

ESTÁDIOS SOLARES: POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NOS ESTÁDIOS DA COPA 2014

Ísis Portolan dos Santos – isisporto@gmail.com

Alexandre Montenegro – alex.ises.br@gmail.com

Clarissa Debiazi Zomer – clazomer@gmail.com

Lucas Nascimento – nascimento.ufsc@gmail.com

Priscila Braun - priscilab@labeee.ufsc.br

Ricardo Rüther – ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo. Este artigo aborda a concepção do projeto Estádios Solares, que visa a aplicação da energia solar fotovoltaica nos estádios participantes da Copa do Mundo de Futebol 2014. A energia solar fotovoltaica é uma fonte de geração de energia limpa e renovável, e ainda possível de ser gerada de forma descentralizada junto aos pontos de consumo. O projeto Estádios Solares visa a utilização dos investimentos e visibilidades que ocorrerão por conta da Copa 2014 no Brasil como elementos que auxiliem o crescimento da utilização da tecnologia fotovoltaica no país. O artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o assunto e também os resultados das estimativas de instalação e geração dos sistemas fotovoltaicos instalados nos estádios brasileiros como eles hoje se encontram. A revisão bibliográfica conta com a citação das edificações esportivas do mundo que já utilizam sistemas fotovoltaicos em suas coberturas, e também uma revisão sobre as condições necessárias para a rede elétrica nacional possibilitar a inserção na rede nacional dos blocos de energia gerada de modo descentralizado pelos estádios. A análise das possibilidades dos estádios foi feita baseada nos estádios das cidades-sede já selecionadas e conta com breve descrição das edificações, estimativa da área de cobertura a ser utilizada para a instalação dos módulos fotovoltaicos, irradiação incidente em cada cidade e a análise estimada das possibilidades de geração e do custo dos sistemas. Através das análises feitas foi possível identificar os grandes potenciais de geração que os estádios possibilitarão, gerando energia limpa dentro das capitais brasileiras.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, integração fotovoltaica à arquitetura, estádios de futebol

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global do planeta é um tema muito debatido em todos os setores da atualidade, principalmente no setor elétrico. Isto porque a geração de energia elétrica é uma das grandes causadoras das emissões dos gases do efeito estufa, quando a geração ocorre com base em fontes fósseis. Deste modo, surgem muitos estudos para viabilizar a utilização de fontes alternativas e não poluentes na matriz elétrica dos países.

Mesmo no Brasil, um país que já possui a característica de uso das fontes renováveis com sua matriz sendo grande parte servida pelas hidrelétricas, também é necessário que se aumente a parcela das outras fontes renováveis, principalmente, pois as hidrelétricas possuem alguns impactos ambientais e sociais negativos (alagamentos, putrefação de espécies vegetais, desocupação de terras produtivas, etc). Aproveitando as características tropicais do país, a geração por meio da energia solar fotovoltaica (FV) pode ser o caminho para a inserção de novas fontes limpas na energia brasileira.

Para incentivar o uso de uma fonte energética ainda não muito difundida no país, é necessário identificar as possibilidades para sua difusão, o modo de inserção e as barreiras a serem vencidas. Uma possibilidade de inserção da tecnologia FV no país pode ser a utilização das coberturas dos estádios de futebol, já que estes possuem características de construções com grande área de cobertura para instalação dos módulos FV e por estarem localizados junto aos centros urbanos (pontos de consumo). Outro fator que contribui para o uso dos estádios é a Copa de 2014 a se realizar no país, que deve trazer muitos investimentos para este setor.

Deste modo, este artigo apresenta estudos de inserção da tecnologia fotovoltaica interligada à rede e instalada nos estádios. Abrange a análise das condições necessárias para que a rede elétrica nacional suporte este sistema e o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos para cada estádio que sediará os jogos da Copa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Edificações esportivas com tecnologias sustentáveis

Antes de iniciar a análise das possibilidades de instalação de sistemas fotovoltaicos nos estádios brasileiros é necessário conhecer outros empreendimentos que já utilizaram a tecnologia.

Há pouco tempo, a China foi palco das Olimpíadas, fazendo para isto um grande investimento em seus complexos urbanos e esportivos, que foram contemplados com várias tecnologias de apelo sustentável. A Vila Olímpica utilizou vários recursos, como reuso da água, economia de energia nos edifícios, energias alternativas, entre outros. Nos alojamentos, o aquecimento da água dos chuveiros foi todo feito com coletores solares. O ginásio nacional contava com energia solar fotovoltaica em sua cobertura, coleta da água da chuva, ventilação natural com preservação do calor, e tubos de direcionamento da luz natural para iluminar as garagens subterrâneas (NOBELKEPU, 2007).

Um dos primeiros estádios do mundo a instalar um sistema fotovoltaico foi o estádio Badenova em Freiburg, Alemanha, integrante do projeto SolarRegion. O estádio fornece toda energia gerada à rede elétrica local (SOLARREGION, 2010). O Stade de Suisse, em Bern na Suíça, também possui um sistema instalado na cobertura com 700kWp de potência e gera anualmente energia suficiente para abastecer cerca de 200 residências (INFO,2009). Outros estádios no mundo também já se utilizam da energia solar fotovoltaica como o Park AT&T em São Francisco nos EUA. Este estádio de beisebol tem em sua cobertura instalados 120 kWp de módulos fotovoltaicos. A geração deste sistema, em operação desde 2007, pode ser acompanhada on-line pelos internautas (PARKER, 2007). Do mesmo modo, um time de futebol britânico também investiu na tecnologia solar a partir de um incentivo do governo. O Middlesbrough Football Club instalou, em 2007, um sistema fotovoltaico em sua cobertura, que auxiliará o país atingir sua meta de até 2010 ter em sua matriz energética 10% de energia renovável ((TOTALSOLARENERGY, 2009). Todos estes estádios possuem instalação fotovoltaica aplicada sobre a edificação (Building applied photovoltaic - BAPV), do mesmo modo que é proposta a inserção FV em alguns dos estádios brasileiros.

Outro exemplo da aplicação FV é o estádio da cidade de Kaohsiung em Taiwan, construído para sediar os Jogos Mundiais de 2009 (THOMAS, 2006), e já projetado para receber a integração dos módulos fotovoltaicos (Building integrated photovoltaic - BIPV). O estádio, projetado pelo arquiteto Toyo Ito foi totalmente concebido de maneira sustentável, locado em uma posição que favorece a ventilação natural nas arquibancadas, integrante de uma grande área verde para a comunidade, e totalmente coberto por módulos fotovoltaicos. O estádio conta com uma instalação de 1MWp que pode gerar cerca de 1,1 GWh por ano. Esta energia é suficiente para abastecer 75% do consumo total do estádio (3S, 2008). A instalação dos módulos foi subsidiada pelo governo e tem como apelo a criação de um estádio sustentável, que contribuirá para a divulgação mundial da cidade. A partir disto, os administradores esperavam tornar a cidade uma forte candidata à Copa do Mundo 2014 (no entanto, o Brasil foi definido como sede) e também trazer shows internacionais de artistas que abraçam a causa da preservação ambiental do planeta (CARLSON e CARLSON, 2009).

2.2. Condições das redes elétricas para receber a geração fotovoltaica descentralizada

Para que seja possível a correta utilização dos sistemas fotovoltaicos também é necessária que a rede elétrica esteja preparada para receber esta energia. Os sistemas fotovoltaicos, assim com a energia eólica, PCHs e outras fontes renováveis, tem como características a geração em pequena escala. Esta geração em pequena escala necessita de uma rede de transmissão e distribuição eficiente para que não haja perdas significativas

A geração distribuída, na qual se encaixam as gerações em pequena escala das fontes alternativas, são aquelas onde mini-geradores são tão pequenos em relação às centrais que podem ser conectados em qualquer ponto do sistema, sem a necessidade de uma linha específica. Também são consideradas aquelas gerações próximas aos pontos de consumo que não trocam de faixa de potência da geração até o consumo. Assim, a geração distribuída não forneceria energia às linhas de transmissão, mas somente às de distribuição (NAIR e ZHANG, 2009).

Para gerenciar a inserção de vários mini-geradores na rede elétrica é necessário uma rede inteligente, que transmita energia renovável de vários pequenos geradores, através de longas distâncias. Esta rede também deve ter a habilidade de gerenciar flutuações na demanda e na geração, priorizando sempre a injeção na rede das fontes alternativas e controlando os níveis de inserção das grandes centrais geradoras (BATTAGLINI et al., 2009).

As Super Redes inteligentes solucionariam a tendência de anular geradores conectados à mesma rede e ainda abrangeriam o fornecimento a grandes áreas, aumentando a possibilidade de ter múltiplos geradores atuando no mesmo momento. Isto também poderia favorecer a energia hidráulica, poupando água no reservatório quando houvesse muita geração alternativa, ou até mesmo bombeando água de volta ao reservatório. Os controladores da rede inteligente gerenciarão os locais de geração e demanda e suas cargas, sempre garantindo o fornecimento ao longo do tempo e por todo território abrangente.

Para o Brasil, as super redes e as redes inteligentes têm aplicação ideal. Pela continentalidade do país, muito se perde com a transmissão de energia gerada nas grandes centrais hidrelétricas. E a rede inteligente poderia controlar a geração dos sistemas renováveis, eólico, solar, PCH instalados nos locais onde há maior potencial. Como a matriz energética já tem base nas hidrelétricas, o sistema ficaria ainda mais acessível, utilizando ao máximo as fontes renováveis e guardando a energia hidráulica para os momentos sem geração alternativa. Outra vantagem seria a minimização da utilização de termoeletricas a carvão (combustível fóssil), que são acionadas em momentos de picos da demanda energética nacional.

As redes inteligentes auxiliariam na distribuição a partir de uma subestação virtual completamente automatizada, acomodando as esferas tecnológicas e regulatórias. A tecnologia tem que permitir que todos os setores, geração, transmissão, distribuição e consumo se comuniquem e que o façam na mesma linguagem. É necessária uma legislação que defina como serão instalados os mini-geradores e como será sua conexão e operação.

Percebe-se que o Brasil também pode estar a um passo de uma geração elétrica totalmente limpa, já que o país já possui 72,6% de sua matriz com base renovável a partir das hidrelétricas (EPE, 2008). Para isso, a rede elétrica do país que já é de um sistema totalmente integrado na forma de uma Super Rede, deveria abranger os conceitos das Redes Inteligentes, permitindo que as conexões de sistemas de geração alternativa fornecessem o restante. A partir deste cenário de interesse de conexão, os estádios teriam total facilidade de receberem instalações fotovoltaicas em suas coberturas e contribuir para a energia consumida no país.

Além do interesse em utilizar tecnologias de geração renovável e de um sistema energético preparado para isto, também é necessário que a tecnologia esteja comercialmente disponível.

Segundo Brown e Hendry (2009), além de estudar a tecnologia, também é necessário conhecer o mercado. Para isso, podem ser utilizados financiamentos do governo para testar as tecnologias e sua interação com os demais elementos, e verificar sua real potencialidade de difusão. Estes primeiros estudos proporcionam o conhecimento das características de instalação, e há também uma diminuição dos custos, chamada de curva de aprendizado. Este estudo deve ser utilizado para atuar em três frentes: reduzindo as incertezas pela criação de mais informações, por um projeto dominante (standardização), e o desenvolvimento do sistema técnico e social.

Vários programas de incentivo no mundo já se utilizaram destas técnicas para criar um mercado adequado para a tecnologia fotovoltaica, que resulta em um mercado auto-regulador, como nos EUA, onde houve incentivo governamental e aplicação em um grande mercado, na Alemanha onde a existência do mercado eólico e os estudos já existentes na área auxiliaram a disseminação, e no Japão onde o domínio da tecnologia dos semi-condutores e standardização do uso em coberturas foram fundamentais para a inserção. Todos os projetos iniciais tiveram um grande apoio do governo e na maioria dos casos contaram com a criação de um departamento do governo para coordenar e implantar os projetos. A participação das concessionárias também foi importante para a aceitação da tecnologia e resolução dos problemas de conexão.

Portanto, os governos têm um grande problema até atingir a comercialização, principalmente porque estes geralmente levam um grande tempo para produzirem resultados, as concessionárias e fábricas podem ou não querer participar, mas são essenciais para que o processo tenha continuidade. E também é difícil observar as estratégias mais acertadas de princípio, mas investir em muitas estratégias também custa muito mais caro. Parecem ter mais efeito na difusão da tecnologia os projetos para um público definido e que contem com o apoio dos governos e das fábricas. O autor do processo tem um papel fundamental no processo de aquisição de aprendizagem, especialmente no início onde os fatores locais têm grande importância.

Assim pode ser percebido que o Brasil tem possibilidades de instaurar um processo para difusão da tecnologia fotovoltaica. Este processo deverá ser feito em parceria com as concessionárias, com as instituições que já detém o conhecimento da tecnologia e também de empresas ligadas ao mercado que já conheçam as necessidades e possibilidades de um modelo de standardização. Os sistemas de conexão à rede serão simples no país, já que este conta com uma rede elétrica nacional interligada. E o início, poderia ser dado a partir dos estádios, já que estes possuem uma grande área de cobertura disponível, implicando em uma grande produção, e o investimento inicial seria por parte do governo, dos incentivos para a Copa de 2014 e outras entidades privadas que queiram se promover na “onda verde”.

3. METODOLOGIA

Para desenvolvimento deste trabalho foi utilizada uma metodologia a partir de pesquisas teóricas sobre a inserção da tecnologia fotovoltaica nos estádios e posteriormente foram levantados os dados sobre os estádios para estimar a geração dos mesmos.

Para cada estádio foi feita uma análise que compreendeu os seguintes elementos: características principais (localização, características da edificação e breve histórico); análise da área útil máxima de cobertura que poderia ser utilizada para instalação dos sistemas fotovoltaicos propostos (silício amorfo e silício poli-cristalino); potência instalada (Eq. 1); produção anual de energia elétrica estimada para os sistemas fotovoltaicos propostos (Eq.2); e cenários de custos de investimento para duas tecnologias fotovoltaicas (Eq.3).

$$Pot.inst. = Área_{útil} \times Ef.módulo \quad (1)$$

$$Ger. = Área_{útil} \times Re.tip. \times Irr.local \quad (2)$$

$$CustoSist. = Pot.inst. \times custo / MWp \quad (3)$$

Na análise da área útil das coberturas, utilizaram-se os projetos arquitetônicos de alguns estádios, quando estes foram disponibilizados. Para os demais estádios, a estimativa foi feita a partir de imagens de satélite disponíveis no programa Google Earth.

Em ambos os casos foi utilizado um fator redutor de 20% da projeção da cobertura. Este fator tem sido utilizado na fase de pré-projeto dos sistemas BIPV que foram instalados pelo LABSOLAR-UFSC, mostrando-se razoável para

estimar a redução da área útil decorrente de detalhes construtivos e de instalação que impossibilitam a utilização da área total de cobertura para a instalação fotovoltaica.

As duas tecnologias utilizadas para as estimativas, silício amorfo (a-Si) e silício poli-cristalino (p-Si), foram escolhidas por serem tecnologias de boa inserção no mercado atual. O rendimento típico para módulos de cada tecnologia analisada foi de 141,77 Wp/m² para o p-Si, e de 62,92 Wp/m² para o a-Si. A estimativa de geração foi feita a partir dos níveis de irradiação solar fornecidos pelo projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment).

Em vista de ser um estudo inicial e estimativo, todas as superfícies de cobertura disponível foram consideradas planas e horizontais, mesmo que em alguns casos fossem inclinadas ou tivessem obstruções. Do mesmo modo, foram consideradas as coberturas e projeções da situação atual dos estádios, e não a área de cobertura dos projetos de reforma dos estádios, que podem alterar ou não a área total. Desta forma, tanto o cálculo do potencial total instalado quanto o cálculo de geração de energia elétrica poderão sofrer mudanças quando forem avaliadas de maneira mais aprofundada nos projetos finais. Neste estudo também não foram consideradas as perdas de geração ocasionadas por sombreamento na superfície dos módulos, já que necessita de um estudo detalhado, mas o fator de redução de 20% já exclui áreas com sombreamento excessivo.

A estimativa do custo total foi feita com base no valor de €3.748/kWp para sistemas de a-Si, e de €3.043/kWp para sistemas de p-Si e a cotação utilizada foi de R\$2,43/€. A utilização desse valor é conservativa, pois é válido para instalações fotovoltaicas de até 100 kWp. Como o potencial a ser instalado nos estádios seria superior a 100 kWp, valores mais atrativos poderiam ser negociados, até mesmo considerando a entrega no Brasil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise teórica sobre os estádios que já utilizam sistemas fotovoltaicos e sobre as condições da rede elétrica para receber esta energia foi feita a análise do potencial de geração dos estádios que irão sediar os jogos da Copa 2014. Segundo a definição das cidades-sede, os estádios selecionados são os apresentados na Tab. 1(COPA, 2009).

Tabela 1 - Lista dos estádios selecionados para sede dos jogos da Copa 2014

Cidade	Estado	Estádio
Belo Horizonte	MG	Mineirão
Brasília	DF	Mané Garrincha
Cuiabá	MT	José Fragelli
Curitiba	PR	Arena da Baixada
Fortaleza	CE	Governador Plácido Castelo
Manaus	AM	Arena Manaus
Natal	RN	Dunas
Porto Alegre	RS	Beira-Rio
Recife	PE	Cidade-Copa
Rio de Janeiro	RJ	Maracanã
Salvador	BA	Fonte Nova
São Paulo	SP	Morumbi

De cada estádio foi feita uma análise das condições necessárias para a aplicação de módulos fotovoltaicos em suas coberturas. Apenas dois estádios não foram analisados, o Estádio cidade da Copa e o Estádio Dunas, pois ambos ainda não foram executados e não foi possível o acesso aos projetos.

4.1. Mineirão

O Estádio do Mineirão situa-se em Belo Horizonte-MG, e tem o nome de Estádio Governador Magalhães Pinto. O Mineirão tem formato oval, medindo 275 metros em seu eixo maior e 217 metros no menor. Sua estrutura é constituída por 88 pórticos de concreto armado, dispostos radialmente em torno da elipse. A remodelação do Mineirão para a Copa de 2014 prevê o rebaixo do campo, novas cadeiras e nova cobertura

O estádio está localizado em latitude 20°S e longitude 43°O, e possui uma área total de cobertura de 19.848m². A proposta de integração dos módulos pode ser vista na Fig. 1.



Figura 1 – Imagem aérea do Mineirão com a simulação da integração fotovoltaica na cobertura existente e sem sombra.

A análise do potencial de geração é encontrada na Tab. 2, aonde se percebe que um investimento de cerca de 13 milhões de reais seria suficiente para abastecer cerca de 500 residências (com um consumo mensal de 250 kWh).

Tabela 2 – Potencial de geração do Estádio Mineirão

Área total do estádio	19.848 m ²		
Área útil do estádio	15.878 m ²		
Irradiação média diária em Belo Horizonte	4,93 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.465 MWh/MWp		
Potencial de p-Si		Potencial de a-Si	
Potência total (MWp)	2,25	Potência total (MWp)	1,00
Energia gerada (MWh/ano)	3.297	Energia gerada (MWh/ano)	1.463
Custo total (milhões de euros)	10,0	Custo total (milhões de euros)	5,5
Custo total (milhões de reais)	24,3	Custo total (milhões de reais)	13,3

4.2. Mané Garrincha

O Estádio Mané Garrincha foi inaugurado em 1974 em Brasília-DF. O estádio oferece infraestrutura também para a prática de outras modalidades, como judô, ginástica, capoeira e dança. O estádio é sede das federações de esportes da cidade de Brasília e pertence ao Departamento de Esportes, Educação Física e Recreação do Distrito Federal.

O Estádio Mané Garrincha possui área total de cobertura de 21.855 m² (região hachurada da Fig. 2), correspondendo a uma área útil 17.484 m² para instalação do sistema BAPV.



Figura 2 - Estádio Mané Garrincha, com área total para integração fotovoltaica hachurada.

A geração possível para o estádio ocorre conforme a Tab. 3, para uma edificação que receberá a irradiação incidente na latitude 16°S e longitude 47°O.

Tabela 3 – Potencial de geração do Estádio Mané Garrincha

Área total do estádio	21.855 m ²		
Área útil do estádio	17.484 m ²		
Irradiação média diária em Brasília	5,46 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.580 MWh/MWp		
Potencial de p-Si		Potencial de a-Si	
Potência total (MWp)	2,48	Potência total (MWp)	1,10
Energia gerada (MWh/ano)	3.917	Energia gerada (MWh/ano)	1.739
Custo total (milhões de euros)	7,5	Custo total (milhões de euros)	4,1

Custo total (milhões de reais)	18,3	Custo total (milhões de reais)	10,0
--------------------------------	------	--------------------------------	------

4.3. José Fragelli

O Estádio José Fragelli, ou Verdão, está localizado em Cuiabá, Mato Grosso, e atende a vários times do Estado. A área total de cobertura do Estádio Verdão é de 16.880 m² (região hachurada da Fig. 3), correspondendo a 13.504 m² de área útil para instalação do sistema BAPV.



Figura 3 – Estádio Verdão, com área total para integração fotovoltaica hachurada.

Para uma localização na longitude 56°O e latitude 16°S, a geração do Estádio Verdão será conforme a Tab. 4.

Tabela 4 – Potencial de geração do Estádio Verdão

Área total do estádio	21.855 m ²		
Área útil do estádio	17.484 m ²		
Irradiação média diária em Cuiabá	5,46 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.580 MWh/MWp		
	Potencial de p-Si	Potencial de a-Si	
Potência total (MWp)	1,91	Potência total (MWp)	0,85
Energia gerada (MWh/ano)	2.994	Energia gerada (MWh/ano)	1.329
Custo total (milhões de euros)	5,8	Custo total (milhões de euros)	3,2
Custo total (milhões de reais)	14,1	Custo total (milhões de reais)	7,7

4.4. Arena da Baixada

O Estádio Joaquim Américo Guimarães, popularmente conhecido como Arena da Baixada, é propriedade do Clube Atlético Paranaense (CAP) e está localizado em Curitiba, capital do estado do Paraná. Ele foi o primeiro estádio do futebol brasileiro a adotar o *naming rights*¹ com o título de Kyocera Arena entre 2005 e 2008.

A área total de cobertura do Estádio Arena da Baixada é de 15.092 m² (região hachurada em azul da Fig. 4), correspondendo a 12.074 m² de área útil para instalação do sistema BAPV. Percebe-se que na figura o estádio ainda não está completamente executado, mas até a ocorrência da Copa ele deverá estar finalizado.



Figura 4 - Arena da Baixada, com área total para integração fotovoltaica hachurada.

Para este estádio de Curitiba, longitude 49°O e latitude 25°S, a geração ocorrerá conforme a Tab. 5.

¹ *Naming rights* é o direito de nomear uma propriedade ou um evento, normalmente em decorrência do pagamento de uma determinada cota de patrocínio.

Tabela 5 – Potencial de geração do Estádio Arena da Baixada

Área total do estádio	15.092 m ²		
Área útil do estádio	12.074 m ²		
Irradiação média diária em Curitiba	4,57 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.314 MWh/MWp		
Potencial de p-Si		Potencial de a-Si	
Potência total (MWp)	1,71	Potência total (MWp)	0,76
Energia gerada (MWh/ano)	2.249	Energia gerada (MWh/ano)	998
Custo total (milhões de euros)	5,2	Custo total (milhões de euros)	2,8
Custo total (milhões de reais)	12,6	Custo total (milhões de reais)	6,9

4.5. Governador Plácido Castelo

O Estádio Governador Plácido Castelo, mais conhecido como Castelão, está localizado em Fortaleza, Ceará. É o maior e mais moderno estádio do estado do Ceará. Atualmente tem capacidade para mais de 58 mil pessoas e já foi palco de grandes eventos esportivos e culturais, como jogos da Seleção Brasileira de Futebol.

A área total de cobertura do Estádio Castelão é de 15.254 m² (região hachurada da Fig. 5), correspondendo a 12.203 m² de área útil para instalação do sistema BAPV.



Figura 5 – Estádio Castelão, com área total para integração fotovoltaica hachurada.

A geração do estádio ocorre de acordo com a Tab. 6, para um local de latitude 4°S e longitude 38°O.

Tabela 6 – Potencial de geração do Estádio Governador Plácido Castelo

Área total do estádio	15.254 m ²		
Área útil do estádio	12.203 m ²		
Irradiação média diária em Fortaleza	5,64 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.632 MWh/MWp		
Potencial de p-Si		Potencial de a-Si	
Potência total (MWp)	1,73	Potência total (MWp)	0,77
Energia gerada (MWh/ano)	2.824	Energia gerada (MWh/ano)	1.253
Custo total (milhões de euros)	5,3	Custo total (milhões de euros)	2,9
Custo total (milhões de reais)	12,8	Custo total (milhões de reais)	7,0

4.6. Arena Manaus

O Estádio Vivaldo Lima, também conhecido como Vivaldão, é o maior estádio de futebol de Manaus, Amazonas, e atende a vários times do estado. Atualmente o estádio é conhecido como Arena Manaus. Sua localização estratégica no centro da Região Amazônica, muito procurada pelo turismo internacional, colocaram este estádio como um dos favoritos a sediar jogos da Copa 2014.

A área total de cobertura do Estádio Arena Manaus é de 29.256 m² (região hachurada em azul da Fig. 6), correspondendo a 23.405 m² de área útil para instalação do sistema BAPV.

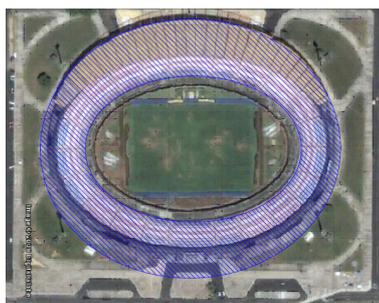


Figura 6 - Estádio Arena Manaus, com área total para integração fotovoltaica hachurada.

A geração da Arena Manaus, localizado em longitude 60°O e latitude 3°S ocorrerá conforme a Tab. 7.

Tabela 7 – Potencial de geração do Estádio Arena Manaus

Área total do estádio	29.256 m ²		
Área útil do estádio	23.405 m ²		
Irradiação média diária em Porto Alegre	5,12 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.476 MWh/MWp		
	Potencial de p-Si		Potencial de a-Si
Potência total (MWp)	3,32	Potência total (MWp)	1,47
Energia gerada (MWh/ano)	4.896	Energia gerada (MWh/ano)	2.173
Custo total (milhões de euros)	10,1	Custo total (milhões de euros)	5,5
Custo total (milhões de reais)	24,5	Custo total (milhões de reais)	13,4

4.7. Beira-rio

O estádio Beira Rio, cujo nome oficial é Estádio José Pinheiro Borda, pertence ao Internacional Sport Clube e está localizado às margens do rio Guaíba em Porto Alegre-RS. Para o estádio Beira-Rio a área total de cobertura considerada é a região hachurada na Fig. 7, que corresponde a 32.416 m². A área útil estimada para a instalação de módulos fotovoltaicos neste estádio é então de 25.933 m².

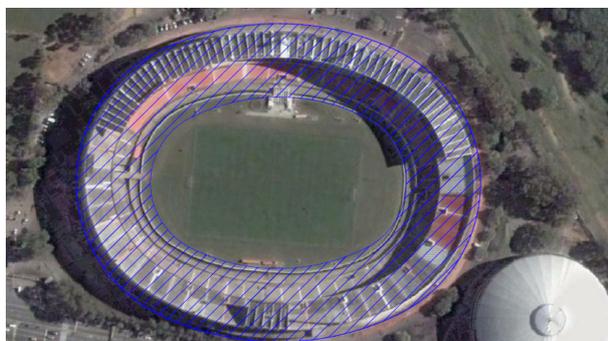


Figura 7 – Área disponível para integração fotovoltaica no estádio Beira Rio.

Pela área disponível e a irradiação na latitude 30°S e longitude 50°O, a geração do estádio ocorreria conforme a Tab. 8.

Tabela 8 – Potencial de geração do Estádio Beira-Rio

Área total do estádio	32.416 m ²		
Área útil do estádio	25.933 m ²		
Irradiação média diária em Porto Alegre	4,65 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.343 MWh/MWp		
	Potencial de p-Si		Potencial de a-Si
Potência total (MWp)	3,68	Potência total (MWp)	1,63
Energia gerada (MWh/ano)	4.937	Energia gerada (MWh/ano)	2.191
Custo total (milhões de euros)	11,2	Custo total (milhões de euros)	6,1

Custo total (milhões de reais)	27,2	Custo total (milhões de reais)	14,8
--------------------------------	------	--------------------------------	------

4.8. Estádio Maracanã

O estádio situa-se no Rio de Janeiro- RJ (latitude 23S e longitude 43°) e tem o nome de Estádio Jornalista Mário Filho. Recebeu as cerimônias de abertura e encerramento dos Jogos Pan-Americanos de 2007, sendo um dos maiores estádios do mundo.

Para o estádio do Maracanã, a área total de cobertura considerada é a que cobriria as arquibancadas, que corresponde a 28.952 m². A área útil estimada para a instalação de módulos fotovoltaicos neste estádio é então de 23.162 m². Na Fig. 8 apresenta-se uma integração dos módulos.



Figura 8 – Simulação da imagem do estádio já com a integração dos módulos fotovoltaicos.

A partir da estimativa de área útil, foi feita a estimativa do potencial de integração e com os níveis de irradiação da cidade do Rio de Janeiro foi calculada a energia a ser gerada pelo sistema, que pode ser observada na Tab. 9. A energia gerada pelo estádio com o sistema de p-Si poderia abastecer cerca de 1600 residências.

Tabela 9 – Potencial de geração do Estádio Maracanã

Área total do estádio	28.952 m ²		
Área útil do estádio	23.162 m ²		
Irradiação média diária no Rio de Janeiro	4,96 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.464 MWh/MWp		
	Potencial de p-Si	Potencial de a-Si	
Potência total (MWp)	3,28	Potência total (MWp)	1,46
Energia gerada (MWh/ano)	4.806	Energia gerada (MWh/ano)	2.133
Custo total (milhões de euros)	10,0	Custo total (milhões de euros)	5,5
Custo total (milhões de reais)	24,3	Custo total (milhões de reais)	13,3

4.9. Fonte Nova

O nome oficial do Estádio Fonte Nova é Estádio Octávio Mangabeira, localizado em Salvador-BA e de propriedade do Governo do estado da Bahia. Sua capacidade era de 60 mil pessoas até seu fechamento em 2007 pelo desabamento de parte da arquibancada.

Para o estádio Fonte Nova, a área total considerada corresponde à região hachurada na Fig. 9, que corresponde a 28.286 m². A área útil estimada para a instalação de módulos fotovoltaicos neste estádio é então de 22.629 m².



Figura 9 – Imagem da cobertura do Fonte Nova com a área para integração dos módulos fotovoltaicos.

A geração do estádio, localizado na longitude 38°O e latitude 13°S, ocorreria conforme a Tab. 10.

Tabela 10 – Potencial de geração do Estádio Fonte Nova

Área total do estádio	28.286 m ²		
Área útil do estádio	22.629 m ²		
Irradiação média diária em Salvador	5,23 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.506 MWh/MWp		
	Potencial de p-Si		Potencial de a-Si
Potência total (MWp)	3,21	Potência total (MWp)	1,42
Energia gerada (MWh/ano)	4.832	Energia gerada (MWh/ano)	2.144
Custo total (milhões de euros)	9,8	Custo total (milhões de euros)	5,3
Custo total (milhões de reais)	23,7	Custo total (milhões de reais)	12,9

4.10. Morumbi

O Estádio Cícero Pompeu de Toledo, também chamado de Estádio do Morumbi, é sede oficial do São Paulo Futebol Clube. Pela sua capacidade, abriga a maioria dos clássicos do futebol paulista disputados em São Paulo, além de já ter recebido a Seleção Brasileira inúmeras vezes. O Morumbi é o terceiro maior estádio do Brasil, superado apenas pelo Maracanã e pelo Mineirão. O estádio do São Paulo é também o maior estádio particular do Brasil.

A área total de cobertura do Estádio Morumbi é de 21.755 m² (região hachurada da Fig. 10), correspondendo a 17.404 m² de área útil para instalação do sistema BAPV.



Figura 10 – Estádio Morumbi, com área total para integração fotovoltaica hachurada.

A geração para o estádio Morumbi em São Paulo, latitude 24°S e longitude 46°O será de acordo com a Tab. 11.

Tabela 11 – Potencial de geração do Estádio Morumbi

Área total do estádio	21.755 m ²		
Área útil do estádio	17.404 m ²		
Irradiação média diária em Salvador	4,72 kWh/m ²		
Yield anual estimado	1.354 MWh/MWp		
	Potencial de p-Si		Potencial de a-Si
Potência total (MWp)	2,47	Potência total (MWp)	1,10
Energia gerada (MWh/ano)	3.342	Energia gerada (MWh/ano)	1.483
Custo total (milhões de euros)	7,5	Custo total (milhões de euros)	4,1
Custo total (milhões de reais)	18,3	Custo total (milhões de reais)	10,0

De acordo com as estimativas feitas, cada estádio teria um potencial de geração característico, decorrente principalmente da área neles disponíveis. Em resumo, os estádios maiores teriam maiores valores de geração energética anual, como o Maracanã, Arena Manaus, Beira Rio e Fonte Nova, que tem área útil entre 22.000 e 23000m². Mas como a geração de energia também é alterada pela disponibilidade de radiação solar, os estádios localizados nas cidades com maiores níveis de geração também teriam níveis mais altos de geração de energia, no caso das cidades de Fortaleza, Brasília e Cuiabá, que possuem níveis de irradiação médios diários acima de 5,4 kWh. Os níveis de irradiação mais altos também garantem maior eficiência ao sistema, fazendo com que o mesmo investimento financeiro tenha maior resultado em kWh gerados. Nesta relação de maior área de cobertura disponível e maior insolação, os estádios que teriam maior capacidade de gerar energia seriam o Arena Manaus (AM), Maracanã (RJ), Beira-Rio (RS) e o Fonte Nova (BA).

5. CONCLUSÕES

A inserção de sistemas solares fotovoltaicos que geram energia elétrica nos próprios estádios tem muito a contribuir com a rede elétrica nacional e com a sustentabilidade do planeta. As estratégias de eficiência energética também devem ser adotadas nos estádios para diminuir o consumo excessivo de energia. A utilização de painéis fotovoltaicos já é feita em alguns estádios no mundo, mas não têm grande uso por ser ainda uma tecnologia com custos elevados e com comercialização restrita.

Assim, são necessárias ações para preparar o mercado para receber a tecnologia, a partir de parcerias com indústrias e apoio dos governos. Deste modo, é necessária uma análise do sistema elétrico nacional para verificar a viabilidade de instalação de uma super-rede em corrente contínua e/ou a transformação da mesma em uma rede inteligente.

A análise do potencial de geração dos estádios mostrou que todos são capazes de gerar montantes expressivos de energia elétrica a partir de uma fonte limpa e renovável. Nas relações entre áreas disponíveis, custos de instalação e disponibilidade de irradiação, foi possível identificar o estádio com a melhor eficiência de investimento. Isto orientaria o planejamento de instalação do projeto Estádios Solares, iniciando por aqueles estádios com maiores capacidades de geração e menor custo de investimento, que no caso desta análise foi identificado como o Estádio Fonte Nova, em Salvador (BA).

Assim a difusão da tecnologia fotovoltaica no Brasil tem boas possibilidades de iniciar pelos estádios de futebol participantes da Copa de 2014. Os estádios são opções viáveis da inclusão da geração fotovoltaica em meio aos centros urbanos e teriam um grande apelo como projetos vitrine.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Instituto Ideal (Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina), GTZ (Cooperação Técnica Alemã), Cooperação República Federativa do Brasil e República Federal da Alemanha e KFW Bankengruppe que tem auxiliado de diversas formas na elaboração deste projeto.

REFERÊNCIAS

3S. **Solar energy for the World Games 2009 in Taiwan - thanks to Swiss know-how.** Lyss: 3S - Swiss Solar Systems. 2008.

BATTAGLINI, A.; LILLIESTAM, J.; HASS, A.; PATT, A. Development of SuperSmart Grid for a more efficient utilisation of electricity from renewable sources. **Journal of Cleaner Production.** v.17, p.911-918, 2009.

BROWN, J.; HENDRY, C. Public demonstration projects and field trials: Accelerating commercialization of sustainable technology in solar photovoltaics **Energy Policy.** Issue 7, v.37, 2009.

CARLSON, R.; CARLSON, R. **Green stadium in Taiwan is a wake-up call to western architects:** Examiner. 2009.

COPA 2014. Portal da Copa 2014. Disponível em <http://www.copa2014.org.br/br>. Acesso em 20 de abril de 2009.

EPE. **Balanco energético Nacional 2008: Ano base 2007.** Ministério de Minas e Energia, 2008.

INFO, S. **Stade de suisse Stadium, Bern:** Swiss Info. 2009.

NAIR, N.-K. C.; ZHANG, L. SmartGrid: future networks for New Zealand power systems incorporating distributed generation. **Energy Policy.** 2009.

NOBELKEPU. **Green Olympics: 2007 Nobel prize winner's beijing forum - energy and environment themed exhibition.** 2007.

PARKER, S. **Summer 2007: Solar Energy Hits the Major League** San Francisco: Renewable energy world. 2007.

SOLARREGION. Freiburg solar City. Disponível em <http://www.solarregion.freiburg.de>. Acesso em 26 de abril de 2010.

THOMAS, J. **Solar Stadium for 2009 World Games**: TreeHugger. 2006.

TOTALSOLARENERGY. **Renewable Energy In Football Clubs**: Total Solar energy 2009.

SOLAR STADIUMS: POTENTIAL OF PHOTOVOLTAIC ENERGY APPLIED IN COPA 2014 STADIUMS

Abstract. *This paper discusses the conception of Solar Stadium project that intend to use photovoltaic solar energy applied in 2014 FIFA World Cup stadiums. Photovoltaic solar energy is a renewable and clean source, and also allows the decentralized generation close to the consumptions points. Solar stadium projects aim to use the investments and the visibility that will occur by the Cup in Brazil. This could help the growing of photovoltaic technology in the country. This paper presents a review and the estimated results for installation and generation of photovoltaic systems applied in the stadiums. The review comments about sports buildings that already have photovoltaic installation in their roofs and the essential conditions of the national grid in order to receive photovoltaic decentralized generation. The analyses of stadiums possibilities were based on host cities already defined and have a building description, surface measure to install the modules, incident radiation of the city and estimation of system generation and cost. Trough the analysis was estimated the greatest potential of generation provided by the stadium that will generate clean energy in the middle of the Brazilian metropolis.*

Key words: *Photovoltaic solar energy, building applied photovoltaic, soccer stadium*