

## Seguidor solar responsivo de código aberto (Girassol): testes de funcionamento e fabricação digital – Piic/UFES

<b>Edital:</b>	Edital Piic 2020/2021
<b>Grande Área do Conhecimento (CNPq):</b>	Ciências Sociais Aplicadas
<b>Área do Conhecimento (CNPq):</b>	Arquitetura e Urbanismo
<b>Título do Projeto:</b>	Ecologias de Projeto
<b>Título do Subprojeto:</b>	Seguidor solar responsivo de código aberto (Girassol): testes de funcionamento e fabricação digital
<b>Professor Orientador:</b>	Prof. Dr. Bruno Massara Rocha
<b>Estudante:</b>	Kevyn Igor Lopes Bortolotti

### 1. Resumo

Devido à atual crise energética no Brasil e no mundo, é importante explorar fontes energéticas renováveis, como os sistemas fotovoltaicos. Em vista disso, este subprojeto de pesquisa analisa um sistema responsivo de captação de energia denominado Girassol, que busca uma melhor eficiência na produção energética. Este subprojeto realizou testes de funcionamento do mecanismo para aferir as vantagens e desvantagens no uso do seguidor solar em comparação com sistemas fixos. Os testes foram realizados utilizando o protótipo físico e simulações computacionais para comparação dos resultados, a metodologia usada foi a Design Science Research, que tem como objetivo desenvolver e aprimorar soluções acessíveis, com base em experimentos e simulações computacionais. Os resultados obtidos na simulação computacional mostraram que o sistema seguidor geraria 31% a mais de energia se comparado com o sistema fixo, comparando com o protótipo físico foi possível observar que há um aproveitamento maior do Girassol principalmente nos momentos iniciais e finais dos dias.

**Palavras-chave:** Sistemas responsivos. Seguidor solar. Simulação paramétrica. Biomimética. Ladybug.

### 1 Introdução

A atual crise energética que vem se agravando com o passar dos anos (BONDARIK et al, 2018) e se mostra um grande desafio a ser enfrentado. A energia solar é uma das fontes alternativas mais promissoras, por estar disponível praticamente em todos os lugares. Sistemas fotovoltaicos são criados para fornecer energia elétrica para diversos usos, utilizando o sol como fonte de energia (TIRMIKCI; YAVUZ, 2015). A presente pesquisa é uma continuação do projeto em desenvolvimento de um seguidor solar de código-aberto, que utiliza sensores fotossensíveis para, independentemente do local onde será implementado, manter as placas solares direcionadas para o sol, visando o aumento da eficiência energética das placas fotovoltaicas. A pesquisa mostra-se importante devido ao grande potencial de geração de energia solar no Brasil e a alta relevância social e ambiental do uso de energia limpa e renovável, principalmente em regiões rurais e isoladas que não tem acesso à energia elétrica (BONDARIK et al, 2018; FARICELLI, 2008).

O Girassol se encontra completamente desenvolvido no que diz respeito a hardware e software, para os quais foram utilizados sistemas Arduino e peças especificamente desenhadas e impressas em 3d. A etapa atual de pesquisa está focada nos testes de funcionamento do sistema e coleta de dados relacionados ao aproveitamento

do sistema seguidor e os sistemas convencionais fixos. Para isso, foram realizados testes com o protótipo e simulações computacionais para a coleta de dados que permitam aferir quais as reais vantagens e desvantagens do Girassol.

A simulação no *Grasshopper* foi uma etapa da metodologia que permitiu desenvolver um estudo em ambiente controlado para verificar as qualidades de um artefato com base em dados artificiais (LACERDA et al, 2013).

Para realizar os testes de funcionamento e de desempenho do projeto foi feita a programação de um código utilizando o plugin *Ladybug*, que permitiu realizar simulações de desempenho em ambiente virtual e a coleta de dados experimentais para análise. Também foi realizado a coleta de dados do sistema físico desenvolvido com Arduino. Os dados de ambos os sistemas foram armazenados e posteriormente comparados para avaliar o quão eficiente pode ser um seguidor solar em comparação com sistemas fixos.

## **2 Objetivos**

---

O objetivo deste subprojeto foi demonstrar as vantagens e desvantagens em se utilizar um sistema seguidor solar de código aberto para placas fotovoltaicas, com a finalidade de gerar mais energia, diminuir o tempo de retorno do investimento financeiro e melhorar o aproveitamento de sistemas fotovoltaicos. Para isso, foram realizados testes com um protótipo físico e simulações computacionais em ambiente ideal para descobrir qual a porcentagem de aproveitamento de um sistema seguidor em relação a sistemas convencionais de geração de energia fotovoltaica. Explorando, assim, as possibilidades de se utilizar um modelo de captação de energia mais eficiente que auxilie no enfrentamento da atual crise energética e torne mais viável o uso de fontes renováveis como a energia solar.

## **3 Embasamento Teórico**

---

### **3.1. PRINCÍPIO DA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Os três princípios básicos na compreensão da energia envolvida no processo de geração solar são: voltagem, amperagem e potência. A corrente elétrica tem como unidade de medida os Volts. Ela é o fluxo de energia gerado, quantidade de elétron. Amperagem é a intensidade da corrente. Potência é a capacidade da corrente gerar trabalho.

### **3.2. PRINCÍPIO HELIOTRÓPICO**

Segundo Ramos et al (2014), o heliotropismo é caracterizado como o movimento realizado por plantas ou animais em direção ao sol, em que seu organismo responde a alguma fonte de energia luminosa. Conceitualmente, o Girassol Digital é fruto de um projeto de inspiração biomimética (Benyus, 2003) relacionado ao princípio heliotrópico presente em muitas espécies vegetais como o *Heliantus annuus*. O princípio heliotrópico corresponde à capacidade do organismo vegetal de inclinar sua estrutura física para melhor captar os raios solares e maximizar a fotossíntese. No projeto aqui apresentado a simulação do princípio heliotrópico foi realizada por meio de um mecanismo cibernético de primeira ordem (Pangaro & Dubberly, 2011) cuja base é um microcontrolador Arduino UNO. A influência da natureza e dos sistemas vivos em projetos de arquitetura é ancestral conforme revela pesquisas realizadas por Porthoghesi (1993) e Rebello (2000) e tocam inúmeros aspectos relacionados à adaptabilidade, economia de recursos, performance estrutural, além de fatores estéticos essenciais para a sobrevivência de muitas espécies como fator de defesa, reprodução e alimentação. Para além

das inúmeras possíveis relações descritas pelos autores, o projeto do Girassol Digital articula-se não apenas com os estudos da biomimética abordados em Benyus (2003) mas também com o campo da biônica, ciência dedicada à investigação de sistemas que apresentam características específicas de sistemas naturais (ARRUDA, 2018) como é o caso do princípio heliotrópico adotado.

## **4 Metodologia**

---

A metodologia utilizada foi inspirada na Design Science Research (Van Aken, 2004) caracterizada por sua natureza prescritiva e projetual com o objetivo de desenvolver soluções práticas ou aprimorar soluções para artefatos e sistemas existentes (Dresch et al., 2015). O propósito desta metodologia é produzir sistemas que ainda não existem, ou que não estão disponíveis ou acessíveis para a realidade e o contexto em que será instalado. Neste sentido, os procedimentos adotados têm objetivo prescritivo e utilizam como suporte fundamental o desenvolvimento projetual. Por meio do projeto, espera-se com esta metodologia desenvolver artefatos que permitam soluções satisfatórias para problemas práticos da realidade externa. Os resultados são avaliados qualitativamente e quantitativamente tendo em vista o desenvolvimento de aplicações e experimentos que permitam não apenas compreender a realidade, mas transformá-la. A aplicação da metodologia inclui três etapas: estruturação do projeto, construção do protótipo e da simulação computacional incluindo ciclos de aprimoramento, e a análise dos resultados. A seguir serão descritos os dois processos de etapa de construção do protótipo e simulação computacional destacando os procedimentos e configurações adotadas.

## **5 Resultados e Discussão**

---

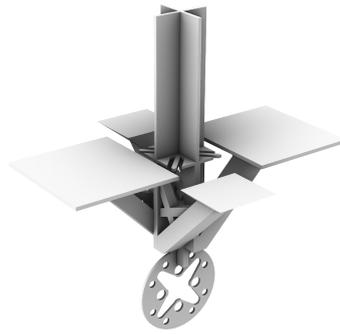
### **5.1. SIMULAÇÃO NO GRASSHOPPER (LADYBUG)**

#### **5.1.1. DEFINIÇÕES**

Uma das etapas de análise da eficiência de produção de energia solar do Girassol foi a simulação digital utilizando o software *Rhinoceros/Grasshopper* e seu Plugin *Ladybug*. O objetivo foi obter dados relacionados à diferença na produção de energia em diferentes situações de exposição à radiação solar. O *Ladybug* é uma extensão do *Grasshopper* que auxilia nas análises ambientais, importando arquivos de informações climáticas para criação de diagramas, cartas solares, análises de radiação, quantidade de insolação em simulações paramétricas (SADEGHIPOUR ROUDSARI M; PAK M; 2013).

Para o desenvolvimento da simulação foi utilizado modelo 3d do equipamento em formato SKP (Sketchup) importado para o software *Rhinoceros* e referenciado no *Grasshopper*. Após o referenciamento foi necessário separar os eixos de rotação, para que o movimento do equipamento fosse semelhante ao movimento do modelo físico. A divisão dos eixos de movimento do equipamento foi reprogramada no *Grasshopper* para atender aos mesmos requisitos do protótipo físico.

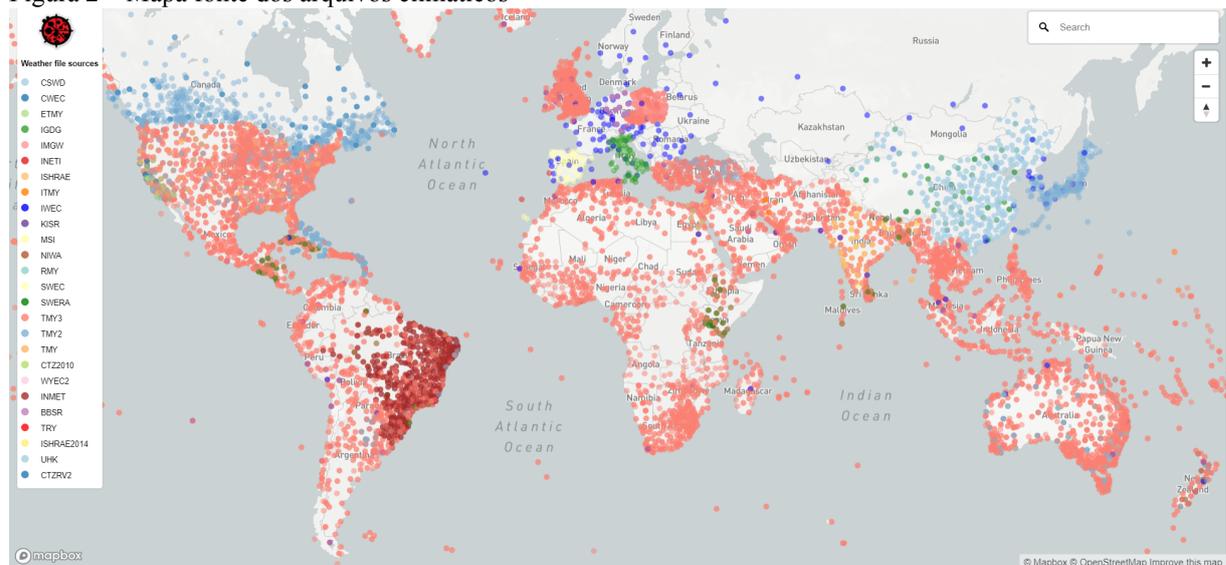
Figura 1 – Modelo 3d utilizado na simulação.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para analisar a quantidade de radiação que as placas solares recebem foi necessário utilizar o arquivo EPW (Energy Plus Weather), um formato que carrega informações climáticas de uma determinada região do planeta para operacionalizar as simulações. No nosso caso, o arquivo EPW escolhido foi do INMET<sup>1</sup>Vitória. Além do INMET, existem outras fontes de dados disponíveis para a maior parte do mundo, como mostra a Figura 1. O arquivo EPW é a base de informações a partir de onde o plugin *Ladybug* retira os dados necessários para cada tipo de análise (SADEGHIPOUR ROUDSARI M; PAK M; 2013).

Figura 2 – Mapa fonte dos arquivos climáticos



Fonte: ladybug.tools. Disponível em: <<https://www.ladybug.tools/epwmap/>>. Acesso em 6 jul. 2021.

Para fazer com que o modelo simulado seguisse a posição solar referente à localização geográfica desejada foi utilizado o componente *SunPath*, que recupera os dados retirados do arquivo EPW e gera um diagrama de carta solar que fornece a posição exata do sol. Essa posição foi utilizada como referência para a orientação do movimento de giro do Girassol, simulando a característica heliotrópica adaptativa do seguidor solar.

Para a análise da radiação incidente nas placas foi utilizado o componente *GencumulativeSkyMtx*. Ele possui uma função denominada *Radiance's GendayMtx* para calcular a radiação para cada hora do dia durante todo o ano. O *GendayMtx* utiliza o *Perez All-Weather Sky Model* (RADIANCE ONLINE, 2013) que é um modelo matemático usado para descrever a quantidade de emissão de luz que passa através ou é refletida em uma

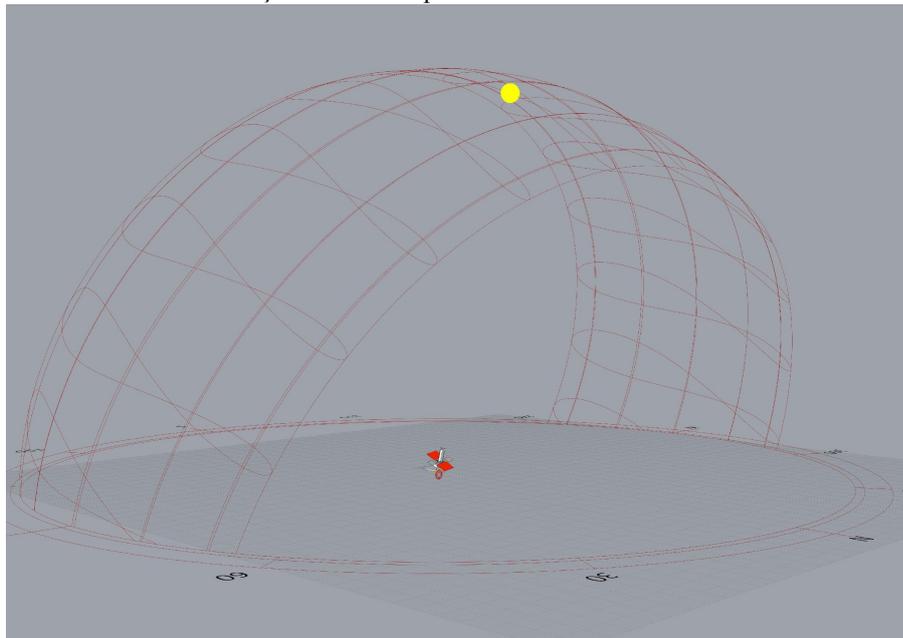
<sup>1</sup> Instituto Brasileiro de Meteorologia

superfície (luminância). Esse é um modelo prático para cálculos relacionados à iluminação diária que é composto por dados reais reunidos em estações climáticas ao redor do mundo.

Com o emprego do componente *SelectSkyMtx* foi possível separar o período de análise de acordo com um horário, dia e mês específicos. Essa etapa foi muito importante na realização da simulação porque trouxe definições precisas para os momentos em que seriam realizados os cálculos.

O componente *Radiation Analysis* permitiu calcular em Kwh (Quilowatt-hora) a quantidade de radiação que chega até as placas solares do modelo simulado em um recorte específico de insolação definido pelo componente *SelectSkyMtx* em conjunto com o direcionamento do Girassol para a posição solar com base no SunPath como mostra a figura 3.

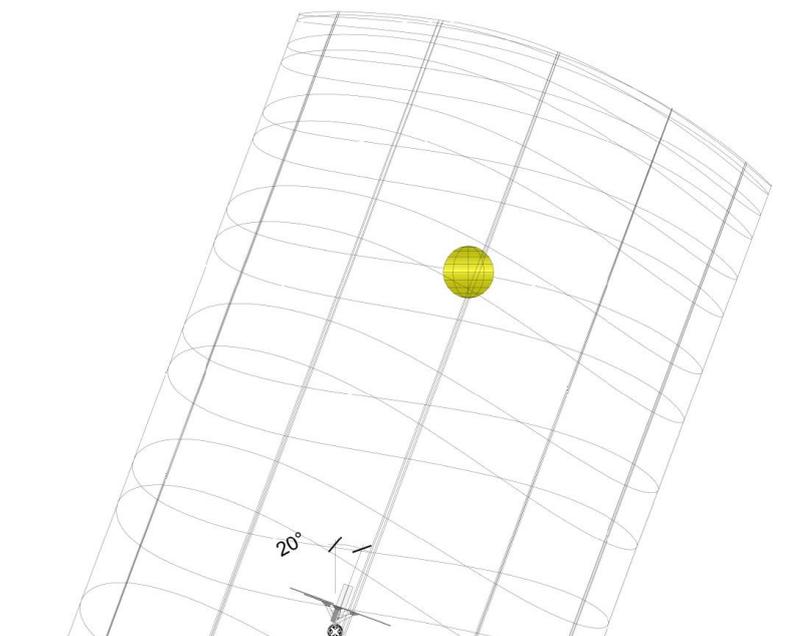
Figura 3 – Ambiente virtual de simulação com o componente SunPath ativo e o modelo 3d.



Fonte: Produção do próprio autor.

O procedimento foi realizado das oito às dezoito horas dos solstícios e equinócios de verão e inverno. Primeiramente foi realizada a simulação com o equipamento em funcionamento, ou seja, seguindo a posição solar. Em seguida, nas mesmas datas, foi realizada a coleta de dados com o equipamento fixo com a inclinação das placas em 20 graus voltadas para o Norte como mostra a figura 4. Esta é a configuração padrão utilizada na instalação de placas solares em Vitória e região próxima.

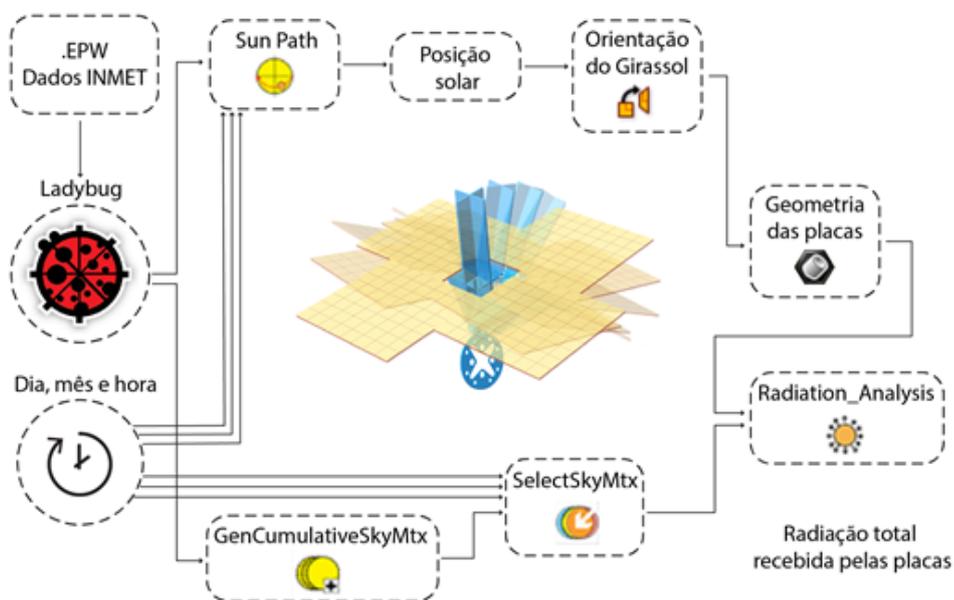
Figura 4 – Padrão de inclinação comum para placas fixas utilizado na simulação.



Fonte: Produção do próprio autor.

Segundo Sousa (2010?), os solstícios e equinócios são fenômenos que ocorrem devido ao movimento de translação do planeta e que gera consequências na quantidade de horas de Sol que recebemos. Por exemplo, durante os solstícios um hemisfério recebe mais luz solar do que o outro, devido ao ângulo de inclinação da Terra em relação ao seu eixo. Com essa diferença na incidência de raios solares o dia fica mais longo que a noite no solstício de verão no hemisfério Sul, que ocorre no dia 21/12. No caso do solstício de inverno, que ocorre no dia 21/06, as noites ficam mais longas. No caso dos equinócios de outono e primavera, que ocorrem geralmente nos dias 21/03 e 23/09, os dias e noites têm duração semelhante, com 12 horas cada, recebendo a mesma quantidade de luz.

Figura 5 – Diagrama ilustrativo da programação desenvolvida no *Grasshopper*.



Fonte: Produção do próprio autor.

A energia solar fotovoltaica é produzida a partir da corrente elétrica (fluxo de elétrons) gerada pela radiação solar ao atingir os módulos fotossensíveis. Quanto maior a radiação solar incidente nas placas solares, maior será a energia elétrica produzida (COPPE, 2017). Com base nessa informação, podemos utilizar os dados quantitativos de radiação incidente coletados na simulação para determinar se o Girassol produziria mais ou menos energia ao ser comparado com uma placa fixa.

### 5.1.2. COLETA DOS DADOS

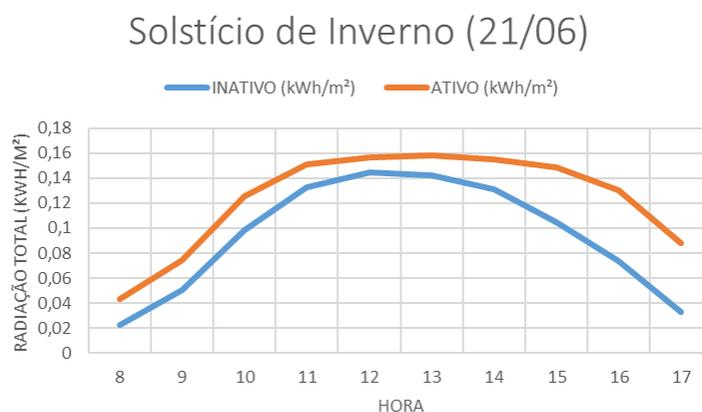
Após a coleta dos dados da simulação foram elaborados gráficos comparativos sobre os resultados gerados pelo equipamento em modo ativo e inativo, na data dos solstícios e equinócios. Já era de se esperar que os dados da simulação mostrariam um valor maior na quantidade de radiação recebida nas placas do equipamento ativado, no entanto, o objetivo da pesquisa é conseguir definir quanto maior seria esta radiação recebida e qual a porcentagem a mais de corrente gerada seria obtida.

Nos casos do equinócio de primavera e solstício de inverno, as curvas dos gráficos são mais constantes, sem grandes picos ou quedas. Os gráficos do solstício de verão e equinócio de outono apresentaram grandes variações a cada hora observada. Os valores coletados no solstício de verão apresentam médias maiores de radiação total em relação às outras datas. No geral, é possível afirmar que o equipamento ativado se mostrou mais eficiente na coleta de radiação durante a maior parte do dia nas datas simuladas. Neste sentido, parece razoável considerar, com base na análise dos dados coletados, que o seguidor solar geraria mais energia que um sistema de placas fotovoltaicas fixas.

Para melhor entendimento do real aproveitamento que o seguidor solar obteve em relação a um sistema fixo, os gráficos apresentados a seguir indicam o comparativo entre a quantidade de radiação ( $\text{kWh/m}^2$ ) ao longo do dia para ambos os sistemas, ativo e inativo.

No solstício de inverno, representado no gráfico abaixo, é possível reparar que o melhor aproveitamento do sistema ocorre no período da tarde. Nos demais horários a radiação recebida pelo seguidor solar se mostrou muito próximo com os sistemas fixos, embora com pequena margem de melhoria na performance.

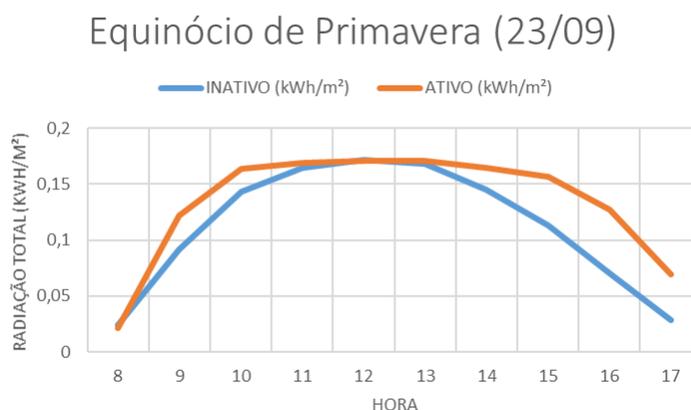
Gráfico 1 – Radiação total recebida pelas placas na data do solstício de Inverno.



Fonte: Produção do próprio autor.

No caso do equinócio de primavera, representado no gráfico abaixo, o dia tem a mesma duração da noite. Neste caso, a quantidade de radiação incidida e convertida em corrente se mostrou ligeiramente superior nas horas iniciais do dia. No período de 11 às 13 horas não houve diferença, mas das quatorze horas em diante houve um aumento de radiação considerável, passando do dobro de radiação na última hora.

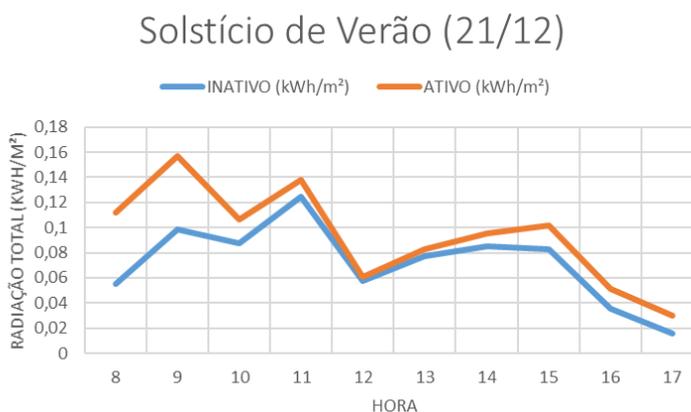
Gráfico 2 – Radiação total recebida pelas placas na data do equinócio de Primavera.



Fonte: Produção do próprio autor.

No gráfico seguinte é demonstrado os dados para o solstício de verão. Neste caso, os valores se mostraram semelhantes aos levantados no solstício de inverno, com valores consideravelmente maiores no começo do dia e levemente maiores ao final do dia. Durante o intervalo das 11 às 13 horas os valores foram praticamente iguais para ambos os sistemas.

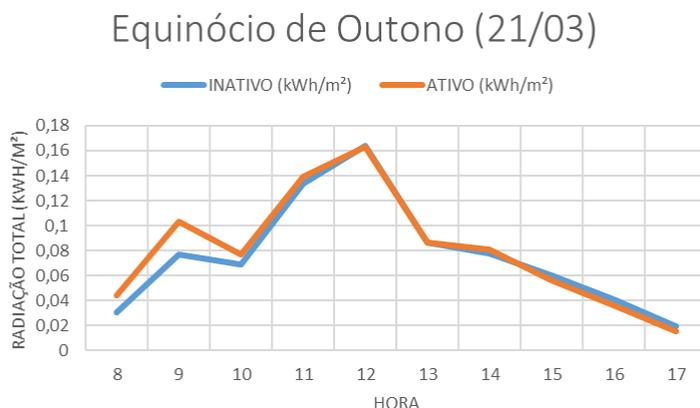
Gráfico 3 – Radiação total recebida pelas placas na data do solstício de Verão.



Fonte: Produção do próprio autor.

No gráfico 4 é mostrado os valores para o equinócio de outono. Nesta situação houve incremento na radiação recebida apenas nas horas iniciais da manhã, no período entre 8 e 11 horas. Nas horas subsequentes à radiação recebida pelas placas é relativamente igual ao sistema inativo.

Gráfico 4 – Radiação total recebida pelas placas na data do equinócio de Outono.



Fonte: Produção do próprio autor.

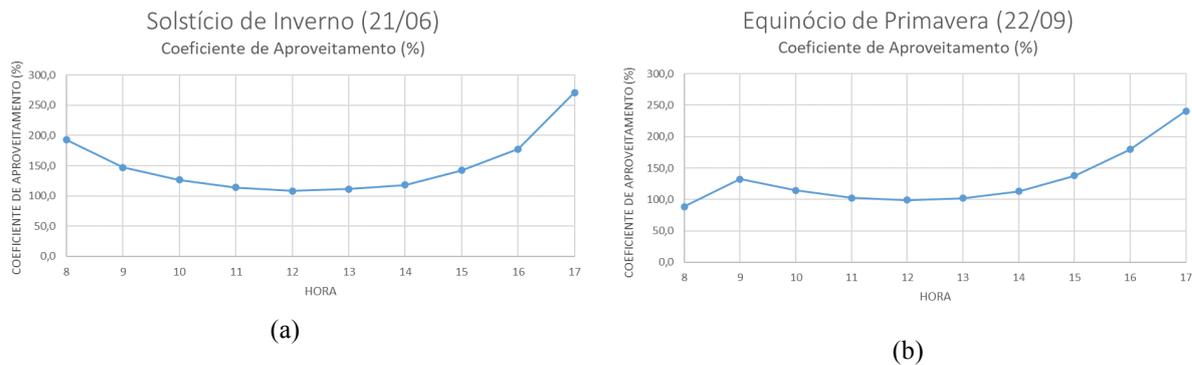
### 5.1.3. ANÁLISE DOS DADOS: COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO

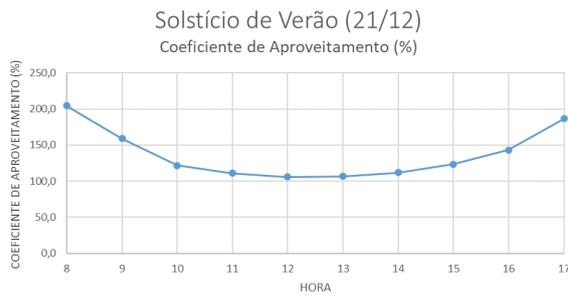
O coeficiente de aproveitamento é a proporção no ganho de radiação total nas placas, medidos em kWh/m<sup>2</sup>, entre o sistema ativo ( $Rd_{ativo}$ ) e o sistema inativo ( $Rd_{inativo}$ ), em porcentagem. O cálculo realizado considerou os valores coletados pelo sistema inativo como sendo 100% do recebimento de luz em cada dia, e os relacionou diretamente com os valores coletados pelo sistema ativo para descobrir o coeficiente de aproveitamento do sistema ativo ( $Coef_{aprov}$ ), como mostrado na equação (1).

$$Coef_{aprov}(\%) = \frac{100 \times (Rd_{ativo})}{(Rd_{inativo})} \quad (1)$$

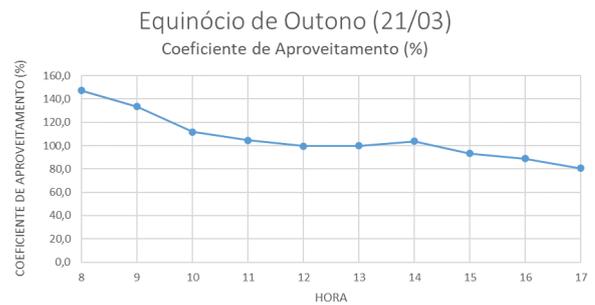
O resultado obtido pelo cálculo foi a quantidade de radiação total a mais recebida pelas placas do sistema ativo em porcentagem, sendo qualquer acréscimo aos 100% do sistema inativo, interpretado como o maior aproveitamento do sistema ativo. Segue abaixo os quatro gráficos relativos ao coeficiente de aproveitamento para cada período do ano escolhidos para análise.

Figura 6 – Coeficiente de aproveitamento do sistema ativo para (a) solstício de Inverno, (b) equinócio de Primavera, (c) solstício de Verão e (d) equinócio de Outono.





(c)

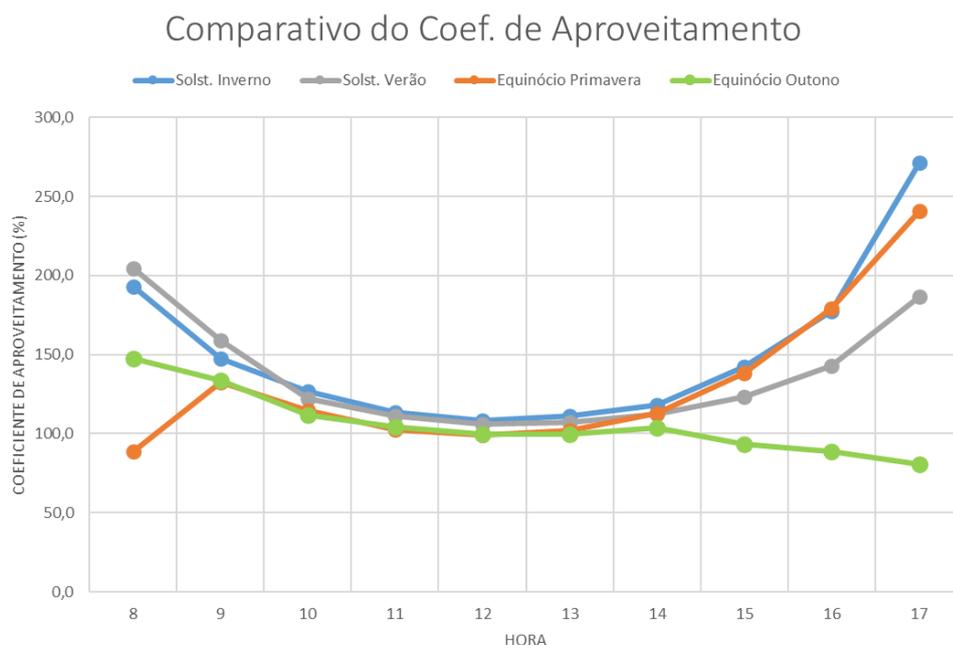


(d)

Fonte: Produção do próprio autor.

Reunindo os valores dos coeficientes de aproveitamento de cada data no gráfico 5. Observamos que nos períodos iniciais dos dias, entre oito horas e dez horas, e nas horas finais do dia, entre quatorze horas e dezessete horas, o coeficiente de aproveitamento foi maior no sistema ativo do que em relação ao sistema fixo. No período do meio-dia, entre onze e treze horas, o coeficiente de aproveitamento apresentou, em todos os casos, valores equivalentes ao sistema inativo. Essa semelhança de valores, se deu devido a posição em que a placa fixa é normalmente usada ser equivalente a posição do sistema ativo no período de meio dia. Durante as simulações o sistema ativo se mostrou muito eficiente para melhorar a captação de luz solar, principalmente nas horas iniciais e finais do dia. Entretanto, não é possível afirmar que o coeficiente de aproveitamento é fielmente proporcional a quantidade de energia gerada, pois esse trata-se da relação entre a quantidade de radiação recebida pelas placas e não da quantidade de energia gerada.

Gráfico 5 – Comparativo dos coeficientes de aproveitamento para as datas analisadas.



Fonte: Produção do próprio autor.

#### 5.1.4. ANÁLISE DOS DADOS: RETORNO DO INVESTIMENTO

Para comparar a relação entre o tempo de retorno do investimento de um sistema de placas solares fixo e o girassol, utilizamos como base dados retirados da fonte WA SOLAR, uma empresa que trabalha com energia solar, que afirma que uma casa com cinco moradores precisaria de um sistema de placas fotovoltaicas que gerasse 380kWh/mês, o que daria um investimento estimado de R\$18.000,00. Para calcular o tempo de retorno do investimento (*payback*) em um sistema fixo, utilizamos o valor do kWh cobrado pela EDP, concessionária de energia elétrica da cidade de Vitória, no mês de julho de 2021, em que cada kWh custa R\$ 0,557. O valor de 380KWh multiplicado por 0,557 resulta em um valor mensal básico de **R\$211,66**.

É importante destacar que sobre o valor do consumo são acrescidas inúmeras taxas, tais como: tributos PIS, COFINS, ICMS, contribuição para iluminação pública, adicional Bandeira Vermelha, taxas de transmissão, distribuição e encargos setoriais. Uma conta de energia para um gasto de 380KWh daria um valor de R\$337,10<sup>2</sup>. Uma conta zerada ainda seria tarifada com a contribuição para iluminação pública e adicional bandeira vermelha, ou seja, R\$19,93. Neste sentido, a economia mensal de um sistema fotovoltaico fixo que produzisse toda a energia necessária para uma residência seria, para este padrão, de **R\$317,17**.

Considerando o investimento inicial de R\$18.000,00 e a economia de R\$317,17 mensais, obteve-se um total de 56 meses (4 anos e 8 meses) para ter o retorno do investimento com um sistema fixo que conseguisse produzir 380KWh/mês.

A média de aproveitamento do Girassol em relação a um sistema fixo foi calculada realizando uma média com base nos resultados parciais dos coeficientes de aproveitamento obtidos na simulação, e o resultado foi um ganho de 31% com o sistema ativo, em condições ideais de exposição solar. Isso significa que se o mesmo sistema fixo adotado pudesse ser convertido para sistema ativo (seguidor solar) sua produção de energia subiria de 380kWh/mês para 499kWh/mês. Considerando o acréscimo na produção de energia o valor na economia mensal subiria de R\$ 317,17 mensais para R\$383,73 mensais, reduzindo o tempo de retorno do investimento para 47 meses (3 anos e 10 meses) de acordo com o quadro 1.

Quadro 1 – Relação para retorno financeiro entre um sistema fixo e girassol.

FIXO		GIRASSOL	
Investimento (R\$)	18000	Investimento (R\$)	18000
Energia gerada (kWh/mês)	380	Média de aproveitamento (%)	31,45
Valor do kWh (R\$)	0,557	Energia gerada (kWh/mês)	499,51
Valor da conta mensal	211,66	Valor da conta mensal	278,23
Valor da conta mensal + Impostos	317,17	Valor da conta mensal + Impostos	383,73
Meses para retorno	56,75	Meses para retorno	46,91
Anos para retorno	4,73	Anos para retorno	3,91

Fonte: Produção do próprio autor.

<sup>2</sup> PIS:  $177,99 \times 1,11\% = R\$1,98$ , COFINS:  $177,99 \times 5,11\% = R\$9,09$ , ICMS:  $211,66 \times 25\% = R\$52,92$ , adicional Bandeira Vermelha: R\$13,00, transmissão: R\$9,34, distribuição: R\$21,27, encargos setoriais: 10,91, contribuição de iluminação pública: R\$6,93

De outra perspectiva, é possível considerar que se um sistema fixo menor e mais barato, capaz de produzir 290kWh/mês fosse convertido para seguidor solar sua produção de energia poderia chegar aos mesmos 380kWh/mês. Neste caso, se o valor deste modelo mais compacto fosse proporcionalmente (31%) mais barato, o investimento total seria de apenas R\$12.420,00 e o tempo de retorno do investimento reduziria de 56 meses para 39 meses (3 anos e 3 meses) de acordo com o quadro 2.

Quadro 2 – Investimento menor: relação para retorno financeiro entre um sistema fixo e girassol.

FIXO		GIRASSOL	
Investimento (R\$)	12420	Investimento (R\$)	12420
Energia gerada (kWh/mês)	290	Média de aproveitamento (%)	31,45
Valor do kWh (R\$)	0,557	Energia gerada (kWh/mês)	381,21
Valor da conta mensal	161,53	Valor da conta mensal	212,33
Valor da conta mensal + Impostos	267,04	Valor da conta mensal + Impostos	317,84
Meses para retorno	46,51	Meses para retorno	39,08
Anos para retorno	3,88	Anos para retorno	3,26

Fonte: Produção do próprio autor.

É importante considerar que existem outros custos não computados na simulação, como os gastos energéticos do próprio sistema ativo para movimentação e ativação dos sensores fotossensíveis, que podem diminuir o valor de retorno financeiro. Outro fator é a conversão de um sistema fixo em sistema ativo também tem um custo que não foi computado aqui porque o protótipo utilizado foi executado em escala reduzida com equipamentos mais baratos em função da baixa voltagem, como controladores Arduino e componentes eletrônicos básicos. No entanto, para um sistema de escala ampliada o gasto com componentes seria consideravelmente maior.

## 5.2. PROTÓTIPO FÍSICO

### 5.2.1. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE DADOS

A estrutura utilizada para a produção do protótipo responsivo foi composta pelos seguintes equipamentos: 01 placa Arduino UNO, 01 protoboard, 02 motores de passo e peças desenvolvidas em softwares de modelagem e impressas em 3d. Este protótipo já foi objeto de desenvolvimento em outras etapas da pesquisa, sofreu atualizações e encontra-se com configuração visível na Figura 6. Este protótipo incorpora todas as características para o desenvolvimento do sistema responsivo em termos do funcionamento dos sensores, motores e programação de controle. No entanto para a medição das voltagens geradas pelas placas fotovoltaicas foi elaborado um novo sistema com a finalidade de comparar as diferenças de rendimento entre modelos fixos e o seguidor solar. Para a realização deste novo sistema (Figura 6) foram utilizados os seguintes equipamentos: 01 módulo fotovoltaico de 20 watts, dimensões (40 x 15 cm), 01 multímetro e estruturas de suporte impressas em 3D (PLA cor preta).

O processo de avaliação comparativa da performance entre o sistema ativo considerou a diferença de energia gerada (corrente elétrica) em volts produzida pelo módulo fotovoltaico ao longo de um período de 9 horas em intervalos de 15 minutos. As análises foram realizadas em duas situações: com o seguidor solar em funcionamento e com o sistema estático na orientação mais recomendada pelos fabricantes (angulação adotada em função da latitude). Em Vitória, usou-se 20 graus de inclinação. Os resultados podem ser visualizados no Quadro 03.

Figura 6 – Imagem do protótipo responsivo (esquerda) e protótipo de avaliação de performance (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 3 – Registro dos valores de corrente elétrica produzidos (volts) no sistema ativo e inativo.

h / Sistema	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15
ATIVO	22.4	22.1	22.2	22.2	22.0	22.2	22.2	22.2	21.7	21.6	21.6	21.5	21.3	21.1
INATIVO	6.2	6.4	6.8	20.7	20.6	21.6	21.5	21.6	21.3	21.2	21.3	21.2	21.1	21.0
Ganho %	+361	+345	+326	+7,24	+6,79	+2,77	+3,25	+2,77	+1,87	+1,88	+1,40	+1,41	+0,94	+0,47
h / Sistema	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45
ATIVO	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1
INATIVO	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
Ganho %	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47
h / Sistema	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15
ATIVO	22.1	21.8	22.1	22.2	21.9	21.7	21.6	21.7	21.5	21.2	20.8	x	x	x
INATIVO	21.8	21.6	21.8	21.8	21.4	21.1	20.9	20.9	20.7	20.2	6.8	x	x	x
Ganho %	+1,37	+0,92	+1,37	+1,83	+2,33	+2,84	+3,34	+3,82	+3,86	+4,95	+305	x	x	x

Fonte: Produção do próprio autor.

Após a coleta das informações foram geradas análises comparativas que podem ser visualizadas nos gráficos abaixo:

Gráfico 6 – Dados comparativos (esquerda) e Coeficiente de Aproveitamento (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

## **6 Conclusões**

---

Os resultados obtidos com as simulações mostraram que há uma correspondência entre os resultados apresentados no modelo físico e no modelo computacional. Ambas simulações indicam que o seguidor solar apresenta um ganho de rendimento bastante relevante nos horários do início e final dos momentos de sol ao longo do dia. Nestes horários o ganho de performance pode chegar a mais de 360%. No entanto, durante a maior parte dos momentos de sol ao longo do dia, o ganho de rendimento do girassol foi, em média, baixo em comparação com o sistema fixo, com uma alteração máxima em torno de 5%.

No caso da simulação computacional, identificou-se aproveitamento considerável utilizando o Girassol, reduzindo o tempo de retorno financeiro de 4 anos e 8 meses para 3 anos e 10 meses, tomando como referência investimento inicial de dezoito mil reais. Tal dado se mostra muito relevante visto que o custo financeiro é um dos principais empecilhos para se aderir aos sistemas fotovoltaicos. A diminuição do tempo de retorno pode ser um incentivo para se expandir o uso de energias renováveis.

A simulação computacional nos forneceu dados experimentais muito relevantes para análise de eficiência do Girassol. Porém, é importante ressaltar que durante os cálculos de retorno do investimento financeiro não foram computados: os gastos relacionados à montagem do protótipo, os gastos energéticos de funcionamento do próprio sistema (para realizar o movimento de seguir a luz solar), e as alterações atmosféricas e meteorológicas (em períodos de dias nublados e chuva), que provavelmente reduziram a produção energética.

Outro fator relacionado à simulação é que os dados obtidos não dizem respeito à quantidade de energia produzida, mas da quantidade de radiação recebida pelas placas, sendo a quantidade de energia produzida dependente de outros fatores, como o tipo da placa fotovoltaica. Todos os fatores citados acima resultariam em descontos que afetariam o tempo final para retorno do investimento. Independente disso, é provável que o sistema seja mais viável para melhorar o aproveitamento de placas fotovoltaicas se comparado com um sistema fixo.

A programação da simulação computacional pode ser aprimorada para fornecer a quantidade de energia produzida pelas placas de acordo com o seu tipo e tamanho, o que pode ajudar a ter resultados mais próximos da realidade mesmo que realizados em ambiente ideal de simulação

O protótipo do Girassol, devido a sua escala e seu motor frágil, limitou os experimentos por não suportar o peso das placas solares. Em projetos futuros, a realização integral da coleta de dados em um único protótipo necessitará, de motor mais potente que sustente o peso das placas solares e permitam realizar o movimento heliotrópico de maneira satisfatória.

### **2. Agradecimentos**

---

Agradecemos o apoio financeiro recebido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) relativo a bolsa de Iniciação Científica e o apoio financeiro da FAPES (Fundação de Apoio à Pesquisa no Espírito Santo).

### 3. Referências Bibliográficas

---

SADEGHIPOUR ROUDSARI, Mostapha; PAK, Michelle, 2013. **Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create na environmentally-conscious design.** In: Proceedings of the 13th international IBPSA Conference Held in Lyon, France Aug 25-30th. Disponível em: <[http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p\\_2499.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2499.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2021.

**GENDAYMTX. RADSITE Radiance-online.org,** 2013. Disponível em: <<https://www.radiance-online.org/learning/documentation/manual-pages/pdfs/gendaymtx.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

SOUSA, Rafaela. “Solstício e equinócio”; **Brasil Escola.** [S.l] [2010?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/solsticios-equinocios.htm>>. Acesso em 03 jul. 2021.

RAMOS, Richard et al. **Girassol autômato: desenvolvendo um dispositivo robótico utilizando a plataforma Arduino para otimização do aproveitamento de energia solar.** 2020. Disponível em: <<http://sistemaolimpico.org/midias/uploads/7cfc52da517e0ff0f33e4da4f2a437db.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

COPPE, **Efeito Fotovoltaico.** 1. Disponível em: <<http://www.solar.coppe.ufrj.br/efeito/index.htm>>. Acesso em 08 mar. 2021

#### METODOLOGIA

Dresch, A., Lacerda, D., Miguel, P. (2015) **A Distinctive Analysis of Case Study, Action Research and Design Science Research.** *Revista brasileira de gestão de negócios*, Vol.17(56), pp.1116-1133

Van Aken, J., Chandrasekaran, A. and Halman, J. (2016), **Conducting and publishing design science research.** *Journal of Operations Management*, 47-48: 1-8.

#### CONCEITOS

Ramos, R.; Domingues, Q.; Ricardi, F.; Hübler, P; Bertagnolli, S. (2020) **Girassol Autômato: desenvolvendo um dispositivo robótico utilizando a plataforma arduino para otimização do aproveitamento de energia solar.** [online]. Disponível em: <http://sistemaolimpico.org/midias/uploads/7cfc52da517e0ff0f33e4da4f2a437db.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

Benyus, J. M. (2003) **Biomimética: Inovação inspirada pela natureza.** 1ª ed. São Paulo: Editora Cultrix. (APA)

Pangaro, P.; Dubberly, H. (2011) **Introduction to Cybernetics and the Design of Systems.** Disponível em: [https://www.pangaro.com/CUSO2014/Cybernetics\\_Book\\_of\\_Models-v4.6b-complete.pdf](https://www.pangaro.com/CUSO2014/Cybernetics_Book_of_Models-v4.6b-complete.pdf). Acesso em: 17 out 2020.

Portoghesi, P. (1993). **Natura e Architettura.** Itália: Skira.

Rebello, Y. (2000). **A Concepção Estrutural e a Arquitetura.** São Paulo: Zigurate

Arruda, A. (2018). **Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza.** São Paulo: Editora Edgar Blucher