INSPER – INSTITUTO DE ENSINO E PESQUISA

PIBITI – RELATÓRIO FINAL

ALESSANDRA YUMI CARVALHO OGAWA

BIOMIMÉTICA E O DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURAS MECATRÔNICAS:

sistema dinâmico de controle de luminosidade inspirado em íris ocular

ALUNA: Alessandra Yumi Carvalho Ogawa

INSTITUIÇÃO: Insper – Instituto de Ensino e Pesquisa

ORIENTADOR(A): Paulo de Paiva Rosa Amaral

CO-ORIENTADOR(A): Silvia Titotto

PALAVRAS-CHAVE DO PROJETO: Biomimética – mecânica – iluminação – biologia

SÃO PAULO 2023

Biomimética é uma área da ciência e engenharia dedicada ao estudo da natureza como inspiração para soluções de problemas humanos. Há anos os estudiosos deste ramo têm encontrado soluções estruturais, organizacionais e processuais para dilemas e desafios dentro da engenharia. Muito populares são as soluções aerodinâmicas, formatos e design de meios de transporte que imitam animais que se locomovem eficientemente, e de materiais, polímeros biodegradáveis e materiais biofílicos. Iluminação natural e seus benefícios são áreas de crescente interesse, mas poucas são as soluções biomiméticas e biofílicas para o controle da entrada de luz em ambientes em que sua abundância se torna incômoda. O presente projeto visa explorar como formas e processos presentes no mundo animal e vegetal podem apresentar uma solução para a administração dinâmica e confortável da entrada de luz natural em um ambiente. Com um design biomimético similar ao da íris e pupila ocular, o dispositivo mecatrônico aqui proposto pode ser aplicado para controle de luz em áreas internas e externas, promovendo uma interação homem-natureza saudável e biofílica. Esta pesquisa propõe e descreve o funcionamento de um sistema dinâmico de controle de luminosidade inspirado em formatos biológicos com o propósito principal de oferecer ao usuário uma experiência fotônica confortável.

CONTEÚDO

1 INTRODUÇÃO 4

1.1 Situação Motivadora 5

1.2 Ampliando Aplicações 6

2 MÉTODOS 9

3 RESULTADOS 18

4 DISCUSSÃO 22

4.1 Neuro-Arquitetura 23

4.2 Novas opções de sensores 23

4.3 Controle de maior número de bandas 25

4.4 Contextos de aplicação 25

5 GANT CHART COMPLETO 29

6 APÊNDICE 29

7 REFERÊNCIAS 30

1. Introdução:

A biomimética **[1]** é uma abordagem e conjunto de técnicas multidisciplinares que consiste na imitação de aspectos da natureza para solucionar de modo inovador problemas e obstáculos da vida humana. A mímica da natureza pode ser feita com a inspiração de designs, processos e ecossistemas dinâmicos.

Cada vez mais encontra-se aplicações da biomimética no cotidiano. Um exemplo notável são os trens bala japoneses **[2]**. Os primeiros modelos desse tipo de trem tinham problemas significativos de design: ao completar travessia de um túnel, gerava um estouro sonoro, causado pela compressão de ar gerada pela velocidade dos trens, que quebrava até mesmo janelas de casas e edifícios próximos à rota. Foi observando o silencioso e dinâmico voo de pássaros que designers e engenheiros tiveram a ideia de afinar ainda mais a parte frontal dos trens, solucionando o problema dos estouros sonoros e criando um design ainda mais aerodinâmico e eficiente para estes modelos (Figura 1). Esse exemplo ilustra como é a proposta de abordar a natureza como fonte de inspiração para solucionar problemas humanos.

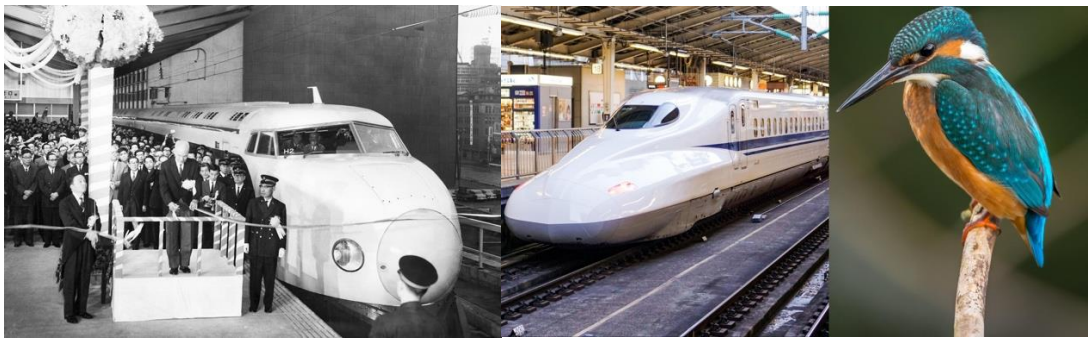

Figura 1: Shinkansen e a biomimética

Nesse projeto, buscou-se fazer uso de técnicas biomiméticas para obter maior controle de luminosidade em ambientes internos. A imitação de formas biológicas tem extrema relevância nessa pesquisa, visto que, o formato microscópio de uma estrutura

celular botânica, os estômatos, e o mecanismo de abertura e fechamento da íris ocular inspirou a geometria da estrutura mecânica à que essa pesquisa é intencionada.

Além disso, a imitação de processos e dinâmica tem uma participação essencial no cumprimento do propósito do presente projeto, uma vez que o método e modo de operação do dispositivo se assemelha muito às estruturas biológicas escolhidas. Explorou-se principalmente a imitação de formas e processos para o início de desenvolvimento e design de um dispositivo responsivo e dinâmico para a regulação da entrada de luz em ambientes internos.

A situação motivadora

O principal ponto motivador deste projeto é desenvolver uma estrutura mecânica que permita a regulação controlada da entrada de luz em uma sala de aula, dependendo da posição em que a pessoa se encontra nela.

Percebe-se que a localização do aluno ou professor em sala exige uma quantidade de luz adequada para gerar conforto. Avalia-se que a generalização da entrada de luz pode de alguma forma gerar desconforto para algumas sessões da sala, atrapalhando alguns estudantes.

Este projeto nasce de um contexto identificado em uma sala da aula do Insper Instituto de Ensino e Pesquisa; em que o acento dos alunos no fundo da sala é altamente atrapalhado pela entrada de luz natural pelas janelas, gerando reflexos e brilho excessivo nas telas dos computadores dos alunos. Em contrapartida, os alunos que se localizam na frente da sala insistem na permanência das persianas automáticas abertas, para que possam usufruir da luz natural durante o dia.

Soluções populares de administração de entrada de luz em ambientes internos não comportam esta situação. Convencionalmente, na sala de aula há uma persiana automática regulada manualmente, mas que permite apenas estados binários:

aberta ou fechada. Justamente esse contexto binário é a fonte da situação motivadora. Uma outra solução popular é o *smart glass,* ou vidros inteligentes. Os vidros inteligentes conseguem alterar seu nível de transparência com a aplicação de uma corrente que faz com que as moléculas de cristais líquidos se alinhem, permitindo a passagem plena de luz, ou desalinhem, garantindo um visual opaco para o vidro. Essa solução resolve parcialmente o contexto do projeto, visto que ela também trabalha com cenários binários; apesar de que neste caso o modo “fechado” ainda permitira a passagem de alguma luz natural.**[3]**

Figura 2: Funcionamento do Smart Glass

A possibilidade de ter-se um sistema parcialmente independente, liberando ou vetando a passagem de luz natural pelas janelas, seria uma solução benéfica para a maior confortabilidade de todos em uma sala de aula. E é nesse contexto em que o dispositivo se encaixa: garantir uma experiencia fotônica confortável dentro de uma sala independente da escolha do local de seu acento.

Ampliando as aplicações

Sabe-se que em países localizados nos extremos norte e sul do globo sofrem anualmente com a falta de luz natural em certos períodos do ano **[4]**. Nesses contextos, não há falta de estudos a respeito dos impactos na saúde mental e física dos povos que encaram esta variação na exposição de luminosidade natural periodicamente.

Em primeira instancia, o projeto tem como objetivo inicial contribuir para o controle de entrada e bloqueio de luz em diversos ambientes, mas explorando a problemática de geração e exposição a iluminação similar a natural em diferentes contextos, encontra-se uma oportunidade para ampliar as aplicações dessa pesquisa.

Além disso, uma outra aplicação encontrada para está dispositivo seria na área da botânica e agricultura. Sabe-se que em estufas e criadouros botânicos muitas vezes há a necessidade de impedir a maior penetração de luz no ambiente por cuidados específicos com algumas espécies. O uso desse dispositivo em algumas áreas específicas do criadouro possibilitaria a limitação da entrada de luz e desse modo tomar os cuidados fotônicos específicos de cada uma das espécies. **[5]**

Como mencionado no Relatório Intermediário, a forma natural inspiracional para o dispositivo deixou de ser a estrutura botânica estômato para virar uma íris/pupila ocular; devido principalmente a maior facilidade de implementação de sua dinâmica em um dispositivo mecânico. A íris, assim como os estômatos, reage a mudanças na luminosidade, e esta dinâmica é comumente encontrada no funcionamento de câmeras fotográficas. O *shutter* (obturador) dita a quantidade de luz que será permitida a entrar na câmera durante o intervalo de exposição; e é justamente nesta dinâmica inspirada na íris ocular que o dispositivo se assemelha visualmente e funcionalmente.

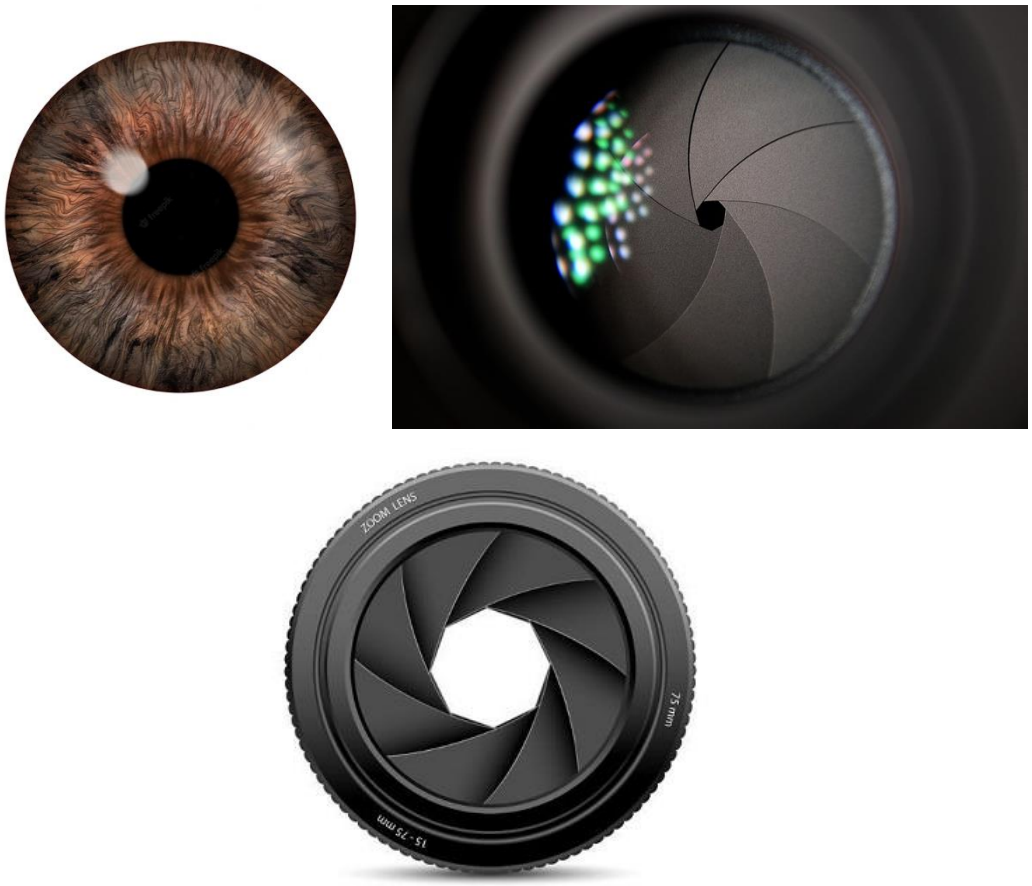

Figura 3: Conjunto ocular (direita), Shutter fechado (esquerdo) e Shutter aberto (baixo)

O dispositivo conta com dois modos de operação: automático e manual.

Modo Manual: nesta modalidade o usuário pode controlar a abertura e fechamento da Íris Mecânica a partir da interação com um sensor de presença. Ao ser detectada que a mão do usuário está a uma certa distância do dispositivo, este é acionado abrindo ou fechando. Em uma pequena tela LCD, o usuário consegue ver qual é o status de modalidade de operação bem como se ele foi ativado ou não.

Modo Automático: nesta modalidade o usuário não controla manualmente a abertura e fechamento da Íris Mecânica. O dispositivo é acionado a partir da leitura de *lux* em um ambiente. Com o aumento da luminosidade, o dispositivo

pode ser programado para abrir ou fechar. Em uma pequena tela LCD, o usuário consegue ver qual é o status de modalidade de operação bem como se ele foi ativado ou não.

Em suma, na segunda parte da pesquisa dedicou-se grande quantidade de tempo para estudar métodos variados de integração mecânica e eletrônica. Subestimou-se um pouco a dificuldade de produção do dispositivo. A seguir neste relatório será descrito todas as tentativas de fabricação, bem como as que foram bem e malsucedidas justificando falhas e acertos. Além disso, concretizou-se um software a partir das Provas de Conceito descritas no Relatório Intermediário para o controle manual e automático do dispositivo.

2. Métodos:

A seguir serão apresentados os métodos considerados, testado e utilizados em ambos os sistemas mecânico e eletrônico.

Sistema mecânico:

Como elaborado no último relatório foram considerados 2 tipos de modelos antes de chegar no modelo Íris Mecânica. Por cause de vantagens e simplicidade de fabricação e integração como sistema eletrônico optou-se por prosseguir com o modelo Íris. Esse modelo foi uma adaptação de um outro protótipo pré-existente **[6]**.

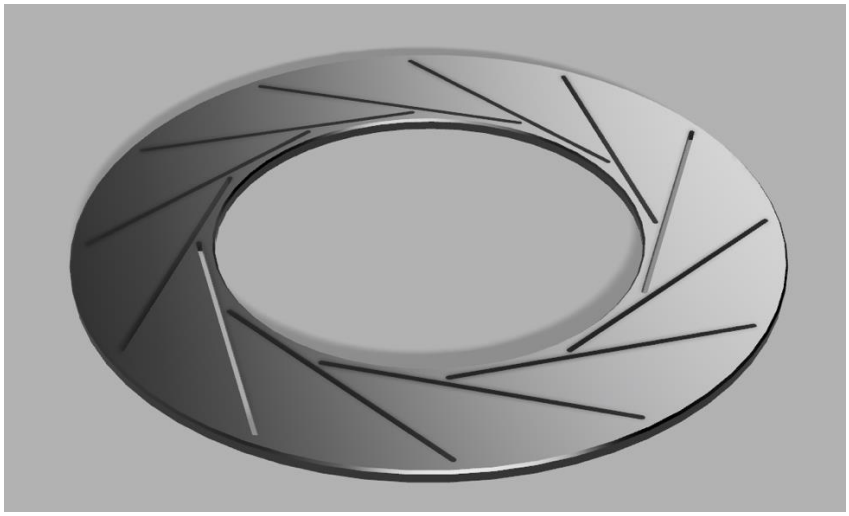

Figura 4: Íris Mecâmica V2 Rotor

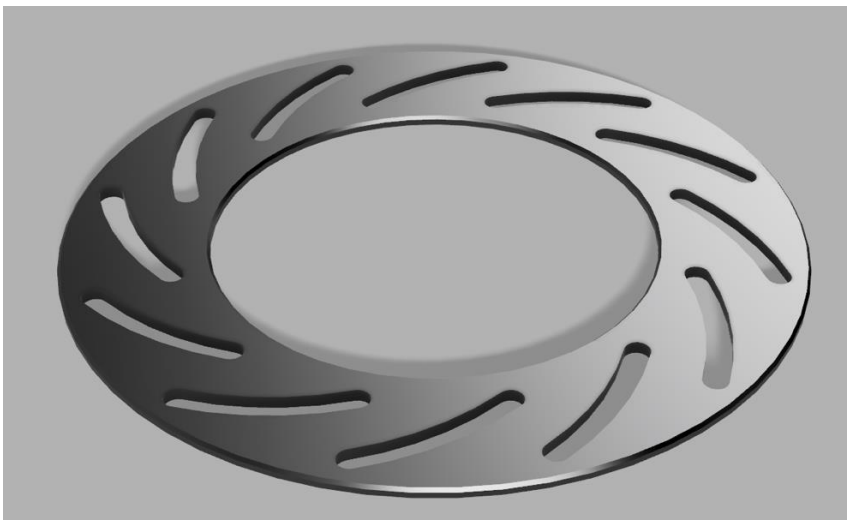

Figura 5: Íris Mecânica Estator V2

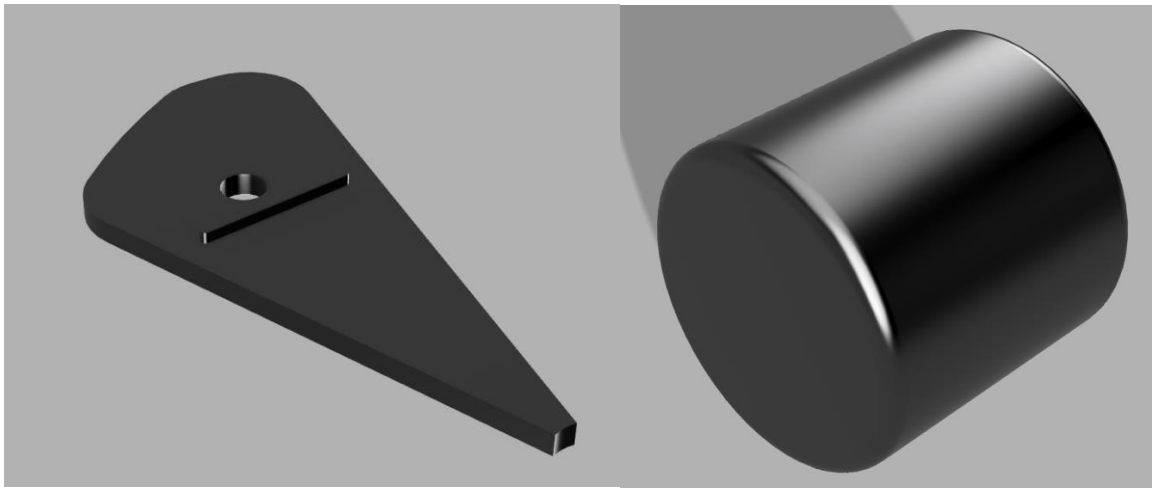

Figura 6: Íris Mecânica Folha e Pino V2

Aprofundando mais no sistema de transmissão, foi feita uma análise de como poderia ser disposto mais dispositivos a serem movimentados por um motor apenas. Abaixo, apresenta-se uma análise dos modelos considerados; posteriormente optou-se por elaborar um sistema de par engrenado em que: o pinhão fosse acoplado ao motor e todos os dispositivos contassem com um rotor dentado.

1. **Sistema de Polias:** O primeiro modelo considerado foi um sistema de polias que contaria com uma faixa que atravessaria os dispositivos por cima fazendo-os girarem. Pela dificuldade de implementação essa alternativa foi descartada, principalmente porque encontrou-se empecilhos na elaboração de um design que suportasse a passagem da faixa movendo apenas o rotor;

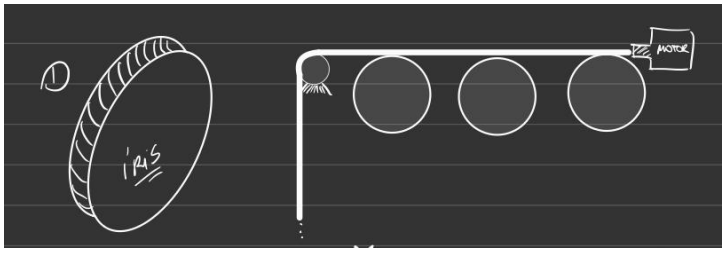

Figura 7: Sistema de Polias

Com isso, começou-se a rascunhar alguns métodos de transmissão com pares engrenados para mais unidades dos dispositivos:

2. **Sistema Pinhão-Cremalheira:** Esse sistema contaria com um trilho dentado que atravessaria a parte superior dos dispositivos com rotores dentados. Apesar de sua implementação ser um pouco mais viável, acoplando um pinhão ao motor que entraria em contato com o trilho, avaliou-se grande dificuldade no dimensionamento e fabricação do trilho dentado; fazendo este modelo ser desconsiderado;

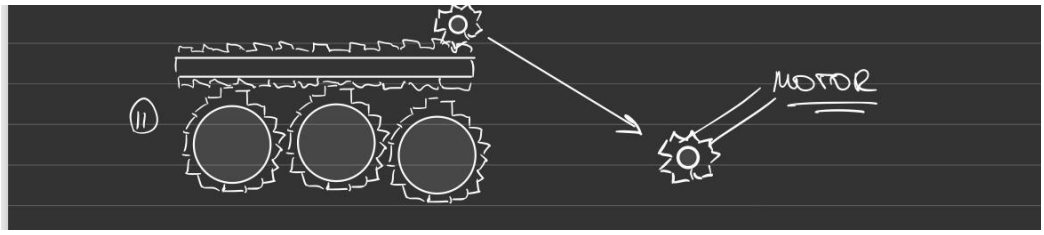

Figura 8: Sistema Pinhão-Cremalheira

3. **Sistema Par Engrenado:** O par engrenado seria feito composto por um pinhão acoplado ao motor e um rotor dentado no dispositivo. Esse foi o sistema selecionado para o protótipo atual visto a facilidade de modelagem do par engrenado bem como a implementação nessa fase de prototipação. Fazendo o par engrenado, entende-se que a ponte de integração é a inserção do pinhão no motor.

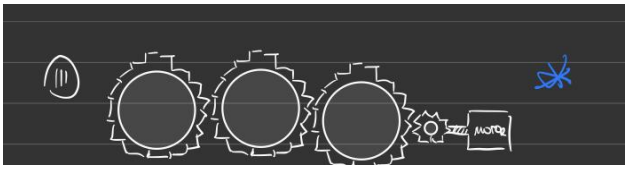

Figura 9: Sistema Par Engrenado

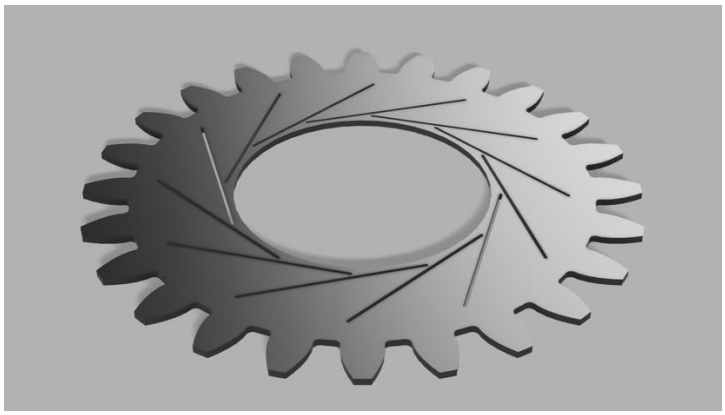

Figura 10: Íris Mecânica V3 Rotor Dentado

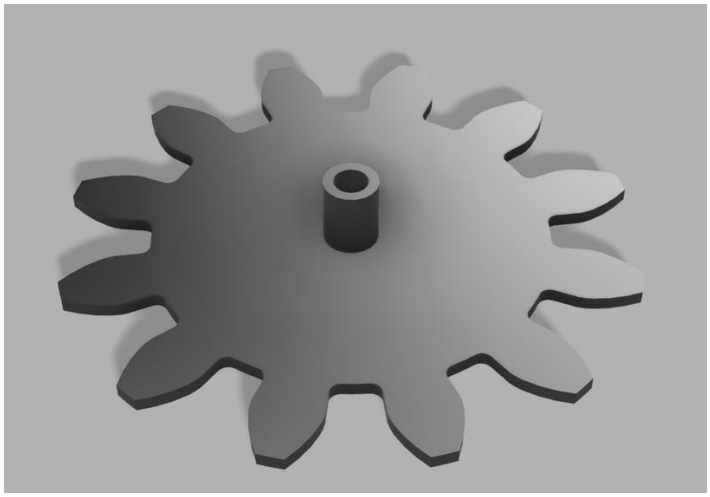

Figura 11: Íris Mecânica V3 Pinhão

Sistema eletrônico:

Para o sistema eletrônico, como descrito nos materiais no Relatório Intermediário, foi usado inicialmente um Servo Motor Micro 9g para realizar as provas de conceito. Quando se iniciou a implementação final do software encontrou-se grandes dificuldades de realizar giros com mais de 180 graus; o que foi imediatamente um empecilho para o controle de movimento. Por isso, para o protótipo final foi usado um motor de passo com o driver ULN2003, visto que o controle e limitação de giro era bem mais simples do que com o uso do servo motor.

Fabricação do protótipo:

Para fabricar o protótipo foram utilizados métodos variados. A seguir, tem-se um parágrafo ressaltando pontos positivo s e negativos da fabricação de cada um dos protótipos.

1. **DDDrop modelo inspiracional**: Como explicado no Relatório Intermediário, a primeira impressão em PLA e ABS na máquina DDDrop contou com muitos problemas de rebarba e dimensões tortas não previstas pelo desenho 3D. A máquina possui uma medida de precisão mínima que pode ter influenciado na precisão de forma e criação de rebarbas e fiapos que dificultaram imensamente a montagem desse protótipo. Além disso, as peças rotor e estator saíram com grande quantidade de calombos e rebarbas que dificultaram o movimento de deslize proposto;

Figura 12: Modelo inspiracional (Thingverse)

2. **DDDrop modelo final**: Diferentemente do modelo anterior, a impressão deste modelo contou com muitas melhoras nas peças rotor e estator. Elas saíram bem niveladas e com pouca rebarba, podendo praticamente garantir o deslize proposto. Mais uma vez por causa da precisão mínima de pelo menos 1mm, a impressão dos pinos e folhas foram sem sucesso. Os pinos, com muita rebarba

e desforma, não encaixaram nos orifícios das folhas. Os trilhos nas folhas ficaram desformes também por causa da pouca precisão de impressão. Foi feito um aumento de escala proporcional em todas as peças com esperança de contornar a questão da precisão mínima do bico da DDDrop, porém ainda sim a impressão contou com rebarba e deformação que comprometeu a montagem final. Além disso, como tentativa de compensar o erro da Drop tentou-se aumentar os rasgos nos dispositivos, mas essa modificação comprometeu o alinhamento da peça;

Figura 13: Modelo final com desalinhamento

3. **MDF modelo final**: Outra tentativa foi partir para a manufatura subtrativa, com o corte de precisão à laser. Ambos o rotor e estator foram cortados com enorme precisão saindo impecáveis e garantindo o deslize proposto. Contudo, como a folha conta com um trilho “agregado” à sua superfície, apenas o corte não garantiria sua estruturação completa. Para tentar contornar essa situação, foi cortado seu trilho separadamente com esperança de poder posteriormente unir as duas peças formando a folha proposta. Porém, por se tratar de um trilho com espessura pequena a sessão de MDF cortada saiu extremamente

reduzida e queimada, tornando a junção dos elementos impossível e, portanto, a montagem sem sucesso;

Figura 14: Corte em MDF

4. **Ultimaker modelo final:** O processo de fabricação do modelo final do dispositivo contou com uma variedade de tentativas fracassadas. Diferentemente dos resultados da DDDrop, a Ultimaker 2+ garantiu maior precisão nas dimensões e menor quantidade de cavaco. Apesar disso, como foi feito uma modelagem utilizando valores exatos contando que as peças se encaixariam sem problemas de ajuste e cavaco, as primeiras tentativas foram falhas, necessitando várias mudanças nas dimensões para que as peças e seus encaixes ficassem com folga invés de serem interferentes (contexto que funciona muito bem para a montagem virtual em CAD, mas na realidade da impressão 3D nem tanto). Após algumas tentativas, chegou-se em um modelo bem-sucedido para a montagem;

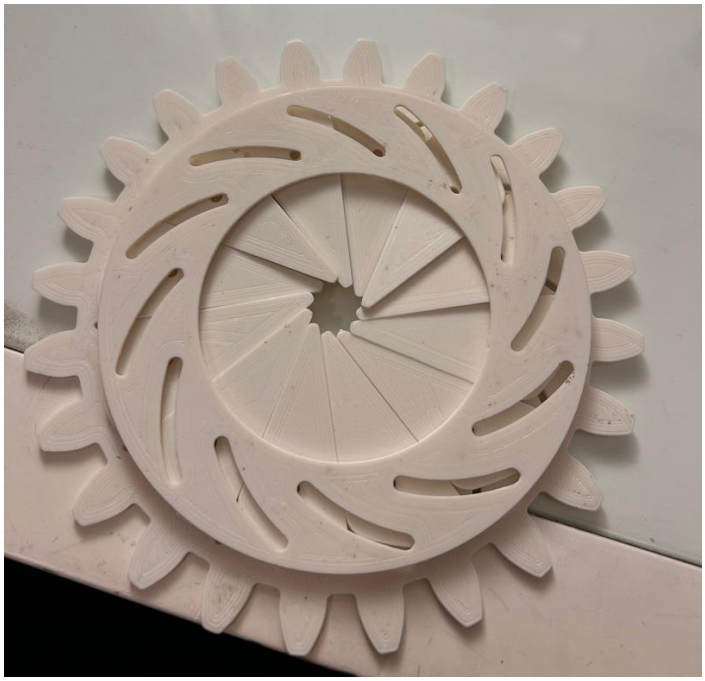

Figura 15: Pré-montagem da versão final (com estator alinhado com os furos)

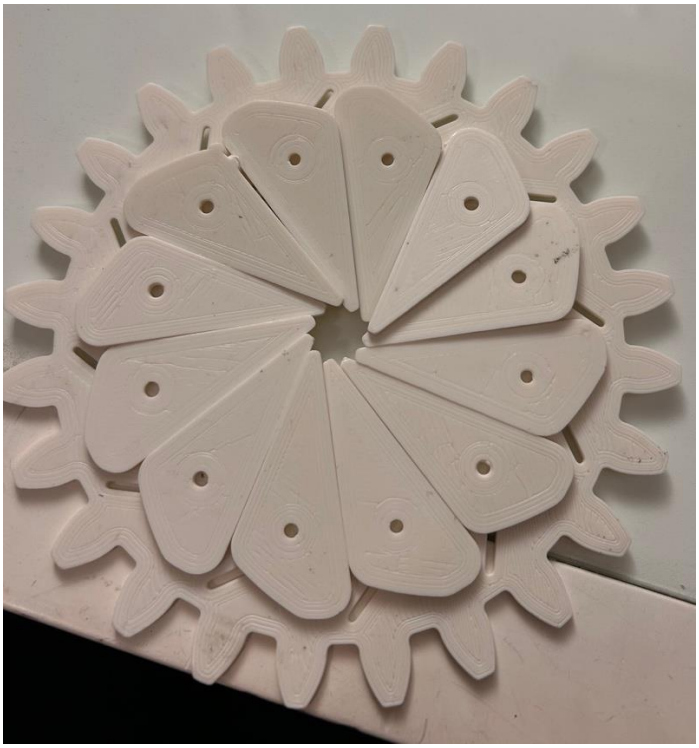

Figura 16: Pré-montagem da versão final

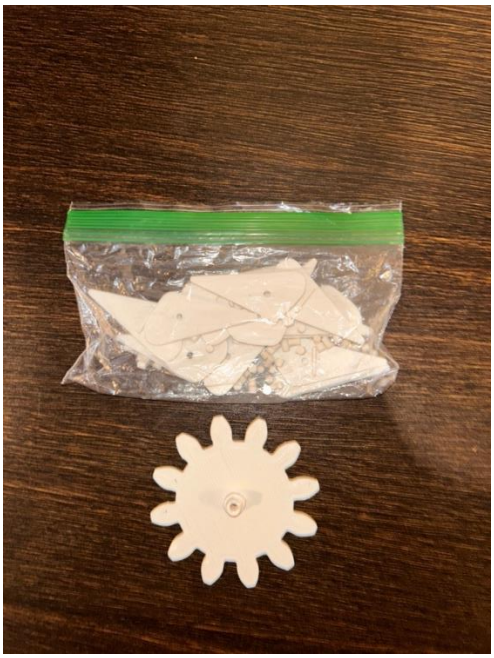

Figura 17: Impressões das folhas, pinos e pinhão antes da montagem

3. Resultados:

Sistema Mecânico

Ao final de agosto, concluiu-se a impressão do modelo final da Íris Mecânica em ABS feita na Ultimaker 2+.

O modelo apresentou alto grau de fieldade ao modelo em CAD, tendo que fazer apenas poucos ajustes de bancada como um breve processo de lixamento nos rasgos do estator para garantir a passagem dos pinos das folhas.

Feitos os ajustes, o modelo cumpriu o movimento proposto pelo dispositivo.

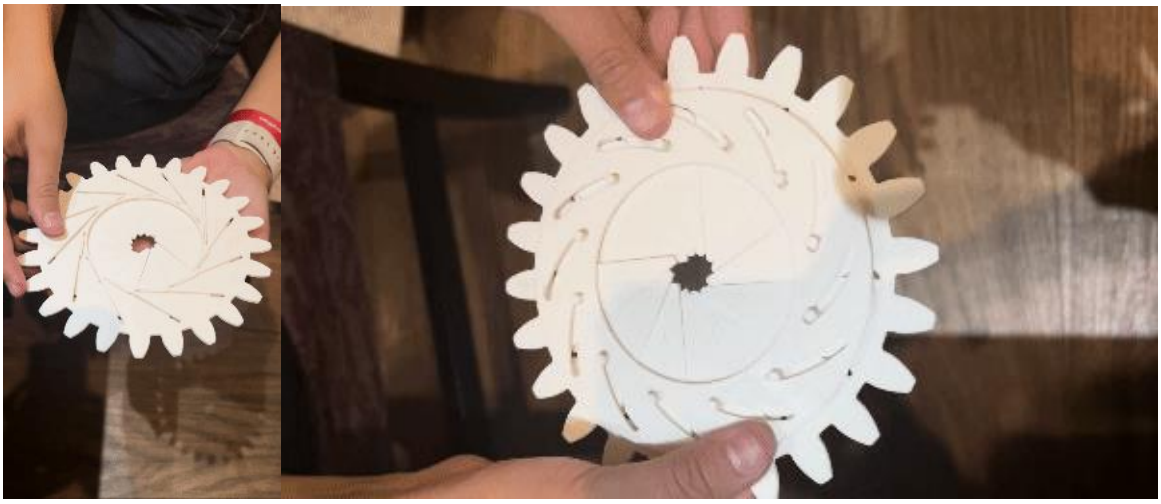

Figura 18: Montagem e funcionamento do dispositivo final

Sistema Eletrônico

Iniciou-se também o desnvolvimento do sistema eletrônico para o controle manual ou automático (sensorial) do dispositivo, com o teste de componentes e abordagens descritos abaixo.

Modo manual: o modo manual se trata da operação do dispositivo com a participação ativa do usuário, isto é, o usuário poderá escolher em que momentos abrir ou fechar o dispositivo bem como o tamanho do orifício que permitirá a passagem de luz.

Material:

- **Arduino UNO:** é uma placa que possui um microcontrolador ATmega328P.

  Possui 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB e um conector de alimentação. O Arduino Uno pode ser programado usando o Arduino Integrated Development Environment (IDE) em C++ e é capaz de ler entradas - como a proximidade de algum objeto - e transformá-la em uma saída - como ativar um motor;

- **Motor de passo e ULN2003:** O conjunto motor de passo ULN2003 consiste em um motor de passo e um circuito ULN2003, um CI que simplifica o controle do

motor. Esse motor converte pulsos elétricos em movimentos angulares precisos, com o ULN2003 atuando como um driver que recebe pulsos de um microcontrolador e os converte em sequencias de ativação das bobinas do motor. Isso resulta em movimentos discretos do motor em passos angulares, controlados pelo número e taxa de pulsos enviados. Esse sistema é amplamente usado em aplicações que demandam posicionamento preciso;

- **HC-SR04:** O HC-SR04 é um sensor ultrassônico que pode medir a distância de um objeto enviando uma onda sonora em alta frequência e medindo o tempo que a onda leva para ser recebida de volta no sensor. Ele contém um transmissor e receptor ultrassônico, bem como um circuito de controle. As ondas sonoras são enviadas quando o pino *trigger* no sensor é acionado e o circuito de controle usa o tempo de volta para calcular a distância até o objeto e a envia como uma largura de pulso no pino de *eco*. A largura do pulso pode ser lida por um microcontrolador como presente no Arduino UNO e usada para determinar a distância de um objeto;
- **Jumpers:** cabos conectores usados para unir o projeto em uma placa de prototipagem (*protoboard*);

Modo automático: o modo automático se trata da operação do dispositivo sem a participação ativa do usuário, isto é, a movimentação e regulação da entrada de luz é feita pelo dispositivo em si, se baseando na quantidade de luz natural no ambiente.

Material:

Os componentes Arduino UNO, Servo Motor e Jumpers seguem as especificações descritas acima e para o modelo automático, utilizou-se um Light Dependent Resistor (LDR) em substituição ao sensor HC-SR04 ultrassônico**.** Light Dependent Resistor (LDR) é um fotoresistor cuja resistência muda com base na quantidade de luz à qual é exposto. Quando a luz atinge o LDR, a resistência diminui, permitindo que mais corrente flua pelo circuito. Quando está escuro, a resistência aumenta, reduzindo o fluxo de corrente. A tensão no LDR é lida por um microcontrolador como presente no Arduino, e a resistência do LDR pode ser calculada a partir da tensão. O microcontrolador pode usar essas

informações para determinar a quantidade de luz presente e executar ações com base no nível de luz, como ativar um motor;

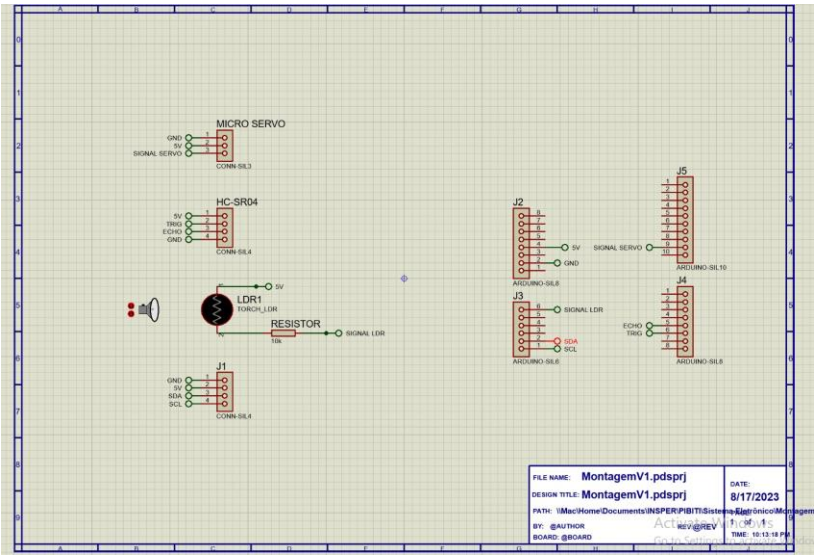

Figura 19: Esquemático do sistema eletrônico (com Servo Motor)

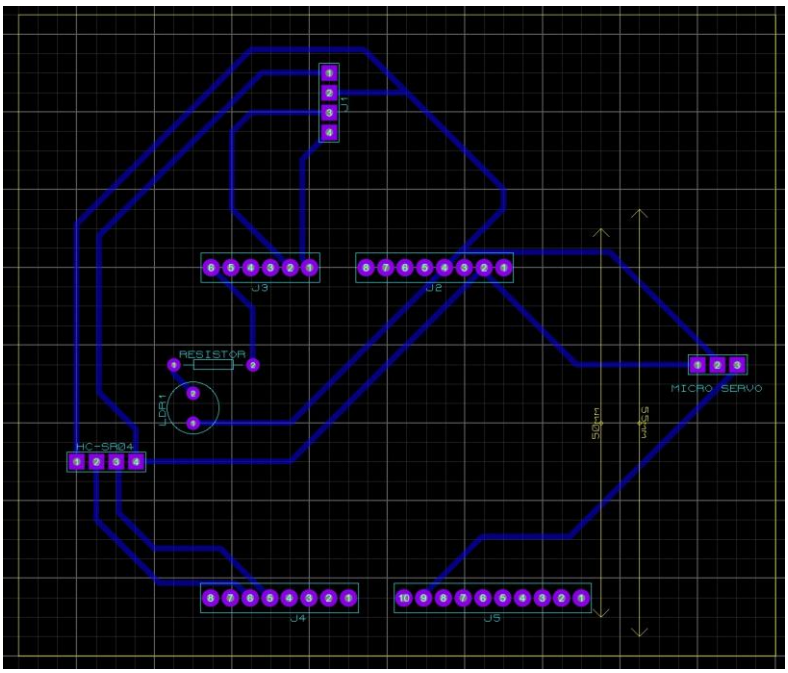

Figura 20: PCB Map do sistema eletrônico (com Servo Motor)

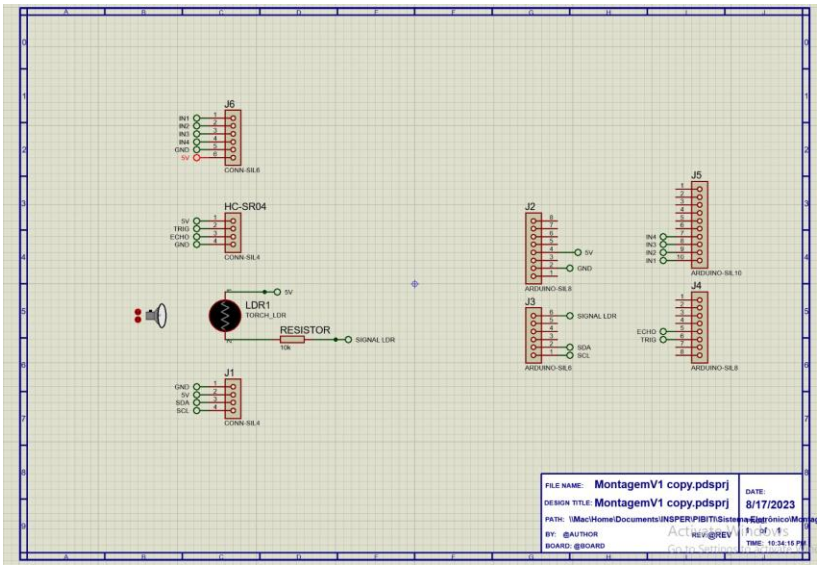

Figura 21: Esquemático do sistema eletrônico (com Motor de Passo)

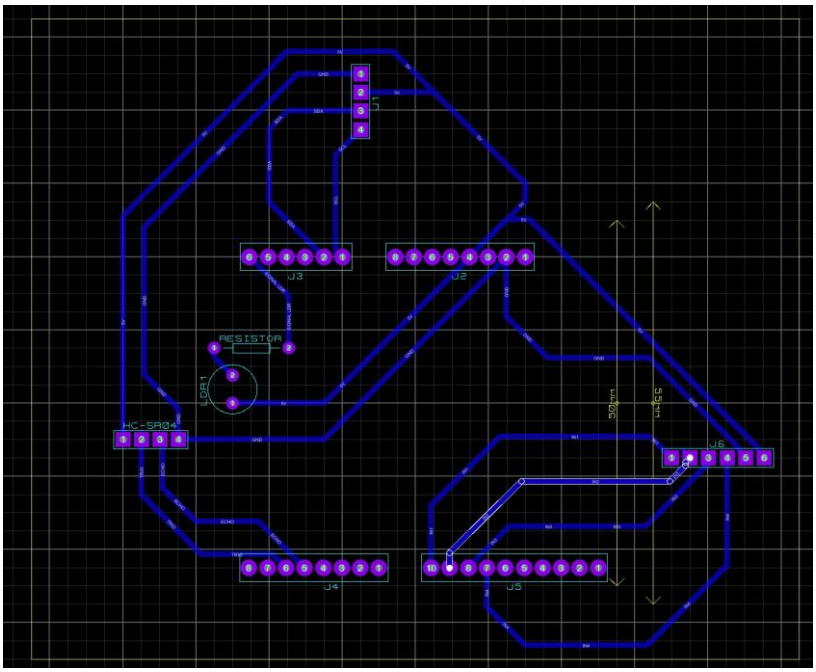

Figura 22: PCB Map do sistema eletrônico (com Motor de Passo)

Integração dos sistemas:

Para integrar os sistemas foi necessário fazer o encaixe do pinhão no motor de passo e realizar alguns ajustes no encaixe do estator. Os mesmos problemas enfrentados na montagem do dispositivo foram encontrados no encaixe do pinhão. Necessitou-se

realizar a impressão e ajuste de alguns modelos até chegar na versão final que não girasse em falso ao redor do eixo do motor e aguentasse a força para movimentar o rotor.

Para conseguir realizar o movimento, foi preciso retirar uma das folhas do conjunto. O design ainda conta com algumas falhas e ajustes principalmente em relação a dimensão e encaixe são extremamente necessários, porém foi possível realizar a prova de conceito do movimento com ambos os sistemas integrados.

4. Discussão:

A ideia inicial para o desenvolvimento do projeto surgiu de uma discordância dentro do Insper em que não foi possível agradar a preferência de iluminação para dois casos dentro de uma sala de aula. A partir daí surgiu o problema motivador que este dispositivo pretende resolver.

Com o desenvolver do projeto outros tópicos e consideração foram discutidos e comentados; todos que estão listados a seguir. Os tópicos abrangem desde outras áreas de aplicação para o dispositivo, até a importância psicológica da boa administração de luz e possíveis iterações futuras.

Neuro-arquitetura:

Tentando compreender melhor como a iluminação e ambientes pode influenciar algumas atitudes e comportamentos em interiores, foi realizada uma conversa com a arquiteta Alexandra Cisotto, a qual está no processo de finalização de Mestre em Neuroarquitetura pelo Instituto de Pós-graduação e Graduação (IPOG). A discussão explorou diferentes temas dentro da arquitetura e design de iluminação: cores e temperatura de iluminação e luminotécnicas. Foi possível compreender a partir dessa discussão a grande relação que existe entre iluminação e comportamento humano dentro de um ambiente fechado.

Além disso, explorou-se durante a discussão assuntos relacionados com biofilia; a valorização de luz natural dentro de ambientes fechados como fonte de conforto e bem-estar psicológico e emocional para os que estão habitando o ambiente.

A discussão agregou significativamente para a motivação do projeto. Além disso, fica evidente uma possível aplicação arquitetônica do dispositivo em desenvolvimento que guia o propósito desta pesquisa **[7]**.

Novas opções de sensores:

Realizando testes com os sensores HC-SR04 e LDR, foi percebida uma flutuação de suas medições. O HC-SR04, sensor de proximidade, apresentou maior consistência quanto as medições, percebido pela baixa vibração do servo motor. Por outro lado, o LDR apresentou maior inconsistência, uma vez que, ao acionar a placa ARDUINO UNO

e o programa a ser executado, o servo motor apresentou constante vibração, indicando uma “indecisão” para realizar seu acionamento ou não.

Tendo em vista esse problema, discutiu-se com o professor Fabio Ferraz as possibilidades de teste para entender a inconsistência. Foram propostos alguns testes: trocar o LDR por um potenciômetro e ir variando sua resistência para checar se o problema é realmente no sensor ou se poderia ser no motor, ou avaliar a tensão recebida pelo sensor; quando esta é maior que 5V (seu limite de alimentação) há maior chance de obter-se leituras inconsistentes com o Arduino UNO. Além disso, começou-se a procurar outros sensores de maior precisão para o sistema eletrônico. Usou-se como ferramenta de busca a OpenSource AI ChatGPT com uma pesquisa por sensores que possuem menor inconsistência em medições, entre eles temos:

1. **TSL2561:** Este é um sensor de luz digital de alta precisão que pode detectar uma ampla gama de níveis de luz. É frequentemente usado em projetos que exigem medições de luz precisas, como sensores de luz ambiente e alarmes sensíveis à luz.

2. **BH1750:**Esteéumsensordeluzdigitalcapazdemediraintensidadedaluz ambiente com alto nível de precisão. É comumente usado em projetos sensíveis à luz, como interruptor ou dimmer controlado por luz.

3. **APDS-9960:** Este é um sensor digital de luz ambiente com filtro de bloqueio IR e detecção de proximidade. Ele pode detectar uma ampla gama de níveis de luz, incluindo infravermelho, e é comumente usado em projetos que exigem luz ambiente e detecção de proximidade.

4. **TEMT6000:**Esteéumsensordeluzambientedebaixocustoefácildeusar, comumente usado em projetos como controle automático de iluminação.

5. **TSL235R:** Este é um sensor de luz para frequência de alta sensibilidade e baixo custo que pode detectar uma ampla gama de níveis de luz. É

frequentemente usado em projetos que exigem uma maneira simples de medir os níveis de luz ambiente.

6. **ALS-PT19:** Este é um sensor de luz ambiente de baixo custo e alta sensibilidade que pode detectar uma ampla gama de níveis de luz. É frequentemente usado em projetos que exigem uma maneira simples de medir os níveis de luz ambiente.

Uma proposta para prosseguir na melhoria e otimização do sistema eletrônico é adquirir os sensores descritos e realizar testes para encontrar o que melhor funcionará no contexto proposto.

Este problema também foi bastante suavizado pela substituição do servo motor quando se optou por prosseguir a pesquisa com um motor de passos. Isso pode indicar que muito da vibração e instabilidade pode vir também do servo motor independentemente do LDR. Apesar disso, os sensores citados acima são opções de melhoria e maior sofisticação do projeto.

Controle de maior número de bandas:

Para o controle de um conjunto de bandas em um ambiente maior inicia-se a discussão de interação e comunicação entre cada um dos dispositivos. Para uma futura iteração ou continuidade do projeto, pode-se explorar mais sensores *Bluetooth* ou Wi- Fi, que permitiriam a interação de todas as bandas principalmente para o modo automático.

Contextos de aplicação:

Quanto os locais de aplicação destes dispositivos, muitas são as possibilidades.

Sala de aula: a motivação para a criação deste projeto surgiu de uma interação real em sala de aula no Insper em que houve um desacordo sobre como a sala de aula seria iluminada em uma manhã. Para pessoas que se sentavam na frente, era preferível deixar a janela aberta para aproveitar a iluminação natural

do dia. Para pessoas que se sentavam atrás, a preferência era contrária, visto que a luz vinda das janelas no fundo da sala refletia nos notebooks e tablets atrapalhando o acompanhamento da aula e atividades. Com estes dispositivos, seria possível instalar bandas (grupos de várias unidades dos mesmos dispositivos movidos pelo mesmo motor) segmentadas na sala, permitindo que a iluminação ficasse mais personalizada para as duas preferencias da sala de aula. Foi discutido do Relatório Intermediário na sessão de **Neuro-arquitetura** a importância da boa administração de luz em ambientes internos, visto que há uma fortíssima relação entre o psicológico e bem-estar humano e a iluminação de uma sala. Na mesma linha encontram-se ambientes como escritórios corporativos, restaurantes e cafés, áreas comuns de hospitais etc.

Iluminação urbana: Continuando em busca de aplicações e compreensão da área de biomimética e iluminação vale ressaltar o artigo **[3]**. Ele inicia-se com um convite a designers de iluminação a se engajarem na problemática da iluminação em cidades nórdicas que são submetidas a escuridão total durante alguns meses do ano por se encontrarem em extremos da Terra.

O artigo esclarece os efeitos mentais e físicos da falta de luz natural por meses no povo nórdico, bem como apresenta alguns aspectos urbanos como segurança e convivência em espaços públicos que se relacionam diretamente coma presença (e ausência) de luz natural. Sob essa perspectiva, os autores propõem o pensamento de cidades como organismos sensíveis.

Uma das soluções proposta é a criação de um dispositivo que imite designs orgânicos em múltiplos aspectos para fornecer iluminação para estas cidades durante os meses de escuridão. A solução é idealizada apenas no artigo, o que abre espaço para designers explorarem temas como a biomimética e a biofilia para pensar em soluções para estas cidades.

Estufas e criadouros botânicos: Sabe-se que em estufas controladas é essencial prezar pela exposição de luz às plantas e corpos lá presentes. Como

estudado anteriormente, os estômatos usam a luz natural do ambiente para guiar o ciclo de troca gasoso e transpiração das plantas; ressaltando a importância do controle de luminosidade nos ambientes internos.

Com estes dispositivos, seria possível instalar bandas (grupos de várias unidades dos mesmos dispositivos movidos pelo mesmo motor) segmentadas na estufa, permitindo que cada área recebesse a entrada de uma quantidade de luz diferente, guiado pela necessidade das plantas lá cultivadas.

Al Bahar Towers: mais um estudo de caso que vale a pena ser citado como embasamento para esta pesquisa é a construção biomimética de dois prédios responsivos a diferentes incidências de luz durante o dia, localizado em Abu Dhabi nos Emirados Árabes. Nomeado por Bryan Hamilton, arquiteto da empresa Aedas Architects que concretizou o projeto das torres, como “solução dinâmica”, a movimentação dos painéis é a concretização de um projeto para controlar a entrada de luz dentro dos arranha-céus de modo a proteger seu interior do calor que ela trás durante o dia. Assim como estudado neste projeto, os arquitetos das torres além de se inspirarem inicialmente em aspectos arquitetônicos culturais árabes (marshrabiya), também utilizaram métodos biomiméticos para conceber o design e estrutura dos painéis que envolvem as torres. Entre as inspirações botânicas, os arquitetos responsáveis pelo projeto observaram a dinâmica de íris/pupilas oculares e a resposta de plantas ao estímulo de luz natural. Para projetar a movimentação, assim como foi revisto neste projeto, os arquitetos utilizaram padrões de origami, como método de otimizar a movimentação e espaço ocupado (ou desocupado) pelas placas. Com a dinâmica de bloqueio e liberação da entrada de luz natural, o projeto foi capaz de diminuir em 50% os gastos com ventilação e refrigeração interna das torres. Esta grande conquista arquitetônica também serve como embasamento para ressaltar a validade e importância da pesquisa em biomimética e suas potenciais contribuições para administração dinâmica de iluminação interna. **[8]**

Figura 23: Placas envolvendo as torres e seu formato dinâmico

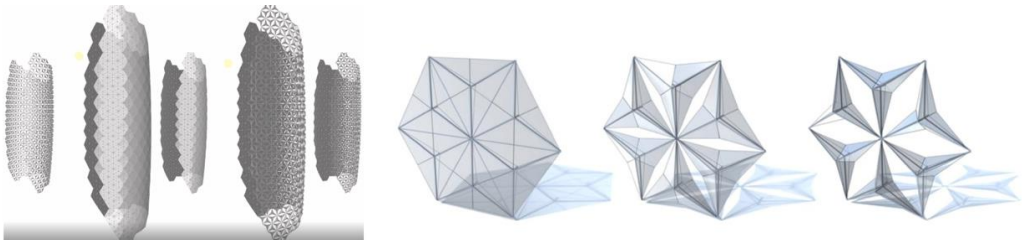

Figura 24: Inspiração de movimento e dinamica em origamis

5. Gantt Chart Completo:

Atividade	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estudo da técnica biomimética	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Estudo de elementos inspiracionais para o dispositivo	■	■	■	■	■							
Prototipagem CAD									■	■	■	■
Prototipagem 3D					■	■					■	■
Prototipagem do sistema eletrônico					■	■	■				■	■
Montagem do sistema eletrônico					■	■					■	
Escrita de software para controle do sistema					■	■				■	■	
Estudo de métodos para transmissão de movimento dos dispositivos							■	■	■	■		
Escrita de relatórios e documentação					■	■					■	■
Estudo de métodos e designs para o dispositivo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 25: Resumo geral em Gantt Chart do projeto

A expectativa que se tem é que a integração de ambos os sistemas seja possível até a apresentação final seja concluída. As complicações na fabricação do dispositivo foram inesperadas, o que causou o atraso na integração.

6. Apêndice:

Drive com todos os programas de software citados durante o relatório: https://drive.google.com/drive/folders/1Y9ba31kDE-NDtUGb8Fla6W1fsNEbLrLB

7. Referências:

1. LURI-LUKE, Elena. Product and technology innovation: What can biomimicry inspire? **Elsevier Ltd**, 2014. Disponível em: www.sciencedirect.com acesso em: 15. fev. 2023.
2. M.BENYUS,Janine. **Biomimicry**: Innovation Inspired by Nature. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/46363813/biomimicry_000-libre.pdf?1465502114=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dbio.pdf&Expires=1676599448&Signature=eZWELq1 6IVqywQuvV9mXT9EmOlf6ULLtiajLsszV~QqYRRHomdiKIfh~rlGAt1pzM5jUz5ON2nhNcAl oi3V52z9DErvcS4kcvjML2OVx9LXus7gvYzu3jR1iFD6-UOdygelo6utJvXvJrsU95QULax683- B-CdM1wfrn1Nh9NC1HJJMzJvzbh~bouBqBW-xZga-HqbnlQQYwo0VmphkvG5puBo3zsR~gDM20bY4a4NNO9XrIZhf9oHugFJLlTxfFzBkXem4ek PN1kdoIzxtxrnl6Ja62tVa3BlvFp262iNhnlWgKluJ~~X02wem0~KKd1GKpNj3ajwjUAb33aYlZ PA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA acesso em: 24. mai. 2022
3. 1- ELAD, Y. Effect of filtration of solar light on the production of conidia by field isolates of Botrytis cinerea and on several diseases of greenhouse-grown

vegetables. **Crop Protection**, v. 16, n. 7, p. 635–642, nov. 1997. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026121949700046X

2- WANG, T. *et al*. Integration of solar technology to modern greenhouse in China: Current status, challenges and prospect. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1178–1188, 1 abr. 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116310796

3- ROSLAN, N. *et al*. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) greenhouse shading: New insights for solar radiation manipulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 171–186, 1 set. 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118303204

4- SHI, H. *et al*. Spectral Engineering of Semitransparent Polymer Solar Cells for Greenhouse Applications. **Advanced Energy Materials**, v. 9, n. 5, p. 1803438–1803438, 3 dez. 2018. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aenm.201803438

4. WONG, K. V.; CHAN, R. Smart Glass and Its Potential in Energy Savings. **Journal of Energy Resources Technology**, v. 136, n. 1, 1 mar. 2014. Disponível em: https://asmedigitalcollection.asme.org/energyresources/article-abstract/136/1/012002/366583/Smart-Glass-and-Its-Potential-in-Energy-Savings
5. HIORT LORENZEN, Anna-Rosa; KUBLICK, Beáta E.; JÄNTSCH, Gordon; DUDKIEWUCZ, Paulina M.; TRIANTAFYLLIDIS, Georgios. Creating identity with nature inspired lighting design – The Sensitive Organism. **EDP Sciences**, 2017. 12p.
6. THINGVERSE. Disponível em: https://www.thingiverse.com/thing:5445224 acesso em: 13. nov. 2022.
7. BADARNAH, Lidia. Light management lessons from nature for buildings applications. **Elsevier Ltd**, 2016. Disponível em: www.sciencedirect.com acesso em: 06. nov. 2022.
8. 1- CILENTO, K. **Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas**. Disponível em: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas>.

2- **Abu Dhabi Investment Council Headquarters**. Disponível em: <https://www.arup.com/projects/al-bahr-towers>.