

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 200

Finos de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos

Claudia Maria Branco de Freitas Maia

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.cnpf.embrapa.br

sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Antonio Aparecido Carpanezi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Cristiane Vieira Helm, Elenice Fritzsos, Jorge Ribaski, José Alfredo Sturion, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Roskamp Câmara

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Fotos da capa: Claudia Maria Branco de Freitas Maia

1ª edição

1ª impressão (2010): sob demanda

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Maia, Claudia Maria Branco de Freitas.

Finos de carvão : fontes de carvão estável e condicionador de solos [recurso eletrônico] / Claudia Maria Branco de Freitas Maia. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2010.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 200)

1. Biocarvão. 2. Manejo de solo. 3. Sequestro de carbono. I. Título. II. Série.

CDD 662.93 (21. ed.)

© Embrapa 2010

Autor

Claudia Maria Branco de Freitas Maia
Engenheira agrônoma, Doutora,
Pesquisadora da Embrapa Florestas,
claudia.maia@cnpf.embrapa.br

Apresentação

Biocarvão, ou biochar em inglês, vem sendo considerado uma importante estratégia de estoque de carbono, em uma de suas formas mais estáveis, nos solos. Ações de pesquisa para definir tecnologias de uso, seguras e sustentáveis, deste material não param de crescer no país e no resto do mundo. Por ter sua inspiração nas Terras Pretas de Índios da Amazônia e sendo o Brasil o maior produtor mundial de carvão, o biocarvão deixa o país em uma posição confortável para atingir tais objetivos. Este documento relata os primeiros resultados de ações de pesquisa que visam entender a dinâmica do carbono do solo sob plantio de milho, em parcelas com e sem biocarvão, ao longo do tempo, fruto de uma parceria entre a Embrapa e Rothamsted Research, no Reino Unido.

Ivar Wendling

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução	9
Metodologia	12
Preparo do biochar	12
Amostragem, preparo de amostras e análise do solo.....	19
Amostragem de gases de efeito estufa	23
Quantificação da biomassa de parte aérea.....	23
Resultados preliminares e discussão	24
Propriedades do solo	24
Produtividade do milho	33
Demais análises	33
Conclusões	33
Considerações finais	34
Agradecimentos	35
Referências	35

Finos de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos

Claudia Maria Branco de Freitas Maia

Introdução

Biochar sustentável é uma poderosa ferramenta nos esforços de mitigação do aquecimento global. Essa prática milenar converte resíduos agrícolas em um condicionador do solo que pode sequestrar carbono, promover a segurança alimentar e desencorajar o desmatamento. Ela é uma das poucas tecnologias de baixo custo, amplamente aplicável em qualquer escala. A idéia do biochar surgiu de estudos da matéria orgânica das *Terras Pretas de Índios* (TPI), solos amazônicos antropogênicos, que possibilitaram a definição de um modelo de solo com excelentes características agrônômicas e ambientais, tendo em vista a alta fertilidade e o alto conteúdo de carbono estável (de origem pirogênica) em sua fração orgânica, modelo este adequado ao sequestro de carbono. Tendo-se o modelo do solo, o conhecimento da sua estrutura e de suas propriedades, é possível a busca por materiais e técnicas que visem mimetizá-lo através de práticas agrícolas (NOVOTNY et al., 2009). Tais materiais são conhecidos hoje como biochar, que é o nome adotado mundialmente para qualquer fonte de biomassa carbonizada para uso no solo, com finalidade de: a) sequestrar carbono e b) aumentar a qualidade agrônômica do solo. As

pesquisas indicam que esta tecnologia tem um potencial global de sequestro de CO_2 atmosférico da escala de bilhões de toneladas (109 t ano^{-1}) no espaço de 30 anos. No entanto, até agora, os resultados publicados refletem estudos de uso em pequena escala, impedindo generalizações quanto a diferentes regiões geográficas e tipos de biochar (SOHI et al., 2010).

A estabilidade do biochar é de fundamental importância no seu uso como ferramenta de manejo ambiental, por duas razões: primeiro, a estabilidade determina quanto tempo o carbono (C) contido no biochar permanecerá sequestrado no solo e por quanto tempo pode influenciar as emissões de gases de efeito estufa vindos da pedosfera e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Segundo, a estabilidade determinará por quanto tempo o biochar beneficiará a qualidade do solo e o menor consumo de água. A conversão da biomassa em biochar, seguida da aplicação do biochar no solo, aumenta o tempo de residência de C no solo, comparativamente à aplicação da mesma biomassa não carbonizada diretamente no solo, o que pode resultar em uma retirada líquida de CO_2 atmosférico, dentro de determinada escala de tempo (LEHMANN, 2007). Além disso, biochar aplicado no solo pode reduzir diretamente as emissões de outros gases estufa do solo, tais como o óxido nitroso ou metano (YANAI et al., 2007). As emissões de gases estufa podem também ser reduzidas quando associado à produção de fertilizantes e calcários através da maior eficiência no uso destes insumos, resultante de quando o biochar é aplicado no solo (LEHMANN et al., 2003a, 2003b). Em longo prazo, os benefícios da adição do biochar à qualidade do solo incluem maior retenção e disponibilidade de nutrientes, menores perdas por lixiviação de nutrientes e outros contaminantes (LEHMANN et al., 2003a, 2003b), maior disponibilidade potencial da água às plantas, aumento da atividade micorrízica (WARNOCK et al., 2007), e possíveis efeitos benéficos para outros grupos de microorganismos e suas funções no solo. Se o biochar

decompõe rapidamente, estes benefícios seriam afetados em extensão e duração. Portanto, o biochar precisa ser de estabilidade significativamente maior no ambiente do que outra fonte de matéria orgânica, de modo a estender a duração destes benefícios (LEHMANN et al., 2009).

O carvão vegetal se apresenta como um bom material para o modelo TPI, pois contém grupos aromáticos condensados, que garantem a sua resistência à degradação química, ou recalcitrância, sendo, potencialmente, um eficiente material para sequestro de carbono. Adicionalmente, a aplicação de carvão vegetal ao solo traz outros benefícios, tais como: aumento da produtividade; redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) (CO_2 , CH_4 , N_2O e NO_x); redução da necessidade de fertilizantes e da lixiviação de nutrientes. Esses benefícios se potencializam pela maior eficiência energética nos cultivos decorrente da maior produtividade, menor uso de fertilizantes e menor perda de nutrientes. Apesar de ser considerado um material praticamente inerte, sua aplicação no solo promove alterações químicas e biológicas em sua estrutura química original que acabarão gerando grupos funcionais iônicos, que aumentam sua importância no complexo de troca iônica do solo. Entretanto, esse processo pode demorar décadas, visto que as estimativas da sua meia vida variam de séculos a milênios. Para monitorar estas alterações, é preciso estudar a matéria orgânica do solo em suas diferentes frações estáveis e lábeis. As frações orgânicas fisicamente separadas (leve livre e oclusa) dão informações sobre as transformações no solo e *inputs* de biomassa carbonizada. Para isto, uma das técnicas mais usadas para este rastreamento é a de isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), pois gramíneas C4 e plantas C3 (eucalipto) possuem diferentes assinaturas fotossintéticas que permitem diferenciá-las de acordo com suas razões isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (MACHADO et al., 2003).

O carvão para uso no solo também é uma prática estratégica sob o ponto de vista econômico, se considerarmos que o Brasil

é o maior produtor mundial de carvão vegetal e responde por cerca de 38,5% da produção. Anualmente, são produzidos no País em torno de 10 milhões de toneladas de carvão, dos quais 15% se perdem na forma de finos de carvão. Este subproduto da indústria carvoeira frequentemente não é utilizado na indústria siderúrgica (a maior consumidora do carvão vegetal) e, muitas vezes, é acrescido ao passivo ambiental dessa atividade.

Com todas estas considerações, o uso agrícola do biochar se configura em uma estratégia “ganha-ganha” na redução de problemas causados pelas mudanças climáticas, pois se insere em uma cadeia energética carbono-negativa e sustentável e que permite diminuir a pegada ecológica do carbono.

O objetivo dessa publicação é divulgar resultados do trabalho realizado em parceria com Rothamsted Research, Reino Unido. O projeto desenvolvido visou estudar os aportes de C orgânico em um solo arenoso muito pobre em matéria orgânica (mais de 60 anos sob aração) em sistemas biochar/milho, acompanhando as alterações físico-químicas do solo e as razões isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de suas frações orgânicas.

Metodologia

Preparo do biochar

Resíduos de carvoaria foram usados como a fonte do biochar. Os resíduos da carvoaria localizada na Chácara Estrela, em Jaguariaíva, PR, constituíam-se basicamente de pedaços de carvão, com 29,5% de cinzas (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de C e N e demais parâmetros da análise imediata do carvão usado como biochar, realizada na Embrapa Florestas.

Umidade (%)	Cinzas (%)	Poder Calorífico (MJ/kg)	Materiais Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)
37,3	29,5	16,6	28,4	42,1

Este material foi moído e peneirado a 6 mm (Figuras 1A e B) e lavado com água corrente por 24 h para remoção das cinzas (Figuras 1C e D).

Após a lavagem, uma amostra do biochar foi analisada quanto à granulometria (Tabela 2) e quanto ao carbono e nitrogênio totais (por combustão seca – analisador LECO). Amostras do biochar e da água foram analisadas quanto ao teor de bases trocáveis e de vários outros elementos (por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente ou ICP, Tabela 3). Após a homogeneização, o biochar apresentou partículas com tamanhos predominantemente entre 4 mm e 2,5 mm (Tabela 2). Partículas menores que 0,053 mm totalizaram apenas 0,48%.

O teor de carbono foi de 67,78% e o de nitrogênio 0,50% (média de três amostras). A razão isotópica do biochar puro foi de -28,06‰ (média de três medidas). A análise do biochar, das amostras da água de lavagem e seus percolados mostraram expressivas alterações para as bases trocáveis, principalmente para o potássio (Tabela 3). A água de torneira usada na lavagem apresentava altos teores de cálcio, o que era esperado para aquela região da Inglaterra, cujos solos são muito ricos em calcário tipo greda (carbonato de cálcio). Uma vez que se pretende fazer o balanço de carbono do experimento, foi necessário monitorar também esta fonte de carbono inorgânico. O fósforo mostrou poucas alterações, como esperado. O manganês foi o elemento, entre os metais de transição, que apresentou maior remoção pela água, seguido pelo ferro, cobre e zinco. Os resultados da análise sugerem também que o processo de acondicionamento e transporte levou à concentração de cinzas e partículas finas na base do recipiente. Como a amostragem foi feita antes da lavagem, a amostra de biochar analisada apresentava menos bases, por exemplo, do que a água percolada.



Figura 1. Procedimentos usados na homogeneização (A e B) e lavagem (C e D) do biochar antes da aplicação no solo.

Tabela 2. Distribuição granulométrica do biochar após moagem e lavagem.

Peneira (mm)	Massa (g)	SD
> 6,700	3,39	0,62
> 5,600	9,33	2,81
> 4,000	13,03	1,48
> 2,500	16,63	1,64
> 2,000	5,77	1,73
> 1,000	14,56	2,69
> 0,500	14,29	0,44
> 0,212	11,72	1,38
> 0,053	10,80	0,81
< 0,053	0,48	0,74

Tabela 3. Resultado da análise por ICP das amostras de biochar após a lavagem, água de torneira usada na lavagem e seus percolados, em mg kg⁻¹.

Elemento	Água percolada (amostra 1)	Água percolada (amostra 2)	Biochar extrato aquoso	Água de torneira
K	431,933	238,644	288,433	0,181
P	1,995	1,272	1,739	-0,682
Ca	96,182	69,571	34,342	129,395
Mg	98,157	73,435	49,487	1,735
Na	39,740	20,766	25,860	11,095
S	99,681	46,130	71,016	4,997
Al	0,231	0,206	2,318	0,000
Fe	0,102	0,287	0,754	0,011
Ti	-0,006	-0,005	0,061	-0,228
Zn	0,017	0,004	0,020	0,108
Cu	0,068	0,025	0,065	0,032
Ni	0,003	0,002	0,004	-0,042
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,001	-0,025
Pb	0,001	0,000	0,000	-0,002
Mo	0,003	0,002	0,003	0,001
Co	0,001	0,001	0,001	-0,036
Mn	0,885	0,710	0,582	-0,024

Amostras 1 e 2 referem-se à água que vazou da caixa contendo o biochar moído após a lavagem. A água de torneira foi usada para lavar o biochar. O extrato aquoso foi preparado a partir de 50 g de biochar + 150 mL de água deionizada, após agitar e filtrar em papel de filtro Whatman 2V.

Localização do experimento e caracterização do solo

O experimento localiza-se na estação experimental da Rothamsted Research, em Woburn, Bedfordshire, Reino Unido (Figura 2A). As parcelas foram instaladas no experimento de longa duração conhecido como *Stackyard* (Figura 2B), mantido sob experimentação agrícola desde 1876 (CATT et al., 1980). Na subárea onde o biochar foi aplicado ocorrem dois tipos de solos: a Série Cottenham (dominante nas parcelas), que ocorrem em posição mais elevada da paisagem, do tipo coluvionares arenosos, sendo terra bruna em colúvio arenoso com textura variando de franca a argilo-arenosa; na parte inferior do terreno,

segue-se a Série Stackyard (dominante em toda a área do experimento clássico), do tipo arenoso, com textura variando de areia a areia franca.

Um levantamento detalhado dos solos em Stackyard de 1979 apontou baixos teores de C orgânico no horizonte A (0-22 cm), variando de 0,96% a 2,95% e de 0,48% a 1,24% no horizonte Bw (22-34 cm) nos perfis de 1 a 6 (Figura 3), tomados em áreas continuamente mantidas sob gramíneas (CATT et al., 1980). Este mesmo autor associou os valores mais altos de C orgânico com a ocorrência de carvão vegetal ou mineral de origem antropogênica no horizonte A, descrita por Crowther, em 1936. A área escolhida para este estudo vinha sendo mantida sob aração e sem cultivo (*fallow*) por cerca de 60 anos.

O desenho experimental foi blocos ao acaso com quatro repetições, com os seguintes tratamentos: com biochar e com milho; com biochar e sem milho; sem biochar e com milho; e sem biochar e sem milho. Cada parcela media 3,5 m por 6 m, com cinco linhas de cultivo (70 cm entre linhas e 21 m² por parcela) (Figura 4 e 5A).

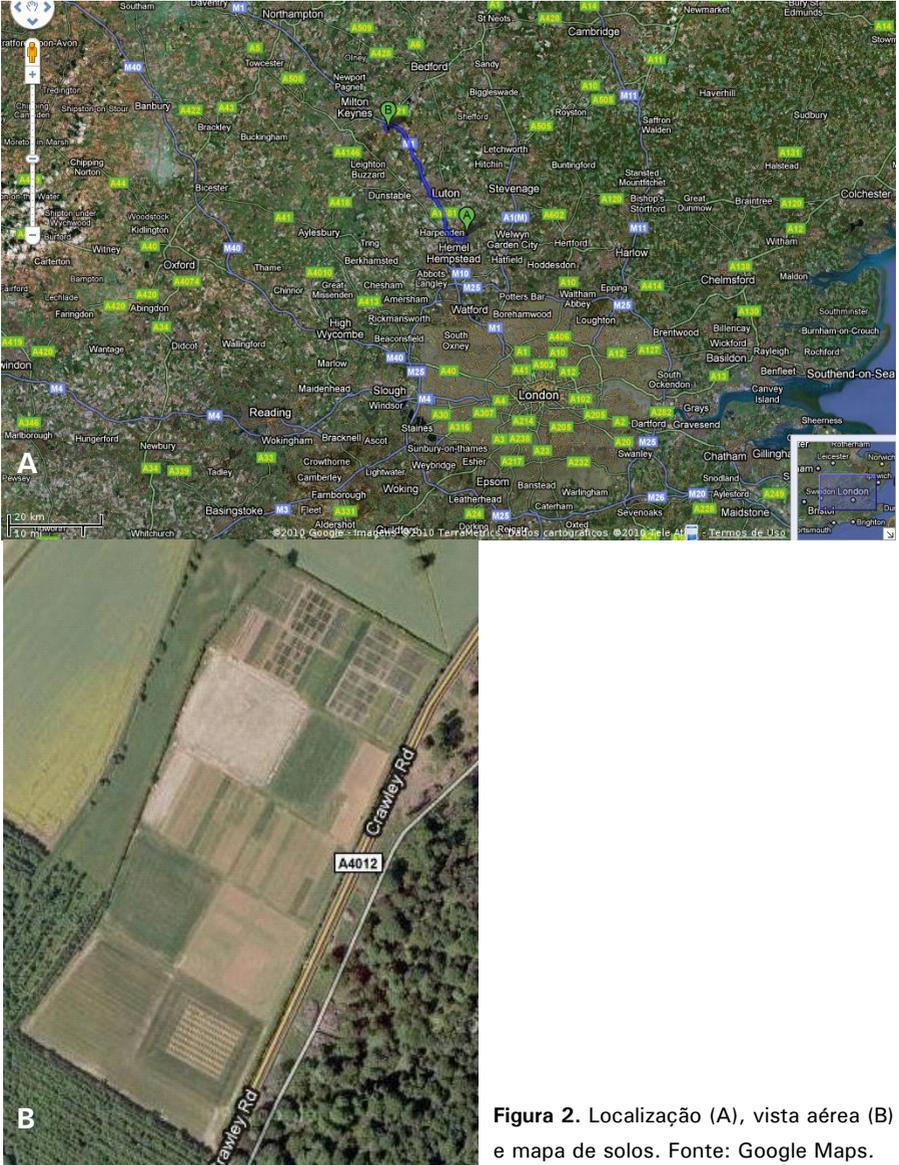


Figura 2. Localização (A), vista aérea (B) e mapa de solos. Fonte: Google Maps.

C ha⁻¹ e 152,86 Kg N ha⁻¹. O biochar também foi aplicado a lança e incorporado até 15 cm de profundidade (Figura 5b). As sementes e fertilizantes foram aplicados na linha de plantio no dia 21 de maio de 2009 e uma aplicação de N em cobertura em 16 de junho do mesmo ano.

Amostragem, preparo de amostras e análise do solo

A amostragem de solos foi realizada em duas profundidades (0-25 cm e 25-50 cm) com trado tubular, de acordo com o cronograma:

28 de abril de 2009: amostragem referencial: as amostras compostas (cinco sub-amostras ao longo do perímetro externo ao experimento) de solos sem calcário, biochar ou fertilizantes (60 anos sob aração).

21 de maio de 2009: primeira amostragem de solos (tempo 0). Procedeu-se a amostragem coletando-se duas amostras por parcela (duas profundidades) compostas de nove sub-amostras tomadas em zigue-zague, de modo a formar um W ou M na parcela (Figura 6). Todas as demais amostragens seguiram o mesmo procedimento.

15 de junho de 2009: na segunda amostragem, percebeu-se a movimentação do biochar entre parcelas, fazendo com que este material se localizasse em parcelas onde não foi aplicado.

22 de julho de 2009: realizada a terceira amostragem.

19 de agosto de 2009: na quarta amostragem, o solo estava muito seco, especialmente à profundidade de 0 a 25 cm. O milho apresentava florada e algumas espigas. Muitas anteras foram visualmente percebidas nas parcelas sem plantio, o que poderá, de alguma forma, influenciar nos resultados analíticos.

8 de outubro de 2009: última amostragem, após o corte do milho (8 de setembro de 2009).

Cada amostra coletada no campo foi acondicionada em sacos plásticos e conservada em câmara fria. As amostras foram primeiramente peneiradas a 5,6 mm para remoção de pedras e restos vegetais acima desta dimensão. Desta amostra peneirada, 200 g foram secos ao ar e peneirados a 2 mm.

As amostras úmidas foram usadas no fracionamento orgânico, na determinação da umidade, do nitrogênio mineral solúvel (NO_3 e NH_4 , analisador Skalar), de carbono orgânico total (TOC), da biomassa microbiana (fumigada versus não fumigada) e da evolução de CO_2 .

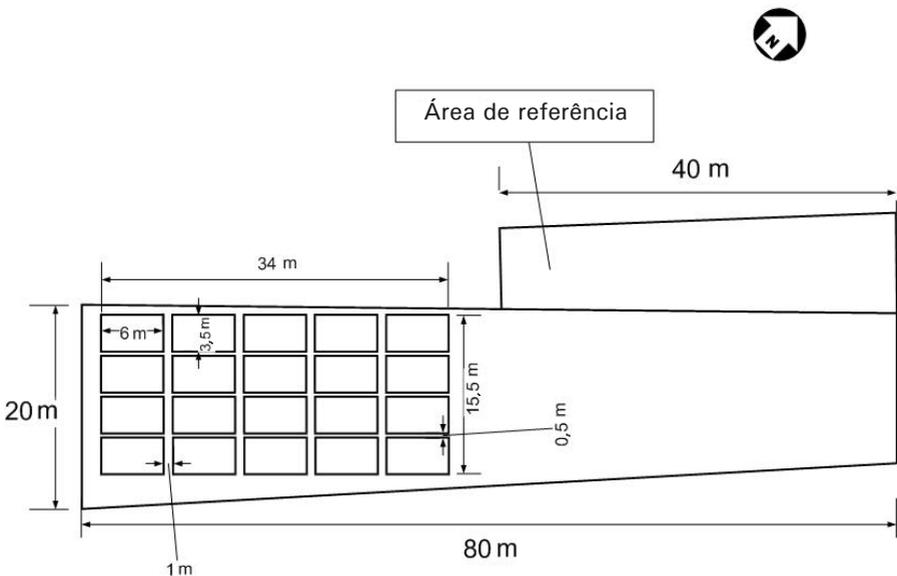


Figura 4. Desenho experimental com cinco blocos (colunas) e quatro tratamentos (linhas).

Fotos: Stephen Goward



Figura 5. Detalhes dos processos de aplicação do biochar (A), sua incorporação e semeadura do milho (B).

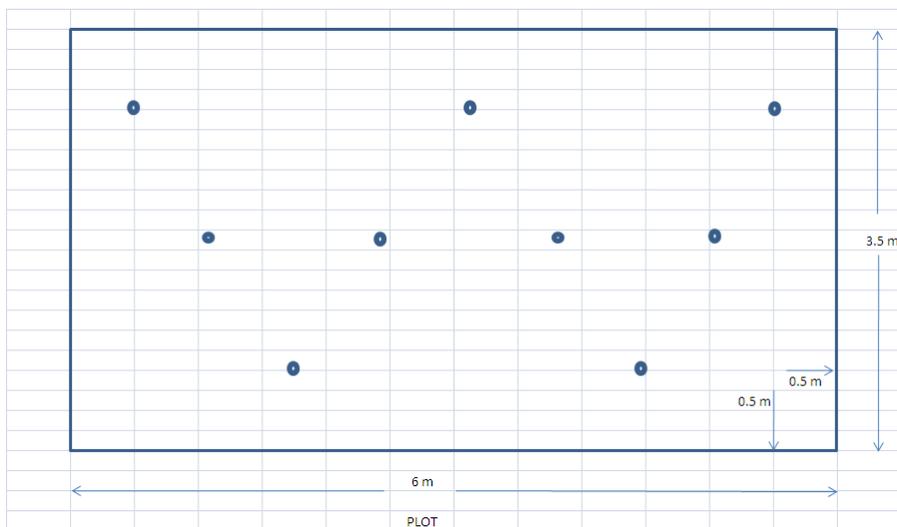


Figura 6. Esquema da amostragem por parcela.

A fração seca de 2 mm foi dividida em duas partes. A primeira foi usada da seguinte forma: 15 g de amostra para determinação de pH e cátions trocáveis (10 g e 5 g, respectivamente). A segunda foi moída a 44 mesh e usada nas seguintes determinações: 10 g para carbonato de cálcio; 0,5 g para o carbono e nitrogênio totais (analisador elementar LECO) e 15 mg para determinação da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $\delta^{13}\text{C}$, feita por cromatografia gasosa acoplada a detector de massa (CG-DM) (Figura 7).

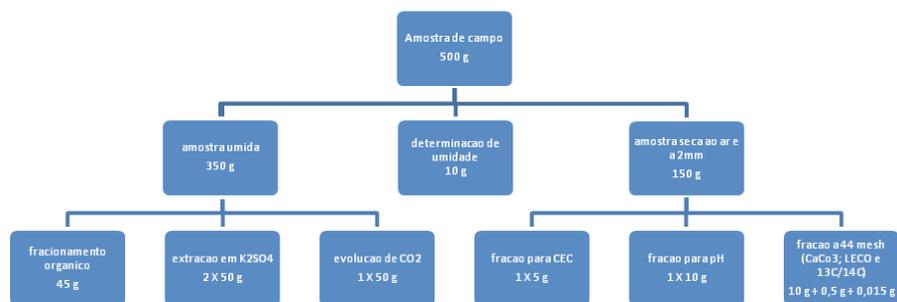


Figura 7. Esquema seguido para o preparo das amostras no laboratório.

As frações orgânicas foram obtidas por densidade (SOHI et al., 2001; GLASER et al., 2000). Cinco frações foram separadas: a fração leve livre, a fração leve oclusa em agregados estáveis, a fração leve do carbono pirogênico, a fração oclusa de carbono pirogênico e a fração mineral (areia + silte + argila). As frações orgânicas foram então secas, moídas e pulverizadas para análise do $\delta^{13}\text{C}$ (CG-DM).

Amostragem de gases de efeito estufa

Para fins de amostragens dos gases de efeito estufa (dióxido de carbono e óxido nitroso), 16 câmaras foram instaladas no experimento, cuja distribuição foi feita ao acaso, considerando-se três câmaras por tratamento (Figura 8). As câmaras foram enterradas a 15 cm de profundidade. Três amostragens foram feitas ao longo do experimento: nos dias 16 de junho, 18 de agosto e 8 de outubro de 2009.

Quantificação da biomassa de parte aérea

O milho foi cortado em 8 de setembro de 2009 e a biomassa total de cada parcela foi medida de acordo com o seguinte procedimento: a massa fresca de todas as plantas existentes nas três linhas de cultivo internas em cada parcela, descartando-se 50 cm em cada bordadura, foi pesada (10,5 m²); a seguir, 12 plantas de cada parcela foram casualmente escolhidas, etiquetadas e levadas para o laboratório e o restante descartado; as plantas foram picadas e misturadas. Uma sub-amostra foi colocada para secar a 80 °C, por 48 horas, e pesada para determinação da umidade; parte da amostra seca foi moída e homogeneizada para análise do carbono e nitrogênio totais (Analisador elementar) e nutrientes (ICP-OES).

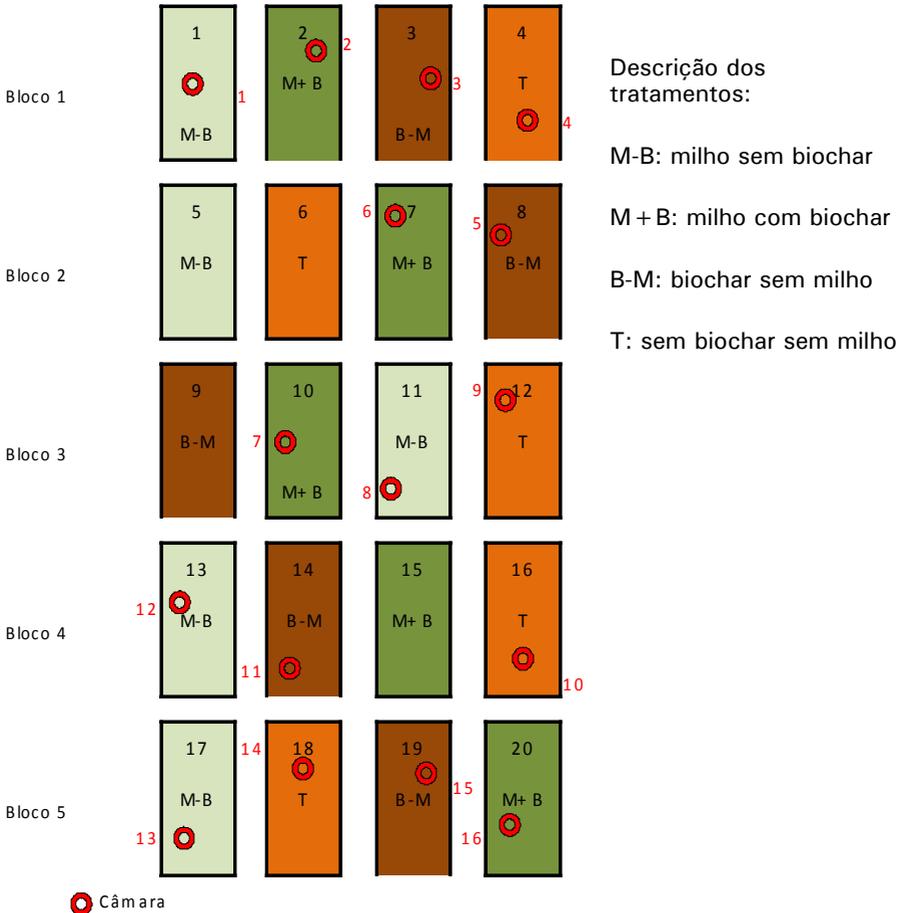


Figura 8. Esquema de distribuição das câmaras de amostragem de gases.

Resultados preliminares e discussão

Propriedades do solo

O pH da área antes da instalação do experimento era de 5,46 de 0 a 25 cm e 6,02 de 25 cm a 50 cm de profundidade. Não foi detectado CaCO_3 sendo, portanto, o C inorgânico considerado zero antes da calagem. A variação do pH ao longo do tempo

(Figuras 9A e B) não mostrou diferenças significativas entre tratamentos, embora as parcelas controle (sem milho e sem biochar) tenham apresentado valores menores. Ao longo do tempo, um aumento de 0,1 a 0,2 pontos foi verificado nos demais tratamentos, sem diferenças significativas.

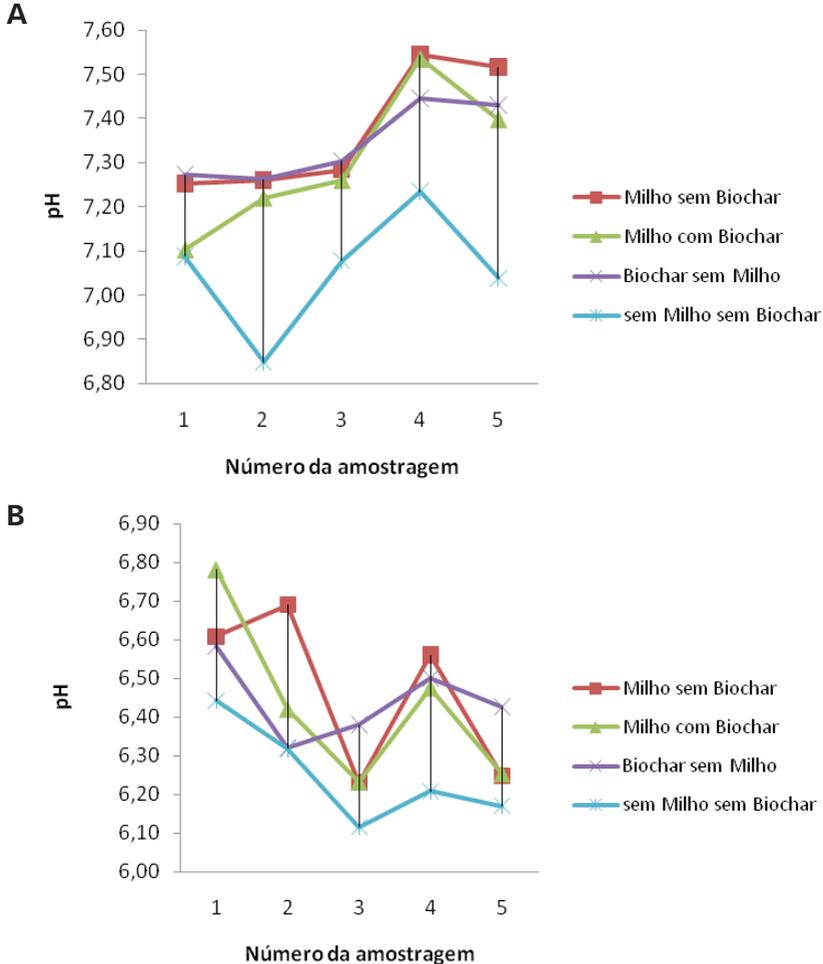


Figura 9. Variação do pH nas profundidades de (A) 0 a 25 cm e (B) de 25 cm a 50 cm, durante o primeiro ciclo do milho (2009).

As variações nas porcentagens de carbonato de cálcio e C inorgânico, nas profundidades estudadas, em diferentes tratamentos e ao longo do tempo não mostraram diferenças significativas (Figuras 10A e B e 11A e B).

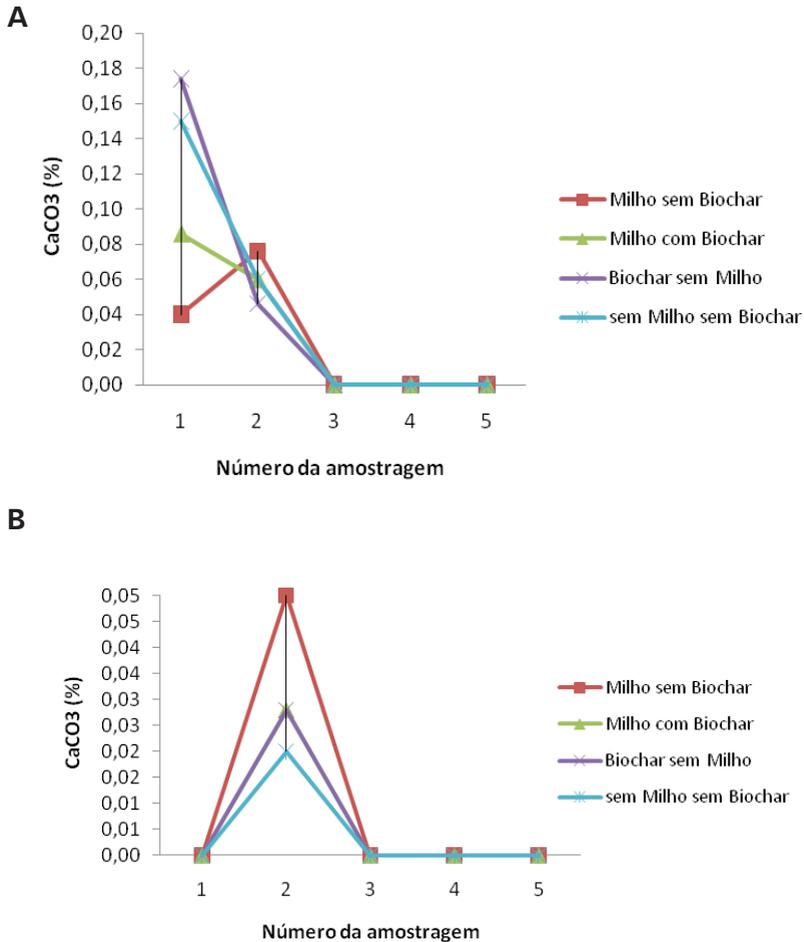


Figura 10. Variação do CaCO_3 nas profundidades de (A) 0 a 25 cm e (B) de 25 cm a 50 cm, durante o primeiro ciclo do milho (2009).

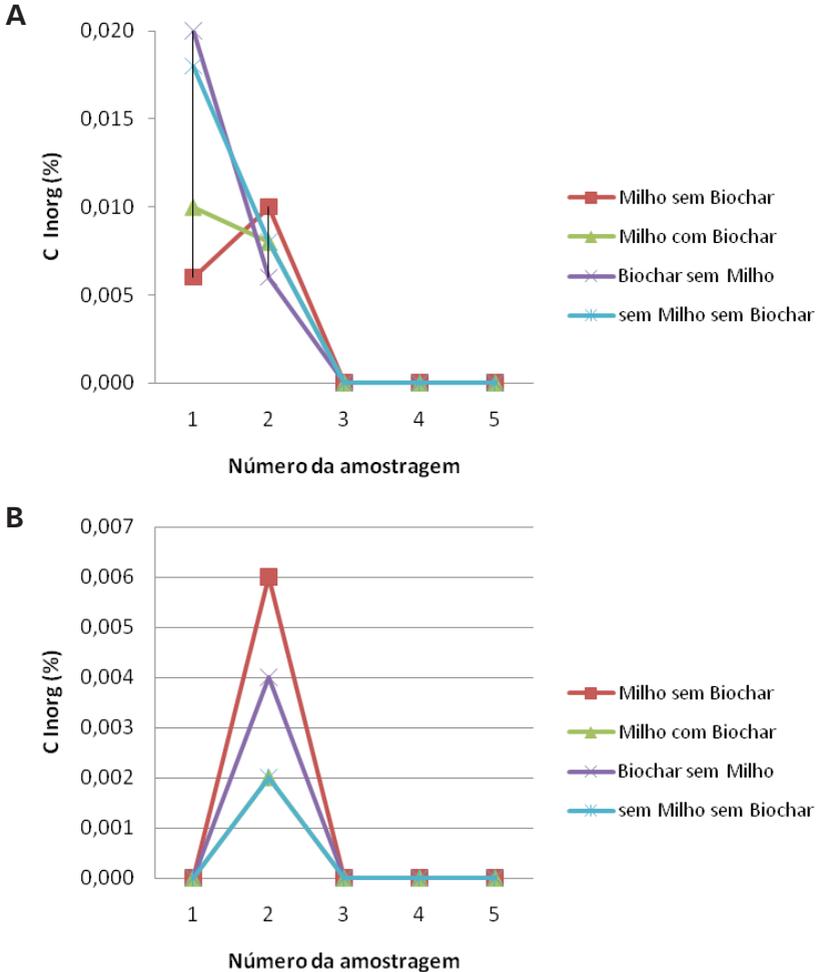
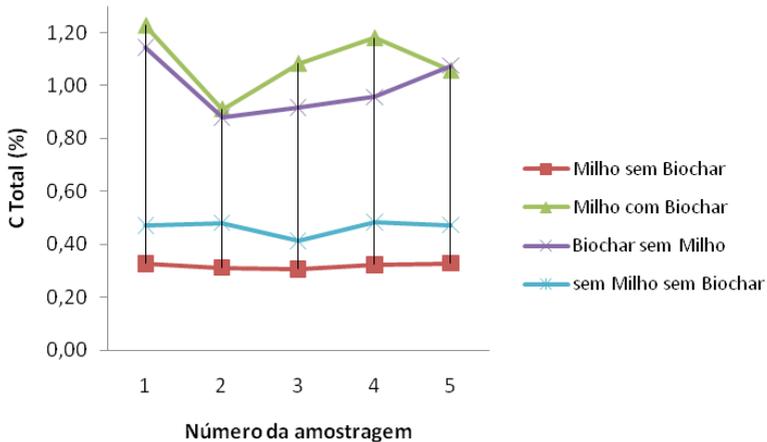


Figura 11. Variação do C inorgânico nas profundidades de (A) 0 a 25 cm e (B) de 25 cm a 50 cm, durante o primeiro ciclo do milho (2009).

As principais diferenças entre as parcelas que receberam ou não biochar podem ser notadas quanto ao teor de C total (Figura 12A e B). Em média, as parcelas que receberam o biochar mostraram uma porcentagem de C total 2,7 vezes maior do que nas parcelas que não receberam este material, à profundidade de 0 a 25 cm. Interessante notar que o tratamento milho sem

biochar apresentou os menores valores deste parâmetro, muito próximo dos valores encontrados no tratamento sem milho e sem biochar. Na profundidade de 25 cm a 50 cm, estas diferenças foram menores e novamente as parcelas com milho sem biochar mostraram as menores porcentagens de C total, não havendo diferenças significativas entre os demais tratamentos.

A



B

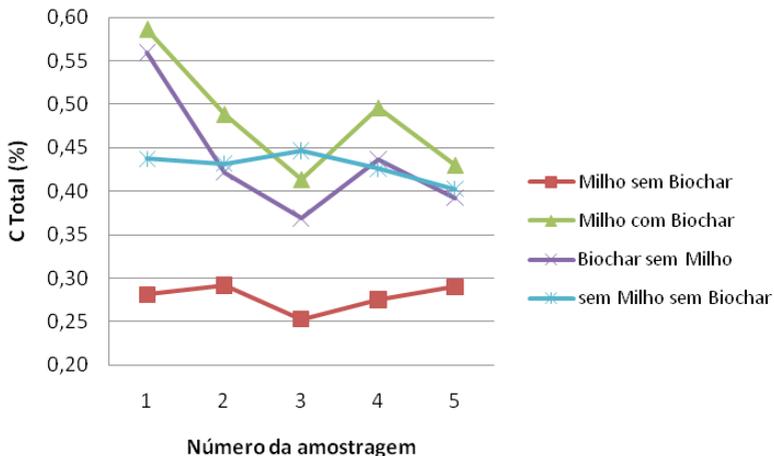


Figura 12. Variação do C total nas profundidades de (A) 0 a 25 cm e (B) de 25 a 50 cm, durante o primeiro ciclo do milho (2009).

Não houve diferenças significativas na porcentagens do nitrogênio total na camada superficial (Figura 13A) e de subsolo (Figura 13B), sendo que a maior dispersão deste parâmetro foi verificado na primeira amostragem na camada superficial. Na camada de 25 cm a 50 cm, o tratamento sem milho e sem biochar apresentou os menores valores deste elemento.

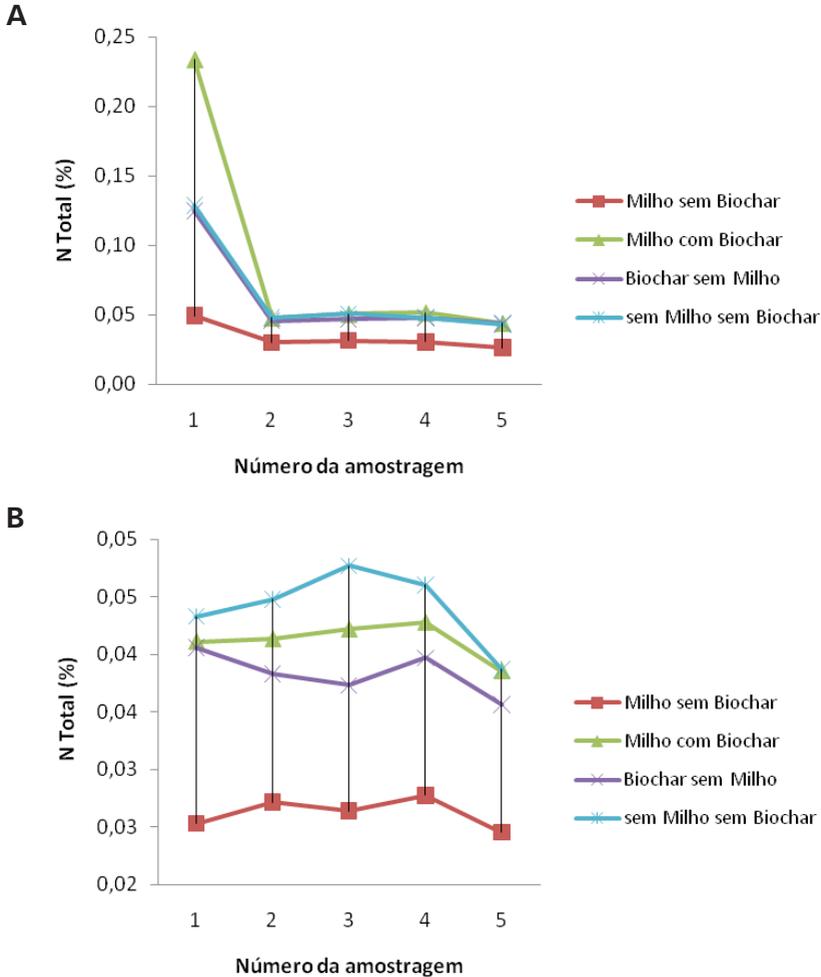


Figura 13. Variação do N total nas profundidades de (A) 0 a 25 cm e (B) de 25 cm a 50 cm, durante o primeiro ciclo do milho (2009).

O mesmo resultado foi observado na forma solúvel N-NH_4^+ (Figura 14A e B) onde as maiores dispersões entre tratamentos ocorreram entre a segunda e a terceira amostragem, porém sem significância.

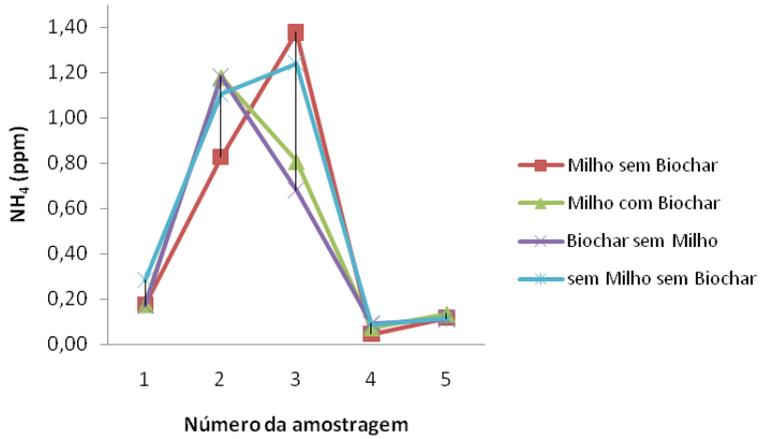
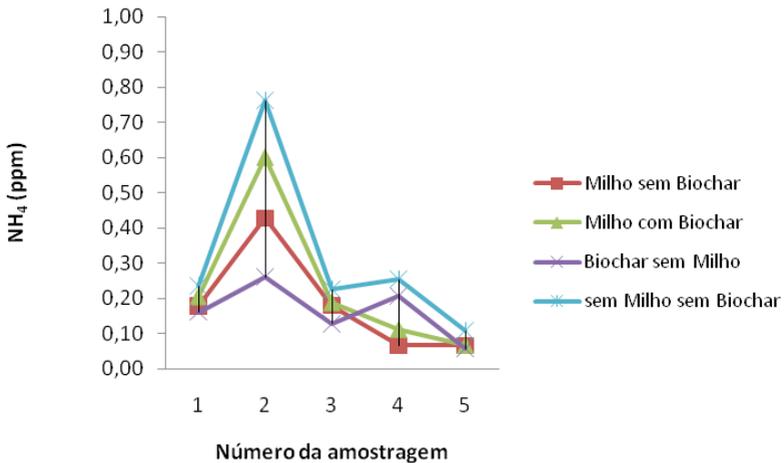
A**B**

Figura 14. Variação do N-NH_4^+ nas profundidades de (A) 0 a 25 cm e (B) de 25 cm a 50 cm, durante o primeiro ciclo do milho (2009).

Quanto ao N-NO_3^- (Figuras 15A e B), diferenças significativas foram observadas entre os tratamentos com e sem milho, indicando o alto consumo desta forma iônica do nutriente da solução do solo ao final do ciclo da cultura, em ambas as profundidades, sendo que a presença do biochar não interferiu nesta dinâmica durante o primeiro ano de cultivo, embora a presença deste material tenha resultado em menores níveis de nitrato, o que poderia ser explicado por algum processo de imobilização, seja ele químico ou biológico.

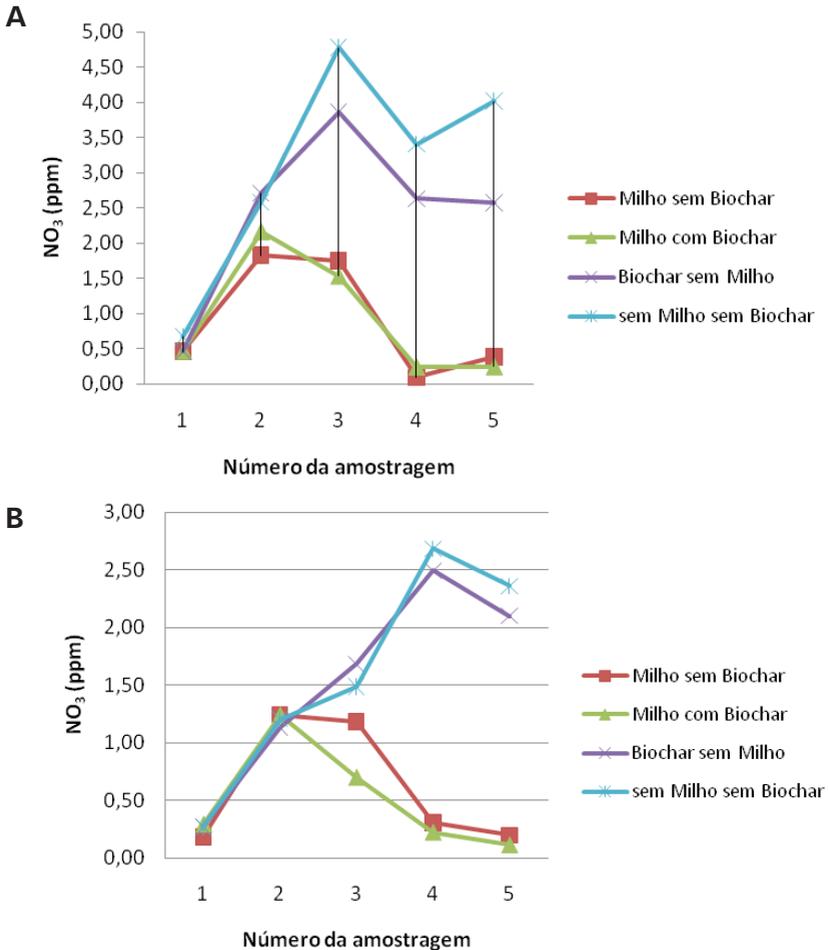


Figura 15. Variação do N-NO_3^- nas profundidades de (A) 0 a 25 cm e (B) de 25 cm a 50 cm, durante o primeiro ciclo do milho (2009).

Quanto à razão isotópica das amostras de solo entre 0 e 25 cm (Figura 16), o tratamento com milho sem biochar apresentou a maior média (-26,57%) ao longo do experimento, enquanto que o tratamento sem milho e com biochar apresentou a menor média (-28,38%). O tratamento com milho e com biochar alcançou a média de -28,01%, portanto, com maior influência do biochar na assinatura isotópica. O tratamento sem milho e sem biochar apresentou valor intermediário (-27,47%). Na camada sub-superficial, 25 cm a 50 cm (Figura 17), a diferença entre as médias da razão isotópica ao longo do tempo não foram tão distantes, mas novamente, o maior valor foi encontrado no tratamento com milho e sem biochar (-27,87%) e o menor valor no tratamento sem milho e com biochar (-28,31%). O tratamento sem milho e sem biochar apresentou média de δC^{13} de -27,91%.

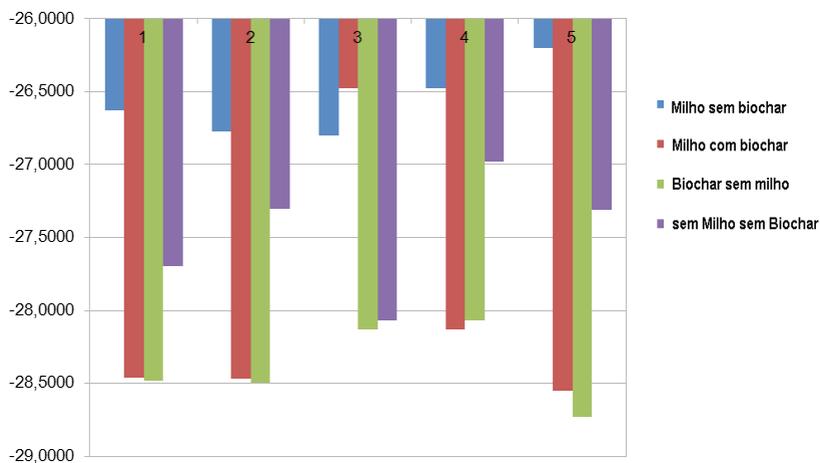


Figura 16. Variação da razão isotópica (δC^{13}) nas profundidades de 0 a 25 cm durante o primeiro ciclo do milho (2009).

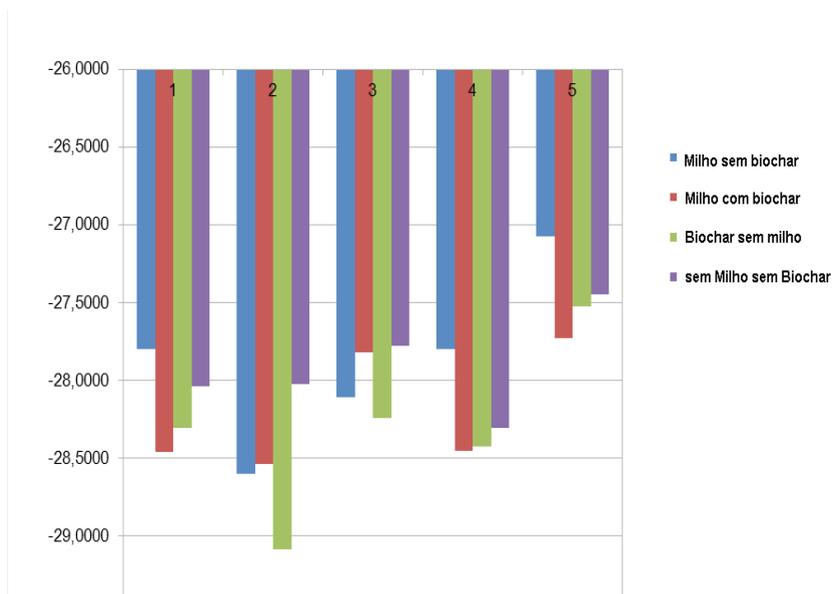


Figura 17. Variação da razão isotópica (δC^{13}) nas profundidades de 25 cm a 50 cm durante o primeiro ciclo do milho (2009).

Produtividade do milho

As parcelas que receberam biochar apresentaram média de produção de biomassa ($33,66 \text{ t ha}^{-1}$) cerca de 17% mais alta do que as parcelas que não receberam o biochar ($28,76 \text{ t ha}^{-1}$). Os resultados da análise foliar ainda não foram obtidos.

Demais análises

As análises cromatográficas dos gases emitidos do solo nos diferentes tratamentos ainda não foram realizadas, assim como as análises das frações orgânicas, que se encontram em andamento. Também os resultados da respiração e biomassa microbiana e TOC estão sendo processados.

Conclusões

A adição de $30,24 \text{ t}$ de biochar ao solo, ao longo de um ciclo de milho forrageiro, resultou em um aumento de 2,7 vezes no teor de carbono total do solo, na camada superficial do solo, em

relação aos tratamentos que não receberam este material. Houve aumento de 17% na produção de massa seca de milho forrageiro nas parcelas que receberam o biochar. Após quatro meses de aplicação, o biochar não influenciou de modo significativo o pH, N total, e seus íons nitrato e amônio, no perfil do solo.

Considerações finais

Os resultados obtidos são bastante promissores, visto que o carbono contido no biochar é uma forma estável de matéria orgânica, com perspectivas de permanência em longo prazo no solo, confirmando seu potencial como sequestrador de carbono. Mais estudos, no entanto, são necessários para entender a dinâmica do carbono e do nitrogênio veiculados pelo biochar ao longo do tempo. É esperado que as maiores mudanças nas propriedades do solo venham a se realizar ao longo do segundo e terceiro ano da aplicação, uma vez que parte do material carbonizado comece a ser processado biologicamente e apresente maior atividade química no solo.

Também o aumento em 17% na produção de massa seca de milho forrageiro é um resultado importante, indicativo de que os aportes de fertilizantes químicos poderiam ser reduzidos, contribuindo também para a redução do custo da cultura e, possivelmente, da emissão de gases estufa, principalmente os nitrogenados.

Após o tratamento de todos estes resultados, será ainda preciso fazer o balanço de C no sistema. Para isto, pretende-se usar o programa SOMA, desenvolvido pelo Dr. Saran Sohi (SOHI, et al., 2005).

Agradecimentos

À Embrapa e à Rothamsted Research pela excelente oportunidade do treinamento. Aos Professores Dr. Keith Gouling e Dr. Saran Sohi e a todos do *Soil Science Department* de Rothamsted Research, Reino Unido, por todo apoio e acolhida.

Referências

- CATT, J. A.; WEIR, A. H.; NORRISH, R. E.; RAYNER, J. H.; KING, D. W.; HALL, D. G. M.; MURPHY, C. P. The soils of woburn experimental. Farm III. Stackyard. **Rothamsted Experimental Station Report for 1979**, part 2, p. 5-39, 1980.
- GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region, **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 669-678, 2000.
- LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology**, v. 5, n.7, p. 381-387, 2007.
- LEHMANN, J.; CZIMCZIK, C.; LAIRD, D.; SOHI, S. P. Stability of biochar in soil. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environment management**. London: Sterling: Earthscan Publ., 2009. p. 183-198.
- LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Amsterdam: Kluwer Academic Publ., 2003a. 523 p.
- LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthroisol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-557, 2003b.
- MACHADO, P. L. O. A.; SOHI, S. P.; GAUNT, J. L. Effect of no-tillage on turnover of organic matter in a Rhodic Ferralsol. **Soil Use and Management**, v. 19, n.3, p. 250-256, 2003.

NOVOTNY, E. H.; AZEVEDO, E. R.; SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. Lessons from the Terra Preta de Indios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, p. 1003–1010, 2009.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v. 105, p. 47-82, 2010.

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R.M.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1121-1128, 2001.

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; POWLSON, D. S. Investigating the chemical characteristics of soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 4, p. 1248-1255, 2005.

YANAI, Y.; TOYOTA, K.; OKAZAKI, M. Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 181-188, 2007.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLING, M. Mycorrhizal responses to biochar in soil: concepts and mechanisms. **Plant and Soil**, v. 300, p. 9-20, 2007.