

SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE PÚBLICA PARA SUPRIR A DEMANDA DE ENERGIA NO CEFET-MG

Célio Sérgio Vieira – celiosergio@deii.cefetmg.br

Fátima Oliveira Takenaka – takenaka@deii.cefetmg.br

Mirna Suely dos Santos Bracarense – mirna@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

Ricardo Rütther – ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Resumo. Este trabalho apresenta uma estimativa do potencial de geração solar fotovoltaico do Campus II do CEFET-MG em Belo Horizonte, baseado em sua situação real de utilização e em seu consumo energético. Foi quantificada a demanda energética total durante um ano e calculado o consumo diário. Foram calculadas as áreas de telhados disponíveis e favoráveis à integração de sistemas solares fotovoltaicos, a partir das características das edificações, tais como localização, arquitetura, orientação, sombreamento e demanda energética. As edificações possuem uma orientação solar favorável com as maiores fachadas voltada para o Norte, permitindo uma maior captação de energia durante o ano. Foi efetuado o cálculo de geração de energia solar fotovoltaica possível de ser produzida por um sistema hipotético. As influências das inclinações dos módulos solares na arquitetura existente e nos níveis de radiação solar foram obtidas através do programa RADIASOL. Foi constatado que não existe uma variação significativa de radiação solar média diária entre as inclinações do sistema solar fotovoltaico a 15 e 22 graus. Para uma melhor integração à arquitetura existente optou-se pela inclinação de 15 graus. Foi escolhida a tecnologia fotovoltaica que melhor se adapta para suprir a atual demanda. O sistema de células solares de silício policristalino apresentou o potencial de gerar energia suficiente para suprir a demanda energética do Campus II do CEFET-MG, podendo tornar-se uma alternativa interessante e objeto de investimentos futuros.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Geração Solar, BIPV (Sistema Fotovoltaico Integrado ao Edifício), Simulação Solar Fotovoltaica.

1. INTRODUÇÃO

Através do efeito fotovoltaico células solares convertem diretamente a energia solar em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável. A integração de painéis solares às edificações pode ser feita de forma descentralizada e interligada à rede elétrica existente, dispensando sistemas de baterias. Estes geradores apresentam grande vantagem por não ocuparem área extra, pois podem ser integrados ao envelope dos edifícios já existentes e junto ao ponto de consumo de energia, eliminando perdas por transmissão e distribuição (T & D) da energia elétrica. Deste modo, não requerem instalação de infra-estruturas adicionais sendo considerada uma energia limpa e de fonte inesgotável (RÜTHER,2004).

A modularidade dos sistemas fotovoltaicos (FV) permite que sejam instalados de forma distribuída nas coberturas, podendo ser colocados sobre os telhados existentes. Uma instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação e conectada à rede pública é composta por painéis solares, sistema conversor CC-CA (inversor), diodos de by-pass e diodos de bloqueio, fusíveis e disjuntores, cabos elétricos, terminais, proteções contra sobre tensões e descargas atmosféricas e caixas de conexão.

Para se atingir a potência instalada do projeto normalmente são utilizadas combinações série/paralelo de vários módulos, para que se obtenham as tensões e correntes desejadas. O sistema de fixação à edificação deve suportar as cargas mecânicas e ventos, expansões e contrações térmicas, com vida útil esperada de trinta anos. A área ocupada para uma determinada potência deve ser levada em consideração na análise econômica e dimensionamento do sistema.

Atualmente no mercado existem várias tecnologias disponíveis de células solares, variando a eficiência de conversão fotovoltaica, sendo que a tecnologia do silício policristalino (p-Si) é uma das tecnologias que gera maior potência, com eficiência 14,1% de conversão direta do sol em energia elétrica, segundo o fabricante KYOCERA.

Vários estudos indicam que até 2010, de 25 a 30% dos novos sistemas de geração serão distribuídos, ou seja, conectados diretamente ao sistema de distribuição secundário (CONTI et al.,2003).

O principal parâmetro que pode afetar o rendimento do sistema FV é a radiação solar que depende da localização geográfica da instalação, inclinação e orientação dos painéis (RÜTHER, 2004).

Alemanha, Espanha, Japão e EUA são os maiores mercados fotovoltaicos, mesmo tendo níveis de radiação solar relativamente baixa em alguns casos. O Brasil possui latitudes baixas e altos níveis de radiação solar. Além disso, a densidade de ocupação do solo é menor se comparada aos países industrializados, o que acarreta maiores áreas

disponíveis para implantação dos sistemas FV. Apesar dos benefícios desta tecnologia e do contexto favorável que o Brasil apresenta, o custo de implantação é alto, limitando uma maior utilização.

2. OBJETIVO

A cidade de Belo Horizonte, localizada na latitude 19° 93' Sul e longitude 43° Oeste, apresenta o valor médio de radiação solar diária no plano horizontal em torno de 5,3 kWh/m². O objeto de estudo é a simulação do sistema solar fotovoltaico no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

O campus II tem uma área do terreno aproximada 37.000 m² situado na região Oeste de Belo Horizonte, inserido num setor de caráter misto, com edificações residenciais, comerciais e industriais, predominando implantações arquitetônicas horizontais.

O presente trabalho tem por objetivo dimensionar um gerador solar fotovoltaico com a finalidade de suprir a demanda de energia elétrica do campus II do CEFET-MG em Belo Horizonte, através da simulação do potencial de energia solar fotovoltaica gerada através de um sistema integrado à área de cobertura das edificações.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho foi realizado mediante o levantamento de dados de consumo de energia elétrica mensal no período de 12 meses do ano de 2007/2008, conforme conta de energia da concessionária CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) (Fig.1).

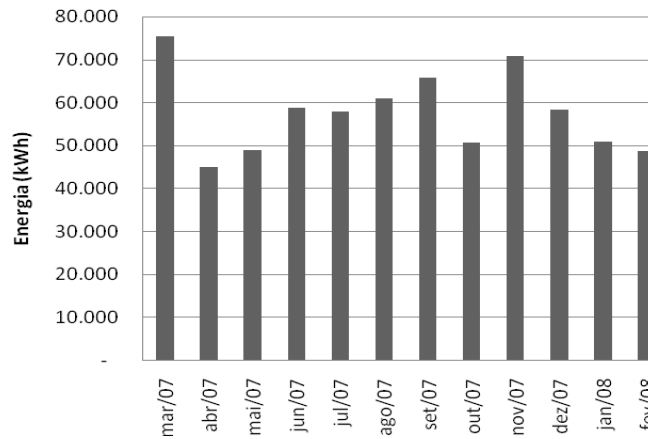


Figura 1 – Consumo mensal de energia no Campus II CEFET-MG.

O CEFET-MG campus II está enquadrado na tarifa Convencional A4. Desta forma, aplica-se um preço para a componente de consumo e outro preço para a componente de demanda e eventualmente ajuste do fator de potência. O faturamento do consumo é igual ao dos consumidores residenciais, sem a divisão do dia em horário de ponta e fora de ponta. Acumula-se o total de kWh consumidos, e aplica-se uma tarifa de consumo para chegar-se à parcela de faturamento de consumo. A parcela de faturamento de demanda é obtida pela aplicação de uma tarifa de demanda.

A energia que abastece o campus chega a uma subestação com uma tensão de 13.800 volts, passa por dois transformadores de 300 kVA cada e é distribuída aos prédios através de cabos subterrâneos. A medição não é individualizada por prédio, sendo assim, a CEMIG emite uma única fatura para todo o campus. Os prédios onde existe maior concentração de cargas são: escolar (1), biblioteca (6), departamentos (7) e o da civil (12).

Para o dimensionamento dos sistemas de painéis fotovoltaicos interligados à rede elétrica são necessários os procedimentos relatados a seguir.

Inicialmente, a partir dos dados da conta de energia obteve-se o consumo total de 691.920 kWh/ano. Para obter o consumo diário (E) utilizamos a base de 365 dias totalizando o valor de 1.896 kWh/dia.

O próximo passo é a determinação da média mensal do total diário da irradiação solar incidente no plano fotovoltaico (G_{POA}) 5,613 kWh/m² na inclinação de 15 graus, conforme dados obtidos no programa RADIASOL que faz a simulação das médias diárias mensais e anuais de radiação solar no plano do módulo (UFRGS, 2001) .

A seguir é necessário o cálculo da potência nominal instalada (P_{cc}) necessária para atender ao consumo diário proposto conforme a Eq.(1), onde, P_R é o rendimento do sistema inversor e conexões, considerando o valor 80%.

$$P_{cc} = (E / G_{POA}) / P_R \quad (1)$$

O valor encontrado para o P_{cc} foi de 427 kW.

A eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica a ser utilizada (E_{ff}) obtida pela Eq.(2) foi de 10,5% para uma área de cobertura disponível de 4.072 m².

$$A_{total} = (P_{cc}/E_{ff}) * 100 \quad (2)$$

As atividades desenvolvidas nas edificações são preferencialmente o ensino, pesquisa e extensão. A concepção arquitetônica adotada é de no máximo três andares, não existindo elevadores. Predominam espaços de salas de aula convencionais com maior demanda de iluminação artificial. As atividades administrativas concentram-se em outro campus, existindo pouca demanda para condicionamento de ar.

Para quantificação das áreas de cobertura foram consideradas a arquitetura existente, localização e orientação das edificações e sombreamento. Além disso, as maiores demandas energéticas concentram-se nas edificações com desvio azimutal -7° em relação ao Norte verdadeiro, favorecendo bons níveis de radiação solar média durante o ano, sendo assim contempladas pelo sistema FV proposto neste trabalho.

As áreas das coberturas potencialmente disponíveis para integração de sistemas fotovoltaicos no Campus II do CEFET-MG podem ser vistas na Tab. 1.

Tabela 1. Áreas das coberturas Campus II do CEFET-MG.

Edificações	Descrição	Área da Cobertura (m ²)	Áreas Utilizadas (m ²)
01	Prédio Escolar	1462	1462
02	Restaurante	700	
06	Biblioteca	674	674
07	Departamentos	716	716
08	Lab. Elétrica	650	
09	Lab. Automação	550	
12	Prédio Civil	1220	1220
17	Eng. Computação	250	
18	Lab. Eng. Civil	250	
Total		6472	4072

A Fig. 2 apresenta a planta de situação do campus com as áreas selecionadas conforme Tab.1.

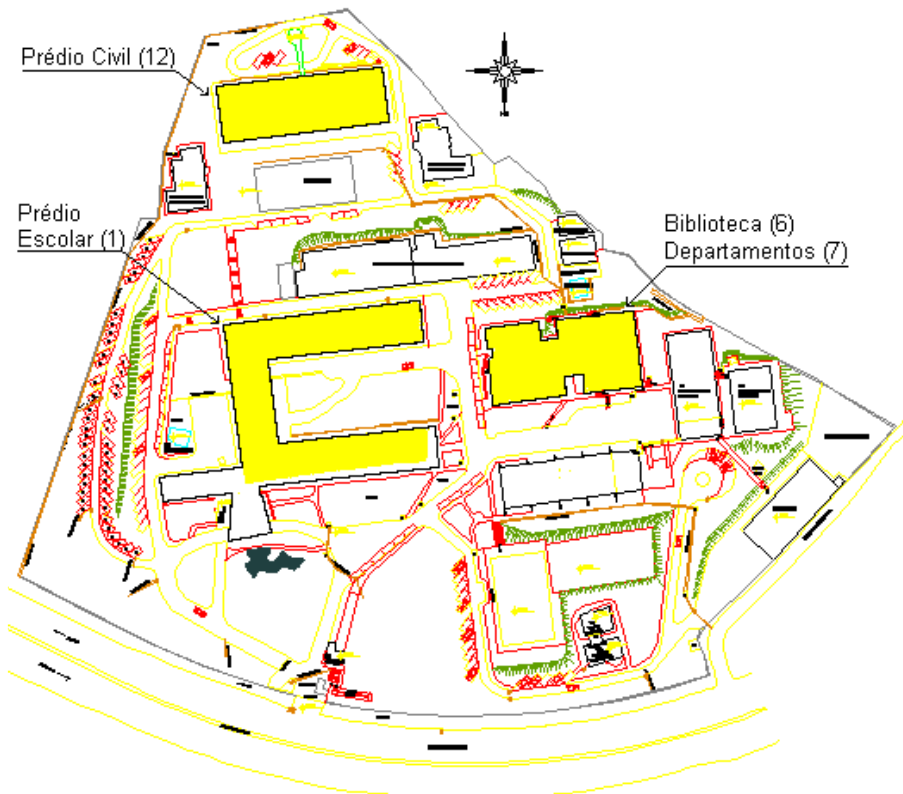


Figura 2 – Planta de situação campus II CEFET-MG.

A Tab.2 apresenta os seis tipos de tecnologias fotovoltaicas disponíveis comercialmente para que se faça a escolha da que melhor atende a integração do sistema às edificações selecionadas. A eficiência (E_{ff}) foi calculada de acordo com a Eq.(3).

$$E_{ff} (\%) = (\text{Potência (W)} / \text{Área do Painel}) / 1000 * 100 \quad (3)$$

Tabela 2. Características das tecnologias dos módulos solares fotovoltaicos disponíveis comercialmente.

Tecnologia	Fabricante	Potência (W)	Área (m ²)	Eficiência (E_{ff}) %
CdTe	First Solar	50	0,72	6,9
CIS	Würth Solar	60	0,73	8,2
a-Si	United Solar	64	1,12	5,7
p-Si	BP Solar	75	0,64	11,7
m-Si	BP Solar	170	1,26	13,5
HIT	Sanyo	180	1,18	15,3
p-Si	Kyocera	200	1,42	14,1

Os parâmetros de escolha foram definidos em função das áreas de coberturas das edificações 01, 06, 07 e 12 mostradas na Tab.1, considerando as maiores áreas disponíveis, número de alunos por m² e ausência de sombreamentos.

Em função disso, optamos pela tecnologia p-Si do fabricante Kyocera, dimensão do módulo 1,43m x 0,99m, por apresentar maior potência.

Os sistemas fotovoltaicos foram dimensionados baseando-se nas características elétricas e construtivas do módulo e associado de forma a atender as especificações do inversor selecionado.

A literatura considera para uma maior geração do sistema FV uma inclinação igual à latitude local (SALAMONI, 2004). No entanto, a implantação do sistema FV com a inclinação de 20 graus comprometeria a arquitetura existente.

Neste contexto, foram realizadas simulações no programa RADIASOL para diferentes inclinações dos módulos e selecionada a que melhor atende a integração com a arquitetura e que não tenha perda significativa no potencial de geração FV.

4. RESULTADOS

O projeto SWERA (Solar and Wind - Energy Resource Assesment) fornece os valores médios de radiação em vários pontos do país. Os dados dos níveis de radiação média diária mensal para Belo Horizonte foram obtidos no projeto SWERA e trabalhados no programa RADIASOL. Os resultados obtidos para diferentes inclinações do módulo são apresentados na Tab. 3.

Tabela 3. Influência do plano inclinado no G_{POA}

Inclinação do módulo (graus)	0	10	15	20	22
Radiação Média Solar Diária - G_{POA} (kWh/m ²)	5,352	5,553	5,611	5,639	5,642
Percentual da diferença do G_{POA}	95	98	99	99	100

Foram obtidos os níveis de radiação no local, considerando as variações de posicionamento dos sistemas fotovoltaicos para o desvio azimutal -7° (α) em relação ao Norte verdadeiro e inclinação dos sistemas de 15 e 22 graus (β), conforme pode ser visto na Fig.3.

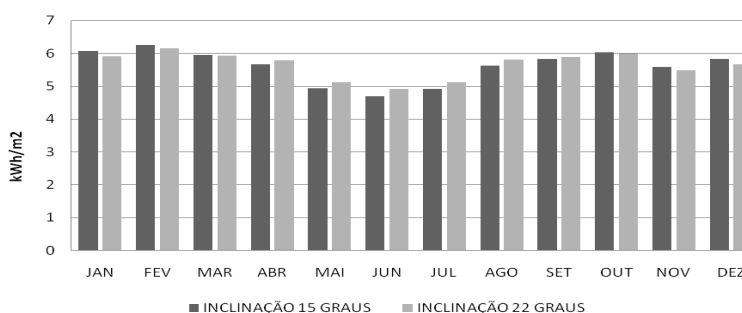


Figura 3 - Valores da Radiação média diária solar para Belo Horizonte.

Os sistemas fotovoltaicos foram projetados com uma potência total instalada de 420 kWcc, sendo que cada sistema é constituído por 30 módulos conectados em série e paralelo conforme mostra a Fig.4.

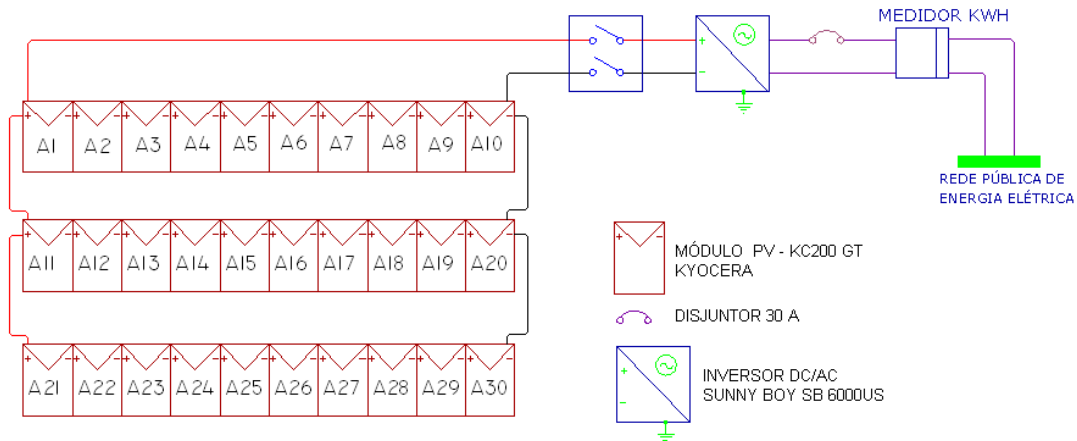


Figura 4 – Sistema fotovoltaico com 30 módulos – KC200GT.

Cada sistema possui o inversor Sunny Boy 6000US, que foi determinante para o arranjo de três conjuntos em paralelo com 10 módulos em série, conforme a Tab. 4.

Tabela 4. Especificações elétricas do sistema fotovoltaico.

Módulo KC200 GT		Valores no Sistema	Inversor Sunny Boy SB 6000US	
Potência nominal	P _{máx} : 200 W	6000 W	Máxima potência de entrada	7500 W
Tensão de operação	V _{mpp} : 26,3 V	263 V	Faixa de tensão de operação de entrada	MaxV _{dc} : 600 V 250 - 480 V
Tensão de circuito aberto	V _{oc} : 32,9 V	329 V		
Corrente de operação	I _{mpp} : 7,61 A	22,83 A	Máxima corrente de entrada	25 A
Corrente de curto circuito	I _{sc} : 8,21 A	24,63 A		
			Tensão CA	211 – 264 V
			Frequência	60 Hz

Foi utilizada para cada sistema uma inclinação de 15 graus devido à altura final do ponto mais alto da parte posterior do arranjo fotovoltaico ser de 0,50 metro menor do que seria a 22 graus, o que comprometeria a arquitetura das edificações.

Os arranjos dos sistemas fotovoltaicos nas coberturas das edificações são mostrados nas Figuras 5, 6 e 7.

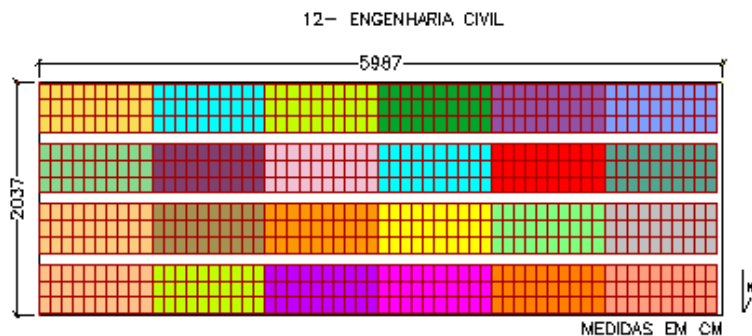


Figura 5 – Arranjo dos sistemas FV no Prédio 12 – Civil.

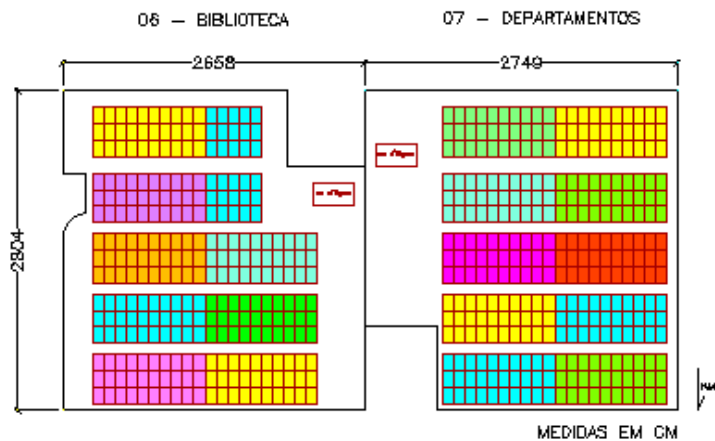


Figura 6 – Arranjo dos sistemas FV na Biblioteca e Departamentos.

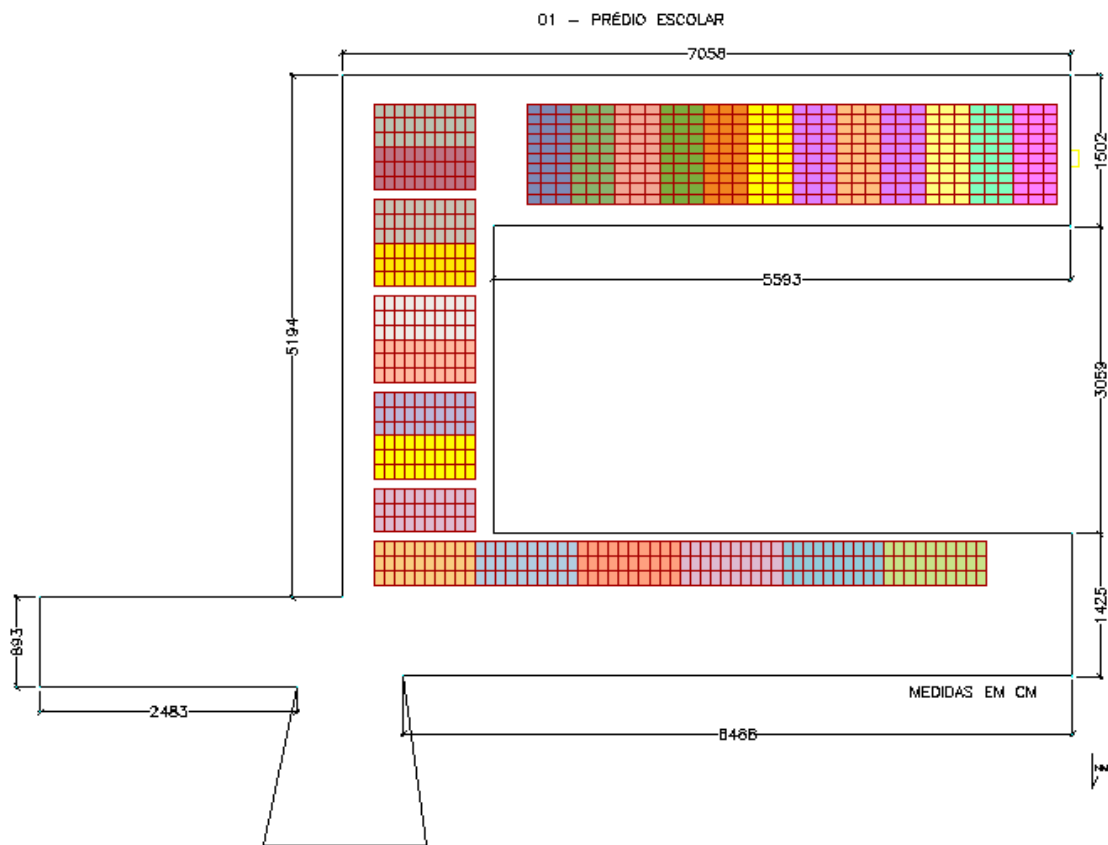


Figura 7 – Arranjo dos sistemas FV no Prédio Escolar.

A Fig.8 mostra a perspectiva dos sistemas solares integrados à edificação do Prédio 12 Civil.

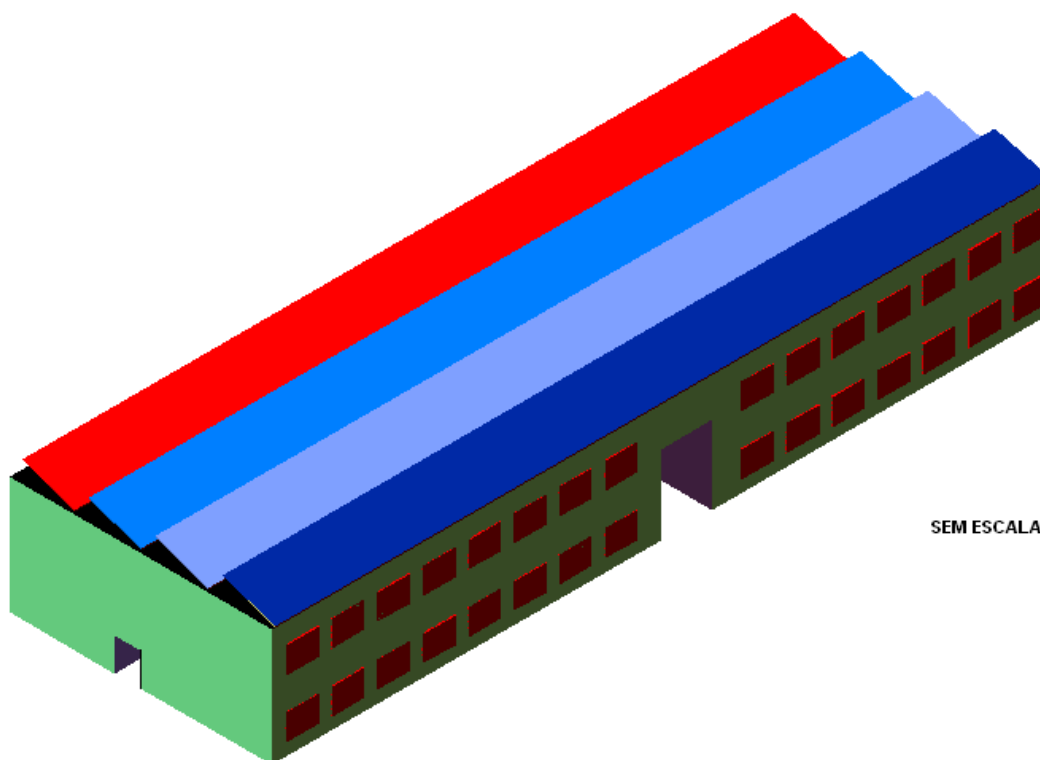


Figura 8 – Perspectiva dos sistemas FV no Prédio 12 Civil.

A tabela 5 apresenta a quantificação dos sistemas FV para serem conectados à rede pública e integrados nas edificações.

Tabela 5 - Quantificação dos sistemas por edificações.

Edificação	Módulos	Sistemas	Potência (kWp)	Inversores
Prédio 12 - Civil	720	24	144	24
Biblioteca	270	9	54	9
Departamentos	300	10	60	10
Prédio Escolar	810	27	162	27
Total	2100	70	420	70

5. CONCLUSÕES

O sistema FV hipotético dimensionado neste estudo tem potencial para gerar energia suficiente para suprir a atual demanda energética do Campus II, tornando-se uma alternativa interessante e pode ser objeto de investimentos futuros. O sistema FV instalado próximo ao ponto de consumo minimiza as perdas por transmissão e distribuição, características da geração centralizada convencional, aumentando a eficiência do sistema elétrico, além de não ocupar área física adicional. Foi escolhido o sistema de células de silício policristalino com geração de 200W com alta eficiência de conversão. Foi constatado que não existe uma variação significativa de radiação solar média diária entre as inclinações do sistema a 15 e 22 graus e para uma melhor integração à arquitetura existente optou-se pela inclinação de 15 graus.

Os módulos escolhidos foram do tipo KC 200GT, com 200 W de potência nominal, tendo dimensões C x L x P de 1425 mm x 990 mm x 36 mm, pesando 18,5 kg. Nas condições standard de testes a tensão de operação é de 26,3 V, corrente de operação de 7,61 A, tensão de circuito aberto de 32,9 V e corrente de curto circuito de 8,21 A. A eficiência de conversão do módulo é de 14,1 %.

De acordo com as dimensões dos módulos e da área disponível foi possível locar 2100 módulos de KC 200GT na edificação, resultando num gerador fotovoltaico de 420 kWp, conforme a disposição apresentada nas Figuras 5, 6 e 7.

A montagem dos módulos sobre a estrutura será feita a partir da fixação da moldura dos módulos sobre travessas metálicas fixadas na estrutura da cobertura.

A proposta apresentada utiliza os módulos de silício policristalino e permite que toda a demanda da edificação seja suprida, e ainda gere um excedente que em um dado momento poderá ser negociado por um preço adequado, desde que haja uma legislação que permita a venda dessa energia.

REFERÊNCIAS

- Conti,S.; Raiti,S.; Tina,G & Vagigiasind, U. [2003] Integration of multiple PV units in urban power distribution systems, Solar Energy, Vol.75.
- Rüther, R., 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil. Editora UFSC/LABSOLAR Florianópolis.
- Salamoni, I. T., 2004. Metodologia para Cálculo de Geração Fotovoltaica em Áreas Urbanas Aplicadas a Florianópolis e Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.
- UFRGS 2001 RADIASOL. Disponível em : <http://www.mecanica.ufrgs.br/geste/> acesso em maio 2008.

Abstract. *This paper aims to estimate the potential for solar photovoltaic generation from the real situation of buildings and their energy consumption in the Campus II of CEFET-MG in Belo Horizonte. It quantified the total energy demand for a year and also on a daily basis. The available roof areas were calculated and integrated with PV systems. The buildings have a favorable orientation, with the largest solar facades facing true north, allowing greater solar energy generation during the year. Calculations were performed in order to estimate the energy possible to be produced by a hypothetical system. To quantify the areas of coverage, the existing architecture, location and orientation of buildings, shading and higher energy demands were considered. The influences of the solar modules tilt in architecture and the existing levels of solar radiation through the software RADIASOL were identified. It was observed that there isn't significant variation of solar radiation daily averages between the slopes of the tilted plane of 15 and 22 degrees. To better integrate the existing architecture the inclination of 15 degrees was chosen. A PV system technology that fits best to supply the current demand was identified. A PV system of polycrystalline silicon cells would be able to generate enough electricity to supply the energy demand of the Campus II of CEFET-MG and could become an interesting alternative and object of future investment.*

Key words: *Solar energy, Solar Panels, PV Simulation, BIPV (building integrated photovoltaic)*