



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

BRENO BATISTA MOURA

**CONSTRUÇÃO DE UM BANCO DE DADOS SIMULADO DE
IMAGENS DE ISOLADORES UTILIZADOS EM CABOS DE
ALTA TENSÃO**

Uberlândia

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

BRENO BATISTA MOURA

**CONSTRUÇÃO DE UM BANCO DE DADOS SIMULADO DE
IMAGENS DE ISOLADORES UTILIZADOS EM CABOS DE
ALTA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
a Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Engenharia Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Sales Gonçalves

Uberlândia

2023

BRENO BATISTA MOURA

**CONSTRUÇÃO DE UM BANCO DE DADOS SIMULADO DE
IMAGENS DE ISOLADORES UTILIZADOS EM CABOS DE
ALTA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
a Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Engenharia Mecatrônica.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Uberlândia

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família, ao meu pai, Sérgio Aurélio Moura, minha mãe, Zilma Batista Moura, meus irmãos Diego Aurélio Batista Moura e Felipe Batista Moura, que sempre me apoiaram durante toda a graduação, me incentivando a persistir e dar o meu melhor.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal de Uberlândia, que tiveram papel fundamental na minha formação como Engenheiro Mecatrônico e profissional.

Á Equipe de Desenvolvimento em Robótica Móvel, e as pessoas que fizeram parte comigo, me proporcionando amizades e desenvolvimento profissional.

Agradecimentos à Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC programa de P&D) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Agradeço ao CNPq pela bolsa fornecida dentro do projeto Processo: 402156/2021-8.

“Nós só podemos ver um pouco do futuro, mas o suficiente para perceber que há muito a fazer.”

Alan Turing

RESUMO

As cadeias de isoladores são uma série de peças isolantes que são colocadas em uma linha de transmissão de energia elétrica e são projetadas para suportar a carga mecânica e elétrica, bem como para isolar a linha elétrica do contato com partes metálicas da torre. As cadeias de isoladores devem ser limpas regularmente para garantir que estejam funcionando corretamente, pois diferentes tipos de poluição podem acumular-se sobre os isoladores, afetando seu funcionamento. A verificação de necessidade de limpeza é feita por observação visual, o que pode ocasionar falsas conclusões. Os algoritmos que fazem esse tipo de classificação precisam de um banco de dados considerável para que realize suas tarefas de forma precisa e eficiente. Na literatura, as imagens existentes são limitadas, principalmente no caso de isoladores sujos. Sendo assim, este projeto de fim de curso tem o objetivo de desenvolver um banco de dados simulado, utilizando-se de softwares como o SolidWorks, Inventor e Unity 3D e com outras imagens existentes na internet e obtidas de isolares reais em campo.

Palavras-chave: Isoladores; Poluição; Banco de dados simulado; Inventor; Unity 3D.

ABSTRACT

String insulators are a series of insulating pieces that are placed on an electrical power transmission line and are designed to withstand mechanical and electrical load, as well as to insulate the electrical line from contact with metallic parts of the tower. String insulators must be cleaned regularly to ensure they are working properly, as different types of compounds can build up on the insulators, affecting their function. The verification of the need for cleaning is done by visual observation, which can cause false statements. Algorithms that perform this type of classification need a considerable dataset to perform their tasks accurately and efficiently. In the literature, the existing images are limited, mainly in the case of dirty insulators. Therefore, this work aims to develop a simulated dataset, using software such as SolidWorks, Inventor and Unity 3D and with other existing images on the internet and unknown real ones in the field.

Keywords: Insulator; Pollution; Simulated dataset; Inventor; Unity 3D.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Torres de transmissão de alta tensão no Inventor.....	15
Figura 2 - Cadeias de isoladores poliméricos no Inventor.....	16
Figura 3 - Cadeias de isoladores de vidro no Inventor.....	17
Figura 4 - Cadeias de isoladores de porcelana no Inventor.....	18
Figura 5 - Exportar modelo CAD.....	20
Figura 6 - Importar Novo Asset.....	21
Figura 7 - Importar modelo.....	22
Figura 8 - Modelo na cena.....	22
Figura 9 - Cadeias de isoladores com cores originais e vermelho no Inventor.....	24
Figura 10 - GameObject posicionado.....	25
Figura 11 - Fixar resolução.....	26
Figura 12 - Campos do Script.....	26
Figura 13 - Janela Inspector da Luz Direcional.....	27
Figura 14 – Ambiente Montanha.....	28
Figura 15 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente montanha; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente montanha; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente montanha.....	28
Figura 16 - Ambiente Floresta.....	29
Figura 17 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente floresta; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente floresta; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente floresta.....	29
Figura 18 – Ambiente Deserto.....	30
Figura 19 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente deserto; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente deserto; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente deserto.....	30
Figura 20 – Ambiente Cidade.....	31
Figura 21 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente cidade; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente cidade; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente cidade.....	31
Figura 22 – Ambiente Riacho.....	32
Figura 23 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente riacho; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente riacho c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente riacho.....	32
Figura 24 - Ambiente Plantação.....	33
Figura 25 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente plantação; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente plantação; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente plantação.....	33
Figura 26 – Flashover.....	34
Figura 27 - a) Cinzas de vulcão; b) Depósito de sal; c) Dejetos de pássaros.....	35
Figura 28 - Caneta Caligráfica.....	35
Figura 29 - Desenho da forma da poluição.....	36
Figura 30 - Plano aplicado.....	36
Figura 31 - Inserir Imagem.....	37

Figura 32 - Posicionar imagem.....	38
Figura 33 - Decalque aplicado.....	38
Figura 34 - Linha do tempo da animação.....	39
Figura 35 - Opções de animação.....	40
Figura 36 - Posicionar câmera.....	40
Figura 37 - Plataforma giratória.....	41
Figura 38 - Tomada de câmera.....	42
Figura 39 - Configuração da renderização – Geral.....	42
Figura 40 - Configuração da renderização – Saída.....	43
Figura 41 - Texturas cinzas vulcânicas.....	44
Figura 42 - a) Cadeia de isoladores poliméricos com cinzas vulcânicas; b) Cadeia de isoladores de vidro com cinzas vulcânicas; c) Cadeia de isoladores de porcelana com cinzas vulcânicas.....	44
Figura 43 - a) Textura depósito de sal baixa concentração; b) Textura depósito de sal média concentração; c) Textura depósito de sal alta concentração.....	45
Figura 44 - a) Cadeia de isoladores poliméricos com depósito de sal; b) Cadeia de isoladores de vidro com depósito de sal; c) Cadeia de isoladores de porcelana com depósito de sal.....	45
Figura 45 - Texturas dejetos de pássaros.....	46
Figura 46 - a) Cadeia de isoladores poliméricos com dejetos de pássaros; b) Cadeia de isoladores de vidro com dejetos de pássaros; c) Cadeia de isoladores de porcelana com dejetos de pássaros.....	46
Figura 47 - Câmera DJI Zenmuse Z30.....	47
Figura 48 - Base instalada no drone.....	48
Figura 49 - Base do controle fixa no drone.....	49
Figura 50 - Controlador de voo.....	49
Figura 51 - Módulo GNSS-Compass.....	50
Figura 52 - Módulo PMU.....	50
Figura 53 - Módulo LED.....	50
Figura 54 - Lightbridge 2.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS GERAIS	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. TRABALHOS CORRELATOS	13
3. BANCO DE IMAGENS SIMULADO	14
3.1 CADEIAS DE ISOLADORES LIMPOS	24
3.1.1 MONTANHA	28
3.1.2 FLORESTA	29
3.1.3 DESERTO	30
3.1.4 CIDADE	31
3.1.5 RIACHO	32
3.1.6 PLANTAÇÃO	33
3.2 CADEIAS DE ISOLADORES SUJOS	34
3.2.1 CINZAS DE VULCÃO	44
3.2.2 DEPÓSITO DE SAL	45
3.2.3 DEJETOS DE PÁSSAROS	46
4. BANCO DE IMAGENS REAIS	47
5. CONCLUSÕES	53
6. REFERÊNCIAS	54
ANEXOS	56

1. INTRODUÇÃO

A inspeção e manutenção dos sistemas de distribuição de energia elétrica são cruciais para garantir a confiabilidade e a segurança do fornecimento de energia. A inspeção constante dos sistemas permite identificar problemas e realizar manutenção preventiva antes que eles causem falhas na rede, o que pode ser perigoso para as pessoas e causar danos aos equipamentos. Além disso, garante que os equipamentos estejam operando de forma eficiente e reduz a chance de falhas inesperadas, evitando interrupções no fornecimento de energia e minimizando o impacto na economia e na qualidade de vida das pessoas.

As cadeias de isoladores são compostas por vários isoladores e são colocados em série para aumentar a capacidade de suportar as altas tensões que são presentes nas linhas de transmissão de energia. São componentes essenciais para garantir a segurança e a eficiência do transporte de energia elétrica em altas tensões. Os isoladores são utilizados para isolar eletricamente as linhas de transmissão com as estruturas metálicas da torre e o solo, evitando correntes de fuga que representam risco para toda essa estrutura de distribuição de energia, além de risco a segurança pública. Mais do que isolar eletricamente, as cadeias de isoladores também suportam forças mecânicas que são provocadas por fatores naturais como vento, e variações de temperatura e umidade (KUFFEL; ZAENGL, 1984).

Para garantir que os isoladores continuem a funcionar corretamente, é essencial realizar inspeções e manutenções periódicas nos mesmos. A limpeza de cadeias de isoladores é uma tarefa importante para evitar falhas na transmissão provocadas por diversos tipos de sujeiras, como dejetos de pássaros, poeira, sal e químicos provenientes de fumaças (HADIPOUR; SHIRAN, 2017), além de desgastes e danos. A limpeza tradicional de cadeias de isoladores pode apresentar vários riscos, incluindo a segurança dos trabalhadores. O trabalho é realizado em altura, o que pode causar quedas e outros acidentes físicos. Além disso, o trabalho é realizado em torno de equipamentos elétricos de alta tensão, o que aumenta o risco de choques elétricos e outros danos. Existem robôs voltados para este tipo de serviço, mas mesmo nestes casos, existem riscos para os técnicos que precisarão subir e colocar estes robôs nos isoladores. Sendo assim, uma medida importante para evitar esses tipos de problemas seria utilizar sistemas autônomos para manutenção preventiva, que

realizariam automaticamente a inspeção e limpeza, sem a necessidade da intervenção humana.

O uso de inteligências artificiais se tornou comum com o avanço da tecnologia, permitindo a criação de sistemas autônomos que facilmente realizam tarefas que trazem risco aos seres humanos, além de aumentar a eficiência na execução. Sendo assim, a aplicação destas tecnologias é importante para identificação automática do tipo de isolador e sujeira presente, auxiliando a decisão humana para averiguar a necessidade de limpeza. Entretanto, para a construção de um algoritmo que funcione de forma eficiente é preciso uma alta quantidade de imagens de isoladores em diferentes condições que servirão para o treinamento desta inteligência artificial. Na literatura, as imagens existentes são limitadas, principalmente no caso de isoladores sujos. Sendo assim, existe a necessidade de um banco de dados com imagens, para fornecer material suficiente na construção de algoritmos que realizem a identificação de cadeias de isoladores e determinem se estão sujas.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho é a construção de um banco de dados com imagens simuladas de cadeias de isoladores limpos e sujos utilizando-se de softwares como o SolidWorks, Inventor e Unity 3D.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Gerar/obter um banco de dados com cadeias de isoladores limpos e sujos simulados e com imagens reais;
- Operacionalização e controle via drone de uma câmera para aquisição das imagens e tratamento destas.

2. TRABALHOS CORRELATOS

Na literatura existem alguns trabalhos correlatos a este. A criação de um conjunto de imagens simuladas para o treinamento de técnicas de inteligência artificial é uma abordagem utilizada em áreas como robótica e visão computacional. Esta estratégia permite criar dados controlados para contornar a ausência de conteúdos reais para aplicações em diversos projetos.

O artigo (ROS et. al., 2016) apresenta um conjunto de dados sintéticos desenvolvidos para treinar algoritmos de segmentação semântica em cenas urbanas. Inclui muitas variedades como estações do ano, tipos de cenas, iluminação e condições climáticas. Essas imagens foram renderizadas utilizando um motor gráfico e incluíram várias cidades virtuais com diferentes características, como veículos, pedestres, estradas, entre outros.

Em (RICHTER et. al., 2018) os autores propuseram um método de extrair informações semânticas de jogos 3D, como segmentação de cena e rotulagem de objetos, com o objetivo de criar conjuntos de dados voltados para treinamento de redes neurais. Esta estratégia oferece várias vantagens, pois os jogos podem fornecer ambientes 3D realistas, com variação de iluminação e texturas, além de que os jogos podem ser facilmente modificados e controlados.

O artigo (TREMBLAY et al., 2018) apresenta uma técnica chamada *domain randomization*, onde são geradas imagens sintéticas com variações e configurações de iluminação, textura e geometria, simulando as diversidades presentes no mundo real. Esta maneira permite reduzir as diferenças entre os dados simulados e reais, possibilitando melhorar o desempenho de redes neurais.

O trabalho de (PENG et al., 2018) apresenta um método para treinamento de rede neural com um conjunto de dados sintéticos seguidos de ajuste fino com dados reais, o que melhora o desempenho desta rede na detecção de objetos. Essa abordagem tem sido aplicada em áreas, como veículos autônomos e robótica.

3. BANCO DE IMAGENS SIMULADO

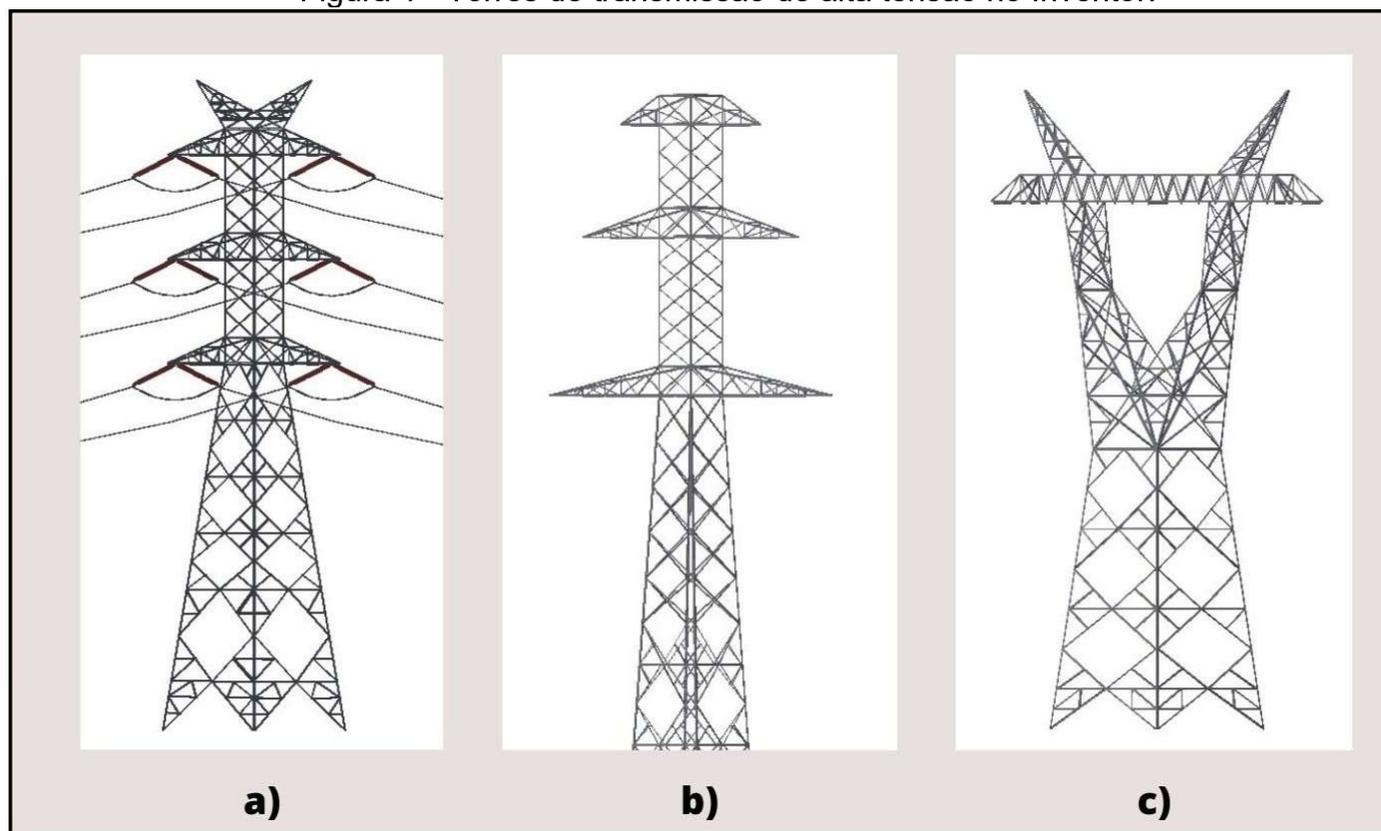
Devido ao foco específico deste trabalho ser a geração de um banco de imagens de diferentes tipos de isoladores limpos e sujos os conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento destes bancos serão detalhados nos Apêndices correspondentes.

Um banco de imagens heterogêneo é um conjunto de imagens que possuem características diferentes entre si, como resolução, orientação, iluminação, cenário de fundo, entre outras. Isso é importante porque permite que a inteligência artificial e algoritmos de aprendizado de máquina sejam treinados com uma variedade de exemplos, o que ajuda a aumentar a precisão e robustez do modelo. A evolução da computação gráfica, permite acessar facilmente dados em ferramentas como o Unity3D, que geram mundos virtuais com a capacidade de manipulação de modelos em diferentes disposições e condições, assim sendo possível construir um grande conjunto de imagens heterogêneas (JI; LIAO; ZHENG; WU; YU; FENG, 2019).

Enfatizando componentes elétricos e utilizando modelos CAD disponíveis a uso público, foram feitas montagens virtuais, no software Inventor, de torres elétricas de alta tensão com isoladores poliméricos, vidro e de porcelana, que são as categorias mais comuns utilizadas.

Os modelos CAD de torres utilizadas neste projeto são apresentados na Fig. 1.

Figura 1 - Torres de transmissão de alta tensão no Inventor.



Fonte: Electric96 – grabcad.com.

A Figura 2 mostra a representação no CAD de um isolador polimérico utilizado como base neste projeto em conjunto com a torre da Fig. 1(a) para geração do banco de dados.

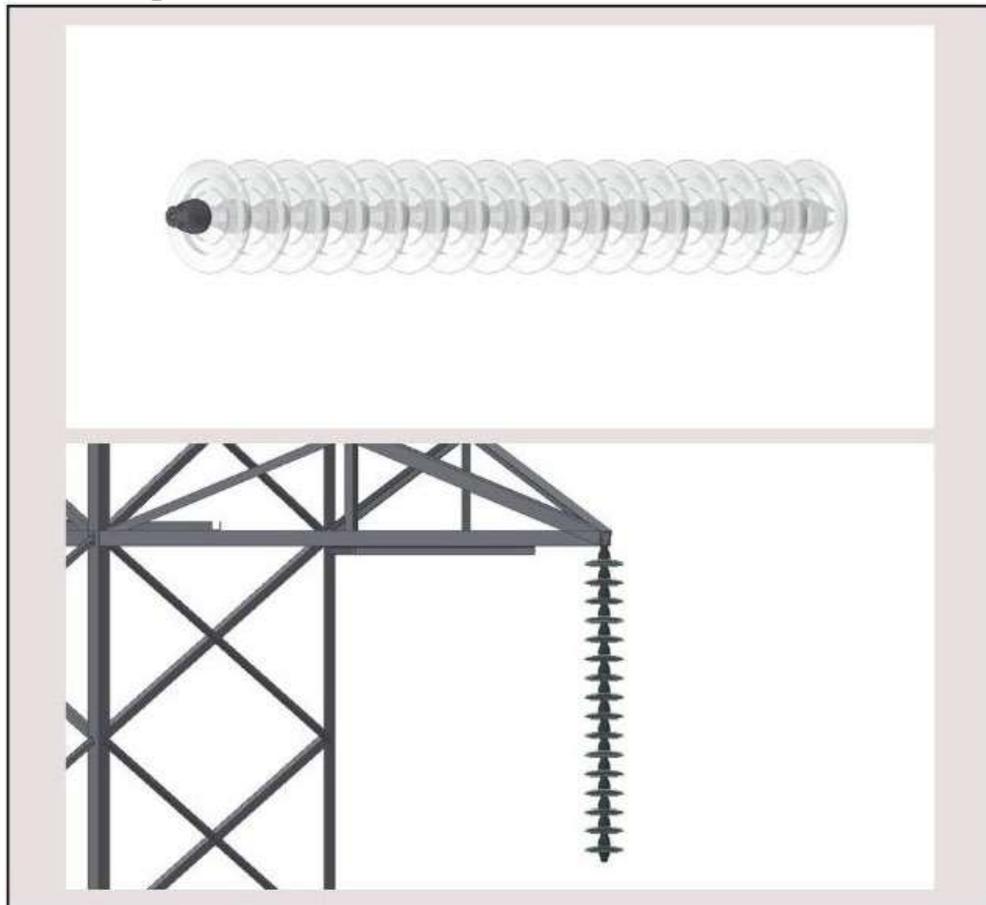
Figura 2 - Cadeias de isoladores poliméricos no Inventor



Fonte: Electric96 – grabcad.com

A Figura 3 mostra a representação no CAD de uma cadeia de isoladores de vidro utilizado como base neste projeto em conjunto com a torre da Fig. 1(b) para geração do banco de dados.

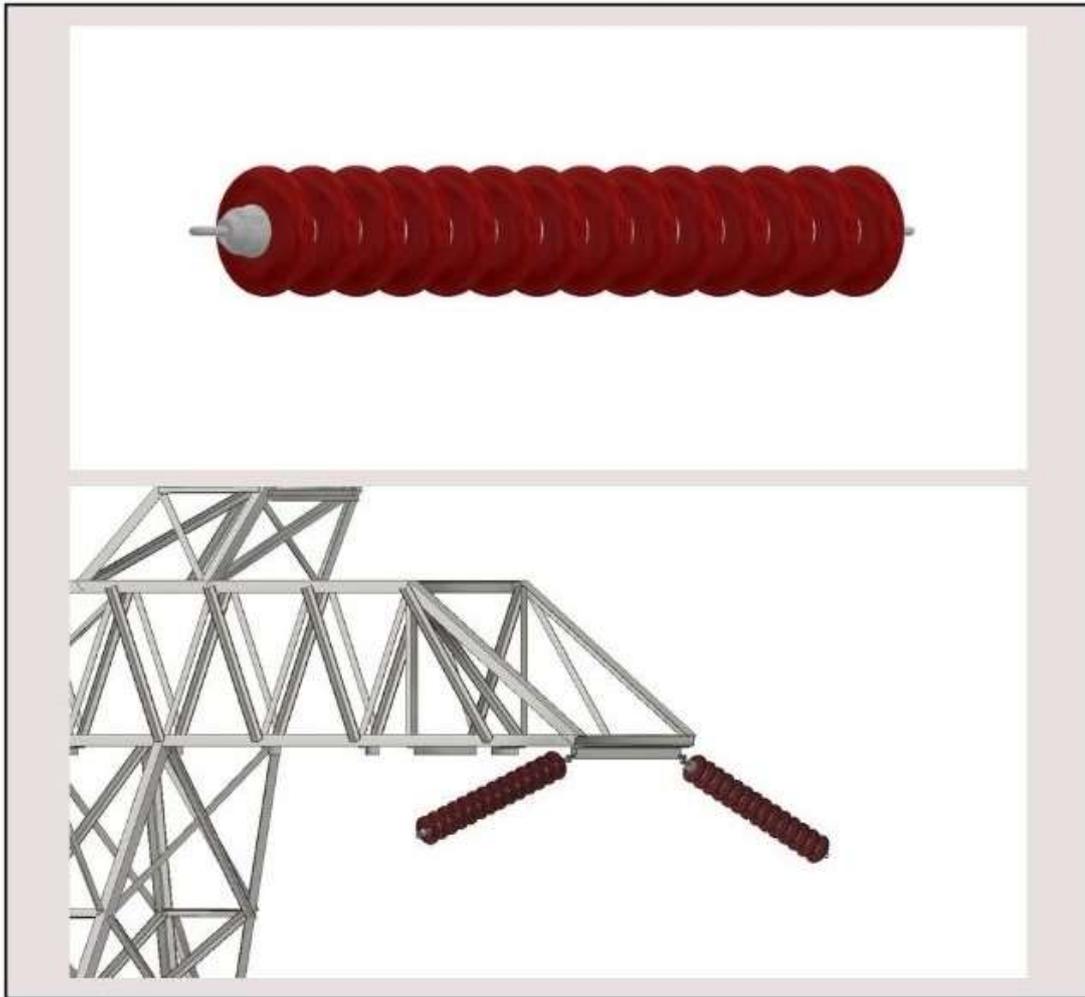
Figura 3 - Cadeias de isoladores de vidro no Inventor



Fonte: Boris – grabcad.com

A Figura 4 mostra a representação no CAD de um isolador de porcelana utilizado como base neste projeto em conjunto com a torre da Fig. 1(c).

Figura 4 - Cadeias de isoladores de porcelana no Inventor



Fonte: Md Shihabul Haque – grabcad.com

O modelo das torres e isoladores utilizados neste projeto estão disponíveis para download em: <https://bit.ly/3jK73Qe>

O software utilizado para o desenvolvimento do banco de imagens foi o Unity versão 2020.3.32f1.

O Unity é uma ferramenta de desenvolvimento de jogos que suporta criação de jogos 2D e 3D para várias plataformas. Os seus principais conceitos são:

- Cenas e objetos: Um jogo é dividido em cenas, na qual representa uma tela ou parte do jogo. Os objetos são elementos básicos que compõem as cenas.
- Componentes: Cada objeto no Unity é composto por componentes, que são scripts (programas), imagens e outros elementos que definem suas propriedades e comportamentos.

- Animação: O Unity permite animar objetos e personagens de maneira fácil.
- Física: Simulações baseadas em fórmulas matemáticas que permite que os objetos sejam animados de forma realista, garantindo que acelerem e respondam corretamente às colisões, gravidade e várias outras forças.
- Iluminação: Ferramenta que permite criar iluminações realistas nas cenas, com sombras, reflexões e luzes que se movimentam.

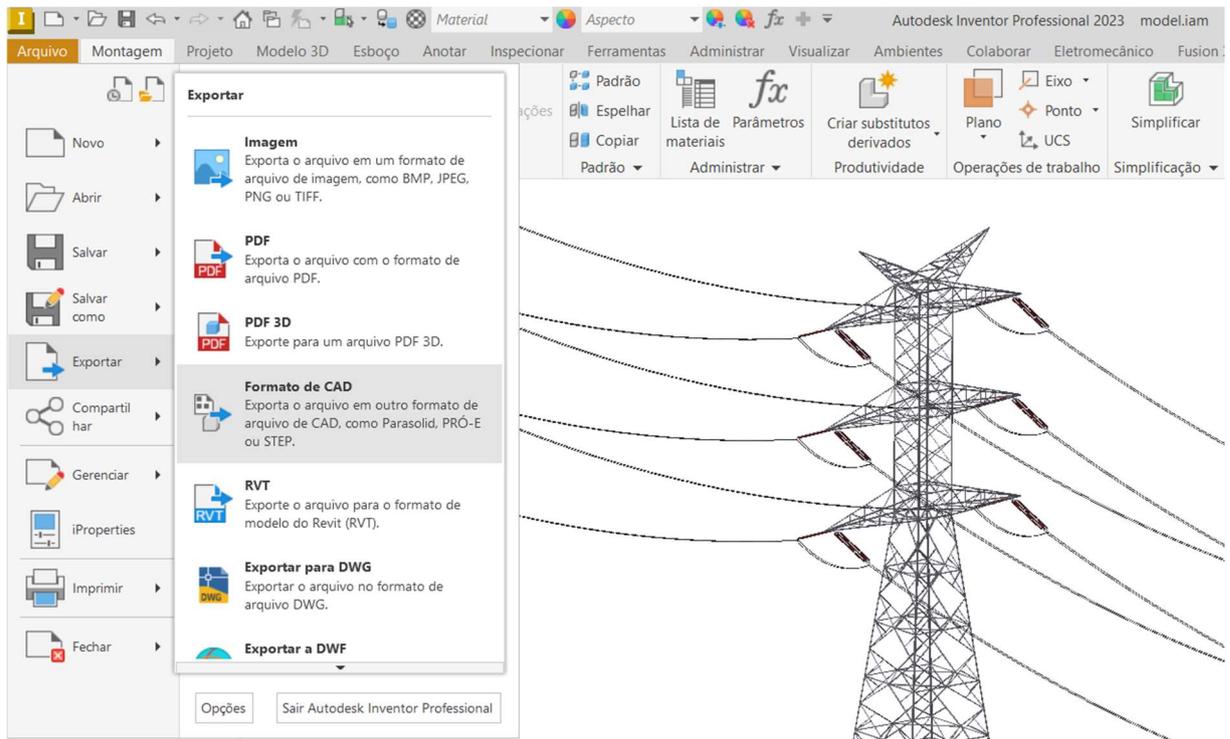
O Unity oferece recursos avançados para criação de jogos com gráficos de qualidade e animações fluídas que entregam uma jogabilidade imersiva a partir dos principais conceitos que constituem essa ferramenta (UNITY DOCUMENTATION, 2023). Apesar disso, existem alguns pontos que trazem problemas na associação de um ambiente virtual com o mundo real, como o comportamento de luz, distorção de lente e saturação de imagem. Existem ferramentas como o **Ray tracing** que oferece soluções para resolver problemas como este, levando em conta os efeitos de reflexão, refração, sombras e iluminação global, proporcionando resultados realistas. Entretanto, para este trabalho estes pontos não foram considerados levando em conta a necessidade de complexidade do projeto.

A primeira etapa necessária para o desenvolvimento deste banco de imagens é a inserção dos modelos de torres e isoladores do software de CAD Inventor/SolidWorks para o arquivo compatível com o software Unity.

O Unity aceita modelos 3D criados por diversas ferramentas, possibilitando que arquivos de vários formatos diferentes sejam suportados. Sendo assim, para usar os modelos CAD das torres com isoladores do Autodesk Inventor (ou SolidWorks), o arquivo foi salvo em OBJ e alocado em uma cena no Unity. Para isso, foi preciso seguir os seguintes passos:

1. Abrir o modelo no Inventor e exportá-lo como um arquivo OBJ.

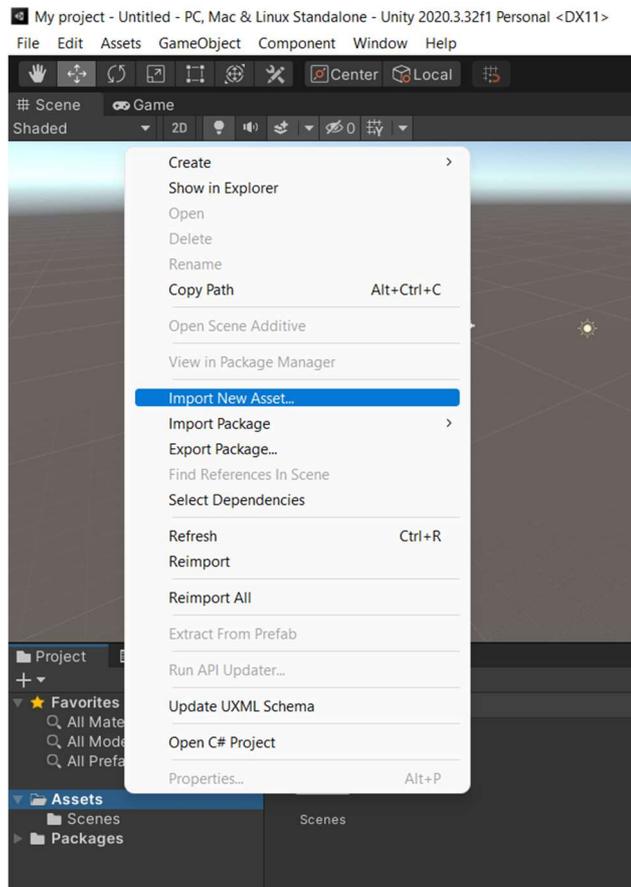
Figura 5 - Exportar modelo CAD.



Fonte: Autor.

2. Já no Unity, na janela “Project”, clicar com o botão direito em “Assets” e selecionar “Import New Asset”.

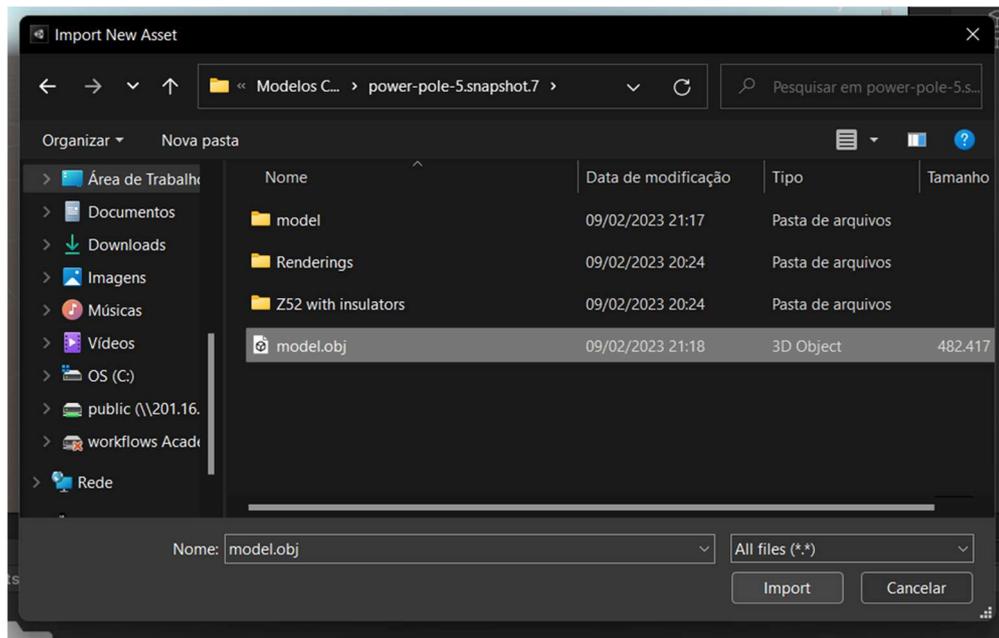
Figura 6 - Importar Novo Asset



Fonte: Autor.

3. Importar modelo

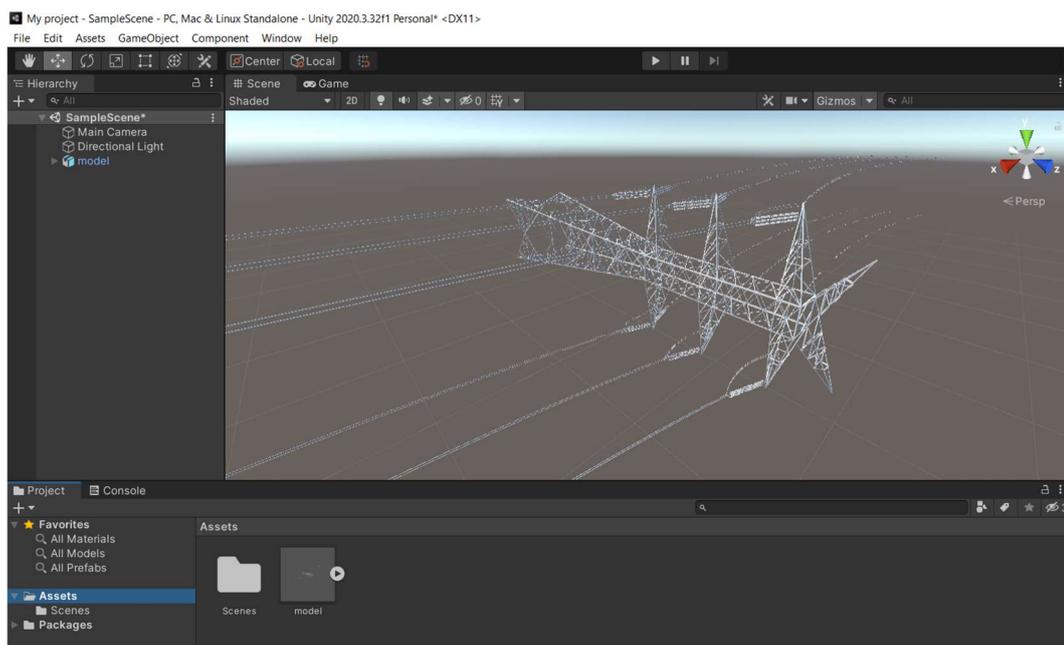
Figura 7 - Importar modelo.



Fonte: Autor

4. Arrastar o modelo importado da janela "Project" para a janela "Scene".

Figura 8 - Modelo na cena.

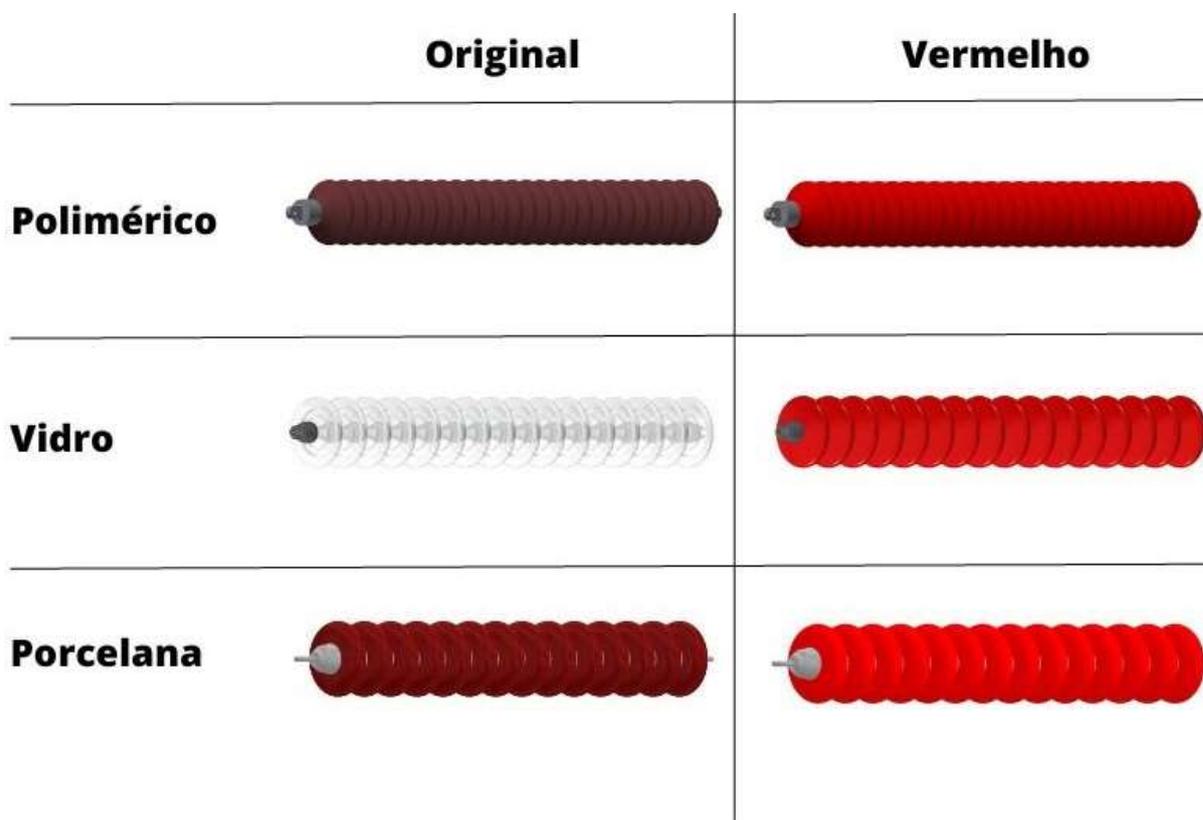


Fonte: Autor.

Os ambientes virtuais desenvolvidos com softwares podem gerar imagens heterogêneas usando câmeras virtuais. Essas ferramentas podem ser controladas livremente, possibilitando mover e rotacionar para capturar imagens em diferentes perspectivas. Existe também a possibilidade de simular diferentes condições de iluminação e adicionando objetos ao cenário, além da capacidade de atribuir diferentes resoluções, gerando imagens realísticas que servem para o pressuposto de construir um conjunto de dados simulados para algoritmos de aprendizado de máquina.

Visando construir um banco de imagens para ser utilizado na abordagem de aprendizado supervisionado, foram utilizados também modelos com os discos das cadeias de isoladores totalmente vermelhos, a fim de diferir das cores originais dos discos e assim gerar imagens totalmente semelhantes, exceto pela cor dos discos. Esse método consiste em subtrair uma imagem de referência, ou imagem-base, de uma imagem de entrada, possibilitando assim, destacar as regiões de interesse (BISHOP; NASRABADI, 2006). Os isoladores com as diferentes cores são apresentados na, Fig. 9.

Figura 9 - Cadeias de isoladores com cores originais e vermelho no Inventor.



Fonte: Autor.

3.1 CADEIAS DE ISOLADORES LIMPOS

Integrando as montagens realizadas no software de desenho/CAD com o Unity, descritos nos Apêndices A e B, e visando gerar imagens diferentes entre si, foram desenvolvidos diferentes ambientes de fundo (paisagens) no Unity. As paisagens construídas para o conjunto de imagens são:

- Montanha
- Floresta
- Deserto
- Cidade
- Riacho
- Plantação

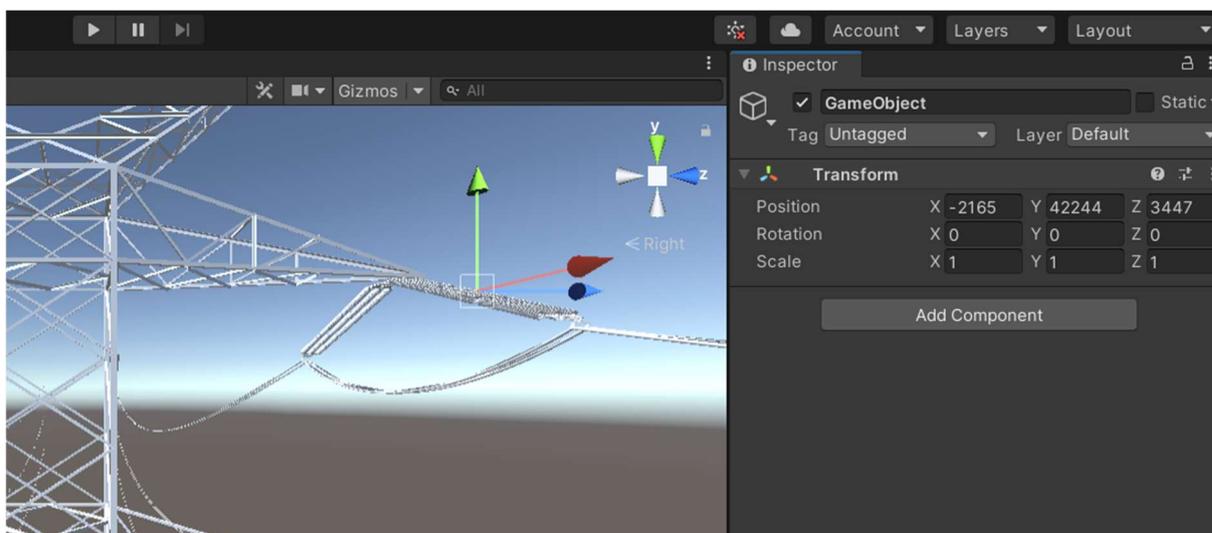
Estes diferentes ambientes foram construídos utilizando modelos 3D disponíveis para uso público na internet e construções diretamente no software Unity utilizando recursos e pacotes disponíveis na ferramenta.

A fim de capturar imagens em diferentes disposições, a câmera virtual foi programada para rotacionar em diferentes ângulos em torno dos eixos que definem a posição do objeto, neste caso o modelo 3D da cadeia de isoladores, e realizar afastamentos periódicos da fonte de foco, para reproduzir diferentes disposições. No Unity, a câmera virtual é uma representação virtual de uma câmera na cena do jogo. Usando um script em C# para que a câmera se comporte da forma desejada, foi preciso realizar as capturas das cadeias de isoladores e salvar as imagens com resoluções de 256 pixels e 512 pixels em um diretório especificado.

A seguir estão os passos para usar a câmera virtual do Unity:

1. Criar um *GameObject* sem forma e usar as ferramentas de transformação para posicionar em uma das cadeias de isoladores presentes na torre.

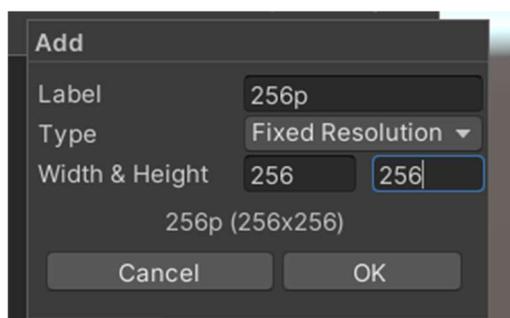
Figura 10 - GameObject posicionado.



Fonte: Autor.

2. Fixar resolução da tela do ambiente “Game” que será capturada pela câmera. Colocando uma resolução de 256x256 pixels, permitirá que as imagens sejam salvas diretamente nesta resolução e também no dobro do tamanho (512 pixels) utilizando o script que será desenvolvido.

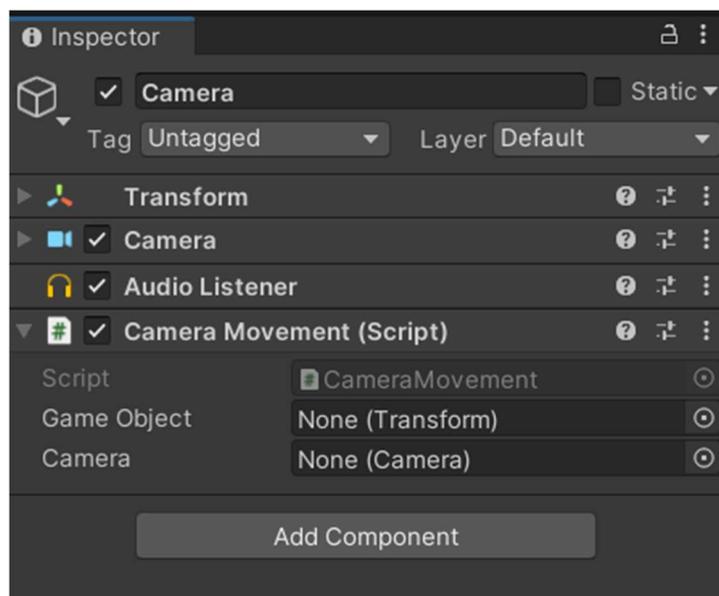
Figura 11 - Fixar resolução.



Fonte: Autor.

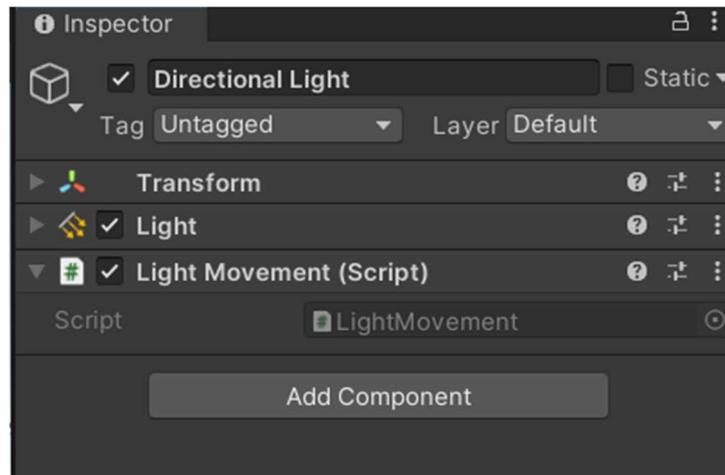
3. Desenvolver scripts de movimento da câmera e da fonte de luz e atribuir a estes objetos presentes na cena.

Figura 12 - Campos do Script.



Fonte: Autor.

Figura 13 - Janela Inspector da Luz Direcional.



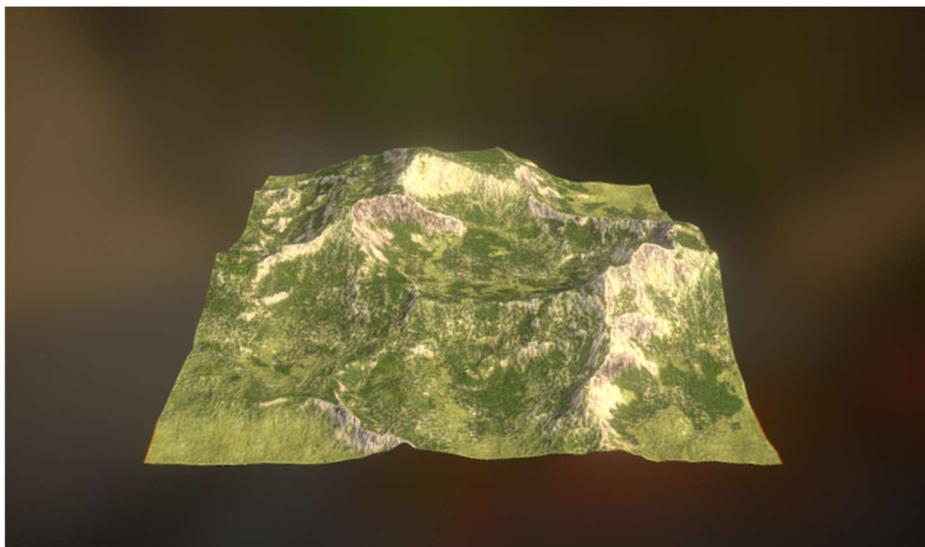
Fonte: Autor.

Para cada um dos tipos de paisagens, tem-se um total de 2.627 imagens por tipo de disco com as cores originais, portanto, tem-se 47.286 imagens distintas no total, afora as imagens correspondentes com os discos na cor vermelha.

Para os ambientes de montanha, deserto, cidade e riacho foram utilizados modelos 3D de terrenos disponíveis abertamente de outros autores, enquanto os ambientes de floresta e plantação foram feitos diretamente com as ferramentas do Unity com o pacote *NatureStarterKit2*, onde existem disponíveis modelos de árvores e plantas. Para cada ambiente foi criada uma cena no Unity3D, onde os modelos de terrenos foram adicionados e as torres com os diferentes tipos de isoladores foram posicionadas por cima dos terrenos. Considerando que serão geradas imagens com os isoladores originais e com a coloração dos discos alterada para vermelho, é importante que todas as características dos dois tipos de imagens, como orientação, iluminação e cenário de fundo sejam idênticas. Sendo assim, é necessário que os modelos de torre de transmissão de energia contendo os dois tipos de cor de isoladores estejam sobrepostas, sendo necessário ocultar uma por vez ao iniciar a simulação com todo o procedimento de geração automática de imagens.

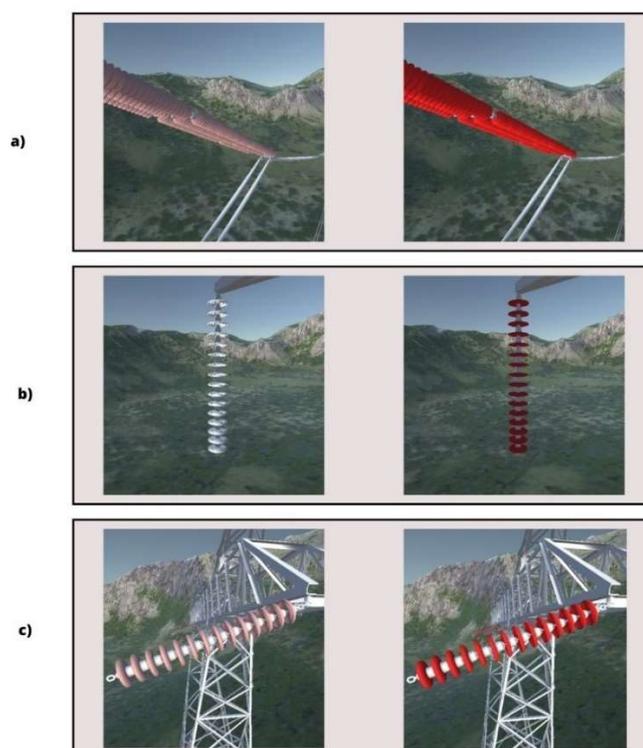
3.1.1 MONTANHA

Figura 14 – Ambiente Montanha.



Fonte: *Free* Quick terrain test, Kris Teper – sketchfab.com.

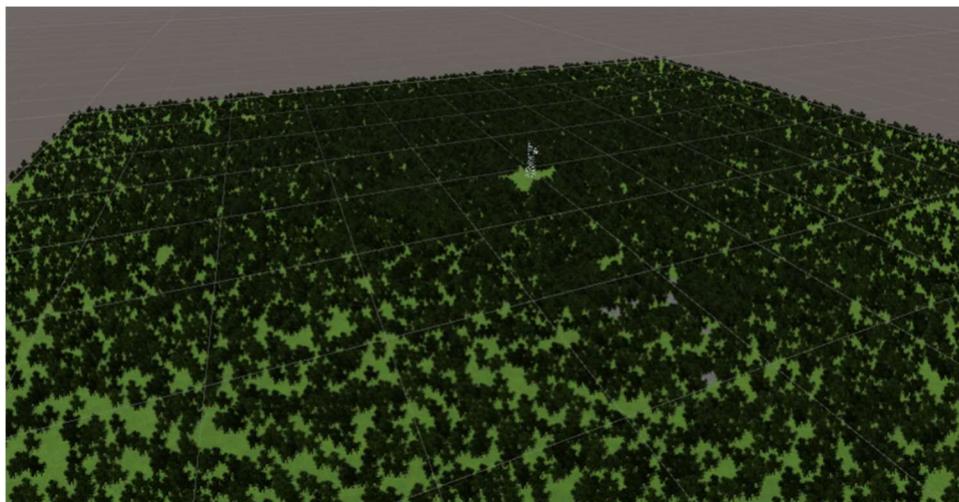
Figura 15 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente montanha; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente montanha; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente montanha.



Fonte: Autor.

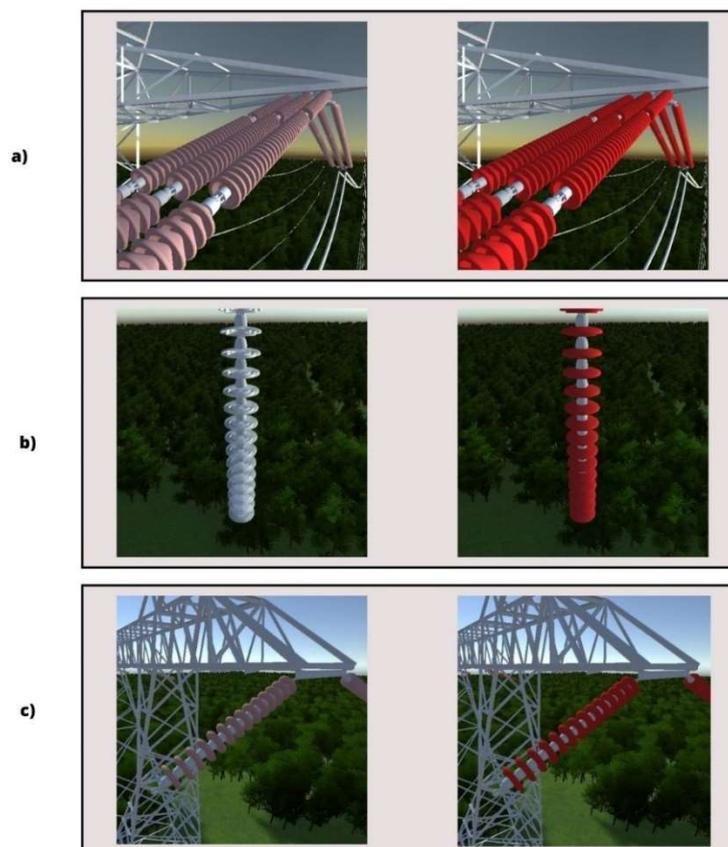
3.1.2 FLORESTA

Figura 16 - Ambiente Floresta.



Fonte: Autor.

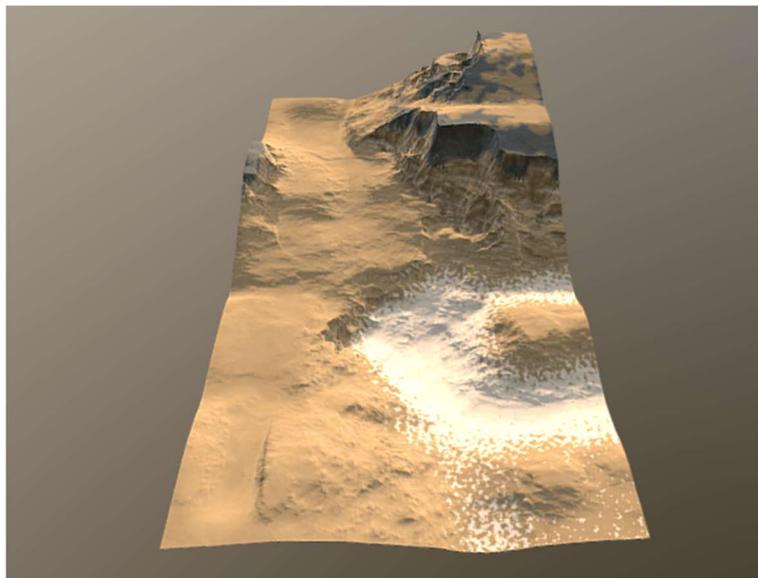
Figura 17 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente floresta; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente floresta; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente floresta.



Fonte: Autor.

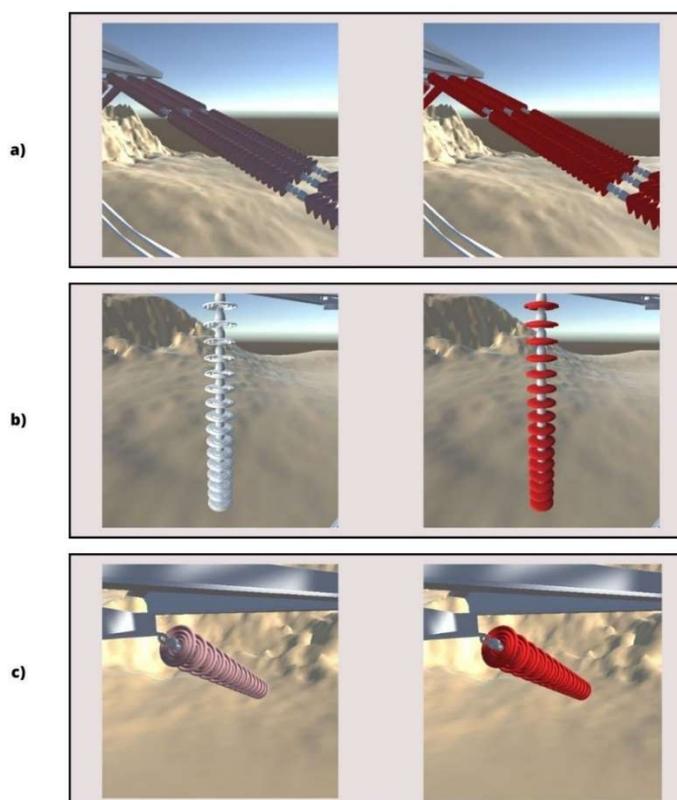
3.1.3 DESERTO

Figura 18 – Ambiente Deserto.



Fonte: FREE Terrain Sandy Roc, josevega – sketchfab.com.

Figura 19 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente deserto; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente deserto; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente deserto.



Fonte: Autor.

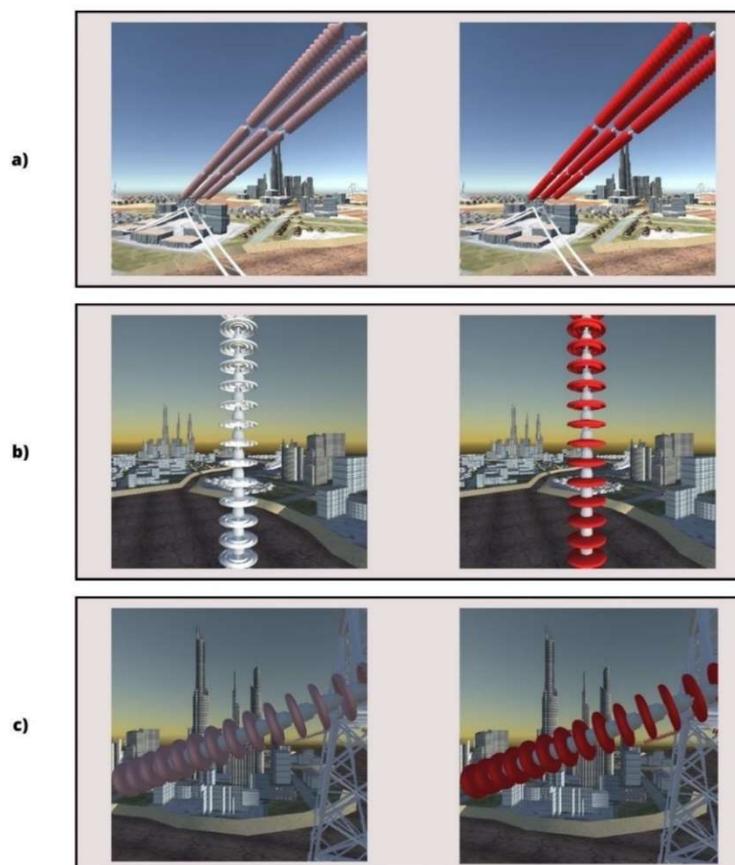
3.1.4 CIDADE

Figura 20 – Ambiente Cidade.



Fonte: City Islands, herminio - free3d.com

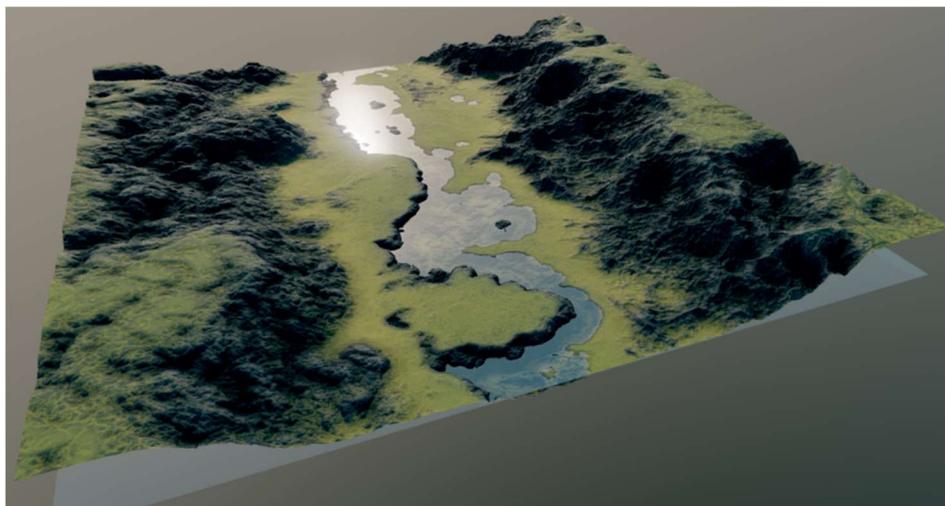
Figura 21 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente cidade; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente cidade; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente cidade.



Fonte: Autor.

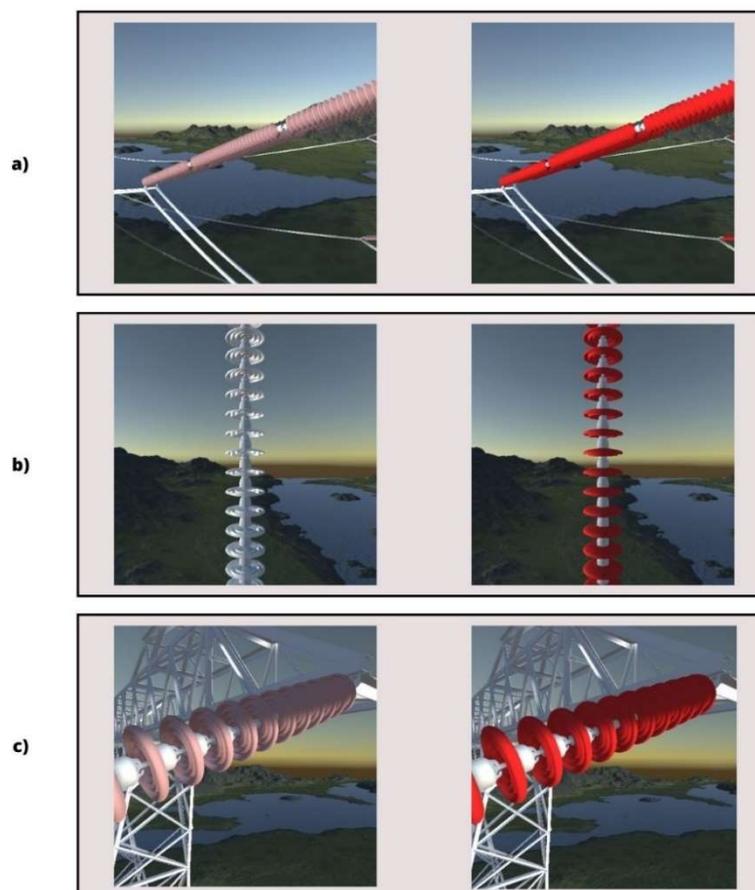
3.1.5 RIACHO

Figura 22 – Ambiente Riacho.



Fonte: Terrain, FNG - sketchfab.com

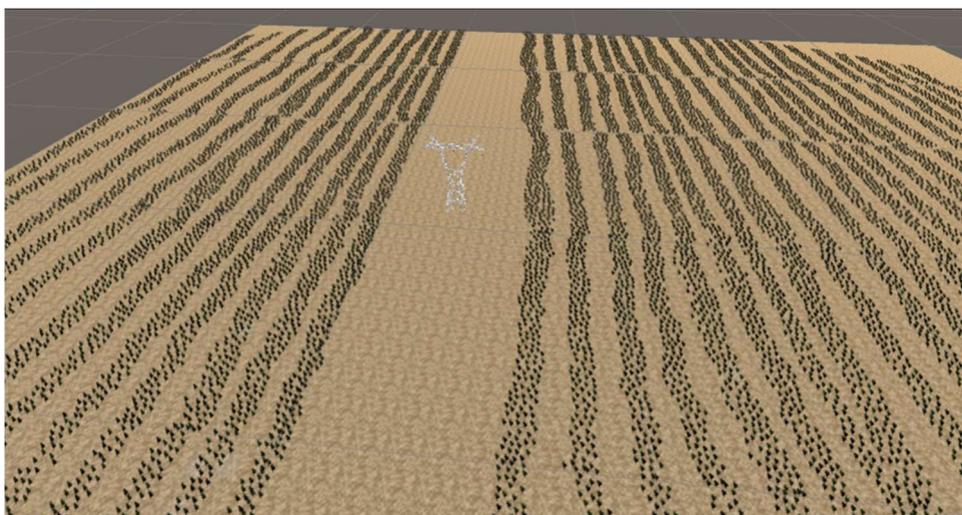
Figura 23 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente riacho; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente riacho c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente riacho.



Fonte: Autor.

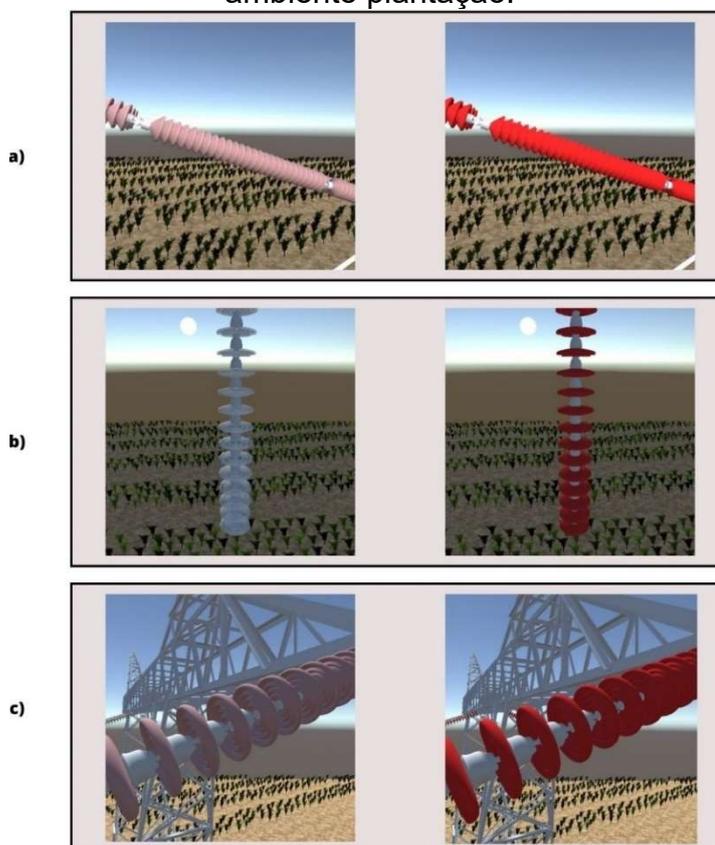
3.1.6 PLANTAÇÃO

Figura 24 - Ambiente Plantação.



Fonte: Autor.

Figura 25 - a) Cadeia de isoladores poliméricos no ambiente plantação; b) Cadeia de isoladores de vidro no ambiente plantação; c) Cadeia de isoladores de porcelana no ambiente plantação.



Fonte: Autor.

Os bancos de dados das cadeias de isoladores gerados neste projeto podem ser acessados em: <https://www.kaggle.com/datasets/brenobmoura/dataset-isolator>

3.2 CADEIAS DE ISOLADORES SUJOS

As cadeias de isoladores estão constantemente submetidas a poluições e sujeiras. Esses depósitos podem formar nos discos, uma camada condutora que pode provocar condução indesejada de corrente elétrica e fenômenos como o *flashover*, Fig.18.

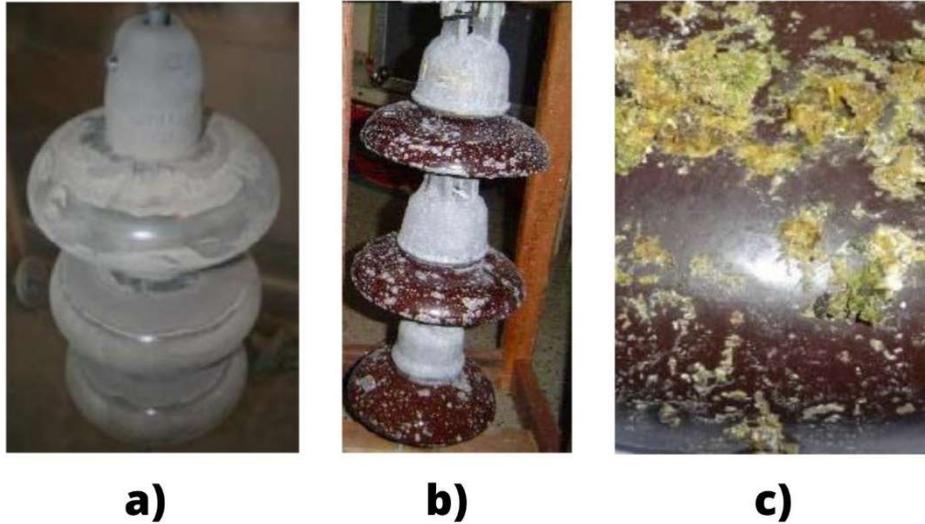
Figura 26 – Flashover.



Fonte: (HADIPOUR; SHIRAN, 2017).

Alguns exemplos de poluentes comuns presentes em cadeias de isoladores, são dejetos de pássaros, depósitos de sal e cinzas de vulcão ou poluição industrial.

Figura 27 - a) Cinzas de vulcão; b) Depósito de sal; c) Dejetos de pássaros.

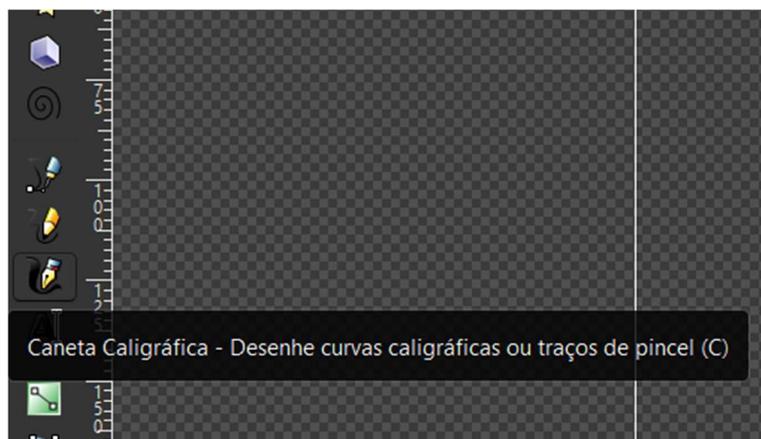


Fonte: (HADIPOUR; SHIRAN, 2017).

Visando construir um banco de dados de imagens simulado com esses tipos de poluentes, foram desenvolvidas texturas que representem cada um. As texturas foram feitas utilizando o software Inkscape, que é um editor de gráficos vetoriais, utilizando ferramentas do próprio software e a partir de imagens disponíveis na internet, e inseridos nos modelos virtuais dos isoladores no software Inventor.

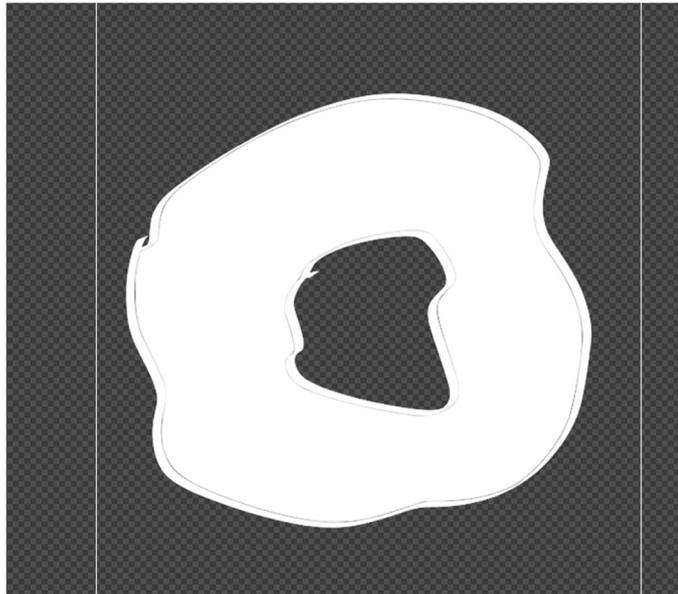
Para desenvolver as texturas no Inkscape utilizar a ferramenta “Caneta Caligráfica” ou importar imagens e manipulá-las:

Figura 28 - Caneta Caligráfica.



Fonte: Autor.

Figura 29 - Desenho da forma da poluição

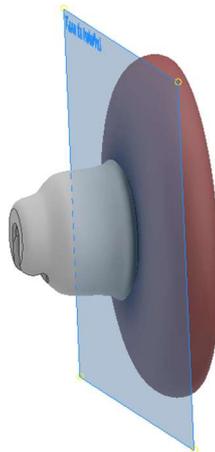


Fonte: Autor.

Para inserir uma textura nos discos das cadeias de isoladores, deve-se usar a ferramenta “Decalque” do Inventor. Para isso basta seguir os seguintes passos:

1. Criar um plano de forma que fique colado a face em que será aplicada a imagem.

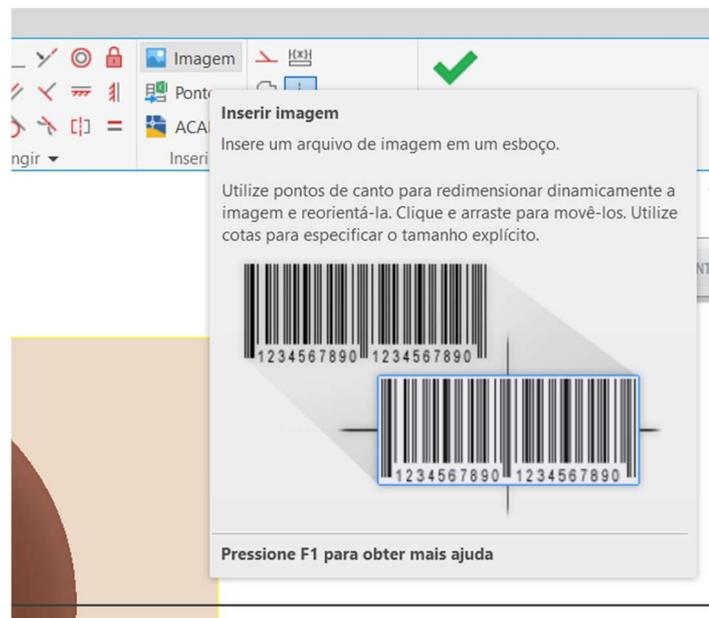
Figura 30 - Plano aplicado.



Fonte: Autor.

2. No plano de trabalho criado, criar um esboço e na aba “Esboço” selecionar a ferramenta “Imagem”.

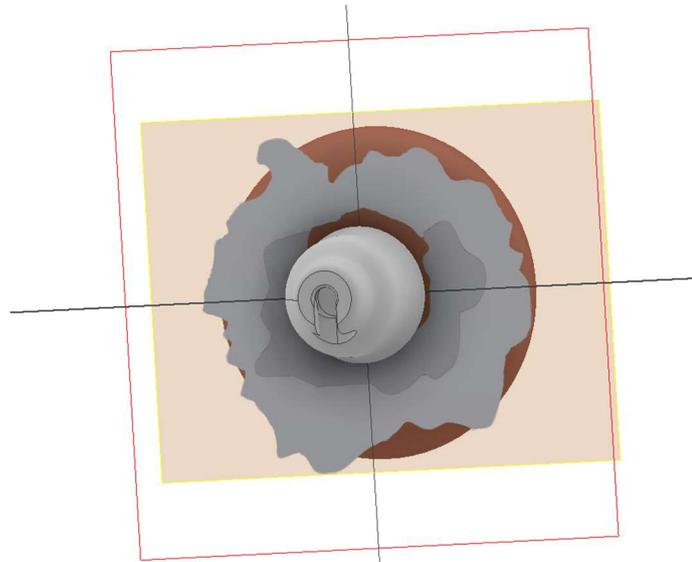
Figura 31 - Inserir Imagem.



Fonte: Autor.

3. Posicionar e alterar a escala da textura utilizando o cursor, para que se adeque ao disco. Por fim, salvar o esboço.

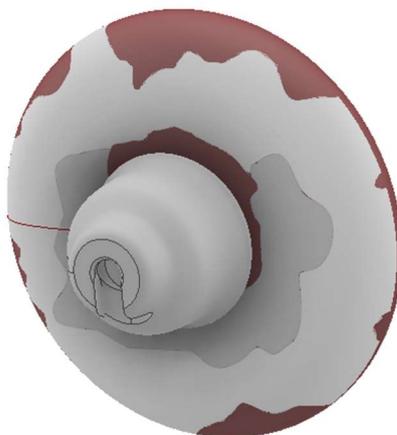
Figura 32 - Posicionar imagem.



Fonte: Autor.

4. Na ferramenta “Decalque”, clicar na aba “Propriedade”, selecionar a imagem inserida no campo “Imagem” e a face que disco no campo “Face”. Por fim, clicar em “OK”.

Figura 33 - Decalque aplicado.



Fonte: Autor.

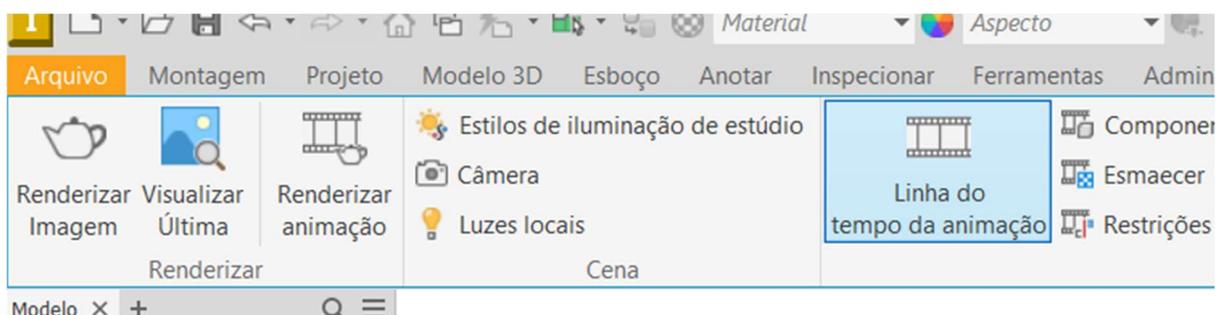
Considerando que a rede neural que fará uso desse banco de imagens irá utilizar a abordagem de aprendizado não supervisionado, a qual a região de interesse são os poluentes presentes no disco, as imagens foram geradas automaticamente usando uma câmera virtual presente no próprio software Inventor, na qual uma animação era executada e a câmera virtual rotacionada em torno dos isoladores e realizava capturas de imagens a cada frame, resultando em várias imagens do isolador sujo em diferentes disposições. Sendo assim, não foram geradas imagens com diferentes paisagens, pois para o método de aprendizado não supervisionado isso não é importante. Foi utilizado no fundo, apenas uma coloração azul padrão do software Inventor.

As imagens eram salvas automaticamente em um diretório da máquina com a resolução de 512 pixels. Foi escolhida apenas essa resolução, pois mostrava de forma mais evidente as impurezas presentes nos discos, o que é importante para realizar a detecção por parte da rede neural. Sendo assim, não foram geradas imagens em 256 pixels como foi feito para as cadeias de isoladores limpos.

Para gerar as imagens a partir do Inventor, basta seguir os seguintes passos:

1. Abrir a ferramenta “Inventor Studio” e clicar em “Linha do tempo da animação” na barra de ferramentas.

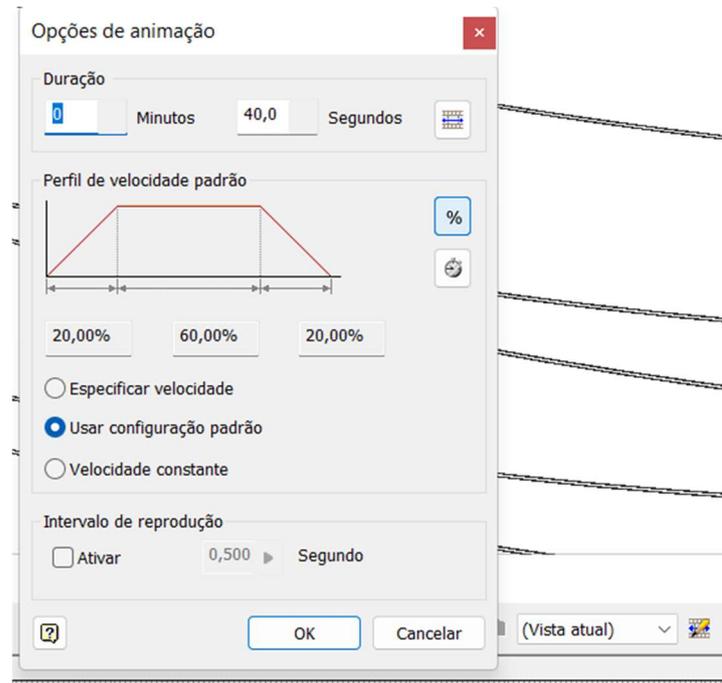
Figura 34 - Linha do tempo da animação.



Fonte: Autor.

2. Na linha do tempo de animação que foi aberta, clicar em “Opções da animação” e definir a duração da animação e o perfil de velocidade.

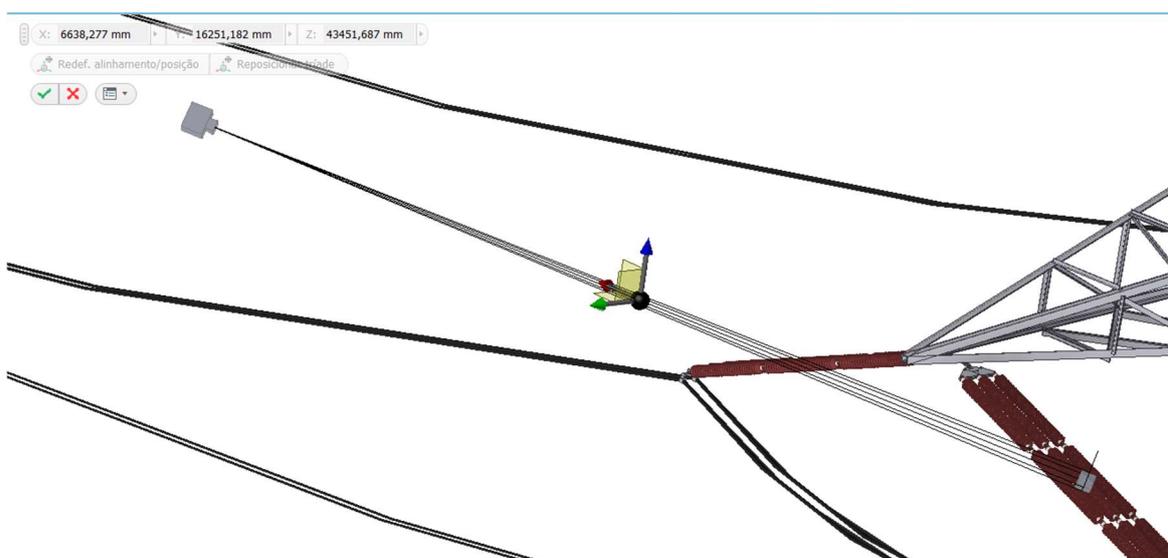
Figura 35 - Opções de animação.



Fonte: Autor.

3. Criar uma câmera e usar as ferramentas de transformação, para posicionar a câmera de forma que o seu foco esteja sobre as cadeias de isoladores de interesse.

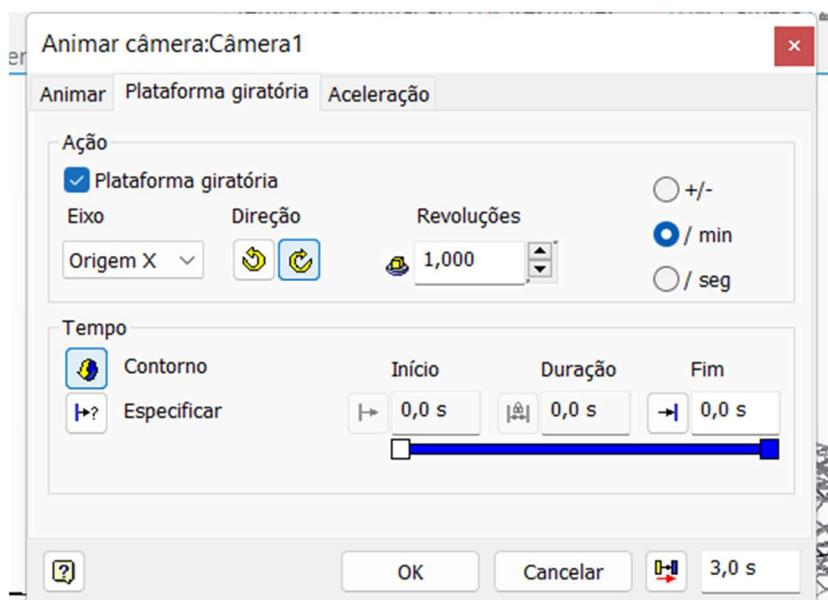
Figura 36 - Posicionar câmera.



Fonte: Autor.

4. Na aba “Câmera” clicar na opção “Animar câmera”. Na aba “Plataforma giratória”, marcar a caixa de seleção e configurar como a câmera deve rotacionar, através de parâmetros como eixo, direção de giro e revoluções em diferentes unidades.

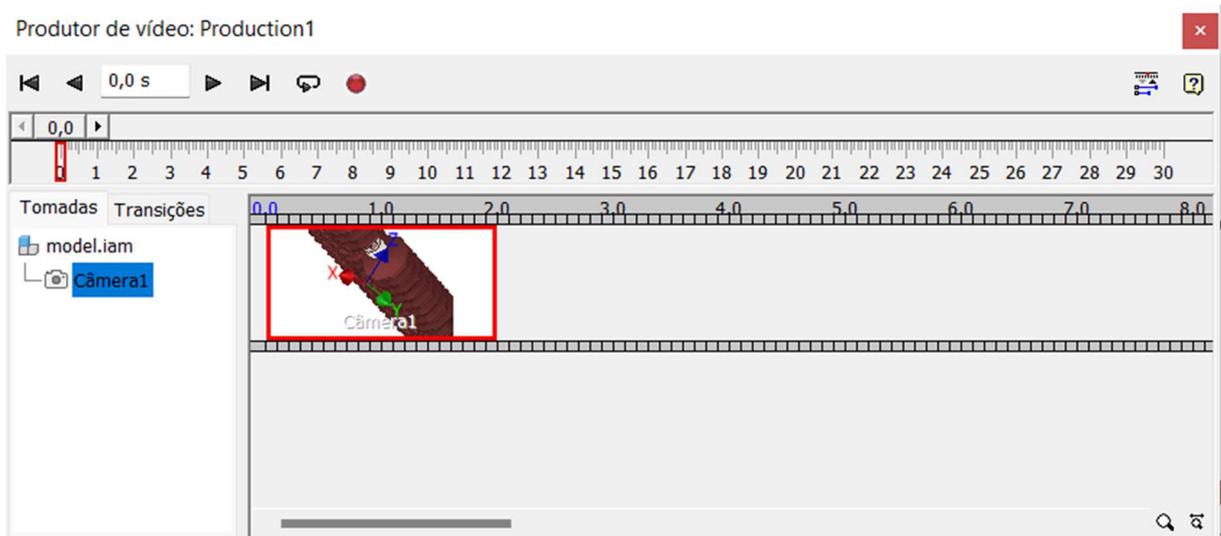
Figura 37 - Plataforma giratória.



Fonte: Autor.

5. Definir a tomada de câmera, para que ela grave em todo tempo de animação definido anteriormente.

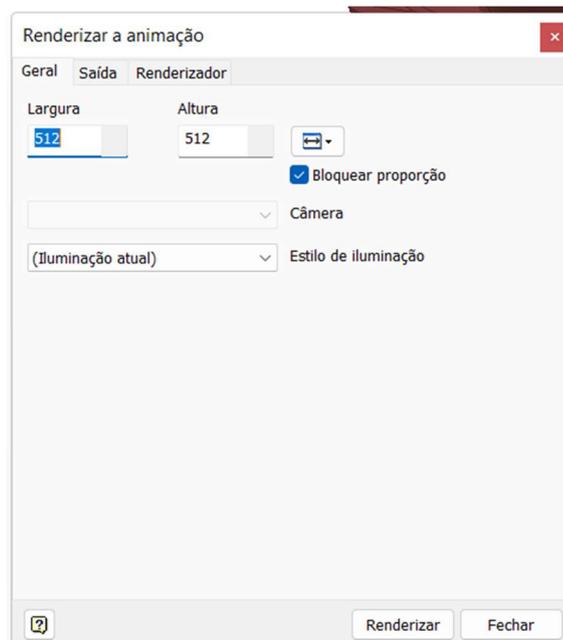
Figura 38 - Tomada de câmera.



Fonte: Autor.

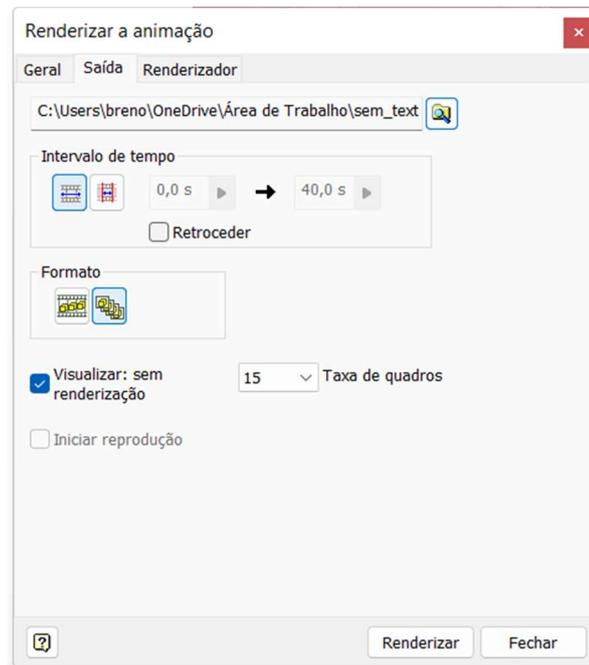
6. Clicar em "Gravar animação" e configurar a renderização para 512 pixels e saída "Formato de sequência de imagens".

Figura 39 - Configuração da renderização – Geral.



Fonte: Autor.

Figura 40 - Configuração da renderização – Saída.



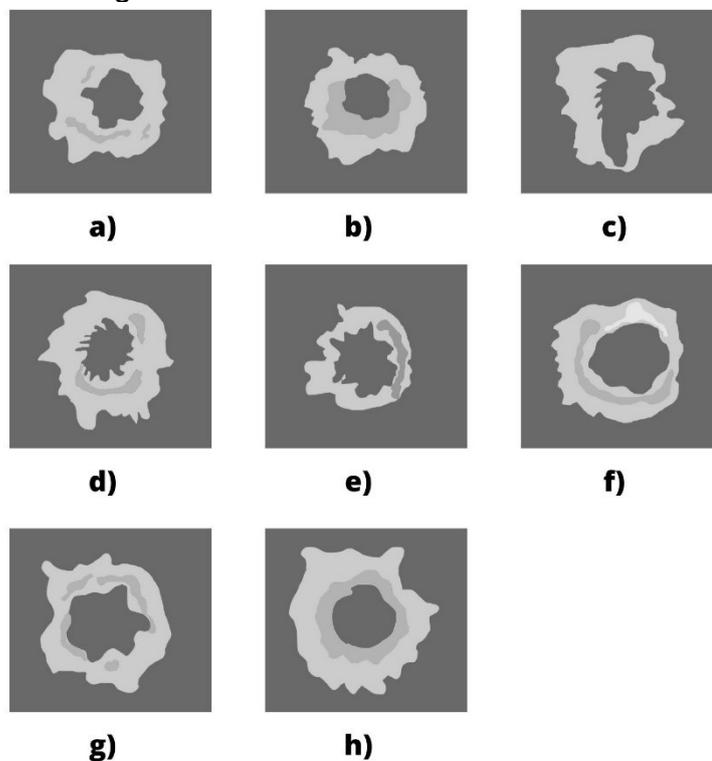
Fonte: Autor.

7. Por fim, selecionar o diretório em que as imagens serão salvas e clicar em "Renderizar"

Para cada um dos tipos de poluentes, tem-se um total de 1202 imagens por tipo de disco, portanto, tem-se 10818 imagens distintas no total.

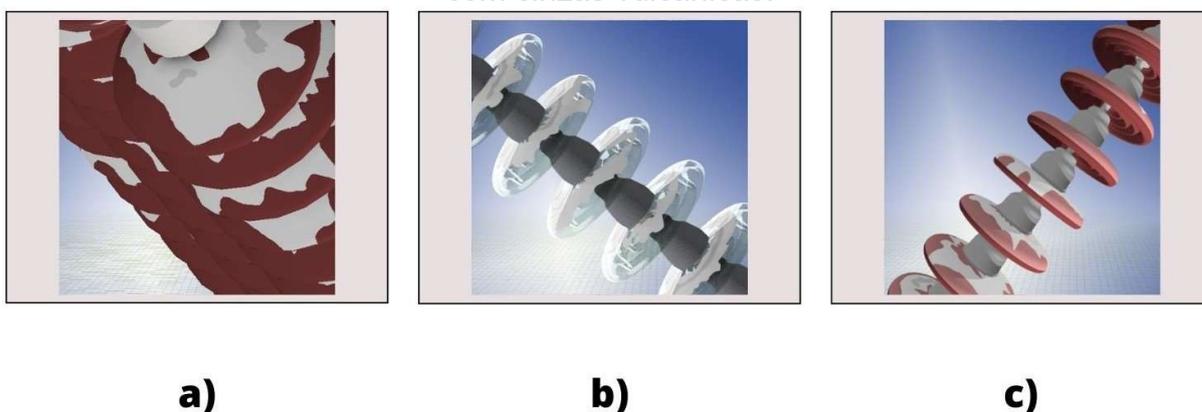
3.2.1 CINZAS DE VULCÃO

Figura 41 - Texturas cinzas vulcânicas.



Fonte: Autor.

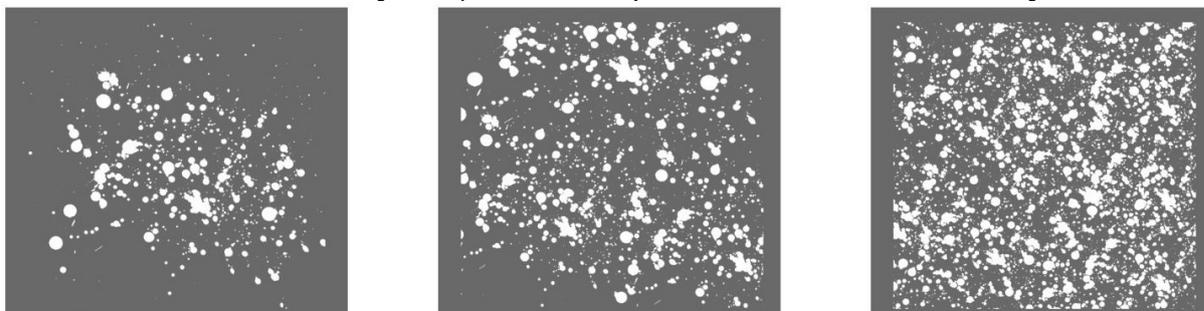
Figura 42 - a) Cadeia de isoladores poliméricos com cinzas vulcânicas; b) Cadeia de isoladores de vidro com cinzas vulcânicas; c) Cadeia de isoladores de porcelana com cinzas vulcânicas.



Fonte: Autor

3.2.2 DEPÓSITO DE SAL

Figura 43 - a) Textura depósito de sal baixa concentração; b) Textura depósito de sal média concentração; c) Textura depósito de sal alta concentração.



a)

b)

c)

Fonte: Autor.

Figura 44 - a) Cadeia de isoladores poliméricos com depósito de sal; b) Cadeia de isoladores de vidro com depósito de sal; c) Cadeia de isoladores de porcelana com depósito de sal.



a)

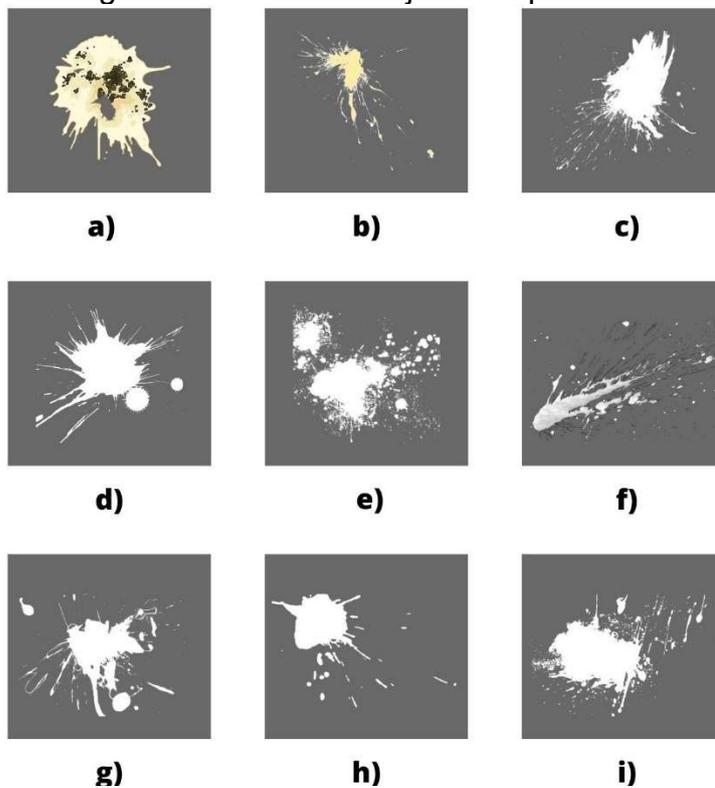
b)

c)

Fonte: Autor.

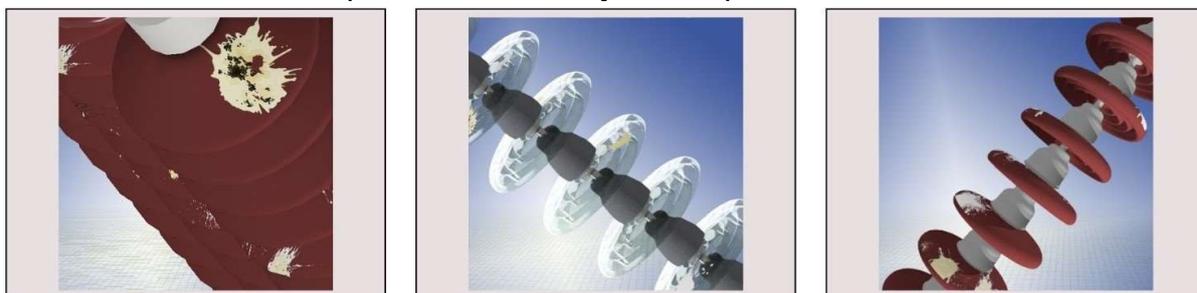
3.2.3 DEJETOS DE PÁSSAROS

Figura 45 - Texturas dejetos de pássaros.



Fonte: Autor.

Figura 46 - a) Cadeia de isoladores poliméricos com dejetos de pássaros; b) Cadeia de isoladores de vidro com dejetos de pássaros; c) Cadeia de isoladores de porcelana com dejetos de pássaros.



a)

b)

c)

Fonte: Autor.

4. BANCO DE IMAGENS REAIS

Para a construção de um banco de imagens reais, será feita a operacionalização e controle via drone da câmera para aquisição delas. Para isso, será feito o uso da câmera DJI Zenmuse Z30, como mostra a Fig. 47, onde foi desenvolvido um acoplamento para ela e seu sistema de controle no drone disponível no Laboratório de Automação e Robótica (LAR) da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Figura 47 - Câmera DJI Zenmuse Z30

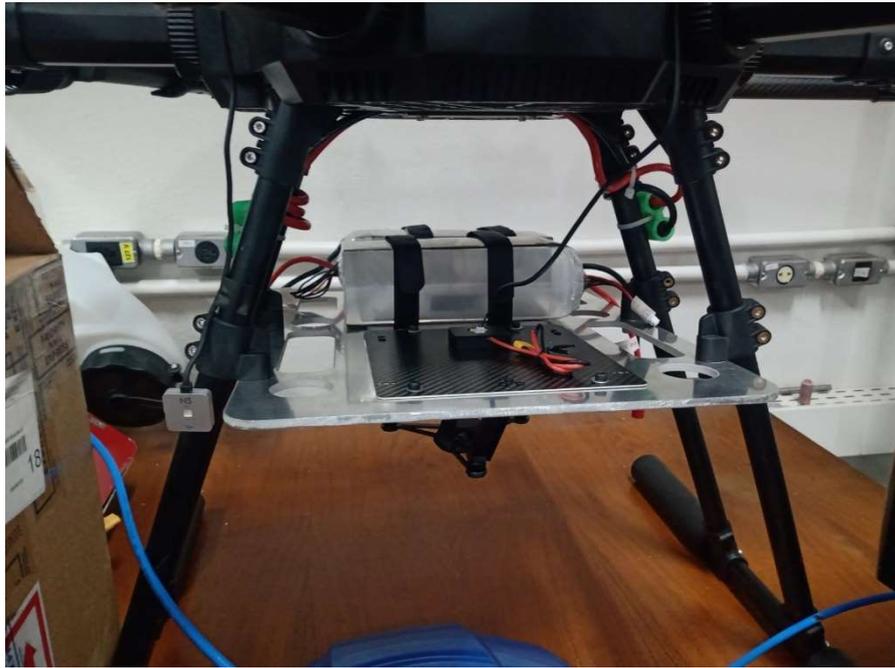


Fonte: dji.com.

Todo o processo de montagem e ligação da câmera está detalhado a seguir:

1. Foi construída uma base de alumínio que será fixada ao drone e servirá de suporte para acoplar a câmera. Nesta base, foram feitos furos para ligar mecanicamente o gimbal deste modelo de câmera e espaço para fixar as baterias que alimentam a câmera e os motores do drone.

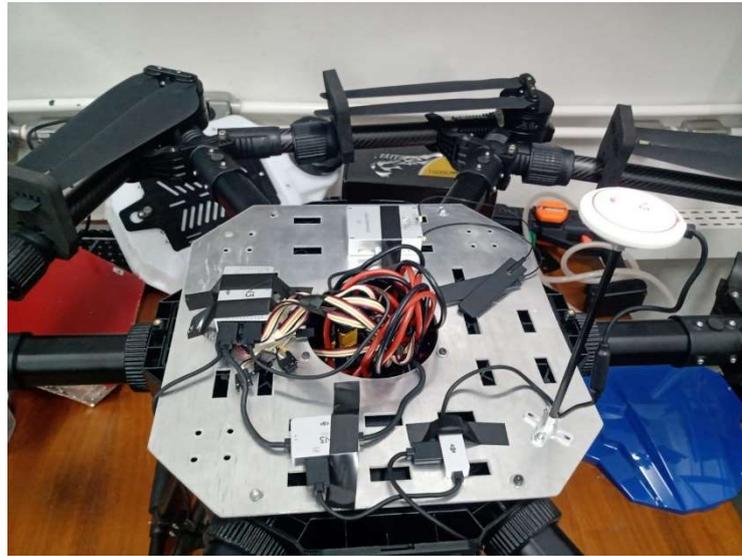
Figura 48 - Base instalada no drone.



Fonte: Autor.

2. Para fazer controle do drone, é usado o controlador de voo N3 da DJI associado ao controle remoto Lightbridge 2, também da DJI. Com o objetivo de acomodar todos os componentes que devem ser fixados no drone para todo o controle dos motores e da câmera, foi desenvolvida uma base, que será parafusada na parte superior do drone.

Figura 49 - Base do controle fixa no drone.

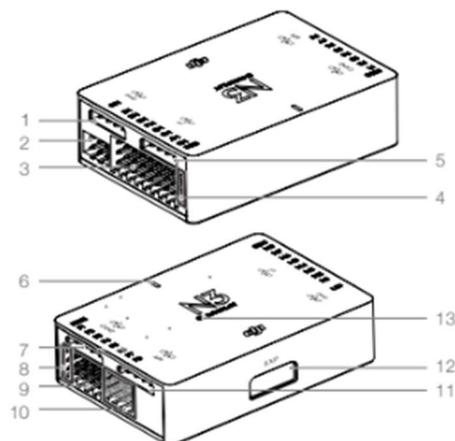


Fonte: Autor.

Toda a ligação realizada para controle dos motores e câmera do drone, foi constituída pelos seguintes componentes:

- Controlador de voo.

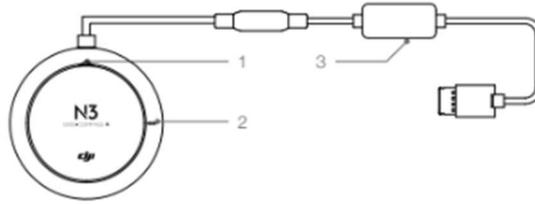
Figura 50 - Controlador de voo.



Fonte: Manual de uso N3.

- Módulo GNSS-Compass.

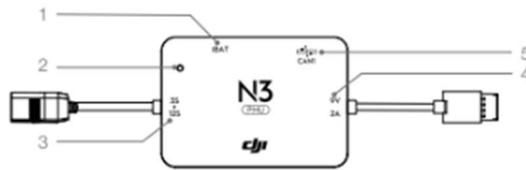
Figura 51 - Módulo GNSS-Compass.



Fonte: Manual de uso N3.

- Módulo PMU.

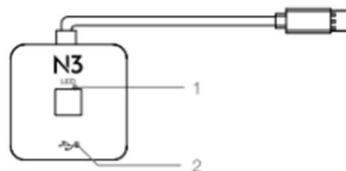
Figura 52 - Módulo PMU.



Fonte: Manual de uso N3.

- Módulo LED.

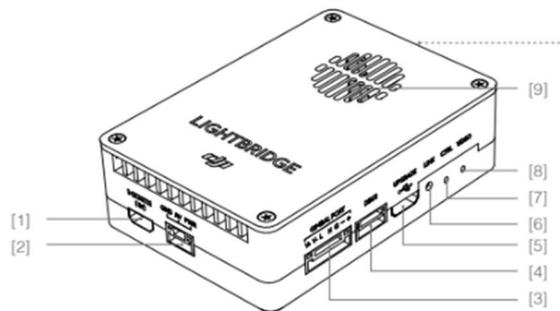
Figura 53 - Módulo LED.



Fonte: Manual de uso N3.

- Módulo de sistema aéreo do controle remoto.

Figura 54 - Lightbridge 2.



Fonte: Manual de uso Lightbridge 2.

Para ligar todos os componentes, foi preciso seguir os seguintes passos:

1. Conectar o cabo CAN do Módulo PMU à porta PMU do controlador de voo.
2. Conectar a porta CAN1 do Módulo PMU ao Módulo GNSS-Compass.
3. Conectar a porta estendida CAN1 do Módulo GNSS-Compass aos gimbal.
4. Conectar o Módulo LED à porta LED do controlador de voo.
5. Acoplar as antenas à porta reservada para elas no Módulo de sistema aéreo do controle remoto.
6. Conectar o Módulo de sistema aéreo do controle remoto à porta RF do controlador de voo.
7. Conectar os cabos ESC PWM dos motores aos pinos M1-M6 do controlador de voo.
8. Conectar o Módulo PMU a bateria.

Como etapa futura deste projeto, o drone já com a câmera acoplada será levado a campo para operar na cidade de Uberlândia – MG na aquisição de imagens de isoladores reais.

5. CONCLUSÕES

A construção do banco de dados com imagens de isoladores neste trabalho reduziu a escassez de material na literatura desse componente, o que impedia bons avanços nas pesquisas de tecnologias referentes a inteligência artificial na inspeção automática de cabos de alta tensão e equipamentos relacionados. Sabendo da importância de uma grande quantidade de imagens para que um algoritmo que trabalha com algum método de aprendizado de máquina, percebe-se que ao todo foram construídas 47.286 imagens de isoladores limpos contidos em 6 tipos de ambientes de fundo, e 10.818 imagens de isoladores sujos com dejetos de pássaros, depósitos de sal e cinzas de vulcão. Ao todo, foi montado um banco de dados com 53.104 imagens simuladas heterogêneas. Esses números mostram que ambientes simulados são uma excelente estratégia para aumentar muito a quantidade de dados de maneira automática e rápida, suprimindo todo o esforço, custo e tempo de se atingir altas quantidades de imagens reais.

Pensando no uso de um robô-drone que realize limpeza desses equipamentos elétricos, este trabalho pode contribuir para as empresas de companhia elétrica, de forma que possa servir para aprendizado de uma rede neural que irá identificar de forma automática o tipo de isolador, a sujeira presente neles e a necessidade de limpeza caso seja necessário, servindo como uma segunda opinião para análises dos especialistas que trabalham em linha viva.

6. REFERÊNCIAS

KUFFEL, E., ZAENGL, W.S, High-Voltage Engineering: Fundamentals, 1984 v. 1.

JI, Z., LIAO, Y., ZHENG, L., WU, L., YU, M., FENG, Y. (2019), An Assembled Detector Based on Geometrical Constraint for Power Component Recognition. *Sensors*, 19, 3517, doi:10.3390/s19163517.

HADIPOUR, M., SHIRAN M. A. Various Pollutions of Power Line Insulators. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, V. 6 No 1, 2017.

WANG, L., WANG, H., SONG, Y., PAN, X. (2016). Development of a bio-inspired lived cleaning robot for suspension insulator strings. DOI: 10.5013/IJSSST.a.17.48.24

WANG, L., WANG, H. A survey on insulator inspection robots for power transmission lines. 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2016. DOI: 10.1109/CARPI.2016.7745639.

BISHOP, C. M.; NASRABADI, N. M. Pattern recognition and machine learning. [S.l.]: Springer, 2006. v. 4.

PINHEIRO, M. J. C., LINS, E. A., “Sistema Robotizado para Detecção de Falhas em Cabos de Linhas de Transmissão através de Radiografia Digital com Instalação Energizada”, 19th Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 8p., Rio de Janeiro – RJ, 2007

MEDEIROS, F. A. Desenvolvimento de um Veículo Aéreo não Tripulado para Aplicação em Agricultura de Precisão. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

ALPAYDIN, E. Machine learning: the new AI. [S.l.]: MIT press, 2016.

UNITY DOCUMENTATION, Unity Manual, Version 2020.3

TREMBLAY, Jonathan et al. Training deep networks with synthetic data: Bridging the reality gap by domain randomization. In: **Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops**. 2018. p. 969-977.

RICHTER, Stephan R., et al. "Playing for data: Ground truth from computer games." *Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11-14, 2016, Proceedings, Part II* 14. Springer International Publishing, 2016.

ROS, German et al. The synthia dataset: A large collection of synthetic images for semantic segmentation of urban scenes. In: **Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition**. 2016. p. 3234-3243.

PENG, Xingchao, et al. "Learning deep object detectors from 3d models." *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. 2015.

ANEXOS

1. Código usado para movimento da câmera e captura de imagens.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using System.Threading;

public class CameraMovement : MonoBehaviour
{
    public Transform target;
    public Camera sceneCam;

    private int number = 0;
    private float step = 0.5f;
    private float radius;

    private float min_radius = 1.5f;
    private float max_radius = 4.5f;

    private float rotation = 10.0f;
    private float rotationDegree = 360f;

    private float angle;
    private Vector3 dir;

    public void Awake(){
        sceneCam = Camera.main;
    }

    void Start(){

        print("Resolution is " + Screen.width + "x" + Screen.height);
        radius = min_radius;
        sceneCam.transform.position = target.position + new Vector3(0, 0,
radius);
        transform.LookAt(target.position);
    }

    void Update(){

        if (rotationDegree > rotation)
            rotationDegree -= rotation;
        else {
            rotation = rotationDegree;
        }
    }
}
```

```

        rotationDegree = 0;
    }

    if (rotationDegree == 0){
        radius = radius + step;
        angle = angle + rotation;
        if ( radius == max_radius){
            radius = min_radius;
        }

        sceneCam.transform.position = target.position + new Vector3(0,
Mathf.Sin(Mathf.Deg2Rad * angle), radius);
        transform.LookAt(target.position);
        rotationDegree = 360f;
    }

    TakeScreenshot_256x();
    TakeScreenshot_512x();

    RotateCamera(rotation);
    if(angle > 720)
        Debug.Break();
}
private void RotateCamera(float rotation){

    transform.RotateAround (target.position, Vector3.up, rotation);
    transform.LookAt(target.position);
    number ++;
}

private void TakeScreenshot_256x(){
    ScreenCapture.CaptureScreenshot("Data_images/256x/isolador_"+ number +
".png");
}
private void TakeScreenshot_512x(){
    ScreenCapture.CaptureScreenshot("Data_images/512x/isolador_"+ number +
".png", 2);
}
}

```

2. Código usado para movimentar a luz direcional.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;

```

```
using UnityEngine;

public class SunRotator : MonoBehaviour
{
    private float currentTime;

    void Update()
    {
        currentTime += 0.2f;
        currentTime = Mathf.Repeat(currentTime, 600);
        this.transform.eulerAngles = Vector3.right * ((currentTime - 600) /
1200) * 360 * -1;
    }
}
```