

Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade

**POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA EDIFÍCIOS ESCOLARES
NA REGIÃO NORTE E SUL DO BRASIL**

**PHOTOVOLTAIC GENERATION POTENTIAL FOR SCHOOL BUILDINGS IN
NORTH AND SOUTH OF BRAZIL**

Liége Garlet, Márlison De Sá e Ísis Portolan Dos Santos

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é uma das mais crescentes fontes de energia limpa e renovável com possibilidade do abastecimento energético isolado ou interligado aos sistemas conectados à rede. No Brasil, há interesse em sua aplicação em edifícios públicos na busca por redução do consumo da energia convencional, e por ser considerada uma bonificação de eficiência energética no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), etiquetagem obrigatória para edificações públicas federais. Nesse sentido, realizou-se um levantamento do potencial de geração fotovoltaica para duas escolas no Brasil, uma localizada na cidade de Santa Maria/RS e outra em Santarém/PA. As escolas possuem aproximadamente mesmo número de alunos e tipologias de construção similares. O potencial de geração foi obtido através do dimensionamento pela demanda e pela área disponível. Os resultados apontaram que um sistema fotovoltaico que aproveitasse a área disponível na Escola S (sul) seria o suficiente para alimentar aproximadamente mais uma escola com a mesma demanda. Na Escola N (norte), o mesmo sistema seria o suficiente para alimentar aproximadamente 11 escolas com a mesma demanda. Além disso, o trabalho demonstra o potencial da tecnologia em diferentes regiões brasileiras conforme seus usos e características climáticas, destacando que a escola da região norte gera mais energia em contrapartida que a da região sul é maior consumidora.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica, escolas públicas, integração fotovoltaica à arquitetura.

ABSTRACT

Solar photovoltaic energy is one of the fastest growing sources of clean and renewable energy with the possibility of isolated or interconnected energy supply with network connected systems. In Brazil, there is interest in their application in public buildings in the quest for reducing conventional energy consumption, and be considered an energy efficiency bonus in the Brazilian Labeling Program (PBE), mandatory labeling for federal public buildings. In this sense, there was a survey of photovoltaic generation potential for two schools in Brazil, located in the city of Santa Maria / RS and one in Santarém / PA. Schools have approximately the same number of students and similar building types. The generation potential was obtained by sizing the demand and the available area. The results showed that a photovoltaic system that took advantage of the area available at the School 1 (south) would be enough to feed about another school with the same demand. At School 2 (north), the same system would be enough to feed about 11 schools with the same demand. In addition, the study demonstrates the potential of technology in different Brazilian regions according to their uses and climate characteristics, highlighting the school's northern region generates more energy in contrast to the southern region's largest consumer.

Keywords: solar photovoltaic energy, public schools, photovoltaic integration to architecture.

1 INTRODUÇÃO

O Sol é a principal fonte de energia para a Terra, emitindo energia em todo espectro eletromagnético. A luz solar é responsável pela manutenção da água em estado líquido, condição indispensável para permitir vida, através da fotossíntese realizada por certos organismos, bem como aos demais que se alimentam dos primeiros. A energia solar também pode ser capturada através de células solares, para efetuar aquecimento ou produção de eletricidade.

Segundo Halliday & Walker (1997) a partir da energia associada à faixa do visível, desenvolveu-se ao longo da história diversos dispositivos baseados no efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico, detectado pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel, consiste na transformação da energia transportada pela luz, em energia elétrica, a partir de módulos fotovoltaicos (HAZEN & TREFIL, 2006).

A disponibilidade do recurso básico do efeito fotovoltaico possibilita que a energia solar fotovoltaica já desfrute do status de importante fonte de energia limpa e renovável, viabilizando o abastecimento energético isolado e independente ou conectado à rede. Os sistemas independentes, chamados *off-grid*, são ideais para atender as demandas elétricas de regiões geograficamente isoladas. Os sistemas conectados à rede elétrica da distribuidora de energia, chamados *on-grid* ou *grid-tie*, funcionam como uma fonte complementar para um local que já possua conexão elétrica, reduzindo o montante pago à concessionária de energia.

O potencial disponível de irradiância média anual, no Brasil, é muito superior aos países da Europa, por exemplo, que já utilizam o sistema fotovoltaico em larga escala. Mesmo nos locais com menor irradiância o Brasil supera a Alemanha, país com capacidade instalada significativa de sistemas de geração fotovoltaica (PINHO & GALDINO, 2014). A média diária anual de irradiação, no Brasil, fica entre 4,25 kWh/m².dia e 6,3 kWh/m².dia, enquanto a alemã chega ao valor máximo de 3,4 kWh/m².dia (ROCHA et al, 2014).

Além deste fato, a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – aprovou em 17 de Abril de 2012, a Resolução Normativa 482 (ANEEL, 2016a), que criou a regulamentação necessária para que os consumidores de energia elétrica pudessem ser também geradores de energia. Atualmente, os sistemas conectados à rede (*grid-tie*) tem se mostrado como alternativa bastante promissora de geração de energia elétrica nos centros urbanos.

A resolução autoriza o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL, 2016b).

A ANEEL (2016b) afirma que as adesões ao modelo de geração distribuída cresceram significativamente desde as primeiras instalações, em 2012. Entre 2014 e 2016 os registros quadruplicaram de 424 conexões para 1930 conexões, com estimativa que mais 1,2 milhão de consumidores passem a produzir sua própria energia em 2024, o equivalente a 4,5 gigawatts (GW) de potência instalada, a partir da simplificação dos procedimentos de registro.

No Brasil, além das aplicações em ambientes privados, há um grande interesse pela aplicação da tecnologia fotovoltaica em ambientes públicos, com intenção de redução do consumo de energia e, também por ser considerada uma bonificação do processo de etiquetagem da eficiência energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), etiquetagem que desde 2014, tornou-se obrigatória para edificações públicas federais (BRASIL, 2014) e, que regulamenta também os equipamentos para geração de energia fotovoltaica.

Um exemplo deste fato é o que ocorreu no Distrito Federal. Este, que se localiza entre as regiões do Brasil com maior incidência de radiação solar, e conseqüentemente há um grande

potencial para conversão fotovoltaica a fim de economizar recursos financeiros e ambientais. A partir dessa perspectiva, elaborou-se o Projeto de Lei nº 1699/2013 (DISTRITO FEDERAL, 2013) que dispõe sobre a obrigatoriedade de utilização de energia solar nas escolas públicas do Distrito Federal, em que relata que o Poder Público deverá implantar no prazo de um ano, equipamentos de captação e utilização de energia solar nas escolas públicas do Distrito Federal.

Segundo a ANEEL (2016a), unidades consumidoras possuem a vantagem de aproveitar o excedente de energia produzida em um estabelecimento e compensá-lo em outro, desde que vinculadas a uma mesma pessoa jurídica ou física, dentro da mesma área de concessão ou permissão, como seria o caso de aplicação em escolas sob a responsabilidade da prefeitura. Se uma escola X produz energia excedente, o valor excedente pode ser atribuído como crédito para as escolas W, X, Y etc, ou até para outros tipos de edificações pertencentes a este cliente.

2 OBJETIVOS

Esse trabalho objetivou verificar e comparar o potencial de geração de energia fotovoltaica de duas escolas no Brasil, com características construtivas e número de alunos similares. As escolas localizam-se em regiões extremas do país, uma delas na região sul, na cidade de Santa Maria, no Estado do Rio Grande do Sul (Escola S) e a outra, na região norte do país, na cidade de Santarém, no Estado do Pará (Escola N).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida buscando duas edificações de mesma tipologia de construção. Para as quais, elaborou-se o dimensionamento de um sistema fotovoltaico baseado na demanda de cada instituição, buscando obter a geração da totalidade do consumo. O outro dimensionamento foi feito a partir da área disponível na edificação, considerando que toda área de cobertura abrigasse módulos fotovoltaicos.

3.1 EDIFICAÇÕES

A edificação S, na região sul do país, é uma Escola Municipal de Ensino Fundamental, localizada na cidade de Santa Maria/RS, na região central do estado, a uma latitude de 29°41'03" S e longitude de 53°48'25" W. A escola apresenta 502 alunos matriculados, divididos em três turnos (manhã, tarde e noite), com salas de aula, laboratório de informática, sala multimídia, área de esportes coberta.

A edificação N, na região norte do país, também uma Escola Municipal de Ensino Fundamental, que está localizada na cidade de Santarém/PA, na região oeste do estado, a uma latitude de 02° 26'35"S e longitude de 54°42'30" W. A escola apresenta 470 alunos matriculados em dois turnos (manhã e tarde), contando com salas de aula, sala de informática, sala multimídia, área de esportes coberta.

3.1.1 O clima nas regiões de estudo

O Município de Santa Maria/RS localiza-se na região da depressão central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em locais que variavam de 93 a 120 m de altitude. O clima na região, conforme o sistema de classificação de Köppen é do tipo subtropical Cfa caracterizado pela ocorrência de precipitação durante todos os meses do ano, sem grande diferença quantitativa entre o mês mais chuvoso e o mês mais seco, de acordo com as normais climatológicas, obtidas com dados do período de 1961-1990, provenientes da Estação Meteorológica do INMET Santa Maria-A803 (Código OMM 86977). A precipitação média anual é igual a 1616,9 mm, com chuvas bem distribuídas durante o ano, com uma frequência de 96 dias. A temperatura média

anual situa-se em torno de 18,8°C, com médias mensais variando de 24,2°C em janeiro a 13,9°C em junho. A umidade relativa do ar média anual é de 76,5% e a insolação total anual igual a 2181,8 horas.

O Município de Santarém/PA localiza-se na margem direita do Rio Tapajós, na zona em que este faz confluência com o Rio Amazonas, região oeste do Estado do Pará, Brasil. O clima dominante na região é quente e úmido, característico das Florestas Tropicais. Não está sujeito às mudanças significativas de temperatura devido sua proximidade da linha do equador. A temperatura média anual varia de 25° a 28°C, com umidade relativa média do ar de 86%. A precipitação pluvial média anual é de 1920 mm, com maior intensidade no chamado período de "inverno", que ocorre de dezembro a maio, quando a precipitação média mensal varia de 170 mm a 300 mm. Nos meses de junho a novembro ocorre o período mais seco, correspondendo ao "verão" regional. Nesse período, ocorrem as menores precipitações pluviais registradas na região, com valores médios inferiores a 60 mm, entre os meses de agosto a outubro.

3.2 DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento da demanda fotovoltaica, considerou-se a Figura 1 como planta de cobertura das Escolas S (sul) e N (norte).

Figura 1- Escola S (a) e Escola N (b)



Fonte: Google Earth, 2015.

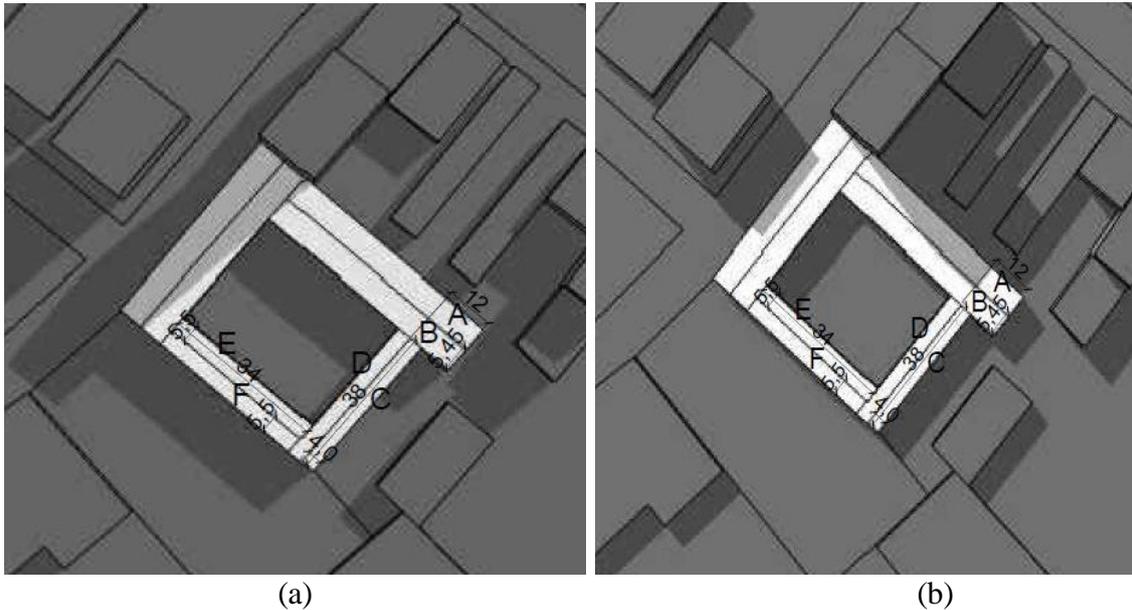
3.2.1 Levantamento da demanda mensal

O levantamento da demanda mensal das escolas públicas foi baseado na fatura de energia de 12 meses da edificação, compreendidos no período de junho de 2014 a maio de 2015.

3.2.2 Sombreamento

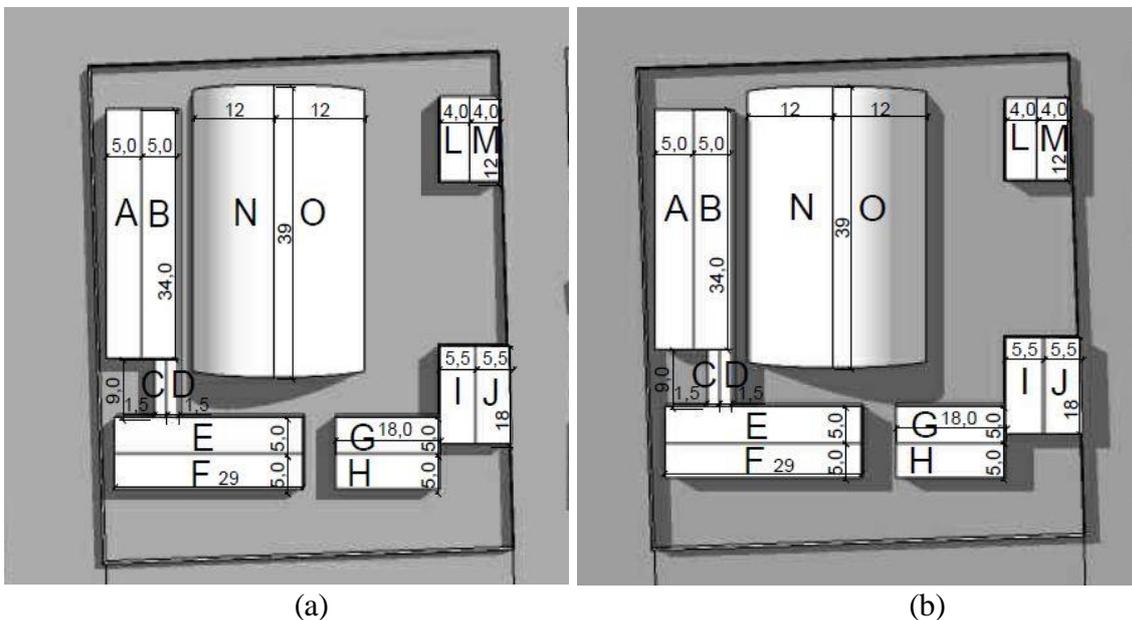
Para realizar o cálculo pela demanda a estimativa da área útil para instalação de sistemas fotovoltaicos é essencial. Para tal, utilizou-se o software Google Sketchup a fim de verificar o sombreamento nas duas edificações no dia 21/06 (solstício de inverno) nos horários de 9h e 15h, como mostram as Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Sombreamento Escola S (sul do país) dia 21/06 (a) 9h. (b) 15h



Fonte: Google Sketchup, 2015.

Figura 3 - Sombreamento Escola N (norte do país) dia 21/06 (a) 9h. (b) 15h



Fonte: Google Sketchup, 2015.

3.2.3 Radiação no plano de cobertura disponível

Para obter a radiação no plano das coberturas disponíveis, utilizou-se o software Radiasol 2. Como ilustram as Figuras 2 e 3, as coberturas foram divididas e ordenadas a fim de verificar o G_{poa} (irradiação disponível na orientação e inclinação do módulo) para cada orientação e inclinação. Na Escola S todas as coberturas possuíam inclinações de 30°. Já a Escola N, possuía coberturas com 20° e 30°, fato considerado no cálculo do G_{poa} .

3.2.4 Cálculo do potencial de geração pelo cálculo da demanda

Depois de obtida a radiação média e o consumo (kWh) das edificações, adotou-se um módulo de uma marca nacional, utilizado em projetos do Governo Federal, de potência de 120 W e dimensões de 0,99 x 0,99 cm.

Em seguida alcançou-se o valor da demanda pela Equação 1.

$$\text{Pot} = E/G_{\text{poa}} \times 30 R \quad (\text{Eq. 1})$$

Pot = Potência

E= Energia (KWh)

G_{poa} = Irradiação disponível na orientação e inclinação do módulo

R= 0,8 (rendimento do inversor e cabearmentos)

Na sequência, obteve-se o número de módulos pela Equação 2.

$$N = \text{Pot} / P_{\text{Mod}}, \text{ onde } P_{\text{Mod}} = \text{Potência do módulo} / 1000 \quad (\text{Eq. 2})$$

Então, calculando-se o valor da geração fotovoltaica pela Equação 3.

$$E = N \times P_{\text{Mod}} \times G_{\text{poa}} \times 30 \quad (\text{Eq. 3})$$

Para o cálculo pela demanda, observa-se que o valor do G_{poa} é um valor médio dos meses. Mas para a demanda mensal, utiliza-se o G_{poa} do respectivo mês. Esse fato é importante para o desenvolvimento posterior da relação Energia gerada versus demanda.

3.2.5 Cálculo do potencial de geração pelo cálculo da área

Primeiramente obteve-se o valor de G_{poa} mensal para cada face de cobertura, considerando sua respectiva inclinação. Em seguida estimou-se a área de cada face através do auxílio do software Google Earth.

A partir da área disponível e da área individual do módulo descrito na seção, obteve-se o valor da potência gerada pela Equação 3. Em seguida, somaram-se as potências geradas por cada cobertura e alcançou-se a potência total.

Para descrever o comportamento ao longo dos meses repetiu-se o procedimento, utilizando o G_{poa} de cada face de cobertura por mês.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das faturas de energia das escolas S e N, referentes ao período de 12 meses, obteve-se a demanda mensal, como ilustra o quadro 1.

Quadro 1 - Demanda das Escolas S e N

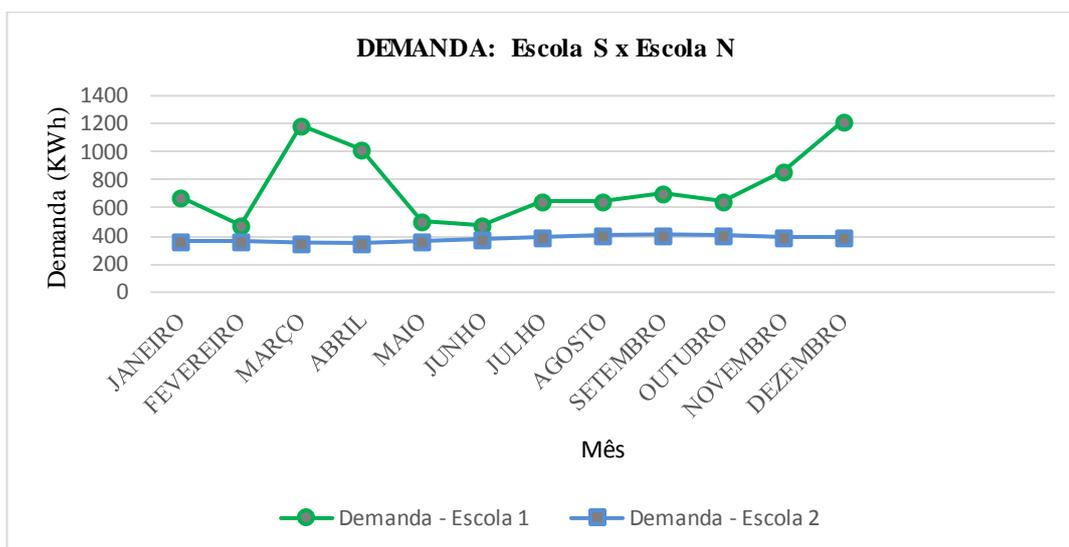
PERÍODO	CONSUMO (kWh) Escola S	CONSUMO (kWh) Escola N
Janeiro/2015	678	371
Fevereiro/2015	477	365
Março/2015	1192	354

PERÍODO	CONSUMO (kWh) Escola S	CONSUMO (kWh) Escola N
Abril/2015	1021	357
Maior/2015	507	363
Junho/2014	477	376
Julho/2014	646	398
Agosto/2014	643	404
Setembro/2014	705	412
Outubro/2014	650	406
Novembro/2014	863	394
Dezembro/2014	1225	387
MÉDIA	757 kWh	382,25 kWh

Fonte: autores.

Mediante o quadro 1 obteve-se graficamente a relação de demanda entre as duas escolas como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Demanda: Escola S versus Escola N



Fonte: autores.

Analisando a relação gráfica de demanda entre as escolas S e N observou-se que a demanda da Escola S é quase o dobro da demanda da Escola N. Um dos motivos sugeridos para tal atribuiu-se ao fato da Escola S possuir um turno a mais de aula (noturno) em relação à Escola N. Além do fato da utilização de iluminação artificial constante no período noturno na escola S, no sul do país, de acordo com a inclinação em que se encontra a terra, a iluminação varia bastante, o que não ocorre no norte, que está próximo ao Equador, sendo necessários em alguns momentos utilizar a iluminação artificial durante a manhã ou ao final da tarde. Assim como as características de uso das edificações são distintas, dada a diversidade étnica e a dimensão geográfica do país.

A radiação solar inclinada obtida para a Escola S, considerando as respectivas variações azimutais e inclinação das coberturas pode ser observada no Quadro 2.

Quadro 2 - Radiação no plano das coberturas da Escola S

	SUDESTE (SE)	NOROESTE (NO)	NORDESTE (NE)	SUDOESTE (SO)
MESES	RADIAÇÃO. INCL. 30°	RAD. INCL. 30°	RAD. INCL. 30°	RAD. INCL. 30°
Janeiro	5,87	5,97	5,85	5,81
Fevereiro	4,91	5,49	5,46	4,7
Março	3,89	5,16	5,13	3,5
Abril	2,61	4,04	4,05	2,19
Mai	1,91	3,58	3,53	1,37
Junho	1,42	2,89	2,87	1,13
Julho	1,6	3,17	3,11	1,2
Agosto	2,21	3,71	3,71	1,73
Setembro	3,09	4,41	4,33	2,75
Outubro	4,17	5,1	5,04	3,99
Novembro	5,47	5,75	5,74	5,38
Dezembro	5,98	6,02	5,96	6,03
MÉDIA	3,594	4,608	4,565	3,315

Fonte: autores.

A radiação solar inclinada obtida para a Escola N, considerando as respectivas variações azimutais e inclinação das coberturas pode ser observada no Quadro 3.

Quadro 3 - Radiação no plano das coberturas da Escola N

	NORTE (N)	SUL (S)	LESTE (NE)	OESTE (O)	LESTE (L)	OESTE (O)
MESES	RAD. INCL. 30°	RAD. INCL. 30°	RAD. INCL. 30°	RAD. INCL. 30°	RAD. INCL. 20°	RAD. INCL. 20°
Janeiro	3,46	4,79	4,13	4,12	4,3	4,29
Fevereiro	3,55	4,34	4	4,02	4,15	4,14
Março	3,73	3,7	3,74	3,81	3,87	3,89
Abril	4,23	3,44	3,86	3,94	3,99	4,03
Mai	5,64	3,59	4,71	4,77	4,9	4,94
Junho	5	3,08	4,1	4,12	4,24	4,27
Julho	5,88	3,58	4,78	4,82	4,98	5,02
Agosto	6,08	4,32	5,29	5,2	5,49	5,58
Setembro	5,42	4,84	5,31	5,22	5,47	5,52
Outubro	4,83	5,54	5,22	5,44	5,5	5,56
Novembro	4,26	5,94	5,18	5,24	3,35	5,43
Dezembro	3,56	5,3	4,53	4,48	4,69	4,69
MÉDIA	4,64	4,37	4,57	4,60	4,74	4,78

Fonte: autores.

4.1 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO PELO CÁLCULO DA DEMANDA

4.1.1 Escola S (sul do país)

Adotando-se o G_{poa} médio na direção noroeste (melhor posição disponível) e inclinação 30° pelas equações descritas no item 2.2.4 obteve-se para a Escola S:

Consumo médio = 757 KWh

$Pot = E/G_{poa} \times 30 R$

$Pot = 757 / 4,61 \times 30 \times 0,8$

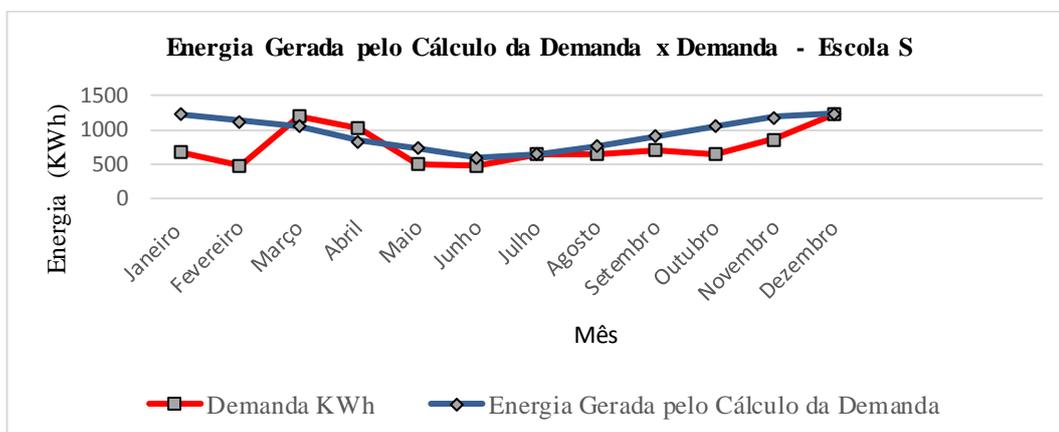
$Pot = 6,84 \text{ KWp}$

$n = 6,84 / 0,12 = 57 \text{ módulos}$

Energia Média Gerada = $57 \times 0,12 \times 4,61 \times 30 = 946 \text{ KWh}$

Efetuada o cálculo da energia média gerada para cada mês, levando em consideração o respectivo G_{poa} , obteve-se para Escola S a relação de energia gerada versus demanda mensal descrita na Figura 5.

Figura 5 - Energia gerada pelo cálculo da demanda versus a demanda mensal – Escola S



Fonte: autores.

Verificou-se que apenas nos meses de março e abril a demanda supera a energia gerada. Sendo compensada, nos meses com geração excedente.

4.1.2 Escola N (norte do país)

Adotando-se o G_{poa} médio na direção norte e inclinação 30° pelas equações descritas no item 2.2.4 obteve-se para a Escola N:

Consumo médio = 3.82,25 KWh

$Pot = E/G_{poa} \times 30 R$

$Pot = 382,25 / 4,64 \times 30 \times 0,8$

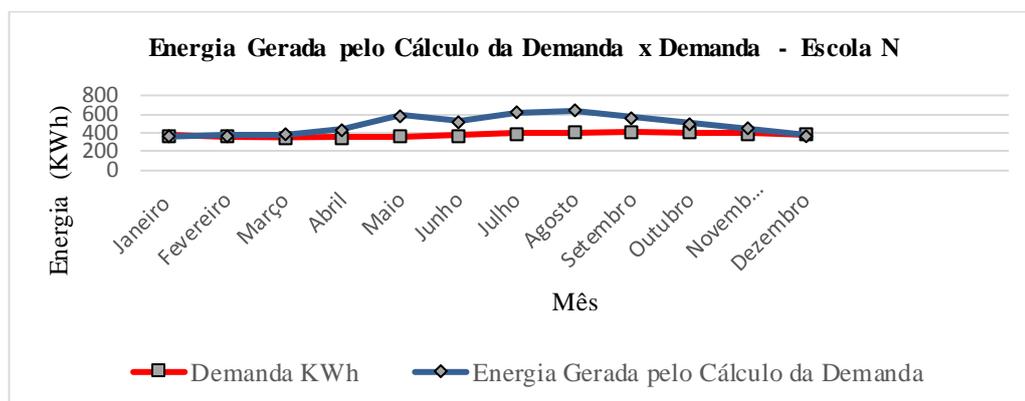
$Pot = 3,43 \text{ KWp}$

$n = 3,43 / 0,12 = 29 \text{ módulos}$

Energia Média Gerada = $29 \times 0,12 \times 4,64 \times 30 = 484,4 \text{ KWh}$

Efetuada o cálculo da energia média gerada para cada mês, levando em consideração o respectivo G_{poa} , obteve-se para Escola N a relação de energia gerada versus demanda mensal descrita na Figura 6.

Figura 6 - Energia gerada pelo cálculo da demanda versus a demanda mensal – Escola N



Fonte: autores.

Verificou-se que nos meses de dezembro e janeiro a demanda é ligeiramente superior a geração de energia.

Observou-se que o período de maior demanda coincide com o período de maior geração de energia.

A época de maior geração ocorreu no período inverso da Escola S. Sugere-se que isto ocorreu por causa das características sazonais locais da região norte, descrita no item 2.1.1.

4.2 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO PELO CÁLCULO DA ÁREA

4.2.1 Escola S (sul do país)

Para a Escola S obteve-se os valores de áreas e respectivos números de módulos:

(NE) → Área A + Área E = 252,4 m² (252 módulos)

(SO) → Área B + Área F = 252,4 m² (252 módulos)

(NO) → Área D = 152 m² (152 módulos)

(SE) → Área C = 152 m² (152 módulos)

A partir dos valores de G_{poa} descritos no Quadro 2 e a Equação 2, obteve-se a geração pela área, como descreve o Quadro 4.

Quadro 4 – Geração pela área - Escola S

ORIENTAÇÃO	Potência Gerada (kWp)
NE	4,14
SO	3,00
NO	2,52
SE	1,96
TOTAL	11,62

Fonte: autores.

Pelo cálculo da demanda, verificou-se que a potência da Escola S era de 6,84 KWp. Como a potência pelo cálculo da área é de 11,62 KWp implica que, em termos médios, se o sistema fotovoltaico fosse instalado pela área disponível na Escola S, este seria capaz de suprir, aproximadamente, mais uma escola que possuísse demanda similar à Escola S.

3.2.2 Escola N (norte do país)

Para a Escola N obteve-se os valores de áreas e respectivos números de módulos:

- (N) → Área E + Área G = 235 m² (235 módulos)
 (S) → Área F + Área H = 235 m² (235 módulos)
 (L – inclinado 30°) → Área B + Área D + Área J + Área M = 245 m² (245 módulos)
 (O – inclinado 30°) → Área A + Área C + Área I + Área L = 270 m² (270 módulos)
 (L – inclinado 20°) → Área O = 468 m² (468 módulos)
 (O – inclinado 20°) → Área N = 468 m² (468 módulos)

A partir dos valores de G_{poa} descritos no Quadro 3 e a Equação 2, obteve-se a geração pela área, como descreve o Quadro 5.

Quadro 5 – Geração pela área - Escola N

ORIENTAÇÃO	Potência Gerada (kWp)
N	3,92
S	3,70
L – inclinado 30°	4,03
O – inclinado 30°	4,47
L – inclinado 20°	7,98
O – inclinado 20°	8,05
TOTAL	32,15

Fonte: autores.

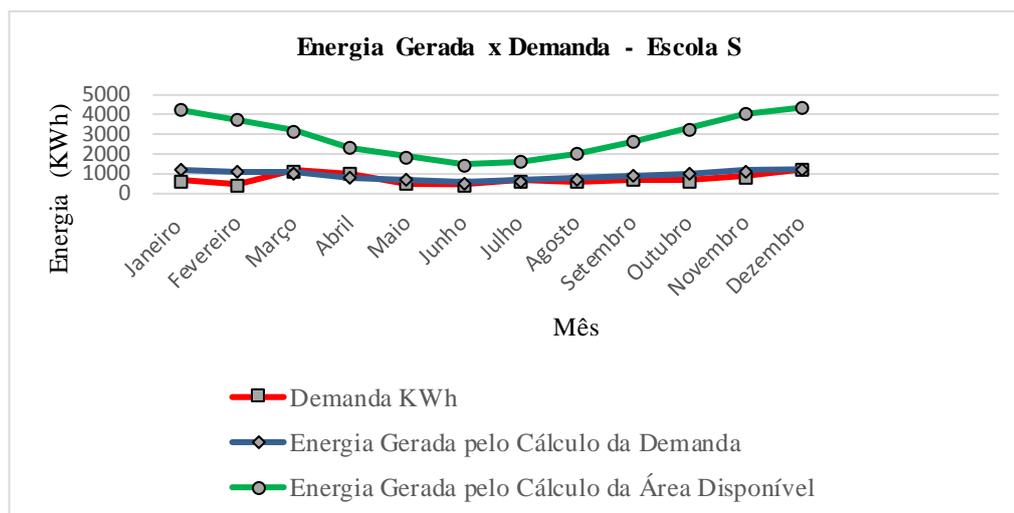
Pelo cálculo da demanda verificou-se que a potência da Escola N era de 3,43 KWp. Como a potência pelo cálculo da área é de 32,15 KWp implica que, em termos médios, se o sistema fotovoltaico fosse instalado pela área disponível na Escola N, este seria capaz de suprir, aproximadamente, mais dez escolas que possuíssem demanda similar à Escola N.

Assim verificou-se que a capacidade de geração pela área foi superior a demanda em ambas as escolas. Isso se deve ao fato de que a área disponível era superior à área necessária para suprir a demanda.

Observou-se também que o potencial de geração de energia da Escola N foi 3 vezes maior que o da Escola S. Um dos motivos principais foi a maior disponibilidade de área útil, isto é, sem interferência externa de sombreamento, da Escola N, 1921 m², contra 808 m² da Escola S. Além, de que as inclinações das coberturas da Escola N estavam mais próximas da latitude local do que a Escola S.

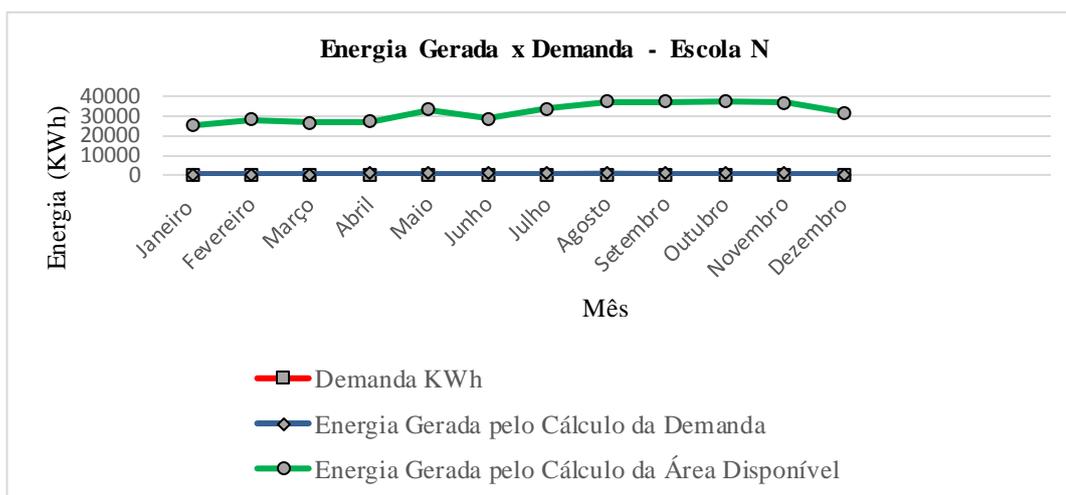
Realizando o mesmo procedimento para as Escolas S e N para cada mês, por cada face de cobertura e considerando os respectivos G_{poa} obtiveram-se as relações descritas nas Figuras 7 e 8, que relacionam a energia gerada pelo cálculo da demanda e pelo cálculo da área com a respectiva demanda das escolas.

Figura 7 - Demanda da escola e energia gerada de acordo com a necessidade ou área total disponível – Escola S



Fonte: autores.

Figura 8 - Demanda da escola e energia gerada de acordo com a necessidade ou área total disponível – Escola N



Fonte: autores.

4 CONCLUSÃO

Os resultados apontaram que ambas as escolas possuem potencial de geração fotovoltaica suficiente para suprir sua demanda de energia elétrica.

Também se verificou que um sistema fotovoltaico que aproveitasse a área disponível na Escola S seria o suficiente para suprir a demanda elétrica de mais uma escola com a mesma demanda e na Escola N seria o suficiente para alimentar aproximadamente 11 escolas com a mesma demanda. Destacando, assim, a forte influência de fatores regionais no potencial de geração. Os quais devem ser avaliados em projetos beneficiários que atendam regiões de características distintas, como as pesquisadas.

Assim, a pesquisa sugere que a implementação da tecnologia fotovoltaica nesse tipo de edificação é econômica e energeticamente viável. Destaca-se ainda, que este tipo de aplicação fotovoltaica contribuiria para o desenvolvimento de material humano no campo de energia fotovoltaica, tendo em vista que essas escolas serviriam de laboratório de estudo e aprimoramento desse tipo de aplicação, principalmente na utilização nas aulas de ensino fundamental despertando desde cedo a consciência ambiental nas crianças.

5 LIMITAÇÕES

O processo de estudo encontrou algumas limitações no levantamento das áreas cobertas a serem analisadas e no seu sombreamento.

A geração de energia pelo sistema solar fotovoltaico ainda é de recente utilização e encontra algumas dificuldades, como o alto investimento e a dependência de fatores climáticos, que impactam na variação da energia produzida, devido à situação climática (chuvas, neve), além de que durante a noite não existe produção alguma, o que obriga a existência de armazenamento da energia produzida durante o dia em locais onde os painéis solares não estejam ligados à rede de transmissão de energia. Também, locais de latitudes médias e altas sofrem quedas bruscas de produção durante os meses de Inverno devido à menor disponibilidade diária de energia solar. E, locais com frequente cobertura de nuvens, tendem a ter variações diárias de produção de acordo com o grau de nebulosidade.

6 RECOMENDAÇÕES DE ESTUDO

O estudo considerou escolas que possuem aproximadamente mesmo número de alunos e tipologias de construção similares, porém com implantação em sítios de distinta orientação solar e entorno. Assim como as características culturais e de uso das edificações são diferentes, dada a dimensão étnica e geográfica do país.

Seria interessante, como recomendação de estudo, avaliar mesmas condições para ambos os sítios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 482/2012. 2012.** Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016a.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Novas regras para geração distribuída entram em vigor. 29/2/2016.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9086&id_area=90>. Acesso em: 16 jun. 2016b.

BRASIL. **Instrução Normativa N° 2, de 4 de junho de 2014.** Capítulo III da Seção I do Diário Oficial da União de N° 106 de 5 junho de 2014, p. 103. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=103&totalArquivos=164>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

DISTRITO FEDERAL. Projeto de Lei N° 1699, 2013: **Energia Solar nas Escolas.** Câmara Legislativa do Distrito Federal. Brasília, DF. 2013. Disponível em: <<http://profisrael.com.br/prof-israel-apresenta-projeto-para-utilizacao-de-energia-solar-nas-escolas/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura.** Tradução de SALVATERRA, A. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.. **Fundamentos de Física 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 4.ª ed., Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1997.

HAZEN, R.; TREFIL, J. **Física Viva**. Editora: LTC, vol. 3, 1. ed., 2006.

NUSSENZVEIG, H. M.. **Curso de Física Básica 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas e Calor**. 4ª edição – Edgard Blucher, São Paulo, 1997.

PINHO, J.T., GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014. 530p. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>
Acesso em: 23 mar. 2015

ROCHA, L. da S., GOMES, J. B. S., SILVA, T. R. C. da, FONTES NETO, P. A., ALVES, A. M. S. **O potencial de geração de energia fotovoltaica integrada a rede pública de distribuição: um exemplo de Açailândia para o Maranhão**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 3, p. 107-127, 2014.