

PROMOÇÃO
Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo

REALIZAÇÃO
Universidade Federal
do Ceará
UFC

CNPq

CAFF

FAPESP

UFPA

GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Assessoria de Gestão, Planejamento
e Avaliação de Políticas
Secretaria de Desenvolvimento Agrário

EMPRESA
Agricultura Tropical

Ministério da Saúde

UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

agrisus
SOLUÇÕES EM AGRICULTURA
AGRICULTURA

Banco do
Nordeste
2 linhas de crédito e 4 desembolsos

CONFEA CREA-CE

VARA

FUNCEM

PNI
PLANT NUTRITION

Ministério da
Ciência e Tecnologia

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

BRASIL
UM PAÍS DE TODOS
GOVERNO FEDERAL

ORGANIZAÇÃO
iKONE
EVENTOS

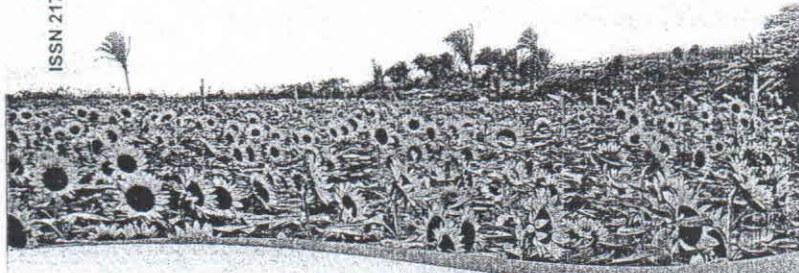
AGÊNCIA OFICIAL
Núcleo de Eventos

XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO



O SOLO E A PRODUÇÃO
DE BIOENERGIA:
PERSPECTIVAS E DESAFIOS
2 a 7 de agosto de 2009
Fortaleza-CE

ISSN 2175-313X



Promoção:
Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo

Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo

Realização:
UFC

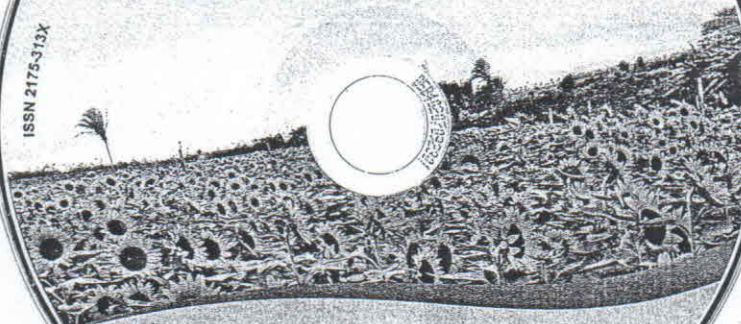
Universidade Federal
do Ceará

XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO



O SOLO E A PRODUÇÃO
DE BIOENERGIA:
PERSPECTIVAS E DESAFIOS
2 a 7 de agosto de 2009
Fortaleza-CE

ISSN 2175-313X



Promoção:
Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo

Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo

Realização:
UFC

Universidade Federal
do Ceará

Fabricado por Wave Media - www.wavemedia.com.br

AVALIAÇÃO DE SISTEMA FOTÔNICO PORTÁTIL PARA ESTUDOS DE SEQUESTRO DE CARBONO DE SOLOS: UM ESTUDO DE CASO NOS ANDES PERUANOS

ALINE SEGNINI⁽¹⁾, ADOLFO POSADAS⁽²⁾, ROBERTO QUIRÓZ⁽²⁾, DÉBORA MARCONDES BASTOS PEREIRA MILORI⁽³⁾, SÉRGIO COSTA SAAB⁽⁴⁾, CARLOS MANOEL PEDRO VAZ⁽³⁾ & LADISLAU MARTIN NETO⁽³⁾

RESUMO – A instrumentação espectroscópica é utilizada na caracterização da matéria orgânica do solo, podendo fornecer índices de humificação ou de estabilidade do carbono no solo. Como é consenso geral que o ideal seja trabalhar com o solo em condições próximas ao natural, a utilização de equipamentos portáteis pode vir de encontro a estas nossas necessidades, principalmente na avaliação de solos. Isto posto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os estoques de carbono e posteriormente a estabilidade desse carbono por espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE) e Fluorescência Induzida por Laser (FIL) em dois solos de *Bofedales* (turfeiras Andinas) originários do Altiplano Peruano: um degradado e outro com características mais preservadas. Estes agroecossistemas, localizados entre 3200 a 5000 metros de altitude, são considerados frágeis e há indícios de sua degradação e desaparecimento ocasionado pelo aquecimento global e a constante utilização dessas áreas pelas comunidades locais para pastagem e agricultura. Os índices de humificação avaliados por equipamento de FIL portátil apresentaram similaridades com os espectrômetros de bancada, com correlação linear maior que 90%, demonstrando sua potencialidade de uso para futuras aplicações de campo. O sistema portátil mostrou-se bastante eficiente e de fácil uso, pois a medida é realizada a partir de fibras ópticas ligadas ao laser evitando possíveis desalinhamentos. Outras vantagens dos equipamentos portáteis são as reduções de amostragens no campo e do transporte do solo, especialmente quando se trabalha em áreas de difícil acesso como estas áreas provenientes dos Andes Peruanos.

Palavras-chave: estoques de carbono, avaliação da estabilidade do carbono no solo, espectroscopia;

Introdução

O conhecimento dos estoques de carbono (EC) e de sua dinâmica no solo é importante na análise do papel

do solo como fonte ou depósito de carbono-gás carbônico da atmosfera [1]. Como a dinâmica da matéria orgânica lábil ou recalcitrante desses solos podem ser afetadas por variação de temperatura, umidade e / ou outros fatores relacionados às Mudanças Climáticas, a avaliação de parâmetros de humificação ou da estabilidade do carbono destes solos também são extremamente relevantes. Uma forma de analisar o comportamento do carbono no solo é a partir da avaliação do grau de humificação ou da estabilidade do carbono utilizando técnicas espectroscópicas [2-6]. A estabilidade da matéria orgânica pode auxiliar na avaliação do tempo de seqüestro de carbono no solo, ou seja, quanto mais recalcitrante (de difícil decomposição e mais estável) for o material, maior o tempo de vida do carbono no solo.

Existe um grupo específico de turfeiras situadas nos Andes Centrais e que são conhecidos como *Bofedales* (em inglês, *wetlands* ou *tropical peatlands*) [7]. Os *Bofedales* são zonas inundadas pelo derretimento de neves, podendo ser também referenciados como “pântanos do Altiplano” [8]. Estes agroecossistemas, que estão localizados entre 3200 a aproximadamente 5000 metros de altitude, são considerados frágeis e há indícios de sua degradação e desaparecimento ocasionado pelo aquecimento global e a constante utilização da área pelas comunidades locais para pastagem e agricultura [9]. A conservação dessas áreas é importante principalmente no que diz respeito à biodiversidade, arqueologia, carbono, armazenamento de água e também devido ao valor de seu cenário no meio ambiente. Globalmente, os *wetlands* possuem significativos estoques de carbono no solo [10], entretanto, o índice de seqüestro de carbono pode variar devido aos diferentes tipos de *wetlands* encontrados ao redor do mundo. Considerando aqueles provenientes de montanhas ou dos Andes, poucos são os trabalhos executados até aqui. Dados de carbono acumulado medidos em solos do Altiplano Chileno foram de 70-292 g C m⁻² ano⁻¹ [11].

No presente estudo, os EC e posteriormente a estabilidade desse carbono foram avaliados em dois solos de *Bofedales* originários do Altiplano Peruano: i) um solo com indícios de degradação (chamado de *Bofedales*

⁽¹⁾ Pós doutorado no Centro Internacional de La Papa (CIP) - Av. La Molina, 1898, P.O. Box, 1558, Lima 12, Peru. Embrapa Instrumentação Agropecuária. R. XV de novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos-SP. E-mail: aline@cnpdia.embrapa.br (apresentadora do trabalho)

⁽²⁾ Pesquisadores do Centro Internacional de La Papa

⁽³⁾ Pesquisadores da Embrapa Instrumentação Agropecuária.

⁽⁴⁾ Pesquisador do Departamento de Física na Universidade de Ponta Grossa. Av. Carlos Cavalcanti, 4748, 84030-000 - Ponta Grossa - PR, Brazil;

degradado) e ii) outro com característica mais natural, chamado de preservado. Para a avaliação da humificação ou estabilidade destes solos foram utilizadas técnicas de Fluorescência Induzida por Laser (FIL) e Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE). As duas técnicas foram aplicadas na caracterização de solos "inteiros". Além disso, o uso de um equipamento de FIL portátil foi utilizado para a análise desses solos. Equipamentos portáteis podem facilitar o trabalho em laboratório, reduzir amostragens no campo e transporte do solo, especialmente quando se trabalha em áreas de difícil acesso como as áreas do solo em questão, provenientes dos Andes Peruanos.

Material e métodos

A. Solos avaliados

Foram coletadas amostras de solos de *Bofedales*, provenientes dos Andes, ao sul do Peru, próximo à cidade de Puno (14°90'08''S e 69°77'52''W), a 3.929 m de altitude. A temperatura média e precipitação anual destas áreas foram 8°C e 690 mm (dados de 2008), respectivamente. A primeira amostragem de solo advém de uma região de *Bofedales* degradada, que está perdendo a sua característica de pântano, ou seja, está secando. A outra área advém de uma região preservada, mais úmida (Figura 1). As amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades: 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm. Estes solos possuem 25 e 12 % de argila, 49 e 30% de silte e 26 e 58% de areia, para o solo degradado e preservado, respectivamente.

B. Estoques de carbono (EC)

Os EC das amostras de solos (previamente peneirados a 250 microns) foram obtidos através da equação: $EC (Mg\ ha^{-1}) = 10 \times [C \times d \times I]$, sendo que $[C]$ é a quantidade de carbono em $g\ kg^{-1}$, (d) a densidade em $g\ cm^{-3}$ e (I) a espessura da camada do solo em metros [12].

C. Avaliação da estabilidade do carbono por medidas espectroscópicas

As medidas de RPE foram realizadas em um espectrômetro de onda contínua da Bruker, modelo EMX pertencente à Embrapa Instrumentação Agropecuária, operando em 9 GHz (banda X), 100 KHz de frequência de modulação, utilizando cavidade retangular, à temperatura ambiente. Amostras de solo, com massa variando de 20 a 30 mg, foram colocadas em tubos de quartzo de 2,5 mm de diâmetro interno e a concentração de radicais livres do tipo semiquinona foi determinado usando a aproximação $I \times \Delta H^2$, e utilizando o método do padrão secundário, com um cristal de rubi contendo Cr^{3+} . Os resultados apresentados foram a média de duas medidas feitas nas mesmas condições [2,6].

Os espectros de emissão de FIL foram obtidos utilizando montagem experimental para amostras de solo (pastilhas preparadas a partir do solo seco). Para a excitação das amostras de solo foi utilizado um laser de

argônio sintonizado na linha de 458 nm com uma potência de 302 mW. A fluorescência emitida foi coletada por meio de uma lente convergente com foco sobre um monocromador e a detecção foi realizada a partir de uma fotomultiplicadora com pico de resposta espectral em 650 nm [5]. Para a avaliação do grau de humificação H_{FIL} é necessário dividir a área do espectro de fluorescência pela concentração de carbono do solo correspondente. Desta forma, a área sob a curva de emissão de fluorescência é uma medida indireta da humificação da matéria orgânica, neste caso, o H_{FIL} . O equipamento de FIL utilizado pertence à Embrapa Instrumentação Agropecuária.

O sistema portátil de FIL [13] foi projetado para compactar em um só sistema todo o aparato de detecção e análise de matéria orgânica e permitir a utilização do equipamento fora das condições do laboratório. Um laser de diodo, emitindo em 405 nm com potência máxima de 50 mW é acoplado a um cabo óptico composto por seis fibras ópticas e faz a excitação da amostra. A fluorescência e a reflectância da amostra é coletada por uma fibra óptica central do mesmo cabo óptico que conduziu a excitação. Este sinal é conduzido até um miniespectrômetro de alta sensibilidade. Antes de atingir o miniespectrômetro, o sinal é filtrado para atenuar o sinal de reflectância. A emissão da amostra é então decomposta através de uma grade de difração fixa e detectada por um arranjo de fotodiodos previamente calibrados. Desta forma, obtêm-se o espectro de emissão que é enviado a um lap top.

Resultados e Discussão

Pelos valores obtidos na Tabela 1 observa-se que na região mais preservada a concentração de carbono é maior do que no solo proveniente da área degradada, em todas as profundidades. Considerando somente a superfície (0-2,5 cm), a área preservada apresentou 64% a mais de carbono que na área degradada. Os teores de carbono decrescem à medida que a profundidade aumenta, para ambos os casos. Em solos alagados, como por exemplo nos *Bofedales*, à medida que aumenta a profundidade há o surgimento de água. Essa água, encontrada em maior quantidade na área preservada (Figura 1b), faz com que diminua a densidade do solo e conseqüentemente obtêm-se menores EC (Tabela 1). Outro fator que tem que ser discutido é a textura predominante nos solos das áreas em questão: 58% de areia no solo preservado e 49% de silte no solo degradado. A condição de textura mais siltosa no solo degradado e a maior compactação do solo causado pelo pisoteio dos animais também podem ter ocasionado maiores valores de densidade e conseqüentemente maiores EC, para estes solos. Entretanto, o incremento da matéria orgânica do solo é um processo lento, e que exige um período de tempo geralmente longo para acontecer. Fatores como temperatura e umidade do solo, manejo e condições climáticas, afetam o conteúdo e a capacidade de incremento da matéria orgânica do solo [14]. A água também pode interferir na decomposição da matéria orgânica (estabilidade). A presença de água em solos alagados diminui a decomposição da matéria orgânica devido à manutenção das condições anaeróbicas do solo (carbono mais lábil) que uma área mais "seca". Na avaliação da estabilidade do

carbono no solo, primeiramente analisado por RPE, observou-se que as maiores concentrações de radicais livres para os solos das áreas em questão foram encontrados na área degradada, quando comparada com a área mais preservada. Nesta última, provavelmente a menor quantidade de material decomposto contribuiu para os menores sinais de semiquinona obtidos, associado com a diminuição do grau de humificação [3,4]. As maiores humificações foram observadas em profundidades maiores devido à presença de matéria orgânica mais estável quimicamente.

O mesmo ocorreu com a técnica de FIL (Figura 2). A excitação em 458nm é mais ressonante com estruturas complexas, cuja concentração aumenta com a evolução do grau de humificação, tais como anéis aromáticos, sistemas aromáticos conjugados e substituídos, grupos fenólicos e quinonas presentes na matéria orgânica do solo [15]. Quando comparamos as áreas degradada e preservada, notamos que os índices H_{FIL} obtidos foram maiores na primeira. Na superfície (0-2,5 cm), a matéria orgânica do solo encontra-se menos humificada para todas as amostras, já que a quantidade dos resíduos orgânicos presentes são maiores que a capacidade dos organismos de metabolizá-los [9]. Já em maiores profundidades houve um aumento gradual na humificação, e, portanto uma maior estabilização da matéria orgânica devido à presença de carbono mais recalcitrante ou estável. A característica típica do solo arenoso, presente na área de *Bofedales* preservado é o baixo grau de resiliência, o que resulta em uma reduzida capacidade de retornar as suas condições originais após sofrer um distúrbio. Em comparação, solos argilosos apresentam menores taxas de decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, maior estabilidade química desta [14]. Os resultados de humificação obtidos foram similares em RPE e FIL, com correlação linear de 93% ($P < 0,0001$), claramente demonstrando que as duas técnicas foram eficientes para a avaliação da humificação do solo. Após, considerando a técnica de FIL e comparando dois sistemas, um de bancada e outro portátil, foi possível obter 98% de correlação linear ($P < 0,0001$) entre eles para este tipo de solo (Figura 3). A correlação do sistema portátil com o RPE foi de 92% ($P < 0,0001$). O sistema portátil mostrou-se bastante eficiente e de fácil uso pois a medida é realizada a partir de fibras ópticas ligadas ao laser evitando possíveis desalinhamentos. Também apresentou maior rapidez nas medidas ao comparar-se com equipamento de bancada pois a calibração é feita pelo arranjo de fotodiodos, o que evita perda de tempo com a varredura.

Conclusões

Com este estudo foi possível avaliar quantitativamente e qualitativamente dois agroecossistemas provenientes do Altiplano Peruano e que estão em estágio de degradação devido principalmente ao Aquecimento Global. As técnicas

espectroscópicas permitiram analisar a estabilidade da matéria orgânica do solo. Os resultados do equipamento portátil foram similares com os de bancada, com correlação linear maior que 90%, mostrando a potencialidade desse sistema portátil de FIL para futuras aplicações no campo.

Agradecimentos

Ao "Centro Internacional de La Papa" (CIP), no Peru e à Embrapa Instrumentação Agropecuária. Apoio Financeiro da Fapesp (2007/58561-7) e ALTAGRO ("Andean Agriculture in the Altiplano").

Referências Bibliográficas

- [1] LAL, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123:1-22.
- [2] MARTIN-NETO, L.; ROSSEL, R. & SPOSITO, G. 1998. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. *Geoderma*, 81:305-311.
- [3] BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. & ERNANI, P.R. 2002a. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant Soil*, 238:133-140.
- [4] BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SAAB, S.C.; MILORI, D.M.B.P. & BAGNATO, V.S. 2002b. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. *Geoderma*, 105:81-92.
- [5] MILORI, D.M.B.P.; GALETI, H.V.A.; MARTIN-NETO, L.; DIEKOW, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; BAYER, C. & SALTON, J. 2006. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 70:57-63.
- [6] SAAB, S.C. & MARTIN-NETO, L. 2008. Characterization by electron paramagnetic resonance of organic matter in whole soil (gleysoil) and organic-mineral fraction. *Journal of Brazilian Chemical Society*, 19:413-417.
- [7] SQUEO, F.A.; WARNER, B.G.; ARAVENA, R. & ESPINOZA, D. 2006. Bofedales: high altitude wetlands of the central Andes. *Revista Chilena de. História. Natural*, 79:245-255.
- [8] RUTHSATZ, B. 1993. Flora and ecological conditions of high Andean peatlands of Chile between 18°00' (Arica) and 40°30' (Osorno) south latitude. *Phytocoenologia*, 25:185-234.
- [9] _____. 1995. Medio Ambiente: En defensa de los bofedales altoandinos. En: _____. *Agroecología*. p.43-45.
- [10] WARNER, B.G.; ARAVENA, R. & SQUEO, F.A. 2008. Peatlands on the Altiplano Plateau of the Central Andes. In: *Peatlands and Climate Change*. International Peat Society, Finland, 223p.
- [11] EARLE, L.R.; WARNER, B.G. & ARAVENA, R. 2003. Rapid development of an unusual peat-accumulating ecosystem in the Chilean Altiplano. *Quaternary Research*, 59:2-11.
- [12] SEGNINI, A. 2007. *Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo*. Tese de doutorado. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- [13] EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. MILORI, D.M.B.P.; MARTIN-NETO, L.; VAZ, C.M.P.; BAGNATO, V.S. Sensor de qualidade de matéria orgânica de solos. BR n. PI0106477-0, 18 dec. 2001, 02 sept. 2003.
- [14] MIELNICZUK, J. et al. 2003. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Ed.) *Tópicos em Ciência do Solo*, vol. 3. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209 – 248.
- [15] MILORI, D.M.B.P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & BAGNATO, V.S. 2002. Humification degree of soil humic acid determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*, 167:739-749.

Tabela 1. Dados de carbono (g kg^{-1}), densidade (g cm^{-3}) e estoques de carbono, EC (Mg ha^{-1}), em função da profundidade (0-30 cm) em duas áreas de turfeiras Andinas (*Bofedales*) provenientes dos Andes Peruanos.

Profundidade (cm)	Área degradada			Área preservada		
	Carbono (g kg^{-1})	densidade (g cm^{-3})	EC (Mg ha^{-1})	Carbono (g kg^{-1})	densidade (g cm^{-3})	EC (Mg ha^{-1})
0-2,5	132,9 ± 0,3	0,4	11,9	215,6 ± 0,0	0,4	22,1
2,5-5	128,6 ± 0,2	0,4	11,5	181,6 ± 0,4	0,4	18,6
5-10	123,0 ± 0,9	0,9	53,8	158,2 ± 0,1	0,3	22,3
10-20	121,7 ± 0,8	0,9	116,0	141,9 ± 1,8	0,7	94,3
20-30	128 ± 1,4	0,9	108,4	135 ± 0,0	0,5	71,5
Total (0-30)	634,2 ± 3,6	-	301,7	832,3 ± 2,3	-	228,9



Figura 1. Fotos das duas áreas de amostragens de solos de Bofedales, agroecossistemas específicos da região do Altiplano Peruano Andino, próximo à cidade de Puno, a 3.929 m de altitude. (a) representa uma área degradada e (b) representa uma área preservada.

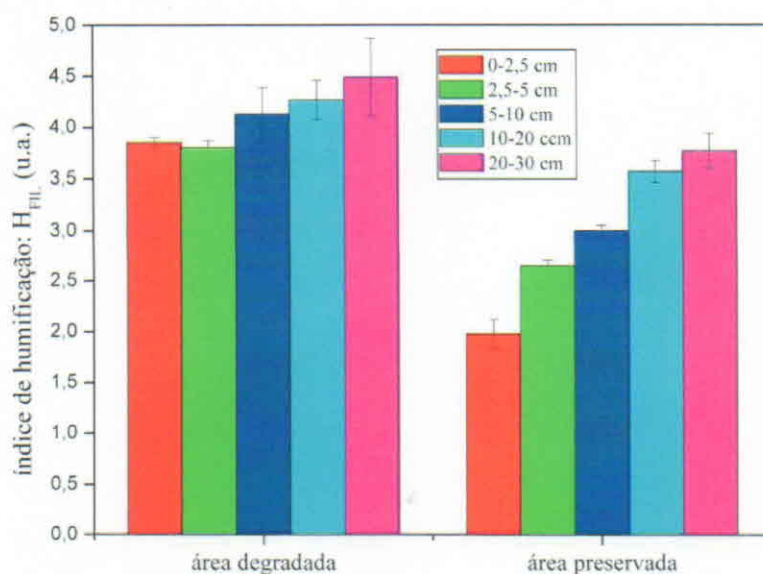


Figura 2. Índices de humificação ou de estabilidade (H_{FIL}) do carbono no solo obtidos por Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (FIL) para as duas áreas de Bofedales coletadas nos Andes Peruanos em diferentes profundidades (0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm).

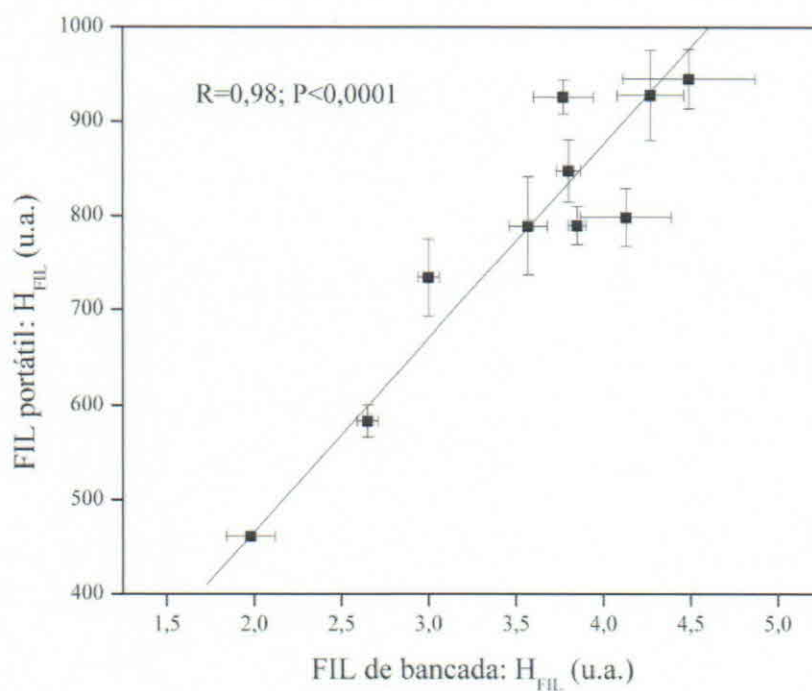


Figura 3. Relação entre os índices de estabilidade de carbono analisados por Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (FIL) portátil com instrumentação de FIL de bancada.