

**SISTEMA LIBS EMBARCADO PARA APLICAÇÕES AGRONÔMICAS.
IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE DISPARO DOS PULSOS LASER**Manuel Cerna Larenas^{1,*}, Daniel Varela Magalhães², Débora Milori³¹ *Universidad de La Frontera, Av. Francisco Salazar, 01145, Temuco, Chile*² *Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil*³ *Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, 13561-206, São Carlos, SP, Brasil** *Autor correspondente, e-mail: manuel.cerna@ufrontera.cl*

Resumo: A espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS, do inglês), é uma técnica óptica para realizar análise química de uma amostra. Mediante um laser pulsado muito focalizado, gera-se um pequeno plasma que fornece informação dos elementos constituintes da amostra. Uma das vantagens do LIBS é a opção de fazer análises *in situ* de amostras sem preparo. Para aproveitar esta grande potencialidade da técnica, existe uma parceria entre a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) e a Embrapa Instrumentação, que visa o desenvolvimento de um rover com a capacidade de realizar análise LIBS de forma autônoma. Assim, neste trabalho apresenta-se o desenvolvimento de um instrumento LIBS para ser embarcado no rover. O Sistema de disparo foi projetado, modelado e implementado para fazer análise no solo, trabalhando autonomamente sobre o rover. Os testes do sistema proposto mostraram que é possível focalizar adequadamente os pulsos laser sobre uma amostra para gerar plasma espectroscopicamente útil.

Palavras-chave: LIBS à distancia, Agricultura de Precisão.

***STAND-OFF LIBS FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS.
SHOOTING SYSTEM IMPLEMENTATION***

Abstract: Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) is an optical technique for performing chemical analysis of a sample. Using a highly focused pulsed laser, a small plasma is generated that provides information on the elements of the sample. One of the advantages of LIBS is the option to perform in situ analysis of unprepared samples. To take advantage of this great potential of the technique, there is a partnership between EESC-USP and Embrapa Instrumentation, which aims to develop a rover with the ability to perform LIBS analysis in autonomous form. Thus, this paper presents the implementation of a part of the LIBS instrument to be embedded in the rover. The Shooting System was designed, modeled and implemented for soil analysis, working autonomously on the rover. System tests have shown that it is possible to properly focus laser pulses on a sample to generate spectroscopically useful plasma.

Keywords: stand-off LIBS, precision agriculture.

1. Introdução**1.1. Técnica LIBS**

LIBS (*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*) ou Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Induzido por Laser, é uma técnica óptica para obter informação da composição química elementar de uma amostra. Esta metodologia utiliza um laser de alta potência muito bem focalizado sobre a superfície do alvo para excitar energeticamente os componentes atômicos da amostra, para assim obter os sinais espectrais emitidos e conseguir a informação qualitativa e quantitativa de uma

amostra após seu processamento. Atualmente, LIBS é uma importante técnica especialmente útil para análises da composição elementar sobre um amplo número de elementos químicos da amostra. (ANABITARTE et al., 2012). LIBS também se destaca pela capacidade de trabalhar em campo, dado que é uma técnica rápida e os equipamentos são comparativamente simples e compactos, permitindo a obtenção de sistemas portáteis. Isso gera a potencialidade de uma grande quantidade de aplicações frente a outros métodos analíticos (CREMERS et al., 2009). Um sistema LIBS típico de bancada está composto de três etapas principais: sistema de disparo, sistema de coleta, e sistema de sincronização, controle e processamento.

1.2. LIBS à distância

O LIBS à distância, ou *stand-off* (SALLÉ et al., 2007) são instrumentos onde tanto os pulsos laser geradores de plasma na amostra, quanto a luz emitida pelo plasma, propagam-se através do ar; assim estes instrumentos ficam fisicamente separados da amostra, até centenas de metros, ver figura 1. Os pulsos e os sinais do plasma são dirigidos e coletados usualmente por algum tipo de telescópio. É muito útil para alvos fisicamente inacessíveis, mas com linha de visão, ou em ambientes perigosos ou inadequados para pessoas ou equipamentos. Esses sistemas podem analisar rapidamente uma grande área, fazendo uma varredura, e precisam sempre de um sistema de disparo capaz de gerar um plasma útil a distância, além de um sistema de coleta suficientemente sensível.

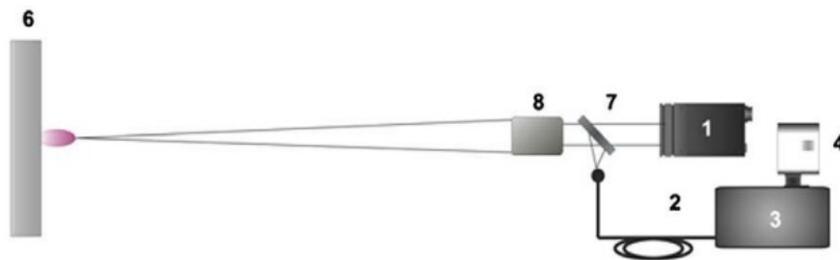


Figura 1. Configurações para um sistema LIBS à distância. O sistema fica longe da amostra, os pulsos laser e os sinais LIBS viajam através do ar. 1: Laser, 2: Fibra óptica, 3: Espectrômetro, 4: Detector, 5: Focalizador, 6: Amostra, 7: Espelho dicróico, 8: Telescópio. FORTES et al., 2010.

1.3. Módulo LIBS - rover Mira II

O Sistema LIBS está projetado para se montar sobre uma plataforma robótica móvel (ou rover) encarregada de transportá-lo no campo para fazer a análise do solo, ver a figura 2. Assim, dado que a configuração opto-mecânica do sistema LIBS permite sua construção, ajuste e testes iniciais independentemente do rover, é denominado de “Módulo LIBS”.

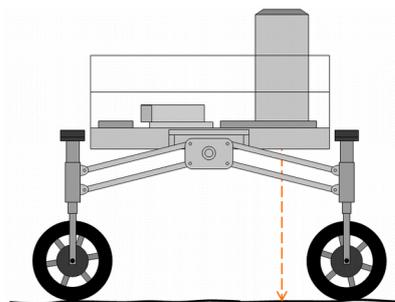


Figura 2. Aspecto geral do Módulo LIBS montado sobre o rover Mirã II, em Desenvolvimento no Laboratório de Robôs Moveis da EESC-USP. CERNA, 2019.

As diversas partes do Módulo LIBS à distância desenvolvido podem ser agrupadas funcionalmente em quatro subsistemas principais: Sistema de coleta do sinal LIBS à distância; Sistema de disparo do pulso laser; Análise, controle e sincronização; e Energia. O Sistema de disparo, encarregado de gerar e transmitir o sinal de energia sobre a amostra, possui como

componentes essenciais um laser pulsado de grande potência e um sistema de lentes e espelhos para projetar o laser focalizado sobre o alvo.

2. Materiais e Métodos

O requerimento principal para o Sistema de disparo é produzir uma irradiância mínima de 1 GW/cm² na superfície da amostra, para assim gerar um plasma útil. Na prática, essa condição é atingida minimizando a área irradiada pelo pulso laser.

O Sistema de disparo simplificado é esquematizado na figura 3, mostrando também o importante conceito de raio mínimo do feixe, ou cintura do feixe ($2\omega_0$: *waist beam*).

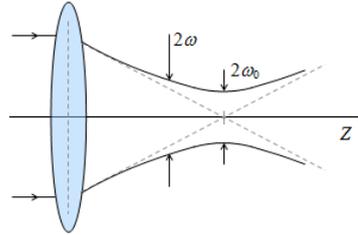


Figura 3. Focalização utilizando uma lente convergente simples. 2ω denota o diâmetro do feixe em uma posição ao longo do eixo Z qualquer. O ω_0 corresponde ao rádio mínimo do feixe, também chamada de cintura do feixe. CERNA, 2019.

Quando utilizada uma lente esférica para fazer uma focalização de uma onda com perfil gaussiano, o raio do feixe é dado pela equação 1, onde, ω_{in} é o raio do feixe da onda plana incidente na lente ou espelho, f é a distância focal do elemento utilizado, e λ é o comprimento de onda do sinal.

$$\omega_0 = \frac{\lambda f}{\pi \omega_{in}} \quad (1)$$

No sistema desenvolvido, tanto a distância focal f , quanto o comprimento de onda do sinal óptico utilizado são fixas, portanto, não podem ser ajustadas para minimizar o valor de ω_0 . Então deve-se aumentar o raio do feixe incidente ω_{in} no sistema de focalização, utilizando um expensor de feixe, diminuindo em relação inversa o ω_0 obtido. O software GaussianBeam foi usado para ajustar o Sistema de disparo às características reais do laser e lentes utilizados e aos espaços e distâncias disponíveis.

O sistema de disparo que foi implementado finalmente, é mostrado na figura 4. O percurso do feixe desde o laser até o espelho E2 é uns 800 mm. A distância entre a superfície inferior da plataforma e a amostra é 700 mm aproximadamente. O ajuste da posição do plano de focalização pode ser feito facilmente mudando a posição axial da lente L1. Os dois espelhos planos foram montados sobre suportes ajustáveis permitindo assim o alinhamento com o Sistema de coleta.

Na simulação, obteve-se uma cintura do feixe (ω_0) sobre a amostra de aproximadamente 120 μm , portanto a fluência (F) e irradiância (I) geradas na amostra podem-se estimar em $F = 120 \text{ J/cm}^2$ e $I = 12 \text{ GW/cm}^2$, valores que estão sobre os níveis necessários para gerar o plasma LIBS.

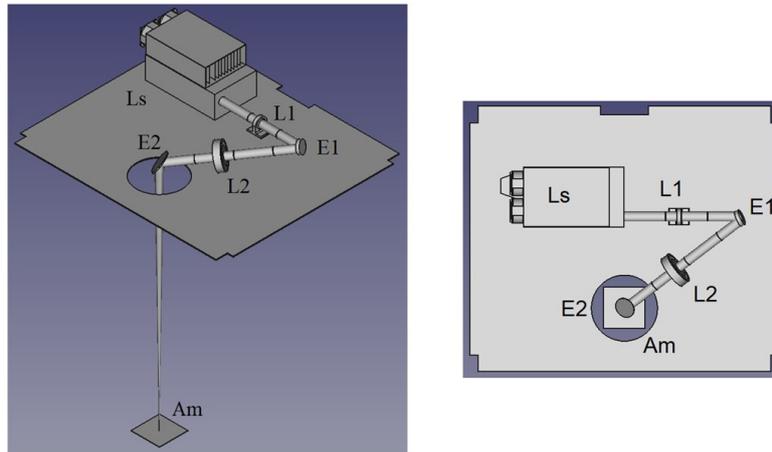


Figura 4. Disposição dos elementos do Sistema de disparo sobre a plataforma do rover Mirã II. Ls: Laser, L1: lente divergente -25 mm, L2: lente convergente +300 mm, E1 e E2: espelhos planos, Am: amostra. O pulso gerado pelo laser é expandido pela lente E1 e focalizado pela lente E2, os espelhos E1 e E2 dirigem o feixe até a amostra localizada no solo. CERNA, 2019.

3. Resultados e Discussão

Para os testes iniciais, o sistema projetado foi montado em uma mesa óptica e sobre o rover Mira II, figuras 5 e 6.

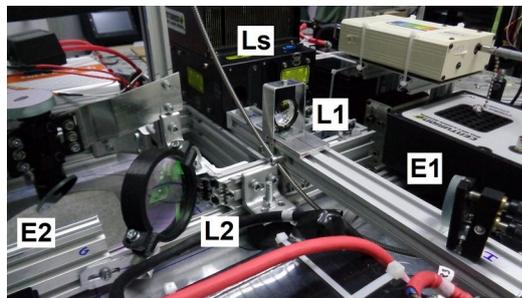


Figura 5. Vista do Sistema de disparo montado sobre a plataforma do Módulo LIBS. Ls: Laser, L1: lente divergente, L2: lente convergente, E1 e E2: espelhos planos. Elaborada pelos autores.

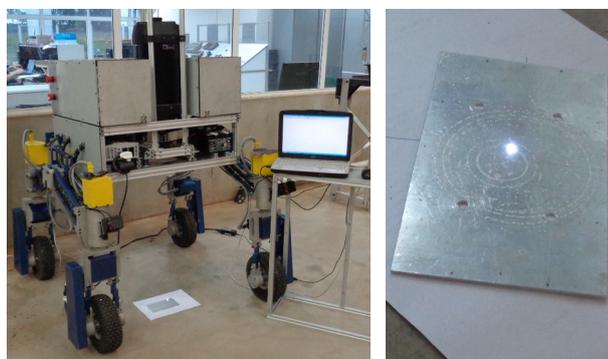


Figura 6. O rover com o Módulo LIBS gerando plasma sobre uma placa de alumínio posicionada no solo. CERNA, 2019.

A avaliação, apenas deste Sistema de disparo, foi feita analisando qualitativamente o plasma gerado em uma amostra de referencia, neste caso uma placa de alumínio com uma fina camada de potássio sobre sua superfície. O tamanho do plasma, sua luminosidade, o som gerado pela onda de choque, além das marcas características que o laser fez na superfície da amostra, mostraram que o plasma foi gerado apropriadamente nestas condições. Por outro lado, uma avaliação quantitativa

precisa de um Sistema de coleta, cuja implementação está além do escopo deste trabalho. Em condições de laboratório, quando utilizado um telescópio para coletar a sinal emitida pelo plasma, observaram-se as sinais LIBS do dubleto de potássio, tanto de uma amostra de alumínio, quanto de uma pastilha de solo. A figura 7 mostra exemplos de captura de tela dos espectros coletados. Portanto, os testes mostraram que o plasma gerado na amostra, contem sinais fatíveis de ser analisadas para obter informação química elementar.

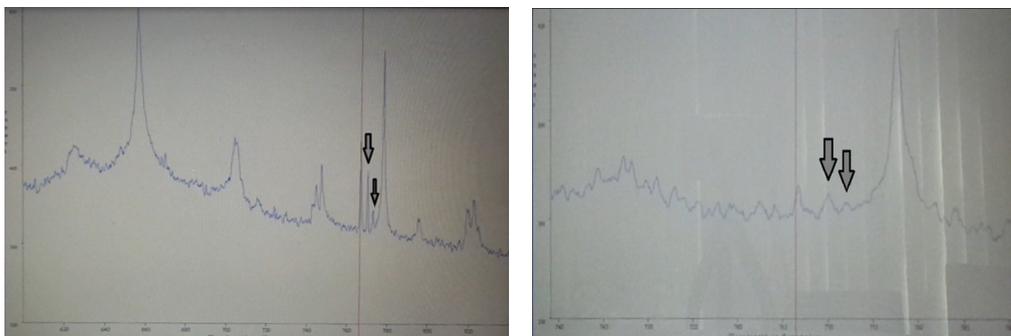


Figura 7. Captura de tela de um espectro LIBS de uma amostra de alumínio (esquerda), e de uma pastilha de solo (direita). As setas mostram os picos do dubleto de potássio em 766.5 e 769.9 nm. Elaborada pelos autores.

Atualmente os sistemas de disparo e coleta de sinal estão em condições de ser testados sobre a plataforma Mirã II, porem, o rover ainda precisa de ajustes, mesmo que o sistema de processamento e controle do Módulo LIBS. Em trabalhos futuros espera-se concluir os subsistemas restantes, alem de executar uma série completa de testes no sistema integrado Módulo LIBS - rover Mirã II.

4. Conclusões

Foi desenvolvido um Sistema de disparo fatível de ser utilizado num sistema LIBS a distancia. O sistema obtido possui a capacidade de gerar plasma espectroscopicamente útil em uma amostra posicionada no solo, alem de ser compacto para ser embarcado em um rover.

Agradecimentos

Projeto Embrapa 01.14.09.001.05.00. Agricultura de Precisão. CAPES, FAPESP, CNPq, USP.

Referências

- ANABITARTE, F.; COBO, A.; LOPEZ-HIGUERA, J.M. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: fundamentals, applications, and challenges. 2012. ISRN Spectrosc. <http://dx.doi.org/10.5402/2012/285240> (Article ID 285240).
- CERNA, M. Desenvolvimento de um sistema LIBS à distância embarcável para aplicações em campo. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2019.
- CREMERS, D.A.; CHINNI, R.C. Laser-induced breakdown spectroscopy - capabilities and limitations. 2009. Appl. Spectrosc. Rev. 44, 457–506. <http://dx.doi.org/10.1080/05704920903058755>.
- B. SALLÉ; P. MAUCHIEN; and S. MAURICE. Laser induced breakdown spectroscopy in open-path configuration for the analysis of distant objects, Spectrochim. Acta, Part B 62,739 (2007).
- F. FORTES; J. LASERNA. The development offieldable laser-induced breakdown spectrometer: no limits on the horizon, Spectrochim. Acta Part B 65 (2010) 975–990, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2010.11.009>.