

## Projeto para seguidor solar utilizando plataforma Arduino e impressão 3D

### Identificação:

Grande área do CNPq.: Ciências Sociais Aplicadas

Área do CNPq: Arquitetura e Urbanismo

Nome do grupo de pesquisa: Conexão Vix

Título do Projeto: Integrando Fabricação digital e táticas de projeto centrado-na-ação

Professor Orientador: Prof. Dr. Bruno Massara Rocha

Estudante PIBIC/PIVIC: Paulo Henrique Gobeti Calenzani

### Resumo:

*O presente trabalho parte de um subprojeto anterior cuja função foi a de programar um código através de Arduino para que quatro foto-resistores transferissem uma informação sobre a intensidade luminosa captada. A partir dessa informação, um comando seria enviado até dois servos motores para que movimentassem uma estrutura que seguisse essa luminosidade. O objetivo é que ao seguir a luminosidade, os sensores foto-resistores acoplados à estrutura sempre se mantenham expostos a uma determinada quantidade de luz pré-determinada. Só que o primeiro subprojeto possuía apenas o objetivo de formar o código.*

*O objetivo dessa fase passa a ser outro: o de fazer com que a realidade corresponda a esse código. Foi modelado, portanto, todo um aparato estrutural: o Seguidor Solar Girassol. Essa modelagem incluía criar uma estrutura que permitisse que os sensores seguissem o Sol corretamente, que juntasse as peças de Hardware e que as protegesse e permitisse seu transporte. Além disso também cabia a esse subprojeto fazer possíveis reparos ao código.*

*O subprojeto termina cumprindo suas funções e permitindo que o Projeto Girassol capte e siga a iluminação. Está pronto então para sua fase final que é a de receber seus últimos ajustes para seguir a rota solar com precisão.*

**Palavras chave:** Energia solar, seguidor solar, impressão 3D, design paramétrico, Arduino, programação.

## 1 – Introdução

Diante do profundo esgotamento e desgaste do planeta, devido à forma pouco global na maneira como se produz e utiliza energia elétrica (em que se busca apenas resolver o problema local por demanda, sem considerar os impactos provocados no restante do ecossistema), mais e mais necessária se faz a migração para fontes de energia renováveis e limpas.

Com o passar dos anos, várias alternativas às fontes de energia esgotáveis foram buscadas mundialmente. No Brasil, historicamente, se utiliza como principal matriz energética uma de fonte renovável: a hidroeletricidade proveniente de usinas hidrelétricas, que se mostrou um enorme sucesso graças às enormes bacias hidrográficas aqui presentes. Apesar disso, esta possui um grande inconveniente, o gigantesco impacto socioambiental ocasionado nas regiões em que é implantada (como nos famosos casos de Sobradinho e a recentemente implantada Usina de Belo Monte). Trata-se de um sistema que requer enorme infraestrutura. Acrescenta-se ainda aos seus contras, o problema de eventuais secas prolongadas que diminuem radicalmente a sua capacidade.

Seria então mais que bem-vindo para o caso do Brasil, um país em que as taxas de crescimento populacional só aumentam e, portanto, também a demanda por geração de energia, outras fontes que fizessem uso de recursos renováveis.

Dentre algumas das mais utilizadas e convenientes que poderiam ser adotadas, temos a eólica, solar, de biomassa e maremotriz.

A eólica é inesgotável e limpa, não emite gases poluentes e nem gera resíduos. No entanto possui o inconveniente da intermitência dos ventos e de contar necessariamente com a utilização de grandes áreas planas e inóspitas, devido ao desconforto sonoro por ela produzido. Segundo o Portal Energia (2015) no artigo “Vantagens e desvantagens da energia eólica”, as casas mais próximas devem ficar no mínimo a 200 metros da área.

A maremotriz possui como vantagem a grande constância e como desvantagens o alto custo de construção, manutenção, grande infraestrutura exigida e a rápida depreciação das instalações devido à água do mar.

A de biomassa não é tão limpa quanto as outras. E dependendo do uso pode causar impactos ambientais como desmatamento e até chuvas ácidas (no caso dos biocombustíveis líquidos).

Já a solar, dentre todas, é a que mais e obtém investimentos ao longo dos anos. Segundo dados da ONU “O mundo instalou um recorde de 98 gigawatts (GW) de nova capacidade solar, um aporte mais alto que o das demais tecnologias. As outras fontes renováveis agregaram 59 GW em conjunto, as usinas de carvão, 35 GW, as de gás, 38 GW, as de petróleo, 3 GW, e a energia nuclear contribuiu com 11 GW de capacidade de geração.” (NAÇÕES UNIDAS, 2017).

De acordo com um estudo publicado pela World Energy Council (2007), em 2100, 70% da energia consumida será de origem solar.

Um outro dado interessante, segundo Nathan S. Lewis e Daniel G. Nocera (2006) é o de que o total de energia solar absorvida pela atmosfera terrestre, oceanos e as massas de terra é de aproximadamente 3.850.000 exajoules (EJ) por ano. Em 2002, isto equivalia a mais energia em uma hora do que a humanidade usa em um ano.

Além de seu potencial, ela é limpa, não polui durante seu uso, as centrais necessitam de mínima manutenção e não necessita necessariamente de grandes infraestruturas (podendo ser instalada em residências, gerando energia de graça).

Com os estudos, a potência dos painéis solares vem crescendo enquanto os seus custos cada vez mais decaem. Além dos grandes centros urbanos, é uma excelente alternativa também para lugares remotos.

Em um país como o Brasil ela é viável em praticamente todo o território. Mesmo com a forma mais tradicional de utilização da mesma: a dos painéis estáticos.

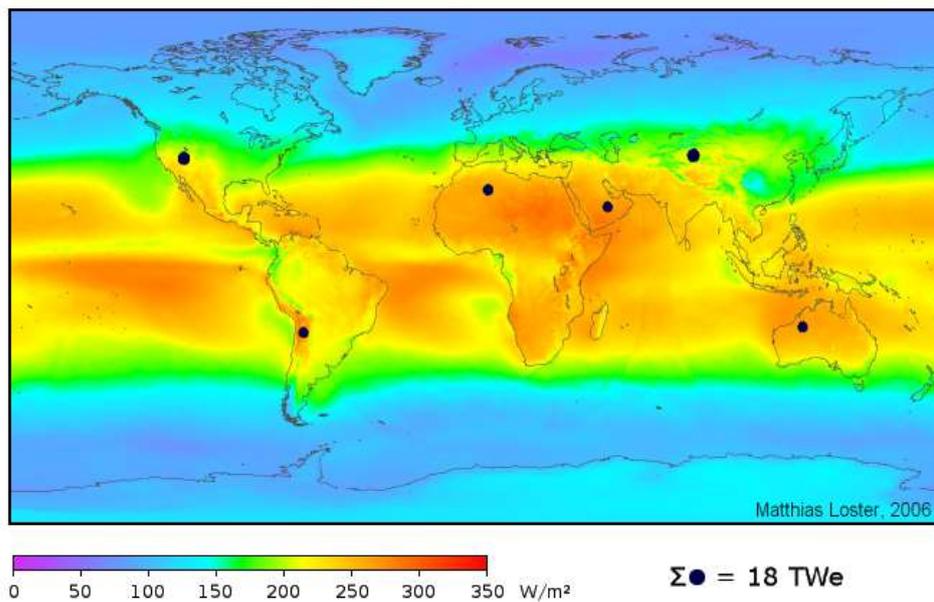


Figura 1. Distribuição de energia solar no globo, os círculos pretos representam a área necessária para suprir toda a demanda de energia do planeta Terra, Matthias Loster, 2010. Fonte: ez2c [site].

Entretanto, ela possui como sua principal desvantagem a intermitência na produção de acordo com a situação climática, como nuvens e o próprio movimento solar que faz com que os painéis estáticos rendam bem em determinados momentos do dia e muito pouco em outros.

Visando justamente consertar boa parte deste problema, aumentando a produtividade, eficiência e custo benefício do sistema. Iniciou-se o projeto da construção do Seguidor Solar Girassol. Um protótipo que utilizando programação em Arduino, busca criar um sistema que acompanhe o movimento do Sol. Deixando sempre os, futuramente instalados, painéis fotovoltaicos expostos ao mesmo, nunca obstruídos pela sombra.

Como afirmado em matéria no Portal Solar “Sistemas com seguidores solares geram mais energia do que os sistemas fixos. Isto ocorre devido ao aumento da exposição direta aos raios solares, esse ganho pode alcançar valores de 25 a 45%.” (PASSOS).

Faricelli atesta o mesmo através do seguinte gráfico:

Gráfico 1 - Comparação entre painel fotovoltaico seguidor solar (2 eixos) e estático.<sup>1</sup>

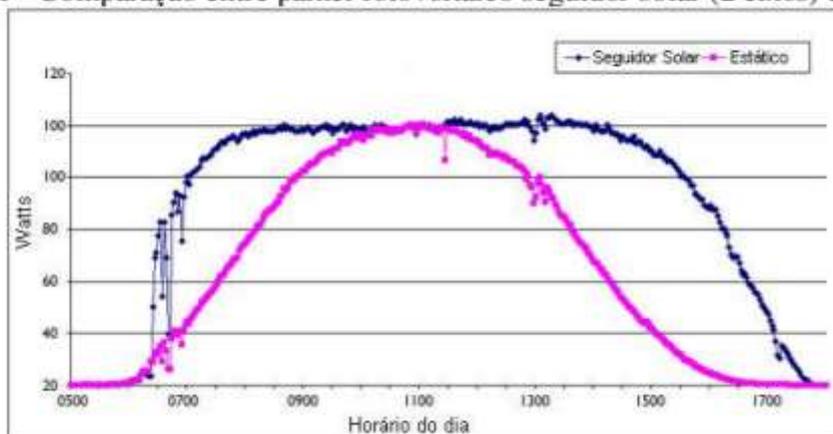


Figura 2. Adaptado por Faricelli de estudo feito pela Solartrax, C.F. Faricelli. Fonte: USP [site]

Buscou-se então realizar um projeto eficiente, que se utilizasse de código aberto e posteriormente ficasse disponível para pós-produção de terceiros. E que fosse construído com muitas técnicas e materiais que estivessem a mão, segundo a estratégia projetual *ad-hoc*.

## 2 – Objetivos

O Objetivo Geral é a criação do Seguidor Solar Girassol e seu perfeito funcionamento, seguindo corretamente a rota do Sol.

O objetivo do Subprojeto é o desenvolvimento físico do receptor e os primeiros testes e ajustes conferindo se o mesmo segue livremente os raios de iluminação utilizados para testá-lo. Além de deixa-lo preparado para a próxima etapa que é a de testes em campo, fazendo ajustes para que o Seguidor cumpra seu objetivo final de acompanhar o movimento solar.

## 3 – Metodologia

A metodologia utilizada é derivada dos ideais e métodos de ação e reflexão do Grupo de Estudos Experimentais Conexão VIX.

Como referência ao método de reflexão-em-ação utiliza-se o trabalho de Donald Schon. Além do *do-it-yourself*, o código aberto, a inteligência intuitiva na prática projetual, a improvisação, o *form-finding*, a modelagem paramétrica e a observação *in loco*.

Dentre o material utilizado, tem-se a parte de *hardware* composta por: circuitos Arduino UNO, bateria, dois servos motores Piezo, e quatro captadores de iluminação (foto-resistores).

A parte de software possibilitou a modelagem através dos programas SketchUp, Rhinoceros (e seu plug-in Grasshopper), além do aplicativo de programação do Arduino.

O desenvolvimento conceitual das estruturas e componentes deu-se através de esboços livres feitos à mão acompanhados por um estudo mais detalhado das medidas através do software Sketchup 2017. Após serem desenvolvidas as maquetes eletrônicas, estas eram convertidas do formato skb (do sketchup) para o stl (objeto virtual tridimensional reconhecido pelo software Repetier Host responsável por fazer a preparação do arquivo gcode de impressão) e, finalmente, impressão com filamento ABS.

No processo de feitura do invólucro, a parte de desenvolvimento conceitual era feita dentro do próprio software Rhinoceros, junto com o plug-in Grasshopper. Os arquivos eram salvos em 3dm (com a modelagem) e gh (com o código). Posteriormente os arquivos em 3dm eram convertidos ao formato stl para serem impressos.

Da parte concernente à impressão 3D, têm-se a Impressora 3D Machine ONE e seus filamentos em PLA.

#### **4 – Resultados e Discussões**

O trabalho se constitui como uma continuação do subprojeto anterior, cujo objetivo foi criar o código em Arduino que permitisse que os micros sensores captassem uma informação (a da intensidade luminosa), transmitissem até o microprocessador Arduino, esse a decifrasse e respondesse em forma de algum comando (dos vários possíveis). Por exemplo: se os sensores de luminosidade (foto-resistores) estivessem captando uma luminosidade insuficiente, segundo a programação, o Arduino daria o comando para que estes se movimentassem até encontrarem a luminosidade adequada. Mas este processo terminava aí, no envio da ordem que ainda não podia ser seguida. Este subprojeto foi realizado pelo aluno Arthur Pizetta como uma atividade complementar, sob a orientação do Prof. Dr. Bruno Massara Rocha.

O objetivo do novo subprojeto é justamente o de fazer com que a parte programática ganhe o mundo físico. Que os sensores estejam na disposição adequada para não falharem ao captar a informação, e que o modelo físico (o Seguidor Solar Girassol) consiga obedecer perfeitamente a ordem que lhe é transmitida. Além disso, claro, se novos ajustes fossem necessários ao código, estes também entrariam no escopo desta etapa.

A nova fase se iniciou com uma revisão dos equipamentos de *hardware* presentes, assim como seu funcionamento. E uma avaliação das possibilidades geradas pela impressão em 3D, neste caso uma máquina Machine One com filamentos ABS e PLA disponíveis. Optou-se pela impressão em 3D devido a maior facilidade por ela gerada à criação de modelos físicos com formas complexas e à subsequente alteração desses modelos (se uma peça que foi impressa não se adequasse, bastaria que se observasse o erro e que se voltasse ao modelo virtual e o alterasse. Isso permite maior agilidade e versatilidade no processo).

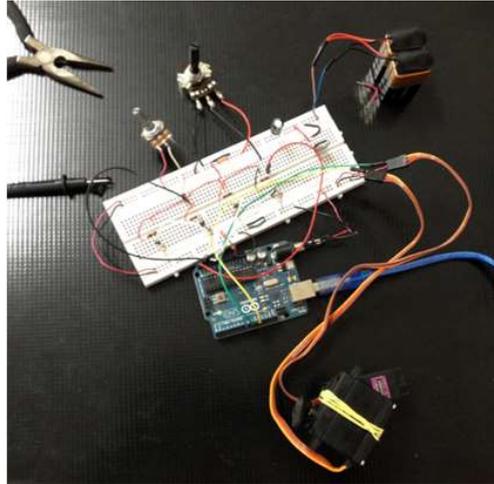


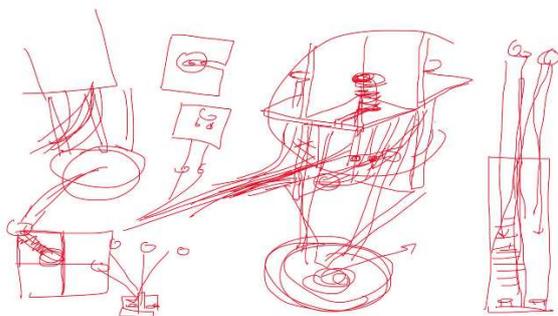
Figura 3. As peças do Hardware. Fonte: Autor do Projeto, 2017.

Para esta nova fase, foram iniciados projetos mais específicos de modelagem, que permitissem que a programação desempenhasse a função correta no seguidor solar. Foi a “saída”, podemos dizer, da programação para o mundo físico.

O processo desde o início está atrelado à concepção da forma, sendo a mesma indissociável do objeto e o cumprimento de suas funções.

O primeiro desafio de concepção era encontrar um modelo inicial formal que sustentasse os sensores, lhes gerasse sombra quando não formassem um ângulo reto com os raios de luz e tivesse o giro livre, ou seja, permitisse que os micros sensores cumprissem com eficácia sua função de seguir com precisão e celeridade a rota traçada pela luz. Esse giro deveria acontecer num ângulo de 180° tridimensionalmente.

A partir de discussões e análises *in loco* do equipamento de hardware ali presente, mais a consulta a iniciativas *opensource* disponibilizadas na internet, concluiu-se que havia a necessidade de projeção de sombra sobre os sensores - quando a superfície destes não estivesse próxima de formar um ângulo reto em relação aos raios de luz – feita de uma maneira em que o projetor estivesse presente na própria estrutura. Assim, após mais uma etapa de observações, decidiu-se que a base que sustentaria os quatro micros sensores deveria ter divisórias em cruz a partir de seu centro.



(a)



(b)

Figura 4. Esboço conceitual (a) e primeira peça impressa para estudo (b). Fonte: Autor do Projeto, 2017.

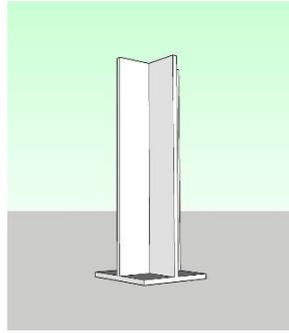


Figura 5. Parte superior da estrutura cruzada, imagem do Sketchup. Fonte: Autor do Subprojeto, 2017.

A estrutura até então desenvolvida deve de alguma forma se comunicar e estar fixada à hélice do servo motor móvel. Como a hélice precisa se mover com liberdade e firmar a estrutura, foi feito um contorno à hélice que permite um encaixe do modelo. Simultaneamente a isso foi desenvolvida a estrutura inferior de encaixe a esse contorno, cuja função é ser uma ligação sólida entre a estrutura da hélice e a dos sensores.

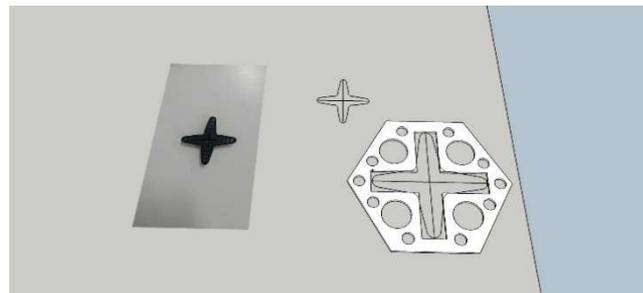
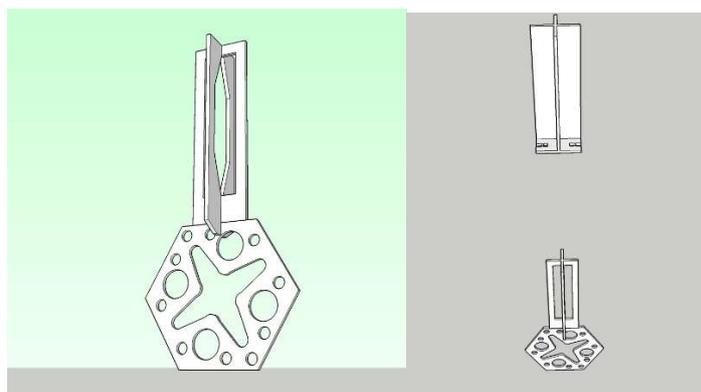


Figura 6. Modelagem em Sketchup da estrutura para a hélice. Fonte: Autor do Subprojeto, 2017.

A partir daí surgiu um problema. Todo o modelo foi pensado para que pudesse ser impresso em 3D (segundo a ideia de *opensource* em que os parâmetros do projeto são disponibilizados para compartilhamento digital e para que possam ser reimpressos por um terceiro). Portanto a estrutura foi concebida como uma coisa só, inteira. Entretanto a impressora teve dificuldades em imprimi-la dessa maneira. Passou-se então a dividir a estrutura em três, durante a impressão, para que posteriormente pudessem ser unidas manualmente.



(a)

(b)

Figura 7. Imagens de Sketchup da base da estrutura cruzada (a) e da mesma se relacionando com as outras peças (b). Fonte: Autor do Subprojeto, 2017.

Enfim, com o modelo definido e os primeiros testes realizados, alguns ajustes concernentes à espessura necessitaram ser feitos. Inicialmente a mesma encontrava-se um pouco fina, atrapalhando a firmeza e rigidez. Com novos ajustes realizados, o problema contrário – excesso de espessura – também ocorreu, ocasionando um aumento de massa maior do que a estrutura suportaria com a necessária estabilidade. Por se tratar de uma estrutura recém-criada, obviamente faltavam parâmetros norteadores suficientes para o desenvolvimento do trabalho. Portanto obrigatoriamente ele teve de ser modelado, impresso e reajustado com frequência a partir de tentativas e erros e a utilização da prática de reflexão-em-ação (o método aplicado para intuitivamente se enveredar pelas possibilidades que o processo pode oferecer).

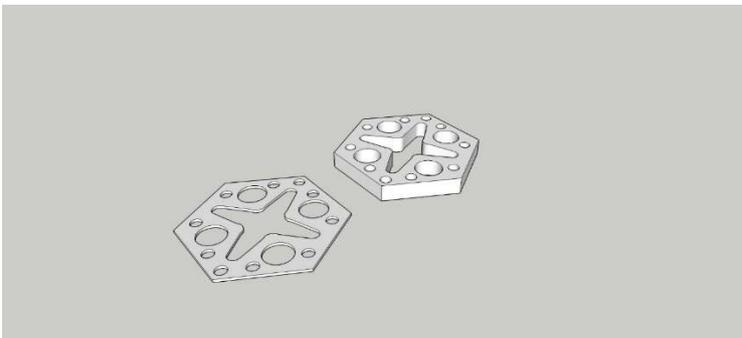


Figura 8. Imagem de Sketchup que mostra as variações da espessura da peça que se encaixa à hélice. Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

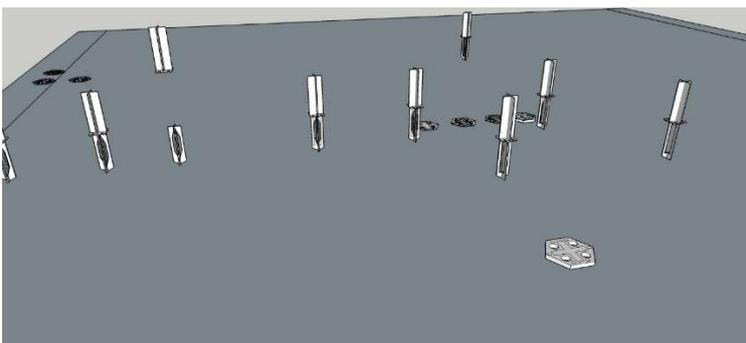


Figura 9. Várias variações do modelo em Sketchup. Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

Após esses acertos a estrutura funcionou. E foi feito ajuste final na estrutura da hélice, aparando suas arestas e transformando-a num disco circunscrito.

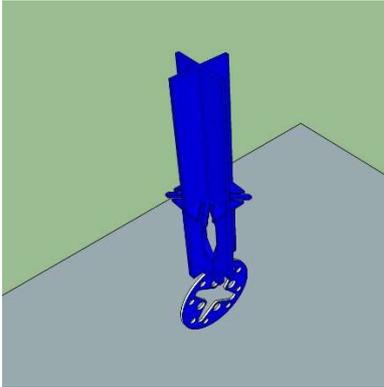


Figura 10. Modelo Final, versão digitalizada em Sketchup. Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

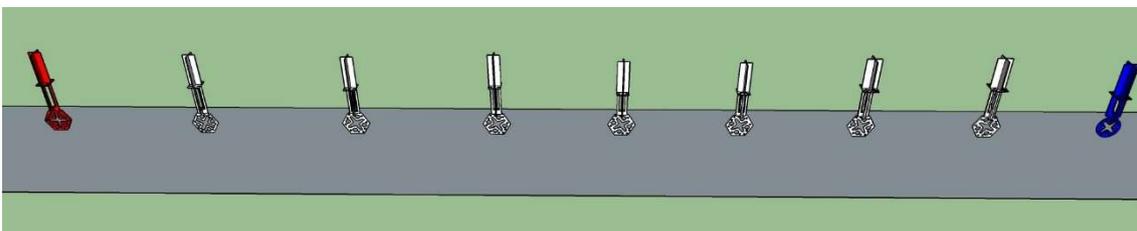


Figura 11. Evolução no tempo do modelo, versão digital. Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

Uma vez pronta a estrutura para seguir a luz, o próximo passo estava em envolver as peças dispersas do hardware mais a estrutura criada em um invólucro que permitisse o transporte, a proteção, e que fosse leve e compacto. Uma boa comparação para este invólucro é o do gabinete de um CPU, que protege e mantém as funções do computador pessoal dentro de um mesmo espaço.

Este, portanto, foi modelado no programa Rhinoceros e com o seu plug-in Grasshopper (que permite modelagem paramétrica a partir de algoritmos).

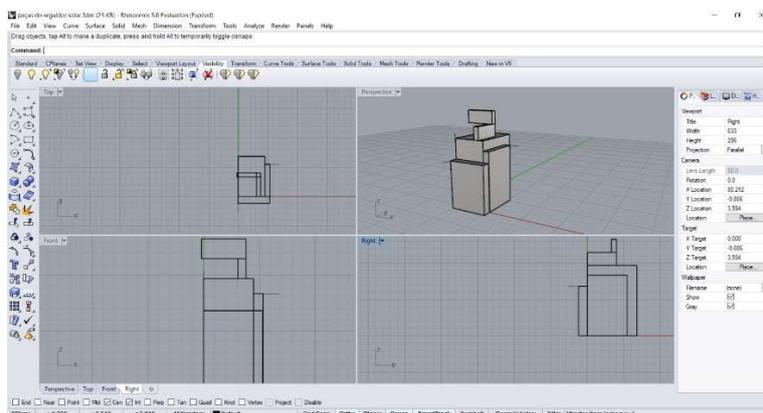


Figura 12. Estudo de massa das peças de Hardware do Seguidor Solar, feito no programa Rhinoceros. Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

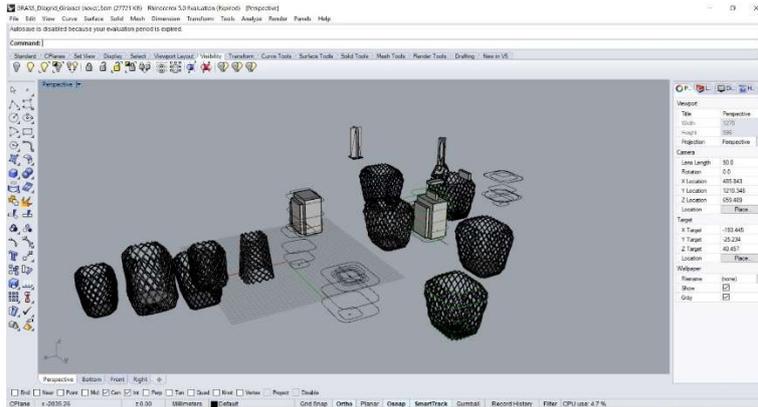


Figura 13. Desenvolvimento no Rhinoceros do invólucro em Diagrid. Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

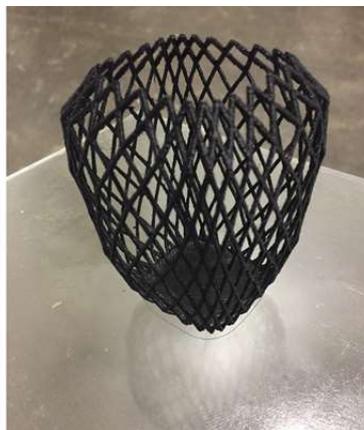
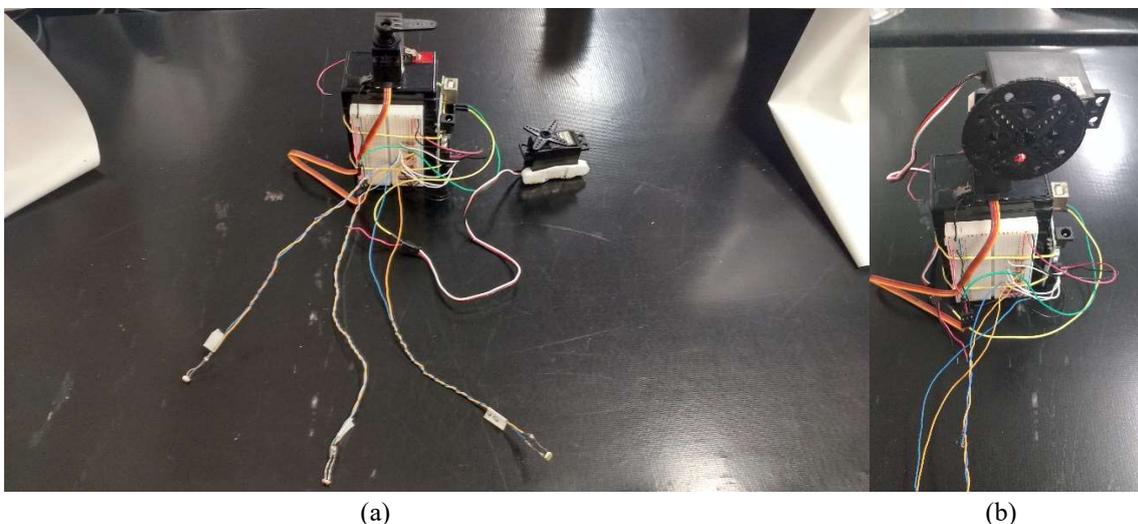


Figura 14. Invólucro em Diagrid Impresso. Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

O invólucro possui uma estrutura em diagrid, é aberto em cima - até para permitir o giro - é também rígido, seguro e faz pouco uso de material. Por esse motivo e pelo de não esconder o projeto, é vazado. Foi decidido que a parte interna do protótipo não ficasse escondida para seu melhor entendimento posterior e reprodução/pós-produção: ideais relacionados à iniciativa *opensource*.



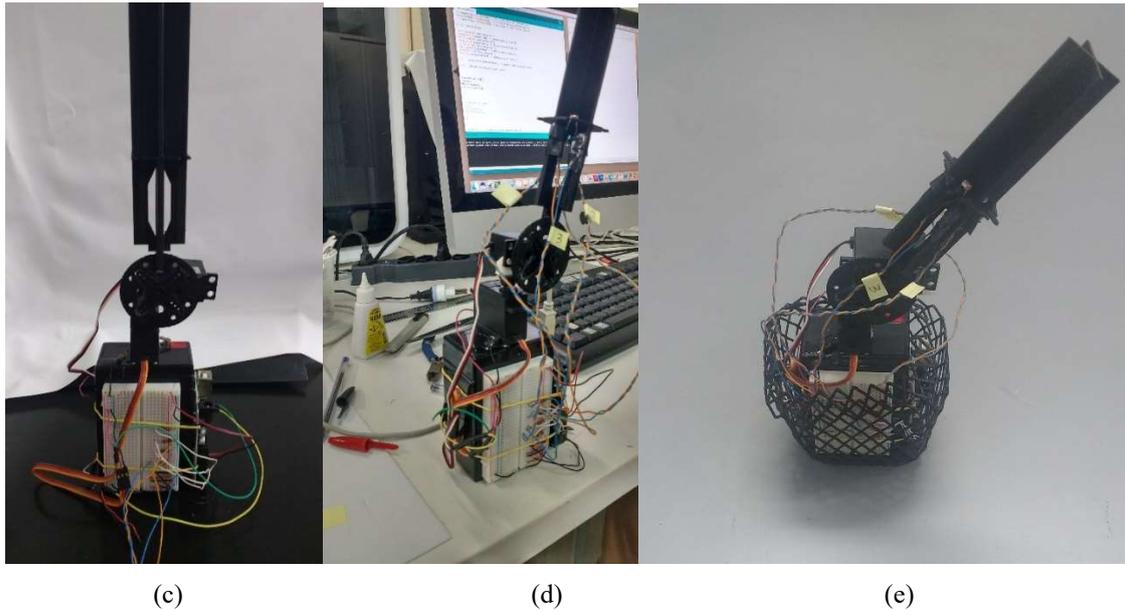


Figura 15. Evolução da montagem do Projeto Girassol, desde o encaixe das peças do Hardware (a), passando pelos acréscimos da estrutura da hélice (b), o encaixe da estrutura cruzada (c), os ajustes finais colocando-a em funcionamento (d) e o invólucro em diagrid (e). Fonte: Autor do Subprojeto, 2018.

## 5 – Conclusão

Ao término do subprojeto atingiu-se o resultado projetual almejado de construir o seguidor solar, testá-lo e atestar que o mesmo cumpre suas funções. Que as peças de *hardware* se encontram seguras no invólucro, que a estrutura está estável e se movimenta em segurança. E que possui a capacidade de seguir tridimensionalmente o movimento da luz, a partir de seus dois eixos, com um alcance de  $180^\circ$  nas coordenadas xyz. Como se varresse imaginariamente, e de maneira completa, uma semiesfera com concavidade virada para cima (ou o hemisfério norte de uma esfera).

Além do resultado projetual, cumpriu-se também o objetivo de aprendizado, de introdução à prática científica. Foram aprendidos novos conceitos como o de reflexão-em-ação, o aprender fazendo, a importância do código aberto para as práticas projetuais contemporâneas e o do encontro de objetivos e demandas não previamente estabelecidos, mas que surgem durante o processo. Não negando essas novas possibilidades, mas aprendendo a lidar com elas, ampliando os horizontes.

## 6 – Referências Bibliográficas

- PORTAL ENERGIA. **Descubra quais os painéis solares fotovoltaicos mais eficientes.** 2015. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/Descubra-quais-os-paineis-solares-fotovoltaicos-mais-eficientes>>. Acesso em: 10 jul. 2018
- PORTAL ENERGIA. **Ondas e Marés.** 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/ondas-e-mares>>. Acesso em: 12 jul. 2018
- PORTAL ENERGIA. **O que é a energia da Biomassa.** 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/o-que-e-energia-biomassa>>. Acesso em: 13 jul. 2018
- PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens da energia eólica.** 2015. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-da-energia-eolica>>. Acesso em: 14 jul. 2018
- FARICELLI, C. F. **Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos.** 2008. Disponível em: <[http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art\\_TCC\\_040\\_2008.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art_TCC_040_2008.pdf)>. Acesso em: 22 mai. 2017.
- LEWIS, Nathan S.; NOCERA, Daniel G. **Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization.** 2006. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1635072>>. Acesso em: 08 ago. 2018
- NAÇÕES UNIDAS. **Energia solar agregou mais capacidade de geração elétrica que combustíveis fósseis em 2017.** 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/energia-solar-agregou-mais-capacidade-de-geracao-eletrica-que-combustiveis-fosseis-em-2017>>. Acesso em: 10 mai. 2018
- WORLD ENERGY COUNCIL. **Survey of Energies Resources 2007.** 2007. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20090609222739/http://www.worldenergy.org/publications/survey\\_of\\_energ\\_resources\\_2007/solar/719.asp](https://web.archive.org/web/20090609222739/http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energ_resources_2007/solar/719.asp)>. Acesso em: 27 out. 2017
- LOSTER, Matthias. **Total Primary Energy Supply – From Sunlight.** 2010. Disponível em: <[http://www.ez2c.de/ml/solar\\_land\\_area](http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area)>. Acesso em 25 ago. 2018
- PASSOS, Fabiano. **Seguidor Solar Tracker.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/seguidor-solar---tracker-vantagens-e-desvantagens-parte-1.html>> Acesso em: 02 Ago. 2017.

## Referências Bibliográficas Adicionais

- NETO, Machado, e Olibario José. **Usabilidade da interface de dispositivos móveis: heurísticas e diretrizes para o design.** Diss. Universidade de São Paulo, 2013.
- PANGARO, P.; DUBBERLY, H. **Introduction to Cybernetics and the Design of Systems.** Disponível em: <<http://www.pangaro.com/design-is/Cybernetics-minimized-v8b.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2013.
- ROCHA, B. M. **Princípios e protótipos improvisacionais nas interfaces entre o design, a arquitetura e a arte digital.** In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 17., SIGraDi 2013. Valparaiso, Chile, 2013. p 489-492.

TRIPP, David. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**. Revista Educação e Pesquisa, São Paulo, V.31, N. 3, p-443-466, set/dez/2005.

LEROY, Mathias. **Arduino & Lego Solar Tracker (Dual Axis)**. Disponível em:

<<http://www.instructables.com/id/Solar-tracker-with-Lego-and-Arduino-Dual-Axis>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2011.

BOURRIAUD, N. **Pós-produção: como a arte reprograma o mundo contemporâneo**. São Paulo: Martins Fontes, 2009.