

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO EM EDIFÍCIO HISTÓRICO NA CIDADE DE SANTA MARIA

Cândida Ianzer Viedo Alvorcem – candidaviedo@gmail.com

Ísis Portolan dos Santos – isisporto@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria - RS Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

Resumo. O objetivo geral deste trabalho é analisar a adequação de sistemas fotovoltaicos em edificações históricas consideradas como patrimônio arquitetônico. A avaliação partiu de um estudo de caso na Escola Manoel Ribas, estabelecida na cidade de Santa Maria-RS, edificação tombada a nível estadual, pelo IPHAE RS. Tendo em vista que as edificações históricas representam a cultura de uma época, além da questão histórica, pretende-se contribuir para a sustentabilidade aliados às atuais necessidades de diminuição de impacto ambiental destas construções. Neste contexto surgem considerações sobre a utilização de módulos fotovoltaicos contribuindo para a geração de energia da edificação e tornando os edifícios mais sustentáveis. Para desenvolvimento do presente trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica considerando os aspectos técnicos da tecnologia fotovoltaica e as teorias do restauro para o patrimônio arquitetônico e a relação entre ambas; levantamento de dados sobre o estudo de caso (histórico da edificação, configuração arquitetônica e demanda de energia elétrica); análise da tecnologia FV e suas possibilidades de integração arquitetônica conforme os teóricos do restauro; e por fim a proposição e análise da integração fotovoltaica na edificação em estudo (análise do potencial e formas de integração do sistema fotovoltaico com a arquitetura e análise de demanda versus previsão de consumo). Foram analisados dois cenários: o cenário 1 (um) mostra que seria possível a geração da totalidade da demanda de energia de edificação, em um sistema instalado com inclinação igual a latitude da cidade de Santa Maria e orientado para o Norte geográfico ($Az=0$). O cenário 2 (dois) mostrou que, o posicionamento de módulos na cobertura da edificação, considerando sua inclinação e orientação real, não supre na totalidade a demanda anual do edifício, mas supre 75% do consumo. O que já seria uma contribuição significativa para diminuição do gasto financeiro com energia elétrica, além da contribuição à sustentabilidade da edificação.

Palavras-chave: Energia Solar fotovoltaica, edifícios históricos e geração de energia.

1. INTRODUÇÃO

As edificações históricas representam a cultura de uma época e são uma importante fonte de pesquisa e preservação da identidade cultural. São reconhecidos visualmente por suas características construtivas, estéticas e materiais. Esta percepção esta comumente relacionada a seu valor histórico, em função do tempo decorrido de sua construção, ou sua validade cultural para as pessoas que com elas se relacionam. O material empregado em suas construções reflete a tecnologia de sua época, sendo altamente perceptível quando há novas tecnologias ou materiais agregados a ele. Fazem parte da cultura de seu povo e são agentes necessários para o entendimento do passado e importante fonte de pesquisa para as gerações futuras. Tem grande relevância na história de sua comunidade e transcendem gerações. A importância em sua preservação está ligada a conservação desta identidade para os descendentes. Neste contexto, o presente trabalho tenta conciliar o passado (edifício histórico) e o futuro (geração distribuída).

O sistema fotovoltaico (FV) é um sistema de conversão da radiação solar em energia aproveitável, sob a forma de eletricidade. (Pinho e Galdino, 2014). A radiação solar incide sobre materiais semicondutores e é transformada em corrente contínua; para transformar em corrente alternada, são utilizados inversores. É uma fonte de energia limpa e com potencial para ser explorada.

Conforme Hagemann (2004), um sistema FV pode estar integrado de forma sutil à edificação, sem que seja percebido ou comprometer o conjunto, quando for aplicado de forma indevida. Neste estudo, o principal objetivo é propor qual a melhor maneira de utilização e posicionamento dos módulos fotovoltaicos para a geração de energia elétrica na Escola Manoel Ribas, para que estes se adaptem às suas atuais necessidades de geração de energia elétrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para desenvolvimento do presente trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica considerando os aspectos técnicos da tecnologia fotovoltaica, as teorias do restauro para o patrimônio arquitetônico e a relação entre ambas;

levantamento de dados sobre o estudo de caso (configuração arquitetônica e demanda de energia elétrica); análise da tecnologia FV e suas possibilidades de integração arquitetônica e análise da demanda real de geração de energia *versus* a demanda ideal de geração de energia pelo sistemas a ser instalado.

2.1 Aspectos técnicos da tecnologia Fotovoltaica

Podemos considerar Energia solar, como fonte primária de todas as fontes de energia. Por energia solar fotovoltaica, entendemos a "conversão direta da energia solar radiante em energia elétrica por corrente contínua" (Pinho e Galdino, 2014).

O Efeito Fotovoltaico é o processo físico através do qual uma célula fotovoltaica converte luz solar em eletricidade, foi observado pela primeira vez por um físico francês, em 1839. Somente em 1954 pesquisadores americanos, criaram a primeira célula fotovoltaica para uso prático. Ela foi fabricada de silício monocristalino, material abundante na natureza. Foram utilizadas pela primeira vez para alimentar o satélite Vanguard I, em 1958 (Pinho e Galdino, 2014).

Atualmente, as principais tecnologias aplicadas a produção de módulos e células fotovoltaicas, classifica-se em três gerações. A primeira geração delas é considerada a tecnologia mais estabelecida e com maior eficiência. As células desta geração são produzidas em silício, material altamente condutor e segundo material mais abundante na natureza (Fig. 1), com duas divisões: silício monocristalino e silício policristalino, representando 85% do mercado atual (Pinho e Galdino, 2014).

A segunda geração é denominada, no mercado, de Filmes Finos (Fig. 1). Apresenta três materiais em sua cadeia produtiva: silício amorfo, disseleneto de cobre e índio, ou disseleneto de cobre, índio e gálio e telureto de cádmio. Este último material apresenta toxicidade e é utilizado em menor escala. Algumas dificuldades associadas a esta geração, principalmente sua menor eficiência e necessidade de maiores áreas para instalação fazem que ela tenham menor espaço no mercado e apresentem menor eficiência em relação a primeira geração (Pinho e Galdino, 2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014), a terceira geração ainda esta em fase de teses e encontra-se em pequena escala de produção. Está divididas em três cadeias produtivas: CPV (Concentrated Photovoltaic) célula fotovoltaica multijunção, DSSS (Dye-Sensitized Solar Cell) célula sensibilizada por corante e OPV (Organic Photovoltaics) células orgânicas ou poliméricas. Trata-se de um filme fino, leve, flexível, com diferentes graus de transparência e adaptável, em termos de cor e formato. A produção dos Filmes Fotovoltaicos Orgânicos utiliza o processo de impressão rolo-a-rol, que demanda baixo consumo de energia e é pode se adaptar a diversos formatos. A impressão é feita a partir da deposição de tinta polimérica em um substrato de plástico maleável, sendo esse método adaptado de processos utilizados na indústria têxtil e gráfica. A tecnologia CPV apresentou maior potencialidade a fabricação de módulos com maior eficiência, mas seu custo ainda não é competitivo com as atuais tecnologias.

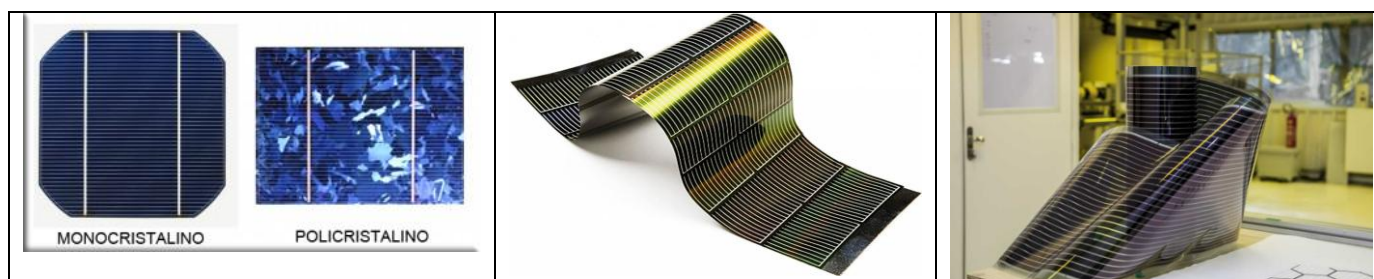


Figura 1: células de silício monocristalino e policristalino, células em filme fino e células orgânicas tipo OPV.

Fonte : <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/tipos-celulas-fotovoltaicas>

http://www.sunenergy.eco.br/images/componentes_tipos_celulas3.jpg <http://www.sunew.com.br/opv/caracteristicas>
acesso em 01/10/2017.

2.2 Teorias do Restauro para o Patrimônio Arquitetônico

As edificações têm valor histórico em função do tempo decorrido de sua existência, por sua importância cultural, artística ou estética e por representar a cultura de um período. São fontes de memória e informação, contam a história de sua época. Preservá-los é assegurar para gerações futuras, a compreensão da história ou a identidade cultural de quem as produziu.

A necessidade de intervenção nas edificações históricas remota de muito tempo, mas na Europa do século XVIII ela despontou e levou o termo restauro a discussões. Discussões antecedidas por um sentimento de proteção em relação a edificações do passado, com valor histórico ameaçados de perda irremediável pelas ininterruptas transformações que estavam sofrendo (Kuhl, 1998).

Dentre os teóricos que versaram sobre restauro em edificações históricas, três merecem destaque: Eugene Emmanuel Viollet-le-Duc, John Ruskin e Camillo Boito. Outros nomes também obtiveram visibilidade por exporem sua maneira de pensar como deveriam ser feitas estas intervenções, e criaram verdadeiros tratados para a prática de restauro.

Viollet-le-Duc, arquiteto restaurador francês, foi um dos primeiros teóricos a tentar estabelecer princípios de intervenção em monumentos históricos (Santos, 2005). Ele foi o defensor do Restauro Estilístico¹. Este tipo previa que o arquiteto restaurador deveria incorporar o "espírito" do arquiteto criador da obra e projetar como ele. Permitia que as partes desaparecidas da construção original fossem reconstituídas a partir da cópia daquelas existentes (Elias, 2002). Foi o responsável pela definição dos conceitos de restauro e conservação (Santos, 2005).

Em contraponto as ideias de Le-Duc, encontramos o inglês John Ruskin. Representante do Restauro Romântico, que defende a inalterabilidade do monumento degradado. Conforme ELIAS, Ruskin defende a conservação preventiva primeiramente, depois a consolidadora, quando extremamente necessário e, por último, a morte digna da edificação quando chegar o momento. Sua postura influenciou o interesse pela conservação preventiva das edificações. Conforme citado por Oliveira (2008):

"Para Ruskin, os arquitetos deveriam construir as edificações como se fossem obras de valor histórico em potencial. Desta forma, as construções deveriam causar tamanha admiração em seus "herdeiros" a ponto de virar referência cultural, independentemente de sua excepcionalidade como obra arquitetônica(...)"

Para Ruskin a restauração era mais uma consequência do descuido dos seres humanos, para com seus bens, do que uma necessidade da edificação. Aceitava pequenas obras de consolidação, que evitavam a queda prematura da edificação. Defendia a ideia de que o restauro causava perda de grande parte do significado das edificações históricas, afetando sua autenticidade e seus valores (Oliveira, 2008).

Boito surge com uma tentativa de união das teorias citadas anteriormente. Formula e defende a Restauração Científica, onde entendia ser indispensável a conservação, a partir do momento que a obra se encontrasse impossibilitada de manter-se sem consertos ou reparos. E que estas adições demonstrassem ser obras atuais, demonstrando sua materialidade e forte ligação com a atualidade. Baseada na autenticidade, a noção de conservação foi resgatada da teoria de John Ruskin; da teoria de Viollet-le-Duc, ele priorizou o presente em relação ao passado. Para Boito, "quando as adições são indispensáveis, por razões estéticas ou outros motivos de absoluta necessidade, devem ser realizadas sobre informações absolutamente certas e com características e materiais diferentes" (Boito, C., apud Elias, 2002). Seus princípios são amplamente utilizados, nos dias atuais, nas intervenções de restauro.

Muitos teóricos, espalhados pelo mundo, principalmente na Europa, ainda versaram sobre Conservação e Restauro. Após a Segunda Guerra Mundial, devido ao tamanho das destruições causadas pelo conflito bélico, chegou-se a uma conclusão entre teoria e prática (Elias, 2002). Nesta época surgem outras formas de atuação no Patrimônio Histórico, como a reutilização, a reabilitação e a recuperação. Muitos encontros são realizados para deixar um legado documental, criando diretrizes relacionados ao restauro. Os principais documentos são: Carta de Atenas (1930), Carta de Veneza (1964), Conferência de Quito (1967) e Carta Europeia (1975).

A medida que a eficiência energética procura a integração da tecnologia no ambiente construído, os teóricos também apresentam considerações sobre as maneiras de integrar esta tecnologia à estética das edificações (Chivelet e Solla, 2010). A cobertura é a área que mais recebe radiação solar, o que a torna, muitas vezes, o elemento mais visível da edificação e pode apresentar alguma resistência dos próprios idealizadores ou mesmo de seus usuários, quanto a integração dos módulos FV (Munari Probst e Roecker, 2007).

A utilização do sistema fotovoltaico em edificações históricas tem como objetivo maior adaptá-las as novas tecnologias, como forma de conservação de sua identidade para as futuras gerações e de contribuir com a sustentabilidade e atuais necessidades de eficiência energética.

2.3 Escolha do Estudo de caso

Para a proposta de estudo piloto desta pesquisa, foi analisada a implantação de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica na Escola Estadual Manoel Ribas, localizada na cidade de Santa Maria RS. O município está situado no centro do estado do Rio Grande do Sul, distante 291,2 km da capital, Porto Alegre.

A edificação escolhida está localizada no espaço denominado Mancha Ferroviária (Fig.2), zona de preservação delimitada por um polígono irregular, conforme descrito na Portaria n. 30 da Secretaria de Estado da Cultura, de 26 de outubro de 2000, que institui o tombamento do Sítio Ferroviário de Santa Maria, representado pela Estação Férrea, Vila Belga e Colégio Manoel Ribas, tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado – IPHAE, como Patrimônio Histórico e Artístico do Estado (Schlee, 2001).

¹ também conhecida como restauração mimética ou imitativa.

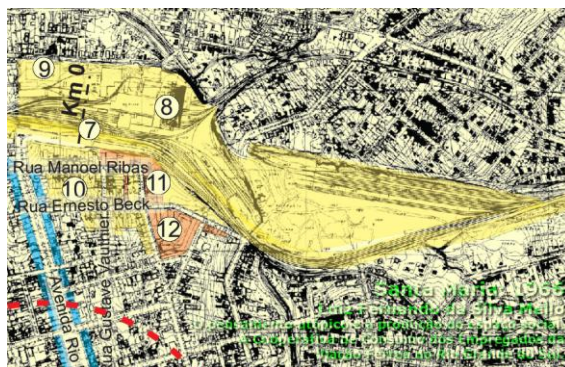


Figura 2: Mancha Ferroviária na cidade de Santa Maria RS, a Escola Manoel Ribas está representada pelo numero 12.
Fonte: <http://vfco.brazilia.jor.br/estacoes-ferroviarias/vfrgs/fotos/mancha-ferroviaria-Santa-Maria-1966-estacao-patio-km-0.jpg> acesso em 16/01/2018.

2.4 Histórico da edificação

O transporte ferroviário é o protagonista de uma das fases mais importantes da história do município de Santa Maria. No final do século XIX, instala-se na cidade a direção da Compagnie Auxiliare des Chermins de Fer au Brésil, companhia belga com sede em Bruxelas, que era arrendatária da rede ferroviária do estado (Lopes, 2001). Criam-se trechos de ferrovias que ligam Santa Maria a diversas cidades do estado e a capital, tornando-se assim, a principal rota dos trens de cargas e passageiros da época.

No início do século XX, a Cooperativa dos Empregados cria a Escola de Artes e Ofícios Hugo Taylor, Seção Masculina, para a educação dos filhos dos ferroviários. No anos de 1921, viabilizou a criação de uma escola voltada para educação das moças, onde a principal atividade era ensinar técnicas domésticas, as futuras donas de casa (Flores, 2008). A escola surge em uma residência cedida pela diretoria da Viação, mas logo o espaço começa a ficar pequeno frente a grande procura por vagas na instituição. Em 1926 inicia-se a obra do novo prédio da instituição que seria destinado a internato, externato e ensino profissional. O novo edifício é inaugurado em 1930 com estilo eclético. Conforme Beltrame (2001) "bem ao gosto dos anos 20 e 30". Segundo informações obtidas junto a documentos da Cooperativa, a obra da escola foi executada por Rodolfo Schindler (Beltrame, 2001).

A escola chamava-se Santa Terezinha de Artes e Ofícios - Seção Feminina, era inspirada nas escolas francesas, onde as moças tinham disciplinas profissionalizantes, e também aulas de canto, bordado, culinária, pintura, musica, corte e costura, entre outras atividades. As alunas ingressavam nas séries iniciais e podiam completar o curso complementar, com o direito de exercer o magistério. O auge de sua atuação foram os anos de 1940, onde o numero de matrículas na Seção Feminina chegou a aproximadamente 1200 matrículas (Flores, 2008).

Edificação construída totalmente em alvenaria, tem sua cobertura em telha cerâmica e possui estilo arquitetônico eclético. Apresenta planta em formato de "bumerangue", divididas em alas, onde no centro, encontra-se a porta principal. A área total do edifício é de 6.130 m², distribuídas em três pavimentos e um sótão (Beltrami, 2001). (Fig. 3).

Desde sua criação, a escola Santa Terezinha passou por diversas administrações, no ano de 1943 sua administração passa ao governo do estado, mediante convenio com a COOPFER, proprietária do prédio. Em 1974 a escola passa a se chamar, primeiramente Ginásio, e após, Escola Estadual Manoel Ribas, em homenagem ao antigo prefeito de Santa Maria, que muito contribuiu para o avanço da Cooperativa dos Ferroviários (Flores, 2007). Em 1977 o governo estadual incorpora por desapropriação sua edificação. No ano de 1995, inicia-se a reforma do edifício, que é concluída em 1998. No ano de 2000, o IPHAE (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado), realiza o tombamento da Mancha Ferroviária de Santa Maria, incluindo neste, os prédios da Vila Belga, Gare da Viação Férrea e a Escola Manoel Ribas (Beltrami, 2001).



Figura 3: Foto fachada principal da escola
Fonte: <http://manoelribassm.blogspot.com.br/p/divulgacao.html> acesso em 01/10/2017.

3. METODOLOGIA

Para a elaboração deste estudo, a metodologia utilizada compreendeu várias etapas: primeiramente a análise da edificação histórica escolhida e seu consumo energético. Foram averiguados sua planta de cobertura, ou área distinta disponível para instalação do sistema FV, sua orientação solar, indicando o melhor posicionamento dos módulos. Por fim, foi feita a proposição e análise da integração fotovoltaica na edificação em estudo (análise do potencial e formas de integração do sistema fotovoltaico com a arquitetura e análise de demanda versus previsão de consumo). Estas análises consistiram somente no estudo da radiação solar, não incluindo neste trabalho a análise financeira. Os sistemas propostos consideram a REN 687 (ANEEL, 2015) sendo simulados como sistemas conectados à rede elétrica convencional, sem a utilização de baterias.

3.1 Análise da demanda da edificação e proposta de sistema fotovoltaico

As contas de energia elétrica fornecidas pela concessionária foram analisadas, obtendo-se os dados de consumo de energia elétrica pela edificação. Com os dados, foi feito o dimensionamento da potencia necessária dos módulos fotovoltaicos para suprir a demanda. Analisando-se com isto, a possibilidade de produção de parte, ou toda energia que a edificação consome, ou até mesmo, geração maior de energia, sendo o excedente retornado à rede da concessionária, conforme regulamenta a REN 687 (Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015) criando as regras e o sistema que compensa o consumidor pela energia elétrica injetada na rede.

Foram simulados dois cenários: sistema FV ideal e sistema FV real. Para ambas foram utilizados os dados de irradiação disponibilizados no software RADIASOL (UFRGS, 2017) desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da UFRGS (LABSOL), para simulação de sistemas fotovoltaicos que se utiliza de seu próprio banco de dados, baseado nas informações coletadas pelo Satélite SWERA, com dados de irradiação em médias diários para cada mês.

Na simulação intitulada cenário 1 (um) foi analisada a geração de energia elétrica pelo sistema FV em condições ideais, em uma orientação Norte ($Az=0$) e inclinação do módulo de 29° , inclinação igual a latitude da cidade de Santa Maria. No cenário 2 (dois) foi realizada a análise de um sistema posicionado na cobertura da edificação, utilizando a orientação e inclinação real.

Para calculo da potência dos módulos, no cenário 1 (um), foi utilizada a formula definida pela Eq. 1.

$$P_{fv} = \frac{E * G_{stc}}{H_{tot} * TD} \quad (1)$$

onde:

P_{fv} : potencia fotovoltaica a ser instalada (Wp)

E: energia a ser gerada (Wh)

G_{stc} : irradiância na condição STC (1000 W/m^2)

H_{tot} : irradiação total (Wh/m^2)

TD: taxa de desempenho do SFVCR.

Após definição da potencia necessária, foi feito o calculo do numero de módulos, definida pela Eq. 2:

$$n = \frac{P_{total}}{P_{módulo}} \quad (2)$$

onde:

n: número de módulos;

P: potência nominal do módulo;

P módulo: potência unitária do módulo.

Definido o número de placas fotovoltaicas, chega-se a área necessária para instalação dos módulos. Com o conhecimento da área necessário, deverá ser feita a sugestão de localização dos módulos FV, definindo-se assim, o local mais eficiente para instalação destes.

Com o número de módulos e a potencia unitária, calculou-se a Potência Real, definida pela Eq. 3:

$$P_{real} = n * P_{módulo} \quad (3)$$

onde:

n: número de módulos;

P módulo: potência unitária do módulo.

Este resultado informa a potência que será gerada pelos módulos após instalados.

Os sistema fotovoltaicos conectados a rede elétrica (SFVCR) são compostos de dois itens básico: módulos FV, que são os responsáveis em transformar energia solar em energia elétrica e os inversores que fazem a conversão da energia para a frequência e tensão da rede elétrica, ao qual estão conectados. Eles fazem a sincronização com a rede pública de eletricidade, ou seja, garantem que a energia solar produzida seja fornecida exatamente como aquela que recebemos da rede elétrica. Os sistemas FVs possuem outros itens, que são o medidor que mede a quantidade de energia consumida e exportada para a rede e o quadro de distribuição, que é um dispositivo de proteção da carga e do sistema fotovoltaico.

Neste estudo não será feito o dimensionamento completo do sistema, e sim uma simulação do posicionamento dos módulos, de modo que sua forma de integração não interfira visualmente na edificação, em sua estética, funcionalidade e conforto.

A proposição do módulo FV a ser utilizado, foi definido em função da tonalidade do módulo e sua integração arquitetônica com a edificação em estudo, visto a diversidade de cores e materiais que os módulos fotovoltaicos apresentam atualmente. Chivelet e Solla (2010), destacam as abordagens de projetos que podem ser utilizadas na proposição de um sistema FV: painéis posicionados em local não visíveis, como a cobertura da edificação, painéis não sobrepostos as fachadas, como brises fotovoltaicos posicionados sobre as janelas, sistema FV integrado ao projeto total da edificação, agregando valor a esta, painéis desempenhando papel relevante na imagem final da edificação. O autor considera a primeira alternativa, como sendo a melhor opção, quando tratar-se de arquitetura histórica.

3.2 Teóricos sobre alterações em edifícios arquitetônicos

De acordo com os principais teóricos citados, pode-se perceber a ideia central de seus trabalhos e também o modo como os sistemas fotovoltaicos poderiam ser integrados em obras históricas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Possibilidade de integração FV conforme Teóricos do Restauro

Teórico	Ideia central	Possibilidade da integração fotovoltaica
Viollet-le-Duc	<i>Restauro Estilístico</i> . Este tipo previa que o arquiteto restaurador deveria incorporar o "espírito" do arquiteto criador da obra e projetar como ele, devendo haver semelhança entre as partes novas e as originais.	Neste caso o sistema fotovoltaico encontra-se a parte da obra já que não era um material construtivo/revestimento na época dos projetistas. Embora discutível, há uma possibilidade de integração com tecnologias que sejam muito similares aos materiais da época.
John Ruskin	<i>Restauro Romântico</i> , restauro este que valorizava as marcas do tempo nas edificações, condenando as intervenções. Considerava as intervenções de conservação uma falsidade. O intuito era deixá-la tal como se apresentava, com aversão total a qualquer ação de conservação.	Neste caso não é possível a inserção do sistema fotovoltaico, já que a obra não pode sofrer nenhum tipo de alteração.
Camillo Boito	<i>Restauro Moderno</i> , entendia ser indispensável a conservação, a partir do momento que a obra se encontrasse impossibilitada de manter-se sem concertos ou reparos. E que estas adições demonstrassem ser obras atuais.	Livre inserção da tecnologia fotovoltaica já que se apresenta de maneira bastante diversa das configurações dos sítios históricos. Cabe aqui a intenção do arquiteto em colocar a tecnologia de forma a apresentar maior contraponto ou unidade.

Conforme análise da tabela 1, Viollet-Le-Duc e Ruskin apresentam proposições que, em muitas vezes não torna possível a integração do sistema FV, por se referir a uma tecnologia atual e diferenciar-se do material construtivo da edificação. Na possibilidade de integração fotovoltaica a ser pretendida neste estudo, foi adotado os preceitos de Camillo Boito, que sintetizou em suas ideias, os principais pensamentos dos destes teóricos. Tornando possível a integração de diferentes materiais e revestimentos em uma edificação, demonstrando serem adições atuais, sem comprometer sua estética e funcionalidade.

3.3 Escolha e especificação da potência do módulo

Para escolha do módulo a ser utilizado na proposta de integração FV na edificação, foi utilizada a tabela do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). O módulo selecionado com potencia de 260 Wp e dimensões de 1675 mm X 1001 mm (altura X largura), indicado como etiqueta A, material Silício Monocristalino, com 15,5% de eficiência, por módulo. A justificativa da escolha do módulo específico, se dá pelo fato de ser a tecnologia com melhor eficiência, possuindo classificação A do INMETRO.

4. RESULTADOS

4.1. Análise do consumo energético da edificação

A Tabela 2 mostra o consumo energético da Escola Manoel Ribas. Os dados foram coletados junto à conta de energia elétrica fornecidos pela concessionária da região. O período de análise compreende os meses de agosto de 2016 a julho de 2017. Junto a estes, apresenta-se, também os dados de irradiação solar da cidade de Santa Maria, obtidos a partir do software RADIASOL. A irradiação indicada é a ideal, com orientação Norte ($Az=0$) e inclinação igual a latitude da cidade de Santa Maria, que é 29° .

Tabela 2 – Dados de consumo de energia elétrica e irradiação
Fonte: autora, com base nos dados cedidos pela RGE Sul

Data Fatura	Período Fatura	Irradiação (kWh/m ²)	Consumo (kWh)	Valor Total Fatura
04/07/2017	201707	3,46	8.134	R\$ 5.004,02
02/06/2017	201706	3,18	9.473	R\$ 5.997,08
03/05/2017	201705	3,89	8.323	R\$ 6.335,10
04/04/2017	201704	4,35	8.364	R\$ 6.228,28
06/03/2017	201703	5,32	6.068	R\$ 5.783,53
02/02/2017	201702	5,61	7.093	R\$ 6.021,86
04/01/2017	201701	5,87	12.833	R\$ 7.933,18
02/12/2016	201612	5,87	10.332	R\$ 7.200,60
03/11/2016	201611	5,79	9.717	R\$ 6.844,08
04/10/2016	201610	5,22	10.127	R\$ 7.162,01
02/09/2016	201609	4,6	10.537	R\$ 6.684,54
02/08/2016	201608	3,99	7.749	R\$ 6.458,97
Total		57,15	108.750	R\$ 77.653,43
Média Anual		4,762	9.062,5	

4.2. Cálculo da potência dos módulos, número de módulos e potência real na situação ideal (Sistema FV ideal):

Para cálculo na situação ideal de instalação do sistema FV, inclinação igual a latitude da cidade e orientação a Norte, foram utilizados os dados os dados descritos na Tab. 2. Esta análise foi denominada cenário 1 (um). Aplicando-os nas formulas descritas no item 3.1, tem-se o seguinte resultado:

$$\text{Eq. 1 Potência dos módulos: } P_{fv} = 79,32 \text{ KWp}$$

$$\text{Eq. 2 Número de módulos: } n = 306 \text{ módulos}$$

$$\text{Eq. 3 Potência real: } P_{real} = 79,56 \text{ KWp}$$

$$\text{Eq. 1 Energia gerada: } E = 9088,93 \text{ kWh/mês}$$

Como resultado da potencia dos módulos a serem instalados no sistema, encontrou-se o valor de $P_{fv}=79,32$ Kw. Este resultado é considerado minigeração de energia, conforme a REN 687, de 24 de novembro de 2015 (ANEEL, 2015), onde informa que potências instaladas com geração superiores a 75 kWp, são consideradas minigeração distribuída. Para o número de módulos, o atingido deve ser arredondado para número par, resultando em 306 módulos.

Observa-se que o valor obtido no calculo da energia gerada é suficiente para suprir a demanda médio anual da energia consumida pela edificação. Isso correria em uma situação ideal de geração de energia, no melhor posicionamento na cidade. Os resultados obtidos mostram que a energia necessária para o funcionamento do edifício poderia ser gerada em um outro local com a instalação do sistema citado na posição ideal em outro local orientado ao Norte geográfico e inclinação igual a latitude da cidade de Santa Maria. Neste cenário, a geração de energia pelo sistema a ser instalado, supre a totalidade (100%) da demanda de consumo, com 306 módulos de potência unitária de 260 Wp, instalados a Norte e latitude de 29° .

Para adequar o estudo à realidade, foi feita a simulação da distribuição dos módulos na cobertura da edificação como se apresenta atualmente, para verificar se mesmo em posições e inclinações diferentes, ainda seria possível a geração total da demanda na própria edificação.

4.3. Cálculo da potência a ser instalada na situação da edificação real (Sistema FV real):

Para o cálculo da demanda real de geração de energia, denominada, neste estudo como cenário 2 (dois), foram encontrados os ângulos formados pelas inclinações e orientações das coberturas da edificação. Com este dado, obteve-se as irradiações mensais, junto ao software RADIASOL, utilizando a inclinação do módulo a 38° (inclinação real da cobertura da edificação). Foram definidas quatro situações e seus azimutes, descritas como: Situação A = 66° NE Situação B = 114° NO, Situação C = 15° SE e Situação D = 165° SO (Fig. 5). Os resultados encontrados para as quatro situações, estão expostos na Tab. 3.

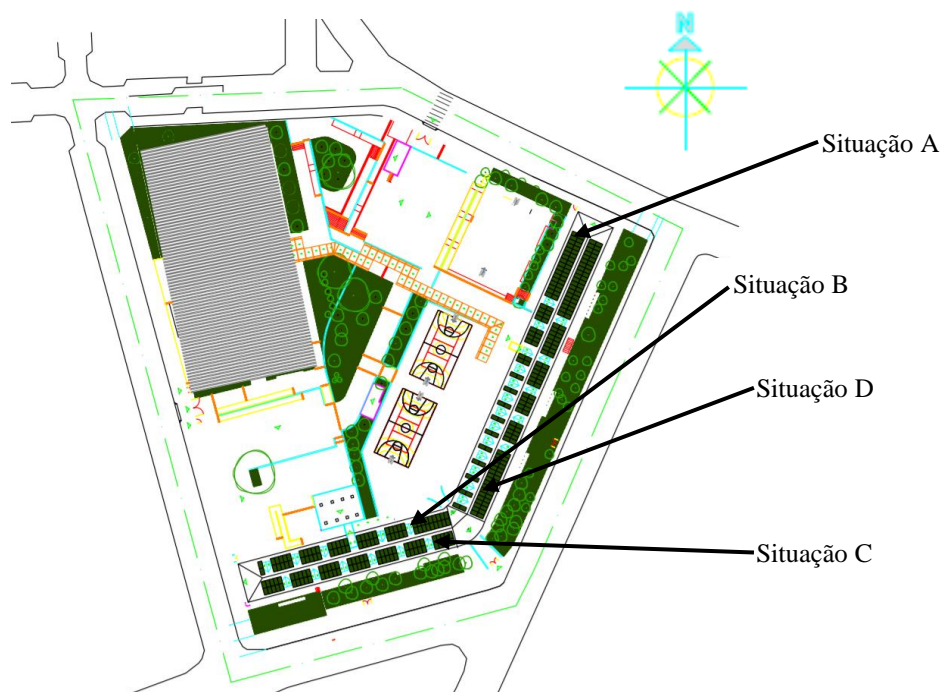


Figura 4: implantação geral da Escola Manoel Ribas com proposição de instalação do sistema FV.

Fonte: autora, sem escala

Os módulos foram distribuídos, conforme área disponível na cobertura do edifício, na seguinte proposição: Situação A: 74 módulos, Situação B: 70 módulos, Situação C: 70 módulos e Situação D: 122 módulos.

Na situação A (cobertura orientada a Nordeste) a geração de energia atingiu 23.752,93 KWh. Na situação B (cobertura orientada a Noroeste) a geração de energia obtida pelos módulos atingiu 18.939,65 KWh. Em se tratando da Situação C (cobertura orientada a Sudeste), a geração de energia atingida foi de 12.125,57 KWh. E como análise final, a Situação D (cobertura orientada a Sudoeste), apresentou geração de 27.375,63 KWh. Os dados obtidos com esta simulação estão apresentados na Tabela 3, onde observam-se os dados de irradiação mensal nas 4 situações.

Como resultado total obtido pela soma dos valores de geração de energia, obteve-se o valor de 82.193,78 KWh. Este é o somatório total da energia a ser gerada, conforme as 4 situações. O resultado apresentado com este cenário, não supre a demanda de energia a ser consumida anualmente pela edificação, já que os dados coletados junto a concessionária indicam um consumo anual de 108.750 kWh (Tab. 2).

Tabela 3 – Dados de irradiação e energia gerada

Fonte: autora, com base nos dados coletados no RADIASOL.

Meses	Situação A		Situação B		Situação C		Situação D	
	Irradiação (kWh/m ²)	Energia (kWh)	Irradiação (kWh/m ²)	Energia (kWh)	Irradiação (kWh/m ²)	Energia (kWh)	Irradiação (kWh/m ²)	Energia (kWh)
Jan	5,76	2.659,74	5,54	2.419,87	2,38	1.039,58	5,43	4.133,75
Fev	5,24	2.419,62	4,72	2.061,70	2,32	1.013,38	4,24	3.227,83
Mar	4,74	2.188,74	3,99	1.742,83	2,29	1.000,27	3,13	2.382,81
Abr	3,70	1.708,51	2,79	1.218,67	2,31	1.009,01	1,91	1.454,04
Mai	3,19	1.473,01	2,07	904,18	2,34	1.022,11	1,07	814,57
Jun	2,58	1.191,34	1,62	707,62	2,35	1.026,48	0,92	700,38
Jul	2,84	1.311,40	1,80	786,24	2,30	1.004,64	0,98	746,05

Ago	3,31	1.528,43	2,36	1.030,85	2,22	969,70	1,47	1.119,08
Set	4,06	1.874,75	3,23	1.410,86	2,31	1.009,01	2,44	1.857,52
Out	4,81	2.221,07	4,17	1.821,46	2,24	978,43	3,61	2.748,22
Nov	5,41	2.498,12	5,31	2.319,41	2,32	1.013,38	5,02	3.821,63
Dez	5,80	2.678,21	5,76	2.515,97	2,38	1.039,58	5,74	4.369,75
Total		23.752,93		18.939,65		12.125,57		27.375,63

Neste cenário, o valor obtido na geração de energia para a edificação, supre em 75% da demanda anual. Necessitando assim, de maior geração de energia para complementar a totalidade de seu consumo, que poderia ser gerada em um outro local com a instalação do sistema citado, na posição ideal (inclinado igual a latitude da cidade e orientado a norte), ou ainda, buscar formas de redução do consumo da energia elétrica da edificação, fazendo com que ocorresse uma redução do consumo anual e um redimensionamento do sistema a ser instalado.

5. CONCLUSÕES

Edifícios históricos têm importância artística, cultural ou estética por serem construídos ou produzidos por sociedades passadas. Representam a cultura de uma época e são uma importante fonte de pesquisa e preservação da identidade cultural. Estas edificações são de fundamental importância para a memória, identidade dos povos e de sua cultura. São responsáveis pela continuidade histórica de uma comunidade e transcendem gerações. Muitas vezes são reconhecidos visualmente por suas características construtivas, estéticas e materiais. Esta percepção está comumente relacionada a seu valor histórico, em função do tempo decorrido de sua construção, ou sua validade cultural para as pessoas que com ele se relacionam.

O material empregado em suas construções reflete a tecnologia de sua época, sendo altamente perceptível quando há novas tecnologias ou materiais agregados a ele. Neste contexto surgem considerações sobre a utilização de módulos fotovoltaicos contribuindo para a geração de energia da edificação e tornando os edifícios mais sustentáveis e aliados às atuais necessidades de diminuição de impacto ambiental das construções.

No presente estudo, a possibilidade de integração do sistema fotovoltaico, foi guiado pelas ideias de Camillo Boito, que sintetizou em seus preceitos, os principais pensamentos dos teóricos que discutiram sobre intervenções em edifícios históricos. Tornando possível a integração de diferentes materiais e revestimentos em uma edificação, demonstrando serem adições atuais e, contribuindo com isto, na sua conservação e adequação às necessidades de adaptação às novas tecnologias.

O cenário 1 (um) mostrou que será possível a geração da totalidade da demanda de energia de edificação, em um sistema instalado com inclinação igual a latitude da cidade de Santa Maria e orientado a Norte ($Az=0^\circ$). O cenário 2 (dois) mostrou que, o posicionamento de módulos na cobertura da edificação, considerando sua inclinação e orientação real, não supre na totalidade a demanda anual do edifício, sendo necessário a instalação de um sistema em outro local, que complemente a geração da energia. Os dados obtidos com a simulação do cenário 2 (dois) em comparação com a demanda da edificação, suprem em 75% a geração de energia elétrica. Nas condições reais da edificação, com orientação não privilegiada, inclinação diferente da latitude da cidade, e ângulo diferente da inclinação ideal do módulo, a edificação apresenta condições de receber o sistema FV em sua cobertura, mas não supriria a demanda de geração de energia.

O cenário 1 (um) apresenta geração de energia suficiente para suprir a demanda da edificação. Já o cenário 2 (dois) não conseguiria suprir a demanda, utilizando as orientações e ângulos reais da cobertura da edificação, mas estaria adequado a realidade da edificação. Com as constatações acima, percebe-se que o cenário 1 (um), onde o sistema FV deve ser instalado orientado ao Norte Geográfico e inclinação igual a latitude, apresentou-se como o ideal para geração de energia elétrica, e pode contribuir para manutenção e preservação da edificação, sem interferir em sua estética, funcionalidade e conforto.

Conclui-se que os dois cenários apresentam pontos positivos e negativos. Ambos poderiam contribuir para a sustentabilidade das edificações históricas. O cenário 1 (um), onde seria instalado com orientação Norte e inclinação igual a latitude, em outro terreno, é o que teria maior desempenho na geração de energia e não teria interferência em sua estética, funcionalidade e conforto. Mas necessitaria de uso de uma área livre e longe da edificação. Já o cenário dois não seria suficiente para a geração de energia, mas teria uma contribuição como geração distribuída, exatamente no local de consumo, e a sua participação na edificação poderia contribuir para a cultura de preservação de energia forçando os usuários a alterar seu consumo e eventualmente servindo como incentivo para que este fosse reduzido, até a edificação se tornar autossuficiente, consumindo somente o que gera (uma redução de 25%) do atual.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) (ANEEL) Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015, disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>, acesso em 01/10/2017.
- Beltrami, A. M. Projeto de Restauração do Colégio Manoel Ribas, in Anais do Seminário Território, Patrimônio e Memória . ICOMOS/ UFSM, 2001.
- Chivelet, N. M.; Solla, I. F. Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura. Tradução de SALVATERRA, A. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- Hagemann, I. Examples of Successful Architectural Integration of PV: Germany. Progress in Photovoltaic: Research and applications [S.I.], v. 12, 2004
- Inmetro, Tabela de Eficiência Energética. Sistema de Energia Fotovoltaica, Módulos - Edição 2017, disponível em http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf.
- Kuhl, B.M. Arquitetura do ferro e arquitetura ferroviária em São Paulo: Reflexões sobre sua preservação. Ateliê Editorial. FAPESP – Secretaria de Cultura. São Paulo, 1998.
- Lloyd, A.L.L. O uso do aço nas intervenções em edificações históricas: interfaces da arquitetura e da estrutura. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil da UFOP, 2006.
- Lopes, C.E.J. A vila Belga. in Anais do Seminário Território, Patrimônio e Memória . ICOMOS/ UFSM, 2001.
- Munari Probst, M.; Roecker, C. Towards an improved architectural quality of building integrated solar thermal systems (BIST). Solar Energy [S.I.], v. 81, n. 9, p. 1104-1116, 2007.
- Oliveira, R. P. D. de. O pensamento de John Ruskin. Resenhas Online, São Paulo, ano 07, n. 074.03, Vitruvius, fev. 2008, disponível em <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/resenhasonline/07.074/3087>.
- Pinho, J.T., Galdino, M.A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf.
- Radiasol. Laboratório de Energia Solar. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, disponível em <http://www.solar.ufrgs.br>. Acesso em 20 de junho de 2017.
- Santos, A. C. M. dos. Viollet-le-Duc e o conceito moderno de restauração. Resenhas Online, São Paulo, ano 04, n. 044.01, Vitruvius, ago. 2005, disponível em <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/resenhasonline/04.044/3153>.
- Santos, I. P. Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC, 2013.
- Schlee, A. R. A mancha ferroviária de Santa Maria, in Anais do Seminário Território, Patrimônio e Memória . ICOMOS/ UFSM, 2001.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL FEASIBILITY IN THE IMPLANTATION OF SOLAR ENERGY PV SYSTEM IN HISTORICAL BUILDING IN THE CITY OF SANTA MARIA

Abstract *Main objective of this work was to analyze photovoltaic adaptation in historical buildings considered architectural heritage. The evaluation conducted a case study on School Manoel Ribas, located in Santa Maria-RS, one of listed building by IPHAE-RS. Considering that historical buildings represent the culture of an era, in addition to historical issue, we intend to contribute to sustainability of the current needs allies decreased environmental impact of these constructions. We intend to promote considerations on use of photovoltaic modules contributing to building power generation and making the buildings more sustainable. For development of this work, a literature review was performed considering technical aspects of photovoltaic technology and theories of restoration for architectural heritage and their relationship between both of them; data collection about case study (history of the building, architectural setting and electric energy demand); analysis of FV technology and its possibilities of architectural integration as the theorists of the restoration; and finally the proposition and analysis of photovoltaic integration in construction (analysis of potential and forms of integration of photovoltaic system with architecture and analysis of demand versus consumption forecast). We analyzed two scenarios: scenario 1 (one) shows that the generation of total energy demand of building, on an installed system with tilt equal to the latitude of Santa Maria-RS and oriented to the North ($Z = 0$). Scenario 2 (two) showed that positioning of modules in building coverage, considering inclination and real guidance fills in all the annual demand of building, but supplies 75%. What would be a significant contribution to reducing the annual spent energy financial, in addition to the contribution to the sustainability of the building.*

Key words: *Solar Energy photovoltaic, historical building and power generation.*