

ESTUDO E AVALIAÇÃO EM ESCALA DE ARQUITETURA BRISE COM GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM FACHADAS PREDIAIS

Gabriel Biz¹

Maurício Mafra da Silva²

Resumo

A evolução de técnicas construtivas nas edificações visou muitas vezes a otimização da ventilação natural e da eficiência térmica. Um exemplo disso se refere aos *brise-soleils*, fachada que, além das funções já citadas, possibilita a instalação de módulos solares fotovoltaicos. Dessa forma, o trabalho tem como objetivo a avaliação da eficiência térmica, luminosa, energética e de viabilidade econômica por meio do estudo de fachadas em escala de *brises* integrados a células fotovoltaicas em edificações prediais. Foram desenvolvidos dois protótipos, em escala, de uma edificação. Um dos protótipos apresenta uma fachada *brise-soleil* vertical escolhida após análise de orientação geográfica da fachada do bloco modelo. Foram instaladas células solares fotovoltaicas nas aletas do *brise*. O outro protótipo apresenta a fachada igual ao bloco modelo. Foi realizada a análise da inclinação solar para definir o posicionamento das aletas. Após o término do teste em campo, foi constatado uma diferença de temperatura de 3,1 °C entre os protótipos e uma diminuição de luminosidade média de 333 lux. Quanto a geração de energia solar, foi verificada a geração de 0,07 kWh em 5 horas de teste em campo. Esse valor possibilitou estimar a geração de energia em escala real do projeto e, sabendo a área disponível para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos, foi estimado o orçamento do sistema fotovoltaico. A energia elétrica gerada pelo sistema solar fotovoltaico supre aproximadamente 21% do consumo de energia da edificação modelo. A análise financeira do projeto mostrou que o mesmo é viável, apresentando um *payback* descontado do investimento de 12,6 anos.

¹ Acadêmico do curso Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina. gabrielbiz_biz@hotmail.com

² Professor Engenheiro do curso Técnico em Mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina. mauricio.mafra@ifsc.edu.br

Palavras-Chave: *Brise-soleil*. Energia solar. Eficiência térmica. Eficiência luminosa. Viabilidade financeira.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, os seres humanos buscam conforto, segurança e proteção dos locais onde vivem. No Brasil não é diferente, a evolução de técnicas construtivas nas edificações sofreram grandes influências arquitetônicas de outros povos, promovendo e visando a otimização da ventilação natural e da eficiência térmica (PARIS et al., 2015).

A ventilação natural, quando levada em consideração, possui grande importância na eficiência energética das edificações, promovendo temperaturas internas mais agradáveis. Este fator, conseqüentemente, reduz o consumo de energia elétrica gerado por climatizadores, tornando a edificação mais sustentável (PARIS et al., 2015).

O termo sustentabilidade foi disseminado na arquitetura e urbanismo internacional na década de 1990, trazendo novos conceitos e tendências no ramo da engenharia civil. Na época, as atenções estavam voltadas à crise energética, fator ligado à crise do petróleo, cenário que representou a chance para a reorganização do sistema energético em pilares mais sustentáveis. Em 2006, os combustíveis fósseis (gás, petróleo e carvão) eram responsáveis por 81% da geração de energia elétrica do mundo, sendo que o petróleo detinha 34% desse percentual (GONÇALVES; DUARTE, 2006; LUCON; GOLDEMBERG, 2009).

A competitividade econômica dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia. Em um mercado global e em face das crescentes preocupações com o meio ambiente, essa influência se mostra cada vez mais decisiva. Nesse contexto, as economias que melhor se posicionam quanto ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obtêm importantes vantagens comparativas (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

A energia solar é uma alternativa de produção de energia sustentável com alto potencial. Os módulos fotovoltaicos podem ser instalados sobre o telhado de casas, na cobertura de edifícios ou galpões ou montadas em estruturas metálicas no chão. Contudo, muitas vezes, o espaço físico é limitado e pequeno para atender a demanda do local. Logo, buscaram-se novas maneiras para a instalação da mesma,

surgindo o *Building Integrated PhotoVoltaics* (BIPV), que consiste na instalação de módulos fotovoltaicos em locais antes não explorados como em fachadas, claraboias, grades do prédio, *brises* e marquises (PORTAL SOLAR, 2011; RÜTHER, 2004).

Entre 2015 e 2016 houve um crescimento de micro geradores de energia solar em cerca de 407%. Essa expansão acentuada ocorreu principalmente em residências (79,5%), mostrando uma nova característica de produção, a geração de energia distribuída. Este tipo de produção tem a vantagem de reduzir custos de transmissão e distribuição, aproveitar os recursos renováveis do local e alta confiabilidade. Outra vantagem é melhora da classificação da etiqueta da edificação (ANEEL, 2017; MULTEE PERÍCIAS, 2014).

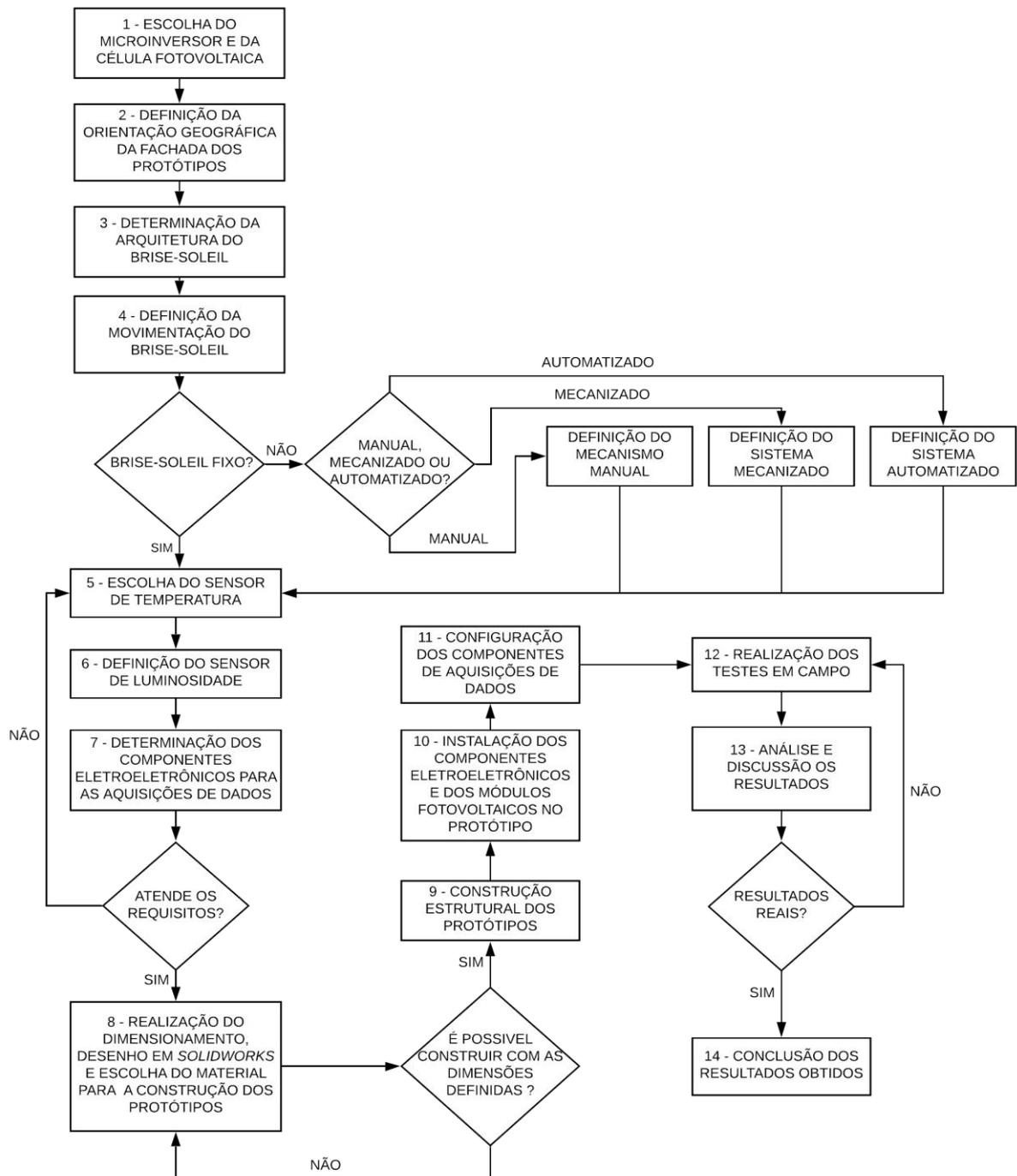
A etiquetagem de edificações define níveis de eficiência energética de um edifício, criando níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia elétrica. Intensificou-se a busca para alcançar a melhor classificação na etiqueta, possibilitando, conseqüentemente, novas alternativas de arquitetura (CARLO; LAMBERTS, 2010).

O presente trabalho busca avaliar a eficiência térmica, luminosa, energética e viabilidade econômica por meio do estudo de fachadas em escala e via software, de *brises* integrados a células fotovoltaicas em edificações prediais. Realiza-se o estudo bibliográfico das tecnologias e arquiteturas voltadas à eficiência térmica, energética, luminosa e de geração solar fotovoltaica atualmente presentes no mercado para que, assim, seja possível a montagem e realização de testes em escala com o layout e módulos solares fotovoltaicos definidos. Dessa forma, realiza-se uma análise comparativa entre dois protótipos expostos às mesmas condições, um sem *brise* e módulos solares e outro com o *brise* e módulos solares.

2 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho é dividida em várias etapas. Para a melhor compreensão das mesmas, foi desenvolvido um fluxograma, que pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma dos passos da metodologia do trabalho



Fonte: Autor (2019)

2.1 Escolha do microinversor e da célula fotovoltaica

A metodologia do trabalho inicia com a escolha do microinversor e da célula fotovoltaica. O microinversor detém uma média de 21% do custo total da instalação de um sistema fotovoltaico (HAHN et al., 2018). Logo, por questão financeira e pelo

fato do Instituto Federal de Santa Catarina Campus Criciúma ter disponível para uso um modelo de microinversor, o mesmo foi utilizado. O modelo é um *Grid Tie Inverter*, conforme Figura 2, com dados técnicos listados abaixo.

- Tensão de entrada: 24 - 45 VCC;
- Tensão de saída: 190 – 260 VCA;
- Potência: 300 W;
- Frequência de saída: 50/60 Hz;
- Eficiência de saída: > 90%.

Figura 2 – Microinversor Grid Tie Inverter de 300 W



Fonte: SUNHOME (2019)

Logo após a escolha do microinversor, iniciou-se a escolha da célula fotovoltaica. As células disponíveis para a realização do mesmo eram da fabricante *Neo Solar Power (NSP)* e *Aiyima*.

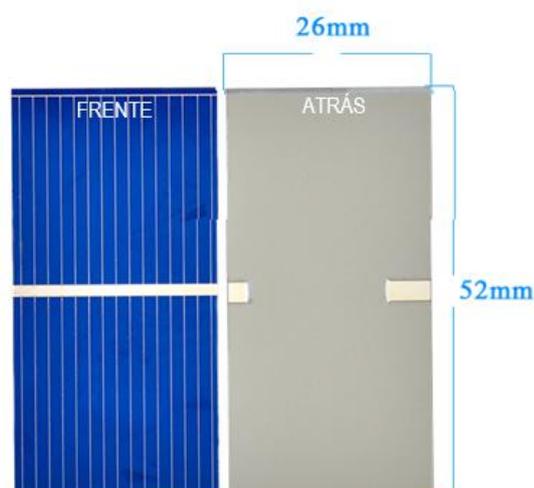
As duas células da NSP são de silício monocristalino, modelo NS6QL. Um dos módulos é bifacial, possibilitando a geração de energia nos dois lados da célula. Possuem uma eficiência média de 21,3%, uma potência nominal máxima de 5,204 W e tensão máxima de 0,556 V. Suas dimensões são de 156.75 mm x 156.75 mm ± 0.25 mm, formada por quatro barras de 39 mm de largura (NSP, 2017).

A célula do fabricante *Aiyima* é de silício policristalino, possui uma eficiência de 17%, uma potência e tensão máxima de 0,225 W e 0,5 V respectivamente. Sua dimensão é de 26 mm x 52 mm, pesando 58 g cada célula (AIYIMA, 2018).

Foi escolhida para o projeto a célula do fabricante *Aiyima*, conforme Figura 3. O protótipo tinha escala reduzida de uma edificação, logo, o tamanho da célula possui grande importância para o projeto. A célula da *Aiyima* se destaca neste quesito, já que consegue gerar tensão média bem próxima da NSP, possuindo

menor dimensão. A utilização da célula fotovoltaica da NSP mesmo possuindo maior eficiência e potência, torna-se inviável, pois seria necessária a utilização de 44 células para se atingir a tensão mínima de entrada do microinversor, resultando em uma área ocupada de 1,08 m², aumentando a dimensão do protótipo, tornando difícil a construção e alto o custo financeiro. Com as células da Aiyima, o número necessário para atingir a tensão mínima de entrada do microinversor é de aproximadamente 48 células, ocupando uma área de apenas 0,065 m², gerando uma potência de 10,8 W, assim, tornando possível a utilização do microinversor e mantendo pequena a dimensão do protótipo.

Figura 3 – Célula de silício policristalino, da AIYIMA



Fonte:AIYIMA (2018)

2.2 Definição da orientação geográfica da fachada dos protótipos

As edificações estão constantemente recebendo radiação solar. Essa radiação aumenta no verão, já que os dias se tornam mais longos, resultado da mudança da inclinação solar. Ao longo do dia, a radiação solar quebra a inércia térmica das paredes das edificações, começando, então, a elevar a temperatura das mesmas, aumentando a sensação térmica dos ambientes. A fachada oeste apresenta uma incidência de radiação maior e mais forte do que as demais, logo é mais problemática em questão de temperatura interna e externa. Como um dos objetivos do trabalho se refere à melhoria da eficiência térmica da edificação, a fachada escolhida para a aplicação foi a oeste (OM ARQUITETOS, 2016).

2.3 Determinação da arquitetura do *brise-soleil*

O *brise-soleil* horizontal é constituído por lâminas na posição horizontal, que são eficientes em fachadas norte, noroeste e nordeste. Esses são utilizados na barragem dos raios solares mais altos, assim, para definir a máscara de sombra, utiliza-se a altura solar (ângulo α) exclusivamente (LAMBERTS, 2011; MEDEIROS, 2012).

A arquitetura determinada foi o *brise-soleil* vertical, pois são eficientes na barragem de raios solares mais baixos. A máscara de sombra é definida conforme o ângulo azimute. São plicados em fachadas leste e oeste, mesma orientação da fachada do protótipo (GUTIERREZ, 2004).

2.4 Definição da movimentação do *brise-soleil*

A arquitetura definida foi a móvel com sistema de movimentação manual, pois dessa maneira foi possível a movimentação das aletas conforme o ângulo de incidência na radiação solar nos dias de testes em campo. Outra vantagem é a simplicidade e facilidade de montagem em escala.

2.5 Escolha do sensor de temperatura

O sensor escolhido para o protótipo foi o LM35, considerado um sensor de precisão. Possui saída de tensão linear a temperatura onde está localizado, tendo em sua saída um sinal de 10mV para cada Grau Celsius de temperatura sem qualquer calibração externa. Este fator é uma vantagem, já que muitos sensores de temperatura são calibrados em temperatura kelvin. Possui tensão de alimentação e faixa de resposta respectivamente de 4 a 30VCC e -55°C à 150°C com precisão de 0,5°C. Apresenta ótima relação custo benefício e interfaceamento de leitura simples (TEXAS INSTRUMENTS, 2000).

2.6 Definição do sensor de luminosidade

O sensor de luminosidade escolhido para o projeto foi o LDR (Resistor Dependente de Luz). O mesmo possui ótimo custo benefício e tamanho (5mm) ideal

para a aplicação no protótipo em escala. Constituído de um semicondutor de alta resistência, ao receber uma grande quantidade de fótons oriundos da luz incidente, o mesmo absorve elétrons que melhoram sua condutibilidade. Quanto maior a quantidade de luz incidente sobre o LDR, menor é sua resistência elétrica (OLIVEIRA, 2015).

2.7 Determinação dos componentes eletroeletrônicos para a aquisição de dados

Para a leitura dos sensores de temperatura e luminosidade, o componente escolhido foi o Arduino Uno. Uma plataforma de prototipagem *open-source*, composta por um microcontrolador Atmel (ATMEGA328), apresenta tensão de operação de 5 VCC, 14 entradas e saídas digitais das quais 6 podem ser PWM, 6 entradas analógicas e velocidade do *clock* de 16 MHz. Composto por um software multiplataforma, torna-se flexível, com ótimo custo benefício, facilidade de conexão, necessitando apenas de um cabo USB. É de fácil programação via IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando a linguagem de programação C/C++ (THOMSEN, 2014).

Foi utilizado para aquisição de dados de energia elétrica gerada pelas células fotovoltaicas o medidor de energia elétrica monofásica SDM120D, disponível para uso no Instituto Federal de Santa Catarina Campus Criciúma. Apresenta tensão de operação de 230 VCA, podendo variar de 176 a 276 VCA, frequência de 50 ou 60 Hz e corrente máxima de 45A. O dispositivo emite pulsos elétricos proporcionais ao consumo (1000imp/kWh), o mesmo pode ser utilizado juntamente com CLPs (Controlador Lógico Programável) ou microcontroladores para o controle de demanda. Possui uma interface LCD onde é possível verificar em tempo real o consumo em kWh (VIEW TECH, 2015).

2.8 Realização do dimensionamento, desenho e escolha do material para a construção dos protótipos

Foi utilizado o bloco C do Instituto Federal de Santa Catarina Campus Criciúma como modelo para o dimensionamento dos protótipos, fazendo alterações e arredondamentos de medida para facilitar a construção dos mesmos. O bloco

modelo possui a medida de 26,13 x 18,85 x 10,2 m, os protótipos foram desenvolvidos em uma escala de 50 vezes menor, resultando na medida de 527,2 x 377 x 204 mm. Logo as dimensões dos protótipos com valores facilitando a montagem foram de 530 x 380 x 200 mm. Foi desenvolvida uma estrutura para a sustentação das paredes e teto dos protótipos (Figura 4), utilizando cantoneira de alumínio de 12,7 x 3,17 mm, que possui grande maleabilidade e durabilidade, baixa densidade e boa resistência a corrosão (TOTAL MATERIA, 2015).

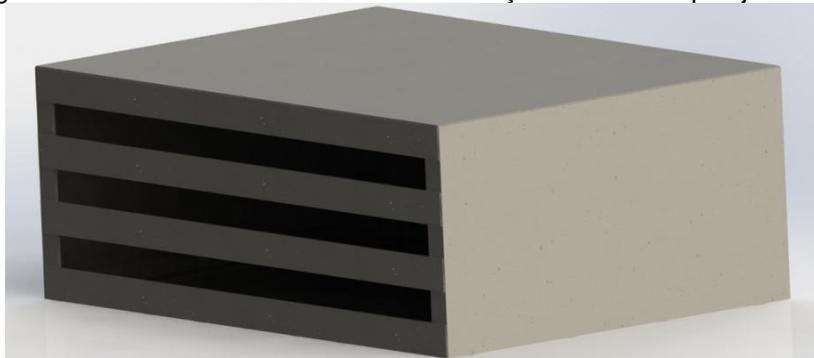
Figura 4 – Desenho da estrutura de sustentação das paredes e teto



Fonte: Autor (2019)

As paredes e tetos da edificação real possuem espessura de 150 mm. A espessura calculada para os protótipos em escala foi de 3 mm. Os materiais definidos foram chapas de fibrocimento com espessura de 4 mm, com valor comercial mais próximo do calculado. O material escolhido tinha a função de simular as propriedades das paredes e tetos de edificação modelo. Logo após foi realizado o desenho via SolidWorks das chapas já fixadas na estrutura, representando as características finais de um dos protótipos, que pode ser vista na Figura 5.

Figura 5 – Desenho da estrutura de sustentação com as chapas já fixadas

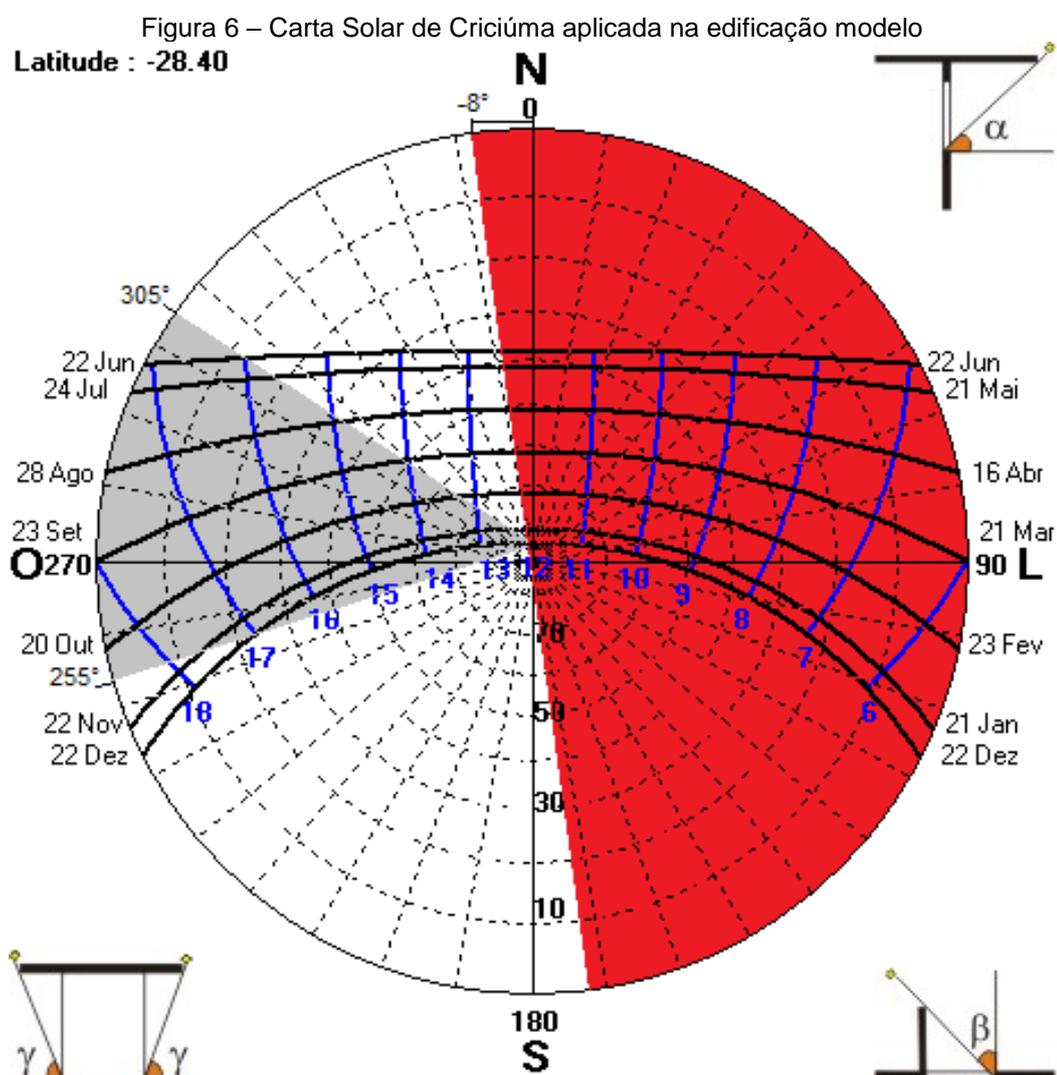


Fonte: Autor (2019)

Para o dimensionamento do *brise-soleil*, foi utilizada a carta solar da região de

Criciúma, que pode ser vista na Figura 6, onde pode ser observado em vermelho a região onde a fachada em estudo não recebe a radiação solar, logo a inclinação solar nessa região foi desprezada. Nota-se que a fachada possui inclinação de aproximadamente 8° graus a oeste em relação ao norte verdadeiro, valor que foi utilizado para se determinar o ângulo de inclinação que o raio solar atinge a fachada.

Para dimensionar os *brise-soleils* verticais, o ângulo utilizado da carta solar foi o azimute. Foi analisada a inclinação no solstício de verão considerado um dos dias com maior irradiação solar e o solstício de inverno, que é o limitante superior da carta solar, no horário das 16 horas no inverno e às 17 horas no verão (considerando horário de verão), horário que a fachada oeste recebe a maior intensidade de irradiação (WELP, 2018).



Os valores do ângulo azimute variaram de 255° a 305° em relação ao norte

verdadeiro. Com os respectivos valores foi possível dimensionar o tamanho da fachada *brise* para o protótipo, como pode ser visto nas Figuras 7 e 8. A distância mínima entre o *brise* e a parede da edificação recomendada para uma boa ventilação natural, é de 600 mm. Logo, o valor em escala para o protótipo foi de 12 mm (GUTIERREZ; SILVA; BONAFÉ, 2016).

Figura 7 - Dimensionamento do tamanho da fachada *brise* conforme inclinação da radiação solar no solstício de inverno

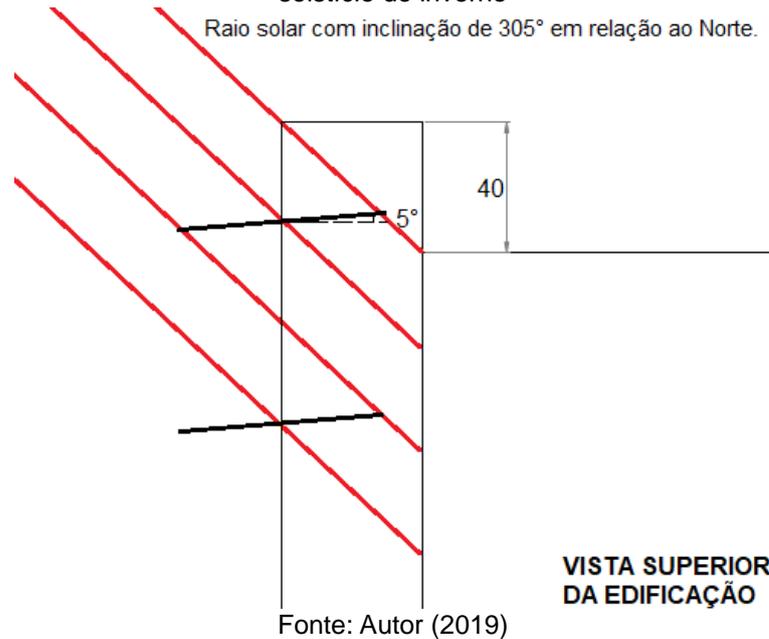
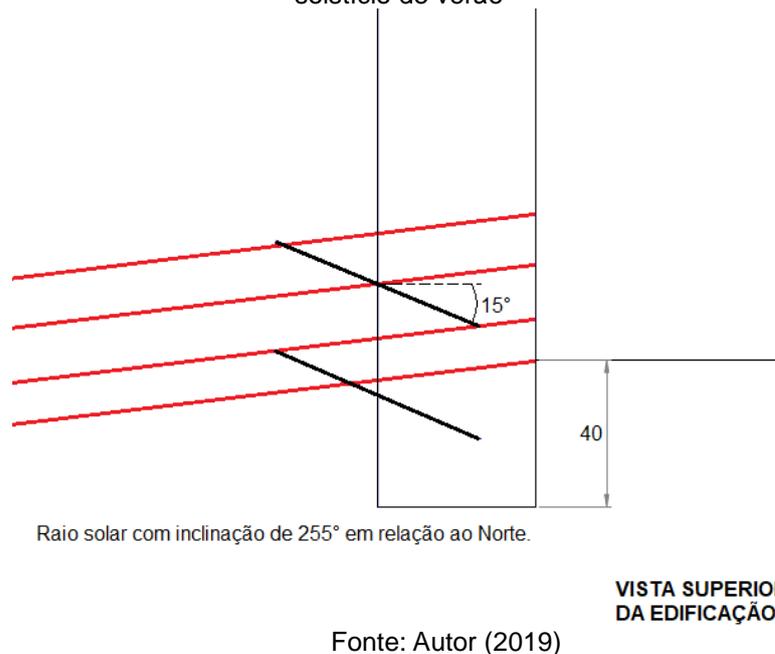


Figura 8 - Dimensionamento do tamanho da fachada *brise* conforme inclinação da radiação solar no solstício de verão

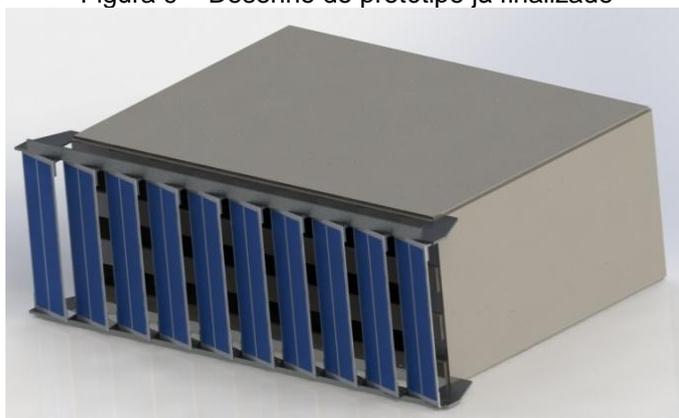


Por meio das Figuras 7 e 8, pode-se perceber que a estrutura do *brise-soleil* tinha que ser 40 mm (pior caso) maior que a edificação, nos dois lados por padrão,

para evitar que nenhum raio solar das inclinações de interesse choque com a parede da edificação. Os ângulos de inclinação dos raios solares em relação à fachada variam de 263° a 313° , valores somados com os 8° de inclinação da edificação em relação ao Norte. Para os ângulos das aletas foi utilizado o ângulo α da carta solar menos a inclinação da edificação em relação ao norte.

Para o dimensionamento das aletas do *brise*, foi levado em consideração o tamanho das células fotovoltaicas. Foi definido o valor de 200 x 60 mm, valor suficiente para a instalação das células e facilitado a montagem no protótipo. Foram necessárias 10 aletas para a aplicação, sendo fixadas, em cada aleta, sete células fotovoltaicas. Na Figura 9, pode-se ver o desenho com as características finais do segundo protótipo.

Figura 9 – Desenho do protótipo já finalizado



Fonte: Autor (2019)

Na estrutura para a fixação das aletas foram utilizadas cantoneiras (12,7 x 3,17 mm) e as aletas foram construídas de chapas de alumínio de 3 mm de espessura. O alumínio possui boa aparência, facilidade na fabricação, boa resistência à corrosão, baixa densidade, alta proporção de força para o peso, alta resistência à fratura e condutividade térmica muito boa, cerca três vezes a do aço, uma propriedade que o torna um material importante para resfriamento e aquecimento em aplicações onde a troca de calor se faz necessário (CERPOLO, 2014).

2.9 Construção estrutural dos protótipos

Na nona etapa do projeto foi desenvolvida a parte estrutural dos protótipos, realizou-se o corte, a montagem e a fixação das cantoneiras de alumínio. Na Figura 10 pode-se visualizar a estrutura de sustentação dos protótipos já finalizada.

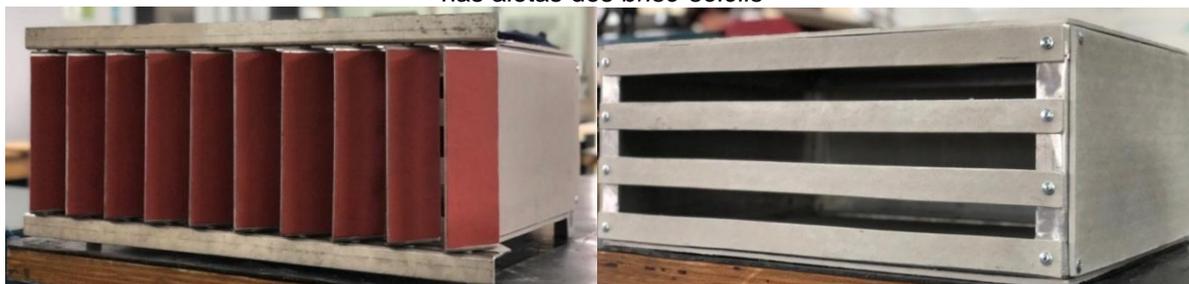
Figura 10 – Estrutura de sustentação dos protótipos



Fonte: Autor (2019)

Logo após, iniciou-se a fixação das chapas de fibrocimento e, também, do material isolante nas aletas do *brise*. As chapas foram fixadas com parafusos auto brocantes e o material isolante com silicone. O resultado dessa etapa pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Estrutura dos protótipos após fixação das chapas de fibrocimento e do material isolante nas aletas dos *brise-soleils*



Fonte: Autor (2019)

2.10 Instalação dos componentes eletroeletrônicos e dos módulos fotovoltaicos no protótipo

Na décima etapa foram fixados os sensores de luminosidade e temperatura nos protótipos. Os mesmos foram fixados no centro da parte inferior dos protótipos (Figura 12). Segundo a NBR 13966, norma que especifica as características físicas, dimensionais e classificação de mesas para escritórios, a altura da mesa de trabalho mínima e máxima é de 720 e 750 mm respectivamente, valor indicado para evitar desconforto, cifoses lombar e dores nos ombros e pescoços aos usuários. Logo, os sensores devem ser fixados a uma altura de 735 mm, média do valor recomendado. Como o protótipo é uma escala de 50 vezes do tamanho real, os sensores foram fixados a uma altura de 14,7 mm, medindo então a luminosidade e temperatura em cima da mesa de trabalho dos usuários do ambiente (ABNT NBR 13966, 1997).

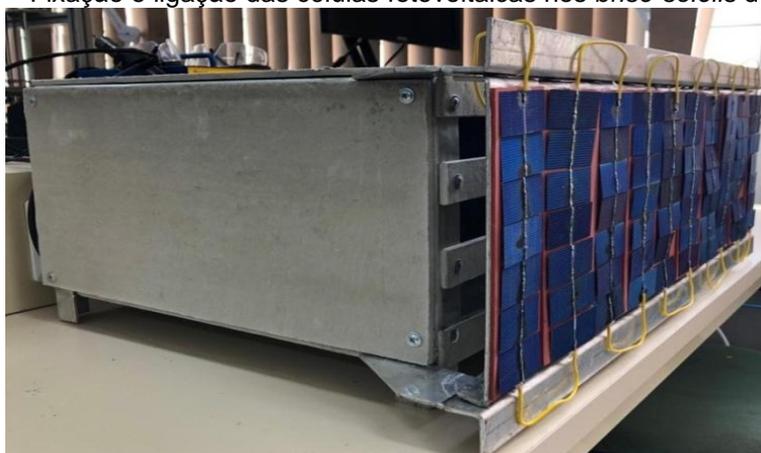
Figura 12 – Fixação dos sensores de temperatura e luminosidade nos protótipos



Fonte: Autor (2019)

Ainda na décima etapa, foram fixadas as células fotovoltaicas nos *brise-soleils* e feita a ligação em série dos módulos solares de cada aleta. A fixação foi realizada por meio de silicone e pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 – Fixação e ligação das células fotovoltaicas nos *brise-soleils* do protótipo



Fonte: Autor (2019)

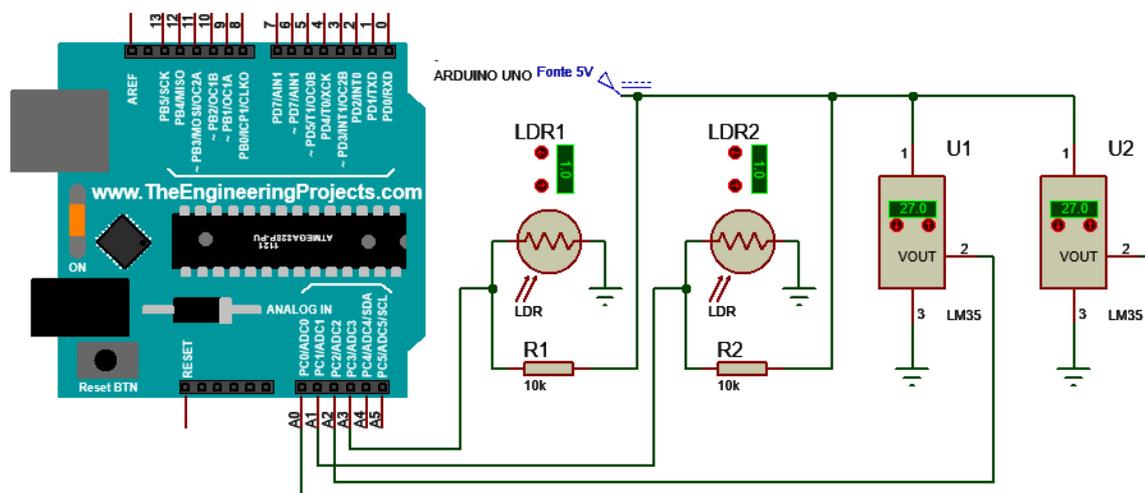
2.11 Configuração dos componentes de aquisição de dados

Na décima primeira etapa inicia-se a montagem e configuração do circuito para a aquisição de dados do sistema. Foi utilizado um resistor de $10k\Omega$ em série com o sensor LDR, os quais têm como função evitar que a corrente elétrica na série aumente mais do que o suportado pelo Arduino e, também, formar um circuito chamado divisor de tensão. O circuito elétrico de ligação dos componentes desenvolvido no software Proteus 8 é apresentado na Figura 14.

O sistema realiza a aquisição de dados em intervalos de cinco minutos, assim pôde-se avaliar os comportamentos das variáveis em estudo com o passar do tempo. Para evitar variações e ruídos indesejados distorcendo, assim, o valor real do medido, foi realizada uma média de 70 medições com intervalo de 100 ms para todos os sensores utilizados. Os valores medidos foram visualizados e coletados

através do monitor serial do Arduino.

Figura 14 – Circuito elétrico de ligação dos componentes de aquisição de dados do sistema



Fonte: Autor (2019)

As medições de tensão e energia em kWh das células solares foram realizadas, respectivamente, por um multímetro e medidor de energia SDM120 D. Para que ocorra a medição de energia, deve-se ter um circuito de carga na saída do medidor de energia. Sabendo-se que as células solares possuem valor de corrente (A) máxima de 0,45 A, foi possível calcular a carga para atender os limites do projeto.

Sabendo-se que o valor máximo de tensão (V) gerada por cada célula é de 0,5 V e que foram ligadas 70 células em série, obtêm-se o valor de potência (P) máxima gerada de:

$$P = V \times I$$

$$P = 70 \times 0,5V \times 0,45A$$

$$P = 15,75 W$$

Com o valor da potência máxima em corrente contínua gerada pelas células solares e sabendo que o pior rendimento de transformação do microinversor é de 90%, consegue-se calcular a potência máxima fornecida na saída do microinversor, que é de 14,175 W em corrente alternada. Logo, com o valor limite de tensão de saída do microinversor que é de 260V, é possível calcular a resistência (R) da carga na saída do medidor de consumo para o projeto.

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{260^2}{14,175}$$

$$R = 4,769k\Omega$$

Para atender ao requisito do projeto, foi utilizado um circuito com quatro resistores comerciais, entre eles dois resistores de 8,2k Ω de 10W cada, ligados em paralelo. Os mesmos, ligados em série com dois resistores de 1,5k Ω de 10W cada também ligados em paralelo, esse circuito resultou em um valor de resistência total de 4,85k Ω

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes em campo dos protótipos foram realizados no dia 30 de setembro de 2019. Os protótipos foram posicionados próximos da edificação utilizada como modelo, com a mesma orientação geográfica da edificação, evitando qualquer tipo de interferência externa como sombras de árvores e carros. Os protótipos ficaram expostos à condição de prova por um período de 5 horas, iniciando às 13 horas e finalizando às 18 horas. O posicionamento dos protótipos no teste em campo pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Posicionamento dos protótipos no teste em campo

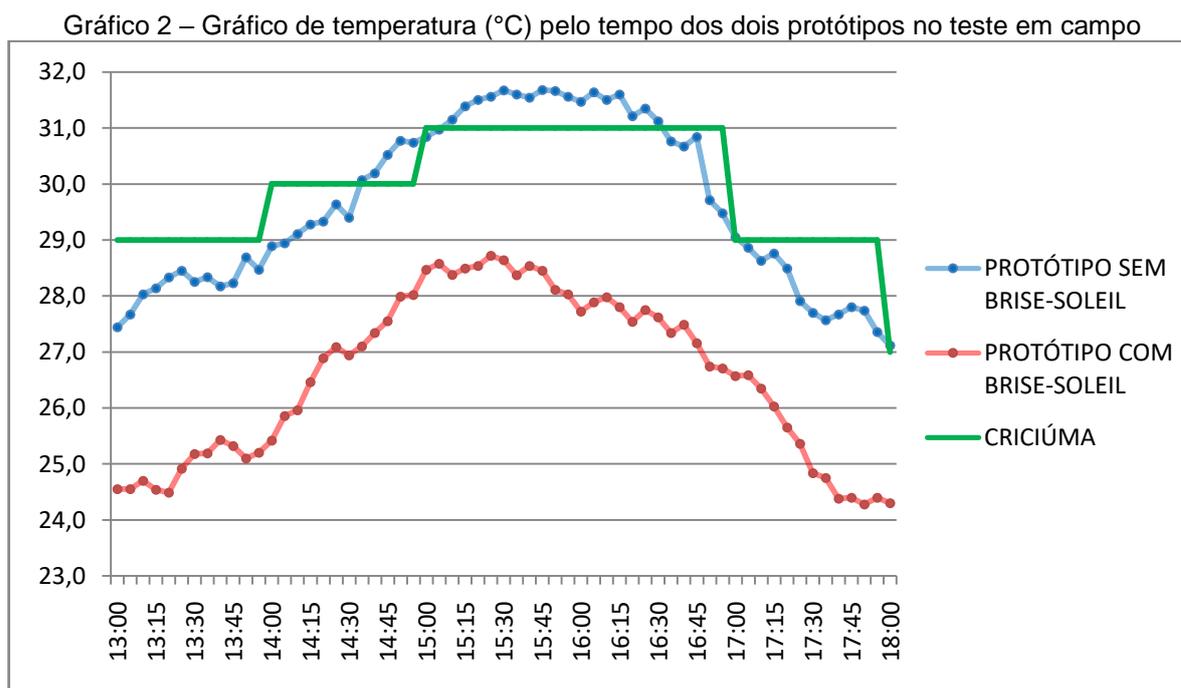


Fonte: Autor (2019)

Conforme a carta solar, o ângulo de abertura dos *brise-soleils* para a data de teste foi de 28° em relação ao norte verdadeiro e de 20° em relação à parede norte da edificação. A angulação do sol variou de 270° a 330° em relação ao norte verdadeiro. O ângulo do sol para o caso mais crítico (horário das 16 horas) foi de 282°, ângulo este utilizado para definir a inclinação dos *brises*.

3.1 Análise térmica e luminosa dos protótipos

Foi realizada a aquisição de dados de temperatura, luminosidade, tensão e energia gerada pelas células solares durante os testes em campo. Com os dados coletados foram desenvolvidos gráficos para facilitar a visualização dos resultados. O Gráfico 2 apresenta a variação da temperatura ao longo do período de testes.



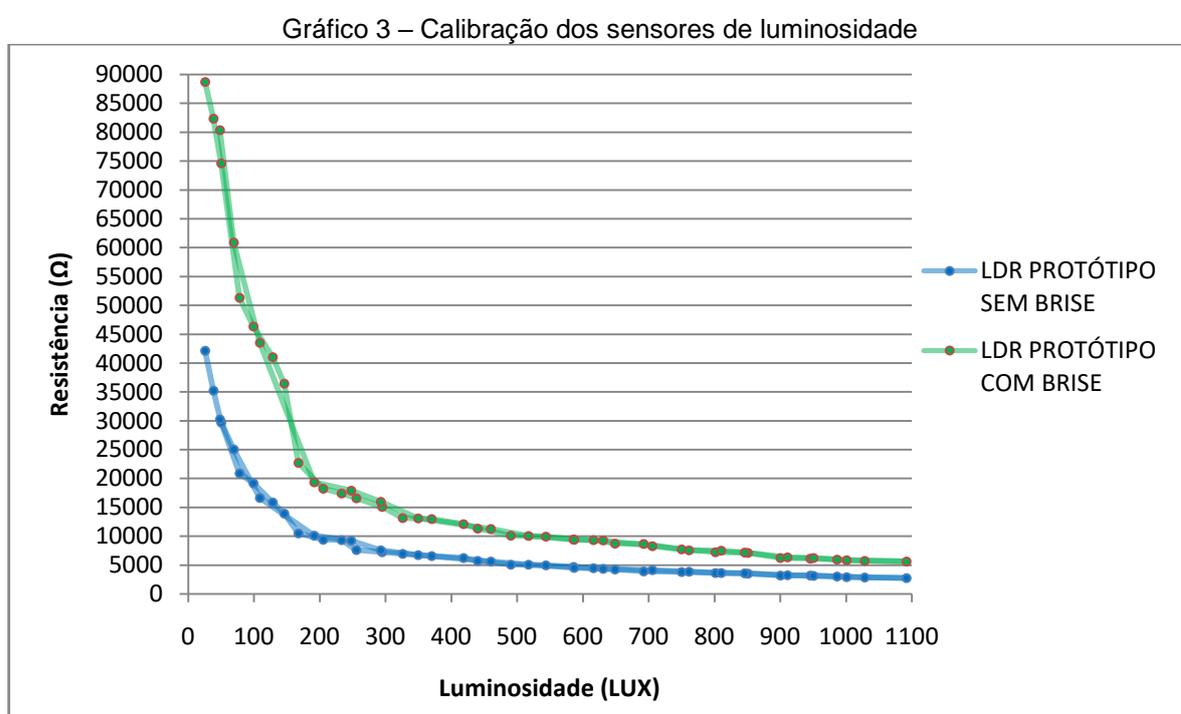
Fonte: Autor (2019)

Através do Gráfico 2, percebe-se uma redução média da temperatura dos protótipos de 3,1 °C, aproximadamente 10,4%. Segundo a NR17 (2007), norma que estabelece parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente, locais onde são exercidas atividades com solicitação intelectual e/ou atenção constante, como sala de aulas, laboratórios, dentre outros, é recomendado um índice de temperatura efetiva entre 20°C e 23°C.

A edificação modelo do protótipo apresenta as atividades citadas acima. Logo, nota-se que o *brise-soleil* demonstrou um bom desempenho no bloqueio dos raios solares, mantendo em alguns períodos, a temperatura bem próxima ao recomendado pela norma. Essa redução de temperatura traz como consequência a diminuição do consumo de energia causado por climatizadores de ar.

Quanto à iluminação, sensores de luminosidade LDR diferentes apresentam

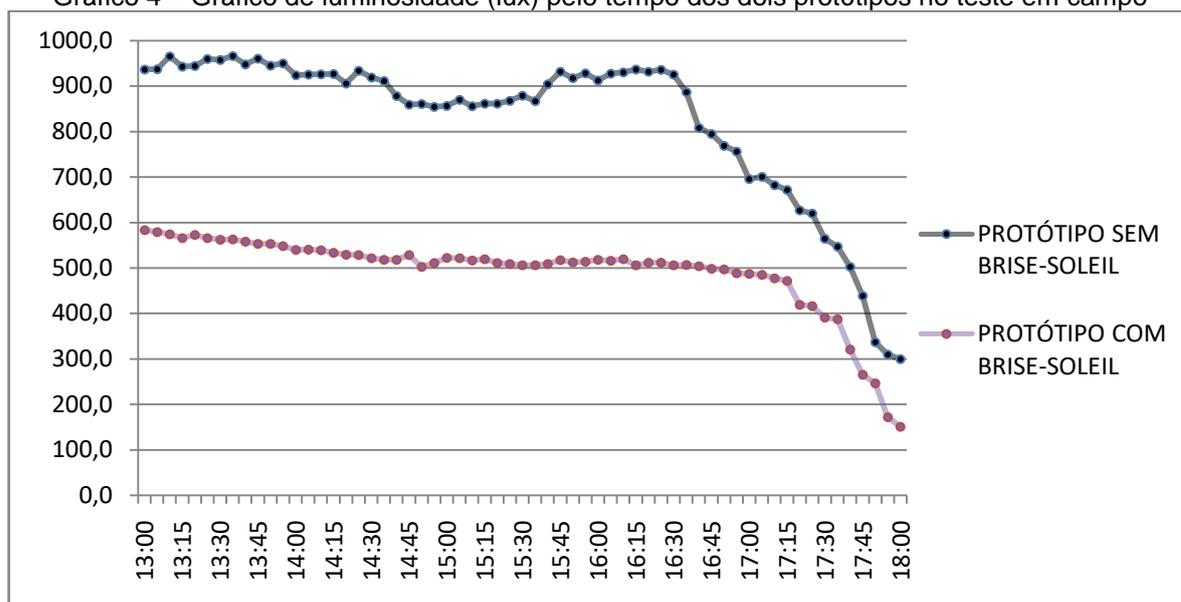
diferentes resistências para a mesma luminosidade, logo, foi realizada a calibração dos sensores utilizados na aquisição de dados dos protótipos, possibilitando a comparação entre os valores adquiridos nos diferentes protótipos. A calibração consistiu na realização de medições com diferentes luminosidades, medidas com o aparelho chamado luxímetro, o valor das resistências dos LDRs foi medido pelo Arduino e visualizado em seu monitor serial. Foram realizadas medições crescentes a partir de 25 até 1092 lux e decrescentes iniciando em 1092 até 48 lux para validação das medições. Foram feitas no total 50 medições para cada sensor que podem ser visualizadas no Gráfico 3.



Fonte: Autor (2019)

Com o Gráfico 3, foram extraídas as funções que melhor representavam cada curva e foram utilizadas pra determinar os valores de luminosidades coletadas nos teste em campo. O valor de luminosidade dos protótipos ao longo do tempo de teste em campo pode ser visto no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Gráfico de luminosidade (lux) pelo tempo dos dois protótipos no teste em campo



Fonte: Autor (2019)

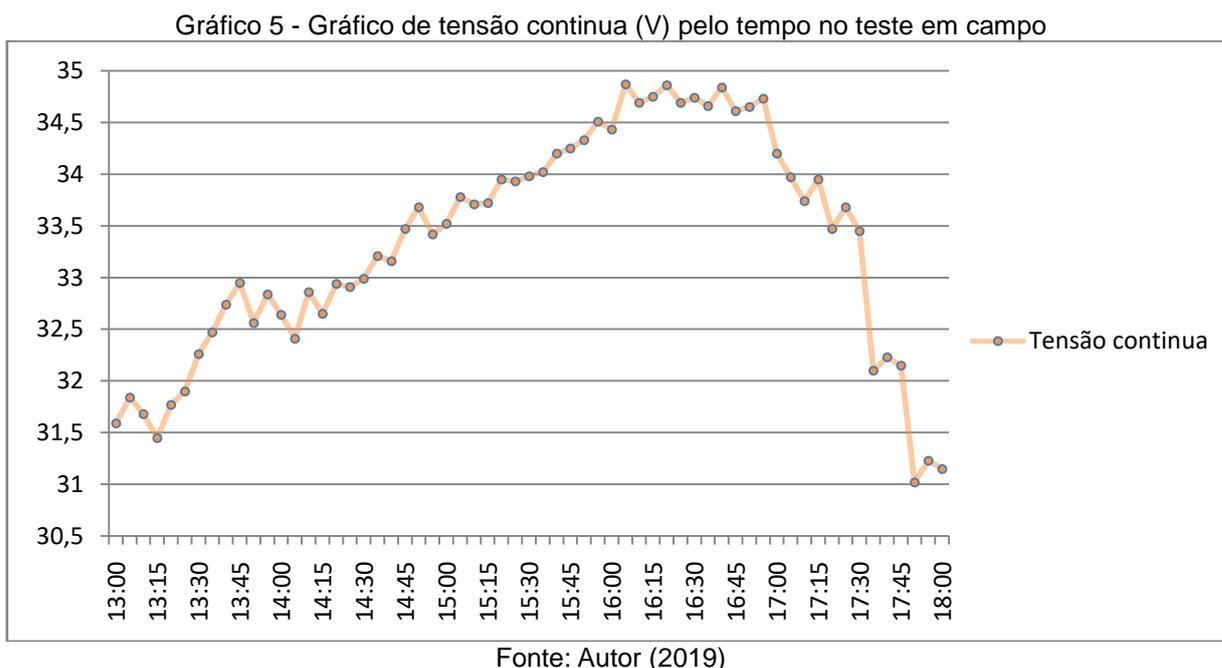
Por meio do Gráfico 4 pode-se perceber que existe uma grande diminuição de luminosidade, uma redução média de 333 lux. Estudos mostram que os erros relativos entre os valores medidos no ambiente real e no modelo em escala são inferiores a 5%. Esses provam que os dados obtidos no experimento condizem com os valores da edificação em escala real (PEREIRA; PEREIRA; CASTAÑO, 2012).

A redução resultante é essencial para o ambiente já que conforme a NBR ISO/CIE 8995-1, norma que estabelece os valores de iluminâncias médias para iluminação artificial em interiores, o valor determinado para salas de aulas e laboratórios (cenário predominante da edificação modelo dos protótipos) são respectivamente de 300 lux e 500 lux (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013).

O protótipo com *brise-soleil* apresenta valores de luminância próximos aos valores determinados pela norma, sem a necessidade de utilização de qualquer tipo de cortina. No caso do protótipo sem *brise-soleil* deve ser utilizado algum método para a redução de luminosidade do ambiente já que o excesso de iluminação prejudica a saúde dos olhos, pois provoca uma maior evaporação da película lacrimal, o que causa um déficit na lubrificação dos olhos, ocasionando lacrimejamento, irritação ocular, vermelhidão, estresse psicológico, sensação de fadiga, gerando nervosismo, desequilíbrio emocional, redução da produtividade, sonolência, redução da velocidade de leitura e da concentração (OLIVEIRA, 2016).

3.2 Análise energética

Foi realizado, também, o monitoramento da tensão contínua gerada pelos módulos solares. Para a melhor visualização do mesmo foi desenvolvido o Gráfico 5, onde é possível acompanhar o nível de tensão contínua ao longo do teste em campo. Foram realizadas aquisições a cada cinco minutos.



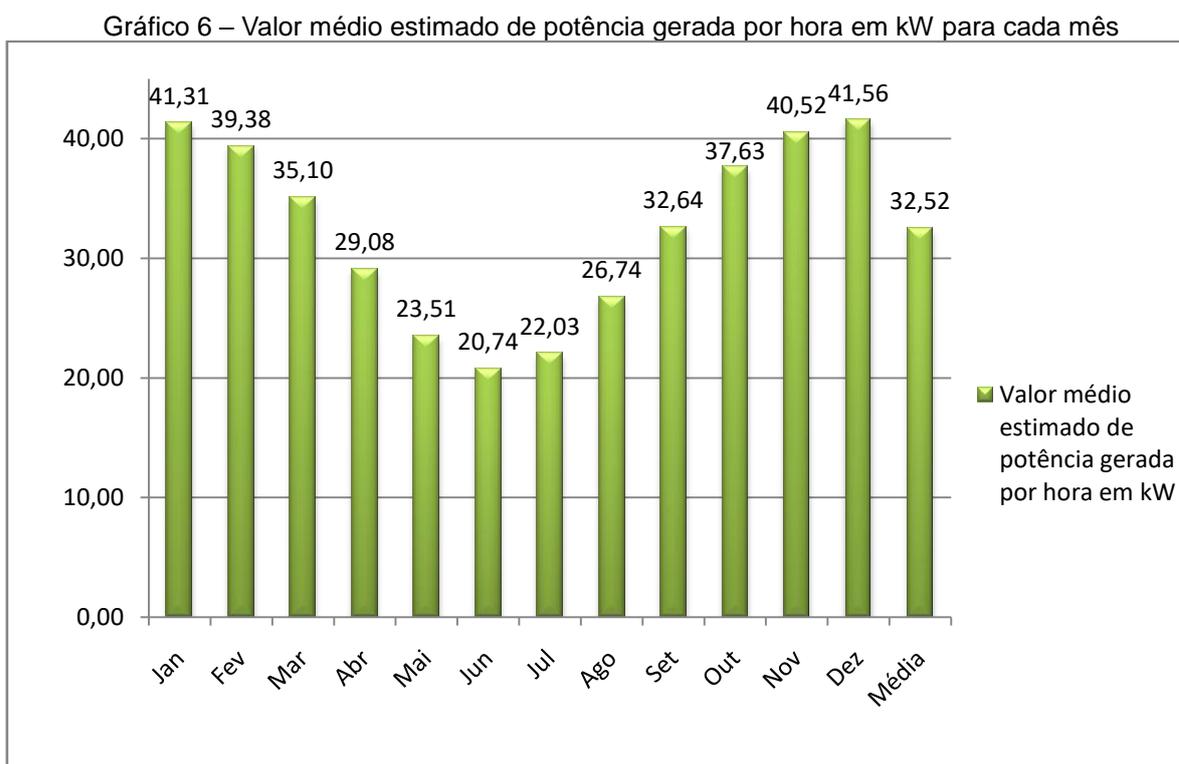
Analisando a tensão gerada pelos módulos solares foi possível perceber a importância do posicionamento da fachada e a angulação dos *brise-soleils*. O ângulo determinado para o teste foi escolhido para o horário em que a fachada recebe a maior irradiação solar, que são às 16 horas. Através do gráfico é possível ver que, neste horário, os módulos solares geram o maior nível de tensão, demonstrando melhor eficiência dos módulos e maior irradiação solar.

Foi analisado, através de um medidor de consumo de energia, o valor de kWh produzido pelos módulos solares. O valor gerado em cinco horas de medição foi de 0,07 kWh, dividindo o valor encontrado pelo número de horas em que o protótipo foi exposto ao teste em campo, encontra-se o valor de 0,014 kW. Para se determinar o valor gerado em escala real, deve-se encontrar o valor gerado em kW/m², sabe-se que a área de instalação das células solares fotovoltaicas no protótipo em escala é de 0,122 m², logo, fazendo a divisão do valor gerado em kW pela área ocupada no protótipo, encontra-se o valor de 0,115kW/m².

A fachada *brise-soleil* para a edificação modelo apresentará uma área

309,672 m² para a instalação de módulos fotovoltaicos, então, se multiplicar o valor de 0,115 kW/m² pela área disponível para a instalação dos módulos em escala real, obtêm-se o valor de aproximadamente 35,54 kW. Sabe-se que a média da radiação solar máxima para o mês referente ao teste em campo é de 881,081 W/m² e o valor da radiação solar máxima no dia do teste em campo era de 953,096 W/m², cerca de 8,17% maior que a média do mês. Com esses dados pode-se determinar a média gerada por hora em kW para o mês referente ao teste em campo, sendo esta no valor de 32,64 kW (WELP, 2018).

Com a potência média por hora encontrada para o mês referente ao teste em campo e por meio da análise da radiação solar máxima no decorrer de cada mês, pode-se estimar a média mensal para cada mês de potência gerada por hora em kW, valores que podem ser visualizados no Gráfico 6.



Fonte: Autor (2019)

Por meio do Gráfico 6, verifica-se que a geração de potência máxima por hora em kW ocorre em dezembro, com um valor de 41,56 kW. Por meio do mesmo e sabendo a área disponível para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos, foi realizado o orçamento do sistema fotovoltaico com a empresa Indusol Energia Solar ME, cujos valores do orçamento podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Orçamento para a instalação dos módulos solares fotovoltaico

Marca Gerador	WEG
Potência do Painel de Módulos	45,22 kWp
Marca dos Módulos	RISEN
Potência do Módulo Fotovoltaico	340 Wp
Quantidade de Módulos	133
Modelo Inversor WEG	SIW500H ST040
Potência total do(s) Inversor(es)	40kVA
Estrutura de fixação marca	Teshan
Tipo de estrutura para cobertura	<i>Brise-soleil</i>
Valor total do Gerador Instalado	R\$ 175.052,98

Fonte: INDUSOL ENERGIA SOLAR ME(2019)

Os inversores e painéis elétricos, bem como a conexão com a rede elétrica existente, estarão localizados no corredor da própria edificação, no andar térreo, para facilitar a manutenção e gerenciamento do processo de produção de energia.

Verifica-se que o investimento em equipamentos para instalação do sistema e geração de energia através de painéis fotovoltaicos, conforme pode ser visualizado na Tabela 1, é de R\$ 175.052,90.

Além do valor para a instalação do sistema fotovoltaico, existe o valor para a montagem e instalação da fachada *brise-soleil* vertical, o valor médio por m² do mesmo pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Preço em m² para a instalação de *brise-soleil* vertical

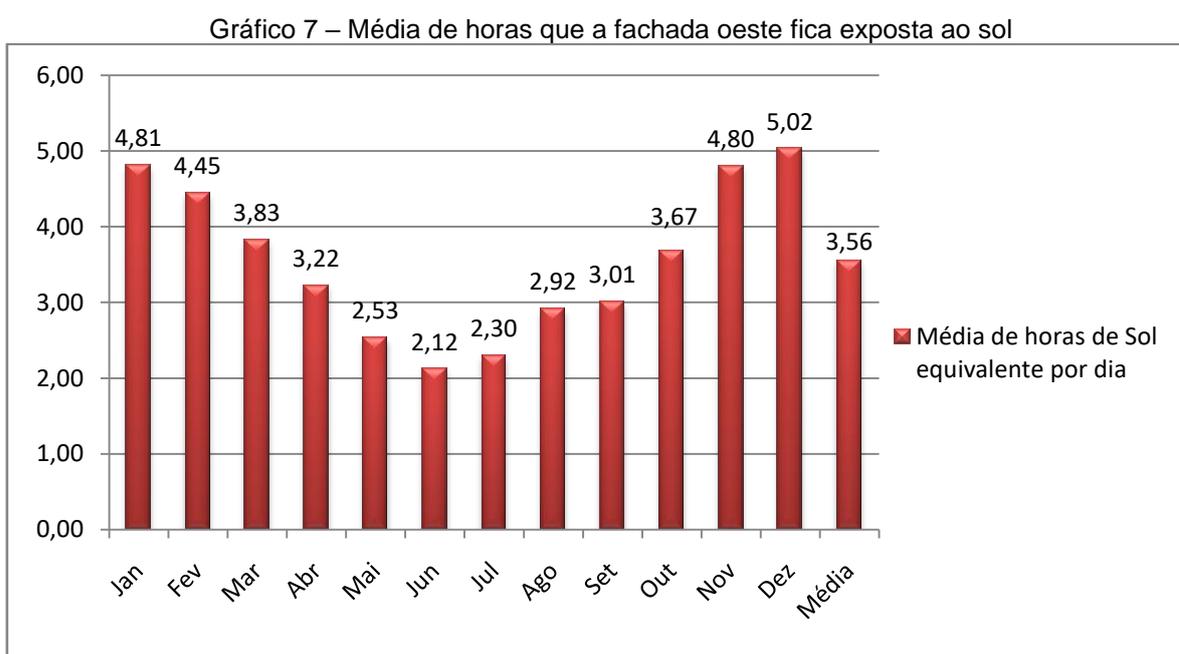
DESCRIÇÃO	PREÇO POR m ²
Ancoragem mecânica com bucha de expansão de aço galvanizado, porca e arruela.	R\$ 14,76
<i>Brise</i> fixo de alumínio lacado com poliéster de pelo menos 60 microns de espessura, cor a escolher, para montar em posição vertical, formada por lâminas de seção ovalada, de 1000x30 mm.	R\$ 308,32
Mão de obra	R\$ 14,80
TOTAL	R\$ 337,88

Fonte: Adaptado de CYPE INGENIEROS (2019)

Verifica-se na Tabela 2 que o valor do investimento para instalação do *brise-soleil* por m² é de R\$ 337,88, sabendo que a área da fachada da edificação modelo é de 309,672m², o valor para a montagem e instalação é de R\$ 104.631,97.

3.3 Viabilidade econômico-financeira do projeto

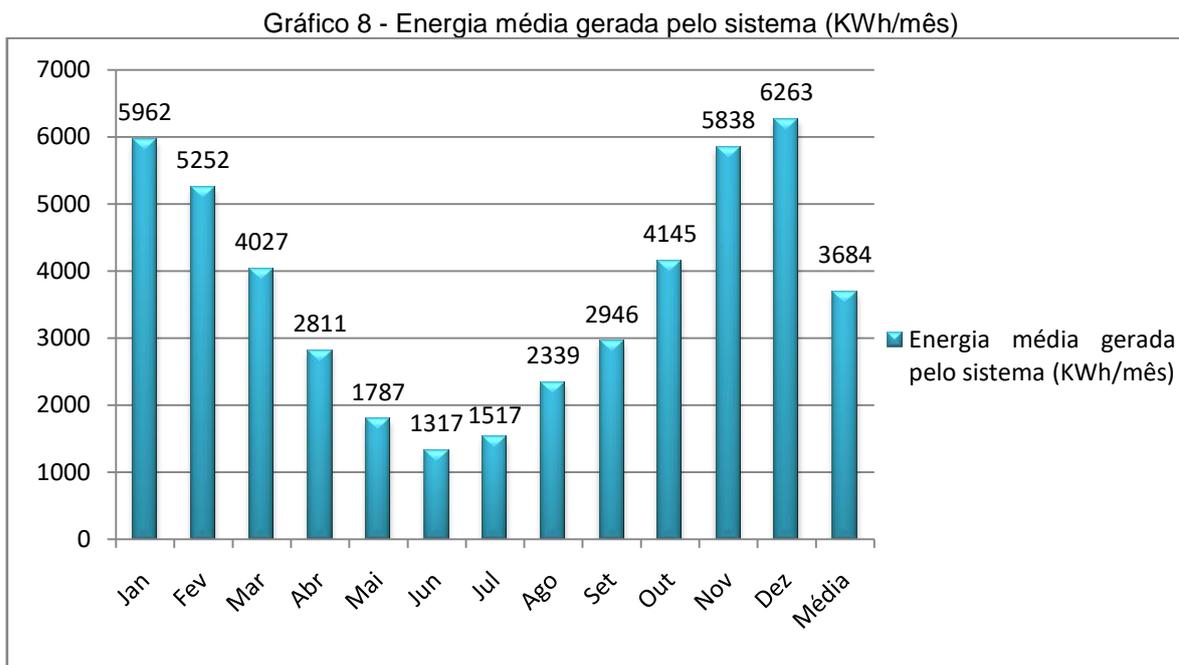
Para se determinar a viabilidade econômico-financeira do projeto, é necessário saber o valor médio mensal gerado em kWh pelos módulos fotovoltaicos, para isso, deve-se conhecer a quantidade média diária de horas que a fachada oeste fica exposta ao sol na cidade em que a Instituto Federal de Santa Catarina está localizado (Gráfico 7).



Fonte: Adaptado de CRESESB (2019)

Por meio do Gráfico 7, verifica-se que, na cidade onde o Instituto está localizado, a média anual em que a fachada oeste fica exposta ao sol gira em torno de 3,56 horas. Os meses de novembro a fevereiro apresentam maior incidência de sol, acima de 4,4 horas diárias para a fachada oeste, enquanto os meses de junho e julho apresentam a menor incidência de sol, com valores menores de 2,4 horas diárias para a fachada oeste.

Com base no sistema proposto, composto por 133 módulos fotovoltaicos de 340 Wp cada, considerando a média de geração de potência por hora para cada mês em kW (Gráfico 6) e a quantidade de horas de sol no local onde os mesmos deverão ser instalados (Gráfico 7), é possível que o sistema forneça mês a mês, em média, a potência apresentada no Gráfico 8.



Fonte: Autor (2019)

Observa-se no Gráfico 8 que a geração de energia elétrica é maior nos meses mais quentes do ano, tendo em vista a maior irradiação solar nestes meses. A energia elétrica gerada pelo sistema solar fotovoltaico supre aproximadamente 21% do consumo de energia da edificação. O valor de consumo de energia do Instituto foi coletado da fatura de energia do mesmo e foi realizada análise dos últimos dois anos.

Após analisar a fatura de energia elétrica, foi possível determinar a tarifa de energia paga à fornecedora de energia. A geração solar ocorre no horário fora de ponta, logo, no ano de 2019 o Instituto pagou um valor médio no horário fora de ponta de R\$ 0,5126 por kWh.

A Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (Celesc) é a concessionária de energia elétrica local. Analisando os reajustes das tarifas e energias nos últimos cinco anos, período entre 2015 e 2019, para o grupo em que o Instituto se enquadra, pode-se notar um reajuste tarifário de 7,71% por ano, valor que será utilizado para calcular o *payback* do investimento (CELESC, 2019).

O valor do investimento é o somatório da montagem e instalação da fachada *brise* e do sistema fotovoltaico, resultando no valor total de R\$ 279.684,95. A Tabela 3 apresenta o *payback* descontado do investimento para um período de 15 anos.

Tabela 3 – *Payback* do investimento

Anos	Investimento	Economia Fatura Energia Elétrica	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	<i>Payback</i> descontado
0	-R\$ 279.684,95		-R\$ 279.684,95	-R\$ 279.684,95	-R\$ 279.684,95
1	-R\$ 875,26	R\$ 23.672,46	R\$ 22.823,46	R\$ 21.757,35	-R\$ 257.927,60
2	-R\$ 875,26	R\$ 25.182,89	R\$ 24.340,01	R\$ 22.119,22	-R\$ 235.808,39
3	-R\$ 875,26	R\$ 26.668,87	R\$ 25.832,12	R\$ 22.378,64	-R\$ 213.429,75
4	-R\$ 875,26	R\$ 28.130,42	R\$ 27.299,79	R\$ 22.545,37	-R\$ 190.884,38
5	-R\$ 875,26	R\$ 29.567,52	R\$ 28.743,02	R\$ 22.628,46	-R\$ 168.255,92
6	-R\$ 875,26	R\$ 30.980,18	R\$ 30.161,81	R\$ 22.636,25	-R\$ 145.619,68
7	-R\$ 875,26	R\$ 32.368,40	R\$ 31.556,15	R\$ 22.576,45	-R\$ 123.043,23
8	-R\$ 875,26	R\$ 33.732,17	R\$ 32.926,05	R\$ 22.456,17	-R\$ 100.587,05
9	-R\$ 875,26	R\$ 35.071,51	R\$ 34.271,51	R\$ 22.281,99	-R\$ 78.305,07
10	-R\$ 875,26	R\$ 36.386,40	R\$ 35.592,53	R\$ 22.059,92	-R\$ 56.245,15
11	-R\$ 875,26	R\$ 37.676,85	R\$ 36.889,11	R\$ 21.795,55	-R\$ 34.449,60
12	-R\$ 875,26	R\$ 38.942,85	R\$ 38.161,24	R\$ 21.493,97	-R\$ 12.955,63
13	-R\$ 875,26	R\$ 40.302,34	R\$ 39.524,58	R\$ 21.221,98	R\$ 8.266,35
14	-R\$ 875,26	R\$ 41.401,54	R\$ 40.632,18	R\$ 20.797,61	R\$ 29.063,96
15	-R\$ 875,26	R\$ 42.594,22	R\$ 41.830,99	R\$ 20.411,07	R\$ 49.475,03

Fonte: Autor (2019)

O cálculo do *payback* descontado levou em consideração uma taxa mínima de atratividade (TMA), para este tipo de investimento, considerado de baixo risco, utiliza-se, em muitos casos, a taxa selic como TMA. O valor da taxa selic na data da realização do projeto e utilizado para o cálculo foi de 4,9% (SCHULTZ, 2019).

Os módulos solares apresentam custos de manutenção, os quais foram incluídos no cálculo. Estima-se que o valor da manutenção é de 0,5% ao ano do valor do investimento inicial, tendo como resultado para o projeto o valor de R\$ 875,26 (SOLARPRIME, 2018).

Outra variável utilizada pra o cálculo do *payback* foi a perda da eficiência dos módulos fotovoltaicos no passar do tempo. Após estudos em diversos modelos e fabricantes, determinou-se que os módulos perdem até 3% da eficiência operacional já no primeiro ano de uso e mais 0,7% no mesmo período nos anos seguintes, estabilizando sua depreciação anual (JUNIOR, 2018).

Conforme a Tabela 3, são necessários aproximadamente 12,6 anos para recuperar o investimento inicial de R\$ 279.684,95. A taxa interna de retorno para o projeto é de 7,14%, valor superior a TMA, mostrando que o projeto é viável.

Analisando ainda a Tabela 3, tendo em vista apenas a economia acumulada

durante um período de 10 anos, identifica-se o valor total de R\$ 293.546,45, ou seja, R\$ 13.861,50 maior que o custo total da instalação. Logo, a partir de, aproximadamente, 9,4 anos o sistema já estará totalmente pago.

4 CONCLUSÃO

O estudo analisou a eficiência térmica, luminosa, energética e a viabilidade econômica por meio do estudo de fachadas em escala de *brises* integrados a células fotovoltaicas em edificações prediais. O trabalho seguiu os procedimentos metodológicos e alcançou os objetivos específicos determinados, conseqüentemente resolvendo o problema proposto.

Ao término do trabalho, conclui-se que com a montagem de fachadas *brise-soleils* nas edificações é possível diminuir a temperatura interna do ambiente. Como consequência do bloqueio da radiação solar direta a edificação ocorre, além da redução de temperatura, a redução da luminosidade, e tal redução é essencial para o ambiente conforme a NBR ISO/CIE 8995-1. O protótipo com *brise-soleil* apresentou valores de luminância próximos aos valores determinados pela norma, sem a necessidade de utilizar qualquer outro método para a redução de luminosidade do ambiente, como por exemplo, cortinas, levando em consideração que a luminosidade excessiva pode prejudicar a saúde dos seres humanos (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013).

Conclui-se também que a implementação de módulos fotovoltaicos nas fachadas *brise-soleils*, é uma alternativa para a redução de custos e de diversificação energética, além de não prejudicar o meio ambiente. Os módulos em médio prazo pagarão o investimento inicial para a montagem e instalação da fachada e dos módulos fotovoltaicos e, posteriormente, começarão a gerar lucro ao Instituto.

Por fim, como sugestão para novas pesquisas, seria ideal o desenvolvimento de um estudo similar ao realizado, mas com um sistema de movimentação automatizado dos *brise-soleils* e realizações de simulações via software.

STUDY AND EVALUATION IN BRISE ARCHITECTURE SCALE WITH PHOTOVOLTAIC SOLAR GENERATION IN PREDIABLE FACADES

Abstract: The evolution of building techniques in buildings often shows the optimization of natural ventilation and thermal efficiency. An example of this is brise-soleils, a facade that, in addition to the functions already mentioned, enables the installation of photovoltaic solar modules. Thus, the objective of this work is to evaluate the economic, luminous, economic and economic viability efficiency through the study of brises scale facades integrated with photovoltaic cells in buildings. Two scale prototypes of a building were created. One of the prototypes features a unique vertical façade chosen after analyzing the geographic orientation of the block model façade. Photovoltaic solar cells were installed on the fins of the breeze. The other prototype has a facade similar to the block model. A solar slope analysis was performed to define the positioning of the fins. Upon completion of the field test, a temperature difference of 3.1 ° C was found between the prototypes and a decrease in the average luminosity of 333 lux. As for solar power generation, a generation of 0.07 kWh was verified in 5 hours of field testing. This value made it possible to determine the full-scale power generation of the project and, knowing the available area for installation of solar photovoltaic modules, was realized or budget of the photovoltaic system. An electrical energy generated by the solar photovoltaic system represents approximately 21% of the energy consumption of the model building. A financial analysis of the project show that it is viable, with a return on investment of 12.6 years.

Keywords: Brise soleil. Solar energy. Thermal efficiency. Hight efficiency. Financial viability.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 13966 - Móveis para escritório - Mesas - Classificação e características físicas e dimensionais**, 1997. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/nbr-13966-ergonomia/4823217/>>. Acesso em: 9 set. 2019.

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior.

Abnt, p. 54, 2013.

AIYIMA. **AIYIMA Painel Solar de Policristalino**. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/100pcs-solar-panel-Polycrystalline-Silicon-solar-module-52-26mm-DIY-0-25W-0-5V-Photovoltaic-Panel/32808749362.html?spm=a2g03.search0204.3.41.7fd12ac8bDryuS&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7_10065_10068_10547_319_1005>. Acesso em: 8 jun. 2019.

ANEEL. **Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024.**, 2017. Disponível em: <www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 28 mar. 2019.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo**. Porto Alegre .Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído., , 2010. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/11790>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CELESC. **Tarifas de Energia**. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#evolucao-da-tarifa-nos-ultimos-anos>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

CERPOLO. **Benefícios das Brises de Alumínio**. Disponível em: <<http://cerpolo.com.br/blog/beneficios-brises-aluminio/>>. Acesso em: 6 maio. 2019.

CRESESB. **CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 30 out. 2019.

CYPE INGENIEROS, S. A. **Preço em Brasil de m² de Brise de lâminas de alumínio**. Disponível em: <http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/calcula_precio.asp?Valor=1%7C0_0_1%7C1%7CLSZ030%7CIsz_030:_0_0_0_1_0_0_0_0_0_1_2_0_3_0>. Acesso em: 21 out. 2019.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. São Paulo .Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído., , 2006. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3720>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

GUTIERREZ, G. C. R. **Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de Brise-Soleil Fixo**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

GUTIERREZ, G. C. R.; SILVA, J. S. DA; BONAFÉ, G. **Brises controlam incidência de luz e garantem conforto térmico à edificação**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/brises-controlam-incidencia-de-luz-e-garantem-conforto-termico-a-edificacao_9317_0_8>. Acesso em: 6 maio. 2019.

HAHN, P. et al. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://ahkbusiness.de/fileadmin/ahk_business_br/05_>

Publicacoes-Publikationen/O_Mercado_Brasileiro_de_Geracao_Distribuida_FV_-_2018.pdf>. Acesso em: 23 maio. 2019.

INDUSOL ENERGIA SOLAR ME. **FORNECIMENTO DE GERADOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO**, 2019.

JUNIOR, L. A. W. P. **Duração de um painel de energia solar**. Disponível em: <<http://hccengenharia.com.br/quanto-tempo-dura-um-painel-de-energia-solar-descubra-aqui/>>. Acesso em: 8 nov. 2019.

LAMBERTS, R. ET AL. . **Desempenho Térmico em Edificações. Apostila para Ensino. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE)**. Florianópolis: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil**. São Paulo. USP, , 2009. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/eav/article/view/10442>>. Acesso em: 18 abr. 2019

MEDEIROS, I. D. **O Brise-Soleil na Zona Bioclimática 3 sob Avaliação dos Requisitos Técnicos da Qualidade para Níveis de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, , 2012.

MULTEE PERÍCIAS. **Geração descentralizada**. Disponível em: <<http://www.multee.com.br/geracao-descentralizada/>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

NSP. **Mono-Crystalline Silicon Solar Cell**. Disponível em: <https://www.nsp.com/wp-content/uploads/2017/04/NSP_B21_BiFi_4BB_SVF_M2_01.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2019.

OLIVEIRA, A. F. **Iluminação do ambiente: Entenda como ela afeta a saúde da equipe**. Disponível em: <<https://beecorp.com.br/blog/iluminacao-do-ambiente-afeta-a-equipe/>>. Acesso em: 19 out. 2019.

OLIVEIRA, E. **Fotoresistor (Sensor) LDR**. Disponível em: <<http://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-fotoresistor-sensor-ldr-5mm/>>. Acesso em: 2 jul. 2019.

OM ARQUITETOS. **FACHADA OESTE**. Disponível em: <<https://www.arqblog.com.br/curiosidades-na-arquitetura/fachada-oeste/>>. Acesso em: 8 jun. 2019.

PARIS, P. et al. **A evolução de técnicas construtivas que visam a ventilação natural na arquitetura brasileira: da colonização ao modernismo**. Paraná, 2015. Disponível em: <<https://www.fag.edu.br/upload/ecci/anais/5babc2a6baf07.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

PEREIRA, F. O. R.; PEREIRA, R. C.; CASTAÑO, A. G. Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios? **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 131–147, 2012.

PORTAL SOLAR. **Painéis Solares Integrados à Construção – BIPV**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/paineis-solares-integrados-a-construcao---bipv.html>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

PORTARIA SIT N.º 13. **NR 17 - ERGONOMIA**, 2007.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1ª edição ed. Florianópolis: UFSC/ LABSOLAR, 2004.

SCHULTZ, F. **TMA – Taxa Mínima de Atratividade**. Disponível em: <<https://bomcontrole.com.br/tma-taxa-minima-de-atratividade/>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

SOLARPRIME. **Manutenção do painel solar**. Disponível em: <<http://solarprime.com.br/blog/voce-sabe-como-fazer-a-manutencao-do-painel-solar-de-forma-correta/>>. Acesso em: 8 nov. 2019.

SUNHOME. **Inversor Grid Tie 300w**. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-717721730-inversor-grid-tie-300w-ongrid-ip67-dc-24v-46v-ac-220v-nf-_JM>. Acesso em: 8 jun. 2019.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Datasheet**. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/517588/TI1/LM35.html>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

THOMSEN, A. **O que é Arduino: conceito, benefícios e como utilizar**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, p. 69, nov. 2007.

TOTAL MATERIA. **Propriedades do Alumínio**. Disponível em: <<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropriedadesdoAluminio&LN=PT>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

VIEW TECH. **Medidor de Energia (kWh) Mono SDM120D**. Disponível em: <<https://www.viewtech.ind.br/medidor-kwh-mono-dds1y-18l-50a>>. Acesso em: 22 ago. 2019.

WELP. **Radiação solar potencial máxima**. Disponível em: <<http://www.tempoemteutonia.com.br/meteotemplate-welp/mobile/pages/astronomy/annualSolarMax.php>>. Acesso em: 31 jul. 2019.