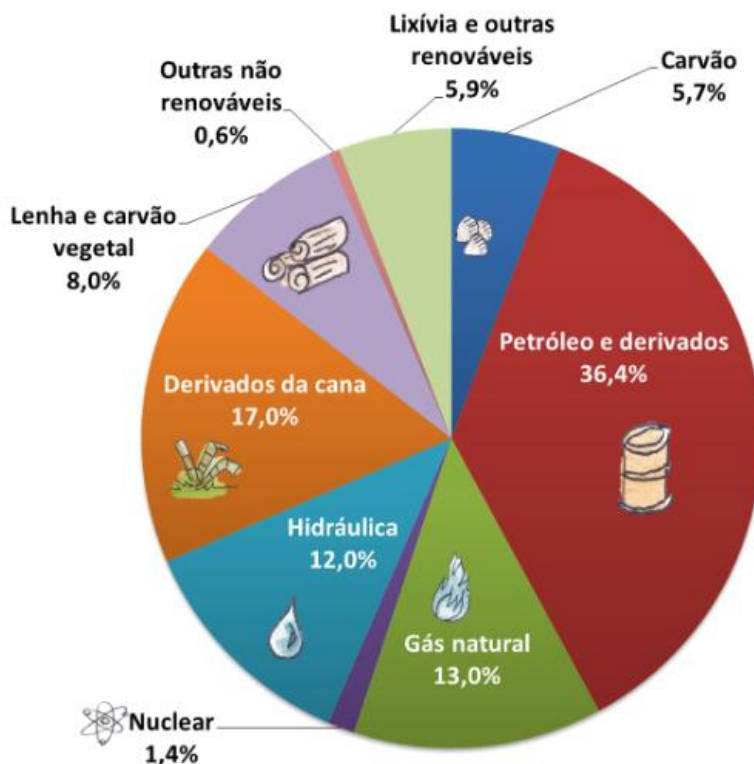
1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública é um setor muito importante para qualidade de vida e também segurança das pessoas. Cada vez mais o poder público preocupa-se com esse quesito, pois o consumo de energia referente à iluminação pública corresponde a praticamente 3,0% do consumo total de energia do país, o que representa 9,7 bilhões de kWh/ano. Por isso, precisa-se pensar em soluções energéticas eficientes (SCHULZ, 2016).

A demanda por energia elétrica é crescente em todo Brasil. Segundo dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), o consumo de energia elétrica nacional teve um aumento de 23% em 10 anos, principalmente na área urbana, com consumo de 94746 GWh em 2008, aumentando para 136022 GWh, totalizando 43% de aumento (EPE, 2017).

A matriz energética brasileira é bem diferenciada em relação ao mundo; enquanto na matriz energética mundial 14% da energia é proveniente de fontes renováveis, no Brasil esse dado totaliza 43%, quase metade da nossa matriz energética. No Brasil, a principal fonte de energia renovável é a energia hidroelétrica, conforme Figura 1 (LORENZO, 2002).

Figura 1 - Matriz energética Brasileira 2017



Fonte: BEN (2017)

Visto que o consumo de energia tende a crescer a cada dia, a proposta vem ao encontro com a matriz energética, diminuindo cada vez mais a utilização dos combustíveis fósseis (limitados), optando por fontes de energia limpa e renovável como a energia solar, uma solução financeiramente viável e totalmente sustentável, uma vez que utiliza apenas a energia dos raios solares para produzir energia.

O conceito é importante para o setor público/privado visando economia, mas com a devida importância dada à sustentabilidade, justificando esse trabalho como um projeto que visa eficiência.

O trabalho analisou o Lago Municipal de Nova Santa Rosa – PR, o qual no momento não possui nenhum tipo de iluminação. O Lago Municipal é importante para a população local, que o utiliza para momentos de lazer em dias da semana, e também nos finais de semana, tornando-o um ponto turístico para a cidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

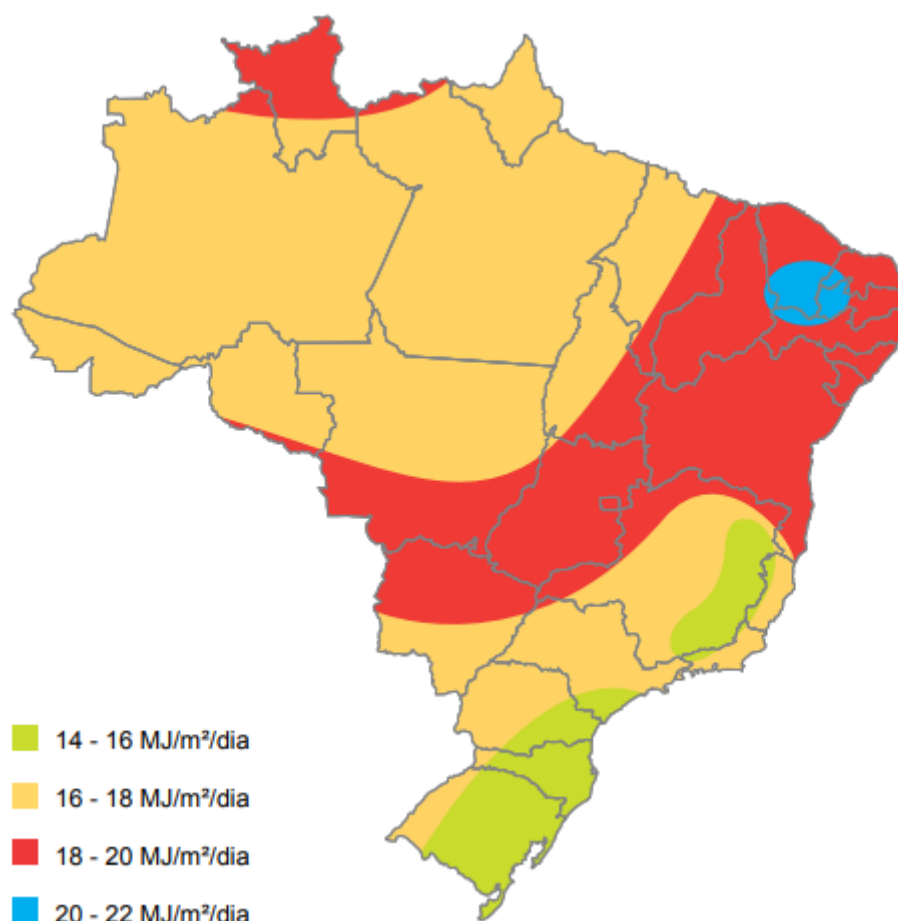
A história da Energia Elétrica no Brasil começa praticamente na transição do século XIX para o século XX, com a Revolução Industrial, que alavancou o setor industrial, ocorrendo o fim da manufatura e o início das grandes indústrias. Inicialmente pequenas empresas privadas gerenciavam todo o processo, porém, com a chegada das indústrias, o consumo de energia elétrica aumentou e concessionárias estrangeiras entraram no mercado de energia, possibilitando diversas modalidades de consumo, como as áreas urbanas, as indústrias e também áreas rurais próximas às fontes geradoras (LORENZO, 2002).

Apesar da matriz de energia do Brasil ser predominantemente hidroelétrica, o país é privilegiado no que se refere à radiação solar. Segundo dados do Atlas Solarimétrico do Brasil, a radiação varia de 8 a 22MJ (megajoules) por metro quadrado durante o período diurno, considerando os meses de maior incidência solar; porém, nos piores meses, entre maio e julho, essa radiação fica entre 8 a 18 MJ/m². À título de comparação, a região Nordeste possui uma radiação semelhante às melhores regiões do mundo, como Dongola, no deserto do Sudão (ANEEL, 2008).

Nos dias atuais, a Energia Solar tem sido vista como uma tecnologia muito promissora, mas boa parte dos sistemas solares brasileiros são sistemas isolados e remotos (que possuem difícil acesso), totalizando aproximadamente 20MW de potência instalada. Do ponto de vista de eficiência, o Brasil tem níveis de insolação bem altos e reservas de quartzo de muita qualidade, conseguindo assim produzir silício com alto grau de pureza. Esses fatores atraem investidores e auxiliam no desenvolvimento do mercado interno, representando grande importância na matriz energética (EPE, 2012).

Na Figura 2, observa-se a variação da radiação solar nas diferentes regiões do país, variando de 14 MJ, na pior região, podendo chegar a algumas regiões até 22MJ, considerando a melhor época do ano.

Figura 2 - Variação de radiação solar no Brasil



Fonte: EPE, 2007.

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Hoje uma grande alternativa à geração de energia elétrica é a Solar, pois se trata de uma fonte inesgotável, tanto de luz como também de calor. Segundo Pinho e Galdino (2014, p.47), “[...] deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol.”

A energia solar é produzida com base numa conversão, que é a incidência direta da luz sobre o painel; a célula fotovoltaica, dispositivo responsável por esse processo, é fabricada com material semicondutor. Ao invés de o sol incidir apenas calor sobre as células, ele emite também ondas eletromagnéticas que são capazes de originar correntes e tensões elétricas com a

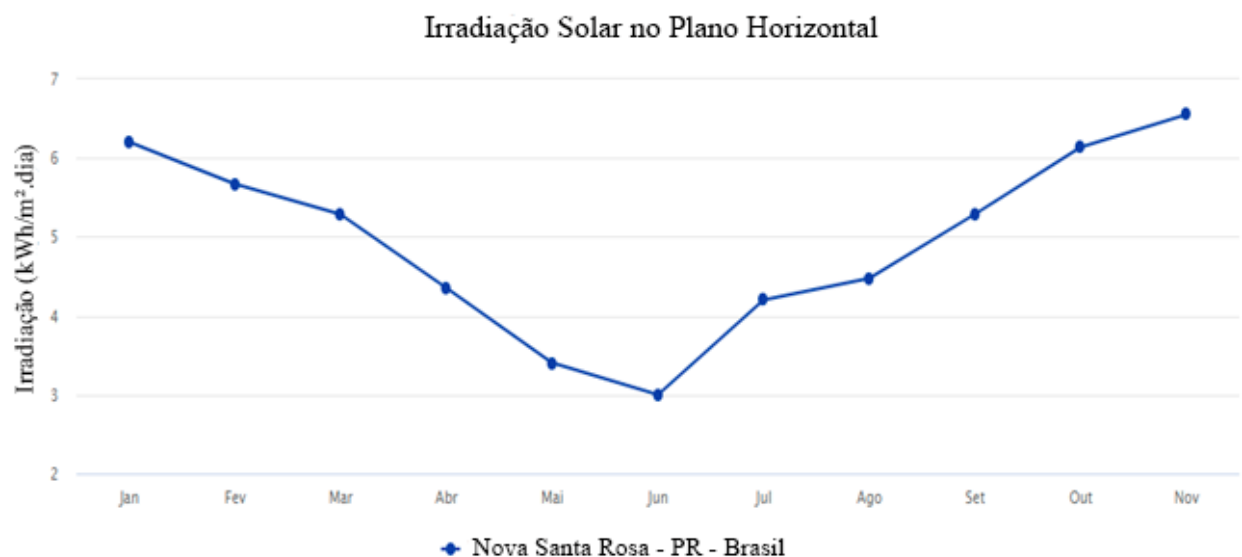
movimentação dos elétrons. Basicamente são células fotovoltaicas ligadas eletricamente e agrupadas de tal forma a produzir energia elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.1 Irradiância Solar

A irradiância, também conhecida como irradiação, expressa em W/m^2 (watt por metro quadrado) é uma grandeza utilizada para quantificar a radiação solar, uma unidade de potência por área. Essa medida é muito utilizada para estimar a eficiência dos dispositivos relacionados ao sistema solar (VILLALVA; GAZOLLI, 2012).

A Figura 3 mostra a irradiação solar diária mensal em $[\text{kWh/m}^2.\text{dia}]$, podendo chegar muito próximo a $7 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ nos meses de Dezembro e Janeiro, nos quais há maior Irradiação. Esta unidade física de energia, ao ser dividida por metro quadrado, fornece a densidade de energia que incide sobre a cidade de Nova Santa Rosa, por área (CRESESB, 2019).

Figura 3 - Irradiação solar para cidade de Nova Santa Rosa

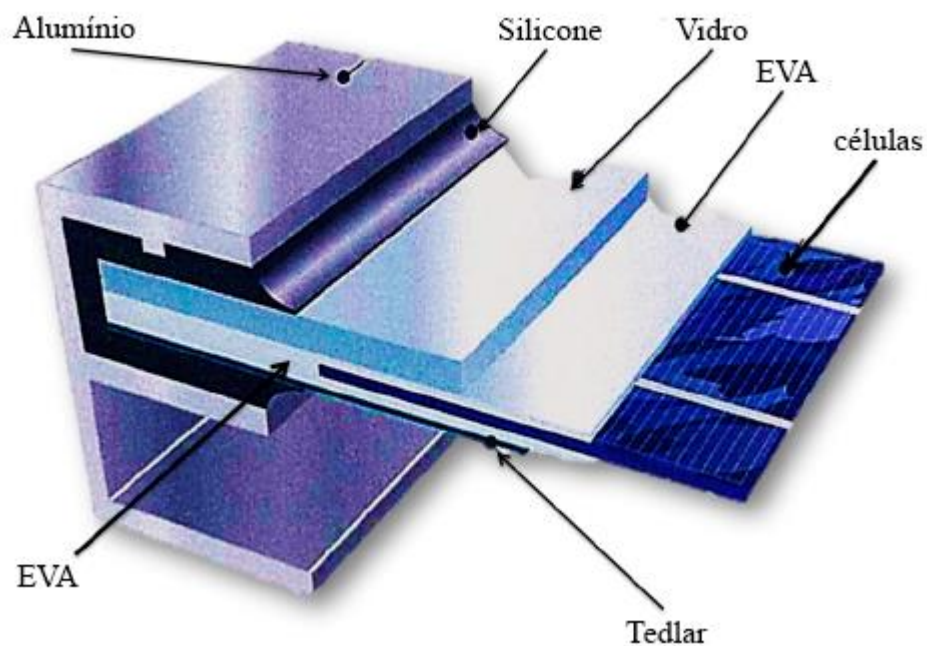


Fonte: Cresesb (2019)

2.3 PLACAS FOTOVOLTAICAS

Quando a luz incide sobre uma célula composta por silício, um material semicondutor, ocorre a produção de energia elétrica, fenômeno conhecido também como efeito fotovoltaico (VILLALVA, GAZOLI, 2012). Atualmente há dois tipos de células comerciais que são constituídas de cristais monocristalinos e policristalinos. Como pode ser visto na Figura quatro, um módulo fotovoltaico é composto por diversas camadas.

Figura 4 - Estrutura módulo fotovoltaico

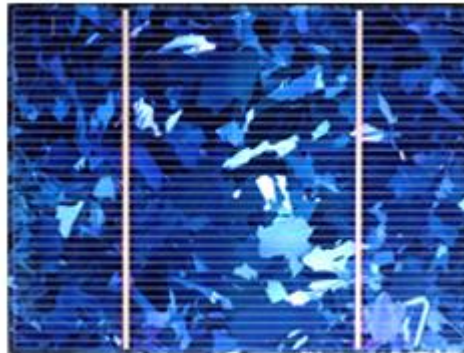


Fonte: Bluesol (2016)

2.3.1 Silício Policristalino

O silício policristalino tem um custo de produção menor em relação ao monocristalino, devido ao processo de fabricação (preparação) ser mais simplificado e ter matéria-prima em abundância. Porém, esse fator implica menos eficiência em relação ao outro material (CRESESB/CEPEL, 2006). Abaixo tem-se um exemplo de uma célula composta por silício policristalino.

Figura 5 – Silício Policristalino



Policristalino

Fonte: Pt Energia Solar (2016)

2.3.2 Silício Monocristalino

Historicamente, células de silício monocristalino são as mais utilizadas em diversos equipamentos relacionados à energia solar que, nesse caso, são responsáveis pela conversão dos raios solares em energia elétrica. Para ser utilizada em sistemas solares, a célula precisa um material semicondutor e, para tanto, o silício é adequado por ter um alto grau de pureza, que pode chegar a 99,99%. Dentre as células já existentes, as que utilizam o silício monocristalino são consideradas de maior eficiência. Utilizadas em placas solares podem atingir uma eficiência de 18% num cenário laboratorial (CRESESB/CEPEL, 2006).

Na figura seis, um exemplo de uma célula de silício monocristalino.

Figura 6 - Silício Monocristalino



Monocristalino

Fonte: Pt Energia Solar (2016)

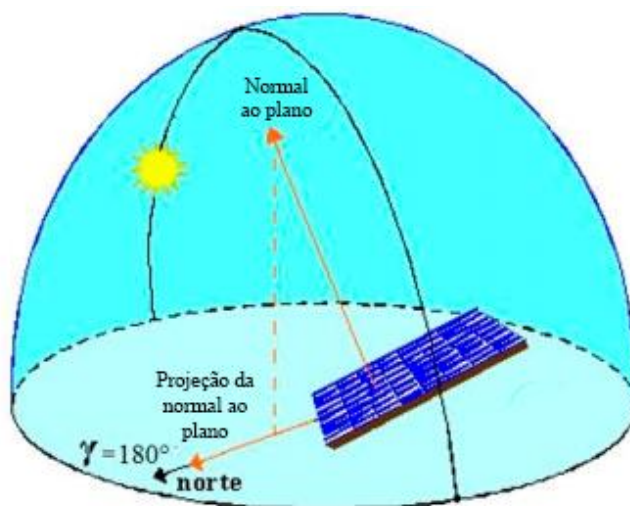
2.4 INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS

Para se obter uma alta eficiência do sistema, duas condições devem ser analisadas:

2.4.1 Orientação

O sol varia durante o dia e o ano, incidindo os raios sobre a superfície terrestre, dependendo de sua posição, que é determinada pelos ângulos azimutais, zenitais e pela altura do solo. Em geral, a melhor orientação para se obter uma melhor eficiência deve ser na direção da linha do equador. Em instalações localizadas no hemisfério Sul, a parte frontal da placa deve ser orientada para o Norte Geográfico como pode ser observado na figura abaixo. Se a instalação estiver no hemisfério Norte, as placas devem ser orientadas para o Sul Geográfico (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 7 - Orientação dos painéis para o norte geográfico



Fonte: Manual de Engenharia Sistemas Fotovoltaicos (2014)

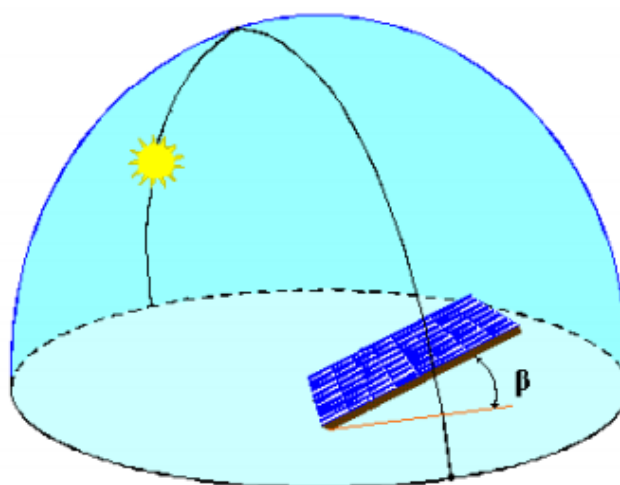
2.4.2 Angulação

A angulação dos painéis é outro fator importante na produção de energia do sistema solar. O ângulo de inclinação deve estar relacionado à latitude da região em que o sistema será instalado, podendo variar em torno de 10° para que tenha uma ótima eficiência. Uma região

que, por exemplo, tenha 30° de latitude, as placas poderão variar sua inclinação de 20° até 40°. Próximo à linha do equador, quando esse ângulo deveria ser muito próximo de 0°, utiliza-se um ângulo de pelo menos de 10° para auxiliar na limpeza do painel com a água da chuva (PINHO; GALDINO, 2014).

Na figura oito, pode-se ver o ângulo de inclinação dos painéis solares.

Figura 8 - Inclinação dos painéis conforme latitude do local



Fonte: Manual de Engenharia Sistemas Fotovoltaicos (2014)

2.5LED – DIODO EMISSOR DE LUZ

O Diodo Emissor de Luz, mais conhecido como LED, é um dispositivo semicondutor que emite luz com um comprimento de onda, quando polarizado na posição direta; a partir do momento em que seus polos são trocados ele para de funcionar ou perde suas características fundamentais de funcionamento. Em relação a outros tipos de dispositivos de iluminação, o LED possui diversas vantagens, dentre elas: (SILVA, 2012).

Vantagens:

- Possui longa durabilidade;
- Grande eficiência luminosa;
- Vasta quantidade de cores;
- Dimensões reduzidas;
- Resistência a vibrações e choques;
- Luz direcionada;

- Não possui radiação ultravioleta na faixa de luz;
- Baixo consumo de energia;
- Partida rápida.

Uma desvantagem que o LED possui em relação aos diversos produtos existentes no mercado, é o custo de produção desse material, e algumas delas ainda não possuem as devidas certificações dos órgãos competentes (INMETRO).

2.6 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A iluminação pública tem como característica principal fornecer luz ou claridade artificial nas ruas e praças públicas no período da noite, e também em momentos em que acontecem interferências climáticas que ocasionam ausência de luz natural (NBR 5101, 2012).

2.7 TARIFAS COPEL

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a grandeza utilizada para quantificar energia elétrica é o quilowatt-hora (kWh), sendo atribuído a ela o valor em real (R\$). Há duas modalidades possíveis de cobrança: as tarifas horárias e as convencionais (ANEEL, 2016).

2.7.1 – Tarifas Convencionais

Esse tipo de tarifa não possui distinção de horários, ou seja, tem uma única tarifa para todo o período do dia, considerando o seguinte:

- I – No grupo A, forma binômia que é composta por uma única tarifa referente à demanda em (R\$/kW) e outra tarifa referente ao consumo em (R\$/MWh);
- II – No grupo B, forma monômia que é uma única tarifa aplicada para todo e qualquer horário do dia sem diferenciação, também calculada em (R\$/MWh) (ANEEL, 2012).

2.7.2 – Tarifas Horárias

Separadas por três tipos de tarifas, sendo elas Tarifa Branca, Tarifa Verde e Tarifa Azul.

I – Tarifa Azul – Possui a demanda referente ao horário de ponta (18h00min às 20h59min) e fora de ponta (21h00min às 17h59min) noturno, ambas tarifadas em (R\$/kW), mas com valores distintos. Já as tarifas referentes ao consumo (MWh) têm um posto tarifário de ponta período úmido, tarifa de ponta em período seco, tarifa fora de ponta período úmido e tarifa fora de ponta período seco, todas calculadas em (R\$/MWh).

II – Tarifa Verde – Tem apenas um valor para demanda para todo o dia expresso em (R\$/kW), e para o consumo tem-se novamente consumo de ponta (úmido e seco), e fora de ponta (úmido e seco), ambos expressos em (R\$/MWh).

III – Tarifa Branca – Aplicada a unidades consumidoras que participam do grupo B, contudo o subgrupo B4, e classes de baixa renda do subgrupo B1, têm uma tarifação diferenciada, levando em consideração as horas de utilização e sua segmentação tarifária separada em três pontos: uma tarifa para o consumo dentro do posto tarifário ponta, uma para o posto tarifário intermediário e uma para o posto tarifário fora de ponta, sendo todas faturadas em (R\$/MWh) (ANEEL, 2012).

2.8 INVERSOR

O inversor é o equipamento responsável pela conversão da energia, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). A tensão de saída CA tem amplitude e frequência adequada ao sistema conectado, nesse caso o sistema da concessionária COPEL. Existem diversos tipos de inversores, para diferentes aplicações, como bombas da água remotas (em lugares de difícil acesso da rede local) que funcionam somente no período diurno, atendendo desde residências de pequeno e médio porte até indústrias.

Existem inversores monofásicos e trifásicos; geralmente inversores de até 5,0 kW de potência são monofásicos, e acima dessa potência, utilizam-se inversores trifásicos para atender às exigências das concessionárias, quanto à qualidade da energia e da segurança de seus colaboradores (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014, p.239), “Um inversor para sistemas fotovoltaicos deve ter as seguintes características:

- Alta eficiência de conversão, tanto na carga nominal quanto em cargas parciais;
- Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;

- Boa regulação na tensão da saída;
- Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- Baixa emissão de ruído audível;
- Baixa emissão de interferência eletromagnética;
- Tolerância aos surtos de partida das cargas a serem alimentadas;
- Segurança tanto para as pessoas quanto para a instalação;
- Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos”.

Na Figura 9, há um exemplo de um inversor *On-grid*, que é conectado com o sistema já existente da concessionária de energia.

Figura 9 - Inversor fotovoltaico



Fonte: Fronius Brasil (2019)

2.8 FUSÍVEIS DE PROTEÇÃO

Para a proteção da série fotovoltaica são utilizados fusíveis de proteção dentro de uma caixa para protegê-los do tempo, conhecida no inglês como *string-box*. Esses fusíveis são responsáveis por não deixar o fluxo de corrente reversa passar de um nível de tensão maior para um de tensão menor. Esses dispositivos devem ser calculados com uma corrente menor do que a corrente reversa suportada pelo módulo, para que atuem antes do mesmo danificar.

Esses dispositivos devem ser colocados nas saídas de cada série fotovoltaica em ambos os polos (positivo e negativo); esses fusíveis de corrente contínua apresentam uma alta durabilidade em sistemas fotovoltaicos (PINHO; GALDINO, 2012). Na Figura 10, pode-se verificar os fusíveis dentro da sua caixa de proteção, na qual estão alocados os disjuntores CC e CA também de proteção do sistema.

Figura 10 – *String-box* - Fusíveis de proteção



Fonte: PHB Solar (2019)

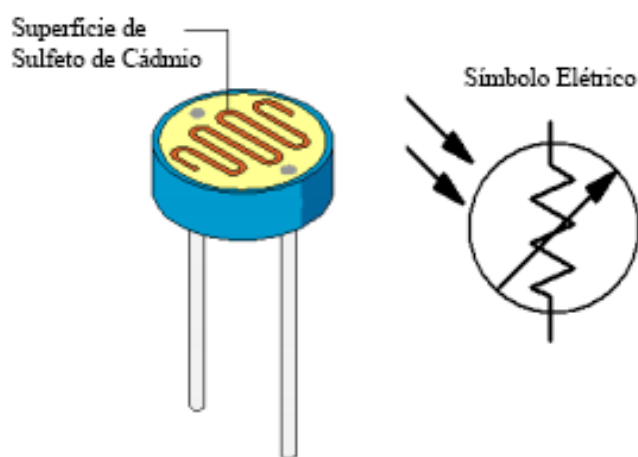
2.9 SENSORES FOTOELÉTRICOS (LDR)

Sensores fotoelétricos podem ser utilizados em diversas funções, como em indústrias, em residências, e, no caso deste estudo, na iluminação pública. O sensor LDR tem uma superfície composta por Sulfeto de Cádmio (CdS) que tem sua resistência elétrica variando conforme a incidência de luz solar nele. O sensor pode trabalhar com correntes relativamente

altas, simplificando o projeto de seus circuitos. Uma desvantagem desse dispositivo está ligada à velocidade de operação que fica na casa do quilohertz (kHz) (THOMAZINI, ALBUQUERQUE, 2005).

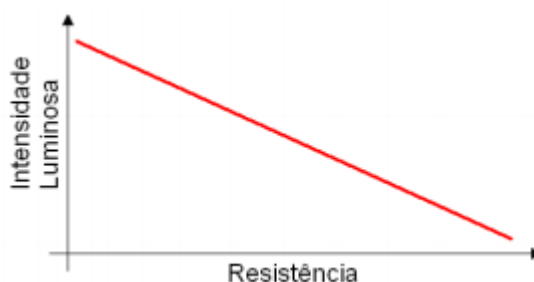
As figuras abaixo mostram a característica física de um LDR, simbologia elétrica e a curva característica de intensidade luminosa x tempo.

Figura 11 - Característica física e simbologia elétrica



Fonte: Sensores Industriais (2005)

Figura 12 - Curva característica intensidade luminosa x resistência



Fonte: Sensores Industriais (2005)

2.10 CÁLCULO DA DEMANDA E CONSUMO DA ILUMINAÇÃO

Para dimensionar corretamente o sistema alimentador é necessário ter o conhecimento sobre a carga envolvida, cuja geração, nesse caso, deve ser maior do que o pico de consumo

para atender a carga sem oscilar. O método mais simples para se determinar a carga a ser atendida, é somar a energia consumida por cada aparelho (equipamento). Pode ser feita essa análise via planilha, na qual se listam todas as cargas utilizadas, sua potência, quantidade de horas que ficam ligadas por dia, quantos dias da semana, para que se tenha uma estimativa de quanta energia será consumida em Wh/dia (PINHO, GALDINO, 2014).

Na Tabela 1, há um exemplo de um equipamento (Lâmpada de iluminação) que é utilizada 12 horas por dia, no período noturno, tendo um consumo médio de energia diário de aproximadamente 1200 Wh/dia.

Tabela 1 - Carga diária das lâmpadas

Carga	Potência (W)	Horas de Utilização	
		por dia (h)	Consumo diário (Wh)
Lâmpadas	100	12	1200

Fonte: O Autor (2019)

A potência a ser atendida pela geração, independentemente do seu tipo, deve ser fornecida pelo próprio fabricante, pois pode ocorrer uma diferença entre equipamentos semelhantes, porém de marcas diferentes. Pode-se também fazer o cálculo do consumo de energia do equipamento utilizando a Equação 1:

$$Cm = \frac{Pn * Hm * Dm}{1000} \quad (1)$$

Onde:

Cm – Consumo médio mensal (kWh/mês)

Pn – Potência nominal do equipamento (Dados do fabricante)

Hm – Média de horas de utilização do equipamento diário

Dm – Dias de utilização do equipamento no mês

2.11 VIABILIDADE ECONÔMICO - FINANCEIRA

O estudo de viabilidade econômico financeira é de extrema importância para o setor de engenharia uma vez que busca avaliar quais são as vantagens esperadas do investimento se comparado com o investimento inicial do produto. Esse estudo, com embasamento científico, pode ser considerado um conjunto de técnicas para decidir qual o melhor caminho a se tomar num investimento. O conceito de viabilidade econômica possui vários indicadores, dentre eles a VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), *Payback*, entre outros (ZAGO, WEISE, HORNBURG, 2009).

2.11.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL ou Valor Presente Líquido de um projeto é considerado um critério que se enquadra num conceito de equivalência, cujo objetivo é tentar trazer para o tempo presente o valor temporal dos recursos. A análise econômica de um projeto pelo VPL nada mais é que a diferença positiva entre as receitas e custos atualizados por uma taxa de juros pré-determinada (ZAGO, WEISE, HORNBURG, 2009).

2.11.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), a qual tende a tornar o Valor Presente Líquido de um projeto igual a zero, serve para mostrar qual a maior oportunidade que o projeto suporta. Ela refere-se à taxa de remuneração aguardada para o capital investido no projeto. Tal método apresenta vantagens, como a facilidade de visualização percentual após o resultado obtido e leva em consideração todo o período do valor investido. A desvantagem em relação a esse método está relacionada à dificuldade de cálculo, sendo necessária a utilização da estratégia de tentativa e erro (ZAGO, WEISE, HORNBURG, 2009).

2.11.3 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa refere-se a todas as operações financeiras ligadas ao investimento. De maneira simples, seriam todas as entradas e saídas do projeto. É uma ferramenta essencial para o planejamento e controle financeiro de uma empresa, sendo fundamental também na tomada

de decisões relacionadas à parte financeira. O principal objetivo do fluxo de caixa é aperfeiçoar e projetar o saldo para que sempre tenha capital de giro para gastos eventuais e aplicações (SEBRAE, 2019).

2.11.4 Prazo de Retorno do Investimento (PRI)

Também conhecido como tempo de recuperação do investimento, esse indicador é mensurado em tempo (anos), que é basicamente um indicador de atratividade do investimento (negócio). Quanto maior o prazo de retorno do investimento menos atrativo ele é, uma vez que o valor inicial colocado no negócio demora mais para retornar ao investidor; por outro lado, quanto menor o PRI mais atrativo ele será. Este indicador é calculado de forma simples, ou seja, é a divisão do investimento pelas receitas (SEBRAE, 2019).

2.12 – ILUMINAÇÃO PÚBLICA (NBR 5101)

Conforme visto anteriormente, a NBR 5101 (2012) fala da iluminação pública eficiente e de sua importância no quesito segurança da movimentação de pessoas e veículos (NBR 5101, 2012). Essa norma propõe alguns requisitos, os quais os projetos de iluminação deverão atender, incluindo:

- Diminuição de acidentes noturnos;
- Melhora nas condições de vida, principalmente nas comunidades de baixa renda;
- Segurança das pessoas e propriedades;
- Melhoria do fluxo do tráfego;
- Visão privilegiada a edifícios e obras públicas durante a noite;
- Eficiência energética;

2.13 – CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS

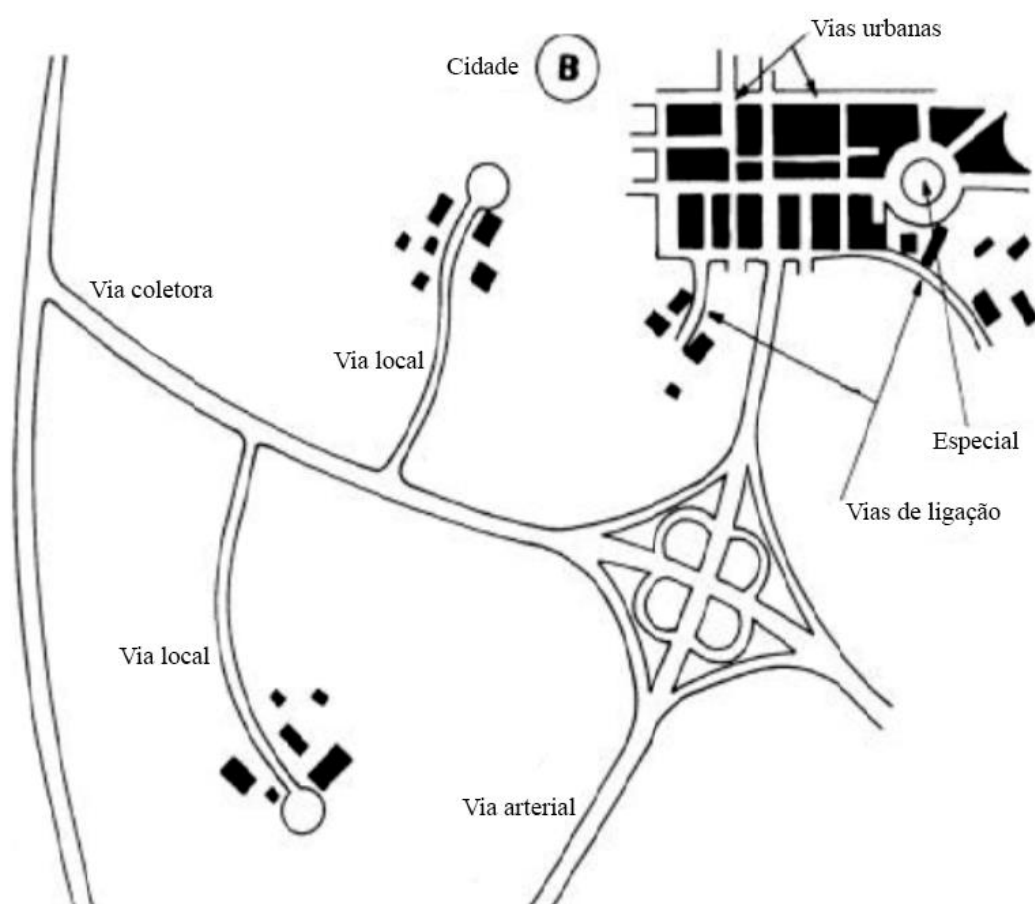
A NBR 5101 (2012) afirma que a via é um local por onde passam pessoas, animais e transitam veículos. Essas vias têm diferentes classificações, descritas abaixo:

- Arterial;
- Coletora;
- Local;

- De ligação;
- Urbana;
- Especial;

Na Figura 13, tem-se uma visão superior das diferentes classificações para as vias em questão, sendo que o projeto do lago fica enquadrado na categoria especial, pois é uma via exclusiva para pedestres e animais.

Figura 13 - Classificação das vias



Fonte: ABNT (2012)

Além da classificação da via em relação a que ou a quem irá circular por ela há, segundo a (ABNT, 2012), a classe de iluminação em relação à quantidade de pessoas que irão circular pelo local, definindo a iluminância média e o fator de uniformidade para cada uma delas. Na Tabela 2, têm-se as classes de iluminação separadas por descrição das vias.

Tabela 2 - Classes de iluminação

Descrição da Via	Classe de iluminação
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadas, passeios de zonas comerciais)	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	P3
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)	P4

Fonte: Adaptado de ABNT (2012)

2.14 – ILUMINÂNCIA E FATOR DE UNIFORMIDADE

Para o dimensionamento da iluminação faz-se necessário o cálculo do fator de iluminância, que é dado pela divisão da iluminância mínima pela iluminância média em um determinado plano pré-especificado, conforme Equação 2:

$$U = \frac{E \text{ mínimo}}{E \text{ médio}} \quad (2)$$

Sendo:

U – Fator de iluminância

E mínimo – Iluminância mínima

E médio – Iluminância média

Já a razão entre a luminância mínima e a iluminância média em um plano pré-especificado é conhecido como fator de uniformidade, que tem como resultado um valor entre 0 (zero) e a unidade que indica a luminosidade no plano escolhido, descrito na Equação 3.

$$U_o = \frac{L \text{ mínimo}}{L \text{ médio}} \quad (3)$$

Sendo

Uo – Fator de uniformidade

L mínimo – Luminância mínima

L médio – Luminância média

2.15 – CÁLCULO DO GERADOR FOTOVOLTÁICO

Tendo conhecimento da potência instalada e da quantidade aproximada de horas que a iluminação irá funcionar durante o período noturno, serão utilizadas as Equações 4 e 5 para calcular a potência necessária do gerador fotovoltaico: (ALMEIDA, 2018)

$$Econs = Pe \times Nd \quad (4)$$

$$Pfv = \frac{Econs}{Hs \text{ Mín}} \quad (5)$$

Onde:

- Econs – Média de Energia consumida diariamente (Wh/dia)
- Pe – Potência nominal da instalação (W)
- Nd – Número médio de horas de utilização (h/dia)
- Pfv – Potência do sistema (W)
- HsMín – Mês crítico de irradiação medido em horas/dia de uma determinada região

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE ILUMINAÇÃO E CONEXÃO

Como tratado anteriormente na fundamentação teórica e introdução, a proposta de iluminação consiste em sistemas com lâmpadas LED convencionais. No primeiro projeto, as lâmpadas serão conectadas ao sistema da concessionária de energia COPEL.

Já o segundo projeto, trata da mesma iluminação em LED, porém conectada a um sistema *On-Grid*, que atende a toda demanda de energia elétrica consumida pela iluminação. Esse sistema composto por painéis fotovoltaicos, durante o período diurno injeta energia na rede da concessionária e à noite a iluminação utiliza a energia da rede da concessionária. No final do mês, é feito um cálculo da energia injetada pelo sistema fotovoltaico e a energia requerida pela iluminação, sendo a diferença o faturamento recebido pela COPEL com os encargos e impostos aplicados.

Ambas as propostas têm como principal objetivo instalar a iluminação no Lago Municipal de Nova Santa Rosa – PR. Com base na ideia do sistema, foi utilizada como ferramenta a NBR 5101, que tem como tema a iluminação pública e auxiliará no melhor tipo de iluminação a ser instalado.

3.2 IRRADIAÇÃO SOLAR NO MÚNICPIO DE NOVA SANTA ROSA – PR

Em projetos nos quais se faz uso do fotovoltaico, usam-se dados de irradiação solar já existentes, que são aceitáveis para projetos de pequeno porte. Na plataforma utilizada no projeto do CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, encontra-se o programa nomeado Sundata, que é responsável por esses cálculos de irradiação solar. Segundo o CRESESB, o programa Sundata utiliza imagens de satélite de 17 anos, tendo assim informação num plano horizontal de mais de 350 pontos no Brasil (CRESESB, 2019).

Para utilizar a plataforma é necessário ter informações sobre as coordenadas geográficas do local. A Figura 14 demonstra como é o funcionamento da entrada de dados, via Web, no programa Sundata, e, nesse caso, foi utilizado como ferramenta o Google Maps para determinação das coordenadas referentes ao Lago Municipal de Nova Santa Rosa – PR, ou seja, latitude 24°28'18.2"S e longitude 51°12'02.5"O.

Figura 14 - Entrada das coordenadas do programa Sundata

Coordenada Geográfica

Latitude **Longitude**

24 ° 28 ' 2 " Sul 53 ° 56 ' 37 " Oeste

Norte:

☐ graus decimais (00.00°)

☒ graus, minutos e segundos (00°00'00")

Fonte: Cresesb (2019)

Com os dados inseridos na plataforma Sundata referentes à latitude e longitude do local escolhido, obtiveram-se os seguintes resultados, que tratam da insolação (irradiação) média mensal no plano inclinado na cidade escolhida, conforme Figura 15, retirados do site do CRESESB:

Figura 15 - Insolação solar no plano inclinado

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Nova Santa Rosa
Município: Nova Santa Rosa , PR - BRASIL
Latitude: 24,5° S
Longitude: 53,949° O
Distância do ponto de ref. (24,467222° S; 53,943889° O): 3,7 km

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Plano Horizontal	0° N	6,20	5,67	5,29	4,35	3,40	3,00	3,21	4,20	4,47	5,29	6,14	6,55	4,82
Ângulo igual a latitude	24° N	5,58	5,42	5,49	5,00	4,25	3,92	4,12	5,04	4,80	5,18	5,61	5,79	5,02
Maior média anual	20° N	5,73	5,51	5,50	4,93	4,15	3,80	4,00	4,95	4,79	5,25	5,74	5,96	5,03
Maior mínimo mensal	44° N	4,62	4,72	5,12	5,03	4,53	4,29	4,45	5,22	4,60	4,62	4,70	4,71	4,72

Fonte: Cresesb (2019)

3.3 – LOCAL DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA

O local escolhido para provável instalação do projeto será o Lago Municipal de Nova Santa Rosa – PR, o qual possui um padrão instalado no local, com disjuntor geral de 200 A, conforme Figura 16.

Figura 16 - Padrão existente



Fonte: O Autor (2019)

A Figura 17 representa uma foto aérea do local feita com auxílio de um drone, possibilitando a visualização de toda a extensão do projeto, posicionamento das calçadas e arborização do local.

Figura 17 - Lago municipal de Nova Santa Rosa



Fonte: O Autor(2019)

Já na Figura 18, pode-se verificar a disposição das calçadas e a arborização do local.

Figura 18 - Disposição da calçada



Fonte: O Autor (2019)

3.4 – DIMENSIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO – *DIALUX*

Conforme NBR 5101, a quantidade mínima de lux necessários para a classe de iluminação P2, que trata de Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer) é uma média de 10 lux, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Iluminação mínima necessária

Classes de Iluminação	Iluminação Horizontal Média Emed lux
P1	20
P2	10
P3	5
P4	3

Fonte: ABNT (2012)

Para atender às especificações, os postes de fixação das luminárias terão cinco metros de altura para ficarem compatíveis com as regiões arborizadas do lago. A luminária escolhida para o projeto é da empresa Zagonel situada em Pinhalzinho – Santa Catarina. O modelo que foi utilizado é da linha Lumos, que possui uma potência nominal de 60W. Na Tabela 4, há as especificações da luminária, fornecidas pelo próprio fabricante.

O ângulo de irradiação é uma característica importante em uma luminária, principalmente em ambientes externos. São utilizados materiais que refletem para fazer a projeção correta da luz. Na Tabela quatro, pode-se verificar o ângulo de irradiação de 120° na luminária da Zagonel, tendo uma alta eficiência na irradiação de luz.

Outro ponto importante, em que a luminária citada leva vantagem, é a utilização do LED COB (*chip onboard*), nos quais são utilizados vários LED's pequenos encapsulados em grupo, formando um chip integrado à placa. Com isso, essas luminárias possuem um aperfeiçoamento da eficiência do LED e também uma iluminação mais uniforme no local desejado.

A lâmpada tem uma grande durabilidade, estimada em 50.000 horas. Outra vantagem é em relação ao grau de proteção IP 67, que é resistente à poeira e ao mergulho na água de até um metro de profundidade por um tempo de até 30 minutos.

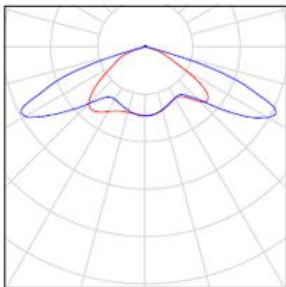
Tabela 4 - Especificações técnicas do fabricante

Linha LUMOS	
Potência Nominal	60W
Modelo	LUMOS
Sistema de Fixação para Postes	Ø de 25 à 60,3mm
Estrutura Principal Dissipador	Alumínio Injetado
Grau de Proteção	IP67
Lente	Vidro Borosilicato
Ângulo de Irradiação Luminosa	120°
Proteção Contra Impacto	IK 08
Fonte de Luz	Led COB
Temperatura de Cor	5.000K
Índice de Reprodução de Cor	70
Classe de Eficiência Energética	Classe A
Componentes	Sistema Fotocélula; Dimerização (0-10V)
Fluxo Luminoso Efetivo (lumens)	6.600 lm
Eficácia Luminosa	110 lm/W
Fluxo Luminoso do LED	9.068 lm
Vida Útil do LED	L70 / 50.000hs
Temperatura Ambiente de Operação	-30°C à 50°C
Corrente de Entrada	315mA/182mA
Tensão de Alimentação	Bivolt 100-250V
Fator de Potência	> 0,98
Distorção Harmônica de Corrente	< 10%
Proteção	Sobrecorrente e Sobretensão (10kV / 10kA)
Classe de Isolação Elétrica	Classe 1
Peso do Produto	2,275kg
Garantia	5 anos

Fonte: Zagonel (2019)

Para o dimensionamento foi utilizado o programa Dialux®, juntamente com a planta baixa do local, fornecida pela prefeitura municipal de Nova Santa Rosa – PR, conforme ANEXO A. Para utilização da ferramenta foi importado o arquivo IES (*Illumination Engeneering Society*) do português Sociedade de Engenharia de Iluminação, que são que os dados técnicos fornecidos pela própria Zagonel para implementação do projeto e posterior visualização do processo num ambiente virtual. Feita a importação do arquivo, o qual possui todas as especificações da luminária, pode-se dimensionar a iluminação em questão, conforme a Figura 19.

Figura 19 - Especificações importadas no Dialux

Luminária (Emissão luminosa)		
Eletro Zagonel LTDA. - ZL-4900 ZL-4900 Emissão luminosa 1 Equipagem: 1xLED COB - 5000K - IRC 70 Grau de actuação operacional: 100% Fluxo luminoso de lâmpada: 6600 lm Fluxo luminoso da luminária: 6600 lm Potência: 60.0 W Rendimento luminoso: 110.0 lm/W Indicações colorimétricas 1x: CCT 5000 K, CRI 70		
Rendimento luminoso: 110.0		
		

Fonte: Dialux (2019)

Após a importação dos dados da luminária, foi distribuída uma quantidade de lâmpadas no perímetro das calçadas utilizando a opção Posicionar Luminárias Isoladas, sempre observando a quantidade de lux que cada lâmpada produzia com auxílio das linhas isográficas. A altura do ponto de luz foi fixada em cinco metros, conforme definido anteriormente. Na Figura 20, tem-se a tela do programa com as devidas alterações e características da iluminação importada.

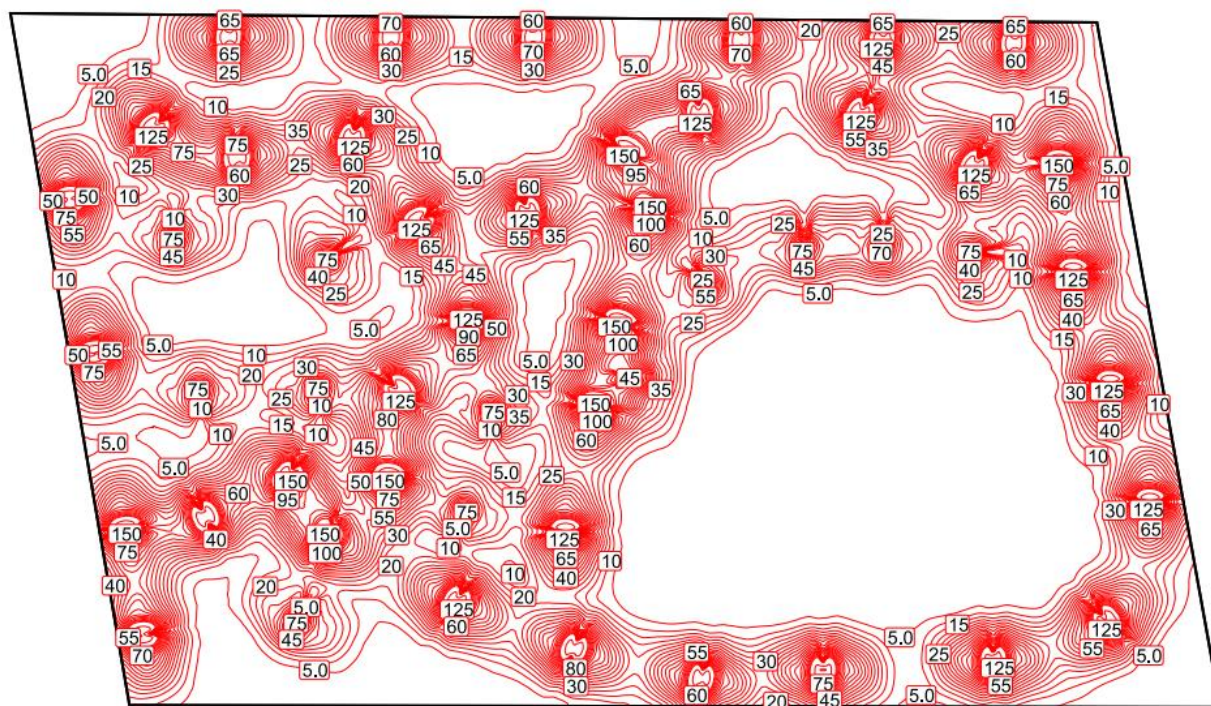
Figura 20 - Tela de operação do Dialux

Luminárias	Tipo de montagem
☒ Desenhando distribuição rectangular ☒ Desenhando distribuição poligonal ☒ Desenhando distribuição circular ☒ Desenhando distribuição linear ☒ Posicionar luminária isolada ☒ Distribuição automática para áreas ☒ Substituir luminárias seleccionadas ☒ Substituir todas as luminárias deste tipo ☒ Importar ficheiro de luminárias	Tipo de montagem Aplicar novamente Altura do ponto de luz 5.000 m Dados técnicos de iluminação Fluxo luminoso da luminária 6600 lm Alterar Grau de actuação operacional 100.0 % Potência de ligação 60.0 W Rendimento luminoso 110 lm / W Equipagem MÓDULO LED 6600 lm5000 K

Fonte: Adaptada Dialux (2019)

Na Figura 21, há um mapa com as linhas isográficas após a distribuição das luminárias no perímetro das calçadas.

Figura 21 – Linhas Isográficas

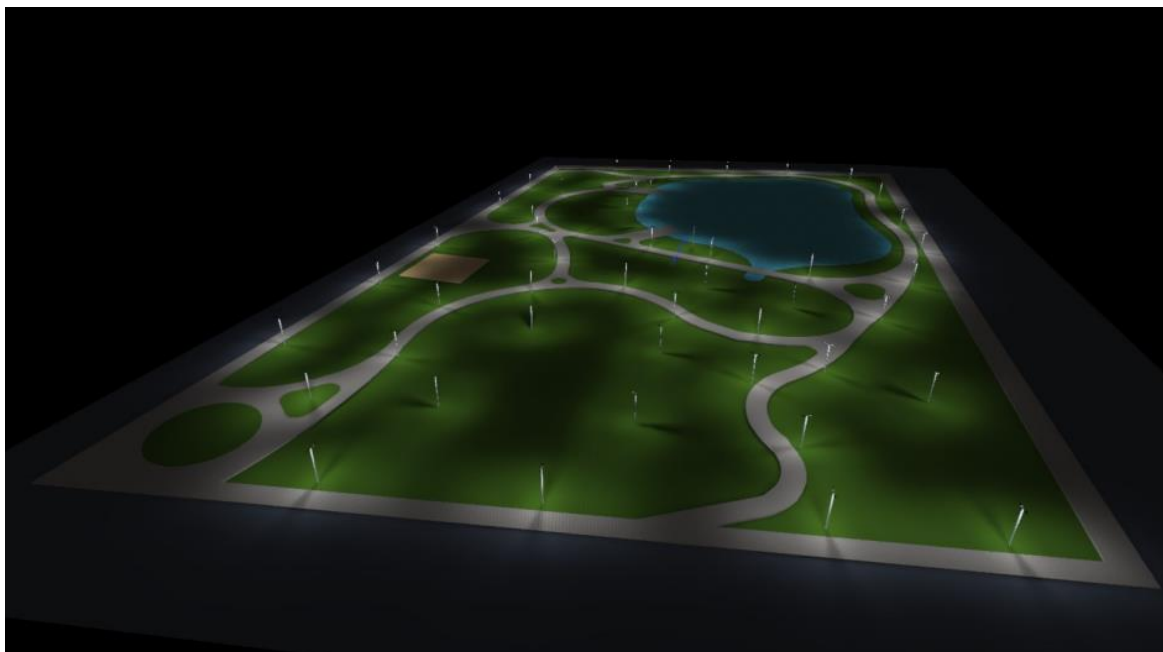


Fonte: Dialux (2019)

Em tal projeto foi necessária a colocação de 90 luminárias com a potência nominal de 60,0W. Além da figura em que são apresentadas as linhas isográficas, há também o cálculo do programa da média de lux em todo o perímetro do lago, no qual as lâmpadas produzem uma média de 27.7 lux, ficando maior do que a especificação da NBR 5101, que diz ser necessária uma iluminância média de no mínimo 10 lux.

Para uma melhor visualização de como ficariam as luminárias em toda a área do Lago Municipal, foi feita uma pequena simulação 3D que pode ser vista na Figura 22. Cada poste possui duas luminárias de 60W, tornando necessária a implantação de 45 postes com cinco metros de altura.

Figura 22 - Cenário das luminárias no local



Fonte: Dialux (2019)

3.5 – CÁLCULO CONSUMO MENSAL/ANUAL

Pode-se também fazer o cálculo do consumo de energia dos equipamentos, utilizando a Equação um, conforme visto anteriormente:

$$Cm = \frac{Pn * Hm * Dm}{1000}$$

Considerando que a iluminação funcionará exclusivamente no período noturno das 18h00min até aproximadamente 06h00min, têm-se aproximadamente 12 horas de funcionamento do sistema, logo:

$$Cm = \frac{5400 * 12 * 30}{1000}$$

$$Consumo\ mensal = 1.944,0\ kWh$$

$$Ca = 1.944,0 * 12$$

$$Consumo\ anual = 23.328,0\ kWh$$

Logo, o sistema de iluminação em questão terá um consumo mensal de aproximadamente 1.944,0 kWh, e, conseqüentemente, um consumo anual de aproximadamente 23.328,0 kWh.

3.5 – DIMENSIONAMENTO GERADOR FOTOVOLTAICO

O dimensionamento dos painéis solares foi baseado no mês crítico de irradiação medido em horas/dia. Desta forma, o gerador fotovoltaico calculado atenderá o sistema com sobra de energia, considerando que na cidade de Nova Santa Rosa – PR o mês crítico de irradiação é aproximadamente 55% menor se comparado com o mês de Dezembro. Para fazer o cálculo serão utilizadas as Equações quatro e cinco.

$$Econs = Pe \times Nd$$

$$Econs = 5400 \times 12$$

$$Econs = 64.800 \text{ Wh ou } 64,80 \text{ kWh}$$

Com a energia consumida diariamente calculada, e o mês crítico de irradiação fornecido pelo CRESESB, que é de 3,00 hrs/dia, pode-se encontrar a potência necessária para o gerador fotovoltaico em questão, conforme cálculo abaixo:

$$Pfv = \frac{Econs}{Hs \text{ Mín}}$$

$$Pfv = \frac{64,80}{3}$$

$$Pfv = 21,6 \text{ kWp}$$

Com base na energia consumida, o gerador fotovoltaico deverá ter 21,6kWp de potência instalada para conseguir atender à carga.

3.6 – PAINÉIS SOLARES

Com base na potência do gerador solar, pode-se calcular a quantidade de módulos necessários para tal sistema. Os módulos utilizados nesse projeto serão da marca CANADIAN, modelo CS3W405P, com potência nominal de 405Wp, conforme Tabela 5, contendo as

especificações técnicas do módulo em questão.

Tabela 5 - Características técnicas painel Canadian 405W

ELETRICAL DATA STC		
CS3W		405P
Nominal Max. Power (Pmax)		405W
Opt. Operating Voltage (Vmp)		38,9V
Opt. Operating Current (Isc)		10,42A
Open Circuit Voltage (Voc)		47,4V
Short Circuit Current (Isc)		10,98A
Module Efficiency		18,33%
Operating Temperature		-40°C -+85°C
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)	
Module Fire Performace	TYPE 1 (UL 1703)	
Max. Series Fuse Rating	20A	
Application Classification	Class A	
Power Tolerance	0 -+ 5W	

Fonte: Canadian (2019)

$$N^{\circ} mod. = \frac{21,60}{0,405}$$

$$N^{\circ} mod. = 53,33 \cong 54 unidades$$

3.7 – INVERSOR SOLAR

Com o número de módulos já calculados, pode-se escolher um Inversor para atender tal sistema, que é baseado na potência total. 54 módulos de 405Wp dão um total de 21,87kWp que o Inversor deve suportar. A marca de inversor utilizada no projeto é FRONIUS e para atender esta potência será utilizado o modelo SYMO 20,0 kW. Na Tabela 6, são apresentados os detalhes técnicos do equipamento.

Tabela 6 - Característica inversor Fronius

DADOS DE ENTRADA	
Quantidade de MPP Tracker	2,0
Corrente máx. de entrada ($I_{cc\ máx}$)	33,0 / 27,0 A
Corrente máx. de curto-circuito do campo do módulo	49,5 / 40,5 A
Faixa de tensão inicial ($U_{cc\ mín}$ - $U_{cc\ máx}$)	200 - 1000 V
Alimentação de tensão inicial ($U_{cc\ inicial}$)	200,0 V
Tensão nominal de entrada ($U_{cc,r}$)	600,0 V
Faixa de tensão MPP (U_{min} - $U_{máx}$)	420 - 800 V
Faixa de tensão MPP utilizável	200 - 800 V
Quantidade de conexões CC	3 + 3
Potência máxima do gerador fotovoltaico ($P_{máx}$)	30,0 kW _{peak}
DADOS DE SAÍDA	
Potência nominal CA ($P_{ca,r}$)	20,0 kW
Potência máx. de saída ($P_{ca\ máx}$)	20,0 kVA
Potência máxima de saída $I_{ca\ nom}$)	28,9 A
Acoplamento à rede ($U_{ca,r}$)	3~ NPE 380/220 V
Faixa de tensão CA (U_{min} - $U_{máx}$)	150 - 280V
Frequência (fr)	50 / 60 Hz
Faixa de frequência ($f_{mín}$ - $f_{máx}$)	45 - 65 Hz
Fator de distorção	1,3 %
Fator de potência ($\cos\phi$)	0 - 1 ind. / cap.

Fonte: Adaptado de Fronius (2019)

Com base na Tabela 6, pode-se verificar a potência máxima que o fabricante garante que o equipamento suporta. Nesse caso, ele pode chegar até 30,0 kWp; o gerador em questão tem uma potência nominal de 21,87kWp, atendendo aos requisitos técnicos do equipamento e não causando nenhum tipo de sobrecarga.

3.8 – AUTOTRANSFORMADOR

Um autotransformador tem como papel modificar a tensão elétrica, elevá-la ou até abaixá-la. Ele altera essa tensão elétrica através do campo magnético variável, surgindo uma indução na bobina secundária. Quando se abaixa a tensão, o autotransformador abaixador permite que a tensão do primário seja reduzida, disponibilizando-a no secundário na tensão correta para conexão com a rede de distribuição.

No projeto acima descrito, foi utilizado Inversor Fronius de 20,0 kW, cuja saída de tensão é Trifásica de 380V. Logo, neste gerador fotovoltaico se faz necessário o uso de um autotransformador abaixador de tensão, pois o inversor não tem a saída de tensão estipulada pela rede existente no local. O autotransformador será responsável por reduzir a tensão de 380V para 220V.

Para o seu cálculo, será utilizado o fator de potência 0,92, o valor máximo permitido pela concessionária COPEL. Na Equação seis, tem-se:

$$T = \frac{P_{inv}}{0,92} \quad (6)$$

$$T = \frac{20,0}{0,92}$$

$$T = 21,73 \cong 25 \text{ kVA}$$

Sendo P_{inv} a Potência no inversor solar e T a potência do autotransformador, tem-se uma potência de 21,73 kVA requerida pelo sistema; logo, o Autotransformador a ser utilizado é da Marcão União com uma potência nominal de 25 kVA.

3.9 – ESTRUTURA SOLO

A estrutura de solo é responsável por dar sustentação aos painéis e orientá-los de forma correta em direção ao sol, tendo dessa forma uma melhor eficiência em função de uma maior incidência solar sobre os mesmos. Na Figura 23, há um exemplo da estrutura já montada; num primeiro momento, sem as placas e ao lado com os painéis sobre ela. A estrutura é feita de concreto com malha de aço para dar resistência; já os trilhos são de alumínio para a fixação dos

painéis, com materiais resistentes à oxidação decorrente das ações climáticas.

Figura 23 - Estrutura solo em concreto



Fonte: O Autor (2019)

4 RESULTADOS

4.1 – VALOR DO SISTEMA CONECTADO À REDE COPEL COM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para o cálculo do valor do sistema conectado à rede da COPEL, que utiliza como fonte de energia o sistema fotovoltaico, foi considerado o valor dos componentes e dos equipamentos que serão utilizados a mais em relação ao sistema convencional. Já os componentes que são de uso comum em ambos os sistemas, como postes (5 metros), luminárias, disjuntor de proteção, relé fotoelétrico, foram desconsiderados uma vez que não serão utilizados no cálculo do retorno econômico de ambos os projetos.

Na Tabela sete, os valores discriminados de cada componente.

Tabela 7 - Custo sistema com fotovoltaico

Item	Valor Unitário	Quantidade	Total
Painel Fotov. 405Wp	R\$ 689,00	54	R\$ 37.206,00
Inversor Fronius 20,0 kW	R\$ 14.294,00	1	R\$ 14.294,00
Autotransformador 25,0 kVA	R\$ 1.604,00	1	R\$ 1.604,00
<i>String-box</i>	R\$ 822,00	1	R\$ 822,00
Estrutura Solo	R\$ 13.410,00	1	R\$ 13.410,00
		Total	R\$ 67.336,00

Fonte: O Autor (2019)

O custo total do segundo sistema fica aproximadamente R\$ 67.336,00 com todos os componentes descritos acima. O valor da estrutura solo é referente a todo material necessário para a sua construção.

4.2 – CUSTO DO SISTEMA CONECTADO À COPEL SEM FOTOVOLTAICO AO LONGO DE 25 ANOS

Para o cálculo do custo em reais da iluminação, utiliza-se o valor do kWh fornecido pela concessionária de energia COPEL, cujo valor pode ser observado na Tabela oito.

Tabela 8 - Tarifa da iluminação pública

Convencional		Resolução ANEEL Nº 2.559 de 18/06/2019 (Vigência a partir de 24/06/2019)		
Subgrupo	Tarifa em R\$/kWh ANEEL (TE)	Tarifa em R\$/kWh ANEEL (TUSD)	Tarifa em R\$/kWh com impostos (ICMS, PIS, COFINS)	
B4b - Bulbo da Lâmpada	0,16435	0,14622	0,47927	

Fonte: COPEL (2019)

Outro fator que se precisa analisar é um possível reajuste na tarifa de energia elétrica, o qual acontece todo ano. Para o cálculo do fator de reajuste que será utilizado nesse projeto, será feita uma média dos últimos três reajustes aplicados pela COPEL, nos últimos três anos, conforme Tabela nove.

Tabela 9 - Reajuste médio anual

Resolução	Vigência	Motivo	Reajuste Médio
2559/2019	24/06/2019	Reajuste Tarifário Anual	3,41%
2402/2018	24/06/2018	Reajuste Tarifário Anual	15,99%
2255/2017	24/06/2017	Reajuste Tarifário Anual	5,85%
Média 3 últimos anos			8,42%

Fonte: COPEL (2019)

Sendo o consumo anual do sistema de iluminação de 23.328 kWh, o valor da tarifa da COPEL praticado no momento, de R\$ 0,47927 e o reajuste médio anual calculado com base nos últimos três anos, de 8,42%, pode-se calcular o custo que a iluminação terá ao longo de 25 anos de consumo, que é o prazo de vida útil do painel fotovoltaico, como pode ser visto na Tabela dez.

Tabela 10 - Custo da iluminação ao longo de 25 anos sem fotovoltaico

Período (anos)	Consumo (Anual)	Reajuste Médio	Tarifa	Valor Anual (R\$)	
1	23328	0,00%	0,47927	R\$	11.180,41
2	23328	8,42%	0,51962	R\$	12.121,80
3	23328	8,42%	0,56338	R\$	13.142,46
4	23328	8,42%	0,61081	R\$	14.249,05
5	23328	8,42%	0,66224	R\$	15.448,82
6	23328	8,42%	0,71800	R\$	16.749,61
7	23328	8,42%	0,77846	R\$	18.159,93
8	23328	8,42%	0,84401	R\$	19.689,00
9	23328	8,42%	0,91507	R\$	21.346,81
10	23328	8,42%	0,99212	R\$	23.144,21
11	23328	8,42%	1,07566	R\$	25.092,95
12	23328	8,42%	1,16623	R\$	27.205,78
13	23328	8,42%	1,26443	R\$	29.496,51
14	23328	8,42%	1,37089	R\$	31.980,11
15	23328	8,42%	1,48632	R\$	34.672,84
16	23328	8,42%	1,61147	R\$	37.592,29
17	23328	8,42%	1,74715	R\$	40.757,56
18	23328	8,42%	1,89426	R\$	44.189,35
19	23328	8,42%	2,05376	R\$	47.910,09
20	23328	8,42%	2,22669	R\$	51.944,12
21	23328	8,42%	2,41417	R\$	56.317,82
22	23328	8,42%	2,61745	R\$	61.059,78
23	23328	8,42%	2,83783	R\$	66.201,01
24	23328	8,42%	3,07678	R\$	71.775,14
25	23328	8,42%	3,33585	R\$	77.818,60
Custo Total (25 Anos)				R\$	869.246,05

Fonte: O Autor (2019)

Conforme a Tabela dez, verifica-se um custo de aproximadamente R\$ 869.246,05 referente ao consumo de energia somente da rede da concessionária de energia COPEL. Esse custo foi calculado considerando o valor atual da tarifa de energia praticada para iluminação pública, o reajuste anual de 8,42% e o consumo de energia calculado anteriormente. Bandeiras tarifárias (amarela e vermelha) foram desconsideradas nesse cálculo por se tratar de uma tarifa aplicada quando as termoeletricas são ligadas, o que acontece com mais sazonalidade.

4.3 – CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AO LONGO DE 25 ANOS

O cálculo do sistema fotovoltaico conectado ao sistema da concessionária será feito com base na quantidade de energia requerida pela iluminação, mesmo que o sistema gere mais energia por ser dimensionado em cima do mês crítico de irradiação. O sistema solar irá injetar energia durante o dia na rede; logo, a iluminação irá requerer essa energia durante a noite. No estado do Paraná, a Prefeitura de Nova Santa Rosa continua pagando o ICMS (29%) sobre a parcela da TUSD, que é o custo referente ao sistema de distribuição de energia.

As Entradas serão consideradas as parcelas de energia pagas anteriormente no sistema conectado à concessionária, pois no caso do gerador fotovoltaico deixarão de ser pagas em praticamente sua totalidade. No Total Saídas serão considerados o custo de disponibilidade do sistema, que no local é trifásico (100 kWh), multiplicado pelo valor da tarifa reajustado em 8,42% a cada ano, mais o imposto de 29% que incide sobre a TUSD (Tarifa de uso do sistema de distribuição).

Na Tabela onze, verificam-se os custos aplicados para tal sistema, também ao longo de 25 anos.

Tabela 11 - Fluxo de caixa - Sistema fotovoltaico

Período (Anos)	Entradas	Custo Disp.	Imposto (TUSD)	Total Saídas	Fluxo de Caixa
1	R\$ 11.180,41	R\$ 47,93	R\$ 989,20	R\$ 68.373,12	- R\$ 57.192,71
2	R\$ 12.121,80	R\$ 51,96	R\$ 1.072,49	R\$ 1.124,45	- R\$ 46.195,36
3	R\$ 13.142,46	R\$ 56,34	R\$ 1.162,79	R\$ 1.219,13	- R\$ 34.272,03
4	R\$ 14.249,05	R\$ 61,08	R\$ 1.260,70	R\$ 1.321,78	- R\$ 21.344,76
5	R\$ 15.448,82	R\$ 66,22	R\$ 1.366,85	R\$ 1.433,07	- R\$ 7.329,01
6	R\$ 16.749,61	R\$ 71,80	R\$ 1.481,94	R\$ 1.553,74	R\$ 7.866,87
7	R\$ 18.159,93	R\$ 77,85	R\$ 1.606,71	R\$ 1.684,56	R\$ 24.342,24
8	R\$ 19.689,00	R\$ 84,40	R\$ 1.742,00	R\$ 1.826,40	R\$ 42.204,84
9	R\$ 21.346,81	R\$ 91,51	R\$ 1.888,68	R\$ 1.980,18	R\$ 61.571,46
10	R\$ 23.144,21	R\$ 99,21	R\$ 2.047,70	R\$ 2.146,91	R\$ 82.568,76
11	R\$ 25.092,95	R\$ 107,57	R\$ 2.220,12	R\$ 2.327,69	R\$ 105.334,03
12	R\$ 27.205,78	R\$ 116,62	R\$ 2.407,05	R\$ 2.523,68	R\$ 130.016,13
13	R\$ 29.496,51	R\$ 126,44	R\$ 2.609,73	R\$ 2.736,17	R\$ 156.776,47
14	R\$ 31.980,11	R\$ 137,09	R\$ 2.829,47	R\$ 2.966,56	R\$ 185.790,02
15	R\$ 34.672,84	R\$ 148,63	R\$ 3.067,71	R\$ 3.216,34	R\$ 217.246,52
16	R\$ 37.592,29	R\$ 161,15	R\$ 3.326,01	R\$ 3.487,15	R\$ 251.351,66
17	R\$ 40.757,56	R\$ 174,72	R\$ 3.606,06	R\$ 3.780,77	R\$ 288.328,45
18	R\$ 44.189,35	R\$ 189,43	R\$ 3.909,69	R\$ 4.099,11	R\$ 328.418,68
19	R\$ 47.910,09	R\$ 205,38	R\$ 4.238,88	R\$ 4.444,26	R\$ 371.884,52
20	R\$ 51.944,12	R\$ 222,67	R\$ 4.595,80	R\$ 4.818,47	R\$ 419.010,17
21	R\$ 56.317,82	R\$ 241,42	R\$ 4.982,76	R\$ 5.224,18	R\$ 470.103,81
22	R\$ 61.059,78	R\$ 261,74	R\$ 5.402,31	R\$ 5.664,06	R\$ 525.499,52
23	R\$ 66.201,01	R\$ 283,78	R\$ 5.857,19	R\$ 6.140,97	R\$ 585.559,56
24	R\$ 71.775,14	R\$ 307,68	R\$ 6.350,36	R\$ 6.658,04	R\$ 650.676,66
25	R\$ 77.818,60	R\$ 333,58	R\$ 6.885,06	R\$ 7.218,65	R\$ 721.276,61

Fonte: O Autor (2019)

O primeiro ano tem um total de saídas de R\$ 68.313,12 que é referente ao custo de disponibilidade de R\$ 47,93, imposto sobre a TUSD R\$ 989,20, mais o custo referente ao sistema fotovoltaico R\$ 67.336,00. Nos anos subsequentes são apenas descontados das entradas os valores do custo de disponibilidade e o imposto sobre a TUSD, sendo desconsiderada a troca dos equipamentos do sistema fotovoltaico num período de 25 anos, o qual foi utilizado para o cálculo de fluxo de caixa e retorno econômico.

Considerando que o valor de R\$ 68.313,12 é recurso próprio da Prefeitura Municipal de Nova Santa Rosa, não é necessário o financiamento desse valor e, conseqüentemente, não há a incidência de taxas de juros. Logo, analisando o fluxo de caixa pode-se verificar que no 6º ano a prefeitura já deixaria de pagar aproximadamente R\$ 7.866,87. Com isso, verifica-se que o sistema fotovoltaico se paga por volta de seis anos, considerando as normas atuais da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

4.4 – COMPARATIVO DE AMBAS AS PROPOSTAS

Conforme Tabela dez e onze, fazendo o comparativo de ambos os sistemas, tem-se um parecer de qual sistema será o mais viável. No sistema conectado ao sistema da COPEL, e que apenas utiliza a energia da concessionária, há um custo de aproximadamente R\$ 869.246,05 com fatura de energia, sendo considerados o valor do kWh e os impostos aplicados a tal tarifa (ICMS, PIS e COFINS), e desconsideradas as bandeiras amarela e vermelha.

O sistema fotovoltaico, por sua vez, tem um custo inicial dos componentes, como pode ser observado na Tabela três, que é de R\$ 67.336,00. Na Tabela sete, apresenta-se o fluxo de caixa que representa a saída do referido investimento mais as taxas que são necessárias pagar para a concessionária de energia, nesse caso COPEL. Como se pode observar, no 6º ano já há uma entrada no valor de R\$ 7.886,87 reais, que são deixados de pagar. Logo, o sistema leva seis anos para estar completamente pago.

5 CONCLUSÃO

Conforme apresentado, foram estudadas duas propostas de iluminação pública para o lago municipal de Nova Santa Rosa – PR, o qual até então estava sem iluminação. Todo o investimento disponibilizado pela prefeitura municipal seria para aquisição do sistema fotovoltaico, que irá atender as luminárias, de acordo com a NBR5101, que regulamenta a iluminação pública.

Para o cálculo de retorno do investimento foi utilizado um período de 25 anos, o qual representa a vida útil do painel solar. A potência da luminária é de 60W, a partir da qual foi feito o dimensionamento do sistema fotovoltaico, o qual deve ter uma potência de 21,87kWp (54 painéis) para atender a demanda. O inversor solar utilizado para esse sistema foi de 20,0 kW de potência, que deverá ser conectado à rede da concessionária.

O sistema fotovoltaico teve um custo de R\$ 67.336,00, que foi diluído no fluxo de caixa, considerando as entradas e o valor que seria pago na fatura de energia. O tempo de retorno do investimento ficou estimado em seis anos, levando em consideração o imposto pago ao governo, e também o custo de disponibilidade do sistema (Trifásico 100kWh), sendo um investimento atrativo do ponto de vista financeiro, mas também sustentável.

Analisando o ponto de vista da segurança, o sistema de iluminação irá atender os requisitos necessários da NBR 5101, tendo uma média no local de 27,7 lux, sendo que a norma pede uma média de apenas 10 lux.

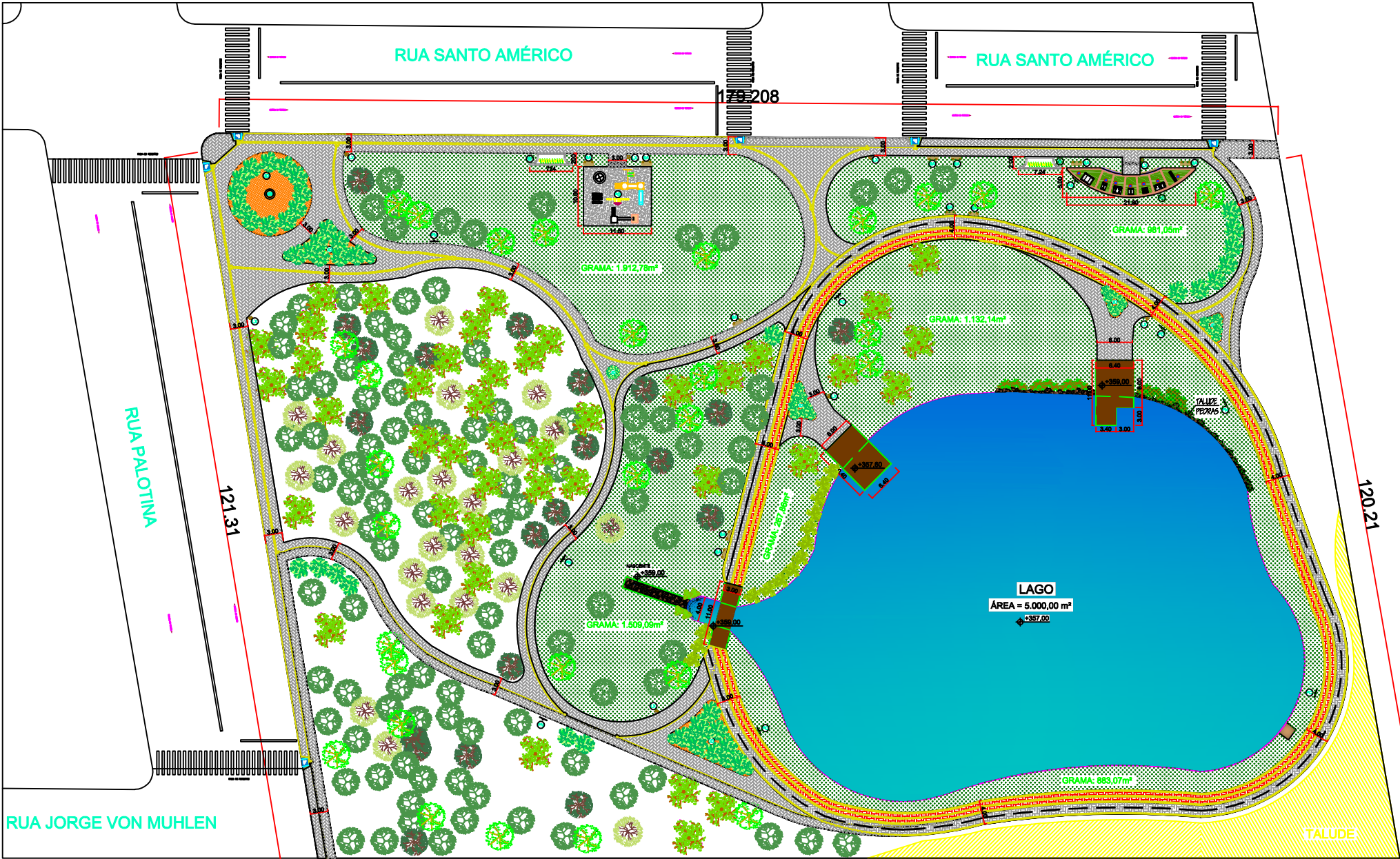
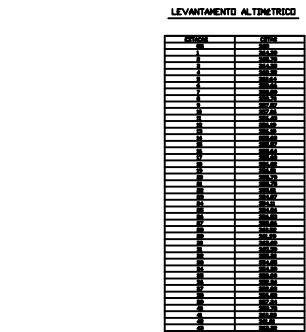
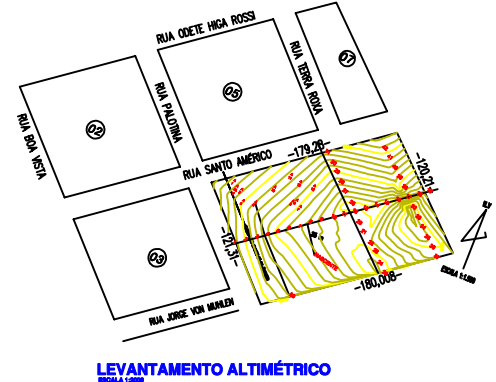
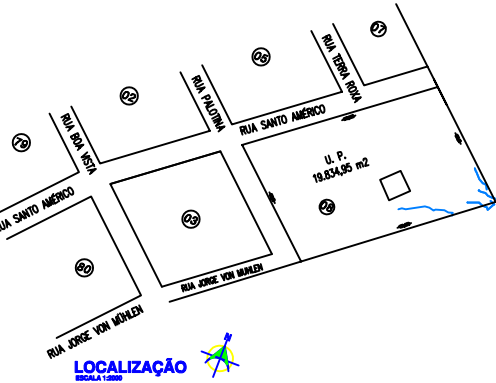
Pode-se assim concluir que a geração fotovoltaica pode ter um custo elevado no início do projeto, porém, com apenas seis anos de utilização do sistema, ele estará quitado. Passado esse tempo, a prefeitura municipal deixará de pagar as faturas em sua totalidade e apenas pagará o custo de disponibilidade e o imposto sobre a tarifa TUSD. A economia aproximada no período de 25 anos é R\$ 721.276,61.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica, A. (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília.
- ALMEIDA, T. (2018). Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Grid-Tie e Off-Grid para Alimentação de Energia do Laboratório Hidráulico do CCTA/UFCG. *PPGSA*.
- ANEEL, A. N. (2016 de Junho de 7). *Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica*. Acesso em 30 de Maio de 2019, disponível em http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2016_ResolucaoNormativa4142010.pdf/5b1de1cd-d36f-4009-852a-8def3eeb0a4e
- CRESESB. (2006). *Energia Solar Princípios e Aplicações*.
- Empresas, S. B. (13 de Setembro de 2019). *O que é o fluxo de caixa e como aplicá-lo no seu negócio*. Fonte: SEBRAE NACIONAL: <http://www.sebrae.com.br/>
- Energética, E. d. (s.d.). *EPE Empresa de Pesquisa Energética*. Acesso em 30 de Maio de 2019, disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>
- Energia, A. N. (15 de Agosto de 2018). *Micro e Minigeração Distribuídas*. Acesso em 30 de Maio de 2019, disponível em Agência Nacial de Energia : <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>
- FREEDOM. (s.d.). *Catálogo Técnico Bateria Estacionária*. Acesso em 30 de Maio de 2019, disponível em <https://drive.google.com/file/d/0B6sqyMXtUzqdZzJ3Zjg2NmNqOFU/view>
- INMETRO. (s.d.). *Lâmpada LED*. Acesso em 30 de Maio de 2019, disponível em <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>
- LORENZO, H. C. (2019). O Setor Elétrico Brasileiro: Reavaliando o Passado e Discutindo o Futuro.
- PINHO, J. T., & GALDINO, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar.
- SCHULZ, W. (2016). *Iluminação Pública*. CREA-PR.
- THOMAZINI, D., & ALBUQUERQUE, P. U. (2005). *Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Érica.
- VILLALVA, M. G., & GAZOLI, J. R. (2012). *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica.

ZAGO, C. A., WEISE, A. D., & HORNBURG, R. A. (2015). A Importância Do Estudo De Viabilidade Econômica De Projetos Nas Organizações Contemporâneas.

ANEXO A



IMPLANTAÇÃO
ESCALA 1:250

LEGENDA	
GRAMA	
PASEIO PAVIMENTADO	
JARDIM	
TALUDE	
PISO CONCRETO	
LAGO	
DECK MADEIRA	
BORDA LAGO - CONCRETO	
BANCO MADEIRA	
LIXEIRA	
PLACA CICLOVIA	
PLACA NOMENCLATURA RUA	
PLACA ACADÊMICA	
TODAS AS ÁRVORES SÃO EXISTENTES	
BICICLETÁRIO	
ACADÊMICA	
PLAY GROUND	
MAQUETE BANCARIA	

MERCANTE ENGENHARIA LTDA
FONE: (45)3277-1224 - E-MAIL: mercante.engenharia@gmail.com
TOLEDO - PARANÁ

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE NOVA SANTA ROSA
Avenida Tucunduba N° 833 CEP-85930-000
Fone (045) 3253 1144
Nova Santa Rosa - PR

PROJETO: RUA SANTO AMÉRICO ESQUINA COM RUA PALOTINA
ÁREA: 19.834,95 m²
NOVA SANTA ROSA

PROJETO: LOCALIZAÇÃO / IMPLANTAÇÃO / CURVA DE NÍVEIS

PROJETO: PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA SANTA ROSA

PROJETO: JOSE CARLOS SCHIAVINATO CREA:7211/D-PR

PROJETO: MARCELA

PROJETO: AGO / 2013

PROJETO: INDICADA

PROJETO: 1/5