

FISSURÔMETRO DIGITAL: Construção de um hardware para uma proposta de baixo custo

João Victor Alves Barbosa

jalvesbarbosa09@gmail.com

Ygo Neto Batista

ygo@pesqueira.ifpe.edu.br

RESUMO

O monitoramento ineficaz de fissuras pode dificultar o diagnóstico adequado e a manutenção da estrutura de uma edificação, podendo progredir para colapsos. O diagnóstico é baseado na progressão da fissura e deve ser monitorada periodicamente. Quanto mais frequente forem realizadas as medições, mais brevemente será possível identificar riscos de desabamentos. O equipamento utilizado para medir as fissuras (aberturas em geral) é o fissurômetro, e este subdivide-se em dois tipos: tradicional e digital. O fissurômetro tradicional possui baixo custo, mas a medição deve ser feita no local por um profissional. O fissurômetro digital possui custo elevado e realiza as medições automaticamente, porém, os dados ficam armazenados no equipamento e necessita que alguém colete os dados no local. Comercialmente não localizamos um modelo que faça o monitoramento remoto 24h por dia. Foi proposto no projeto Oficinas 4.0 (Edital SETEC/MEC 67/2021) o desenvolvimento de um fissurômetro digital de baixo custo, com transmissão remota dos dados. Este Trabalho de Conclusão de Curso faz parte do desenvolvimento realizado durante o projeto Oficinas 4.0 no que diz respeito à busca de anterioridade, desenvolvimento do sensor com simulação em Geogebra, modelagem 3D, confecção mecânica do protótipo e comparação de preços entre modelos de fissurômetros comerciais. Projetamos, simulamos e confeccionamos em impressora 3D um sensor de deslocamento de baixo custo baseado em um conjunto mecânico acoplado a um sensor resistivo. Montamos um protótipo totalmente funcional. Na busca de anterioridade, verificamos o estado da técnica de equipamentos que desempenham funções similares ao proposto neste trabalho.

Palavras-chave: fissura. fissurômetro. fissurômetro digital

ABSTRACT

Ineffective crack monitoring can make it difficult to properly diagnose and maintain a building's structure, potentially leading to collapses. The diagnosis is based on the progression of the fissure and must be monitored periodically. The more frequently measurements are taken, the sooner it will be possible to identify risks of collapses. The equipment used to measure cracks is the crack meter, and this is subdivided into two types: traditional and digital. The traditional crack meter is low cost, but the measurement

must be carried out on site by a professional. The digital crack meter is expensive and performs measurements automatically, however, the data is stored in the equipment and requires someone to collect the data on site. Commercially, we have not found a model that provides remote monitoring 24 hours a day. The Oficinas 4.0 project (public notice SETEC/MEC 67/2021) proposed the development of a low-cost digital crack meter, with remote data transmission. This work is part of the development carried out during the Oficinas 4.0 project with regard to the novelty search, sensor development with Geogebra simulation, 3D modeling, mechanical manufacturing of the prototype and a brief comparison between the prices of commercial crack gauge. We designed, simulated and manufactured a low-cost displacement sensor based on a mechanical assembly coupled to a resistive sensor using a 3D printer. We assembled a fully functional prototype. In the novelty search, we checked the state of the art of equipment that performs functions similar to that proposed in this work.

Keywords: crack. fissurometer. crack meter

1 INTRODUÇÃO

O diagnóstico e acompanhamento de patologias é fundamental para preservar a integridade de edificações. Pitelli e De Marco (2020), afirmam que as fissuras são as patologias mais relevantes:

“As fissuras são as patologias que mais preocupam dentro da construção, elas são sinais de perigo e de colapso na estrutura, na maioria das vezes condenam o elemento estrutural onde se encontra. Uma fissura deve ser cuidadosamente analisada por um profissional devidamente especializado para que posteriormente possa se definir a causa da patologia e se é possível ou não realizar um reparo estrutural”.

O monitoramento ineficaz de fissuras, ou mesmo sua falta, pode dificultar o diagnóstico adequado e a manutenção da estrutura podendo progredir para desabamentos. Por exemplo, segundo publicado pelo portal de notícias G1 em 15 de outubro de 2019, um prédio de 7 andares caiu em Fortaleza, deixando 9 mortos e 7 feridos. Neste caso, uma empresa foi chamada pela síndica do prédio 30 dias antes do desabamento do prédio para fazer uma vistoria, e constatou tardiamente, por falta de monitoramento prévio, rachaduras nos pilares, concreto soltando da armação e ferros soltos. A proposta de reparo estrutural imediata apresentada por esta empresa foi recusada e nenhum equipamento para monitoramento foi instalado. Após 30 dias, ocorreu o desmoronamento e não foi possível evacuar o prédio antes do ocorrido (G1, 2019).

Segundo a Defesa Civil e publicado no portal de notícias UOL em 12/01/2020, Olinda (PE) teve três prédios que desabaram, dois deles em 1999, causando a morte de dez pessoas, e um em 2017, sem deixar vítimas nem feridos, e ainda tem 98 prédios

com risco de desabamento. Estes com risco possuem tijolos estruturais com rachaduras, em estruturas chamadas de caixão (UOL, 2020).

Um levantamento realizado pelo Correio Braziliense, publicado em 17 de outubro de 2019, mostra que, entre 1 de janeiro e 15 de outubro, o Distrito Federal registrou 14 desabamentos de edificações, além de 93 construções interditadas pela defesa civil. Águas Claras (DF) é a cidade com mais incidentes nos dois anos: três em 2019 e dois em 2018 (BRAZILIENSE, 2019). Portanto, é necessário ter um monitoramento eficaz de fissuras em edificações para que seja tomada as decisões adequadas, seja evacuar a edificação, realizar recuperação estrutural ou qualquer outra medida que o engenheiro considere pertinente. Assim, faz-se necessário identificar e classificar qual tipo de fissura existente na edificação e seu grau de risco. O equipamento utilizado para medir as fissuras é o fissurômetro, que se subdivide em dois tipos: tradicional e digital.

O fissurômetro tradicional é formado por um jogo de régua apropriadas para medir as fissuras (RODRIGUES, s.d.). Um modelo pode ser visto em (RODRIGUES, s.d.). A medição da fissura é feita de modo manual por um engenheiro ou técnico, e, em muitos casos, se faz necessário fazer várias medições a cada visita e ao longo do tempo, impossibilitando assim um monitoramento mais frequente, tendo em vista os gastos com deslocamento e mão de obra especializada. Geralmente este equipamento possui baixo custo de aquisição quando comparado ao digital.

O fissurômetro digital comercial subdivide-se em dois tipos: os com sensores mecânicos de deslocamento linear e os ópticos. É comum encontrarmos modelos com visor que apresenta a largura da fissura em milímetros a exemplo de (FIGEX, s.d.) e (PORTUGAL, Grupo Acre, s.d.), este último que conta com armazenamento de imagens da fissura tirada em tempo real. Encontramos ainda modelos ainda mais complexos com registradores de dados, resistentes à água e ao impacto, e com software que produz um relatório de fissuras a exemplo do (PORTUGAL, G Acre, s.d.). Vale ressaltar que os modelos apresentados acima, possuem um relativo alto custo de venda, que se dá principalmente pela complexidade maior do equipamento completo, com o sistema de medição juntamente com demais funcionalidades integradas.

Foi proposto no projeto Oficinas 4.0 (Edital SETEC/MEC 67/2021) o desenvolvimento de um fissurômetro digital de baixo custo. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) faz parte do desenvolvimento realizado durante o projeto Oficinas 4.0 no que diz respeito à busca de anterioridade, desenvolvimento do sensor, modelagem 3D e confecção mecânica do protótipo.

Foi realizada uma busca por patentes a qual é detalhada na seção de Resultados, contudo, não foi encontrado um modelo que realize o diagnóstico da abertura sem a presença de um profissional no local, com comunicação remota, envio dos dados em tempo real e com custo reduzido em relação aos modelos comerciais. Até foram encontradas algumas tecnologias para aplicações específicas que atendem alguns dos requisitos, tais como o robô escalador (CN103253314B) ou o medidor de fissuras para mineração (CN106093195B). Um equipamento que atenda a todos os requisitos (medição e comunicação remotas, com dados enviados em tempo real, com LED indicador de risco e om custo reduzido em relação aos modelos comerciais) poderá ser aplicado em larga escala devido o baixo custo, tanto do equipamento, quanto do profissional,

que não precisará mais deslocar-se e poderá identificar de forma mais rápida qualquer evolução da abertura.

Adicionalmente, desenvolvemos um protótipo baseado em um sistema de medição de fissura a partir de um conjunto mecânico de transformação de movimento linear em rotacional, e utilizando um sensor resistivo. As medições são realizadas por um sistema microcontrolado com comunicação remota dos dados, para que um profissional possa acompanhar em tempo real e remotamente a situação das aberturas. Para levantamento e ajustes dos parâmetros do sistema, simulações dos movimentos foram realizadas no Geogebra.

Ademais, o fissurômetro digital proposto tem um provável menor custo de venda que os fissurômetros digitais comerciais pelo uso de um sensor de deslocamento de baixo custo, com menor precisão, porém, com a precisão adequada para identificar movimentações em aberturas. O protótipo completo (com todo os sistemas de hardware e software integrados) possui um LED que será ativado em casos onde a taxa de crescimento da abertura for crítico e oferecer risco para que, por iniciativa própria, os moradores possam sair da edificação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Análise de fissuras

Para (AECWEB, 2017), o aparecimento de fissuras em estruturas de concreto armado e em alvenarias é uma patologia de uma frequência significativa, que pode provocar danos às edificações, bem como a sensação de insegurança ao morador. Ademais, as fissuras também podem provocar a corrosão das armaduras.

Sobre aberturas em edificações é importante ressaltar que não há classificação fechada, existe divergências entre artigos e livros. A classificação apresentada na Tabela 1 é uma das utilizadas (FRAZÃO, 2020). Considerando que o termo “fissura” é comumente utilizado para designar “abertura”, neste trabalho também utilizamos o termo “fissura” para este fim.

Tabela 1 – Classificações de aberturas em edificações.

Abertura	Classificação
Fissura	até 0,5 mm
Trinca	0,5mm a 1,5 mm
Rachadura	1,5 a 5,0 mm
Fenda	5,0 mm a 10,0 mm
Brecha	acima de 10,0 mm

Fonte: Adaptado de (FRAZÃO, 2020).

Mais importante do que essa classificação, é saber o grau de risco dessa manifestação patológica, o que esta não pode definir. O risco será determinado pelo diagnóstico da origem e monitoramento da patologia (FRAZÃO, 2020).

As fissuras se subdividem em três grupos: passivas, ativas estacionárias e ativas progressivas. Estas últimas são as mais preocupantes, pois independem da largura,

sendo as mais custosas do ponto de vista financeiro e que demandam, geralmente, soluções mais complexas, como o reforço de fundações e estruturas. Considerando o exposto, há a necessidade de se identificar corretamente a fissura, acompanhando-as periodicamente para ver o seu nível de progressão ou estabilidade, visando tomar a melhor estratégia de correção (AECWEB, 2017).

2.2 Sensores de distância

Conforme visto na Introdução deste trabalho, os modelos de fissurômetros digitais variam, principalmente, quanto ao método de medição. Assim, convém analisar os sensores disponíveis para tal aplicação.

Quanto às tecnologias para medição de distância, há diversas: resistivos, os ópticos, os ultrassônicos, os indutivos e os capacitivos. Para realizar as medições que este trabalho se propõe, o deslocamento linear a ser medido é de até 4,0 mm e com precisão na ordem de 0,1 mm, que é adequado para identificar fissuras ativas. Não foi localizado sensores ultrassônicos que atendessem a este requisito. Assim, para este caso, os sensores comerciais mais indicados são: o de interferência óptica laser a exemplo do SI-F80 (KEYENCE., s.d.), o indutivo a exemplo do Baumer IF200 (BAUMER, s.d.), o capacitivo a exemplo dos fabricados pela Micro-Epsilon (MESUREX, s.d.) e o resistivo a exemplo RDC10 (ALPINE, s.d.). Há também a possibilidade de construir um encoder óptico gray de pequena escala, como o MTL microencoders (PLT, s.d.).

Felizmente, os princípios físicos de funcionamento de todos esses sensores de distância não são complexos. O sensor resistivo obedece à Segunda Lei de Ohm, assim, sua resistência pode ser variada por diversos parâmetros, tais como a variação de temperatura a qual está submetido e também variação em sua geometria. Um dos sensores mais simples é o potenciômetro, composto por um elemento resistivo que varia a partir de um movimento linear ou angular, a partir de um cursor. Também, tem-se o sensor resistivo do tipo extensômetro, mais complexo, que utiliza um condutor ou semicondutor em sua formação, e tem sua resistência modificada a partir da deformação a que esteja sujeito. Estes dois tipos de sensores resistivos são utilizados como sensores de distância, para a detecção de movimentação linear (NUNES; MARCILIO; LARISSA, s.d.). Estes sensores, em geral, possuem menores custos, porém, possuem menores precisões, mais ruídos e variações com a temperatura, em comparação com as demais tecnologias citadas.

Os sensores ópticos possuem um emissor e um receptor, os quais detectam a proximidade de um objeto (obstáculo) pela sua influência na propagação de um sinal óptico. A amplitude do sinal recebido varia com a distância entre o sensor e o obstáculo, assim, é possível medir deslocamentos lineares (NUNES; MARCILIO; LARISSA, s.d.). Estes sensores tem, em geral, a melhor precisão, porém, possuem os custos mais elevados, em comparação com as demais tecnologias citadas.

Os sensores ultrassônicos funcionam de modo similar aos ópticos, onde possui um emissor que emite um sinal acústico em alta frequência, este é refletido pelo objeto (obstáculo), e chega ao receptor. O tempo de reflexão é proporcional à distância do objeto, assim, é utilizado como sensor de distância (MAGALHÃES, s.d.). Estes senso-

res tem, em geral, a menor precisão para a escala desejada, em comparação com as demais tecnologias citadas.

O sensor indutivo funciona a partir de um campo eletromagnético variável que é gerado pelo oscilador em conjunto com a bobina na extremidade do dispositivo. Quando um material metálico penetra neste campo, são induzidas pequenas correntes parasitas. Com a indução no metal ocorre uma diminuição na energia do campo e, conseqüentemente, na amplitude do sinal proveniente do oscilador. Quando este sinal se torna muito baixo, o circuito de disparo percebe a mudança e altera a tensão de saída nas bobinas secundárias (TECNI-AR, s.d.). Para a medição de deslocamento linear é utilizado o LVDT (Transformador Linear de Tensão Diferencial Variável). E para a medição de deslocamento angular é utilizado o RVDT (Transformador Rotacional de Tensão Diferencial Variável) (NUNES; MARCILIO; LARISSA, s.d.). Estes sensores são, em geral, susceptíveis a interferências eletromagnéticas e tem custo elevado, em comparação com as demais tecnologias citadas.

O sensor capacitivo utiliza da variação da capacitância, uma vez que a geometria no dielétrico é modificada, para identificar a distância para um objeto. A capacitância pode ser calculada a partir da frequência de ressonância do circuito (SÄUBERLICH, 2019). Pode ser utilizado para a medição de deslocamento linear, onde, tendo suas duas placas fixas separadas por um dielétrico móvel, e para deslocamento lateral, na qual teremos também uma variação linear da constante dielétrica que faz com que a capacitância varie (NUNES; MARCILIO; LARISSA, s.d.). Estes sensores tem, em geral, baixa precisão e custo elevado, em comparação com as demais tecnologias citadas.

Vale ressaltar ainda, a opção de um sensor utilizando um encoder. Encoder é um transdutor, ou seja, é um sensor que converte um movimento mecânico angular ou linear em uma série de pulsos (relacionado diretamente à precisão). Estes pulsos pode ser utilizados para determinar velocidade, taxa de aceleração, distância, rotação, posição ou direção. O encoder tem como principais tecnologias de detecção: magnético (Magnético-resistivo) e óptico (DINAPAR, 2019). Em geral, encoders tem elevados custos, em comparação com as demais tecnologias citadas.

Em uma análise preliminar, conforme pode ser visto na Quadro 1, já é possível excluir algumas tecnologias de sensores para aplicação em fissurômetros digitais, considerando o custo e precisão, sendo a tecnologia óptica demasiada cara e a ultrassônica com precisão inadequada para micrômetros.

Quadro 1 – Comparativo entre tecnologias.

Tecnologia	Precisão	Preço
Resistivo	-	--
Indutivo	+	+
Capacitivo	+	+
Óptico	++	++
Ultrassônico	--	-
Encoder	+	+

Fonte: Autoria própria.

3 METODOLOGIA

O hardware desenvolvido engloba um sensor (escolhido de acordo com os tipos disponíveis no mercado) para a medição de abertura da fissura, um sistema microcontrolador que recebe as leituras, trata-as e as mandam para a nuvem, um Led indicador de fissuras ativas e uma caixa de acoplamento e proteção. Ainda foi realizado um levantamento de anterioridade e uma pesquisa de preços de fissurômetros comerciais.

3.1 Seleção do sensor de distância

Considerando o foco da proposta no baixo custo, foram estudadas as soluções de menores custo, de acordo com a Quadro 1. Para a utilização de um sensor resistivo de baixo custo, foi estudado um potenciômetro acoplado a um mecanismo de conversão de movimento linear em rotacional. Um potenciômetro pode ser comprado por R\$ 2,43 (ELETRÔNICA, s.d.). A título de exemplo, para sensores comerciais, sem considerar valores de frete, sensores capacitivos geralmente variam entre R\$ 60,37 (BOLSO, s.d.) e R\$ 947,14 (DIMENSIONAL, s.d.). Já sensores indutivos, variam entre R\$ 19,80 (ELÉTRICA, s.d.) e R\$ 2.579,75 (BALLUFF, s.d.). Vale ressaltar que os preços apresentados acima, foram consultados em 19/12/2023, assim, estão sujeitos a alteração de preços futuramente. É necessário ressaltar também, que para os sensores indutivos e capacitivos foram pesquisados modelos com precisão, material construtivo, grau de proteção e certificações bastante distintos. Por exemplo, o sensor indutivo mais caro possui certificação CE, UKCA, cULus e WEEE, bem como precisão de 120 μm , enquanto o modelo mais barato não tem certificações e possui precisão quatro vezes inferior.

3.2 Estudo e seleção do mecanismo mecânico para transformação de movimento linear em rotacional

Nesta etapa foram estudados diversos mecanismos mecânicos para conversão de movimentos lineares em rotacionais. As fontes foram pesquisadas em vídeos de experimentos e de simulação gráfica em sites de engenharia mecânica, tais como em (WORKSHOP, 2019) e em (WOLFSHAFT, 2020). Foram selecionados e estudados mecanismos com poucas partes móveis, de baixa complexidade para serem prototipados, que converta pequenos movimentos lineares (por volta de 4 mm) em amplos movimentos angulares (por volta de 90°).

3.3 Modelagem matemática dos movimentos

De posse do entendimento dos movimentos de maneira física (experimental), foram levantadas as equações da estrutura mecânica. Nesta etapa, utilizamos conhecimentos de geometria analítica e descrição em Matlab e Geogebra para obter os parâmetros da estrutura mecânica. Assim foi possível obter as equações a partir de ajustes polinomiais considerando o movimento de entrada e de saída do sistema mecânico. Inicialmente o Matlab foi aplicado para obter as equações polinomiais. Posteriormente, com a prática no uso da ferramenta GeoGebra, foram também obtidas as equações

polinomiais. Desta forma, a partir deste momento, foi utilizada apenas o GeoGebra para realizar a simulação do movimento e obter as equações necessárias.

Esta modelagem, teve início em outubro de 2021, durante o trabalho PIBITI IFPE intitulado "ESTUDO DA CNC E APLICAÇÃO NA FABRICAÇÃO DE PARTES PARA O FISSURÔMETRO DIGITAL DE BAIXO CUSTO". Vale ressaltar que as etapas descritas nas subseções 3.1, 3.2 e 3.3 passaram a integrar o Projeto Oficinas 4.0 em 2022, enquanto as etapas 3.4 e 3.5 foram desenvolvidas pelo autor juntamente com os demais integrantes do Projeto Oficinas 4.0 ao longo de 2022.

3.4 Representação e simulação dos movimentos mecânicos

Posteriormente, na quarta etapa, foi feita a representação e simulação do mecanismo graficamente no GeoGebra. O GeoGebra é um software gratuito e amplamente utilizado como recurso didático para aulas de matemática e física, possui uma versão online e pode ser baixado gratuitamente. O GeoGebra também pode ser aplicado na engenharia, na mecânica, arquitetura. Devido o software ser gratuito e o autor deste TCC já ter familiaridade com a ferramenta, foi escolhido o GeoGebra para fazer a simulação do mecanismo.

3.5 Construção de um protótipo na impressora 3D

A partir dos resultados obtidos na simulação do GeoGebra, foi modelado em 3D o mecanismo de transformação de movimento linear em rotacional, bem como uma caixa de acoplamento para a conexão das partes e proteção das mesmas. Foi utilizado o Autodesk Fusion 360, um software poderoso de modelagem 3D e que possui licença educacional (gratuita), que possibilitou nosso uso. O autor deste TCC já tinha familiaridade com o Fusion visto os treinamentos obtidos a partir do projeto Oficinas 4.0.

Depois da modelagem 3D, realizamos o fatiamento dos modelos no Software Ultimaker Cura, um software gratuito, de fácil utilização e que foi indicado pelo fornecedor da impressora 3D. No Cura, definimos como parâmetros de impressão: o material ABS (do inglês *Acrylonitrile Butadiene Styrene* – Acrilonitrila Butadieno Estireno), o qual é um material com uma boa resistência a impacto e adesão entre as camadas; altura de camada no valor de 0,2 mm para as palhetas (que formam o mecanismo de transformação de movimento linear em rotacional) e 0,4 mm para caixa de acoplamento; preenchimento de 20%, com padrão de preenchimento de Tri-Hexágono; e, aderência a mesa tipo Brim (bainha). Feito o fatiamento, foi exportado o arquivo para impressão 3D.

A impressão dos modelos 3D ocorreu na impressora do IFMaker do IFPE Campus Pesqueira, cujo modelo é GTMAX CORE A3. As peças confeccionadas tiveram acabamento manual usando mini retífica e foram montadas e testadas.

3.6 Busca de Anterioridade

Verificamos o estado da técnica do fissurômetro, tanto em âmbito nacional, como internacional. Para fins de organização, trataremos sobre esta etapa em duas partes, as quais estarão na subseção **4.5**.

3.6.1 Busca de anterioridade nacional

Fizemos pesquisas no banco de dados do INPI, e a partir destas, trouxemos as descrições de cada patente de equipamento/método similar e/ou relacionado ao fissurômetro, bem como o estado atual de cada patente, presentes no Brasil. As patentes podem ser consultadas fazendo a busca pelo número de pedido de patente, título ou autor no site do INPI (INPI, s.d.).

3.6.2 Busca de anterioridade internacional

Fizemos pesquisas no banco de dados do Google Patents, e, a partir destas, produzimos descrições de cada patente de equipamento/método similar e/ou relacionado ao fissurômetro, bem como o estado atual de cada patente, presentes no âmbito internacional. Tendo em vista que esses pedidos de patentes são de diversos países e, portanto, de diversos idiomas diferentes, adotamos uma livre tradução para os títulos. Os mesmos podem ser consultados nos respectivos idiomas originais fazendo a busca pelo número de pedido de patente no site Google Patentes (PATENTS, s.d.).

3.7 Pesquisa de preços de Fissurômetros

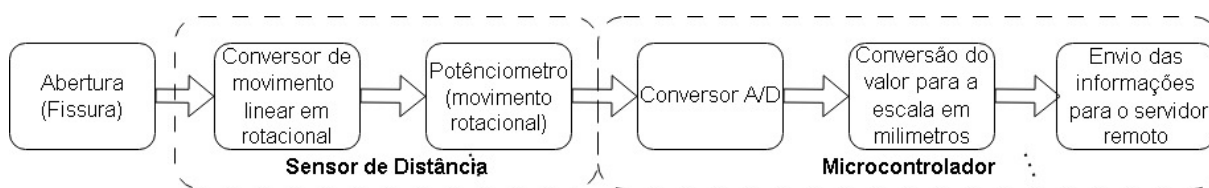
Realizamos uma pesquisa de preços de Fissurômetros comerciais em diversos sites de venda, nacionais e internacionais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sensor de distância

Após análise econômica, de precisão e de complexidade técnica entre sensores resistivo, indutivo e capacitivo, o sensor resistivo do tipo potenciômetro foi o escolhido, tendo ele sido encontrado a um valor relativamente bem baixo de R\$ 2,43, e também, pois ele é o que melhor se acopla a um mecanismo de transformação linear em rotacional, considerando aspectos mecânicos e de conexão. A saída do potenciômetro é conectada diretamente ao conversor Analógico/Digital (A/D), sem necessidade de condicionamento de sinais visto que o deslocamento rotacional do potenciômetro já está em uma faixa abrangente (será detalhado adiante). Na Figura 1, é apresentado um diagrama em blocos do sistema proposto completo.

Figura 1 – Etapas do processo de medição - Fissurômetro digital



Fonte: Autoria Própria (2024)

4.2 Construção de mecanismo físico para transformação de movimento linear em rotacional

Seguindo os critérios apresentados na metodologia, estudamos diversos mecanismos de transformação de movimento linear em rotacional.

Alguns dos mecanismos estudados estão mostrados nas Figuras 2, 3 e 4. Outros mecanismos estudados não estão apresentados neste texto uma vez que são variações dos mecanismos apresentados.

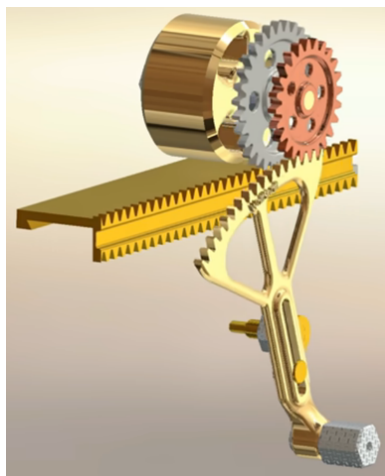
Figura 2 – Mecanismo 1: Mecanismo de Paralelogramo Duplo



Fonte: (WOLFSHAFT, 2020).

Analisando dentre os mecanismos apresentados, percebemos que o mostrado na Figura 4 era o que nos proporcionava a menor complexidade técnica no tocante ao acoplamento do potenciômetro, além ter um provável menor custo de prototipagem. Então, selecionamos o mecanismo da Figura 4 para um experimento físico inicial. Então, na primeira construção do mecanismo para transformação de movimento linear em rotacional, obtivemos uma rotação de aproximadamente 90° para um movimento linear máximo de 8 mm (como mostra a Figura 5). Este mecanismo físico foi confeccionado em madeira reutilizável para uma análise de viabilidade preliminar do mecanismo. Nas próximas seções são descritas as simulações e a confecção final utilizando a impressora 3D.

Figura 3 – Mecanismo 2: Mecanismo de Acionamento (cremalheira).



Fonte: (WOLFSHAFT, 2020).

Figura 4 – Mecanismo 3.



Fonte: (WORKSHOP, 2019).

Figura 5 – Mecanismo físico para transformação de movimento linear em rotacional

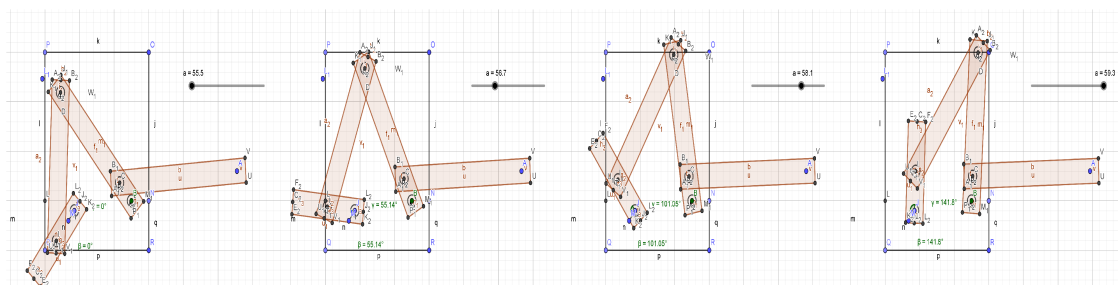


Fonte: Autoria Própria (2024)

4.3 Simulação dos movimentos no Geogebra

Fizemos a representação gráfica no GeoGebra dos movimentos. Nesta simulação, obtivemos uma rotação de $141,8^\circ$ para uma movimentação linear de 3,8 mm, onde este resultado também foi obtido no Matlab. O ajuste fino dos parâmetros na simulação, em relação ao primeiro protótipo construído, permitiu obter aumento de rotação, mesmo com um deslocamento linear menor e componentes mecânicos de menor dimensão, o que demonstrou um avanço na eficiência do equipamento. Fixamos o raio máximo das cabeças dos parafusos das juntas em 1,2 mm, que eram os menores disponíveis no IFMaker Pesqueira, de modo que a “cabeça” destes parafusos são os elementos que podem limitar os deslocamentos, servindo como “obstáculos” a determinadas partes mecânicas (palhetas) do mecanismo. A Figura 6 mostra, em miniatura, o mecanismo em diversas posições, enquanto O Movimento linear foi feito a partir da opção controle deslizante (destacado em amarelo na Figura 7). Na Figura 7 é possível ver o mecanismo na posição inicial e na Figura 8 podemos ver o mecanismo na posição final. Nesta simulação é possível ver que a maior palheta, que está na posição horizontal (mais à direita) capta o movimento linear, enquanto a menor palheta (mais à esquerda) transmite o movimento angular ou rotacional. Esta palheta menor estará acoplada ao potenciômetro, que terá sua leitura feita pelo microcontrolador.

Figura 6 – Simulação do mecanismo de Transformação de movimento linear em rotacional – Posições.



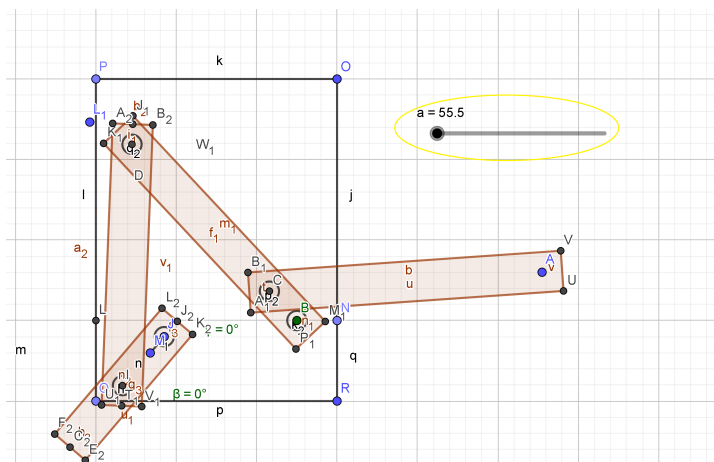
Fonte: Autoria Própria (2024).

No GeoGebra foi produzida a curva que descreve o movimento rotacional em função do deslocamento linear, como mostra a Figura 9. A partir do gráfico, foi feito um ajuste polinomial. O resultado foi um polinômio de quinto grau:

$$d_R = -0,03d_L^5 - 0,1d_L^4 + 0,24d_L^3 - 0,43d_L^2 + 1,1d_L \quad (1)$$

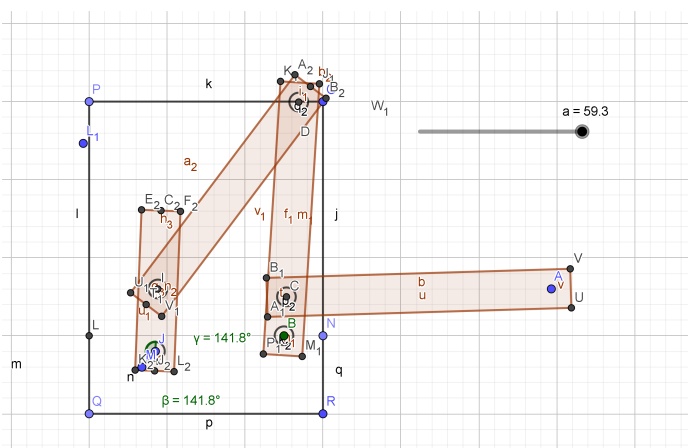
onde, d_R é o deslocamento rotacional, em radianos, e d_L é o deslocamento linear, em milímetros.

Figura 7 – Simulação do mecanismo de Transformação de movimento linear em rotacional – posição inicial.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 8 – Simulação do mecanismo de Transformação de movimento linear em rotacional – posição final.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Vale ressaltar que nas Figuras 7 e 8 J e B são pontos fixos do mecanismo, ou seja, não se movimentam para a esquerda e direita, eles funcionam como eixos, onde as palhetas irão girar em torno dele.

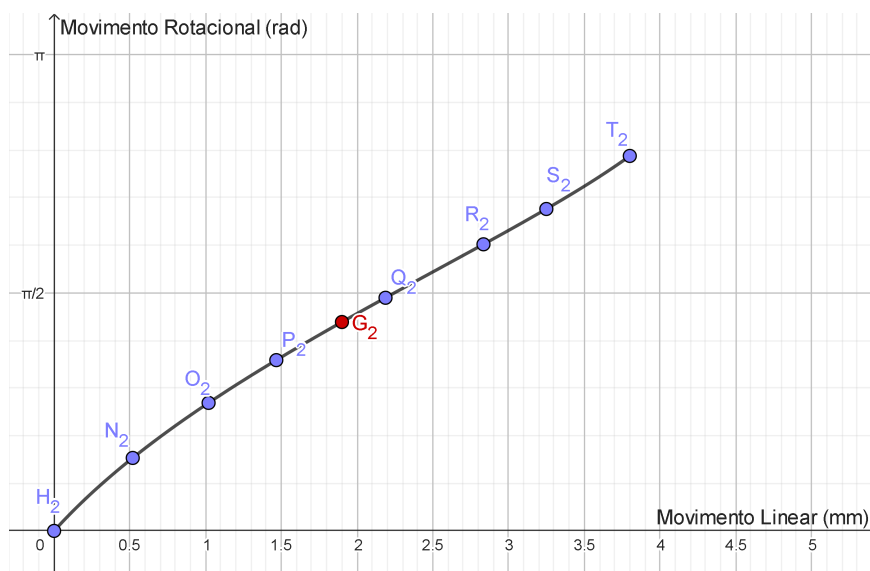
O arquivo do Geogebra (.ggb) encontra-se disponível para download ¹. No Apêndice é possível ver o código gerado pelo Geogebra a partir da exportação em .txt.

4.4 Modelagem e Impressão 3D e montagem do hardware

Nesta etapa fizemos inicialmente a modelagem 3D das partes físicas do equipamento no Fusion 360. Começamos pela modelagem das palhetas, estas foram definidas com espessura de 3 mm. Abaixo vemos as Figuras 10 e 11 que mostram o resultado obtido.

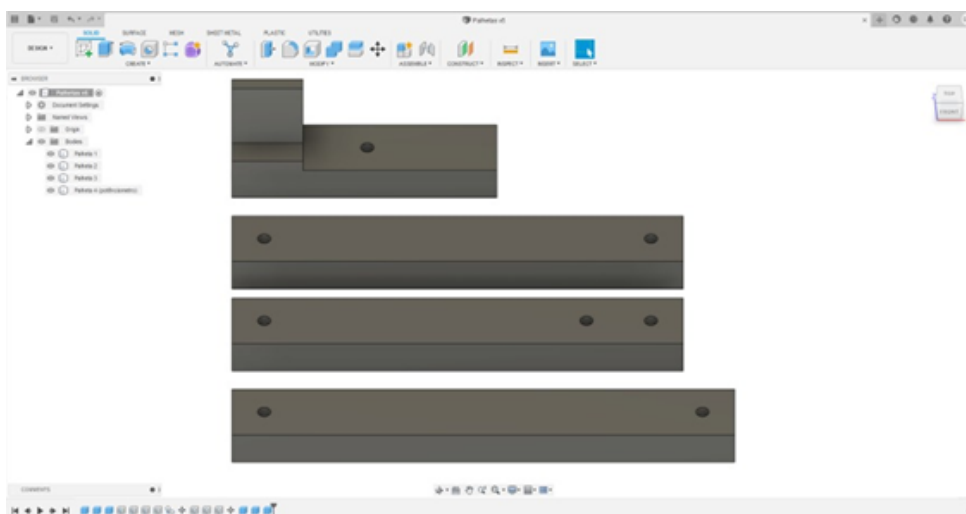
¹<https://drive.google.com/drive/folders/1GI1tC4KLft5cUfPXBaiqpXdkX2ONCagk?usp=sharing>

Figura 9 – Curva de movimento rotacional em função do deslocamento linear.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 10 – Modelagem 3D das palhetas.

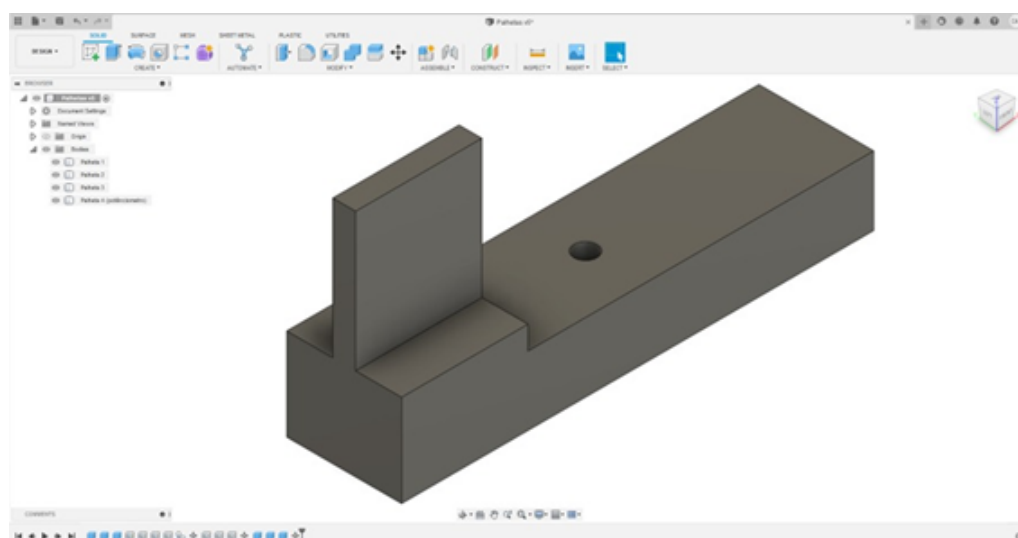


Fonte: Autoria Própria (2024).

Em relação ao mostrado na Figura 7 e na Figura 8, a única diferença na modelagem 3D foi a palheta de conexão com o sensor de distância, que em nosso caso foi um potenciômetro. Em uma de suas extremidades foi desenhado um acoplamento do tipo haste retangular de 7 mm de altura, adotando em sua base um pequeno reforço estrutural de 1 mm. Esta haste encaixa na fenda existente no eixo do potenciômetro.

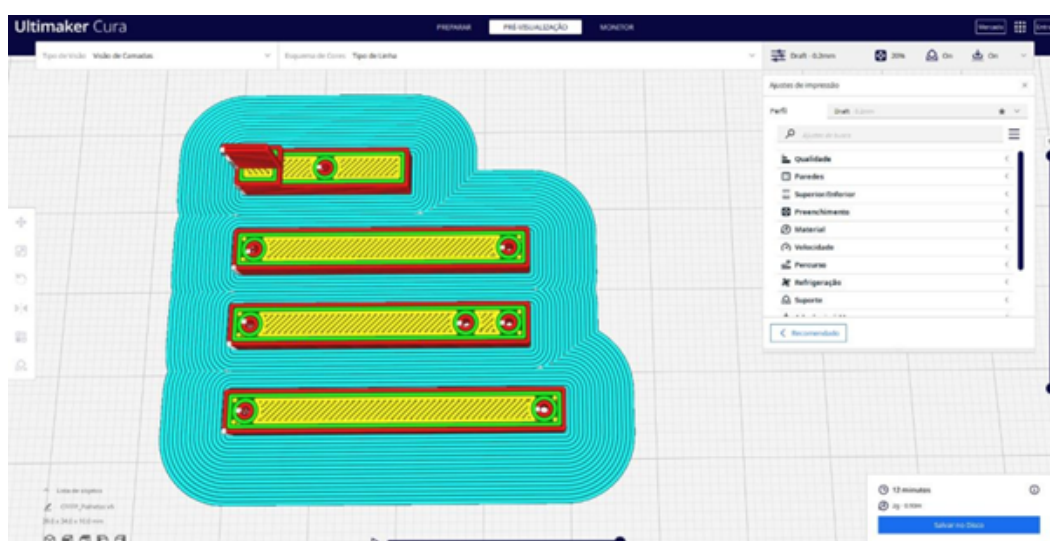
Posteriormente, exportamos a modelagem 3D para o software fatiador Ultimaker Cura, para que se pudesse efetuar a impressão 3D na impressora disponível no Laboratório Maker. Na Figura 12 é possível ver o fatiamento das palhetas realizado no Cura.

Figura 11 – Vista 3D da palheta de conexão com o potenciômetro.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 12 – Fatiamento das palhetas para impressão.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Na Figura 13 é possível ver as palhetas já impressas e montadas, formando o mecanismo de transformação de movimento linear em rotacional.

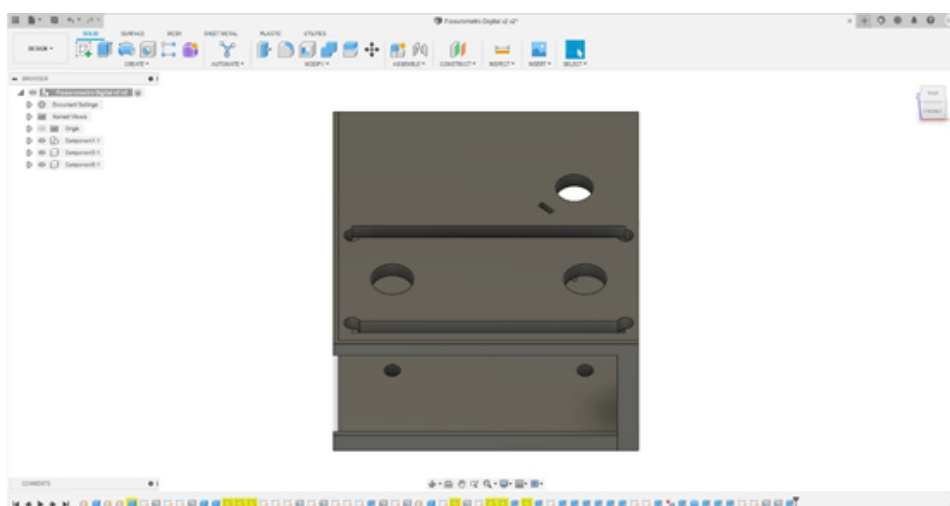
Com o mecanismo de transformação de movimento linear em rotacional pronto, foi realizada a modelagem 3D de uma caixa de acoplamento (Figura 14 e Figura 15), onde o mesmo há de ser acoplado a um potenciômetro de 10 k Ω , formando o sensor resistivo, este que está conectado ao microcontrolador para leitura e comunicação wi-fi.

Figura 13 – Mecanismo de transformação de movimento linear em rotacional montado.



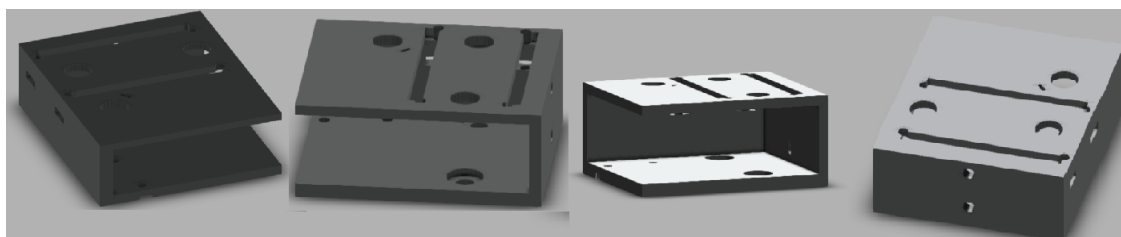
Fonte: (AZEVEDO, 2023).

Figura 14 – Modelagem 3D da caixa de acoplamento.



Fonte: Autoria Própria (2024).

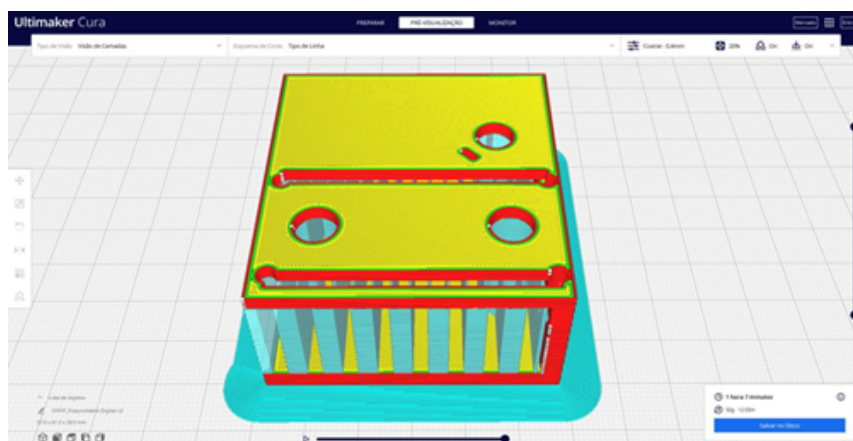
Figura 15 – Caixa de acoplamento - Diversas vistas.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Posteriormente, exportamos o arquivo da modelagem para o Cura. Nele, foram definidos como parâmetros, foi feito o fatiamento, conforme mostra a Figura 16.

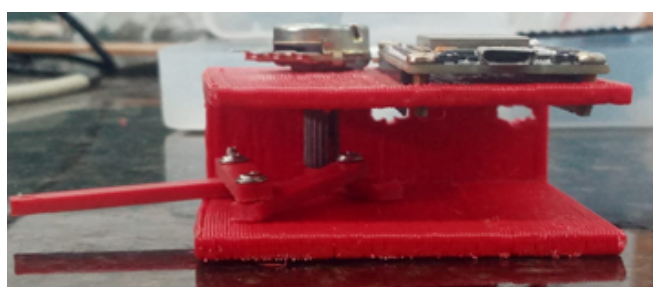
Figura 16 – Fatiamento da Caixa de acoplamento para impressão.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Com todas as partes mecânicas impressas, realizamos a montagem do equipamento que pode ser vista nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Hardware montado (vista frontal).



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 18 – Hardware montado (vista superior).



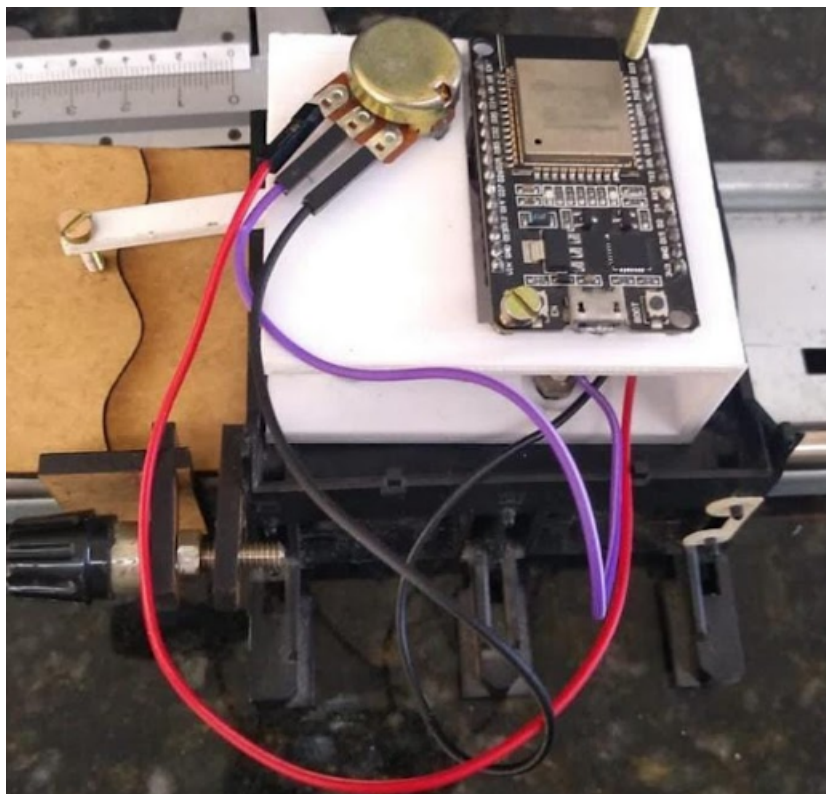
Fonte: Autoria Própria (2024).

Os resultados apresentados são fotos da primeira versão do equipamento. Podemos observar que, no processo de resfriamento, a peça teve uma leve deformação. Adicionalmente, uma melhoria no apoio das palhetas foi modelada, mas ainda não con-

feccionada. A última versão da modelagem 3D, realizada no Fusion 360 encontra-se disponível para download ².

Na Figura 19 mostramos um teste mecânico do funcionamento do mecanismo de transformação de movimento linear em rotacional realizado com o montado sobre um trilho de impressora (material de sucata) para simularmos o que seria a fissura na prática.

Figura 19 – Teste mecânico.



Fonte: Aatoria Própria (2024).

Segundo o teste que realizamos, conseguimos observar que o mecanismo de movimento linear em rotacional funcional conforme o esperado, isto é, de acordo com que foi simulado na Subseção 4.3. Vale ressaltar também, que em aspectos mecânicos, as partes confeccionadas utilizando a impressora 3D, reagiram bem aos movimentos e esforços aplicados.

Uma imagem de um teste em campo do produto completo montado pode ser visto na Figura 20. A largura da fissura foi adequadamente medida e transmitida para o servidor remoto.

²https://drive.google.com/drive/folders/1jKHfa4b6So56QSkRpR-u4r5OmIBHqQR_?usp=sharing

Figura 20 – Equipamento em teste de campo.



Fonte: Autoria Própria (2024).

4.5 Verificação do Estado da Técnica

Os resultados encontrados do Estado da Técnica em relação ao Fissurômetro digital encontram-se abaixo, subdivididos nos âmbitos nacional e internacional.

4.5.1 Busca de anterioridade em âmbito nacional

A pesquisa foi realizada no site do INPI. Dentre as palavras-chave utilizadas, as que retornaram mais resultados relevantes foi "Variação and Fissura". Foram obtidos os resultados "BR1020130197432A2", "BR1120150288073A2" e "BR1120150045588A2".

- A patente de N° do Pedido: BR1020130197432A2 e título "Dispositivo para localização de fissuras em piscinas", que encontra-se arquivado por não recolhimento da anuidade, é constituído de um material plástico-maleável, uma vez posto na parede da piscina e se nesse local houver uma fissura, o material é sugado à parede, identificando a fissura. Não consta monitoramento nem comunicação remotos; a identificação é visual no local; possui aplicação estrita a paredes.
- A patente de N° do Pedido: BR1120150288073A2 e título "Método para detectar fissuras de borda de um elemento de um produto de chapa metálica, e, método para detectar uma fissura em uma chapa metálica", que encontra-se arquivado por não recolhimento da anuidade, é constituído de um sistema processador que por meio de cálculos matemáticos e simulações, determina se a chapa metálica produzida possui fissura de borda; possui aplicação estrita a chapas metálicas.

- A patente de N° do Pedido: BR1120150045588A2 e título “Método de previsão de crescimento de fissura e dispositivo de processamento de informação do mesmo”, que encontra-se arquivado por não recolhimento da anuidade. É constituída de sistema com memória e processamento que recebe informações do usuário e consegue prever o crescimento da fissura a partir de cálculos matemáticos.

Dentre estes três registros descritos acima, destacamos que, tais mecanismos designam-se para aplicações pontuais como em piscinas e chapas metálicas, não fazem simultaneamente medição e monitoramento remoto, ou ainda, contam com um sistema de medição diferente do desenvolvido no **FISSURÔMETRO DIGITAL DE BAIXO CUSTO**.

4.5.2 Busca de anterioridade em âmbito internacional

Na Busca de anterioridade internacional foi utilizado o site Google Patents e as palavras-chave que obtiveram melhores resultados foram “fissure”, “micrometer or crack”, “(meter and crack) and concrete”. A partir dos resumos, selecionamos os listados a seguir. Como os textos são disponibilizados em suas linguagens originais, tais como chinês, inglês, coreano, entre outras, foi utilizado o tradutor do Google.

- A patente de N° do Pedido: CN108333109A e título “Um tipo de dispositivo e método de monitoramento de fissura interna de estrutura de concreto”, encontra-se ativa. Ela possui um sistema hidráulico de controle e injeção de líquidos através de um reservatório, este que é instalado em concreto e consegue monitorar rachaduras no interior do bloco de concreto, sendo possível o monitoramento da fissura a partir do nível do líquido de reservatório.
- A patente de N° do Pedido: CN106093195B e título “Um tipo de aparelho e método de monitoramento de desenvolvimento de fissuras induzidas por mineração terrestre”, encontra-se ativa. Ela possui um grande sistema integrado para monitoramento. No assentamento de terra é injetado um “conjunto de bainha” que possui um conjunto de sensores de pressão hidráulica, ultrassônicos, de tensão longitudinal, de tensão transversal, e de detecção de falha de rachadura modular. Todos estes são conectados ao centro de monitoramento dos parâmetros (onde é feita toda avaliação de riscos).
- A patente de N° do Pedido: CN103253314B e título “Robô tipo escalador de absorção de pressão negativa usado para detectar fissura de ponte”, foi concedida como de invenção e encontra-se ativa. Ela é constituída por um de sistema com pés mecânicos frontal e traseiros (que são acoplados), por câmera, unidade de comunicação sem fio e conjunto de caminhada/escalada. A unidade de comunicação fica no pé mecânico traseiro e a câmera fica disposta no pé mecânico frontal. Os pés mecânicos em superfícies diferentes podem ser sugados pela pressão e assim, acionam o conjunto de caminhada/escalada. A câmera faz o registro das imagens e os dados são enviados para unidade de controle para detecção de fissuras na ponte.

- A patente de N° do Pedido: CN203199070U e título “Robô do tipo escalada de sucção de pressão negativa para detectar rachaduras em pontes”, que encontra-se expirada por motivo relacionado ao não pagamento da taxa anual. Ela foi concedida como modelo de utilidade, diferente da patente acima (N° do Pedido: CN103253314B) que foi concedida como patente de invenção; ambas foram depositadas pelo mesmo ente/pessoa. Elas possuem basicamente o mesmo sistema/estrutura, este que já foi descrito na patente descrita acima (N° do Pedido: CN103253314B).
- A patente de N° do Pedido: CN106645171A e título “Método para detecção de fissuras em concreto usando robô escalador de paredes”, encontra-se pendente por rejeição do pedido de patente de invenção após a publicação. Ela é constituída por um robô que escala a parede por uma rota pré-determinada ou pela rota do controle remoto sem fio. O robô possui uma câmera e conta com um sistema de iluminação para melhor captar a imagem. Capturada a imagem, ela passa por um processo de filtragem para melhor visualização das rachaduras, e posteriormente, é armazenada num módulo de armazenamento.
- A patente de N° do Pedido: CN108375652A e título “Um tipo de dispositivo de detecção de rachaduras de ponte de caminhantes sobre o estreito”, encontra-se pendente por rejeição do pedido de patente de invenção após a publicação. É um sistema que possui um conjunto mecânico composto por engrenagens e rodas motrizes equipados com dispositivos de pressão negativa para a escalada/movimentação, com controle remoto sem fio. Possui um sistema de detecção automática para detecção da rachadura a partir de duas sondas laterais, e conta com sistema de transmissão de dados sem fio, realizando o controle e monitoramento em tempo real.
- A patente de N° do Pedido: CN108364280B e título “Método e equipamento para descrever automaticamente a fissura estrutural e medir com precisão a largura”, encontra-se ativa. É um sistema de detecção automática de trincas a partir do tratamento de imagem por um processo de aprendizagem profundo multiescala (aprendizado de máquina). O método calcula com precisão a largura da fissura ou trinca baseado nos pixels da imagem.
- A patente de N° do Pedido: CN101957178A e título “Método e dispositivo para medir rachaduras no revestimento do túnel”, encontra-se ativa. É um sistema que coleta a imagem na fenda por câmera digital e mede a distância de coleta por telêmetro a laser, e posteriormente, seleciona a zona com necessidade de medição da abertura (fissura, trinca ou rachadura), faz um tratamento dessa imagem e, calcula as larguras reais das aberturas através das larguras dos pixels.
- A patente de N° do Pedido: CN104008553A e título “Método de detecção de rachaduras com histograma de direção de gradiente de imagem e método Watershed (bacia hidrográfica) combinados”, encontra-se ativa e tem aplicação em superfícies de estradas. É um sistema onde a superfície a ser detectada é iluminada por uma fonte de luz estruturada em linhas e a superfície é filmada por uma câmera 3D. Posteriormente, é obtida a profundidade de cada ponto de pi-

xel da superfície, sendo gerada uma imagem de superfície. Em seguida, há o tratamento dessa imagem de superfície e assim, as fissuras são detectadas.

- A patente de Nº do Pedido: KR101772916B1 e título “Dispositivo para medir a largura da fissura da estrutura de concreto”, teve o pedido de patente de invenção concedido, mas não é especificado (no site) se está ativa. Ela refere-se a um método e um sistema para detectar trincas na superfície de um revestimento de túnel usando uma imagem fotografada e um programa de automação de detecção de trincas baseado em algoritmo de inteligência artificial, com a técnica de rede neural convolutiva (CNN), que é um dos algoritmos de inteligência artificial para reconhecimento de objetos.
- A patente de Nº do Pedido: CN110207592B e título “Método de medição de rachaduras em edifícios, dispositivo, equipamento de informática e meio de armazenamento”, encontra-se ativa. Ela refere-se a um método automático que, a partir da aquisição de uma imagem de uma fissura é feito um processamento que consegue determinar a largura do pixel de uma trinca e posteriormente, a profundidade da fratura do edifício, tendo por fim, a informação da largura da fissura.
- A patente de Nº do Pedido: WO2019134252A1 e título “Método e dispositivo para representação automatizada e medição precisa da largura da fissura estrutural”, encontra-se em processo de tramitação. Ela refere-se a um método para representação automatizada de fissuras, que possui um módulo de aquisição de imagem e um módulo de processamento de imagem, que utilizando uma estrutura de pixel, consegue calcular a largura das fissuras em tempo real.
- A patente de Nº do Pedido: GB2060899A e título “Medição contínua de mudanças na distância entre pontos de medição”, que encontra-se expirada por falta de pagamento da taxa de renovação, refere-se a medição contínua de alterações na distância entre pontos de medição. Esta invenção refere-se a um método para a medição contínua de alterações na distância entre pontos de medição, em particular para determinar os efeitos do trabalho em minas de carvão. A invenção também se refere a um sensor de posição para realizar o método. A medição da abertura entre dois pontos é feita através de uma transformação de movimento linear em rotacional, onde uma linha flexível é enrolada num primeiro ponto, num elemento rotativo, e conectada a um segundo ponto. Conforme os esforços (de abertura) atuarem no segundo ponto, a linha se esticará, fazendo o elemento rotativo atuar, onde este elemento rotativo está conectado a um segundo elemento rotativo que aciona um potenciômetro (0 a 340 Ω). Conforme o elemento rotativo gira, gira com ele o potenciômetro, que tem sua resistência elétrica variada, consequentemente, em seus terminais a tensão lida vai variar com ele. Como este potenciômetro está conectado a um circuito elétrico, esta tensão pode ser lida e convertida em um sinal de medição modulado em frequência para ser transmitido em uma faixa de frequência de áudio no subsolo.

Analisando o estado da técnica a partir das pesquisas mostradas acima, nota-se que há muitas patentes, sobretudo internacionais, que executam funções similares ao fissurômetro digital de baixo custo, contudo, nenhuma com todas as características

e funcionalidades do equipamento desenvolvido neste TCC. Dentro deste grande número de patentes, notamos que apenas um resultado da pesquisa identifica fissura utilizando potenciômetro. No geral, as patentes descritas anteriormente contam com métodos e mecanismos de identificação de fissura mais complexos, com maior necessidade computacional e de armazenamento, e alguns deles utilizam até robôs ou redes neurais em seus processos de medição e monitoramento. Com isso, é notável que tais equipamentos possuem um provável maior custo, pelo emprego de tecnologias e processos onerosos.

A última patente mostrada (GB2060899A), possui semelhanças e também algumas diferenças com o equipamento mostrado neste trabalho. A patente GB2060899A, no tocante ao sensor de distância, utiliza uma estrutura mecânica de transformação de movimento linear em rotacional a partir de um sistema de cremalheiras conectada a um potenciômetro, já o nosso equipamento utiliza um outro sistema de transformação de movimento linear em rotacional, de menor custo. Ademais, esta patente difere do nosso equipamento no método de transmissão da medição.

4.6 Valores de fissurômetros comerciais

Da pesquisa realizada sobre modelos comerciais de fissurômetros, a seguir trazemos os resultados, isto é, alguns modelos com seus respectivos preços.

Tabela 2 – Preços de modelos de Fissurômetros tradicionais.

Modelo	Preço
(a)Fissurômetro Gabarito Régua Fissuras Similar Modelo FISS01 PVC	R\$ 14,50
(b)Fissurômetro Gabarito Fissuras Régua Fiss04 Transp Fenix	R\$ 18,29
(c)Kit 4 Fissurômetros Trident	R\$ 75,00

(a) (SHOOPEE, s.d.); (b) (BAHIA, s.d.); (c) (PROJETISTA, s.d.).

Fonte: Autoria Própria .

Tabela 3 – Preços de modelos de Fissurômetro digital.

Modelo	Preço
(d)FIGEX3D-Digital	R\$ 1976,25
(e)Fissurometro Digital para detecção de fissuras até 3 mm	R\$ 17601,80
(f)Fissurometro digital para movimento de fissuras Rissfox Mini RS	R\$ 2318,80

(d) (FIGEX, s.d.); (e) (PORTUGAL, Grupo Acre, s.d.); (f) (PORTUGAL, G Acre, s.d.).

Fonte: Autoria Própria.

Sobre estes valores expostos acima, vemos que, em média, os fissurômetros tradicionais são mais baratos que os fissurômetros digitais. Vale ressaltar ainda que nestes valores não estão inclusos os fretes e, para os fissurômetros digitais, que foram orçados em sites internacionais, impostos e demais taxas de importação. A equipe do Projeto Oficinas 4.0, em conjunto com seus grupos de trabalho de hardware e software, estimou em Dezembro de 2022 que o custo de venda do equipamento descrito neste trabalho é de R\$ 400,00 que engloba todo o hardware para instalação no local, somado

a R\$ 40,00 mensais para custo com software, tendo em vista que seria necessário um aplicativo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÕES

Verificamos que a escolha do método de medição possibilitou a confecção de um protótipo de baixo custo em relação aos digitais comerciais. O uso de ferramentas de simulação matemática na Engenharia possibilitam, de forma eficiente, o ajuste dos parâmetros do protótipo visando maximizar a amplitude dos movimentos e obter a equação de transferência do movimento linear para o rotacional. A utilização da manufatura aditiva tornou a prototipagem do hardware precisa, sem desperdício e de forma ágil. Existem patentes de diversos métodos de medição de fissura, com algumas semelhanças e diferenças em relação ao método de medição descrito neste TCC, é possível observar potencial de inovação, porém, não está no escopo deste TCC avaliar as possíveis futuras reivindicações para o produto desenvolvido. Os fissurômetros digitais comerciais apresentam um relativo alto custo de venda, quando comparados com o tradicional e com o desenvolvido neste TCC. Para trabalhos futuros cabe: publicar artigo relacionado ao uso do Geogebra na engenharia; Realizar a proteção intelectual da técnica; Realizar mais testes práticos em situações reais e comparar com outro instrumento de medição calibrado; Desenvolver uma versão atualizada do protótipo com as melhorias requisitadas ao observar os testes em campo.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Fissuras põem em risco a vida útil das estruturas de concreto.**

[S.l.: s.n.], 23 ago. 2017. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/fissuras-poem-em-risco-a-vida-util-das-estruturas-de-concreto/16243>. Acesso em 11 jan. 2024.

ALPINE, ALPES. **RDC1010A12.** [S.l.: s.n.]. Disponível em:

<https://tech.alpsalpine.com/e/products/detail/RDC1010A12/>. Acesso em 18 fev. 2024.

AZEVEDO, Hello Neves Basílio de. **DESENVOLVIMENTO DE FIRMWARE E SOFTWARE DE MONITORAMENTO REMOTO PARA FISSURÔMETRO DIGITAL.**

[S.l.: s.n.], 21 jun. 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/1007>. Acesso em 21 dez. 2023.

BAHIA, CASAS. **Fissurômetro Gabarito Fissuras Régua Fiss04 Transp Fenix.**

[S.l.: s.n.]. Disponível em:

https://www.casasbahia.com.br/fissuometro-gabarito-fissuras-regua-fiss04-transp-fenix1524051112/p/1524051112?utm_medium=Cpc&utm_source=GP_PLA&IdSku=1524051112&idLojista=12231&tipoLojista=3P&&utm_campaign=3p_gg_pmax_be&gad_source=4 &gclid=CjwKCAiA6byqBh. Acesso em 11 nov. 2023.

BALLUFF. **BAW002H Sensor indutivo de distância - analógico.** [S.l.: s.n.].

Disponível em: [https://www.balluff.com/pt-br/products/BAW002H?](https://www.balluff.com/pt-br/products/BAW002H?gclid=Cj0KQCjwJlKYBhC6ARIsAGEdsjul9dsACm_b5jZA5xTkNrmWGBqm1oOVs7J3L1fQS7X3XgzPw-h2fgaAswvEALw_wcB)

[gclid=Cj0KQCjwJlKYBhC6ARIsAGEdsjul9dsACm_b5jZA5xTkNrmW](https://www.balluff.com/pt-br/products/BAW002H?gclid=Cj0KQCjwJlKYBhC6ARIsAGEdsjul9dsACm_b5jZA5xTkNrmWGBqm1oOVs7J3L1fQS7X3XgzPw-h2fgaAswvEALw_wcB)

[GBqm1oOVs7J3L1fQS7X3XgzPw-h2fgaAswvEALw_wcB](https://www.balluff.com/pt-br/products/BAW002H?gclid=Cj0KQCjwJlKYBhC6ARIsAGEdsjul9dsACm_b5jZA5xTkNrmWGBqm1oOVs7J3L1fQS7X3XgzPw-h2fgaAswvEALw_wcB). Acesso em 19 dez. 2023.

BAUMER. **Inductive distance sensors**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.baumer.com/us/en/product-overview/distance-measurement/inductive-distance-sensors/inductive-sensors-with-io-link/inductive-distance-sensors-with-io-link/if200-d10l-q41-dpmo-71cv-a014/p/44972>. Acesso em 18 fev. 2024.

BOLSO, Fábrica de. **Sensor Capacitivo de Proximidade**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://loja.fabricadebolso.com.br/produto/sensor-capacitivo-de-proximidade.html?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant. Acesso em 19 dez. 2023.

BRAZILIENSE, Correio. **Prédios sob risco de desabamento**. [S.l.: s.n.], 17 out. 2019. Disponível em: https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/cidades/2019/10/17/interna_cidadesdf,798406/predios-sob-risco-de-desabamento.shtml. Acesso em 09 jan. 2024.

DIMENSIONAL. **Sensor Capacitivo Pnp 10-36Vcc 4-25Mm Cb 2M CM3025NPPEW1 - Sick**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.dimensional.com.br/sensor-capacitivo-pnp-10-36vcc-4-25mm-cb-2m-cm3025nppew1-sick/p?idsku=1175511>. Acesso em 19 dez. 2023.

DINAPAR. **O que é Encoder?** [S.l.: s.n.], 8 mar. 2019. Disponível em: <https://dynaparencoders.com.br/o-que-e-encoder/>. Acesso em 05 abr. 2024.

ELÉTRICA, Armazém da. **Sensor Indutivo M12 Na (5v 36v) - Pnp Lj12a3-4-z/ Bx By**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.armazemdaeletrica.com.br/sensor-indutivo-m12-na-5v36v-pnp-lj12a3-4-z-bx-by>. Acesso em 19 dez. 2023.

ELETRÔNICA, Baú da. **Potenciômetro Linear de 10K (10000Ω)**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/produto/potenciometro-linear-de-10k-10000.html>. Acesso em 19 dez. 2023.

FIGEX. **FIGEX3D-Digital - Fissurômetro Digital 3D**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.figex.net/fissurometros/FISSUROMETRO5.php>. Acesso em 10 jan. 2024.

FRAZÃO, Yuri Abas. **Fissura, Trinca, Rachadura ou Fenda?** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://spotcursos.com.br/public/blogs/patologia-da-construcao/posts/fissura-trinca-rachadura-ou-fenda>. Acesso em 10 jan. 2024.

G1. **Empresa detectou 135 'pontos críticos' em prédio um mês antes de desabamento**. [S.l.: s.n.], 18 out. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2019/10/18/empresa-detectou-135-pontos-criticos-em-predio-um-mes-antes-de-desabamento.ghtml>. Acesso em 09 jan. 2024.

INPI. **INPI - Patentes - PESQUISA BÁSICA**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchBasico.jsp>. Acesso em 01 set. 2022 a 31 jan. 2023.

KEYENCE. **Sensor Head, Thickness Measurement Type**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.keyence.com/products/measure/spectral/si-f/models/si-f80/>. Acesso em 18 fev. 2024.

MAGALHÃES, D. V. **Aula Lab 1**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3270233/mod_resource/content/0/AulaLab1.pdf. Acesso em 05 abr. 2024.

MESUREX. **Sensores Capacitivos**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://mesurex.com/product-category/sensores-de-distancia-posicion-y-desplazamiento/sensores-capacitivos/>. Acesso em 18 fev. 2024.

NUNES; MARCILIO; LARISSA. **Sensores e transdutores**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/8/89/Aula_1_-_Sensores.pdf. Acesso em 05 abr. 2024.

PATENTS, Google. **Google Patents**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://patents.google.com/>. Acesso em 01 jan. a 31 dez. 2023.

PITELLI, Gustavo Tanginini; DE MARCO, Gerson. **PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. [S.l.: s.n.], 20 out. 2020. Disponível em: <https://cupdf.com/document/patologias-em-estruturas-de-concreto-armado-patologias-em-estruturas-de-concreto.html?page=1>. Acesso em 11 nov. 2023.

PLT, Optimus Control Industry. **MTL MICRO ENCODER DISTRIBUTOR Malaysia Thai-**

land Singapore Indone Philippines Vietnam Europe USA. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://www.optimuscontrol.com.my/index.php?ws=showproducts&products_id=2883379&cat=ENCODERS-AND-COUNTERS&subcat=Rotary-Encoder. Acesso em 18 fev. 2024.

PORTUGAL, G Acre. **Fissurometro digital para movimento de fissuras Rissfox Mini RS**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://grupoacre.com.pt/catalogo-productos/fissurometro-digital-para-movimento-de-fissuras-rissfox-mini-rs/>. Acesso em 11 nov. 2023.

PORTUGAL, Grupo Acre. **Fissurometro Digital para detecção de fissuras até 3 mm**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://grupoacre.com.pt/catalogo-productos/fissurometro-digital-para-a-deteccao-de-fissuras-ate-3-mm/>. Acesso em 10 nov. 2023.

PROJETISTA, O. **Kit 4 Fissurometros Trident**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://www.oprojetista.com.br/desenho-tecnico/kit-4-fissurometros-trident?parceiro=2147&srsIid=AfmBOoqlgRrq1s4uesMqrejpiOi7naDWva_cqbV85-IsBqwaW-B5mv1-Fss. Acesso em 11 nov. 2023.

RODRIGUES, Fernando Pereira Moutinho. **Fissurômetro**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.peritos.eng.br/ferramentas/fissurometro/>. Acesso em 26 fev. 2024.

SÄUBERLICH, AVNER OSTROVSKI. **SENSOR CAPACITIVO MULTIELETRADO PARA MONITORAMENTO DE NÍVEL EM SEPARADORES MULTIFÁSICOS**. 2019. F. 51. Dissertação (MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA INDUSTRIAL) – PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA INDUSTRIAL, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba, PR.

SHOOPEE. **Fissurômetro Gabarito Régua Fissuras Similar Modelo FISS01 PVC Transp Fenix**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://shopee.com.br/product/347852409/12937034467>. Acesso em 11 nov. 2023.

TECNI-AR. **SENSORES INDUTIVOS – CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.tecniar.com.br/noticias/sensores-indutivos-caracteristicas-e-aplicacoes/>. Acesso em 05 abr. 2024.

UOL. **Olinda (PE) tem 98 prédios com risco de desabamento, diz Defesa Civil.**

[S.l.: s.n.], 12 jan. 2020. Disponível em:

<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2020/01/12/defesa-civil-identifica-em-olinda-98-predios-com-risco-de-desabamento.htm-media/>. Acesso em 09 jan. 2024.

WOLFSHAFT. **Princípios mecânicos 01.** [S.l.: s.n.], 19 set. 2020. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=9M2QqaGbPCw>. Acesso em 03 dez. 2023.

WORKSHOP, Umair's. **Linear motion to rotational motion.** [S.l.: s.n.], 8 abr. 2019.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mtnbY9C5V1Y>. Acesso em 03 dez. 2023.

APÊNDICE - PROGRAMA EM GEOGEBRA PARA SIMULAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO DE MOVIMENTO LINEAR EM ROTACIONAL

```

1 \documentclass[10pt]{article}
2 \usepackage{pstricks-add}
3 \pagestyle{empty}
4 \newcommand{\degre}{\ensuremath{\^\circ}}
5 \begin{document}
6 \newrgbcolor{qqwuqq}{0 0.39215686274509803 0}
7 \newrgbcolor{ududff}{0.30196078431372547 0.30196078431372547 1}
8 \newrgbcolor{xdxdff}{0.49019607843137253 0.49019607843137253 1}
9 \newrgbcolor{zzttqq}{0.6 0.2 0}
10 \newrgbcolor{ccqqqq}{0.8 0 0}
11 \psset{xunit=1cm,yunit=1cm,algebraic=true,dimen=middle,dotstyle=o,dotsize=5
    pt 0,linewidth=2pt,arrowsize=3pt 2,arrowinset=0.25}
12 \begin{pspicture*}(-1.0721653665076367,-1.7455891301183204)
    (5.07116924290133,3.4223413769610893)
13 \multips(0,-1)(0,1.5707963267948966){4}{\psline[linestyle=dashed,linecap=1,
    dash=1.5pt 1.5pt,linewidth=0.4pt,linecolor=lightgray]{c-c
    }(-1.0721653665076367,0)(5.07116924290133,0)}
14 \multips(-1,0)(0.5,0){13}{\psline[linestyle=dashed,linecap=1,dash=1.5pt 1.5
    pt,linewidth=0.4pt,linecolor=lightgray]{c-c}(0,-1.7455891301183204)
    (0,3.4223413769610893)}
15 \psaxes[labelFontSize=\scriptstyle,xAxis=true,yAxis=true,Dx=0.5,Dy
    =1.5707963267948966,ticks=-2pt 0,subticks=2]{->}(0,0)
    (-1.0721653665076367,-1.7455891301183204)
    (5.07116924290133,3.4223413769610893)[Movimento Linear (mm),140] [
    Movimento Rotacional (rad),-40]
16 \pspolygon[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq,fillcolor=zzttqq,fillstyle=solid,
    opacity=0.1](21.017169821922966,2.1542662295464)
    (20.832589294555152,7.150858070883499)
    (59.80600565698456,8.590586184352553)
    (59.99058618435238,3.593994343015254)
17 \pspolygon[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq,fillcolor=zzttqq,fillstyle=solid,
    opacity=0.1](23.41598605359674,-3.1608384674956254)
    (12.378214405950112,30.053128429796367)
    (17.123066819848923,31.629952950888732)
    (28.160838467495648,-1.5840139464032248)
18 \pspolygon[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq,fillcolor=zzttqq,fillstyle=solid,
    opacity=0.1](-1.8416980746981062,0.8935909801375967)
    (2.5802143546014893,-1.4402235942460977)
    (18.916916375287364,29.51316341085101)
    (14.495003945987701,31.84697798523474)
19 \pspolygon[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq,fillcolor=zzttqq,fillstyle=solid,
    opacity=0.1](-5.98126207892596,9.060285058255717)
    (11.906710775141251,-1.0543141671059646)
    (9.445685832894036,-5.406710775141249)
    (-8.442287021173174,4.707888450220435)
20 \psline[linewidth=4pt](3.33426544664782,2.1560272791999098)
    (5.0455007138926575,2.1560272791999098)
21 \psline[linewidth=2pt](8.5,-2)(6.767314722604903,-4.029544065080339)
22 \psline[linewidth=2pt](15.539052873445707,28.469114483393124)
    (1.536165427143539,1.9376399075955475)
23 \psline[linewidth=2pt](30,0)(30,30)
24 \psline[linewidth=2pt](30,30)(0,30)
25 \psline[linewidth=2pt](0,30)(0,0)
26 \psline[linewidth=2pt](0,0)(0,-10)

```

```

27 \psline[linewidth=2pt](0,-10)(30,-10)
28 \psline[linewidth=2pt](30,-10)(30,0)
29 \pscustom[linewidth=2pt,linecolor=qquuqq,fillcolor=qquuqq,fillstyle=solid,
  opacity=0.1]{
30 \parametricplot{2.626971635529298}{4.005732693355615}{0.25668529008672564*
  cos(t)+8.5|0.25668529008672564*sin(t)+-2}
31 \lineto(8.5,-2)\closepath}
32 \pscustom[linewidth=2pt,linecolor=qquuqq,fillcolor=qquuqq,fillstyle=solid,
  opacity=0.1]{
33 \parametricplot{2.626971635529297}{4.005732693355614}{0.25668529008672564*
  cos(t)+8.5|0.25668529008672564*sin(t)+-2}
34 \lineto(8.5,-2)\closepath}
35 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq](21.017169821922966,2.1542662295464)
  (20.832589294555152,7.150858070883499)
36 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](20.832589294555152,7.150858070883499)
  (59.80600565698456,8.590586184352553)
37 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](59.80600565698456,8.590586184352553)
  (59.99058618435238,3.593994343015254)
38 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](59.99058618435238,3.593994343015254)
  (21.017169821922966,2.1542662295464)
39 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](23.41598605359674,-3.1608384674956254)
  (12.378214405950112,30.053128429796367)
40 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](12.378214405950112,30.053128429796367)
  (17.123066819848923,31.629952950888732)
41 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](17.123066819848923,31.629952950888732)
  (28.160838467495648,-1.5840139464032248)
42 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](28.160838467495648,-1.5840139464032248)
  (23.41598605359674,-3.1608384674956254)
43 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](-1.8416980746981062,0.8935909801375967)
  (2.5802143546014893,-1.4402235942460977)
44 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](2.5802143546014893,-1.4402235942460977)
  (18.916916375287364,29.51316341085101)
45 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](18.916916375287364,29.51316341085101)
  (14.495003945987701,31.84697798523474)
46 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](14.495003945987701,31.84697798523474)
  (-1.8416980746981062,0.8935909801375967)
47 \pscircle[linewidth=2pt](25,0){1.2}
48 \pscircle[linewidth=2pt](23.423175478907616,4.744852413898858){1.2}
49 \pscircle[linewidth=2pt](15.539052873445707,28.469114483393124){1.2}
50 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](-5.98126207892596,9.060285058255717)
  (11.906710775141251,-1.0543141671059646)
51 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
  ](11.906710775141251,-1.0543141671059646)
  (9.445685832894036,-5.406710775141249)

```

```

52 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
   ](9.445685832894036,-5.406710775141249)
   (-8.442287021173174,4.707888450220435)
53 \psline[linewidth=2pt,linecolor=zzttqq
   ](-8.442287021173174,4.707888450220435)
   (-5.98126207892596,9.060285058255717)
54 \pscircle[linewidth=2pt](1.536165427143539,1.9376399075955475){1.2}
55 \pscircle[linewidth=2pt](8.5,-2){1.2}
56 \pscustom[linewidth=2pt]{\moveto(0,0.000010152323683954023)
57 \lineto(0.02968750000000142,0.03251695275421482)
58 \lineto(0.05937500000000284,0.06421592452600908)
59 \lineto(0.08906250000000426,0.09514872363471309)
60 \lineto(0.11875,0.12536988581825834)
61 \lineto(0.1484375000000071,0.1549277415573956)
62 \lineto(0.17812500000000853,0.1838653876714491)
63 \lineto(0.20781250000000995,0.21222147005635508)
64 \lineto(0.2375,0.24003082073706358)
65 \lineto(0.2671875000000128,0.2673249811917499)
66 \lineto(0.2968750000000142,0.2941326359249932)
67 \lineto(0.32656250000001563,0.3204799745032167)
68 \lineto(0.35625,0.3463909960446948)
69 \lineto(0.3859375000000185,0.37188776702654797)
70 \lineto(0.4156250000000199,0.3969906409228005)
71 \lineto(0.4453125000000213,0.4217184464070851)
72 \lineto(0.475,0.4460886494896312)
73 \lineto(0.5046875000000242,0.47011749390382895)
74 \lineto(0.5343750000000256,0.49382012323567587)
75 \lineto(0.564062500000027,0.5172106876429791)
76 \lineto(0.59375,0.5403024374994211)
77 \lineto(0.6234375000000298,0.5631078058901604)
78 \lineto(0.6531250000000313,0.5856384815577583)
79 \lineto(0.6828125000000327,0.6079054736321461)
80 \lineto(0.7125,0.629919169262777)
81 \lineto(0.7421875000000355,0.6516893850951467)
82 \lineto(0.771875000000037,0.6732254133887909)
83 \lineto(0.8015625000000384,0.6945360634543588)
84 \lineto(0.83125,0.7156296989880933)
85 \lineto(0.8609375000000412,0.7365142717989885)
86 \lineto(0.8906250000000426,0.7571973523548279)
87 \lineto(0.920312500000044,0.7776861575146312)
88 \lineto(0.95,0.7979875757660454)
89 \lineto(0.9796875000000469,0.8181081902442465)
90 \lineto(1.0093750000000483,0.8380542997734142)
91 \lineto(1.0390625000000497,0.8578319381416968)
92 \lineto(1.06875,0.8774468917943445)
93 \lineto(1.0984375000000526,0.8969047161075122)
94 \lineto(1.128125000000054,0.916210750386046)
95 \lineto(1.1578125000000554,0.9353701317118422)
96 \lineto(1.1875,0.9543878077549869)
97 \lineto(1.2171875000000583,0.9732685486474266)
98 \lineto(1.2468750000000597,0.9920169580079938)
99 \lineto(1.276562500000061,1.0106374831980596)
100 \lineto(1.30625,1.0291344248787555)
101 \lineto(1.335937500000064,1.0475119459335072)
102 \lineto(1.3656250000000654,1.065774079813049)
103 \lineto(1.3953125000000668,1.0839247383545443)
104 \lineto(1.425,1.1019677191214623)

```

105 \lineto(1.4546875000000696,1.1199067123063464)
106 \lineto(1.484375000000071,1.1377453072348813)
107 \lineto(1.5140625000000725,1.1554869985061018)
108 \lineto(1.54375,1.1731351918005593)
109 \lineto(1.5734375000000753,1.190693209385594)
110 \lineto(1.6031250000000767,1.2081642953444278)
111 \lineto(1.6328125000000782,1.2255516205536445)
112 \lineto(1.6625,1.242858287431817)
113 \lineto(1.692187500000081,1.2600873344802435)
114 \lineto(1.7218750000000824,1.277241740635424)
115 \lineto(1.7515625000000838,1.2943244294514133)
116 \lineto(1.78125,1.3113382731293382)
117 \lineto(1.8109375000000867,1.3282860964099747)
118 \lineto(1.840625000000088,1.3451706803447847)
119 \lineto(1.8703125000000895,1.3619947659598164)
120 \lineto(1.9,1.3787610578263685)
121 \lineto(1.9296875000000924,1.395472227551708)
122 \lineto(1.9593750000000938,1.4121309172028063)
123 \lineto(1.9890625000000952,1.4287397426756039)
124 \lineto(2.01875,1.445301297022219)
125 \lineto(2.048437500000098,1.461818153748214)
126 \lineto(2.0781250000000995,1.4782928700921916)
127 \lineto(2.107812500000101,1.494727990299758)
128 \lineto(2.137500000001023,1.5111260489043146)
129 \lineto(2.1671875000001037,1.5274895740271448)
130 \lineto(2.196875000000105,1.5438210907097107)
131 \lineto(2.2265625000001066,1.5601231242914477)
132 \lineto(2.256250000000108,1.5763982038469637)
133 \lineto(2.2859375000001094,1.592648865697117)
134 \lineto(2.315625000000111,1.6088776570093595)
135 \lineto(2.3453125000001123,1.6250871395035267)
136 \lineto(2.3750000000001137,1.641279893280592)
137 \lineto(2.404687500000115,1.6574585207928618)
138 \lineto(2.4343750000001165,1.673625650975889)
139 \lineto(2.464062500000118,1.689783943563827)
140 \lineto(2.4937500000001194,1.7059360936120607)
141 \lineto(2.523437500000121,1.7220848362530488)
142 \lineto(2.553125000000122,1.7382329517139916)
143 \lineto(2.5828125000001236,1.7543832706277642)
144 \lineto(2.612500000000125,1.7705386796719222)
145 \lineto(2.6421875000001265,1.7867021275744535)
146 \lineto(2.671875000000128,1.8028766315293103)
147 \lineto(2.7015625000001293,1.8190652840698036)
148 \lineto(2.7312500000001307,1.8352712604537544)
149 \lineto(2.760937500000132,1.8514978266210058)
150 \lineto(2.7906250000001336,1.8677483477915853)
151 \lineto(2.820312500000135,1.8840262977817792)
152 \lineto(2.8500000000001364,1.900335269125776)
153 \lineto(2.879687500000138,1.9166789841025522)
154 \lineto(2.9093750000001393,1.9330613067817926)
155 \lineto(2.9390625000001407,1.949486256219165)
156 \lineto(2.968750000000142,1.9659580209505416)
157 \lineto(2.9984375000001435,1.9824809749575447)
158 \lineto(3.028125000000145,1.9990596953038617)
159 \lineto(3.0578125000001464,2.015698981673527)
160 \lineto(3.087500000000148,2.032403878080608)
161 \lineto(3.117187500000149,2.0491796970650977)

```

162 \lineto(3.1468750000001506,2.066032046744577)
163 \lineto(3.176562500000152,2.0829668611570504)
164 \lineto(3.2062500000001535,2.099990434410424)
165 \lineto(3.235937500000155,2.1171094592512265)
166 \lineto(3.2656250000001563,2.1343310707848095)
167 \lineto(3.2953125000001577,2.151662896225844)
168 \lineto(3.325000000000159,2.1691131117401685)
169 \lineto(3.3546875000001606,2.186690507666083)
170 \lineto(3.384375000000162,2.2044045636879877)
171 \lineto(3.4140625000001634,2.2222655358957812)
172 \lineto(3.443750000000165,2.2402845581222532)
173 \lineto(3.4734375000001663,2.2584737605403045)
174 \lineto(3.5031250000001677,2.276846409265495)
175 \lineto(3.532812500000169,2.2954170717078624)
176 \lineto(3.5625000000001705,2.3142018137360054)
177 \lineto(3.592187500000172,2.3332184364767543)
178 \lineto(3.6218750000001734,2.3524867629520783)
179 \lineto(3.651562500000175,2.372028988007585)
180 \lineto(3.681250000000176,2.391870109498143)
181 \lineto(3.7109375000001776,2.412038465047283)
182 \lineto(3.740625000000179,2.43256640778769)
183 \lineto(3.7703125000001805,2.4534911677409714)
184 \lineto(3.7851562500001776,2.46411558947774)
185 \lineto(3.792578125000176,2.4694708848214773)
186 \lineto(3.796289062500179,2.4721596502816547)
187 \lineto(3.7981445312501805,2.4735068574916963)
188 \lineto(3.7990722656251776,2.4741811729568886)
189 \lineto(3.799536132812676,2.4745185093791564)
190 \lineto(3.799768066406429,2.4746872223537433)
191 \lineto(3.7998840332033055,2.4747715900432956)
192 \lineto(3.79994201660174,2.4748137766900697)
193 \lineto(3.7999710083009575,2.4748348707141337)
194 \lineto(3.7999855041505697,2.474845417901358)
195 \lineto(3.799992752075376,2.4748506915387702)
196 \lineto(3.7999963760377753,2.4748533283684258)
197 \lineto(3.799998188018975,2.4748546467859907)
198 \lineto(3.7999990940095785,2.47485530599546)
199 \lineto(3.79999954700488,2.474855635600366)
200 \lineto(3.7999997735025275,2.474855800402862)
201 \lineto(3.799999886751351,2.4748558828041163)
202 \lineto(3.7999999433757665,2.474855924004751)
203 \lineto(3.799999971687974,2.474855944605067)
204 \lineto(3.7999999858440745,2.474855954905225)
205 \lineto(3.7999999958440753,2.474855962181351)
206 \moveto(0,0.000010152323683954023)
207 }
208 \rput[tl](55.58683433196894,3.225549321227933){$p_3\left(x \right)\,, = \,,0
    \; x^{\{7\}} - 0 \; ; x^{\{6\}} + 0.03 \; ; x^{\{5\}} - 0.1 \; ; x^{\{4\}} + 0.24 \; ; x^{\{3\}} -
    0.43 \; ; x^{\{2\}} + 1.1 \; ; x + 0$}
209 \psline[linewidth=4pt](-0.7470306657311176,2.583836096011119)
    (0.96420460151372,2.583836096011119)
210 \begin{scriptsize}
211 \psdots[dotstyle=*](4.1898830802702385,2.1560272791999098)
212 \rput[bl](4.095765140571773,2.2843699242432725){$a = 57.4$}
213 \psdots[dotstyle=*,linecolor=qqwuqq](25,0)
214 \psdots[dotstyle=*,linecolor=ududff](57.4,6)

```

```

215 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (23.423175478907616, 4.744852413898858)
216 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (15.539052873445707, 28.469114483393124)
217 \psdots [dotstyle=*, linecolor=ududff] (8.5, -2)
218 \psdots [dotstyle=*, linecolor=ududff] (6.767314722604903, -4.029544065080339)
219 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (1.536165427143539, 1.9376399075955475)
220 \psdots [dotstyle=*, linecolor=ududff] (58.40636057819389, 63.457634412955635)
221 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray] (0, 0)
222 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (30, 0)
223 \psdots [dotstyle=*, linecolor=ududff] (30, 30)
224 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (0, 30)
225 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (0, -10)
226 \psdots [dotstyle=*, linecolor=ududff] (30, -10)
227 \psdots [dotstyle=*, linecolor=ududff] (-0.7579702526909878, 24.64855824433856)
228 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (59.99058618435238, 3.593994343015254)
229 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (59.80600565698456, 8.590586184352553)
230 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (21.017169821922966, 2.1542662295464)
231 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (20.832589294555152, 7.150858070883499)
232 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (17.123066819848923, 31.629952950888732)
233 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (12.378214405950112, 30.053128429796367)
234 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (28.160838467495648, -1.5840139464032248)
235 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (23.41598605359674, -3.1608384674956254)
236 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (0.36925813995169166, -0.2733163070542505)
237 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (-1.8416980746981062, 0.8935909801375967)
238 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (2.5802143546014893, -1.4402235942460977)
239 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (16.70596016063753, 30.680070698042876)
240 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (14.495003945987701, 31.84697798523474)
241 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (18.916916375287364, 29.51316341085101)
242 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (10.676198304017642, -3.2305124711236073)
243 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (9.445685832894036, -5.406710775141249)
244 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (11.906710775141251, -1.0543141671059646)
245 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (-7.211774550049568, 6.884086754238076)
246 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (-8.442287021173174, 4.707888450220435)
247 \psdots [dotsize=4pt 0, dotstyle=*, linecolor=darkgray
      ] (-5.98126207892596, 9.060285058255717)
248 \psdots [dotstyle=*, linecolor=ccqqqq] (1.9, 1.3787610578263165)

```

```

249 \rput [bl] (1.9652772328519499, 1.3260781745861634) {\ccqqq{G_2$}}
250 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (0, 0.000010152323683954023)
251 \rput [bl] (-0.12242979318675189, 0.17955054553212224) {\xdxdff{H_2$}}
252 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (0.5190355830624793, 0.4815730659274722)
253 \rput [bl] (0.33104755263313007, 0.6159155386795558) {\xdxdff{N_2$}}
254 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (1.0197542754674915, 0.8449689122102941)
255 \rput [bl] (0.8615304854790297, 0.9581625921285233) {\xdxdff{O_2$}}
256 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (1.4667937186775053, 1.1271810847224484)
257 \rput [bl] (1.5032437106958436, 1.2148478822152489) {\xdxdff{P_2$}}
258 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (2.1875811767703524, 1.538708426149828)
259 \rput [bl] (2.2219625229386755, 1.62554434635401) {\xdxdff{Q_2$}}
260 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (2.8341624855385765, 1.891634854152683)
261 \rput [bl] (2.709664574103454, 2.0447969868289952) {\xdxdff{R_2$}}
262 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (3.2491889905966573, 2.1247966010884944)
263 \rput [bl] (3.248703683285578, 2.3014822769157206) {\xdxdff{S_2$}}
264 \psdots [dotstyle=*, linecolor=xdxdff] (3.7999999858440745, 2.474855954905225)
265 \rput [bl] (3.6422877947518906, 2.6009484486835674) {\xdxdff{T_2$}}
266 \psdots [dotsize=1pt 0, dotstyle=*, linecolor=ududff] (2, -1.5)
267 \rput [bl] (1.383457241988705, -1.2749994316259896) {\ududff{Movimento Linear X
Movimento Rotacional}}
268 \psdots [dotstyle=*] (0.2797104946157849, 2.583836096011119)
269 \rput [bl] (0.18559255491731888, 2.712178741054482) {\$ômio = 1$}
270 \end{scriptsize}
271 \end{pspicture*}
272 \end{document}

```