

Estudo de Caso do Dimensionamento de um Sistema Solar Fotovoltaico no Campus João Pinheiro II do Centro Universitário UNA

Marcus Vinicius Santiago

(santiago.marcusv@gmail.com)

Davidson Andreoni Rocha

Gilson Lemos de Carvalho

Coordenação de curso de Engenharia Química

Resumo – A necessidade de encontrar novas formas de produção de energia devido ao aumento da demanda e possibilidades de escassez das energias não renováveis, é uma grande preocupação da atualidade. São várias as possibilidades de geração sustentável, sendo a energia fotovoltaica uma delas. Este trabalho apresenta um estudo de caso do dimensionamento propondo a instalação de um sistema de geração fotovoltaica no edifício que abriga o campus João Pinheiro II do Centro Universitário UNA. O objetivo deste trabalho é apresentar um projeto que alimente o prédio e apresente as vantagens da geração fotovoltaica comparando-a com a redução nos valores de demanda do mesmo.

Palavras chave – módulos fotovoltaicos, sistemas integrados, irradiação solar.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente a matriz energética brasileira é composta em sua maior parte por hidrelétricas. Nos anos 2000 o Brasil passou por uma crise ocasionada pelos períodos de seca e principalmente pela falta de investimento e melhoria dos sistemas. Devido à grande extensão territorial do país, os principais centros de geração de energia estão localizados a grandes distâncias dos centros urbanos. Isso torna o sistema de Transmissão e Distribuição de Energia brasileiro muito complexo e exigente de mais investimentos e melhorias. A construção desses sistemas de geração de energia causou vários impactos ambientais. Claramente foi um fator decisivo no crescimento econômico do país, porém face às necessidades e demandas de sustentabilidade propostas no século XXI, outras alternativas começaram a ser estudadas.

A sustentabilidade pode ser entendida como a satisfação das necessidades do presente sem o comprometimento das

gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades, sendo esse um dos temas mais discutidos na atualidade. Há uma grande preocupação, principalmente com as formas de se obter energia, essencial para a evolução humana, mas potencialmente degradante no sentido ambiental.

O sol é um recurso inesgotável de energia, uma vez que pode ser utilizado tanto como fonte de calor e iluminação. A possibilidade de utilizar a sua energia emitida é, notoriamente, uma alternativa altamente promissora e satisfatória para que sejam superadas as barreiras de geração de energia aliada à sustentabilidade no século XXI.

Dado os altos índices de radiação solar, o potencial do Brasil na geração de energia fotovoltaica é muito amplo. Atualmente o governo é um dos principais investidores nesse tipo de geração de energia em conjunto com as concessionárias de serviços de geração e distribuição de energia. É de suma importância frisar, desde já, a existência de programas que visam a levar energia elétrica a comunidades afastadas por meio da geração fotovoltaica, bem como a utilização dessa na sinalização de rodovias e a ampliação da rede de telecomunicações.

A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão direta da luz emitida pelo sol em energia elétrica, se dá nos painéis através do efeito fotovoltaico. Esse provoca o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura composta por material semicondutor produzida por absorção da luz solar.

Os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações e interligados à rede elétrica são vantajosos à concessionária elétrica local, no sentido de aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de transmissão e

distribuição e adiando os grandes investimentos e longos prazos de instalação envolvidos na construção de centrais elétricas convencionais.

A utilização do sistema integrado está em expansão no país e pode ser ainda mais utilizada com o aproveitamento de materiais convencionais da construção, como potenciais geradores de energia. O objetivo desse trabalho é, através do dimensionamento de um sistema fotovoltaico, demonstrar a possibilidade de aproveitamento de espaços e estruturas que não possuem uma aplicação prática ampliando o potencial de economia e a funcionalidade dos sistemas de geração fotovoltaica integrados à rede elétrica.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A associação do crescimento da população mundial ao desenvolvimento tecnológico e industrial, conduz a um grande aumento da demanda energética. A oferta de energia não mais corresponde à demanda requerida para atender todas as atuais necessidades da vida urbana, o que implica num período de adaptação. Atualmente o mundo encontra-se num período de redução de possibilidades energéticas, principalmente as originadas do petróleo, que é no presente momento é, uma fonte de energia polivalente; e as demais fontes de energia (nucleares, geotérmicas, solares, biomassa e outras), que substituirão as atuais, deverão, nas próximas décadas, adequar suas normas de utilização, para que não causar maiores problemas ambientais. [6]

Dados provenientes da Eletrobrás revelam que as reservas de combustíveis fósseis de boa qualidade no Brasil não são grandes e que as reservas de petróleo são avaliadas como suficientes para apenas mais 22 anos. Somente 23% do potencial hidrelétrico do Brasil é aproveitado. Este tem sua maior capacidade concentrada na região amazônica, onde é preciso a inundação de enormes áreas para a construção de reservatórios das hidrelétricas que pode trazer como resultado uma catástrofe ambiental. [7]

Diante do exposto, faz-se necessário buscar novas alternativas para geração de energia. Uma destas alternativas é a utilização da energia solar. A radiação solar que chega ao nosso planeta pode ser considerada uma fonte abundante e

inesgotável. Estima-se que a energia necessária para atender à demanda energética mundial anual pode ser suprida por uma radiação solar de duração de 12 minutos. Isso se levarmos em consideração que toda radiação será convertida em energia elétrica. Desta forma, é possível dizer que em três semanas, a radiação solar incidente sobre o planeta equivale à todas reservas de combustíveis fósseis atualmente conhecidas. [8]

A. A Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida através do efeito fotovoltaico. Esse fenômeno ocorre em alguns materiais semicondutores, a partir da incidência da luz solar, onde os fótons da luz estimulam os elétrons a saltar para a camada de condução, que sob condições favoráveis irá originar uma tensão e corrente elétrica. A radiação proveniente do sol fornece a energia necessária para o elétron saltar para a banda de condução. É neste movimento entre a lacuna e a banda de condução que a energia elétrica é gerada e “coletada” pelos condutores da célula. [9]

Os sistemas solares fotovoltaicos se apresentam de duas configurações distintas: isolados ou autônomos e conectados à rede elétrica. A diferença entre eles destaca-se pela existência ou não de uma bateria ou aparato que venha a acumular energia. [5]

Os sistemas autônomos se caracterizam pela necessidade de um banco de acumuladores químicos (baterias), onde a energia gerada pelos painéis solares é armazenada e distribuída aos pontos de consumo. Sistemas autônomos são utilizados quando a possibilidade de estender a rede elétrica pública for proibitivo, ou quando o local for de difícil acesso aumentando o custo na distribuição (zonas rurais). Por outro lado os sistemas interligados à rede elétrica dispensam o uso de acumuladores atuando como verdadeiras usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais. Podem ser integrados à edificação, se sobrepondo ou substituindo elementos de revestimento e/ou coberturas e, portanto, próximo ao ponto de consumo; ou do tipo central fotovoltaica, sendo esta, distante tipicamente do ponto de consumo. [10]

A integração dos painéis fotovoltaicos com a edificação apresenta vantagens de custos que torna este conceito atrativo tanto para regiões urbanizadas tanto para regiões menos densamente populosas. O sistema pode ser implementado nas edificações, ao longo de estradas ou em áreas terrestres, com a possibilidade de combinar produção de energia com outra função da edificação. [12]

B. Tecnologias disponíveis

O mercado fotovoltaico tem crescido muito nos últimos anos. Isso faz com que cada vez mais os sistemas sejam utilizados de forma integrada às edificações. Desta forma, surge a necessidade de novos modelos, com diferentes materiais e colorações. [5]

Em termos de aplicações terrestres pode-se destacar as células solares de silício cristalino (c-Si), o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou a-Si), o HIT, baseado em silício cristalino com uma camada de silício amorfo, o telureto de cádmio (CdTe) e outros compostos relacionado ao cobre e índio, CIS. Neste último grupo, são encontrados alguns elementos altamente tóxicos e raros. Este fator cria obstáculos consideráveis numa maior utilização destas tecnologias em determinados países. [5] [13]

O c-Si é a tecnologia mais tradicional e a única das mencionadas que faz o uso de lâminas cristalinas, relativamente espessas, o que aumenta os custos de produção. O restante das tecnologias é baseado em películas delgadas (filmes finos) de material semiconductor, aspecto que reduz os custos desta tecnologia. A tecnologia baseada em c-Si, dentre as utilizadas para aplicações terrestres é a que apresenta maior eficiência, em torno de 15% para módulos fotovoltaicos comercialmente disponíveis. [13]

B 1. Silício mono cristalino (m-Si) e silício poli cristalino (p-Si):

A tecnologia c-Si é a mais tradicional e dominante no mercado fotovoltaico. Esta tecnologia apresenta uma maior limitação em termos de redução de custos de produção, e também não é considerada tão eficiente quando submetida a

temperaturas altas, uma vez que a eficiência está diretamente relacionada com a temperatura. [10]

A tecnologia do c-Si atualmente ainda é a mais tradicional, sendo assim, apresenta maior escala de produção a nível comercial. Por possuir maior eficiência se consolidou no mercado, acrescido a isto outros fatores como sua confiabilidade e robustez contribuíram para esta consolidação. Porém as possibilidades de redução do seu custo de produção já foram praticamente esgotadas. [10]

B 2. Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si):

Os módulos de silício amorfo são baseados em uma fina camada (0.5-10µm) de um material semiconductor depositados sobre um substrato, usualmente uma lâmina de vidro. Basicamente são o mesmo produto que os painéis de vidro, revestidos por películas comumente utilizados pela construção civil. Dessa forma, esteticamente podem substituir o vidro comum na edificação e apresentar uma variabilidade e uma flexibilidade maior do que os módulos baseados em c-Si. [14]

O potencial de eficiência em células de a-Si individuais em laboratório é inferior a 15% e os melhores módulos de a-Si disponíveis no mercado estão na faixa de 8-9%. Em algumas aplicações arquitetônicas como material de revestimento é que o a-Si leva grande vantagem sobre o c-Si, pois o custo por m², e não o custo por Wp, é a grandeza de interesse e neste aspecto já hoje o a-Si tem custo inferior à metade do custo do c-Si. [14]

As células de silício amorfo têm coeficientes de temperatura praticamente nulos após a estabilização do material, ou seja, esta tecnologia não é afetada pela temperatura de operação, o que a torna extremamente atraente para aplicações integradas à edificação, onde a temperatura dos módulos fotovoltaica pode chegar a 1000 °C. Uma outra vantagem é que este material pode ser depositado diretamente sobre grandes superfícies podendo-se variar os substratos. [11] [15]

A tecnologia de filmes finos vem sendo cada vez mais utilizada, principalmente na integração do entorno construído,

por apresentar uma maior diversidade de modelos e por possuir baixos custos de produção. Hoje, estão disponíveis no mercado módulos flexíveis, inquebráveis, mais leves, semitransparentes, ou até mesmo com superfícies curvas, que podem substituir elementos de revestimento na edificação. [5]

B 3. Telureto de Cádmio (CdTe):

Esta tecnologia já estava disponível comercialmente para produtos há quase uma década, tendo sua principal aplicação em calculadoras. A tecnologia CdTe é a recente competidora das tecnologias c-Si e a-Si. Estes módulos, também na forma de filmes finos, apresentam um atrativo estético em comparação ao c-Si. As empresas envolvidas com esta tecnologia vêm buscando nas aplicações arquitetônicas um nicho de mercado procurando desenvolver seu produto para atender à demanda, ampliando seus volumes de produção e reduzindo custos. [5]

Assim como no caso do a-Si, os custos de produção do CdTe são atrativamente baixos para produção em grande escala, mesmo assim esta tecnologia tem ótimas chances de despontar como um sério competidor no mercado fotovoltaico para a geração elétrica. A baixa abundância dos elementos envolvidos e sua toxicidade são aspectos que devem ser levados em conta, principalmente se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção. Com o recorde de eficiência de células individuais de pequenas áreas em laboratório ao redor de 16%, módulos solares encontrados no mercado internacional apresentam eficiência entre 7% e 9%. [10]

B 4. Disseleneto de Cobre e Índio (CIS):

Assim como as tecnologias baseadas em a-Si e CdTe, esta tecnologia apresenta uma excelente aparência estética, permitindo diversas aplicações arquitetônicas. Como no caso do CdTe, a pouca abundância dos elementos envolvidos e sua toxicidade são aspectos que têm de ser considerados. [5]

Células de CIS de pequenas áreas produzidas em laboratório apresentam no momento eficiências em torno dos 18%, com eficiências ao redor de 9 - 10% para os módulos de grande área, comercialmente disponíveis. [10]

Esta tecnologia apresenta coeficientes de temperatura negativos, havendo desta forma, uma redução na eficiência do sistema fotovoltaico com o aumento das temperaturas maior do que a para o restante das tecnologias. [19]

B 5. HIT:

A mais nova tecnologia fotovoltaica disponível no mercado, desenvolvida pela empresa japonesa Sanyo é a tecnologia HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin Layer), que utiliza avançadas técnicas de produção. A tecnologia é baseada em células cristalinas com camadas ultrafinas de silício amorfo, que apresenta os maiores percentuais de eficiência de conversão e até o momento, seus custos são maiores, se comparados com as outras tecnologias. [5]

Combinando a eficiência do silício cristalino com as características de temperatura do silício amorfo, esta nova tecnologia, pode prover uma potência 10% maior nas condições de altas temperaturas, oferecendo um aumento de 36% na potência anual se comparado com os módulos de silício cristalino para a mesma área de cobertura. Este sistema também pode ser afetado pelo aumento da temperatura. [5]

C. Instalação de sistemas solares fotovoltaicos

Conforme citado anteriormente, existem duas maneiras de implantação dos sistemas fotovoltaicos: conectados à rede elétrica ou funcionando isoladamente. [5]

Os sistemas isolados são geralmente usados em locais remotos, como por exemplo, em residências longe da rede elétrica pública. Esses sistemas são utilizados na sua grande maioria, para iluminação, refrigeração e outras cargas pequenas. Podem também ser aplicados nas zonas afastadas com o objetivo de melhorar as condições de vida da população local, permitindo uso das telecomunicações, bombeamento de água, conservação de medicamentos, entre outras aplicações. O princípio destes sistemas se baseia na acumulação da energia gerada, usualmente por baterias, com o objetivo de suprir a demanda nos períodos em que a geração solar não é suficiente, ou à noite. [16]

A outra possibilidade de instalação de um sistema fotovoltaico é através da integração do sistema por módulos

fotovoltaicos com a rede elétrica convencional. Neste modelo a energia que não é consumida é injetada na rede. Desta maneira as edificações podem fazer uso os módulos em sua edificação, contribuindo para gerar energia para si própria e para todos os quais a rede sirva. Podem também ser instalados grandes sistemas específicos para geração de energia elétrica, criando centrais fotovoltaicas geradoras de energia, que possuem algumas desvantagens como a geração centralizada. A principal vantagem da instalação integrada à edificação, é que a geração ocorre junto ao ponto de consumo, sem que haja a necessidade de uma rede de transmissão e distribuição (T&D), implicando na redução dos custos envolvidos. Nestes sistemas é necessário a utilização e um inversor para fazer a conversão da corrente contínua (CC) gerada pelos módulos, para corrente alternada (CA) própria para o consumo. [10] [16]

No sistema integrado à rede elétrica convencional, existe a necessidade de controle da quantidade de geração que é efetivamente enviada à rede. Isto é necessário para que haja um controle da concessionária e do consumidor, e para também definir o pagamento pelos serviços de ambos. Sendo assim, são apresentados três modos de medição que podem ser utilizados: [17]

1) O medidor unidirecional: usado quando há somente um medidor com sentido único para a energia. Desta forma só há medição da entrada de energia para a edificação, pois o sistema fotovoltaico instalado não é suficiente para atender à demanda total. Neste sistema não há medição da geração fotovoltaica, e da energia que eventualmente pode ser injetada na rede. [17]

2) Dois medidores independentes: neste sistema são utilizados dois medidores, um para entrada da energia da rede elétrica convencional na edificação, e outro para injeção da geração fotovoltaica na rede. Existem duas situações possíveis neste sistema: ou toda energia gerada é injetada na rede, e toda energia consumida vem da rede; ou a energia gerada pelo sistema fotovoltaico passa pelo seu medidor e volta para consumo da residência (somente o excedente vai

para a rede), passando então pelo medidor de consumo da energia da rede. [17]

3) Um medidor bidirecional: é amplamente utilizado nos países onde o preço de compra e de geração é o mesmo. Neste caso o mesmo medidor controla a saída da geração excedente e a entrada de energia nos momentos sem geração fotovoltaica. [17]

Estas tipologias de conexão apresentadas são as mais comumente utilizadas. A tipologia 2 é utilizada na Alemanha, do tipo *feed-in-tariff*, e em alguns outros países europeus. Existe um grande investimento de incentivo à utilização deste sistema, uma vez que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico tem um preço superior à energia consumida da rede. Isto é feito com o objetivo de atrair os cidadãos para a geração fotovoltaica transformando-a em uma espécie de investimento financeiro. [17]

A tipologia 3 é utilizada atualmente nos EUA e Japão, chamada de *net-metering* (medição líquida). Esta tecnologia é criticada por dar pouco valor à geração fotovoltaica, uma vez que esta é vendida ao mesmo preço da tarifa de compra, dificultando o retorno do investimento o tornando menos atrativo. Outra questão deste tipo de conexão é a de que as concessionárias perdem parte das vendas aos consumidores, e podendo não apoiar a instalação de um programa fotovoltaico. [17]

D. Adequações urbanas e arquitetônicas da integração fotovoltaica

As áreas residenciais possuem grande área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, sendo assim, capazes de gerar energia além do seu consumo. Porém, essas áreas, não possuem curva de demanda com pico durante o dia, a geração fotovoltaica não contribuiria para alívio de sobrecarga da rede. Mesmo assim este setor deve ser aproveitado por conta da quantidade de área disponível. Desta forma este setor funciona como uma mini-usina, aliviando a sobrecarga em setores adjacentes. [5]

A arquitetura residencial unifamiliar possui, geralmente, as melhores aplicações para os sistemas fotovoltaicos que são

integrados às edificações. Isto por apresentarem grandes áreas de telhado e por serem comumente próximas umas às outras, em sua maioria com mesmo porte, evitando sombreamentos em sua área de cobertura. [18]

Também podem ser utilizados os setores centrais da cidade, com edificações altas e de uso geral voltado para comércio e serviços. Este modelo apresenta um pico de demanda diurno, mas geralmente possuem pouca área de cobertura disponível, além da possibilidade de ocorrência de sombreamento das mesmas devido à grande altura de edificações adjacentes. Diante do fato desta zona apresentar uma sobrecarga diurna, faz-se interessante a aplicação dos sistemas fotovoltaicos, pois o sistema alivia a sobrecarga causada pelo edifício ou em caso de uma cobertura maior, aliviar a sobrecarga nas áreas adjacentes. [5]

Através do exposto por muitas pesquisas, percebe-se que as zonas urbanas de uso misto apresentam melhor adequação para implantação de programas de incentivo à geração fotovoltaica. Essas zonas, geralmente servidas por único alimentador, possibilitam que a energia gerada durante o dia, tenha uso imediato, nas adjacências durante o horário comercial. Assim, as perdas com transmissão são minimizadas. [5]

III. METODOLOGIA / COLETA DE DADOS

Neste estudo de caso, escolheu-se o prédio que abriga o campus João Pinheiro II do Centro Universitário UNA para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Para realizar-se um projeto fotovoltaico devem ser levadas em consideração diversos fatores como a orientação geográfica do prédio, a orientação dos módulos a serem instalados, a área disponível, a radiação solar incidente, a possibilidade de sombreamentos e outros fatores. Assim, foi feito o levantamento dos dados qualitativos e quantitativos para concretização deste projeto colocando os mesmos em um formulário permitindo que os mesmos sejam consultados posteriormente.

Um dos principais motivos da escolha deve-se ao fato deste prédio possuir uma área livre para instalação dos módulos e a inexistência de sombras oriundas de prédios adjacentes. Para iniciar o projeto foi utilizada a planta arquitetônica do local.

De posse dessa, algumas adaptações foram realizadas no programa *AutoCAD* para que ficasse clara a área de instalação dos painéis conforme pode ser observado na Figura 1.

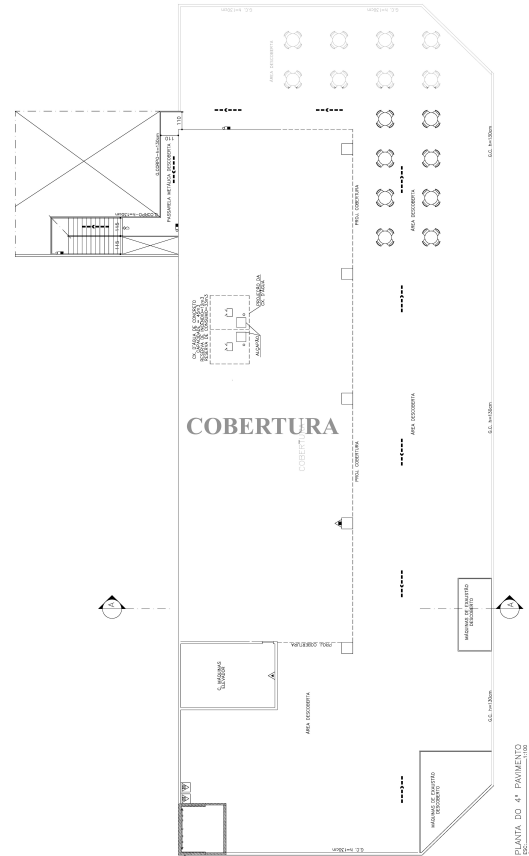


Fig. 1: Planta arquitetônica da cobertura com a área disponível para instalação.

Apesar da região escolhida possuir um recurso solar uniforme, a localização geográfica do prédio é um fator importante a ser considerado. A possibilidade da ocorrência de sombras no local é o elemento chave no estudo da instalação dos módulos fotovoltaicos, pois se existentes podem impedir a captação solar pelos módulos posicionados prejudicando diretamente na quantidade de energia gerada. Deve ser observado também o tipo do material que compõe o solo onde serão instalados os módulos, pois a reflexividade ou o albedo interferem na radiação solar global que incide sobre o módulo.

Diante da presença de uma caixa d'água na cobertura do prédio foi necessário realizar o estudo dos possíveis

sombreamentos. Para isso foi utilizado o programa *SketchUP* que, com uma base de dados, trabalha em conjunto com um mapa da área via satélite. Deste modo, é possível posicionar o modelo criado logo acima da área real que está sendo estudada. O primeiro estudo foi realizado para a projeção das sombras no período de Solstício de Verão, conforme observado na Figura 2.

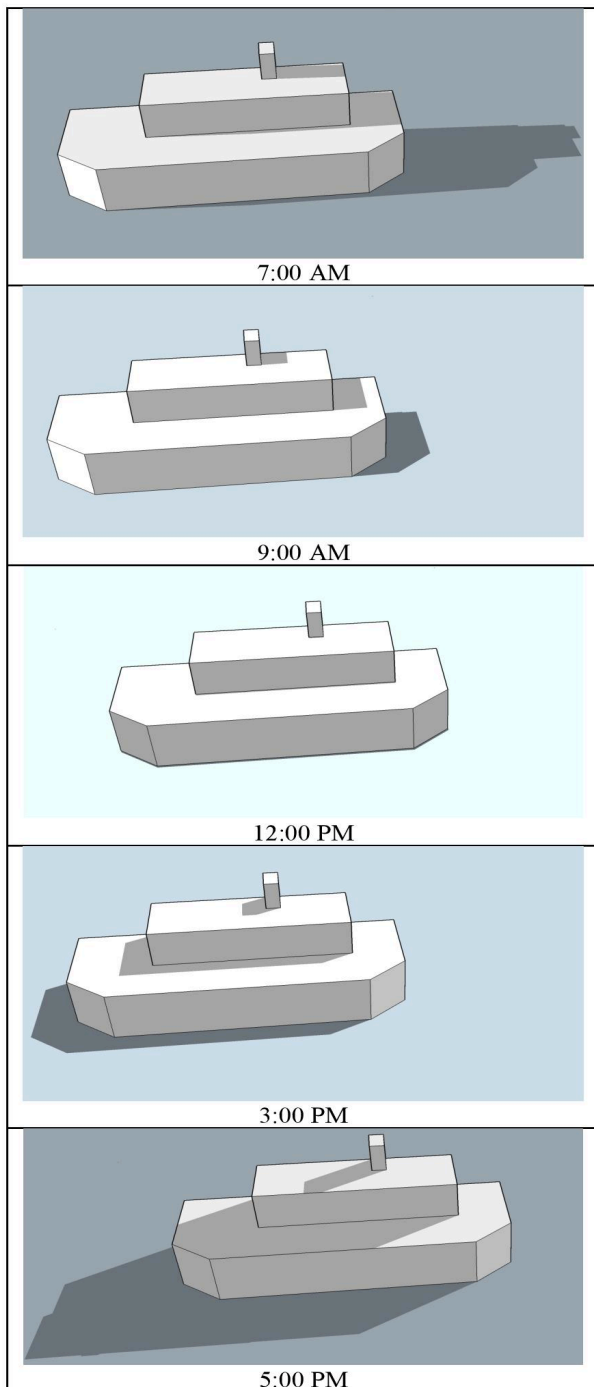


Fig. 2. Projeção de sombras – Solstício de Verão
O segundo estudo foi realizado para a projeção das

sombras durante o período de Solstício de Inverno, conforme observado na Figura 3.

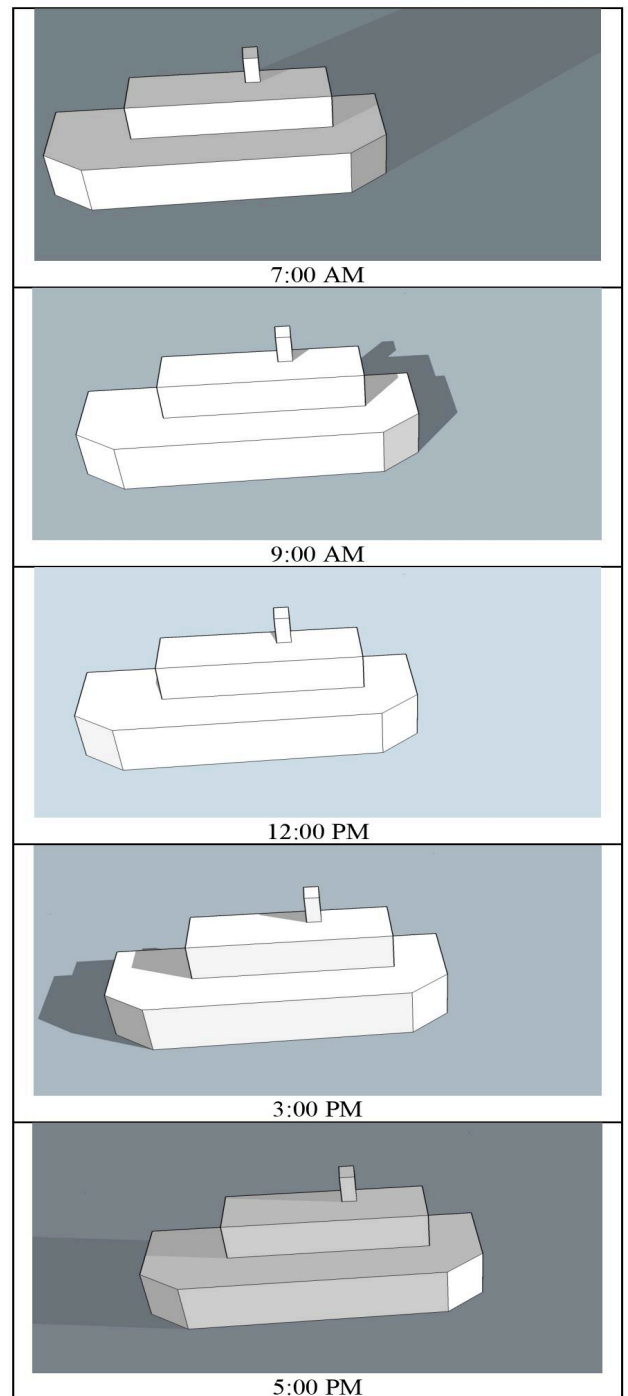


Fig. 3. Projeção de sombras – Solstício de Inverno

Utilizando o software *PVsyst*, foi realizada a parte final do projeto. Primeiramente é necessário definir o local para que sejam utilizadas as características meteorológicas corretas. Com acesso ao banco de dados do programa, determinou-se o local como a cidade de Belo Horizonte conforme pode ser

observado na Figura 4. Foi necessário também definir o albedo que equivale ao tipo de solo onde serão instalados os módulos FV. É de extrema importância que se conheça essas características pois a reflexividade do solo ou de elementos nas proximidades interferem na radiação global que incide sobre os módulos.

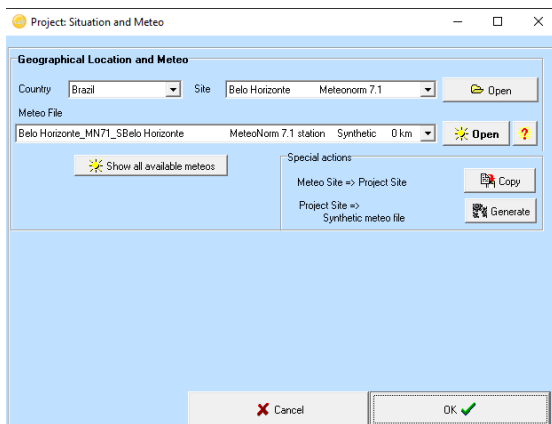


Fig. 4. Interface do Software para Escolha do Local

Logo após é necessário definir as orientações de instalação dos módulos, que determinam para qual sentido geográfico estes estarão virados e sua inclinação. Um melhor resultado foi obtido utilizando o azimute de 0° em relação ao norte e uma inclinação de 20° como observado na Figura 5. Esta configuração é amplamente recomendada por várias literaturas, permitindo uma mesma captação de radiação com um número menor de módulos, o que reduz o custo de instalação.

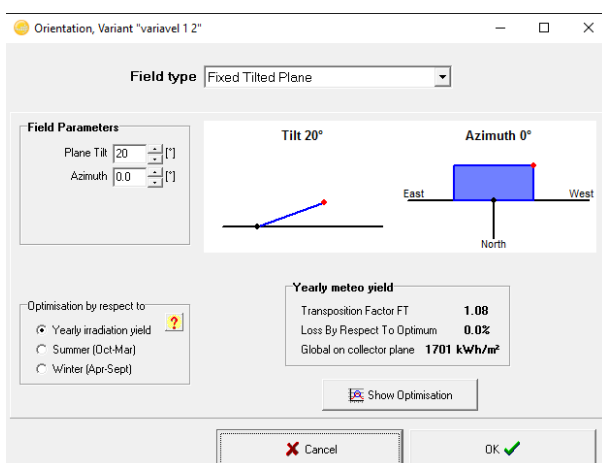


Fig. 5. Orientação Geográfica e Inclinação dos Módulos

Após a definição desses parâmetros, é necessário definir as características do sistema a ser utilizado. Estas são

determinadas pelos tipos de módulo e inversor a serem utilizados, podendo ser observado na Figura 6. A escolha do modelo do módulo foi feita levando em consideração uma marca e modelo de grande recomendação no mercado de custo relativamente reduzido. O modelo escolhido foi o *YL325P-35b* da marca *Yingli Solar*. Já a escolha do inversor foi feita com base numa marca de grande reconhecimento e potencia suficiente para atender à demanda de geração do sistema. O modelo escolhido foi o *Sinvert PVM10* da marca *Siemens*.

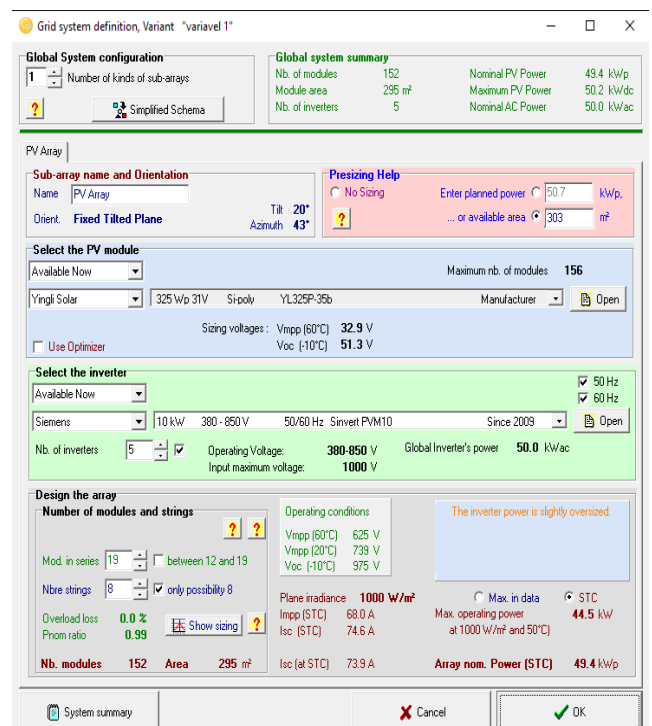


Fig. 6. Escolhas do Módulo e Inversor a Serem Utilizados

A partir de dados obtidos pela parte técnica responsável pelo setor de energia, foi definida a demanda média requerida pelo edifício de 20 MW/mês. Este valor é utilizado a fins de comparação com os valores da quantidade de energia gerada pelo projeto instalado.

A última etapa do programa exige que se faça uma projeção do local com os módulos a serem instalados e as possíveis sombras que venham a ocorrer. No caso desse projeto, as sombras podem ser ocasionadas pela caixa d'Água e por auto sombreamento dos módulos. Assim, é definido o local de instalação, com seu devido azimute como. Este foi determinado com o auxílio de uma bússola, encontrando um

valor de 43° em relação ao norte. Sabendo-se o azimute da instalação tem-se o desenho da posição de instalação dos módulos conforme observado na Figura 7.

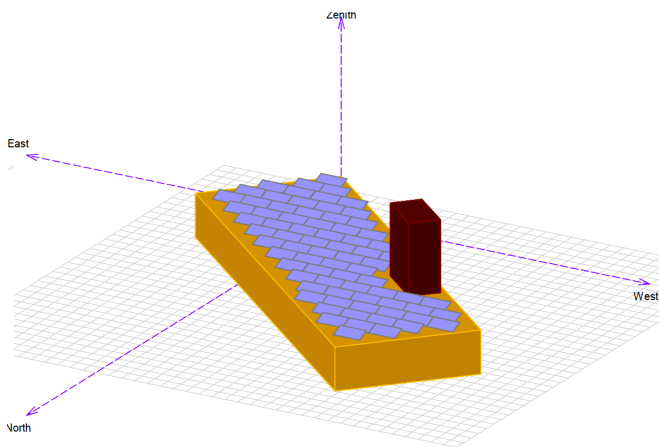


Fig. 7. Projeção de instalação dos módulos na cobertura

Após obter a posição de instalação dos módulos podem ser encontrados os períodos de maior sombreamento. Conforme a Figura 8, observa-se que os períodos correspondentes são antes das 8h e entre 13h e 17h.

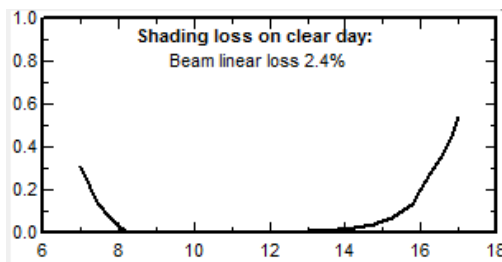


Fig. 8. Perdas por sombreamento ao longo do dia

Quando todos os dados estão ajustados de forma correta no software, ele dá um sinal verde para que seja feita a simulação. Após a simulação é gerado um relatório com todas as informações necessárias para que sejam realizadas comparações, verificação da viabilidade de instalação, possíveis ajustes e assim concretizar a instalação do projeto.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

De posse dos dados coletados foi montada a TABELA I, onde encontram-se as principais informações utilizadas na realização do projeto e simulação do mesmo no software *PVsys*.

TABELA I – FORMULÁRIO DE DADOS PARA O PROJETO

Parâmetro	Valor
Albedo	0,20
Área disponível para instalação dos módulos	295 m ²
Área ocupada pelos módulos	147 m ²
Azimute prédio (orientação geográfica)	43°
Demanda da edificação	20 MWh/mês
Inclinação dos módulos	20°
Número de módulos	76
Número de inversores	3
Perdas por cabeamento (padrão CEMIG)	3%

A simulação no software gera um relatório que pode ser observado no ANEXO A. Sendo assim possível analisar os resultados gerados.

Têm-se assim a irradiação solar média através dos meses do ano, representada na TABELA II. Observa-se que os meses de maior irradiação global são Julho e Agosto, estação de inverno. Isso pode ser explicado pelo fato deste período apresentar um céu mais limpo e com menor interferência de nuvens. Já os meses de menor irradiação global são Janeiro e Dezembro, estações de verão. Ainda que esses meses apresentem as maiores temperaturas no ano, este período apresenta um alto índice pluviométrico e elevada interferência de nuvens.

TABELA II – ANÁLISE DAS RADIAÇÕES

	Irradiação Global Horizontal (kWh/m ²)	Temperatura Ambiente (°C)	Irradiação Global Inclinação 20° (kWh/m ²)	Irradiação Global Efetiva (kWh/m ²)
Janeiro	132.4	22.61	122.5	112.3
Fevereiro	155.7	22.87	151.0	139.2
Março	125.6	22.50	128.7	118.6
Abril	128.1	21.31	141.7	132.0
Maiο	114.6	19.33	135.4	125.2
Junho	111.4	17.95	139.1	128.8
Julho	122.8	17.91	153.4	143.6

Agosto	135.4	19.56	155.9	145.7
Setembro	140.4	20.53	148.0	137.2
Outubro	137.6	22.63	136.7	125.8
Novembro	143.9	21.61	134.6	123.4
Dezembro	133.9	22.00	122.8	112.7
Ano	1581.8	20.89	1669.8	1544.4

Através da TABELA III pode-se observar a quantidade de energia gerada mensalmente e comparar esses valores com a demanda do edifício. Assim, tem-se a quantidade de energia da rede necessária para atender as necessidades do edifício.

TABELA III – COMPARATIVO DAS ENERGIAS GERADAS E DEMANDADAS PELA REDE

	Energia Gerada (MWh)	Energia Demandada (MWh)	Energia Excedente Necessária (MWh)	Energia Injetada na Rede (MWh)
Janeiro	2.236	20.00	2.159	0.000
Fevereiro	2.773	20.00	2.694	0.000
Março	2.349	20.00	2.273	0.000
Abril	2.636	20.00	2.560	0.000
Mai	2.546	20.00	2.473	0.000
Junho	2.636	20.00	2.564	0.000
Julho	2.925	20.00	2.848	0.000
Agosto	2.935	20.00	2.856	0.000
Setembro	2.752	20.00	2.674	0.000
Outubro	2.502	20.00	2.423	0.000
Novembro	2.470	20.00	2.389	0.000
Dezembro	2.238	20.00	2.160	0.000
Ano	30.998	240.00	30.074	0.000

Ainda observando o ANEXO I, observa-se que o sistema proposto apresenta uma geração anual de 30.7 MWh. Sendo assim a redução de consumo anual passaria de 240 MWh para 209,3 MWh. Esse projeto tem potencial para gerar uma

economia de 12,79% impactando diretamente nos valores que são pagos à concessionária.

V. CONCLUSÃO

Diante das demandas de sustentabilidade, o potencial de geração elétrica a partir dos sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede elétrica demonstrou-se bastante promissor. Grande parte disto, deve-se ao fato dos altos índices de radiação solar no Brasil, das novas tecnologias que implicaram no aumento da eficiência dos módulos de geração.

O presente estudo de caso propôs a instalação dos módulos na unidade João Pinheiro II do Centro Universitário UNA, determinando uma redução de 12,79% no consumo de energia elétrica. Este resultado pode ser melhorado ampliando-se a área de cobertura para instalação dos módulos fotovoltaicos, uma vez que existe grande área descoberta no local.

A utilização dos sistemas integrados nas áreas urbanas ainda é reduzida, porém através deste estudo pôde-se constatar que a geração solar fotovoltaica representa um papel importante podendo chegar a suprir totalmente as necessidades de um edifício como também auxiliar a concessionária local na redução da sobrecarga nas regiões adjacentes.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] I. P. DOS SANTOS. “Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista”. Florianópolis, 2009.
- [2] C. A. JARDIM, et. al. “O potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Rede Elétrica em Áreas Urbanas”. LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- [3] C. P. GOMES. “Energia Solar: Utilização como fonte de energia alternativa”. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 2, n. 1, p. 159-163, 2012.
- [4] I. P. DOS SANTOS, J. U. JUNIOR, R. RÜTHER. “Energia Solar Fotovoltaica como Fonte Complementar de Energia Elétrica para

- Residências na Busca da Sustentabilidade”. Fortaleza, 2008.
- [5] I. T. SALAMONI. “Metodologia Para Cálculo de Geração Fotovoltaica em Áreas Urbanas Aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte”. Florianópolis, 2009.
- [6] R. KNIJNIK. “Energia e Meio Ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento”. Porto Alegre, CPEA, 1994.
- [7] ELETROBRÁS. “Conservação de energia: Eficiência energética de instalações e equipamentos”. Procel. Itajubá, MG, Editora da EFEI, 2001.
- [8] R. RUTHER. “Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública”. Florianópolis, 2000.
- [9] N.FRAIDENRAICH, F. LYRA. “Energia solar: fundamentos e tecnologias de conversão heliotérmica e fotovoltaica”. Ed universitária da UFPE. Recife, 1995.
- [10] R. RÜTHER. “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, 2004.
- [11] R. RÜTHER, et al. “*Performance Results of the First Grid Connected, Thin Film PV Installation in Brazil: High Performance Ratios Over Six Years of Continuous Operation*”. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Paris, França, 2004.
- [12] P. EIFFERT, J. G. KISS. “*Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures: A sourcebook for Architects*”. US Department of Energy’s (DOE’s). NREL, Fevereiro, 2000.
- [13] R. RÜTHER, A. MONTENEGRO. “*Building-Integrated, Grid-Connected Photovoltaic Installations in Warm Climates: Choice of Technologies*”. Passive and Low Energy Architecture (PLEA), 18th Conference, p.1-6, Florianópolis, 2001.
- [14] E. A. ALSEMA. “*Energy Viability of Photovoltaic Systems*”. Energy Policy, n. 28, p. 999- 1010, 2002.
- [15] R. RÜTHER. “*Grid Connected PV Systems in Brazil Can Push PV to Mass Production*”. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Munich- Germany, 2001.
- [16] A. ZAHEDI. “*Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems*”. Renewable Energy. Issue 5, v.31, p.711-718, 2006.
- [17] R. THOMAS, T. GRAINER. “*Photovoltaic in buildings - a design guide*”. Department of trade and industry. Londres, 1999.
- [18] D. L. JONES, et. al. “*Photovoltaics in buildings - BIPV projects*”. Department of trade and industry. Londres, 2000.
- [19] S. NANN, K. EMERY. “*Spectral Effects on PV- Device Rating*”. Solar Energy Materials & Solar Cells, n.27, p. 189,216, 1992.

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project : Projeto JPII V1

Geographical Site	Belo Horizonte	Country	Brazil	
Situation	Latitude	19.9°S	Longitude	43.9°W
Time defined as	Legal Time	Time zone UT-3	Altitude	884 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	Belo Horizonte	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant : variavel 1 2

Simulation date 07/06/16 12h03

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	20°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Linear shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-poly	Model	YL325P-35b		
Custom parameters definition		Manufacturer	Yingli Solar		
Number of PV modules		In series	19 modules	In parallel	4 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	76	Unit Nom. Power	325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	24.70 kWp	At operating cond.	22.24 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	654 V	I mpp	34 A
Total area		Module area	147 m²	Cell area	133 m ²

Inverter

Original PVsyst database	Model	Sinvert PVM10		
Characteristics	Manufacturer	Siemens	Unit Nom. Power	10.0 kWac
Inverter pack	Operating Voltage	380-850 V	Total Power	30 kWac
	Nb. of inverters	3 units		

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	317 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : monthly values

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	240	MWh/mth

Grid-Connected System: Near shading definition

Project : Projeto JPII V1

Simulation variant : variavel 1 2

Main system parameters

System type **Grid-Connected**

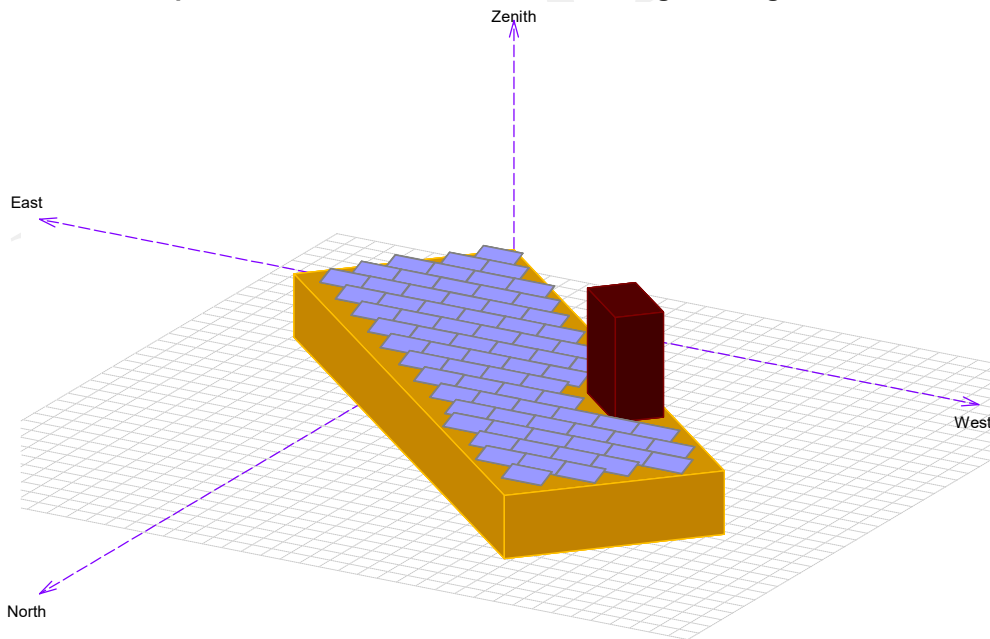
Near Shadings

PV Field Orientation
 PV modules
 PV Array
 Inverter
 Inverter pack
 User's needs

Linear shadings
 tilt 20°
 Model YL325P-35b
 Nb. of modules 76
 Model Sinvert PVM10
 Nb. of units 3.0
 monthly values

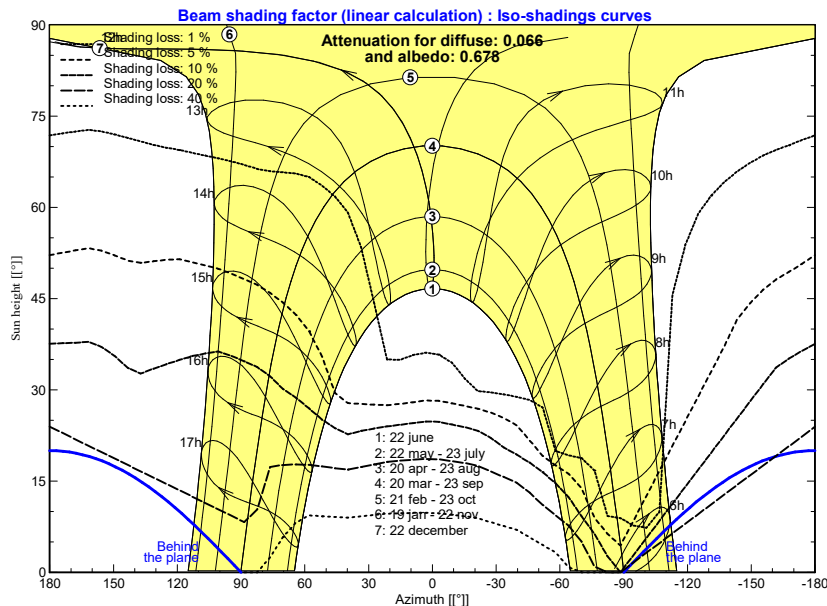
azimuth 0°
 Pnom 325 Wp
 Pnom total **24.70 kWp**
 Pnom 10.00 kW ac
 Pnom total **30.0 kW ac**
 global 240 MWh/year

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Projeto JPII V1 - Legal Time



Grid-Connected System: Main results

Project : Projeto JPII V1

Simulation variant : variavel 1 2

Main system parameters

System type **Grid-Connected**

Near Shadings

Linear shadings

PV Field Orientation

tilt 20°

azimuth 0°

PV modules

Model YL325P-35b

Pnom 325 Wp

PV Array

Nb. of modules 76

Pnom total **24.70 kWp**

Inverter

Model Sinvert PVM10

Pnom 10.00 kW ac

Inverter pack

Nb. of units 3.0

Pnom total **30.0 kW ac**

User's needs

monthly values

global 240 MWh/year

Main simulation results

System Production

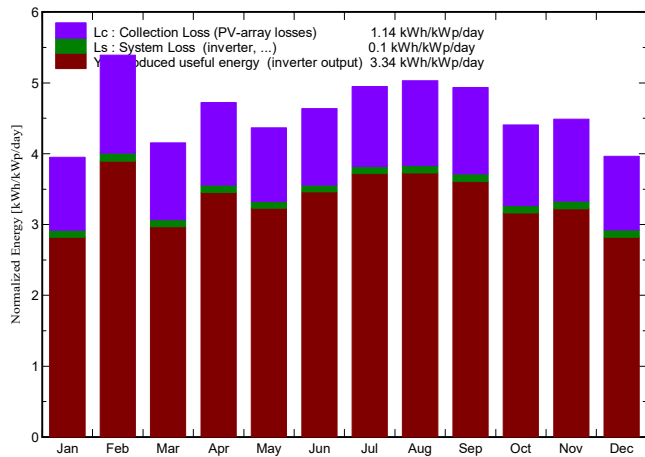
Produced Energy 30.07 MWh/year

Specific prod. 1218 kWh/kWp/year

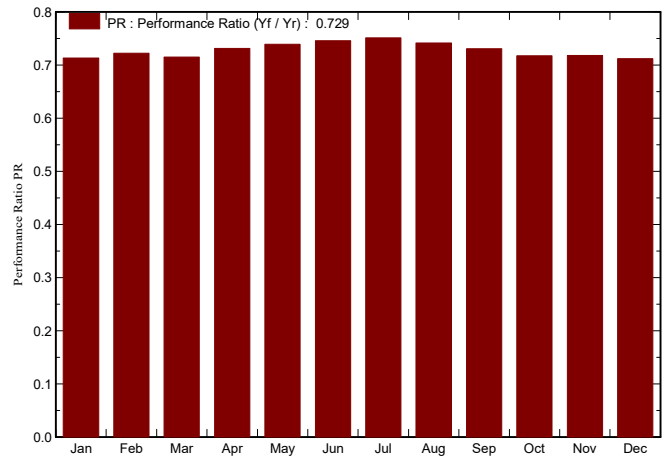
Performance Ratio PR 72.9 %

Solar Fraction SF 12.5 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 24.70 kWp



Performance Ratio PR



variavel 1 2

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E Load	E User	E_Grid
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh
January	132.4	22.61	122.5	112.3	2.236	20.00	2.159	0.000
February	155.7	22.87	151.0	139.2	2.773	20.00	2.694	0.000
March	125.6	22.50	128.7	118.6	2.349	20.00	2.273	0.000
April	128.1	21.31	141.7	132.0	2.636	20.00	2.560	0.000
May	114.6	19.33	135.4	125.2	2.546	20.00	2.473	0.000
June	111.4	17.95	139.1	128.8	2.636	20.00	2.564	0.000
July	122.8	17.91	153.4	143.6	2.925	20.00	2.848	0.000
August	135.4	19.56	155.9	145.7	2.935	20.00	2.856	0.000
September	140.4	20.53	148.0	137.2	2.752	20.00	2.674	0.000
October	137.6	22.63	136.7	125.8	2.502	20.00	2.423	0.000
November	143.9	21.61	134.6	123.4	2.470	20.00	2.389	0.000
December	133.9	22.00	122.8	112.7	2.238	20.00	2.160	0.000
Year	1581.8	20.89	1669.8	1544.4	30.998	240.00	30.074	0.000

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
 T Amb Ambient Temperature E Load Energy need of the user (Load)
 GlobInc Global incident in coll. plane E User Energy supplied to the user
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings E_Grid Energy injected into grid

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Projeto JPII V1

Simulation variant : variavel 1 2

Main system parameters

System type **Grid-Connected**

Near Shadings

PV Field Orientation
 PV modules
 PV Array
 Inverter
 Inverter pack
 User's needs

Linear shadings

tilt 20°
 Model YL325P-35b
 Nb. of modules 76
 Model Sinvert PVM10
 Nb. of units 3.0
 monthly values

azimuth 0°
 Pnom 325 Wp
 Pnom total **24.70 kWp**
 Pnom 10.00 kW ac
 Pnom total **30.0 kW ac**
 global 240 MWh/year

Loss diagram over the whole year

