

ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA APLICADA A ESCOLAS MUNICIPAIS NA CIDADE DE CRUZ ALTA-RS

Alessandra Haas - alessandra_arqurb@hotmail.com

Franciele Rohr - arqfranrohr@gmail.com

Ísis Portlan dos Santos - isisporto@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

5 Arquitetura e Energia Solar

Resumo. *O presente artigo visa analisar a possibilidade de implantação de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica no sistema BAPV (Building Applied Photovoltaics - Sistema Fotovoltaico aplicado à edificação) integrando-os da melhor forma possível a arquitetura existente, buscando atender a demanda de energia de todas as escolas municipais localizadas no perímetro urbano da cidade de Cruz Alta/RS. Para tanto, realizaram-se os seguintes levantamentos: quantidade de escolas municipais no perímetro urbano a serem analisadas; posicionamento e tipologia de suas coberturas; valores de consumo de energia; e índices de radiação solar na cidade para diferentes azimutes. Com esses dados fez-se os cálculos para o pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico, determinando o seu rendimento, a quantidade de módulos necessários e posteriormente o local ideal para a instalação dos mesmos, dando prioridade à locais que comportassem o maior número de módulos, de forma a reduzir os pontos de geração espalhados pela cidade. Logo, analisaram-se três cenários: o primeiro considerou coberturas planas com 9° de inclinação; o segundo, coberturas curvas e sua total capacidade de geração; e o terceiro, coberturas curvas de modo a suprir somente a demanda das escolas. Chegando-se a conclusão que as coberturas curvas possibilitam a concentração da geração em menos pontos devido as suas grandes dimensões, bem como, existe a possibilidade de usar toda sua capacidade de modo a aumentar a geração do sistema, o que possibilitaria suprir a demanda de outros edifícios públicos. Enfim, pode-se dizer que, a iniciativa da utilização de energias renováveis em edifícios públicos além de incentivar a popularização do uso dessa energia como alternativa sustentável, apresenta benefícios econômicos à cidade. Portanto esse estudo pode servir como base de dados à prefeitura de Cruz Alta/RS se desejar buscar recursos e colocar em prática a ideia.*

Palavras-Chave: *Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Escola Municipal.*

1. INTRODUÇÃO

A eletricidade para a sociedade de modo geral é de extrema importância, uma vez que, com a evolução da tecnologia tem se tornado essencial. Dessa maneira, aumentar a oferta de energia e reduzir custos da produção vem se transformando no objetivo de muitos países, bem como assuntos relacionados à sustentabilidade e conservação do meio ambiente (Silva et. al., 2011).

Portanto a utilização de fontes renováveis de energia como alternativa sustentável, desponta como medida que visa garantir a utilização dos recursos naturais pela atual geração sem comprometer os para as gerações futuras. Neste contexto tem-se a energia solar fotovoltaica. Por isso muitos países buscam adotar medidas de eficiência energética em prédios públicos como forma de contribuir para redução de emissões que afetam o clima, ou até mesmo pela representação tecnológica (Brasil, 2011).

Sendo assim, o presente artigo visa analisar a possibilidade de implantação de painéis fotovoltaicos em prédios públicos do município de Cruz Alta/RS para geração de energia no sistema BAPV (*Building Applied Photovoltaics - Sistema Fotovoltaico aplicado á edificação*), buscando suprir o consumo energético dos prédios das escolas municipais de ensino fundamental (EMEF) no perímetro urbano da cidade. Com o objetivo de identificar o melhor local para instalação dos painéis fotovoltaicos, beneficiando-se do melhor posicionamento para obter a maior eficiência energética dos módulos, integrando-os da melhor forma a arquitetura existente, trazendo benefícios como a redução do consumo de energia elétrica.

E levando em conta que o Brasil é um país rico em recursos naturais, com dimensões vantajosas, altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo para a produção de silício de alto grau de pureza, e que a utilização de energia solar fotovoltaica ainda é baixa (Brasil, 2012), estudos que levem a propostas de implantação do sistema de energia solar são de grande valor, pois através dos dados alcançados apontam o melhor caminho e ajudam a difundir a utilização do sistema de energia solar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

CGEE (2010) enfatiza que no ano de 2050, 50% da geração de energia no mundo virá de fontes renováveis, e que dessa demanda 25 % será suprida pela energia solar fotovoltaica. Indicando um crescimento na utilização da eletricidade solar fotovoltaica. O autor destaca que o Brasil ainda está definindo as políticas públicas e regulamentações que incentivem a utilização dessa energia pelas concessionárias, e aponta o alto custo dos materiais de boa eficiência como obstáculo.

Nascimento (2017) menciona diversos incentivos que existem até então no país e relata que, apesar de todo incentivo e dos resultados alcançados existe muito a ser feito para consolidar a fonte solar como matriz energética nacional. Dentre as normativas existentes, pode-se destacar: a Resolução Normativa nº 300, de 12 de fevereiro de 2008, estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética (ANEEL, 2008), onde os programas anuais das concessionárias de energia elétrica já destinam recursos aos projetos de conservação de energia em prédios públicos conforme o Plano Nacional de Eficiência Energética (Brasil, 2011). A Resolução Normativa nº 482, de 24 de novembro de 2015, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e procedimentos de distribuição (ANEEL, 2012), e sua alteração para Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015, trouxe benefícios como, autoconsumo remoto, geração compartilhada e geração em condomínio (ANEEL, 2015).

E através da lei nº 9.991/2000, as empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica são obrigadas a aplicar anualmente um percentual de sua Receita Operacional Líquida (ROL) em pesquisa e desenvolvimento (Brasil, 2000), considerando que a pesquisa é uma ferramenta que proporciona resultados e análises quanto à utilização do sistema e que contribui para fomentar a utilização dele no ramo da indústria e conseqüentemente para os consumidores finais. Já em edifícios da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional é obrigatória a Etiquetagem desde 2014 (Procel Info, 20--), nesse processo a utilização de fontes renováveis de energia, como a energia solar, contribui para a melhor avaliação do selo de certificação.

Outro incentivo é dado através da portaria nº 23, de 12 de Fevereiro de 2015, a qual, também estabelece em sua redação boas práticas de gestão e uso de energia elétrica nos órgãos e entidades da administração pública federal direta (Brasil, 2015), salientando que, nos projetos e respectivas edificações públicas federais, novas ou que recebam retrofit deve-se utilizar a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia).

E com todos esses investimentos em pesquisa, e políticas de incentivo para a utilização do sistema solar conectado à rede elétrica, a CGEE (2010) destaca a perspectiva de que em 10 anos, o preço da energia fotovoltaica possa se igualar ou ser inferior ao preço das fontes convencionais.

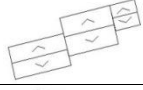
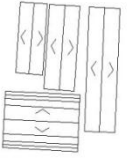
3. METODOLOGIA

O estudo tem por finalidade quantificar os módulos necessários para atender a demanda energética das escolas municipais de ensino fundamental (EMEF) localizadas no perímetro urbano da cidade de Cruz Alta/RS além de identificar os melhores locais para instalação do sistema. Portanto, necessita-se saber quais são as escolas existentes, as suas localizações, e o consumo energético de cada uma.

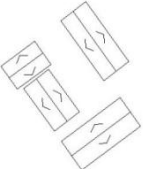



Desse modo, a lista das escolas existentes foi obtida através do site da secretaria de educação do Rio Grande do Sul. Os valores de gasto energético mensal (kWh), identificados através das faturas de energia de cada escola, cedidas pela secretaria de educação do município.

Através do uso do software *Google Earth*, verificou-se as dimensões aproximadas, posição e tipo de cobertura das escolas, possibilitando a elaboração croquis das coberturas com a utilização do *AutoCAD*. Essas informações foram dispostas na Tab. 1.

Tabela 1 - Croquis com o posicionamento das coberturas
(considera-se norte a parte superior da tabela conforme a seta).

Nº	ESCOLA - EMEF	COORD.	DIMENSÕES (m)	AZIMUTE	CROQUI	NORTE ↑
1	DR. ÁLVARO FERREIRA LEITE	28°40'00.5"S 53°36'22.1"W	10X18 12X16 8X8	NO/SE		
2	GABRIEL ANNES DA SILVA *ginásio com cobertura curva	28°38'57.8"S 53°37'46.4"W	8x20 9x24 9x35 16x22*	L/O N/S*		

3	PRESIDENTE GETULIO VARGAS	28°38'14.4"S 53°35'53.9"W	10X20 12X12	L/O	
4	INTENDENTE VASCONCELOS PINTO *ginásio com cobertura curva	28°36'40.4"S 53°37'05.6"W	(3) 10x20 26x36*	N/S NO/SE*	
5	CASTELO BRANCO	28°39'05.3"S 53°36'00.1"W	12x28	L/O N/S	
6	PROFESSOR FREDERICO BAIOCCHI	28°38'46.0"S 53°34'39.8"W	(3) 10x16 10X36	L/O S	
7	ENG. ILDO MENEGETTI *ginásio com cobertura curva	28°39'21.0"S 53°37'30.0"W	16X22 18X28*	L/O	
8	FRANCISCO PUPPO	28°37'40.1"S 53°36'11.8"W	12x50 12x20	L/O N/S	
9	ALBERTO PASQUALINI *ginásio com cobertura curva	28°38'09.8"S 53°35'15.4"W	(2) 12x22 (2) 10x16 24x38*	L/O NE/SO*	
10	TICIANO CAMEROTTI	28°37'28.9"S 53°36'39.5"W	8x34	NE/SO	
11	ANTONIO SERRA PEREIRA *ginásio com cobertura curva	28°37'27.8"S 53°37'20.2"W	(2) 8x24 16x30*	L/O N/S*	
12	CARLOS CINI	28°37'02.9"S 53°36'21.6"W	(3) 6x12	N/S	
13	TORIBIO VERISSIMO	28°38'49.5"S 53°37'17.0"W	8x16 6x28 10x14 6x26	N/S L/O	

14	18 DE AGOSTO	28°39'16.9"S 53°35'22.3"W	8x12 10x20 9x15 9x20	NO/SE NE/SO	
15	CARLOS GOMES *ginásio com cobertura curva	28°38'09.7"S 53°36'34.8"W	(2) 6x12 12x16 (2) 10x16 16x22*	L/O N/S*	
16	ARTHUR MOREIRA *telha cerâmica	28°38'59.3"S 53°35'04.6"W	10x18 6x18	L/O	
17	HENRIQUE HOSTIN	28°39'11.7"S 53°36'25.7"W	8x14	N/S L/O	

Dando sequência ao levantamento de dados, tem-se a obtenção dos valores de irradiação média diária disponível por meio do software *Radiasol 2*, de modo que o azimute e a inclinação utilizados foram obtidos conforme a posição solar das coberturas e sua tipologia, considerando: plana em telha de fibrocimento 9° de inclinação; plana em telha cerâmica 32° de inclinação; curva inclinação conforme posicionamento do módulo em sua curvatura.

E com a adoção do módulo YL 320P-35b com 1960x990mm de silício policristalino com classificação de eficiência energética "A" pelo INMETRO, pode-se dar sequência aos cálculos.

Primeiro determina-se a potência total necessária (kW) para o funcionamento do sistema através da Eq. (1).

$$Pot. total = \frac{C}{IRR(* 30 dias) * R (0,8)} \quad (1)$$

Onde: C - Consumo médio mensal (kWh/mês)

IRR - Média diária de irradiação disponível (kWh/m²/dia)

R - Rendimento do sistema (%) - considerar 80%

Depois, calcula-se a quantidade de módulos necessários para atingir a potência total, conforme Eq. (2).

$$N^{\circ} = \frac{Pot. total}{Pot. módulo} \quad (2)$$

Onde: N° - quantidade de módulos

Pot. módulo - potência do módulo adotado (kW)

Deve-se arredondar a quantidade de módulos para um número inteiro menor que o obtido, levando-se em conta a distribuição do sistema.

Em seguida determina-se a potência final gerada pelo sistema (kW), ou seja, a quantidade de módulos multiplicada pela potência do módulo adotado, conforme Eq. (3).

$$Pot. final = N^{\circ} * Pot. módulo \quad (3)$$

A média mensal de energia gerada pelo sistema (G em kW) é obtida pela Eq. (4).

$$G = Pot. final * IRR(* 30 dias) * R(0,80) \quad (4)$$

Por fim calcula-se o percentual de atendimento do sistema através da Eq. (5)

$$P = G \times 100 / C \quad (5)$$

Desse modo pode-se prever em quais coberturas instalar o sistema e quantos módulos elas comportariam, bem como, estabelecer o rendimento e fazer a comparação entre o consumo e a geração desse sistema.

Para tanto, priorizaram-se telhados que comportassem o maior número de módulos, tendo por consequência menos pontos de geração espalhados pela cidade, visando à economia quanto aos custos de instalação dos sistemas.

4. RESULTADOS

Com base na análise da posição solar e dimensões aproximadas das coberturas, definiram-se quais azimutes seriam mais relevantes para o cálculo, buscando sempre aquele com melhor rendimento. Utilizou-se, a princípio a inclinação mais comum encontrada entre as coberturas 9°, e as principais posições solares. Sabendo-se que a potência do módulo escolhido é de 320 W, e com os valores de consumo obtidos através das faturas de energia das escolas, onde, o consumo total é de 163.096 kW/ano, que se traduz em uma média mensal de consumo de 13.591,35 kW/mês, deu-se continuidade aos cálculos.

Desse modo a Tab. 2 traz os valores de irradiação disponível (kWh/m²) para as principais posições solares, identificado por mês, total anual e média diária (IRR). Apresenta também os valores calculados de potência total necessária conforme Eq. (1), quantidade de módulos obtidos pela Eq.(2), potência final através da Eq. (3), energia gerada obtida pela Eq. (4), e o percentual de atendimento calculado pela Eq. (5).

Tabela 2 - Cálculo do sistema fotovoltaico para diferentes azimutes a 9° de inclinação

EMEF - Cruz Alta/RS		NO	N	NE	L	SE	S	SO	O
Ano	Mês	Irradiação disponível - kWh/m ²							
2016	Abr	4,57	4,69	4,57	4,26	3,95	3,83	3,93	4,25
	Mai	3,34	3,48	3,33	3,05	2,75	2,66	2,78	3,05
	Jun	3,03	3,14	3,01	2,71	2,42	2,28	2,39	2,72
	Jul	3,04	3,17	3,04	2,75	2,48	2,35	2,46	2,74
	Ago	3,54	3,64	3,55	3,3	3,03	2,94	3,03	3,29
	Set	4,53	4,6	4,53	4,31	4,06	3,98	4,08	4,31
	Out	5,23	5,27	5,22	5,09	4,95	4,91	4,98	5,11
	Nov	5,71	5,73	5,69	5,69	5,62	5,63	5,65	5,68
2017	Dez	6,56	6,55	6,55	6,59	6,61	6,65	6,63	6,61
	Jan	6,29	6,27	6,26	6,29	6,28	6,29	6,29	6,3
	Fev	6,14	6,18	6,14	6,03	5,92	5,88	5,92	6,02
	Mar	5,27	5,34	5,26	5,05	4,85	4,75	4,86	5,06
Total anual - kWh/m ²		57,25	58,06	57,15	55,12	52,92	52,15	53	55,14
Média diária IRR - kWh/m ²		4,77	4,84	4,76	4,59	4,41	4,35	4,42	4,60
Pot. Total - kW		118,70	117,05	118,91	123,29	128,41	130,31	128,22	123,24
N° módulo		370	364	370	384	400	406	400	384
Pot. Final - kW		118,40	116,48	118,40	122,88	128,00	129,92	128,00	122,88
Energia Gerada G - kW		13.556,8	13.525,7	13.533,1	13.546,3	13.547,5	13.550,7	13.568,0	13.551,2
Percentual de atendimento P - %		99,75	99,52	99,57	99,67	99,68	99,70	99,83	99,70

Obviamente a posição mais favorável é a Norte, seguida por Noroeste e Nordeste respectivamente, e mesmo com a variação de irradiação diária tendo pouca diferença de uma posição para outra, essa diferença refletirá diretamente na quantidade de módulos necessários para suprir a demanda. Logo foram adotados os resultados da posição norte para comparação entre valores de consumo mensal das escolas e geração mensal do sistema. Dessa maneira, com a instalação de 364 módulos tem-se como média de energia gerada mensal 13.525,70 kW/mês em contrapartida a média mensal consumida pelas escolas de 13.591,35 kW/mês.

Entretanto ao observar a Fig. 1, nota-se que o período do ano com maior geração de energia coincide com o período de recesso escolar, ou seja, o de menor consumo, o que não significa que a energia gerada será perdida, ao contrário, a Resolução Normativa nº 687 (ANEEL, 2015) possibilita que a energia seja aproveitada como abatimento no consumo de outros edifícios do mesmo proprietário. Já nos meses de março a outubro onde a energia consumida é maior que a energia gerada, a economia acontece com a redução no valor da fatura energética.

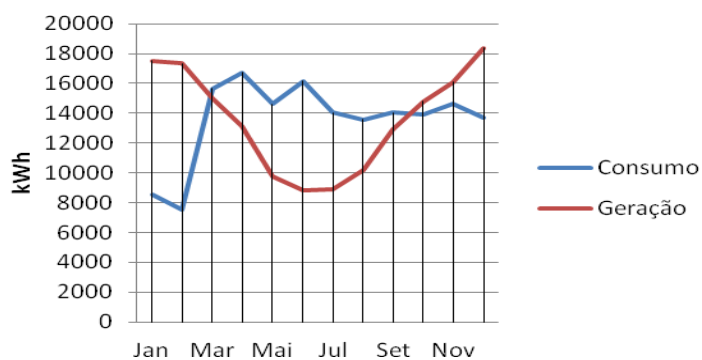



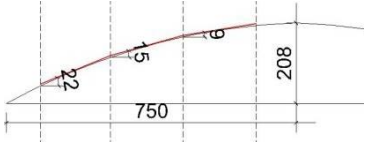

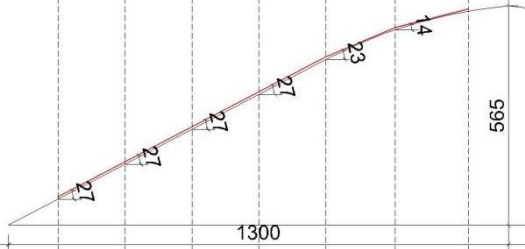

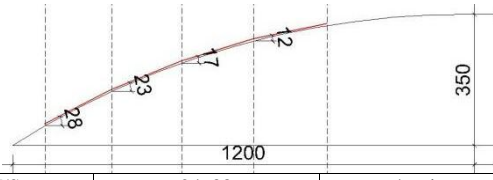

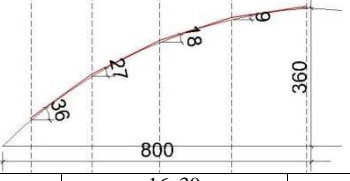
Figura 1 - Comparação entre o consumo mensal das escolas com a geração mensal do sistema fotovoltaico instalado em coberturas planas na posição Norte a 9°.


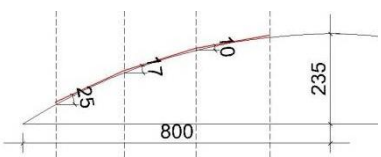
Todavia após estipular a quantidade de módulos necessários para suprir a demanda das escolas, procurou-se estabelecer os locais que receberiam o sistema fotovoltaico. Contudo, ao procurar estabelecer os 364 módulos somente nos telhados com inclinação 9° ao Norte, verificou-se a indisponibilidade de espaço, o que levou a um número elevado de locais de geração, tornando-se inviável pelo fato de poucas placas formarem um sistema.

Logo, a existência de ginásios (quadra esportiva coberta) em algumas escolas poderia resolver o problema de espaço, e ao verificar os ângulos azimutais dessas coberturas, deparou-se com: três com caimento norte/sul; um com caimento leste/oeste; um com caimento nordeste/sudoeste; e um com caimento noroeste/sudeste.

Portanto, sabendo-se da compatibilidade dessas coberturas com os azimutes de maior aproveitamento energético (norte, noroeste e nordeste), e descartando o ginásio com posição leste/oeste, buscou-se determinar os ângulos formados pelo módulo e a curvatura do telhado dos ginásios conforme croqui na Tab. 3.

Tabela 3 - Configuração das coberturas dos ginásios.

ESCOLA - EMEFF	FOTO	SEÇÃO - AZIMUTE - DIMENSÃO - STRINGS
GABRIEL ANNES DA SILVA		 N/S 22X16 4 strings
INTENDENTE VASCONCELOS PINTO		 NO/SE 26x36 6 strings
ALBERTO PASQUALINI		 N/S 24x38 4 strings
ANTONIO SERRA PEREIRA		 NE/SO 16x30 4 strings

CARLOS GOMES				
		N/S	16x22	3 strings

Com o conhecimento dos azimutes e inclinações de cada *string* (linha) nas coberturas curvas, foi possível obter os valores de irradiação média diária para cada configuração. Bem como, designar a quantidade de módulos instalados em cada *string*, a capacidade de geração desses módulos nos seus respectivos ângulos e o total de energia gerada pelo sistema conforme resultados apontados na Tab. 4.

Tabela 4 - Cálculo do sistema fotovoltaico para diferentes azimutes e inclinação das coberturas curvas selecionadas.

EMEF	Gabriel Annes da Silva NORTE			Intendente Vasconcelos Pinto NOROESTE			Alberto Pasqualini NORDESTE				Antonio Serra Pereira NORTE				Carlos Gomes NORTE		
	9°	15°	22°	14°	23°	27°	12°	17°	23°	28°	9°	18°	27°	36°	10°	17°	25°
Mês	kWh/m²			kWh/m²			kWh/m²				kWh/m²				kWh/m²		
Abr	4,69	4,91	5,12	4,69	4,84	4,93	4,66	4,74	4,83	4,87	4,69	5	5,23	5,34	4,74	5,01	5,2
Mai	3,48	3,7	3,9	3,49	3,64	3,73	3,41	3,53	3,64	3,7	3,48	3,8	4,08	4,25	3,52	3,76	3,99
Jun	3,14	3,41	3,65	3,18	3,34	3,45	3,1	3,22	3,29	3,43	3,14	3,48	3,79	4,01	3,19	3,46	3,72
Jul	3,17	3,4	3,62	3,18	3,37	3,44	3,14	3,23	3,36	3,44	3,17	3,48	3,77	3,94	3,22	3,48	3,7
Ago	3,64	3,84	4,02	3,65	3,76	3,83	3,59	3,68	3,78	3,85	3,64	3,93	4,17	4,28	3,67	3,91	4,1
Set	4,6	4,77	4,86	4,62	4,71	4,7	4,56	4,65	4,68	4,66	4,6	4,83	4,96	4,97	4,63	4,79	4,91
Out	5,27	5,34	5,36	5,24	5,25	5,23	5,22	5,27	5,23	5,21	5,27	5,33	5,3	5,2	5,29	5,33	5,35
Nov	5,73	5,7	5,61	5,69	5,56	5,52	5,73	5,66	5,53	5,47	5,73	5,63	5,47	5,19	5,69	5,65	5,56
Dez	6,55	6,44	6,24	6,49	6,35	6,21	6,52	6,47	6,35	6,14	6,55	6,39	6,13	5,68	6,53	6,38	6,17
Jan	6,27	6,21	6,12	6,22	6,05	5,99	6,22	6,23	6,16	5,98	6,27	6,2	5,93	5,51	6,27	6,21	5,96
Fev	6,18	6,2	6,14	6,12	6,07	6,03	6,12	6,14	6,09	5,96	6,18	6,17	6,07	5,82	6,18	6,2	6,11
Mar	5,34	5,48	5,56	5,34	5,39	5,37	5,29	5,35	5,37	5,33	5,34	5,51	5,57	5,55	5,36	5,51	5,57
A	58,06	59,4	60,2	57,91	58,33	58,43	57,56	58,17	58,31	58,04	58,06	59,75	60,47	59,74	58,29	59,69	60,34
B	4,84	4,95	5,02	4,83	4,86	4,87	4,80	4,85	4,86	4,84	4,84	4,98	5,04	4,98	4,86	4,97	5,03
C	117,05	114,4	112,9	117,35	116,50	116,30	118,06	116,82	116,54	117,09	117,05	113,7	112,4	113,8	116,6	113,8	112,6
D	22	22	22	36	36	144	38	38	38	38	30	30	30	30	16	16	16
E	7,04	7,04	7,04	11,52	11,52	46,08	12,16	12,16	12,16	12,16	9,6	9,6	9,6	9,6	5,12	5,12	5,12
F	817,5	836,4	847,6	1.334	1.344	5.385	1.400	1.415	1.418	1.412	1.115	1.147	1.161	1.147	596,9	611,2	617,9
G	2.501,4528			8.063,0784			5.644,1856				4.569,984				1.825,9968		

A- Total anual de irradiação - kWh/m²

B- Média diária IRR - kWh/m²

C- Pot. total - kW

D- N° de módulos

F- Pot. final - kW

G- Energia gerada - (G) kW

H- Percentual de atendimento - (P) %

Ao adotar as coberturas dos ginásios para instalação do sistema fotovoltaico, obtêm-se cinco pontos diferentes de geração de energia, que juntos somam 602 módulos com capacidade de gerar 22.680,52 kW/mês, extrapolando em quase duas vezes os valores necessários a suprir a demanda de consumo das escolas que é de 13.591,35 kW/mês. Enfatiza-se ainda que devido as diferentes inclinações existentes em uma mesma cobertura, cada linha de módulos terá o funcionamento diferenciado, deve-se considerar essa informação ao escolher o inversor.

E observando a Fig. 2 percebe-se que utilizando toda capacidade de instalação disponível nas cinco coberturas dos ginásios, a curva de geração supera a de consumo. Salienta-se, novamente, que a energia extra não será perdida, poderá ser aproveitada como abatimento no consumo de outros edifícios do mesmo proprietário.

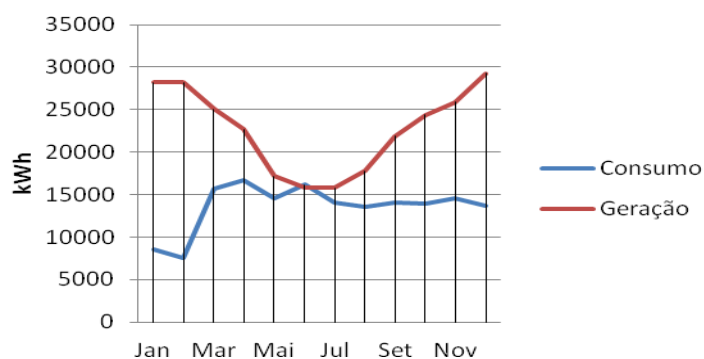


Figura 2 - Comparação entre o consumo mensal das escolas com a geração mensal do sistema fotovoltaico instalado em cinco coberturas curvas.

Do mesmo modo que, pode-se optar por suprir somente o consumo das escolas de 13.591,35 kW/mês, nesse cenário tem-se a Fig. 3, onde foram considerados somente dois pontos de geração, priorizando os sistemas que apresentam os maiores valores de geração mensal, as escolas Intendente Vasconcelos Pinto e Alberto Pasqualini, que com instalação de 368 módulos tem capacidade de geração mensal de 13.685,39 kW/mês.

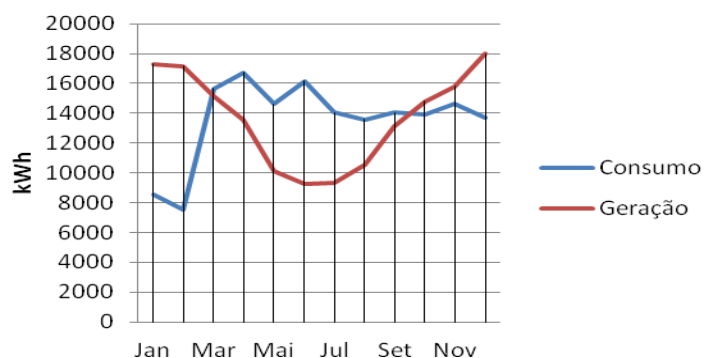


Figura 3 - Comparação entre o consumo mensal das escolas com a geração mensal do sistema fotovoltaico instalado em duas coberturas curvas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos estudos de irradiação na cidade de Cruz Alta/RS apontaram como melhores azimutes para a aplicação o Norte, Noroeste e Nordeste respectivamente. E, tratando-se de sistema BAPV aplicado à arquitetura existente um aspecto positivo foi encontrar coberturas grandes de ginásios com ótimas orientações solares, o que trouxe resultados benéficos quanto à instalação das placas.

Ao analisar os resultados encontrados para as coberturas curvas dos ginásios, observou-se que o desempenho foi melhorando na medida em que aumentava o ângulo de inclinação dos painéis, chegando a melhor irradiação média diária para cobertura Norte a 27°, embora os dados da orientação Noroeste e Nordeste tenham ficado muito próximos aos obtidos o primeiro cenário (Norte 9°) considerado ideal inicialmente.

Pode-se ainda ressaltar outros aspectos positivos encontrados ao utilizar a cobertura dos ginásios como solução: o fato das coberturas possuírem uma grande área, capaz de abrigar um número maior de placas do que o mínimo necessário concentrando a geração de energia em menos pontos pela cidade; a inexistência de obstáculos que pudessem reduzir a incidência solar em algum período do dia por sombreamento, havendo somente as perdas por sombreamento natural decorrente da trajetória solar.

Enfim, o segundo cenário que analisa a utilização total das coberturas curvas, de modo a instalar um número maior de módulos, e assim a quantidade de energia gerada aumentar, se mostra extremamente benéfico, pois a energia que não for consumida pelas escolas poderá ser abatida da conta de outra entidade pública municipal. E mesmo que se opte pelo terceiro cenário, instalar somente o necessário a suprir o consumo das escolas tem-se a vantagem econômica, devido à concentração do sistema somente em dois pontos.

Portanto pode-se afirmar que a utilização do sistema de energia fotovoltaica na esfera pública apresenta diversas vantagens, indiferente de qual cenário analisado for escolhido.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2008. Resolução normativa nº 300, de 12 de fevereiro de 2008. Estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 fev. 2008. Seção 1, p 53.
- _____, 2012. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 abr. 2012. Seção 1, p 53.
- _____, 2015. Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 dez. 2015. Seção 1, p 45.
- Brasil, 2000. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília.
- _____, 2011. Ministério de Minas e Energia. Plano nacional de eficiência energética, premissas e diretrizes básicas, Brasília.
- _____, 2012. Ministério de Minas e Energia. Análise da inserção da geração solar na matriz energética brasileira. Nota técnica EPE, Rio de Janeiro.
- _____, 2015. Portaria n 23, de 12 de fevereiro de 2015. Gestão e uso de Energia Elétrica e de Água nos órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dispõe sobre o monitoramento de consumo desses bens e serviços. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 2015. Seção 1, p 67.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, 2010. Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão. Serie Documentos técnicos 2-10, Brasília.
- Nascimento, R. L., 2017. Energia solar no Brasil: situação e perspectivas. Estudo técnico, Brasília.
- Procel Info, 20--. Centro brasileiro de informação de eficiência energética, Etiquetagem em edificações. [S.l.] Disponível em <http://www.procelinfo.com.br>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- Silva, A. C. B., Guimarães, C. M. M., Lordêlo, F. S., Porto, C. M., 2011. A importância da utilização das energias renováveis para a construção de um desenvolvimento econômico sustentável. Diálogos & Ciência – Revista da Faculdade de Tecnologia e Ciências – Rede de Ensino FTC. ISSN 1678-0493, Ano 9, n. 27, set. 2011.

STUDY FOR THE USE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY APPLIED TO MUNICIPAL SCHOOLS IN THE CITY OF CRUZ ALTA-RS

Abstract. *The present article aims to analyze the possibility of implementation of photovoltaic panels for generating electric energy in the BAPV (Building Applied Photovoltaics Photovoltaic System applied to building) integrating them the best possible way in the existing architecture, seeking to meet the energy demand of all the municipal schools located in the urban perimeter of Cruz Alta / RS. For this purpose, the following surveys were carried out: number of municipal schools in the urban perimeter to be analyzed; positioning and typology of their coverage; values of energy consumption; and solar radiation rates in the city for different azimuths. With these data the calculations were made for the pre-sizing of the photovoltaic system, determining its efficiency, the number of modules needed and later the ideal place for their installation, giving priority to the sites that had the largest number of modules, in order to reduce the generation points spread throughout the city. Therefore, three scenarios were analyzed: the first one considered flat roofs with 9° slope; the second, curved hedges and their total generation capacity; and the third, curved roofs in order to supply only the demand of schools. It can be concluded that the curved roofs allow concentration of the generation in less points due to its large dimensions, as well as, it is possible to use all its capacity in order to increase the generation of the system, which would make it possible to supply the demand of other public buildings. Finally, it can be said that the initiative to use renewable energies in public buildings, besides encouraging the popularization of the use of this energy as a sustainable alternative, it presents economic benefits to the city. Therefore, this study can serve as a database to the city of Cruz Alta / RS if wishing to seek resources and put the idea through.*

Key words: Solar Energy, Photovoltaic Systems, Municipal School.