

DESENVOLVIMENTO DE UM HELIÓGRAFO DO TIPO CAMPBELL-STOKES POR MANUFATURA ADITIVA

Vinícius de Paulo Marques ¹
Wanderley Ferreira de Amorim Júnior ²
Júlio Mannuel Tavares Diniz ³

RESUMO

Para se ter conhecimento da quantidade de horas de sol uma determinada região ficou exposta é necessário o uso de instrumentos chamados de heliógrafos, podendo ser analógicos ou digitais. Tal instrumento é de grande importância para diferentes áreas, tais como a agricultura, produção de energia solar, meteorologia e entre outras. Contudo, seja qual for o tipo de heliógrafo, esses instrumentos são bastante custosos e não estão disponíveis no mercado brasileiro. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de baixo custo de um heliógrafo que possa ser utilizado para fazer o registro da quantidade de horas em que uma região ficou exposta a luz do sol. Para isso, seu método de fabricação é a manufatura aditiva, permitindo que qualquer pessoa no mundo tenha acesso ao heliógrafo e possa fabricá-lo. Com o intuito de se chegar a tal propósito, foi utilizada duas metodologias de projeto, uma que possibilita a compreensão de cada sistema e subsistema que compõe o heliógrafo e outra que permite organizar e dividir em etapas o desenvolvimento do projeto. O trabalho resultou em uma concepção de um heliógrafo do tipo Campbell-Stokes para regiões de baixa latitude. Além do mais, um modelo paramétrico que possibilita o dimensionamento de um heliógrafo em função de um componente foi desenvolvido.

Palavras-chave: Heliógrafo, Campbell-Stokes, manufatura aditiva, impressão 3D.

INTRODUÇÃO

O uso de fontes alternativas de energia vem crescendo consideravelmente nas últimas décadas. Uma delas é a energia solar, a qual é proveniente da luz e do calor emitidos pelo sol. Essa fonte pode ser convertida nas energias fotovoltaica e térmica, logo, o período de tempo em que a luz solar incide sobre uma determinada localidade por dia é fundamental, período esse definido como insolação, que é medida em horas (WAYBACK MACHINE, 2003).

O registro do número de horas de insolação pode ser feito através de um instrumento chamado heliógrafo, o qual parte do princípio de realizar a queima de um papel através da concentração dos raios solares (MARTINS, 2012).

Existem vários modelos de heliógrafos e de diferentes tamanhos, no entanto, eles são bastante custosos e não há disponibilidade para compra no mercado nacional, o que leva a importação desses instrumentos para suprir as necessidades locais.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, vinicius.p.marques@live.com;

² Professor orientador: Dr., Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, wanderley.ferreira@ufcg.edu.br;

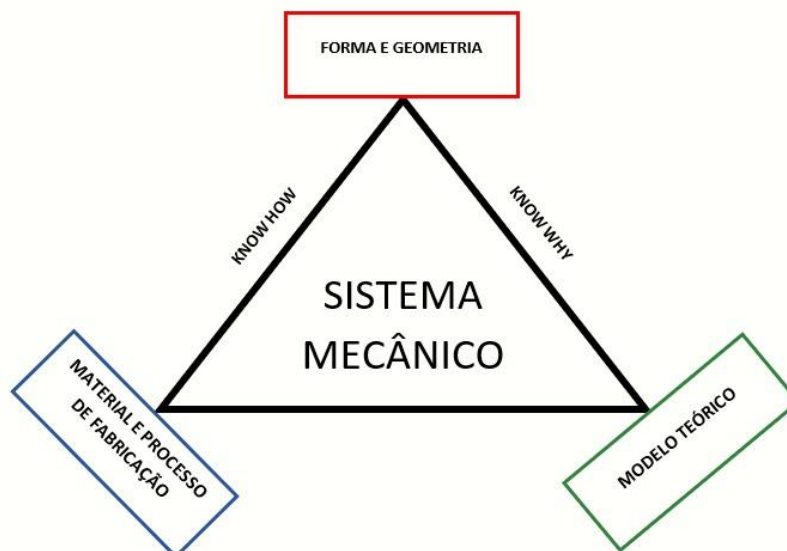
³ Professor coorientador: Dr., Marinha do Brasil - EAMPE, julio_mannuel@hotmail.com;

Este trabalho almeja desenvolver um heliógrafo para regiões tropicais/equatoriais, isto é, para locais de baixa latitude. Tendo como método de fabricação a manufatura aditiva (impressão 3D), outro objetivo deste trabalho é que o heliógrafo desenvolvido possa ser fabricado por qualquer pessoa do mundo com acesso a uma impressora 3D.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do heliógrafo foi baseado nas seguintes metodologias de projeto, o triângulo de projeto e o fluxograma de desenvolvimento de projeto.

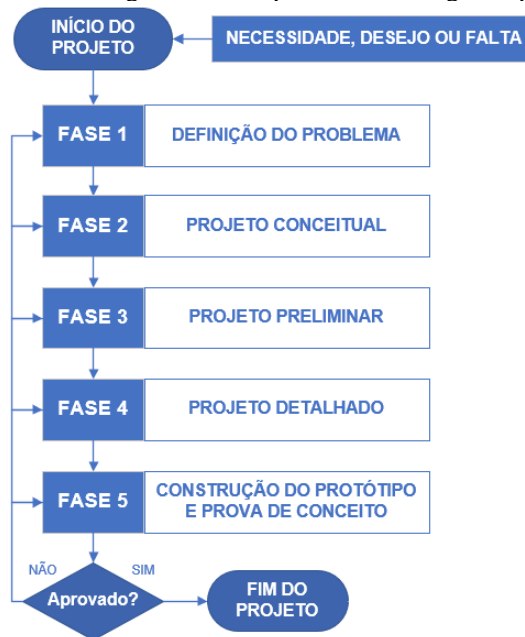
Figura 1 – Triângulo de Projeto.



Fonte: (AMORIM JÚNIOR, 2019).

Na Figura 1 é possível observar como a metodologia do triângulo de projeto é estruturada. Ela consiste de três segmentos, são eles o design e geometria, os materiais e métodos de fabricação e os modelos matemáticos e físicos, sendo cada um dos segmentos uma fonte de informação dependente dos demais, por isso esse método é apresentado em forma de triângulo (AMORIM JÚNIOR, 2019). O uso do triângulo de projeto se dá pela “passagem” do mesmo pelos sistemas e subsistemas que compõem o produto, analisando-os de acordo com cada vértice e como esse influencia os demais e vice-versa (SILVA, 2018).

Figura 2 – Fluxograma das etapas da metodologia de projeto.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 apresenta o método do fluxograma de desenvolvimento de projeto, que consiste de várias fases, as quais são cumpridas em ordem cronológica, e que na maioria dos casos se aplica a todos os projetos. Na primeira fase dessa metodologia são estabelecidos os requisitos do produto, reunindo todas as informações necessárias para o desenvolvimento do produto. Na segunda, a ideia ou ideias são apresentadas em desenhos esquemáticos e diagramas, nos quais é possível ter uma melhor compreensão do produto demandado. Na terceira, é feito o dimensionamento do produto com base nas solicitações e esforços esperados. Na quarta, são apresentados todos os desenhos técnicos do produto para que sua fabricação seja possível. Na última fase, obtém-se o produto em sua forma física, estabelecida e dimensionada nas etapas anteriores, além disso, por meio provas de conceito, tem-se conhecimento se as especificações do projeto são suscetíveis de serem exploradas de uma maneira útil (BACK, 1983 apud FLORÊNCIO, 2015, p. 25 – 27).

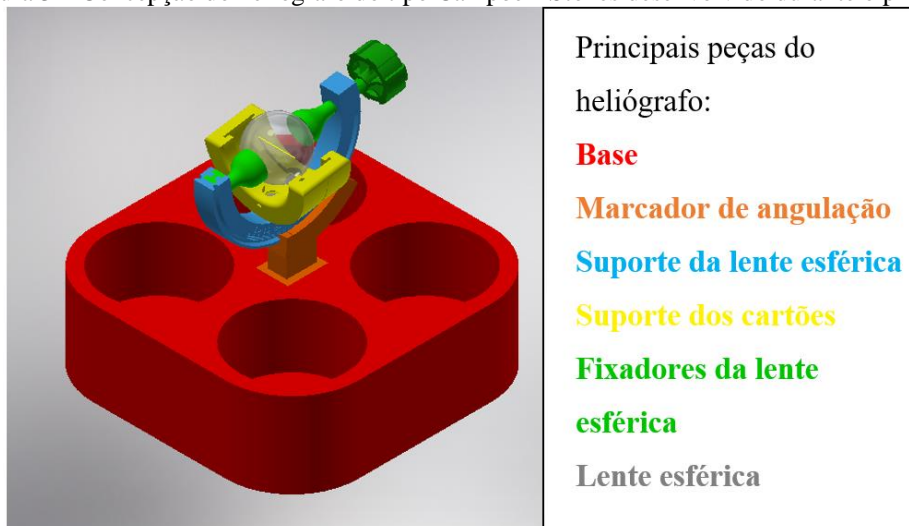
DESENVOLVIMENTO

Durante a pesquisa informacional, o heliógrafo do tipo Campbell-Stokes proposta pela patente IS:7243-1974 foi escolhido como modelo a ser seguido por se adaptar melhor aos objetivos do projeto. Essa patente de nacionalidade indiana descreve um heliógrafo para regiões

tropicais e foi desenvolvida pelo Comitê Secional de Instrumentos Meteorológicos da Índia (METEOROLOGICAL INSTRUMENTS SECTIONAL COMMITTEE, 1974).

Para a concepção baseada no heliógrafo proposto pela patente IS:7243-1974, todas as suas peças foram projetadas para serem fabricadas por meio da manufatura aditiva. Na Figura 3 é possível observar a concepção do heliógrafo desenvolvido durante este trabalho.

Figura 3 – Concepção do heliógrafo do tipo Campbell-Stokes desenvolvido durante o projeto.



Fonte: Autoria própria.

Por se tratar de um produto fabricado por manufatura aditiva, possui baixo peso, o que limita sua resistência aos fenômenos da natureza, como o vento ou a chuva, os quais podem virar ou derrubá-lo. Logo, as cavidades presentes em sua base são para depositar pedras, areia ou qualquer material ou objeto que aumente seu peso e reduza a distância entre o seu centro de gravidade e a superfície onde o heliógrafo será posicionado, o que previne que ele seja virado ou derrubado por esses fenômenos.

Com a concepção do heliógrafo desenvolvida durante o projeto conceitual, deu-se início ao projeto preliminar, no qual as dimensões do produto e material em que será fabricado foram estabelecidos.

Durante o projeto preliminar, grande parte das dimensões do heliógrafo foram calculadas por meio de um modelo paramétrico. Essas dimensões estabelecidas pelo modelo paramétrico dependem somente do diâmetro da lente esférica (lente composta por um substrato de vidro em forma de esfera) e do seu índice de refração, esse que depende do material em que é fabricada. Conhecendo esses dados é possível obter a distância focal efetiva *EFL* da lente esférica, que consiste na distância entre o seu centro até o ponto onde os feixes de luz são

focalizados. As demais dimensões estão diretamente ou indiretamente ligadas a essa propriedade. A distância focal efetiva EFL é dada pela equação a seguir.

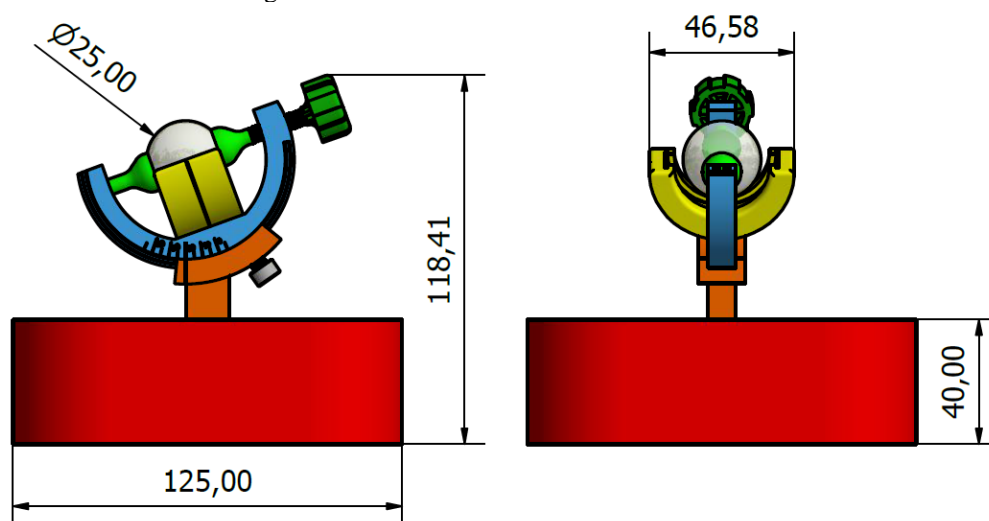
$$EFL = \frac{nD}{4(n - 1)}$$

Onde D e n são o diâmetro da lente esférica e seu índice de refração, respectivamente.

Neste trabalho, o material da lente esférica foi o N-BK7, que possui um índice de refração igual a 1,512 (REFRACTIVE INDEX DATABASE, 2019), e o diâmetro escolhido foi de 25 mm (milímetros). Já o material que compõe as peças desse produto foi definido como o filamento de ABS Premium, pois apresenta uma melhor resistência à luz do sol e à altas temperaturas, quando comparado aos materiais que estavam disponíveis.

Com o término da etapa de projeto preliminar, o projeto detalhado foi iniciado, e assim todas as suas dimensões demais dimensões foram definidas e um modelo do heliógrafo em CAD foi desenvolvido. A partir disso, desenhos técnicos das peças do heliógrafo foram produzidos com o objetivo de que outros pudessem refazê-las em CAD ou fabricá-las por meio de usinagem. Na Figura 4 é possível ter uma ideia do tamanho do heliógrafo desenvolvido.

Figura 4 – Vistas frontal e lateral do instrumento.



Fonte: Autoria própria.

Por fim, a etapa de construção do protótipo e prova de conceito foi realizada. A construção do protótipo se deu por meio de manufatura aditiva através da técnica Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM), com um preenchimento de 30% de material.

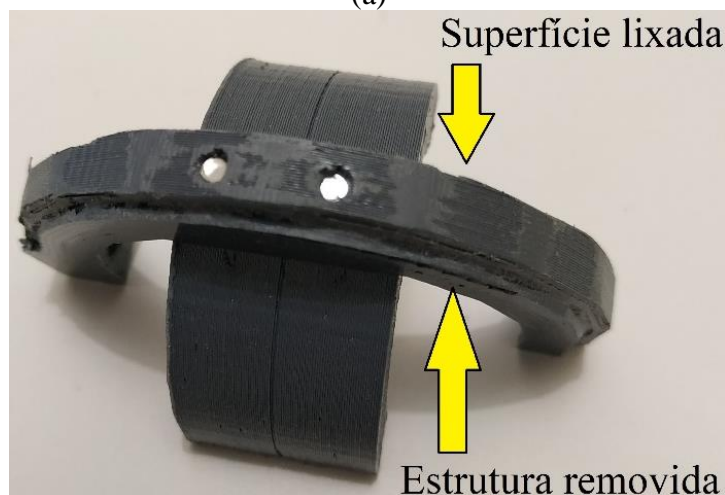
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao término de sua fabricação, percebeu-se que o produto final apresentava problemas. A Figura 5a apresenta um dos problemas que surgiram durante a fase de construção do protótipo, uma peça com geometria “quadriculada” foi gerada durante a sua, isso ocorreu em virtude da conversão do arquivo CAD original da peça para o formato STL, em que não foi levado em conta a resolução. A solução desse problema foi lixar algumas superfícies da peça e retirar estruturas de certas regiões, mostrado na Figura 5b.

Figura 5 – (a) Peça fabricada com geometria quadriculada. (b) Correções feitas.



(a)



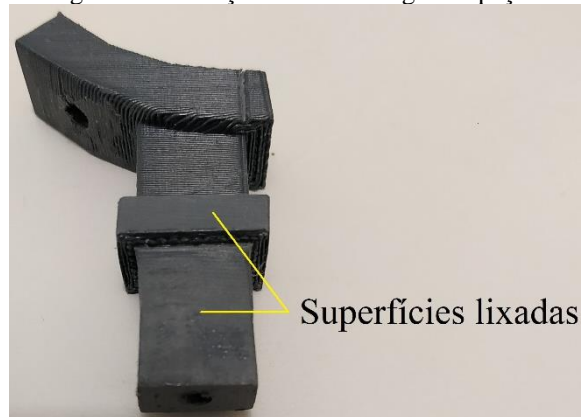
(b)

Fonte: Autoria própria.

Outro problema que surgiu na fabricação das peças foi a diferença entre as dimensões das peças em CAD e das peças fabricadas, uma diferença entre 0,5 e 0,8 mm, isso ocorreu por que o efeito de contração do material não foi considerado quando as peças foram dimensionadas. A Figura 6 ilustra correções realizadas para que o encaixe das peças fosse

possível, correções essas que se deu na forma do lixamento de certas superfícies de algumas peças.

Figura 6 – Correções feitas em algumas peças.



Fonte: Autoria própria.

Em virtude do preenchimento escolhido e também do tamanho do protótipo, houve a falha do fixador móvel da lente esférica, o qual se partiu na região rosqueada. A Figura 7 apresenta esse problema. Como essa peça ficou inutilizável, a lente esférica foi colada no fixador fixo utilizando uma cola instantânea.

Figura 7 – Fixador móvel rompido em virtude do seu tamanho e seu preenchimento de 30%.



Fonte: Autoria própria.

A base do heliógrafo também teve problemas durante a sua fabricação, surgiram fraturas durante o processo de impressão, isso ocorreu devido a umidade presente no filamento de impressão. Isso foi corrigido deixando a filamento em um forno apropriado para retirar a umidade durante um período de 8 horas, e a fabricação dessa peça foi feita de uma maneira mais lenta, durando aproximadamente 8 horas, almejando evitar que problema se repetisse.

Após os reparos necessários, o protótipo foi montado e colocado em prova, como pode ser observado na Figura 8.

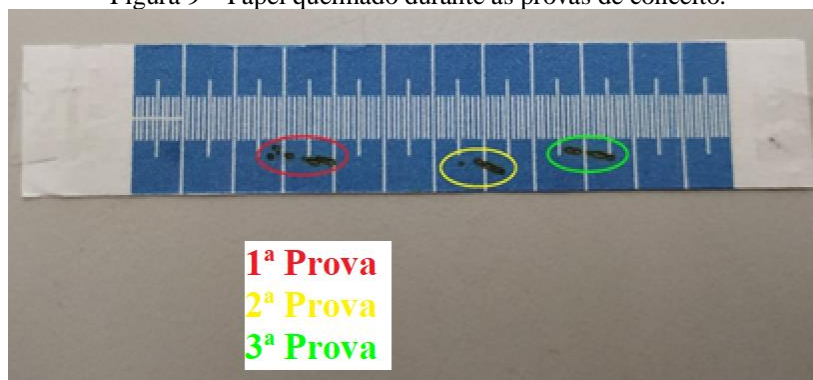
Figura 8 – Protótipo do heliógrafo montado e realizando uma prova de conceito.



Fonte: Autoria própria.

As provas de conceito foram realizadas em um espaço aberto e que não ocorresse sombra sobre o protótipo nesse mesmo espaço. O papel utilizado para a realização das provas de conceito foi o papel sulfite, também conhecido como papel comum branco, que é o papel utilizado no dia a dia para impressão. No papel foi impresso uma escala graduada desenvolvida pelo autor deste trabalho, a qual possibilitasse o conhecimento do tempo de insolação registrado, além disso, foi acrescentado um fundo azul escuro para facilitar a queima do papel.

Figura 9 – Papel queimado durante as provas de conceito.



Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado na Figura 9, as linhas de queimaduras no papel não estão alinhadas, isso ocorreu devido aos posicionamentos diferentes do protótipo com relação ao norte magnético do planeta, pois o instrumento deveria estar alinhado com o norte geográfico,

que apresenta uma diferença entre 20 a 30° do norte magnético (como o campo magnético se altera ao longo do tempo, essa diferença varia, atualmente em São Paulo a diferença entre os nortes magnético e geográfico é de 23 graus) (MOLINA, 2012 apud SILVA, 2018, p. 57).

No entanto, mesmo com o erro de calibração do instrumento, é possível afirmar que o instrumento é sensível a luz do sol e também ao alinhamento com o norte geográfico do planeta.

Três provas de conceito foram realizadas, uma no período da manhã, outras duas no da tarde. A tabela 4.1 apresenta os dados dessas provas.

Tabela 1 - Características das provas de conceito realizadas.

	1ª Prova	2ª Prova	3ª Prova
Data	07/06/2019	07/06/2019	07/06/2019
Início	08:15	11:13	12:47
Término	10:03	12:47	14:50
Duração do experimento em minutos	108	94	123
Tempo de insolação	60	42	54

Fonte: Autoria própria.

Um décimo na escala graduada equivale a 6 minutos, com isso é possível obter o tempo de insolação registrado.

É mostrado na Tabela 1, que o término do segundo teste acontece no mesmo instante que o terceiro teste inicia, isso ocorreu por que foi refeito o alinhamento com o norte, pois o ponto focal de luz saiu do papel para o suporte dos cartões à medida que a Terra fazia seu movimento de rotação. Logo, foi necessário o realinhamento do instrumento, e assim, iniciando um novo teste.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mencionados anteriormente mostraram que é viável a construção de um heliógrafo por manufatura aditiva, baseado nos modelos tipo Campbell-Stokes encontrados no mercado.

O modelo paramétrico que foi desenvolvido durante o projeto possibilita a construção de heliógrafos de diferentes tamanhos.

A falta de maior conhecimento sobre a técnica FDM de manufatura aditiva resultou em dificuldades e falhas na construção do protótipo.

O protótipo se demonstrou funcional quando realizado os testes, mesmo apresentando dificuldades e falhas em sua construção

REFERÊNCIAS

AMORIM JÚNIOR, Wanderley Ferreira. **Máquinas de Elevação e Transporte: Triângulo de Projeto**. Campina Grande – PB: Universidade Federal de Campina Grande 18 mar. 2019, 30 mai. 2019. Notas de Aula.

EDMUND OPTICS. **Understanding Ball Lenses**. [S. l.], 20-?. Disponível em: <<https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/optics/understanding-ball-lenses/>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

FLORÊNCIO, T. H. N. **DESENVOLVIMENTO DE UM CANHÃO DISRUPTOR PARA NEUTRALIZAÇÃO DE ARTEFATOS EXPLOSIVOS PARA USO DA POLÍCIA MILITAR EM CAMPINA GRANDE**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

MARQUES, Vinícius. **DESENVOLVIMENTO DE UM HELIÓGRAFO DO TIPO CAMPBELL-STOKES POR MANUFATURA ADITIVA**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

MARTINS, Samantha. **Bola de Cristal?**. [S. l.], 21 mar. 2012. Disponível em: <<http://meteoropole.com.br/2012/03/bola-de-cristal/>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

METEOROLOGICAL INSTRUMENTS SECTIONAL COMMITTEE. **Sunshine Recorder [PGD 21: Meteorological Instruments]**. Depositante: Indian Standards Institution. IS 7243. Depósito: 31 jan. 1974. Concessão: set. 1974. Disponível em: <<https://archive.org/details/gov.in.is.7243.1974/page/n15>>. Acesso em: 4 maio 2019.

SILVA, B. P. **RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO NA EMPRESA SUNA ENGENHARIA**. 2018. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

WAYBACK MACHINE. Glossário de termos técnicos em radiação atmosférica. [S. l.], 1 jan. 2003. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20090324103521/http://www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/gloss1/gloss_fo.htm#heli%C3%B3grafo>. Acesso em: 20 mar. 2019.