



Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos
Produtivos**
Pólo: Camargo

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UM EDIFÍCIO MISTO NA
CIDADE DE MARAU/RS**

CAUDURO, Fernanda¹

DOS SANTOS, Ísis Portolan²

¹ M.Sc. Eng. Civil. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

² Dra. Eng. Civil. Professor(a) Orientadora. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

SUMARIO

Lista de figuras	4
Lista de Tabelas	5
Resumo	6
Abstract	7
1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivos	8
1.1.1 Objetivo geral	8
1.1.2 Objetivos específicos	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Características do sistema elétrico brasileiro	10
2.2 Sistema de geração de energia fotovoltaica	10
2.3 Células solares fotovoltaicas – tecnologias	11
2.4 Sistema de compensação de energia elétrica	12
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	14
3.1 Levantamento do local de estudo	14
3.2 Levantamento de dados meteorológicos	14
3.3 Levantamento da demanda de energia	14
3.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico	14
3.5 Orçamento do sistema fotovoltaico	15
3.6 Análise da viabilidade econômica	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 Caracterização do local de estudo	16
4.1.1 O município de Marau	16
4.1.2 Dados meteorológicos	16
4.1.3 Identificação da edificação	17
4.2 Coleta de dados	20
4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico	25
4.4 Orçamento do sistema fotovoltaico	26
4.5 Análise da viabilidade econômica	27
5. conclusões	29
6. Referências Bibliográficas	30

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Consumo de energia elétrica por região em 2007 Fonte: ANEEL (2008)</i>	10
<i>Figura 2: Sistema de Compensação de Energia Elétrica Fonte: adaptado de ANEEL 2014</i>	12
<i>Figura 3: Compensação do crédito de energia ativa excedente Fonte: ANEEL 2014</i>	13
<i>Figura 4: Mapa de localização do Município de Marau-RS Fonte: IBGE</i>	16
<i>Figura 5: Médias de radiação diária no período de 1 ano em Passo Fundo</i>	17
<i>Figura 6: Localização do edifício em relação a cidade Fonte: Software Google Earth</i>	18
<i>Figura 7: Imagem da fachada principal do edifício.</i>	19
<i>Figura 8: Planta de cobertura com área total: 350,20m²</i>	19
<i>Figura 9: Gráfico das médias de consumo de energia por metro quadrado</i>	21
<i>Figura 10: Gráfico das médias de consumo de energia por metro quadrado</i>	24
<i>Figura 11: Percentual de consumo de energia elétrica por uso da edificação</i>	24
<i>Figura 12: Gráfico da média por metro quadrado</i>	25
<i>Figura 14: Consumo elétrico detalhado com 39,5% de produção de energia.</i>	26

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Levantamento das demandas de energia elétrica comercial e uso comum.</i>	20
<i>Tabela 2: Estimativa das demandas de energia elétrica comercial</i>	21
<i>Tabela 3: Levantamento das demandas de energia elétrica residencial</i>	22
<i>Tabela 4: Estimativa das demandas de energia elétrica residencial</i>	22
<i>Tabela 5: Consumo mensal e estimado de todo o edifício</i>	23
<i>Tabela 6: Cálculo do VPL com variação do tempo de retorno</i>	28
<i>Tabela 7: Radiação solar global (kWh/m²/dia) no período de um ano. Fonte: EMBRAPA TRIGO, 2014</i>	31

RESUMO

O presente trabalho refere-se ao estudo do dimensionamento e viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico para geração de energia em um edifício misto (com unidades comerciais/residenciais) na cidade de Marau/RS. Foram coletados dados das demandas individuais das salas comerciais, áreas de uso comum e privativo por meio da fatura de energia elétrica. Após a tabulação dos dados coletados, e de posse da demanda mensal de energia, foi feito o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para atender a demanda do mesmo adequando-o à edificação. Feita análise econômica da viabilidade de instalação e a estimativa do período de retorno do investimento concluiu-se que o investimento é viável economicamente quando o período de retorno é igual ou superior a 10 anos.

Palavras-chave: eficiência energética, auto geração de energia, sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

This paper refers to the study of sizing and economical viability of a photovoltaic installation for energy production in a mixed building (commercial / residential units) in the city of Marau / RS. Data were collected on individual demands of business rooms, common areas and private use through electricity bills. After tabulating the the data collected, and possession of monthly energy demand, the design of a photovoltaic system was designed to meet the demands of even adapting it to the building. Made economic analysis of the viability and installation estimated investment return period it was concluded that the investment is economically viable when the payback period is equal to or greater than 10 years.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia solar fotovoltaica e sua utilização estão avançando, principalmente em países desenvolvidos, nos quais recebem forte incentivo governamental nas áreas financeiras, tecnológicas e de conhecimento.

A demanda energética no Brasil poderia ser completamente atendida pela energia solar, já que o país possui elevado índice de irradiação solar, tornando assim parte matriz elétrica nacional.

A matriz energética brasileira é privilegiada, por ter um grande percentual de energia elétrica gerada por hidroelétricas, que é uma fonte renovável de energia, mas é prejudicada pela falta de diversificação, ofertando pouco espaço para energias limpas em seu uso.

A energia fotovoltaica é uma fonte de energia alternativa, é renovável e não gera poluição durante a sua operação assim não contribuindo com o aquecimento global.

A utilização desta energia como mini geração pelo consumidor final, permite além da economia nos gastos com energia, participar de um passo para a consolidação nas energias renováveis Brasileiras.

Este trabalho tem como objetivo dimensionamento e análise de viabilidade econômica para instalação de um sistema fotovoltaico em um edifício misto na cidade de Marau/RS.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O principal objeto desse estudo pretende verificar a viabilidade da implantação de um sistema solar fotovoltaico em um edifício de uso misto, com o sistema interligado à rede elétrica local.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho de pesquisa é:

- Fazer o levantamento da demanda de energia por setor do edifício, verificando a demanda da área comercial, residencial e de uso comum;
- Dimensionar um sistema de geração de energia fotovoltaica que atenda a demanda do edifício e esteja integrado ao envelope da edificação;
- Verificar a viabilidade econômica da instalação do sistema fotovoltaico, considerando o valor de aquisição do sistema e os gastos com energia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, atualmente, constitui uma tendência em diversos países, inclusive com a concessão de incentivos à geração distribuída de pequeno porte.

O Sol é uma fonte abundante e renovável de energia. O total de energia vinda do Sol que incide sobre a superfície terrestre, em 24 horas, é superior à demanda energética mundial para um ano inteiro. A energia solar pode ser utilizada para, por exemplo, aquecer água ou ser convertida diretamente em eletricidade. Esta última aplicação está bastante difundida em vários países, como Alemanha, Espanha, Japão e Estados Unidos. (LAMBERTS *et al*, 2010)

Segundo LAMBERTS (2010) a conversão de energia solar diretamente em eletricidade ocorre devido ao chamado “efeito fotovoltaico” e é realizada pelos dispositivos fotovoltaicos (FV). Essa conversão ocorre de modo silencioso, sem emissão de gases, sendo desnecessária a assistência de operador para o sistema. É importante ressaltar que somente a componente luminosa de energia solar (fótons) é útil para a conversão fotovoltaica.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma das variáveis para definir um país como desenvolvido é a facilidade de acesso da população aos serviços de infraestrutura, como saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia. A energia é o fator determinante para o desenvolvimento econômico e social ao fornecer apoio mecânico, térmico e elétrico às ações humanas.

A disponibilidade energética deveria se manter compatível com o acentuado aumento do consumo provocado por um novo ciclo de crescimento econômico, observado principalmente nos países em desenvolvimento. Entretanto, as fontes tradicionais teriam que ser substituídas por recursos menos agressivos ao meio ambiente. Além disso, os consumidores seriam induzidos a substituir energéticos mais poluentes por outros de menor impacto ambiental e a aderir a práticas mais eficientes, por meio das quais é possível obter o mesmo resultado utilizando menor quantidade de energia (ANEEL, 2008).

A ANEEL (2014) também comenta que os estímulos à geração distribuída justificam-se pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico: a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a redução no carregamento das redes; a redução de perdas e a diversificação da matriz energética, entre outros.

Ainda segundo a ANEEL (2014) os debates acerca da geração de energia elétrica revestem-se de maior relevância na medida em que, ao longo dos anos, a evolução demográfica e o crescimento da atividade econômica têm resultado num constante aumento do consumo de energia elétrica no País.

Nesse contexto estão inseridas as pequenas centrais geradoras (micro e minigeração distribuída) de energia como alternativa que respondam à necessidade de expansão e diversificação do parque gerador elétrico do país.

2.1 Características do sistema elétrico brasileiro

A utilização de energia é um fator essencial para desenvolvimento do país. No Brasil, a geração de energia elétrica é muito próxima ao consumo o que gera quedas frequentes no sistema de fornecimento de energia elétrica em determinadas regiões do país.

ANEEL (2014) apresenta uma visão panorâmica acerca das condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como sobre a dinâmica de funcionamento do sistema de compensação de energia elétrica. A figura 1 apresenta o levantamento realizado em 2007 sobre o consumo elétrico por região no Brasil.

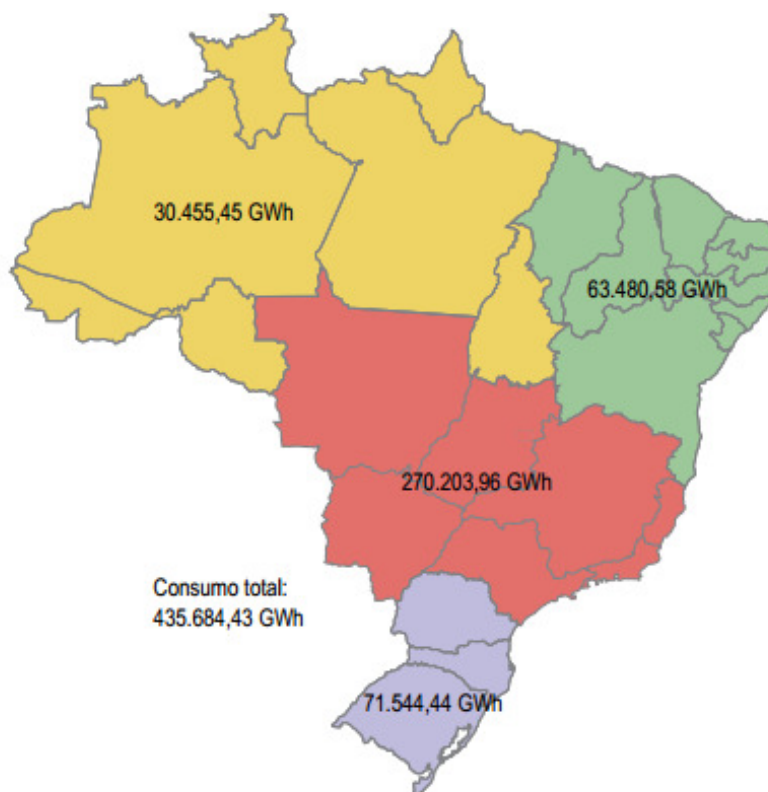


Figura 1: Consumo de energia elétrica por região em 2007 Fonte: ANEEL (2008)

2.2 Sistema de geração de energia fotovoltaica

De acordo com ANEEL, 2014 os estímulos à geração distribuída (geralmente localizada próxima aos centros de carga) justificam-se pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico: a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a redução no carregamento das redes; a redução de perdas e a diversificação da matriz energética, entre outros.

Segundo SALAMONI, 2004 a geração de energia fotovoltaica nada mais é do que a instalação de painéis fotovoltaicos que servem para absorver a irradiação solar, através de células fotovoltaicas interligadas que formarão um módulo, sendo este ligado a um inversor (converte a energia gerada na frequência e tensão da rede), desta forma convertendo a energia do sol em energia elétrica por meio de excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar. A energia gerada e transformada terá como armazenamento a própria rede pública ou células armazenadoras (baterias).

A utilização da energia solar fotovoltaica está avançando no mundo inteiro, principalmente nos países desenvolvidos, nos quais há fortes incentivos financeiros, tanto para a instalação dos sistemas fotovoltaicos quanto para o desenvolvimento científico, tecnológico e para a divulgação dessa tecnologia. Desde 2003, por exemplo, a produção mundial foi de 12 GW em módulos fotovoltaicos, equivalente a praticamente a potência da Itaipú, a maior hidrelétrica brasileira. Entre 2008 e 2009, apesar da crise financeira mundial, o mercado revelou um aumento de 56%. (SALAMONI, 2004)

Painéis solares fotovoltaicos são dispositivos que convertem a energia da luz do Sol em energia elétrica. Os painéis solares fotovoltaicos são compostos por células solares. Estas células são geralmente chamadas de células fotovoltaicas porque criam uma diferença de potencial elétrico por ação da luz. As células solares contam com o efeito fotovoltaico para absorver a energia do sol e fazem a corrente elétrica fluir entre duas camadas com cargas opostas. Várias células fotovoltaicas são ligadas em série para formarem um painel solar fotovoltaico. (ANEEL, 2014) Durante a utilização essas células fotovoltaicas convertem a irradiação solar em energia elétrica sem degradar o meio ambiente.

2.3 Células solares fotovoltaicas – tecnologias

O efeito fotovoltaico ocorre nas células solares fotovoltaicas, que são dispositivos construídos com materiais semicondutores. As células fotovoltaicas produzidas comercialmente, destinadas a aplicações terrestres, utilizam principalmente duas tecnologias: uma baseada no silício cristalino na forma de finas fatias de silício (Si), com espessura entre 0,18 e 0,25mm, e outra baseada em filmes finos, que consiste na deposição de películas de diferentes materiais sobre uma base ou substrato

Essas duas tecnologias, do silício cristalino e dos filmes finos, utilizam os seguintes tipos de materiais semicondutores:

- silício cristalino:
 - silício monocristalino (m-Si)
 - silício policristalino (p-Si)
- filmes finos:
 - silício amorfo (a-Si)
 - telureto de cádmio (CdTe)
 - disseleneto de cobre e índio (CuInSe₂) ou CIS
 - disseleneto de cobre, índio e gálio (CuInGaSe₂) ou CIGS

- silício microcristalino ($\mu\text{c-Si}$)

As células fotovoltaicas possuem dois terminais que apresentam tensão elétrica em torno de 0,6V, quando as mesmas são expostas à luz solar. Salvo poucas aplicações não é comum utilizar-se uma única célula para fornecer energia elétrica, sendo mais usual a utilização de conjuntos de células para alimentar determinado consumidor (RÜTHER, 2004).

2.4 Sistema de compensação de energia elétrica

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL em 2012 divulgou a Resolução Normativa nº 482, estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, assim como criando o sistema de compensação de energia elétrica. Essa resolução normativa tem como objetivo principal incentivar a instalação de fontes de energia renováveis pelo consumidor amenizando o impacto no fornecimento de energia pelo Setor Elétrico. A figura 2 apresenta o sistema de geração de energia fotovoltaica e a 3 apresenta o sistema de compensação de energia elétrica.

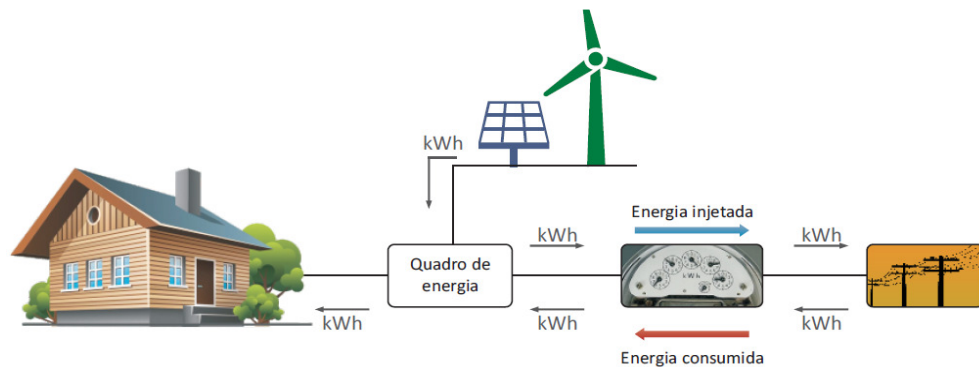


Figura 2: Sistema de Compensação de Energia Elétrica Fonte: adaptado de ANEEL 2014

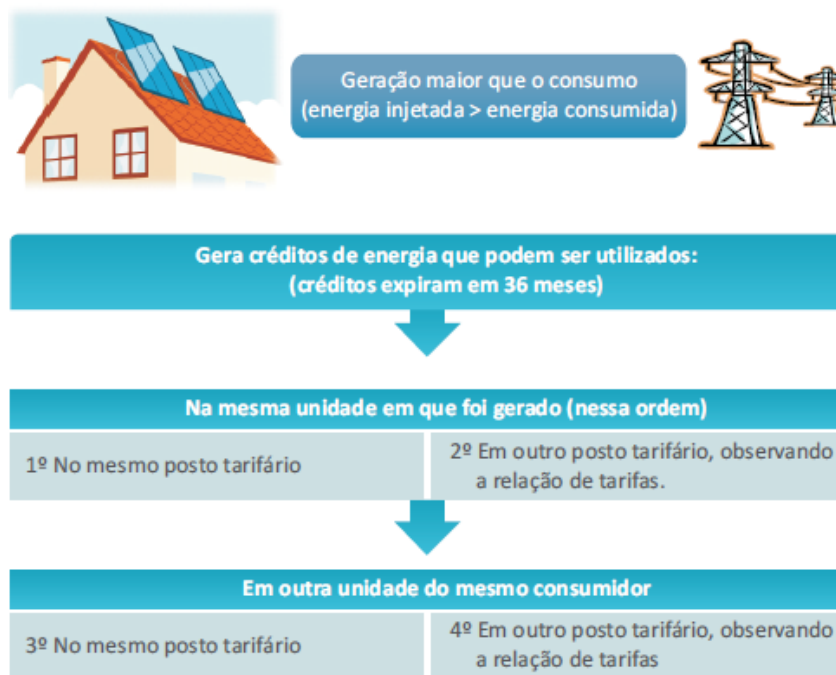


Figura 3: Compensação do crédito de energia ativa excedente Fonte: ANEEL 2014

As instalações fotovoltaicas feitas de modo conectado à rede funcionam como miniusinas fornecendo energia à rede pública. Esse sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora. Dessa forma, a energia elétrica gerada por essas unidades consumidoras é cedida à distribuidora local, sendo posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade consumidora. (ANEEL, 2014)

Em regra, portanto, o consumo de energia elétrica a ser faturado corresponde à diferença entre a energia consumida e a injetada. E, havendo excedente de energia injetada que não tenha sido compensada no ciclo de faturamento corrente, a distribuidora utilizará essa diferença positiva para abater o consumo medido em outros postos tarifários, outras unidades consumidoras de mesmo titular ou nos meses subsequentes, em até 36 meses.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O desenvolvimento do trabalho contará com o levantamento do local de estudo, dados meteorológicos, demanda de energia, dimensionamento do sistema fotovoltaico, orçamento e viabilidade econômica.

3.1 Levantamento do local de estudo

O presente trabalho consiste em um levantamento da demanda de energia elétrica e o dimensionamento e análise de viabilidade econômica para instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica. Para esta análise foram levantados dados do município, dados do edifício Jose Posser Sobrinho na cidade de Marau-RS e dados meteorológicos.

3.2 Levantamento de dados meteorológicos

A região de Passo Fundo conta com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) que possui a estação automática de Passo Fundo (INMET³). Esta empresa fornece dados regionais sobre o clima da região. Dos dados coletados pela Embrapa foram utilizados os dados de irradiação solar.

3.3 Levantamento da demanda de energia

Inicialmente foram solicitados aos ocupantes do edifício a fatura de energia elétrica. As faturas de energia que não foram fornecidas pelas unidades, foi feita a estimativa de consumo.

Para o cálculo da demanda das salas comerciais e dos apartamentos desocupados foi feita a média do consumo anual por metro quadrado. De posse desse dado, esse foi multiplicado pela área da respectiva sala ou apartamento gerando assim um valor estimado da demanda e extrapoladas para todas as unidades.

3.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Após o levantamento da demanda de energia foi feito o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Para esse dimensionamento foi utilizado a equação 1: potência instalada dos módulos fotovoltaicos.

$$Pot = \frac{E}{G_{paa} * R} \quad \text{Equação 1}$$

³ Instituto Nacional de Meteorologia: Órgão governamental com informações completas sobre o tempo e o clima em todo Brasil. Estação: 83914 Passo Fundo

Onde:

Pot = Potência instalada dos módulos fotovoltaicos (comumente representada por kWp, mas que na realidade corresponde a kWp/kWp, ou seja, potência atingida a partir da radiação incidente no módulo);

E = Energia gerada pelo sistema (kWh/dia);

G_{poa} = Média mensal do total diário da irradiação solar incidente no plano do arranjo fotovoltaico (kWh/m²/dia), derivado de Global irradiance in plane of array;

R = Rendimento do sistema, inversor e conexões (comumente utilizado o valor de 80%).

3.5 Orçamento do sistema fotovoltaico

Com o levantamento da demanda de energia elétrica do edifício e o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi orçado de acordo Santos (2014) é de R\$ 7,12 o custo do Wp instalado.

3.6 Análise da viabilidade econômica

De posse das características e do orçamento do sistema fotovoltaico pode ser feita a análise da viabilidade econômica. Para essa análise foi considerado a taxa de juros SELIC⁴ para o quarto semestre do ano de 2014 que foi de 11,25%.

A viabilidade econômica foi analisada através do Valor Presente Líquido (VPL). Inicialmente foi calculado o tempo de retorno do investimento através da equação 2, onde PBS é o tempo de retorno, A é o custo de implantação do empreendimento, e I é custo evitado ou benefício.

$$PBS = \frac{A}{I} \quad \text{Equação 2}$$

Após o cálculo do tempo de retorno foi calculado o Fator de Valor Presente (FVP), que leva em consideração a taxa de juros e a durabilidade do sistema. O cálculo foi executado através da equação 3 e o cálculo da viabilidade foi através da equação 4.

$$FVP(i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad \text{Equação 3}$$

$$VPL = -I + A * FVP(i, n) \quad \text{Equação 4}$$

⁴ Sistema Especial de Liquidação e de Custódia disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br>

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após definida a metodologia de pesquisa, foram levantados os dados para execução do trabalho.

4.1 Caracterização do local de estudo

4.1.1 O município de Marau

O município de Marau está localizado no planalto médio do estado do Rio Grande do Sul. Possui, segundo o (IBGE, 2014), uma população de 39.693 habitantes e área da unidade territorial 649,300 km². A altitude média do município é 650 m acima do nível do mar e as características climáticas são de clima temperado com temperatura média de 18^o C. O município encontra-se nas coordenadas 28°27'4.45"S de latitude e 52°11'59.84"O de longitude⁵. A figura 4 apresenta a localização do município.



Figura 4: Mapa de localização do Município de Marau-RS Fonte: IBGE

4.1.2 Dados meteorológicos

De acordos com os dados⁶ fornecidos pela EMBRAPA, a figura 5 apresenta em forma de gráfico a radiação média em kWh/m²/dia para a cidade de Passo Fundo no período de 01 de maio de 2013 a 30 de abril de 2014. A tabela original se encontra no Anexo 1.

⁵ Dados disponíveis em: www.pmmarau.com.br

⁶ Dados disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/relatorioMet.php>

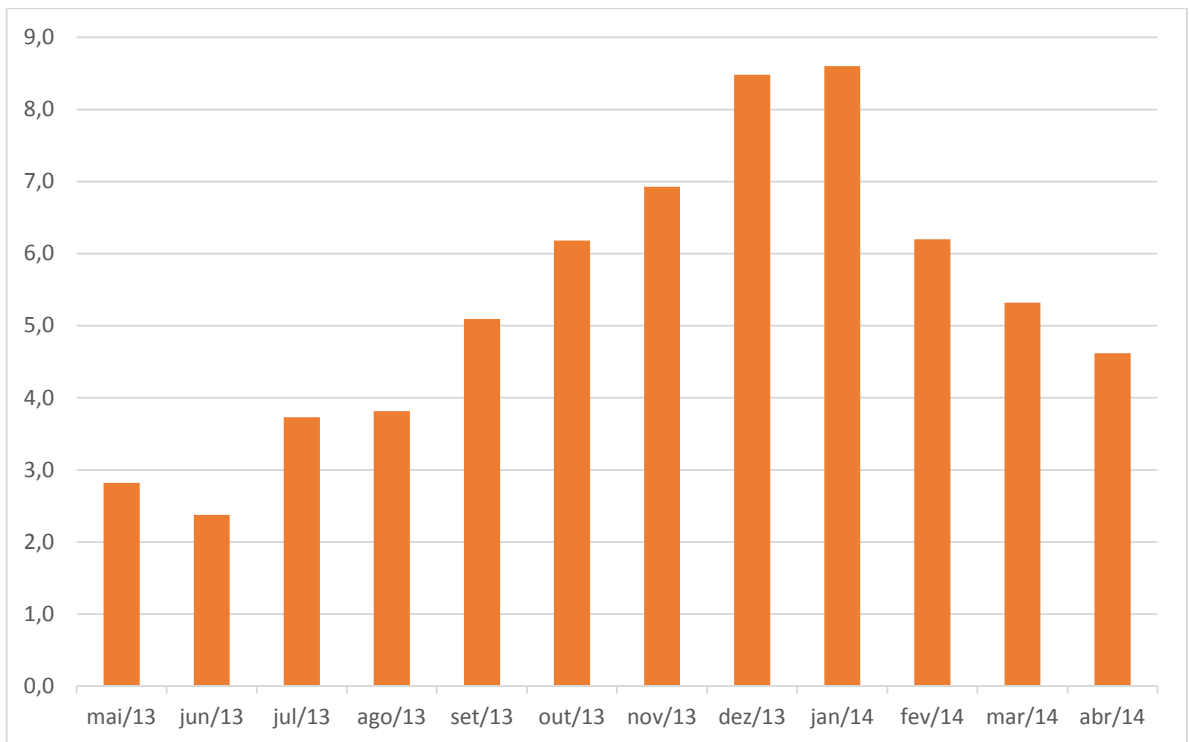


Figura 5: Médias de radiação diária no período de 1 ano em Passo Fundo

Com as informações de radiação e insolação foram calculadas as médias. Desse cálculo obteve-se para a radiação uma média de 5,3 kWh/m²/dia.

4.1.3 Identificação da edificação

A coleta de dados foi realizada por meio da fatura de energia elétrica individual de cada sala comercial e apartamento assim como das áreas de uso comum. Algumas salas comerciais e apartamentos encontravam-se desocupados, o que impediu o acesso a informação de demanda. Nestes casos, a demanda de energia foi estimada calculando-se por meio da média das demandas por setor levando em consideração a área de cada sala comercial ou apartamento. A figura 6 é a imagem da localização do edifício.

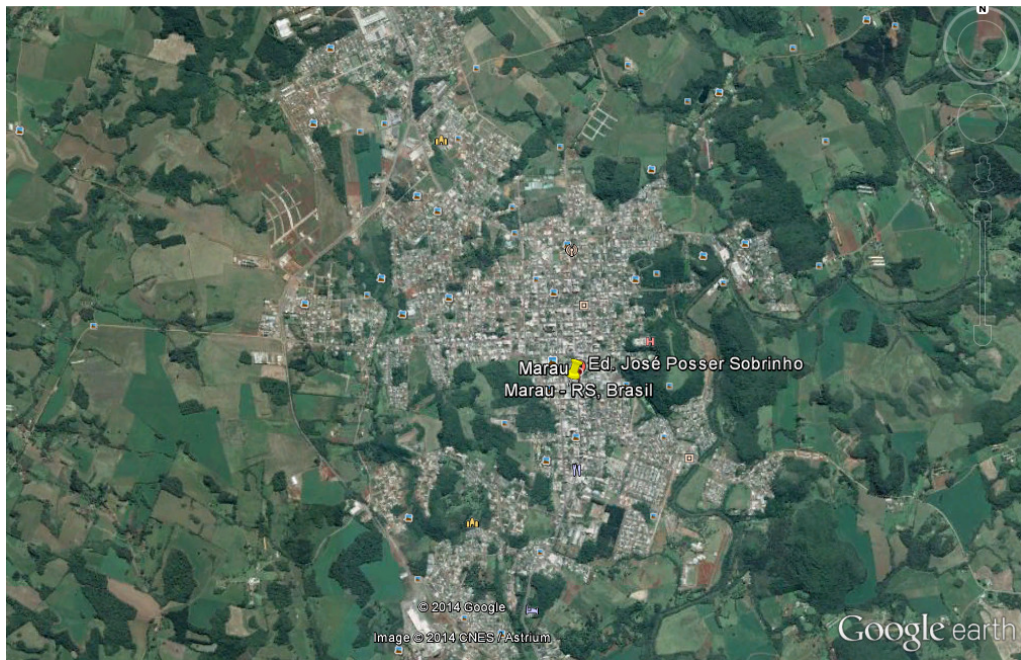


Figura 6: Localização do edifício em relação a cidade Fonte: Software Google Earth

O edifício analisado possui 5700,15 m² de área construída divididos em área de uso comum, residencial e comercial. Foi considerada área de uso comum as garagens (subsolo e salão de festas na cobertura), circulação da área comercial (térreo, segundo e terceiro pavimentos) e circulação da área residencial (do quarto pavimento ao nono). A figura 7 é a imagem da fachada principal do edifício.



Figura 7: Imagem da fachada principal do edifício.

O edifício possui 2073,15 m² de área comercial, 1874,88 m² de área residencial e 1752,12m² de área de uso comum. A figuras 8 é a imagem da planta de cobertura do edifício. A planta foi fornecida pela construtora.

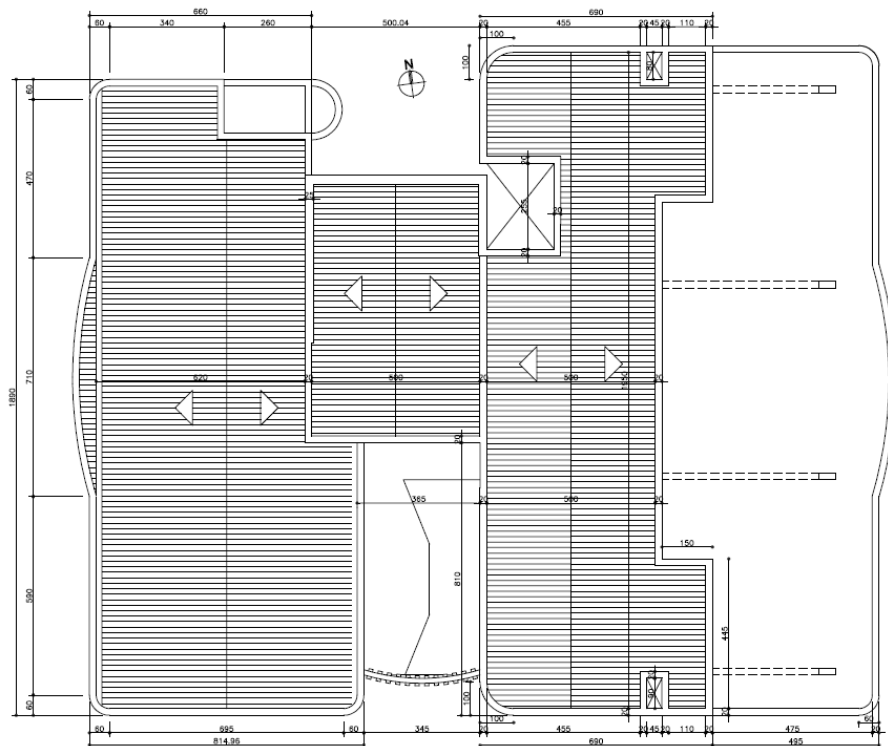


Figura 8: Planta de cobertura com área total: 350,20m²

4.2 Coleta de dados

De posse das faturas de energia elétrica individual foram identificados os dados dos consumos das áreas comerciais e de uso comum que se encontram na tabela 1. Dados que se encontram vazios foram calculados conforme apresentados no capítulo anterior. Os proprietários das salas 201, 202, 203 e 204 não forneceram as faturas de energia, logo, a demanda foi estimada.

Tabela 1: Levantamento das demandas de energia elétrica comercial e uso comum.

Ocupação	Consumo mensal (kWh/mês)												Consumo anual
Sala comercial	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/13	nov/13	dez/13	
102	3275	4594	3179	2546	1669	1537	1666	1765	2132	1382	1979	2876	2383,33
103	197	195	182	168	177	163	175	145	166	133	143	166	167,50
105	450	471	280	233	117	156	222	118	101	113	110	251	218,50
106	507	529	368	325	297	318	329	278	411	415	391	349	376,42
107	156	222	64	47	78	157	175	173	163	79	64	68	120,50
205	248	452	268	171	118	120	150	143	151	142	205	267	202,92
206	100	178	100	79	62	106	89	85	81	64	59	65	89,00
207	75	220	93	78	50	67	56	90	57	96	77	105	88,67
208	300	395	313	300	287	319	352	346	378	377	334	231	327,67
209	100	178	100	79	62	106	89	85	81	64	59	65	89,00
211	183	300	189	136	89	137	138	112	131	113	184	260	164,33
214	40	103	66	45	36	30	34	30	30	30	40	40	43,67
304	3481	4050	3033	2715	2119	1916	2145	1986	2303	2292	3052	3184	2689,67
Área de uso comum	909	1037	953	995	929	974	1332	982	1001	1103	1121	971	1025,58

A tabela 2 apresenta os dados extrapolados para as unidades que não forneceram as faturas de energia elétrica. A figura 9 apresenta a média de consumo por área do setor comercial da edificação.

Tabela 2: Estimativa das demandas de energia elétrica comercial

Ocupação	
Sala comercial	Média Consumo mensal (kWh/mês)
101	3181,65
104	377,86
201	248,09
202	245,96
203	245,96
204	248,33
210	236,74
212	259,74
301	188,61

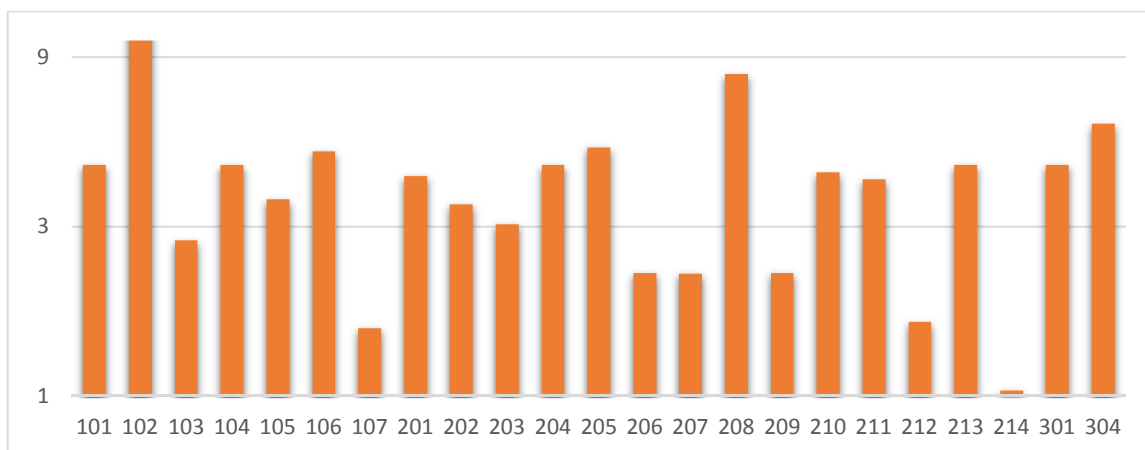


Figura 9: Gráfico das médias de consumo de energia por metro quadrado

Pode-se perceber na figura 9 que a média de consumo de energia por área é bastante variável mesmo observando que todas as salas comerciais apresentam basicamente os mesmos equipamentos.

No levantamento da demanda os apartamentos que se encontram desocupados ou que os proprietários não forneceram as faturas de energia, estas foram calculadas conforme descrito no capítulo anterior. Na tabela 3 são apresentados os dados de consumo residencial.

Tabela 3: Levantamento das demandas de energia elétrica residencial

Ocupação	Consumo mensal (kWh/mês)												Consumo anual
Aptos	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/13	nov/13	dez/13	
401	111	113	105	107	104	102	114	109	104	82	64	61	98,00
402	157	120	142	143	147	132	160	177	143	139	147	153	146,67
403	262	310	275	253	255	238	291	265	294	271	289	231	269,50
404	151	317	152	127	147	191	245	130	147	148	149	128	169,33
501	351	387	297	253	278	333	422	247	272	250	221	241	296,00
504	80	138	93	116	63	73	106	93	101	97	106	93	96,58
601	118	239	220	184	150	184	241	178	185	185	248	202	194,50
604	208	234	118	159	209	265	291	243	196	208	205	157	207,75
701	176	304	171	140	132	266	290	208	201	166	147	133	194,50
702	153	157	148	140	158	141	210	180	158	171	178	185	164,92
704	59	151	88	79	60	68	93	80	97	83	75	90	85,25
801	133	155	137	128	131	265	243	186	187	205	162	135	172,25
803	204	236	212	197	227	307	316	282	244	262	225	215	243,92
901	126	144	128	129	125	124	108	106	106	141	141	118	124,67
903	278	412	123	114	102	154	183	133	104	177	211	248	186,58

A tabela 4 apresenta dos dados extrapolados para os apartamentos que não forneceram as faturas de energia elétrica.

Tabela 4: Estimativa das demandas de energia elétrica residencial

Ocupação	Média Consumo mensal (kWh/mês)
Aptos	
502	229,26
503	145,92
602	229,26
603	145,92
703	145,92
802	229,26
804	110,05
902	229,26
904	110,05

A tabela 5 apresenta os dados das demandas fornecidas e estimadas para todo o edifício.

Tabela 5: Consumo mensal e estimado de todo o edifício

Ocupação	Consumo mensal (kWh/mês)												Consumo médio mensal
Sala comercial	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/13	nov/13	dez/13	
101	não forneceu												3181,65
102	3275	4594	3179	2546	1669	1537	1666	1765	2132	1382	1979	2876	2383,33
103	197	195	182	168	177	163	175	145	166	133	143	166	167,50
104	não forneceu												377,86
105	450	471	280	233	117	156	222	118	101	113	110	251	218,50
106	507	529	368	325	297	318	329	278	411	415	391	349	376,42
107	156	222	64	47	78	157	175	173	163	79	64	68	120,50
201	não forneceu												248,09
202	não forneceu												245,96
203	não forneceu												245,96
204	não forneceu												248,33
205	248	452	268	171	118	120	150	143	151	142	205	267	202,92
206	100	178	100	79	62	106	89	85	81	64	59	65	89,00
207	75	220	93	78	50	67	56	90	57	96	77	105	88,67
208	300	395	313	300	287	319	352	346	378	377	334	231	327,67
209	100	178	100	79	62	106	89	85	81	64	59	65	89,00
210	não forneceu												236,74
211	183	300	189	136	89	137	138	112	131	113	184	260	164,33
212	não forneceu												259,74
213	30	30	30	30	30	30	30	39	35	30	35	35	245,96
214	40	103	66	45	36	30	34	30	30	30	40	40	43,67
301	não forneceu												248,09
304	3481	4050	3033	2715	2119	1916	2145	1986	2303	2292	3052	3184	2689,67
Área de uso comum	909	1037	953	995	929	974	1332	982	1001	1103	1121	971	1025,58
Aptos													
401	111	113	105	107	104	102	114	109	104	82	64	61	98,00
402	157	120	142	143	147	132	160	177	143	139	147	153	146,67
403	262	310	275	253	255	238	291	265	294	271	289	231	269,50
404	151	317	152	127	147	191	245	130	147	148	149	128	169,33
501	351	387	297	253	278	333	422	247	272	250	221	241	296,00
502	não forneceu												229,26
503	não forneceu												145,92
504	80	138	93	116	63	73	106	93	101	97	106	93	96,58
601	118	239	220	184	150	184	241	178	185	185	248	202	194,50
602	não forneceu												229,26
603	não forneceu												145,92
604	208	234	118	159	209	265	291	243	196	208	205	157	207,75
701	176	304	171	140	132	266	290	208	201	166	147	133	194,50
702	153	157	148	140	158	141	210	180	158	171	178	185	164,92
703	não forneceu												145,92
704	59	151	88	79	60	68	93	80	97	83	75	90	85,25
801	133	155	137	128	131	265	243	186	187	205	162	135	172,25
802	não forneceu												229,26
803	204	236	212	197	227	307	316	282	244	262	225	215	243,92
804	não forneceu												110,05
901	126	144	128	129	125	124	108	106	106	141	141	118	124,67
902	não forneceu												229,26
903	278	412	123	114	102	154	183	133	104	177	211	248	186,58
904	não forneceu												110,05

A figura 10 apresenta a média de consumo por área do setor residencial.

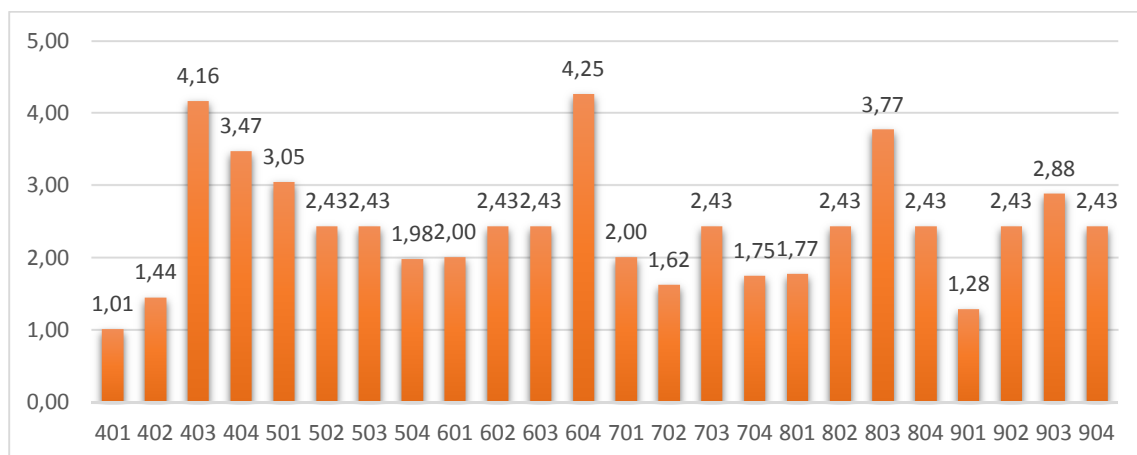


Figura 10: Gráfico das médias de consumo de energia por metro quadrado

A figura 11 apresenta o percentual de energia consumida em cada setor do edifício. Observa-se que a maior demanda de energia está no setor comercial seguido pelo residencial.

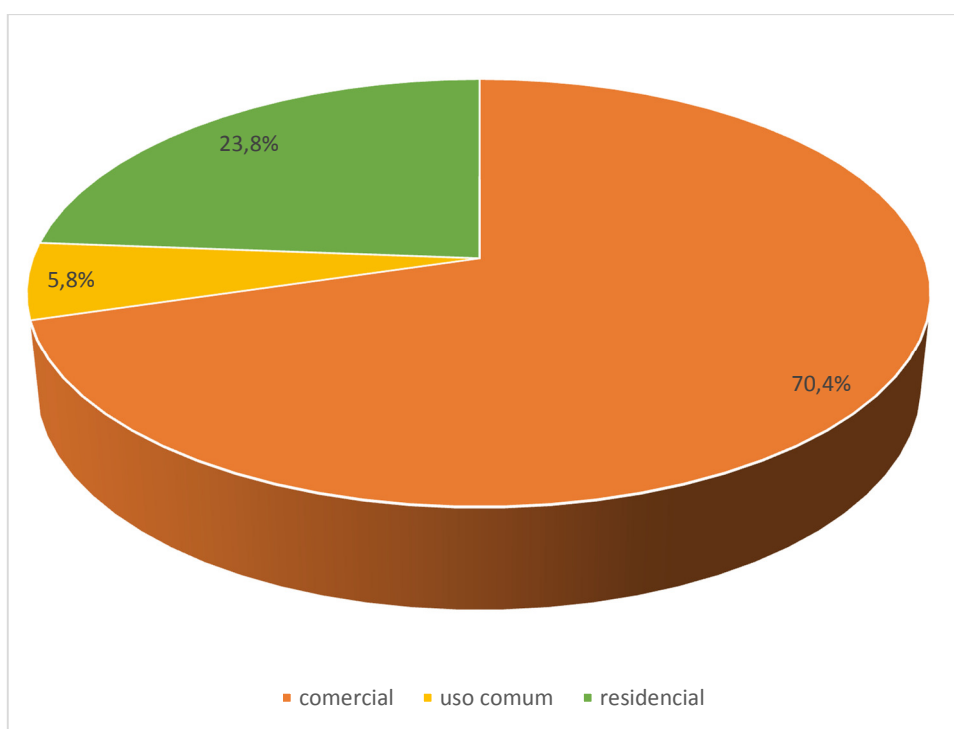


Figura 11: Percentual de consumo de energia elétrica por uso da edificação

Pode-se observar na figura 12 a média de consumo de kWh por metro quadrado em cada setor da edificação. Da mesma forma que a figura anterior, o setor comercial apresenta maior consumo médio de energia seguido pelo residencial.

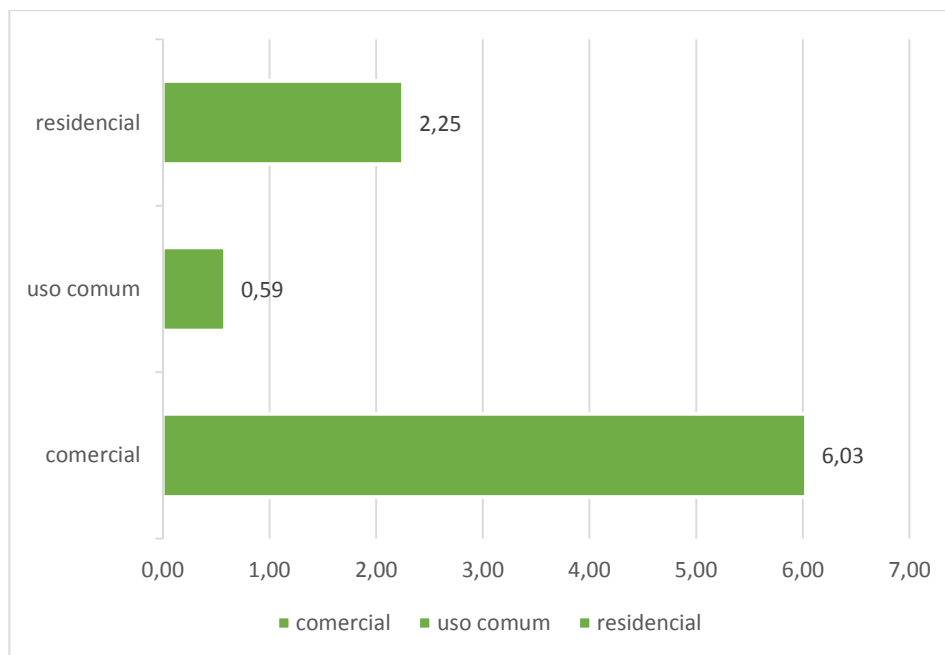


Figura 12: Gráfico da média por metro quadrado

4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

De posse das demandas de energia para o edifício foi dimensionado o sistema fotovoltaico para posterior orçamento e estudo da viabilidade econômica.

Para o cálculo do sistema de geração de energia foi utilizada a demanda de energia estimada do edifício, a tarifa de energia fornecida pela concessionária de energia⁷ e dados de média de radiação solar global conforme dados da EMBRAPA para a cidade de Passo Fundo no período de 01 de maio de 2013 a 30 de abril de 2014.

O consumo médio mensal de energia do edifício é de 17750,48 kWh. No cálculo do dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaico foi considerado 5,3kWh/m² de radiação por dia e geração de 100% da energia demandada com uma tarifa com impostos de R\$ 0,52 por kwh.

Esse valor foi calculado para abastecer 100% da demanda elétrica descontando um consumo da rede elétrica que corresponde ao custo de disponibilidade. O custo de disponibilidade é equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Considerando a utilização de módulos de silício poli cristalino a capacidade do sistema foi de 139,55 kWp para geração de 100% de energia demandada.

$$Pot = \frac{E}{G_{poa} * R} \quad \text{Equação 1}$$

⁷ Concessionária de energia na cidade de Marau é a RGE – Rio Grande Energia

$$Pot = \frac{17750,48/30}{5,3*0,80}$$

$$Pot = 145,02 \text{ kWp}$$

4.4 Orçamento do sistema fotovoltaico

Com o levantamento da demanda de energia elétrica do edifício e o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi orçado de acordo Santos (2014) é de R\$ 7,12 o custo do Wp instalado.

Levando em consideração a edificação, percebeu-se que a área disponível para instalação do sistema de geração de energia era de apenas 350,20m². De posse dessa informação foi necessário recalcular o sistema que melhor se adeque a cobertura da edificação. Após várias simulações percebeu-se que a cobertura do edifício comporta a instalação de apenas 39,50% da demanda de energia. A figura 14 simula como ficaria o consumo elétrico com um sistema conectado à rede com geração de 39,50% da demanda de energia do edifício. A área cinza mostra a estimativa de quanta eletricidade é fornecida pela rede elétrica, enquanto a área amarela mostra quanto seria gerado pelo sistema fotovoltaico.

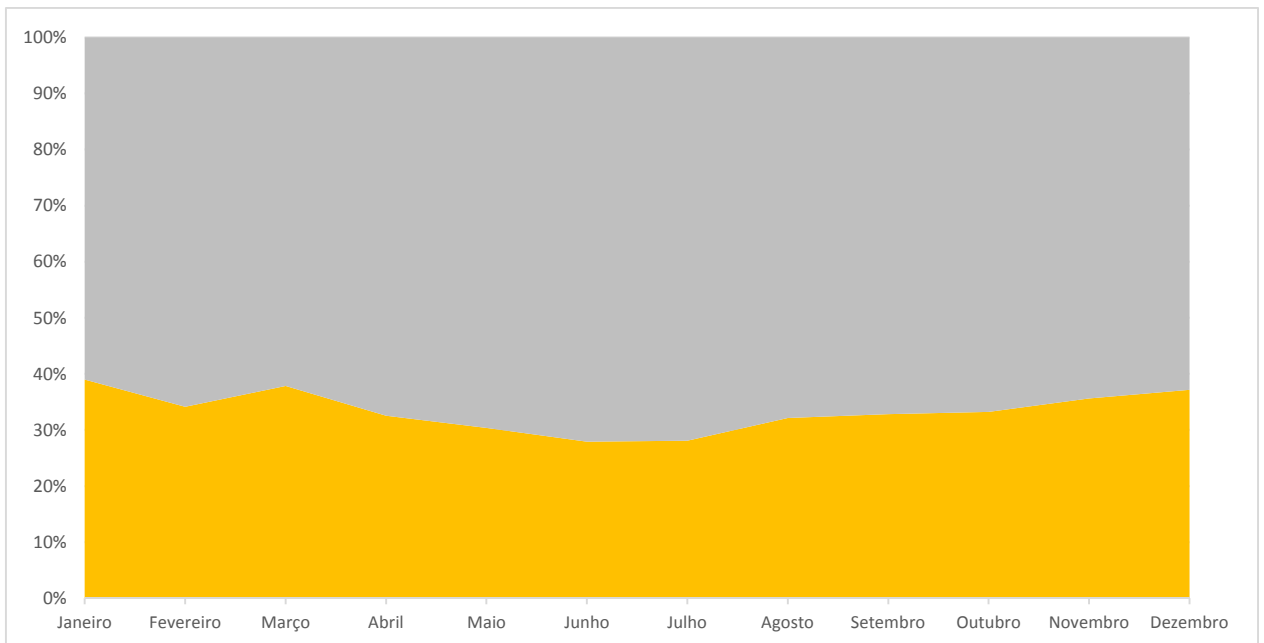


Figura 14: Consumo elétrico detalhado com 39,5% de produção de energia.

O cálculo da energia solar a ser gerada foi de 7,01 kWh/mês, o que gera um valor anual economizado R\$ 70.877,40 (R\$/ano) e o tamanho aproximado do sistema

fotovoltaico foi de 55,12kWp. De posse dessas informações foi orçado do sistema para avaliação da viabilidade econômica de instalação do sistema de geração de energia.

O orçamento do sistema, segundo Santos (2014) é de R\$ 7,12 o custo do Wp instalado. Desta forma, o custo para gerar 39,50% da energia demandada ficaria em R\$ 392.464,60.

4.5 Análise da viabilidade econômica

De posse das características e do orçamento do sistema fotovoltaico pode ser feita a análise da viabilidade econômica. Para essa análise foi considerado a taxa de juros SELIC⁸ para o quarto semestre do ano de 2014 que foi de 11,25%.

A viabilidade econômica foi analisada através do Valor Presente Líquido (VPL). Para esse cálculo foi levado em consideração o valor do investimento que foi de R\$ 392.464,60, a taxa de juro de 11,25% e o cálculo da estimativa da economia de energia elétrica ofertada pela concessionária que foi de R\$ 70.877,40.

O retorno do investimento calculado foi de 5,53 anos. Calculando-se o FVP que leva em consideração a taxa de juro e o tempo de retorno chegou-se a um valor de 3,963123. De posse dessas informações foi calculado o VPL (Valor presente líquido) que resultou num valor de -111568,39.

$$PBS = \frac{A}{i} \quad \text{Equação 2}$$

$$PBS = \frac{392464,60}{70877,40}$$

$$PBS = 5,53 \text{ anos}$$

$$FVP(i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad \text{Equação 3}$$

$$FVP(i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1 + 11,25)^{5,53} - 1}{11,25 * (1 + 11,25)^{5,53}}$$

$$FVP(i, n) = 3,963123$$

⁸ Sistema Especial de Liquidação e de Custódia disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br>

$$VPL = -I + A.FVP(i, n) \quad \text{Equação 4}$$

$$VPL = -392464,60 + 70877,40 * 3,963123$$

$$VPL = -111568,39$$

No cálculo do valor presente líquido, para o investimento ser viável economicamente o resultado deverá ser positivo, sendo que quanto maior o valor positivo mais economicamente viável é o investimento. Para esse período de retorno o investimento se torna inviável.

Segundo Ruther, 2004, o sistema fotovoltaico tem durabilidade de 30 anos. Baseada nessa informação, foi calculado o VPL para um período de 10 anos e analisado novamente a viabilidade. Levando em consideração e mesma taxa de juros, o mesmo investimento e a mesma economia, chegou-se a um VPL de 20609,37. Desta forma, o investimento se torna viável se o período de retorno for acima de 10 anos, conforme cálculos apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Cálculo do VPL com variação do tempo de retorno

Tempo	VPL
6	-94761,89
7	-61156,60
8	-30949,60
9	-3797,23
10	20609,37
15	110249,29
20	162851,18
25	193718,67

Nos cálculos de viabilidade econômica não foram levados em consideração os custos com manutenção do sistema no período.

5. CONCLUSÕES

O principal objeto desse estudo foi verificar a viabilidade econômica na implantação de um sistema solar fotovoltaico em um edifício de uso misto, com o sistema interligado à rede elétrica local.

No decorrer do seu desenvolvimento foi necessário:

- O levantamento da demanda de energia por setor do edifício, verificando a demanda da área comercial, residencial e de uso comum;
- Dimensionar o sistema de geração de energia fotovoltaica que atenda a demanda do edifício e esteja integrado ao envelope da edificação e;
- Verificar a viabilidade econômica da instalação do sistema fotovoltaico, considerando o valor de aquisição do sistema e os gastos com energia.

Após os levantamentos e dimensionamentos foi verificado que a edificação possuía apenas 350,20m² de área para implantação do sistema. Na sequência, foi redimensionado o sistema para que atendesse as características da edificação e concluído que a edificação só poderia atender a geração de 39,50% da demanda de energia.

De posse dessas informações foi orçado e calculada a viabilidade da instalação do sistema. Mesmo com uma economia anual de energia o investimento é inviável economicamente pois gerou um valor para VPL (Valor presente líquido) negativo. Esse valor negativo significa que o montante do investimento foi pago no entanto ainda resta o pagamento dos juros do período.

Várias foram as tentativas para verificar a viabilidade do sistema. Tentou-se então calcular a viabilidade econômica e conclui-se que a partir de 1/3 da vida útil do sistema o investimento se torna viável. Nesse período, todos os custos da implantação (sistema e juros) do sistema estariam quitados. Desta forma, o sistema é viável economicamente levando em consideração a durabilidade.

A ideia de auto geração de energia deve ser difundida visando o aproveitamento de recursos naturais e para obter incentivos e subsídios governamentais para viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. Retrieved from ANEEL: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf
- ANEEL. (2014). *Cadernos Temáticos ANEEL*. Brasília/DF: Agência Nacional de Energia Elétrica.
- Goulart, S. V. (1998). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética*. Retrieved from <http://www.labeee.ufsc.br>.
- IBGE. (2014). Retrieved from IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431180>
- Pasinato, A., & Cunha, G. R. (2014). *Informações meteorológicas de Passo Fundo, RS*. Passo Fundo: Embrapa Trigo.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., & Rüther, R. (2006). *Atlas brasileiro de energia solar*. (INPE, Ed.) São José dos Campos: INPE. Retrieved from http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf
- Rüther, R. (2004). *Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações*. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR,.
- Salomoni, I., & Rüther, R. (2014). *Sistema Fotovoltaico integrado a edificação: eficiência e sustentabilidade*. Florianópolis: LabEEE/UFSC.
- Santos, Í. P. (2014). *Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) para Arquitetos e Engenheiros Civis*. Santa Maria: UFSM.
- Viana, T. d., Montenegro, A. A., & Rüther, R. (2010). Sistema de geração de energia . In R. Laimerts, *Casa Eficiente Consumo e Geração de Energia* (p. 76). Florianópolis: UFSC/LabEEE.

ANEXO

Tabela 7: Radiação solar global (kWh/m²/dia) no período de um ano. Fonte: EMBRAPA TRIGO, 2014

dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Radiação ma/13	5,6	13,2	14,4	5,3	10,7	14,0	11,9	15,7	15,6	14,5	5,3	8,1	5,3	5,3	13,3	15,9	5,3	5,3	5,3	9,5	5,8	5,8	10,3	11,1	11,0	14,3	8,5	6,3	5,7	15,4	9,3
Radiação jun/13	4,7	10,0	13,7	12,7	9,8	10,3	9,8	7,4	8,9	10,1	11,1	9,9	4,7	4,7	4,7	4,7	10,2	4,7	4,7	4,7	4,7	8,4	11,1	4,7	4,7	4,7	8,6	8,8	10,3	12,2	
Radiação jul/13	14,9	13,9	14,5	9,8	13,6	12,8	12,9	15,0	5,8	13,9	12,9	13,4	1,9	10,2	14,9	15,1	15,4	13,1	12,2	11,1	4,2	15,1	13,0	17,0	16,9	17,0	16,6	16,2	16,7	16,4	16,5
Radiação ago/13	16,0	13,6	20,6	14,2	17,5	9,9	16,4	12,9	1,8	2,1	8,3	16,9	1,7	6,8	19,3	17,8	19,8	19,3	19,8	20,8	21,2	16,3	10,4	2,3	2,4	4,5	9,6	22,7	21,4	21,0	15,4
Radiação set/13	3,8	5,6	13,5	24,4	18,2	22,3	22,0	6,9	22,8	23,4	25,0	25,3	24,1	21,0	8,5	12,3	19,8	26,4	24,6	4,9	10,6	17,1	13,0	16,9	19,0	24,9	25,0	19,9	23,1	21,8	
Radiação out/13	12,7	24,0	19,9	17,6	19,1	24,9	25,6	26,3	27,3	31,8	27,9	14,2	17,5	21,4	31,0	17,8	16,2	26,7	25,0	26,1	14,7	27,1	14,2	9,6	25,4	13,4	28,7	28,6	25,1	21,0	23,9
Radiação nov/13	22,3	19,0	22,7	27,1	28,9	29,1	28,0	26,1	21,8	23,6	21,3	23,7	30,7	30,8	24,4	26,4	31,6	27,6	20,5	17,7	10,2	21,0	32,1	30,6	20,9	22,7	24,5	30,0	28,5	18,5	
Radiação dez/13	18,7	18,6	32,9	36,7	2,8	25,0	34,8	35,7	13,2	22,4	32,9	33,6	28,1	33,2	28,6	37,3	37,6	35,7	37,2	33,1	38,1	38,7	38,8	32,5	36,0	33,6	26,2	30,1	32,8	33,5	18,6
Radiação jan/14	13,2	8,7	8,9	29,3	48,2	32,6	42,9	19,9	34,0	27,3	17,7	12,0	34,1	33,6	18,7	29,6	33,9	33,0	37,7	46,3	52,7	29,2	42,6	31,5	17,3	32,1	39,9	46,1	37,7	35,1	26,4
Radiação fev/14	25,4	28,4	26,8	28,8	28,3	20,6	25,5	24,2	25,5	27,6	27,4	25,9	18,0	11,6	27,9	27,5	28,8	28,2	23,3	7,4	17,6	12,1	15,3	16,6	21,7	12,8	17,2	19,8			
Radiação mar/14	22,8	21,5	16,4	6,6	21,7	24,1	23,8	18,2	23,1	11,5	17,2	21,4	24,0	23,7	11,8	20,4	9,5	17,3	7,5	13,2	12,1	10,9	24,9	21,0	21,2	27,6	31,4	20,0	22,1	17,2	25,5
Radiação abr/14	16,2	23,0	25,7	22,3	18,5	16,3	20,1	16,6	9,8	14,2	3,7	15,3	22,3	21,8	17,5	21,1	11,7	10,4	5,5	12,6	15,1	13,5	19,7	19,4	19,5	25,0	17,0	16,2	20,8	4,1	