

INSTALAÇÃO DE UM GERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO DE GRANDE PORTE INTEGRADO À ARQUITETURA DA ELETROSUL: UMA EDIFICAÇÃO NO MEIO URBANO NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS.

Clarissa Debiasi Zomer – clarissa@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Ricardo Rüther – ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

LabSolar – Laboratório de Energia Solar e LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

3.6 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Resumo. A inserção de geradores convencionais de energia no meio urbano tende a acarretar problemas para o entorno, tais como poluição do ar, sonora e visual. No entanto, com uma população em franco crescimento, o aumento da demanda energética torna-se inevitável. Entre as fontes renováveis de energia, destaca-se a solar fotovoltaica, que, além de gerar eletricidade de forma distribuída, diferenciando-se da forma como se constitui o setor elétrico brasileiro, é inesgotável, silenciosa, estática, extremamente simples e possui característica modular. Além disso, pode integrar-se ao envelope da edificação, agregando valor estético a esta, não ocupando área extra, ficando, portanto, próxima ao ponto de consumo. O objetivo deste artigo é propor a inserção do maior gerador de energia fotovoltaica do Hemisfério Sul de que se tem notícia, no meio urbano da cidade de Florianópolis – SC, integrado ao envelope de uma edificação. Através da análise do potencial de geração fotovoltaica e do percentual que este representa diante do consumo da edificação escolhida, no caso, a Eletrosul, foi realizado um estudo do impacto da energia injetada na rede, avaliando a contribuição energética ao alimentador que atende a edificação em questão. Pode-se observar que, diferentemente de um gerador de energia baseado em combustíveis fósseis, o gerador fotovoltaico pode estar inserido no meio urbano sem que cause qualquer desconforto aos seus vizinhos, diminuindo significativamente as perdas por transmissão e distribuição se comparado à energia que vem de centrais hidroelétricas ou térmicas convencionais. A geração fotovoltaica mostrou-se capaz de suprir cerca de 26% do consumo energético anual da Eletrosul e contribuir para a redução de 4% do consumo de energia anual do alimentador. Concluiu-se que a integração de geradores fotovoltaicos à arquitetura deveria ser vista como um desafio para a nova geração de edifícios, pois esta eficiente tecnologia só precisa adquirir um preço mais competitivo no mercado para ser mais largamente utilizada.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Geração distribuída, Sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto mundial de energia

O petróleo é um elemento de influência nas relações geopolíticas contemporâneas, desde quando se tornou a matriz energética básica da sociedade industrial e o elemento fundamental para o funcionamento da economia moderna (Barros, 2007). Porém, com sua iminente esgotabilidade, além dos graves danos gerados ao ambiente quando utilizado, todas as tecnologias energéticas estão hoje unidas nos países desenvolvidos para suprir sua ausência bem como controlar a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera terrestre.

Uma crescente preocupação mundial é a questão ambiental; não se admite mais poluir indiscriminadamente. A busca por fontes renováveis de energia vem ganhando cada vez mais espaço no mercado mundial, onde além de evitar as emissões de gases poluentes provenientes das fontes térmicas convencionais de energia, essas fontes alternativas diversificam a matriz energética (Jardim, 2007)

Atualmente, a maior parte da energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural (Conceição, Candeia et al., 2005). Soma-se a isto, uma população em franco crescimento, o que implica no aumento da demanda energética, aliada às pressões econômicas e industriais pelo desenvolvimento. De acordo com estimativas publicadas pelo U.S. Census Bureau, em maio de 2008 a população mundial era de aproximadamente 6,670,000,000 (Bureau, 2008) e até 2050 a estimativa é de que sejam 9,2 bilhões de habitantes no planeta.

Segundo o BEN 2007 (ano base 2006), a oferta mundial de energia em 2006 foi composta por 34,3% de petróleo e seus derivados. A energia hidráulica e a eletricidade representaram apenas 2,2% do total de energia ofertada no mundo. Dentro da energia elétrica, o maior percentual de geração por fonte se deu devido a centrais a carvão mineral, com

40,3% do total. Em seguida aparecem as centrais a gás natural, com 19,7%, as centrais hidroelétricas, com 16% e as centrais de fonte nuclear, com 15,2%. Os derivados de petróleo representam apenas 6,6%. A oferta mundial de energia primária e a oferta mundial de energia elétrica por fonte, ambas para o ano de 2006, estão apresentadas na Figura 1.

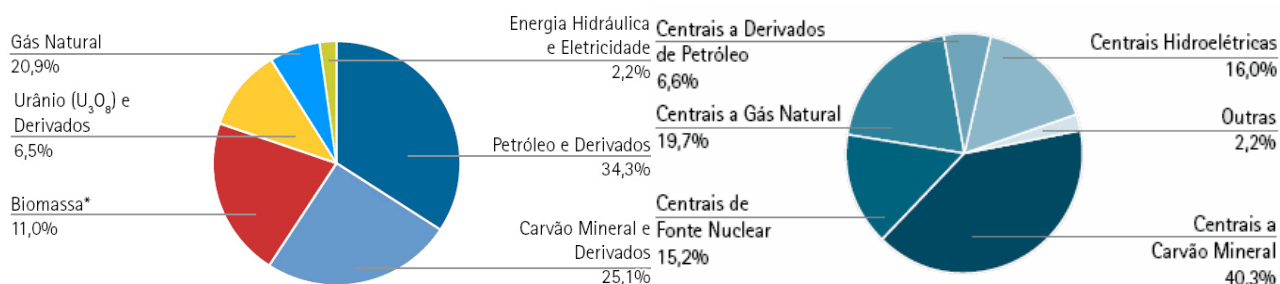


Figura 1. Oferta mundial de energia primária e geração de energia elétrica mundial por fonte para o ano de 2006. (MME, 2007).

1.2 Sistema energético brasileiro

Ao contrário da maioria dos países, a matriz energética brasileira baseia-se, principalmente, em fontes renováveis. O Brasil possui a maior bacia hidrográfica do mundo, com um potencial de geração de energia elétrica incomparável. A partir da década de 50, as usinas hidroelétricas proliferaram, dando sustentação ao forte impulso do país rumo à industrialização e ao desenvolvimento. Em 2007, 77% da energia elétrica ofertada no Brasil foi proveniente de grandes e pequenas centrais hidroelétricas (MME, 2008).

Por muitos anos, o Brasil conviveu com a impressão de que suas fontes energéticas hidrológicas eram inesgotáveis. No entanto, a crise energética brasileira, especialmente a ocorrida no ano de 2001, mostrou que ela foi decorrente não apenas dos períodos de secas, mas também da falta de investimentos na construção de novas usinas e linhas de transmissão.

Em 2007 o Brasil apresentava 46,4% de sua geração energética baseada em fontes renováveis, devido em grande parte às usinas hidroelétricas e aos derivados da cana de açúcar. A geração de energia elétrica no Brasil, em centrais de serviço público e de autoprodutoras, atingiu 441,8 TWh em 2007. Compõem este resultado 392 TWh em fontes de energias renováveis e 49,6 TWh em fontes energéticas não renováveis (MME, 2008).

O consumo final de eletricidade atingiu 412,6 TWh em 2007, valor 5,8% superior ao ano de 2006 e o consumo residencial, de 90,8 TWh, apresentou crescimento de 5,9% em relação ao ano anterior. O consumo comercial atingiu 59,1 TWh e o consumo industrial atingiu 194,6 TWh (MME, 2008).

1.3 Geração energética distribuída

O sistema elétrico brasileiro experimentou, entre 2001 e início de 2002, uma deficiência significativa de suprimento, colocando o mercado na situação de iminente desabastecimento. Esta situação foi contornada, principalmente, pela ação dos consumidores residenciais, comerciais e industriais, que reduziram, aproximadamente, em 20% a carga da Região Sudeste e Centro Oeste e em 23% a carga do Nordeste (Paula, 2004). Uma das alternativas que os consumidores com capacidade de investimento poderiam ter adotado seria a adoção da autoprodução, com a instalação de geradores independentes.

A geração elétrica realizada junto ou próximo ao ponto de consumo, independente da potência, tecnologia e fonte energética, é denominada geração distribuída. As tecnologias de geração distribuída têm evoluído para incluir potências cada vez menores, ou seja, criando mini-usinas geradoras.

Existem diversas formas de realizar a geração distribuída, tais como: co-geradores, geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo, geradores de emergência, geradores para operação no horário de ponta, pequenas centrais hidroelétricas e módulos solares fotovoltaicos (INEE, 2008). É essa última tecnologia que este trabalho se propõe a estudar.

Uma das principais vantagens da geração distribuída, em comparação com a geração central de energia, é a economia em investimentos para a ampliação da rede, diminuindo perdas por transmissão e distribuição (T&D) e melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica.

Na primeira metade do século XX, a geração elétrica próxima ao consumidor chegou a ser regra, quando a energia industrial era praticamente toda gerada localmente. A partir da década de 40, no entanto, a geração em centrais de grande porte ficou mais barata, reduzindo o interesse dos consumidores pela geração distribuída e, como consequência, o desenvolvimento tecnológico para incentivar esse tipo de geração também parou (INEE, 2008).

Em 2004, ocorreu um grande avanço para a geração distribuída, que foi mencionada na Lei 10.848/04 como uma das possíveis fontes de geração de energia. O detalhamento do Decreto 5.136/04 fornece características que ajudarão as empresas distribuidoras, que até então se opunham a esta forma de geração, a enxergarem na geração distribuída uma das formas de mitigar riscos de planejamento.

1.4 Energia solar fotovoltaica interligada à rede elétrica

Uma característica fundamental de sistemas solares fotovoltaicos interligados à rede elétrica pública é que dispensam os bancos de baterias necessários em um sistema do tipo autônomo e os elevados custos e manutenção envolvidos. Na configuração mais comum, estes sistemas são instalados de tal maneira que quando o gerador solar fornece mais energia do que a necessária para o atendimento da instalação consumidora, o excesso é injetado na rede elétrica pública e a instalação consumidora acumula um crédito energético (o relógio contador típico é bidirecional e neste caso anda para trás; o sistema é denominado net metering). Por outro lado, quando o sistema solar gera menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica. Desta forma, geração e consumo de energia elétrica têm coincidência espacial e as perdas por transmissão e distribuição, comuns no sistema tradicional de geração centralizada, são minimizadas. Outra vantagem destes sistemas é o fato de que se tem uma usina geradora descentralizada e que não ocupa área física, visto que a integração à edificação substitui ou se sobrepõe a materiais de cobertura e/ou revestimento (Rüther, 2004).

Segundo Prasad e Snow (2002), o atual nível de geração de energia baseada em combustíveis fósseis é de longe a maior barreira para se atingir um estado de equilíbrio sustentável. A energia solar fotovoltaica já está fazendo uma significativa contribuição através da transição para as fontes renováveis – a chave para atingir uma sociedade sustentável.

1.5 Gerador de energia solar fotovoltaica integrado à edificação

A inserção de geradores convencionais de energia no meio urbano tende a acarretar problemas para o entorno, tais como poluição do ar, poluição sonora e poluição visual. No entanto, a energia é cada vez mais necessária para o desenvolvimento humano. Utilizar a fonte de geração próxima ao ponto de consumo permite que as perdas por transmissão e distribuição sejam mínimas, portanto, o sistema torna-se mais eficiente.

A tecnologia fotovoltaica integrada à edificação apresenta-se como uma opção inteligente de geração energética próxima ao ponto de consumo, não ocupando área extra e não interferindo negativamente no entorno em que se encontra. Pelo contrário, a utilização desta tecnologia tanto sobreposta à estrutura existente, como sendo o próprio material de vedação, só tem a acrescentar valor estético à edificação. Arquitetos com visão compreendem que o objetivo do bom projeto não é simplesmente criar um edifício esteticamente agradável – os edifícios do futuro devem ser ambientalmente responsáveis também (Sick and Erge, 1996).

2. OBJETIVOS

Através da integração de módulos solares fotovoltaicos à cobertura de uma edificação de grande porte na cidade de Florianópolis, o presente artigo se propõe a analisar o potencial de geração energética deste sistema, bem como o impacto desta geração na rede elétrica urbana na qual a edificação está inserida.

3. METODOLOGIA

3.1 Escolha da edificação a ser objeto de estudo

Como o objetivo deste trabalho é utilizar o envelope de uma edificação para a instalação de um gerador fotovoltaico de grande porte, escolheu-se uma edificação de grandes dimensões para acomodá-lo, no caso, o Edifício sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A.

A Eletrosul é uma empresa do setor elétrico, subsidiária da Eletrobrás, e que atua na geração e transmissão de energia elétrica em alta e extra tensão nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul.

Localiza-se no bairro Pantanal, um bairro de uso misto, e possui cerca de 8.100 m² de área de cobertura.

3.2 Consumo energético do edifício sede da Eletrosul – Florianópolis

Os dados do consumo de energia elétrica do edifício sede da Eletrosul computados pela concessionária de energia elétrica local (CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina) foram cedidos pela Eletrosul. Foram solicitadas as contas de energia de um período de doze meses juntamente com a memória de massa do mesmo período. A memória de massa forneceu informações de demanda contabilizada em intervalos de quinze minutos entre cada medição.

A partir das informações de demanda em unidade de potência (kW) com intervalos horários (integral de quatro medições), foi possível determinar o consumo energético por hora da edificação.

3.3 Análise da área disponível para a integração de módulos solares fotovoltaicos

Através de levantamentos fotográficos e in-loco, plantas baixas, cortes, fachadas e planta de cobertura, foi possível estimar a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. Levou-se em consideração a arquitetura existente, de modo a não interferir na questão estética da mesma. A instalação proposta foi discreta, para ser vista apenas de edificações mais altas.

3.4 Sistemas solares fotovoltaicos propostos

Foram propostos três sistemas, utilizando-se a mesma tecnologia fotovoltaica, porém de diferentes fabricantes e diferentes potências nominais. Os módulos selecionados são todos de silício policristalino, com potências nominais variando de 200 W a 210 W.

3.5 Cálculo da geração fotovoltaica

O edifício sede da Eletrosul está localizado na cidade de Florianópolis, a 27°S e 48°W cuja média anual de radiação global horizontal diária está entre 4500 a 4700 Wh/m² (Colle and Pereira, 1996). Foram utilizados os valores de radiação obtidos pelo programa RADIASOL¹. Este programa foi concebido como parte do pacote SOLARCAD para possibilitar o cálculo da radiação solar incidente em superfícies de diferentes orientações (UFRGS, 2001).

A partir dos dados fornecidos pelo RADIASOL e da potência instalada em cada uma das propostas, calculou-se os valores de geração solar fotovoltaica para cada mês e para o ano, de acordo com a Equação 01.

$$G = R \times r \times Pcc \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

G = geração solar fotovoltaica (kWh); R = radiação local (kWh/m²); r = rendimento do sistema inversor e conexões, tipicamente 80%; Pcc = potência do sistema em corrente contínua (kW), obtido através da Equação 02.

$$Pcc = A \times \text{Eff} \quad [\text{Eq.02}]$$

Onde:

A = área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos (m²); Eff = eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica utilizada.

Multiplicando-se o valor da Equação 01 por 30, obtém-se o valor de geração fotovoltaica mensal.

3.6 Rede de distribuição na região do edifício sede da Eletrosul – Florianópolis

O edifício sede da Eletrosul está inserido na rede de distribuição de energia elétrica sendo abastecido pelo alimentador TDE-07, derivado da subestação TDE (Trindade).

A partir dos dados de consumo energético do alimentador, foi possível avaliar sua curva de carga e compará-la com a geração fotovoltaica da edificação.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Edifício Sede da ELETROSUL

O Edifício Sede da Eletrosul localiza-se na cidade de Florianópolis - SC, no bairro Pantanal, à Rua Deputado Antônio Edu Vieira (Figura 2). Trata-se de um bairro de uso misto, comercial e residencial.



Figura 2. Localização da edificação escolhida: Sede da Eletrosul, Florianópolis – SC. (Google_Earth, 2008)

¹ www.solar.ufrgs.br

A edificação é datada de 1978, considerada um ícone da arquitetura catarinense. Seu projeto modernista, com linhas retas e sóbrias, apresenta um edifício de aspecto contemporâneo e de alta funcionalidade. (Figura 3 a e b)

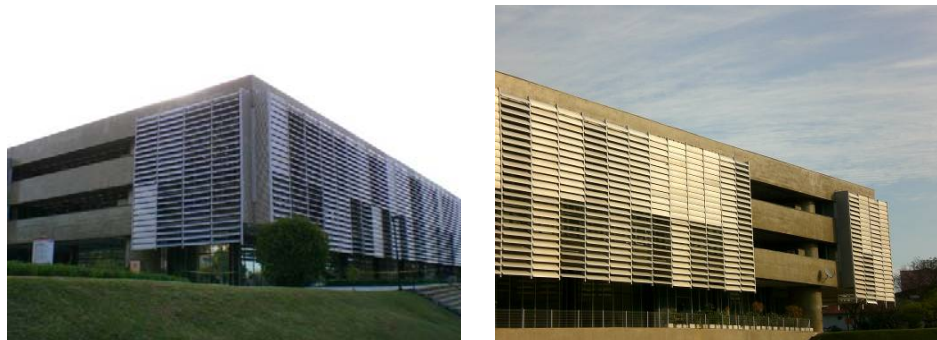


Figura 3 (a e b). Fachadas do Edifício Sede da Eletrosul em Florianópolis – SC.
(Arquivo pessoal)

4.2 Consumo energético

Foram fornecidos pela Eletrosul dados da memória de massa demonstrando o consumo da edificação no período de janeiro a dezembro de 2007. Os valores de potência energética, medidos a cada 15 minutos durante todos os dias do ano, foram transformados em valores integrais através da média de demanda das quatro medições realizadas.

O cálculo das integrais resultou em novas tabelas, com valores em kWh, com os quais foi possível determinar o perfil do consumidor.

Devido ao fato das cargas indutivas precisarem de um campo eletromagnético para operar, elas consomem além da potência ativa (kW), a potência reativa (kVAr) a qual mantém o campo eletromagnético. Apesar de não produzir trabalho útil, ela circula entre o gerador e a carga, exigindo do gerador e do sistema de distribuição uma corrente adicional. Juntas, a potência ativa e a reativa formam a potência aparente (kVA).

Portanto, o comportamento da potência reativa foi analisado através de tabelas e gráficos, sendo obtido também através do cálculo da integral de cada hora do dia, para todos os dias do ano de 2007.

A Tabela 1 apresenta o consumo total mensal energético da edificação em MWh, já considerando a participação da potência reativa. Pode-se notar que o mês com maior consumo foi Janeiro/07 com cerca de 367 MWh consumidos. Já o mês que apresentou menor consumo foi Outubro/07 com cerca de 300 MWh. O consumo energético anual foi de aproximadamente 4 GWh.

Tabela 1. Consumo energético total mensal e anual para 2007.

CONSUMO MENSAL (MWh) - 2007	
Janeiro	367,05
Fevereiro	355,77
Março	359,14
Abril	346,84
Maio	333,76
Junho	319,74
Julho	320,10
Agosto	324,53
Setembro	343,32
Outubro	299,90
Novembro	342,11
Dezembro	341,12
CONSUMO ANUAL	4.053,38

A partir dos valores de consumo horários máximos, médios e mínimos mensais, foram gerados gráficos para os doze meses, os quais demonstraram o perfil de consumo energético e a participação da potência reativa. A figura 7 apresenta os gráficos obtidos para cada mês (Figura 4).

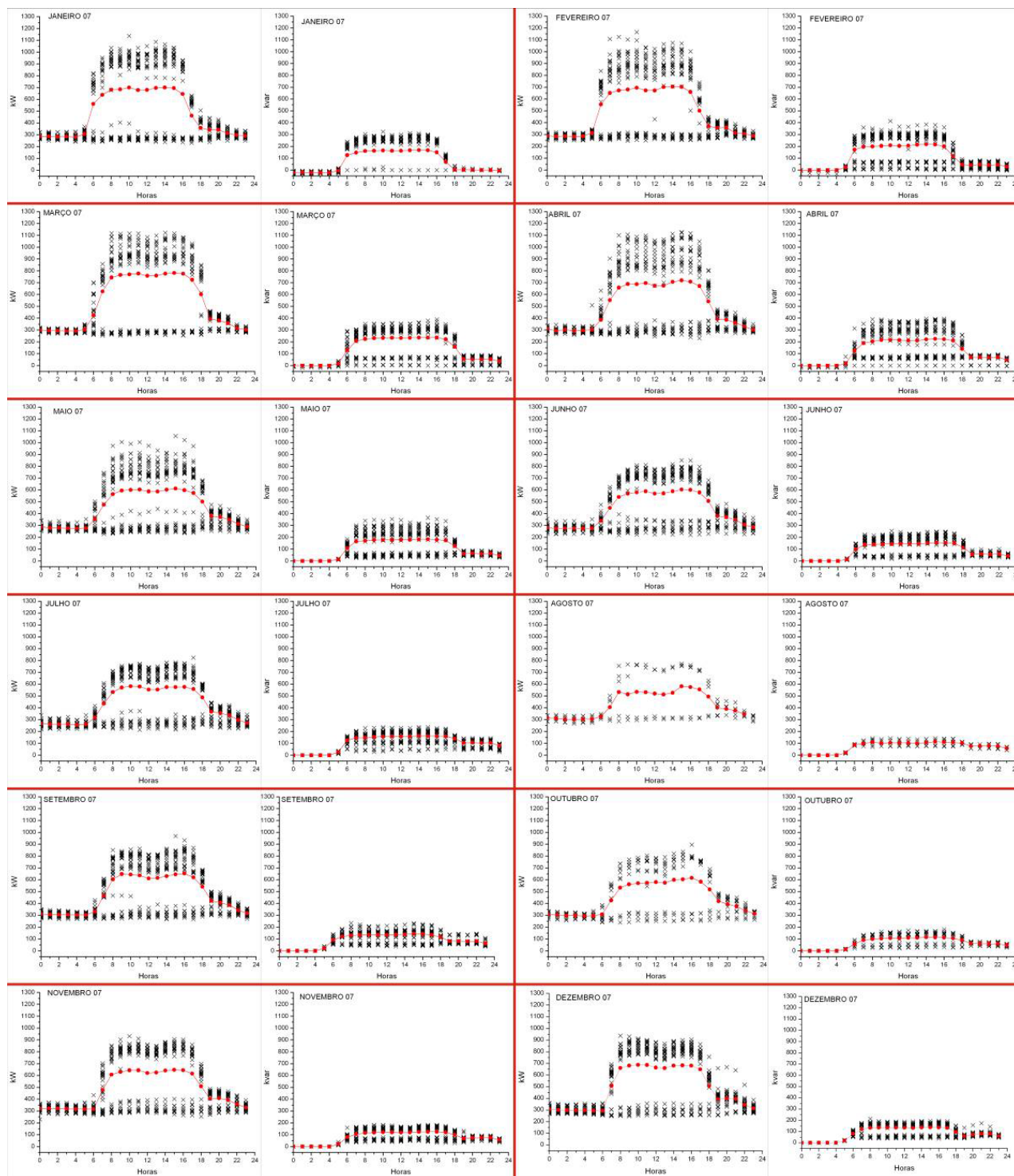


Figura 4. Consumo de energia horária, para todos os meses do ano.

A partir da análise dos gráficos, pode-se notar que o consumo da edificação da Eletrosul é acentuado entre 8:00h e 12:00h e entre 14:00h e 18:00h. No horário de almoço, há uma suave diminuição no consumo de energia.

Estes gráficos demonstraram que a edificação possui um pico de demanda diurno, ou seja, seu maior consumo ocorre durante o dia. Desta forma, a integração de um gerador solar fotovoltaico, cuja geração se dá durante as horas de sol, se torna interessante pela concomitância entre geração e consumo.

O pico máximo de consumo ocorreu no mês de fevereiro, às 10:00h com 1164,96 kWh. A menor demanda horária encontrada foi de 215,04 kWh, para o mês de julho, às 11:00h.

A Tabela 2 apresenta os valores mínimos, médios e máximos para cada mês do ano, em kWh.

Tabela 2. Consumo energético horário mínimo, médio e máximo de cada mês do ano.

CONSUMO ENERGÉTICO DE UMA HORA (kWh)			
MÊS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÉDIO	VALOR MÁXIMO
Janeiro	231,36	478,85	1136,16
Fevereiro	247,68	492,32	1164,96
Março	253,44	544,48	1122,24
Abril	231,36	498	1128,48
Maio	228,48	443,31	1056
Junho	219,84	434,92	851,04
Julho	215,04	421,16	824,16
Agosto	267,84	433,69	772,56
Setembro	267,12	473,32	969,84
Outubro	239,76	445,57	895,68
Novembro	229,8	476,02	932,4
Dezembro	247,68	486,23	936,72

A Figura 5 apresenta um gráfico com o perfil de consumo médio diário ao longo do ano e pode-se perceber que o consumo médio diário foi maior durante os meses de verão do que durante os meses de inverno, com uma queda significativa somente para o mês de agosto. Esta sazonalidade também se mostra positiva para a geração fotovoltaica, pois nos meses de maior consumo de energia, a geração solar fotovoltaica também é maior.

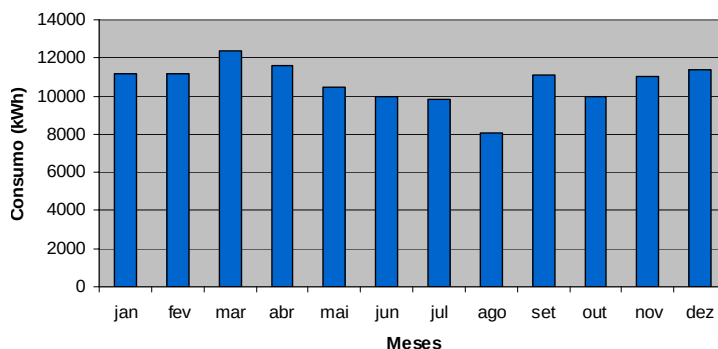


Figura 5. Consumo médio diário da Eletrosul

4.3 Análise da área disponível para a integração de módulos solares fotovoltaicos

O Edifício Sede da Eletrosul (Figura 6 a e b) possui formato quadrangular de 90m x 90m. Sua cobertura é parte em telhas metálicas, parte em piso cerâmico e, no vão central, existem domus que permitem a passagem da luz natural para o interior da edificação, ou seja, existe iluminação zenital.



Figura 6 (a e b). Detalhes da cobertura: telhas metálicas e domus para iluminação zenital. (Arquivo pessoal)

De posse do projeto arquitetônico, foi possível estimar a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. A cobertura da Eletrosul pode ser visualizada na Figura 7.



Figura 7. Planta de cobertura da Eletrosul

A área de cobertura em telhas metálicas disponível é de 4996,64 m². Na região central, o conjunto de domos que proporcionam iluminação zenital para o interior da edificação é composto por 506 domos individuais de 1,10 x 1,10m que ocupam uma área de 556 m².

4.4 Sistemas fotovoltaicos propostos

Três fabricantes foram selecionados e de cada um deles escolheu-se um módulo com potência igual ou superior a 200 W. Os fabricantes escolhidos e seus respectivos modelos e potências estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Fabricantes, modelo de módulo fotovoltaico e potência nominal selecionados.

FABRICANTE	MODELO	POTÊNCIA NOMINAL
Sanyo - HIT	HIP - 205 BA3	205
BP Solar	SX 3200	200
Kyocera	KD 210GX-LP	210

Os sistemas foram classificados como sistema 1, sistema 2 e sistema 3 para os fabricantes Sanyo, BP Solar e Kyocera, respectivamente.

O número de módulos para cada sistema apresenta-se na Tabela 4, bem como sua potência instalada para cada um dos casos.

Tabela 4. Potencial instalado para cada sistema fotovoltaico proposto.

SISTEMAS	Nº DE MÓDULOS	POTÊNCIA NOMINAL (W)	POTÊNCIA INSTALADA (KW)
Sistema 1	4.234	205	868
Sistema 2	3.569	200	714
Sistema 3	3.353	210	704

De acordo com a Tabela 4, pode-se notar que a utilização de um módulo de maior potência não garante um potencial instalado maior do que se utilizar um módulo com potência nominal inferior. Isto ocorre devido à diferença nas dimensões dos módulos, pois, em geral, quanto maior a potência, maior o módulo. Portanto, para uma determinada área, o número de módulos de cada modelo varia, variando também a potência instalada.

4.5 Geração solar fotovoltaica

Para cada sistema, calculou-se a sua geração fotovoltaica, contrastando-a com o consumo mensal da edificação. Desta forma, obteve-se o percentual de suprimento energético que a geração solar representa para a edificação da Eletrosul. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos.

Tabela 5. Geração energética dos três sistemas fotovoltaicos.

	SISTEMA 1		SISTEMA 2		SISTEMA 3	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Janeiro	114.034	31	93.802	26	92.489	25
Fevereiro	111.451	31	91.678	26	90.394	25
Março	99.994	28	82.253	23	81.101	23
Abril	82.911	24	68.201	20	67.246	19
Maio	69.579	21	57.234	17	56.433	17
Junho	52.288	16	43.011	13	42.409	13
Julho	53.122	17	43.697	14	43.085	13
Agosto	70.620	22	58.091	18	57.277	18
Setembro	75.620	22	62.204	18	61.332	18
Outubro	88.119	29	72.485	24	71.470	24
Novembro	114.368	33	94.077	27	92.759	27
Dezembro	120.201	35	98.875	29	97.490	29
MÉDIA MENSAL	87.911	26	72.314	21	71.301	21
TOTAL ANUAL	1.052.308	26	865.608	21	853.485	21

O sistema 1, com a maior potência instalada, ou seja, 868 kWp, é capaz de gerar até 120 MWh em um único mês (dezembro), o que representa 35 % do consumo energético neste mesmo mês. A média mensal de geração deste sistema é de aproximadamente 88 MWh e o total de geração anual é de cerca de 1 GWh/ano. Esta geração anual representa 26% de todo o consumo da edificação ao longo do período.

O sistema 2, cuja potência instalada foi de 714 kWp, teria geração máxima de cerca de 99 MWh em um único mês, representando 29% do consumo deste. Sua geração média mensal é aproximadamente 72 MWh e o total de geração anual fica em torno de 865 MWh/ano, suprimindo 21% do consumo energético da edificação.

O sistema 3, o qual mesmo utilizando o módulo de 210W (maior potência nominal), possui a menor potência instalada, ou seja, 704 kWp. Sua geração máxima em um único mês é de cerca de 97 MWh, representando 29% do consumo energético do mesmo. A geração média mensal do sistema 3 é de aproximadamente 71 MWh e a geração anual de cerca de 853 MWh/ano, 21% do consumo energético da Eletrosul.

A tabela 5 demonstrou que mesmo com uma diferença de potencial energético instalado, o sistema 2 e o sistema 3 apresentaram valores muito semelhantes quanto ao atendimento energético da edificação. Somente o sistema 1 mostrou-se com uma diferença significativa de geração energética, ou seja, superior aos demais.

4.6 Perfil de consumo energético do alimentador que a edificação está inserida

O edifício sede da Eletrosul está inserido na rede de distribuição de energia elétrica da cidade de Florianópolis – SC, sendo abastecido pelo alimentador TDE-07, derivado da subestação TDE (Trindade).

Com base nos dados fornecidos pela CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina foi possível analisar o consumo energético do alimentador em questão, ao longo do dia, para o ano de 2007 (Figura 8).

O consumo energético do alimentador TDE-07 apresenta-se bem distribuído ao longo do dia, com alguns picos expressivos entre 10:00 e 14:00 horas. Porém, a média de consumo horária mensal demonstrou que o maior consumo ocorre, para todos os meses, por volta das 21:00 horas. O alto consumo energético no período noturno deve-se, principalmente, ao uso de chuveiros elétricos.

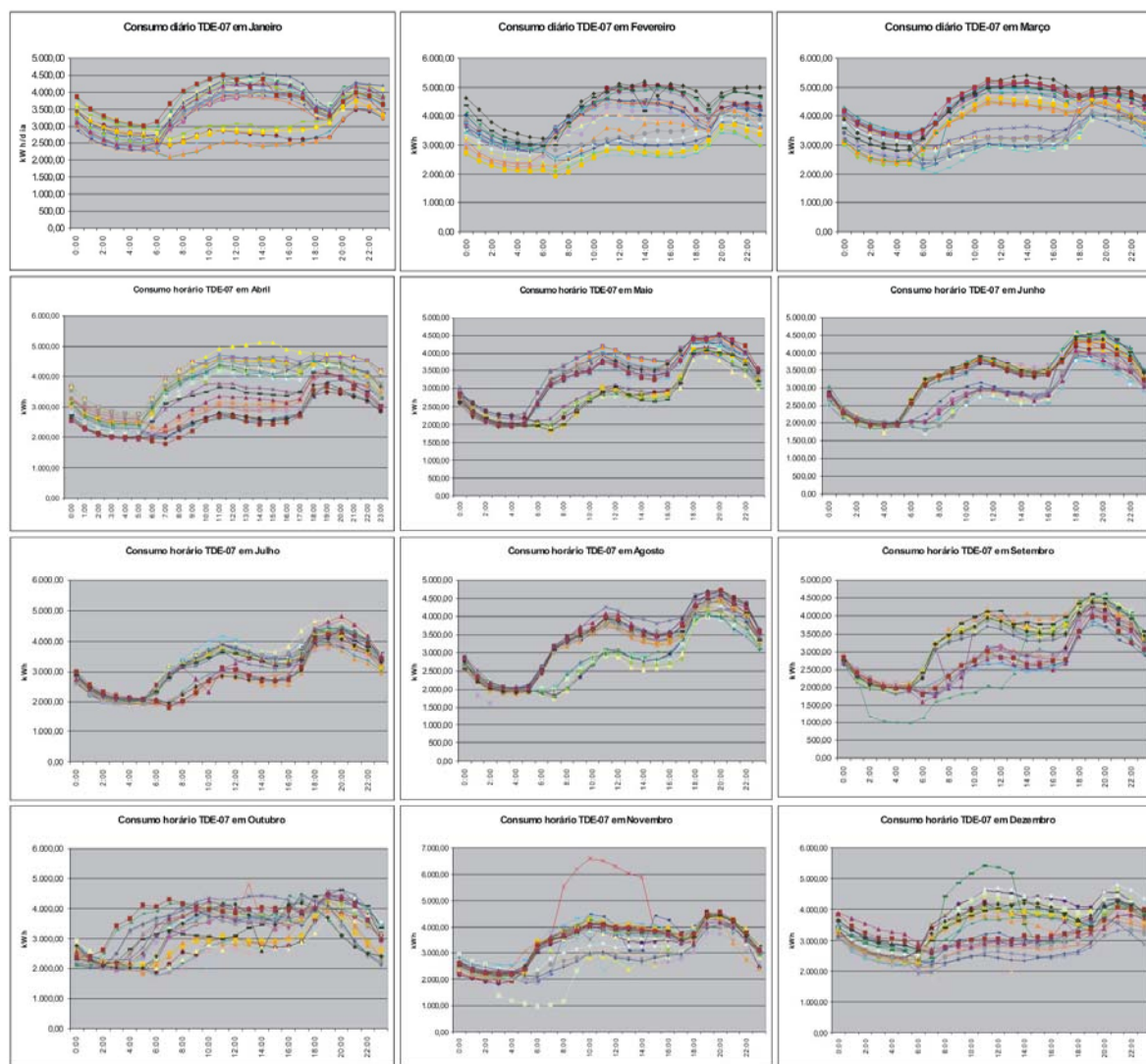


Figura 8. Consumo energético horário do alimentador TDE-07.

Comparando-se o consumo deste alimentador com o consumo da Eletrosul, tem-se que a Eletrosul representa cerca de 15% do consumo total do alimentador. A Tabela 6 apresenta os percentuais mensais.

Tabela 6. Relação entre o consumo energético da Eletrosul e o consumo energético do TDE-07.

	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)		
	ELETROSUL	TDE-07	%
Janeiro	367.050,00	2.484.777,45	14,77%
Fevereiro	355.765,00	2.369.434,67	15,01%
Março	359.143,00	2.804.203,90	12,81%
Abril	346.844,00	2.471.308,99	14,03%
Maio	333.758,00	2.364.082,18	14,12%
Junho	319.737,00	2.226.475,59	14,36%
Julho	320.098,00	2.348.280,86	13,63%
Agosto	324.531,00	2.353.907,76	13,79%
Setembro	343.321,44	2.237.831,80	15,34%
Outubro	299.896,20	2.413.599,21	12,43%
Novembro	342.113,88	2.351.322,81	14,55%
Dezembro	341.120,64	2.493.234,19	13,68%
ANO	4.053.378,16	28.918.459,41	14,02%

Em relação à geração fotovoltaica, foram analisados os três sistemas propostos. Para cada um deles, comparou-se a geração energética com o consumo de energia do alimentador. Os resultados mostraram que, com o sistema 1, de maior potência instalada, a geração fotovoltaica contribuiria com aproximadamente 4% do total de energia consumida pelo alimentador. A Tabela 7 demonstra os percentuais de contribuição dos três sistemas, para cada mês do ano.

Tabela 7. Contribuição energética dos três sistemas fotovoltaicos para o alimentador TDE-07

	SISTEMA 1		SISTEMA 2		SISTEMA 3	
	GERAÇÃO (kWh)	%	GERAÇÃO (kWh)	%	GERAÇÃO (kWh)	%
Janeiro	114.034	4,59%	93.802	3,78%	92.489	3,72%
Fevereiro	111.451	4,70%	91.678	3,87%	90.394	3,81%
Março	99.994	3,57%	82.253	2,93%	81.101	2,89%
Abril	82.911	3,35%	68.201	2,76%	67.246	2,72%
Maio	69.579	2,94%	57.234	2,42%	56.433	2,39%
Junho	52.288	2,35%	43.011	1,93%	42.409	1,90%
Julho	53.122	2,26%	43.697	1,86%	43.085	1,83%
Agosto	70.620	3,00%	58.091	2,47%	57.277	2,43%
Setembro	75.620	3,38%	62.204	2,78%	61.332	2,74%
Outubro	88.119	3,65%	72.485	3,00%	71.470	2,96%
Novembro	114.368	4,86%	94.077	4,00%	92.759	3,94%
Dezembro	120.201	4,82%	98.875	3,97%	97.490	3,91%
TOTAL	1.052.308	3,64%	865.608	2,99%	853.485	2,95%

O mês de Novembro apresentou contribuição máxima para os três sistemas, chegando a suprir 4,86% na melhor das hipóteses e 3,94% na pior delas. Esta porcentagem, mesmo pequena, é significativa quando se trata de diminuir a demanda de um alimentador num horário de pico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo proposto, foi possível analisar a viabilidade da inserção de um gerador de energia solar fotovoltaico de grande porte, próximo a 1MW de potência instalada, dentro de uma área urbana e integrado a uma edificação.

Diferentemente de um gerador de energia baseado em combustíveis fósseis, o gerador fotovoltaico pode estar inserido no meio urbano sem que cause qualquer desconforto aos seus vizinhos. E, pelo fato de estar inserido no contexto de quem utiliza energia, as perdas por transmissão e distribuição são muito menores e desprezíveis, se comparado à energia que vem de centrais hidroelétricas.

A integração de sistemas fotovoltaicos à arquitetura é um desafio para a nova geração de edifícios. Os sistemas FV tornar-se-ão uma moderna unidade da edificação, integrando-se ao projeto dos telhados e das fachadas. Na sede da Eletrosul, a integração se fez na cobertura, com módulos rígidos de silício policristalino, os quais agregam valor à edificação, sem comprometer a arquitetura modernista da década de 70.

O estudo aqui descrito demonstrou o grande percentual que a integração de um sistema fotovoltaico pode suprir, tanto em relação ao consumo de uma edificação específica, quanto em relação ao alívio de carga na rede de distribuição de um alimentador de características de consumo diurnas.

Com as reduções de custo esperadas para os próximos anos, a geração solar fotovoltaica deverá vir a ser economicamente viável e, através de estudos que incentivem a sua utilização, os seus potenciais benéficos podem ser ressaltados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Eletrosul e a Celesc pelo fornecimento de dados, sem os quais não seria possível a realização do presente artigo. Além disso, agradecem ao Cnpq, pelo apoio financeiro.

4. REFERÊNCIAS

- Barros, E. V. d. (2007). A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. *Engevista*, 9: 47-56.
- Bureau, U. S. C. (2008). Population Division. *International Data Base (IDB)*, U.S. Census Bureau.

- Colle, S. and E. B. Pereira (1996). Atlas de Irradiação Solar do Brasil. Florianópolis.
- Conceição, M. M., R. A. Candeia, et al. (2005). "Rheological Behavior of Castor Oil Biodisel." Energy & Fuels **19**: 2185-2188.
- Google_Earth (2008). MapLink/Tele Atlas Image. DigitalGlobe.
- INEE. (2008). "O que é geração distribuída?" Instituto Nacional de Eficiência Energética Retrieved 14/03/2008, from www.inee.org.br.
- Jardim, C. S. (2007). A inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado.: 166.
- MME (2007). Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006. Rio de Janeiro, MME.
- MME (2008). Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007. Rio de Janeiro, MME.
- Paula, C. P. (2004). Geração Distribuída e Cogeração no Setor Elétrico: Avaliação Sistêmica de um Plano de Inserção Incentivada. Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia PIPGE/USP. São Paulo, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado: 313.
- Rüther, R. (2004). Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis, Editora UFSC/LABSOLAR.
- Sick, F. and T. Erge (1996). Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers.
- UFGRS (2001). Radiasol Laboratório de Energia Solar do GESTE. Porto Alegre.

Abstract. *Conventional energy generators inserted in urban areas tend to cause environmental problems, such as air pollution, noise and visual pollution. However, in a population in free growth, the increasing energy demand becomes inevitable. Among renewable energy sources, solar photovoltaic is interesting also because it can generate electricity in a distributed way, differentiating itself from the way that conventional Brazilian electric sector is constituted. It is also inexhaustible, quiet, static, extremely simple to operate and has a modular characteristic. Furthermore, it can be integrated on the building envelope, adding aesthetic value to this, without use any extra area, and staying close to the point of use. The main objective of this article is to consider the insertion of the so far largest solar energy generator of the South Hemisphere, in the urban area of Florianópolis – SC, integrated in a building envelope. Analyzing the photovoltaic potential, the energy generation and the percentage that this represents from the building energy consumption, in this case, the Eletrosul building, the impact of energy injected in the grid was studied. With this in mind, it was possible to evaluate the energy contribution to the utility feeder. It was observed that, differently of a conventional energy generator, photovoltaics can be inserted in urban areas with no discomfort for the neighborhood, decreasing significantly transmission and distribution losses when compared with the energy from hydroelectric plants. Photovoltaic generation integrated to Eletrosul building shows itself able to supply about 26% of the annual energy consumption of the building and to contribute for a 4% reduction in the annual energy consumption of the grid. For this reason, it was concluded that this efficient technology integrated at the building envelope should be seen as a challenge for the new architecture, therefore it just needs to acquire a more competitive price in the market to be widely used.*

Key words: Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Grid-connected BiPV