

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

AUREA MARIA BARBOSA DE SOUSA

**ADIÇÃO DE CARVÃO VEGETAL EM CULTIVO DE ARROZ
IRRIGADO: EFEITOS SOBRE OS INDICADORES FÍSICOS E
QUÍMICOS DO SOLO, DESEMPENHO DO ARROZ,
EMISSIONES DE METANO E VIABILIDADE ECONÔMICA DO
CULTIVO CONTÍNUO, EM ARARI-MA**

São Luís - MA

2011

AUREA MARIA BARBOSA DE SOUSA
Engenheira Agrônoma

**ADIÇÃO DE CARVÃO VEGETAL EM CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO:
EFEITOS SOBRE OS INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO,
DESEMPENHO DO ARROZ, EMISSÕES DE METANO E VIABILIDADE
ECONÔMICA DO CULTIVO CONTÍNUO, EM ARARI-MA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Christoph Gehring

São Luís – MA
2011

Sousa, Aurea Maria Barbosa de.

Adição de carvão vegetal em cultivo de arroz irrigado: efeitos sobre os indicadores físicos e químicos do solo, desempenho do arroz; emissões de metano e viabilidade econômica do cultivo contínuo, em Arari-MA / Aurea Maria Barbosa de Sousa. – São Luís, 2011.

83 f. il.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Christoph Gehring

1. Agricultura familiar. 2. Carbono preto. 3. Efeito estufa. I.Título

CDU: 633.18.031.412; 504.7(812.1)

AUREA MARIA BARBOSA DE SOUSA

Adição de carvão vegetal em cultivo de arroz irrigado: efeitos sobre os indicadores físicos e químicos do solo, desempenho do arroz, emissões de metano e viabilidade econômica do cultivo contínuo, em Arari-MA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de mestre em Agroecologia.

Apresentado em: 27/09/2011

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Christoph Gehring – UEMA

Prof. Dr. Altamiro Souza Ferraz Junior – UEMA

Prof. Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio Norte

São Luís - MA

2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me prover o tempo necessário para fazer as escolhas certas ou me arrepender das erradas; por crer e me fazer acreditar que posso um pouco mais além do que penso; por me apresentar melhores oportunidades quando as demais já se extinguiram e por sua inesgotável piedade de aceitar meu retorno em todas as vezes que recusei seu amor.

Agradeço e dedico este trabalho à minha mãe, Maria do Divino Barbosa de Sousa e ao meu pai, José Aldesírio de Sousa, que abdicaram de seu conforto na tentativa e sucesso de proporcionar para as filhas aquilo que não puderam alcançar e que, incondicionalmente, apoiaram, zelaram e amaram.

Às minhas irmãs (Jaciauria e Jucirauria Barbosa de Sousa) pelo seu apoio, auxílio e paciência que me dedicaram nos momentos mais críticos da elaboração deste trabalho.

Ao meu namorado Tiago de Jesus da Silva Diniz pelo apoio e incentivo dados durante as fases decisivas da trajetória acadêmica e profissional e por compartilhar as derrotas e as vitórias a meu lado, demonstrando seu amor e lealdade.

Ao Eng^o. Agrônomo Raimundo Reginaldo dos Santos, que viabilizou a execução desse projeto, que com suas valiosas sugestões definiram o tema deste trabalho e, devido à sua sabedoria e experiência, foi um membro chave e indispensável no cumprimento das atividades de campo.

Ao Prof. Dr. Christoph Gehring, que diversas vezes, além de orientador, comportou-se como um pai compreensivo, determinado e apaziguador e soube ensinar e exigir, sem soberba, reforçando a idéia de que sempre podemos ir mais além.

E, finalmente, ao curso de Mestrado em Agroecologia e à todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT.....	15

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
1.1 A Baixada Maranhense	17
1.1.1 O município de Arari.....	17
1.1.2 O cultivo de arroz irrigado no município de Arari-MA.....	18
1.2 O carvão vegetal.....	20
1.2.1 Aplicação do carvão vegetal na agricultura	20
1.2.2 Efeitos sobre as emissões de metano	22
REFERÊNCIAS.....	24

CAPÍTULO 2 – BIOCHAR IN FLOODED RICE CULTIVATION WITH DIFFERING FERTILIZER REGIMES: EFFECTS ON RICE PERFORMANCE, NUTRIENT AVAILABILITY AND METHANE EMISSIONS IN THE EASTERN PERIPHERY OF AMAZONIA

Abstract.....	29
1. Introduction.....	30
2. Methods.....	31
3. Results	35
3.1 Charcoal effects on soil physical and chemical parameters.....	35

3.2 Charcoal effects on rice nutrition.....	36
3.3 Charcoal effects on rice growth and grain yield	36
3.4 Charcoal effects on methane emissions.....	37
4. Discussion	40
4.1 Charcoal and initial N-immobilization	40
4.2 Charcoal and soil potassium	40
4.3 Charcoal effects on methane emissions.....	41
5. Conclusions.....	42
6. Acknowledgments	42
REFERÊNCIAS.....	43

CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DO CULTIVO CONTÍNUO DE ARROZ IRRIGADO PARA A BAIXADA MARANHENSE, PERIFERIA NORDESTE DA AMAZÔNIA

RESUMO	51
ABSTRACT.....	52
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAL E MÉTODOS	54
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	59
ANEXOS	66

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – BIOCHAR IN FLOODED RICE CULTIVATION WITH DIFFERING FERTILIZER REGIMES: EFFECTS ON RICE PERFORMANCE, NUTRIENT AVAILABILITY AND METHANE EMISSIONS IN THE EASTERN PERIPHERY OF AMAZONIA

Fig. 1 Effect of 15Mg ha⁻¹ babassu charcoal application on (A) first-cycle ammonium availability in 15-30 cm depth, and (B) first-cycle rice foliar N-content; Means ± standard errors, *indicates significant differences identified by t-tests.....34

Fig. 2 Charcoal effects on K-availability in anaerobe (flooded) 0-15cm soil samples (A) in the second (residual charcoal) and (B) in the third cultivation cycle, note differing quantities of K applied between seasons; Means ±standard error, * indicates significant difference identified by t-test.....35

Fig. 3 Charcoal effects on rice root:shoot ratio in the second cultivation cycle; means ± standard errors, *indicate significant difference at medium fertilizer rate.....36

Fig. 4 Charcoal effects on ‘background’ methane fluxes in irrigated rice: medianas and 75 percentils, * indicates significant difference (Mann-Whitney U-test) at 23 days after first N cover application.....37

Fig. 5 Fertilizer and charcoal effects of ‘fertilizer-impacted’ methane fluxes in irrigated rice at low (A) and high (B) fertilizer rates. Medians and 75 percentils, data integrated over 3-5 days after second N cover application, * indicates significant difference between +/- charcoal application treatments identified by Mann-Whitney U-test.....38

Fig. 6 Effects of charcoal on ‘fertilizer-impacted’ methane fluxes along 3-5 days after second N cover fertilization in irrigated rice at low (A) and high (B) fertilizer rates. Medians and 75 percentils, note scale differences, no significant differences by Mann-Whitney U-test and Kruskall-Wallis ANOVA.....38

CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DO CULTIVO CONTÍNUO DE ARROZ IRRIGADO PARA A BAIXADA MARANHENSE, PERIFERIA NORDESTE DA AMAZÔNIA

Figura 1. Diferenças no comprimento médio de panícula entre as cultivares, no 2º e 3º ciclos (A) e peso médio de 1000 grãos na cultivar ARARIBA e CNA, no 2º ciclo (B). Média e erro padrão (letras diferentes denotam diferenças significativas entre os ciclos e cultivares, pelo teste t, ao nível de 5%).....61

Figura 2. Produtividade do arroz nos três ciclos de cultivo. Média e erro padrão (letras diferentes denotam diferenças significativas entre os ciclos, pela ANOVA, ao nível de 5%).....62

Figura 3. Efeito do ataque de broca do colo sobre a produtividade de grãos em arroz irrigado, no 2º ciclo de cultivo.....63

Figura 4. Despesas totais (esquerda) e lucro (direita) com e sem contratação de mão de obra, em 3 ciclos de cultivo contínuo de arroz irrigado: 1º (topo), 2º (meio) e 3º (abaixo).....64

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – BIOCHAR IN FLOODED RICE CULTIVATION WITH DIFFERING FERTILIZER REGIMES: EFFECTS ON RICE PERFORMANCE, NUTRIENT AVAILABILITY AND METHANE EMISSIONS IN THE EASTERN PERIPHERY OF AMAZONIA

Table 1. Physical and chemical characteristics of the study soil (0-15 cm aerobe soil samples).....	30
Table 2. Fertilizer ('low' – 'mid' – 'high') and charcoal doses along the three continuous cultivation periods.....	31
Table 3. Physical and chemical characteristics of experimental charcoal (derived from babassu endocarp, ground to ≤ 2 mm).....	32

CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DO CULTIVO CONTÍNUO DE ARROZ IRRIGADO PARA A BAIXADA MARANHENSE, PERIFERIA NORDESTE DA AMAZÔNIA

Tabela 1. Esquema experimental dos tratamentos do cultivo contínuo de arroz irrigado.....	60
Tabela 2. Balanço econômico dos cultivos das épocas de estiagem (1° e 3° ciclos), chuvosa (2° ciclo) e nas duas épocas, sem a contratação de mão de obra terceirizada.....	65

Adição de carvão vegetal em cultivo de arroz irrigado: efeitos sobre os indicadores físicos e químicos do solo, desempenho do arroz, emissões de metano e viabilidade econômica do cultivo contínuo, em Arari-MA

Autor (a): Aurea Maria Barbosa de Sousa

Orientador: Prof. Dr. Christoph Gehring

RESUMO

O modelo de cultivo de arroz irrigado praticado há anos na baixada Maranhense tem se mostrado insustentável para os pequenos agricultores, que enfrentam problemas de ordem social, econômica e ecológica. Este trabalho se propôs a testar a viabilidade econômica do cultivo contínuo de arroz irrigado, na perspectiva de aumentar a produtividade no tempo, com duas produções anuais, uma na época chuvosa e a outra na época de estiagem. Esse sistema intensivo de cultivo pode promover a exaustão do solo e até mesmo intensificar as emissões de metano. Assim, a aplicação de carvão vegetal, associada à diferentes doses de fertilizantes podem melhorar os aspectos produtivos da cultura, a fertilidade química do solo e reduzir as emissões de metano. Para isso, foram coletadas e analisadas amostras de solo seco e alagado, amostras de plantas de arroz, bem como quantificado o seu rendimento, e realizadas coletas e análises de emissões de metano. A adição de carvão ou as doses de fertilizantes não proporcionaram aumentos significativos de produtividade, mas o carvão reduziu os teores de amônia em 44% e aumentou os teores de K no solo, além de promover a redução das emissões de metano de até 7,3 vezes, no arroz irrigado. O cultivo contínuo de arroz mostrou-se rentável, desde que a mão de obra empregada não seja a terceirizada. Entretanto, como se trata de agricultura familiar, a mão de obra geralmente empregada é a da família. Assim, é possível obter um incremento de 3,6 Mg ha⁻¹ na produção anual de grãos ou R\$ 1.244,50, na época chuvosa.

Palavras-chave: Agricultura Familiar. Produção Sustentável. Carbono Preto. Efeito Estufa. Rentabilidade.

Addition of charcoal in the rice cultivation: effects on physical and chemical soil indicators, rice performance, methane emissions and economic viability of continuous cultivation in Arari-MA

Author: Aurea Maria Barbosa de Sousa

Adviser: Prof. Dr. Christoph Gehring

ABSTRACT

The rice cultivation practiced for years in Maranhao Lowlands has proven unsustainable to smallholders, who face social, economic and ecological problems. This study proposes to test the economic advantages of continuous rice cultivation, to increase yields over time, with two annual crops, one in the rainy season and the other in the dry season. This system can promote intensive cultivation of the soil exhaustion and even enhance methane emissions. Therefore, the application of charcoal associated with different doses of fertilizers can improve the productive aspects of culture, the soil fertility and reduces methane emissions. Thus, samples were collected and analyzed dry and flooded soil, samples of rice plants, and quantified their performance, and carried out sampling and analysis of methane emissions. The addition of charcoal or fertilizer rates did not produce significant increases in yields, but charcoal has reduced levels of ammonia in 44% and increased the K in the soil, and promote the reduction of methane emissions of up to 7.3 times the rice. The continuous cultivation of rice was found to be profitable, but not outsourced labor. However, in the case of smallholders, labor is usually of the family. Thus, it is possible to get an increase of 3.6 Mg ha⁻¹ in the annual crop or R\$ 1,244.50 in the rainy season.

Key-words: Smallholders. Sustainable Production. Black Carbon. Greenhouse. Profitability.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 A Baixada Maranhense

A Microrregião da Baixada Maranhense é composta por 21 municípios e é uma região de grande importância social e ecológica no Estado. Situa-se na porção centro-norte da área de transição entre a Amazônia e o Nordeste Brasileiro (SILVA; MOURA, 2004) e grande parte de seu território está incluída na Amazônia Legal. Trata-se de uma região banhada pelas bacias hidrográficas dos rios Mearim e Pindaré, além das bacias hidrográficas secundárias do Turiaçu e do Pericumã, com uma dinâmica ecológica ligada ao ciclo das águas pluviais e, conseqüentemente, fluviais.

Sua importância ecológica advém da inundação de imensas áreas de planície durante o ciclo das águas, o que proporciona o desenvolvimento de um ecossistema típico e único no Estado, cuja produtividade biológica atinge altos níveis (NOGUEIRA, 2003). Além da importância ecológica, a Baixada Maranhense tem uma enorme importância social, pois, no conjunto de municípios nela assentados, há uma parcela significativa da população do Estado que vive direta ou indiretamente da exploração de recursos dos campos inundáveis.

1.1.1 O município de Arari

O município de Arari (03°27'30''S, 44°46'00'' W) localiza-se a 165 Km da capital São Luís e compõe a planície do Rio Mearim, situado a 15m acima do nível do mar, com uma área de 1.100 Km² e a população em torno de 28 mil habitantes (IBGE, 2007).

O clima é úmido do tipo B1 (THORNTWAITE, 1948), com uma temperatura média anual entre 22,6 a 34°C e precipitação em torno de 1500-2000 mm, com chuvas concentradas nos primeiros seis meses do ano (janeiro a julho).

Os solos são classificados como Vertissolos Aquerts (USA, 1998), com elevado teor de montmorilonita e ilita, que lhe conferem um caráter hidromórfico e são sujeitos a alagamento durante a estação chuvosa.

A atividade agropecuária é baseada no cultivo de arroz de terras altas, melancia, pesca artesanal, criação de bovinos e, há alguns anos, no cultivo de arroz irrigado com controle de lâmina de água, praticado na época de estiagem (agosto a dezembro), que tem se destacado como a maior produção agrícola do município, atualmente (GASPAR et al., 2005).

1.1.2 O cultivo de arroz irrigado no município de Arari-MA

O Maranhão é o maior produtor de arroz do Nordeste. Nacionalmente, o estado se destaca por ter a segunda maior área cultivada com o cereal, atingindo a produção de 567 mil toneladas na safra 2010/11 (CONAB, 2011). Essa produção é predominantemente oriunda de agricultores com menor grau técnico que utilizam o arroz como principal fonte de alimento (MENDEZ DEL VILLAR et al., 2001).

No município de Arari, as pesquisas com arroz irrigado tiveram início no ano de 1975, quando o Departamento de Pesquisa e Experimentação, vinculado à Secretaria de Agricultura do Maranhão (SAGRIMA), fundou o campo experimental para comprovar o potencial das campinas herbáceas da Baixada Maranhense. Em 1977, esse departamento passou a ser chamado de Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária (EMAPA) e, devido o sucesso na área de melhoramento vegetal, fertilidade de solo, controle químico de ervas daninhas e de pragas, além de manejo do solo, a EMAPA transformou o campo experimental na Unidade da Execução de Pesquisa de Âmbito Regional (UEPAR/Arari) em 1980. Naquela época, existiam três sistemas de produção para exploração da cultura do arroz irrigado: o de

plântio convencional (transplântio em curva de nível), o de plântio com semente pré-germinada a lanço e o sistema de plântio em regime de transplântio (GASPAR et al., 2005).

A partir de 1999, foi introduzida nas áreas de cultivo irrigado dos pequenos rizicultores a metodologia de plântio em regime de transplântio devido a problemas de infestação com plantas invasoras. Isso permitiu recuperar boa parte da produtividade, além do controle das invasoras apenas com a lâmina d'água.

O cultivo de arroz irrigado nessa região é possível devido às características do solo, rico em argila (80%), com drenagem deficiente (hidromorfismo), causada pelo relevo plano e uma camada subsuperficial pouco profunda. Essas características garantem a manutenção de uma lâmina de água sobre o solo.

O regime de má distribuição hídrica da região, com chuvas concentradas nos primeiros seis meses do ano, permite o cultivo de arroz na estação de estiagem (agosto a dezembro), período em que há maior aproveitamento da radiação solar e que possibilita o controle da lâmina da água de irrigação.

Esse sistema de cultivo de arroz é praticado há alguns anos por grandes rizicultores, em áreas acima de 15 ha, e, em maioria, por agricultores familiares, que dispõem de pequenas áreas (1 a 3 ha, em média). Mas, nos últimos anos, esses agricultores têm enfrentado problemas ligados à obtenção de reduzidas produções, anualmente, que está relacionada com o tamanho da área de cultivo, aumento dos custos de produção e estagnação dos preços de mercado. Isso os torna pouco competitivos, além de dificultar a melhoria da renda líquida que, na região, está abaixo do salário mínimo. A consequência desse quadro é a cessão das áreas dos produtores à grandes empresários, que financiam os insumos e retêm a maior parte da produção e dos lucros, em troca do trabalho familiar.

Somam-se ainda a estes, os problemas ambientais causados pelo cultivo de arroz irrigado sob lâmina de água controlada, como as emissões de metano, que são intensificadas

pela aplicação de elevadas doses de fertilizantes, principalmente os nitrogenados (BRONSON et al., 1997). Essas emissões são estimadas em até 19% das emissões totais desse gás (IPCC, 2007).

Entretanto, aplicação de matérias com elevado teor de carbono estável, como o carvão vegetal, podem ser um importante componente na redução das emissões de gases de efeito estufa (RONDON et al., 2006).

1.2 O carvão vegetal

O carvão vegetal ou biochar é um produto obtido por meio da carbonização da biomassa vegetal (madeira, folhas, etc.), em ambiente fechado com pouco ou nenhum oxigênio do ar disponível (LEHMANN; JOSEPH, 2009). Esse material contém alto teor de carbono e baixo teor de nitrogênio, o que resulta em uma elevada razão C:N (TROMPOWSKY et al., 2005) e, dependendo da temperatura de carbonização, pode conter elevados teores de potássio, cálcio, fósforo e sódio (BENITES et al., 2005).

O carvão vegetal apresenta-se como um composto policíclico aromático com alto grau de condensação e cerca de 70 a 80% de sua estrutura é formada por poros, o que resulta em uma baixa densidade do material (0,3 a 0,4 kg dm⁻³). Essas características lhe conferem uma grande persistência no solo, além de servir de micro-habitat para organismos e proporcionar um efeito positivo sobre as características físico-química dos solos (PICCOLO et al., 1997; GOUVEIA et al., 1999; PIETIKAINEM et al., 2000).

1.2.1 Aplicação do carvão vegetal na agricultura

A aplicação de carvão vegetal, como um elemento benéfico ao solo e à agricultura, é inspirada na elevada fertilidade da Terra Preta de Índio (ou Terra Preta Arqueológica), que

são solos antrópicos formados pela atividade agrícola e dia-a-dia dos povos pré-colombianos da Bacia Amazônica. Esses solos contêm elevado teor de carbono pirogênico que chega a ser 2,5 vezes maior que o teor desse material em solos adjacentes não antrópicos (GLASER et al., 2001; LEHMANN et al. 2003)

Esse carbono (carvão), que provavelmente se origina de carbonizações periódicas de lavouras e restos de atividade diária, foi incorporado ao solo pelo homem e pela atividade biológica no solo durante centenas de anos (GOUVEIA et al., 1999). Em alguns países como o Japão, a prática da incorporação de carvão vegetal ao solo é tradicional e vem sendo utilizado como adubo orgânico há algumas décadas (OGAWA, 1994).

A incorporação de carvão vegetal no solo pode alterar as propriedades físicas como a textura, estrutura, porosidade e densidade com implicações na aeração e na capacidade de retenção de água. A sua estabilidade mecânica determina, à longo prazo, os efeitos sobre a retenção de água e a estrutura do solo (GUNDALE; DELUCA, 2006; LEHMANN; JOSEPH, 2009).

O carvão vegetal pode contribuir para a retenção de íons do solo, reduzindo a lixiviação da matéria orgânica dissolvida, e aumentar a disponibilidade de nutrientes, além de intensificar a fixação biológica de N (GLASER; LEHMANN, 2002; RONDON et al., 2007) e pode atuar como fertilizante, apesar de pouco representativo, devido aos conteúdos de bases como o K, Ca e Mg, que reflete no aumento do pH do solo (GLASER; LEHMANN, 2002).

Esses efeitos contribuem para incrementos na produtividade das culturas agrícolas (GLASER et al., 2002; LEHMANN; RONDON, 2006; YAMATO et al., 2006). Em arroz irrigado, por exemplo, Haefele et al. (2009) propuseram a adição de casca de arroz carbonizada, como um componente maximizador da produção de biomassa aérea por área.

1.2.2 Efeitos sobre as emissões de metano

As emissões de metano pelo cultivo de arroz irrigado são estimadas entre 31 a 112 Tg ano⁻¹, que representa cerca de 5 a 19% das emissões totais (IPCC, 2007).

O metano produzido em lavouras de arroz irrigado pode ser emitido por difusão, através dos aerênquimas das plantas, ou por meio da ebulição de bolhas de gás (WASSMANN et al., 1996) e depende do estágio de desenvolvimento do arroz, bem como de condições que afetam o solo, como regime de irrigação, adição e tipo de fertilizantes, deposição de resíduos orgânicos e condições climáticas (SASS et al., 1992; NEUE, 1993; YAGI et al., 1996; BRONSON et al., 1997). Diversos trabalhos demonstram que drenagens periódicas promovem o decréscimo das emissões de metano, apresentando-se com um dos métodos mais eficientes para minimizar a emissão do gás (SASS et al., 1992; YAGI et al., 1996). Os fertilizantes nitrogenados e a matéria orgânica são também apontados como responsáveis pelo aumento das emissões de metano em lavouras de arroz mantidas sob inundação durante todo o cultivo (BRONSON et al., 1997).

Entretanto, com o crescimento populacional, a demanda por alimentos tem refletido em elevadas aplicações de fertilizantes sintéticos na agricultura. Em cultivos de arroz irrigado na região, por exemplo, para garantir uma produtividade em torno de 5 a 6 Mg.ha⁻¹, são aplicados em média 100 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. Dessa forma, o aumento das aplicações de fertilizantes conduzirá a aumentos proporcionais nas emissões de metano (ZOU et al., 2005).

Alguns estudos indicam que a adição de carvão vegetal no solo reduz as emissões de CH₄ (RONDON et al., 2006; YANAI et al., 2007). Porém, o mecanismo pelo qual o carvão interfere nas emissões é desconhecido, pois levam em consideração os fatores bióticos e abióticos envolvidos, bem como suas relações com o tipo e manejo do solo, clima e características do carvão (ZWIETEN et al., 2009).

Existem evidências de que o carvão promove a oxidação do metano em solos anaeróbicos e, devido ao elevado conteúdo de carbono orgânico recalcitrante, promove mudanças nas propriedades do solo que afetam a atividade microbiana (GLASER et al., 2001, 2002; LEHMANN et al., 2003; RONDON et al., 2006), porém há um número muito limitado de estudos que ratifiquem essa tese.

Os estudos sobre a redução das emissões de metano em arroz irrigado pelo uso do carvão vegetal são muito escassos. Zhang et al. (2010) analisaram o efeito do carvão sobre a redução de metano e óxido nitroso, em cultivo de arroz com irrigação intermitente na China, mas os resultados diferem das hipóteses acerca da redução de metano pelo carvão.

Assim, o presente trabalho tem o objetivo de investigar os efeitos da aplicação do carvão vegetal, sobre os indicadores físicos e químicos do solo, o rendimento agrícola da cultura e sobre as emissões de metano em cultivo contínuo de arroz irrigado e avaliar a viabilidade econômica desse modelo de produção para a agricultura familiar.

REFERÊNCIAS

BENITES, V. de M.; MENDONCA, E. de S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVOTNY, E. H.; REIS, E. L.; KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, v.127, p.104-113, 2005.

BRONSON, K. F.; NEUE, H. U.; SINGH, U.; ABAO, E. B. Jr. Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil: I. Residue, nitrogen, and water management. **Soil Science Society of America Journal**. v. 61, p. 981-987, 1997.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra agrícola 2010/2011 – Sexto levantamento: Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_03_10_09_03_02_boletim_marco-11%5B1%5D.pdf. Acesso em 22/08/11.

GASPAR, S. M. F. S; NUNES, G. S; PINHEIRO, C. U. B; JUNIOR, O. P A. Avaliação de risco de pesticidas aplicados no município de Arari, Maranhão, Brasil: base para programa de controle ambiental do rio Mearim. Pesticidas. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**. v.15, p. 43-54, 2005.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, p. 37-41, 2001.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R.; BOUFET, R.; ARAVENA, R.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos de carbono dos carvões e da matéria orgânica do solo em estudos de mudança de vegetação e clima no Quaternário e da taxa de formação de solos no Estado de São Paulo. Academia Brasileira de Ciências. **Anais...**, v. 71: 4-II, 1999.

GUNDALE, M. J.; DELUCA, T. H. Temperature and substrate influence the chemical properties of charcoal in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. **Forest Ecology and Management**, v. 231, p. 86–93, 2006.

HAEFELE, S.; KNOBLAUCH, C.; GUMMERT, M.; KONBOON, Y.; KOYAMA, S. **Black carbon in rice-based systems: characteristics and opportunities**. In: WOODS, W. I.; TEIXEIRA, W.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; PRINS, A.W. (Eds.), *Terra Preta Nova: a Tribute to Wim Sombroek*. Springer, New York, p. 445-463, 2009.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Cidades**, 2007. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em 23/06/11.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Agriculture**. In: METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R. (Eds.) *Climate Change, 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK/New York, p. 498–540, 2007.

LEHMANN, J.; SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, The Hague, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003.

LEHMANN, J.; RONDON, M. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: UPHOFF, N.; BALL, A. S.; PALM, C.; FERNANDES, E.; PRETTY, J.; HERRREN, H.; SANCHEZ, P.; HUSSON, O.; SANGINGA, N.; LAING, M.; THIES, J. (Eds.), **Biological Approaches to Sustainable Soil Systems**. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 517–530, 2006.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Earthscan, London, 2009. 416 p.

MENDEZ DEL VILLAR, P.; DUCOS, A. F.; PEREIRA, J. A.; YOKOYAMA, L. P. **Cadeia produtiva do arroz no estado do Maranhão**. Teresina, EMBRAPA- Meio Norte, 2001, 136p.

NEUE, H.U. Methane emission from rice fields. **Bioscience**, v.43, n.7, p.466-474, 1993.

NOGUEIRA, N. M. C. Estrutura da comunidade fitoplanctônica, em cinco lagos marginais do rio Turiaçu (Maranhão, Brasil) e sua relação com o pulso de inundação. São Carlos, SP: UFSCAR, 2003 (Tese de Doutorado).

OGAWA, M. Symbiosis of people and nature in the tropics. **Farming Japan**, Tokyo, v. 28, n. 5, p. 10–34, 1994.

PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J.S.C. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. **Geoderma**, v. 75, p. 267–277, 1997.

PIETIKÄINEN, J.; KIIKKILA, O.; FRITZE, H. Charcoal as a habitat for microbes and its effects on the microbial community of the underlying humus, **Oikos**, v. 89, p. 231–242, 2000.

RONDON, M. A.; MOLINA, D.; HURTADO, M.; RAMIREZ, J.; LEHMANN, J.; MAJOR, J.; AMEZQUITA, E. **Enhancing the productivity of crops and grasses while reducing greenhouse gas emissions through bio-char amendments to unfertile tropical soils.** 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2006.

RONDON, M. A.; LEHMANN, J.; RAMÍREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 43(6), p. 699-708, 2007.

SASS, R. L.; FISCHER, Y. B.; TURNER, F. T.; WANG, Y. B.; JUND, M. F. Methane emission from rice fields: the effect of flood water management. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.6, n.2, p. 249-262, 1992.

SILVA, A. C.; MOURA, E. G. Atributos e especificidades de solos de baixada no Trópico Úmido. In MOURA, E. G. (org.). **Agroambientes de Transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil.** São Luís: UEMA, 2004.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classifications of climate. **Geophysical Review.** London, 1948.(add Köppen)...

TROMPOWSKY, P. M.; BENITES, V. M.; MADARI, B. E.; PIMENTA, A. S.; HATCHER, P. G. Characterization of humic like substance obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. **Organic Geochemistry**, v. 36, p. 1480-1489, 2005.

WASSMANN, R.; NEUE, H. U.; ALBERTO, M.C.R.; LANTIN, R. S.; BUENO, C.; LLENARESAS, D.; ARAH, J. R. M.; PAPEN, H.; SEILER, W.; RENNENBERG, H. Fluxes and pools of methane in wetland rice soil with organic inputs. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.42, p.163-173, 1996.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 52, p. 489–495, 2006.

YANAI, Y.; TOYOTA, K.; OKAZAKI, M. Effect 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, p. 181–188, 2007.

YAGI, K.; TSURUTA, K.K.; MINAMI, K. Automate dmonitoring of methane emission from a rice paddy field: the effect of water management. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.10, n.2, p.255-267, 1996.

ZHANG, A.; CUI, L.; PAN, G.; LI, L.; HUSSAIN, Q.; ZHANG, X.; ZHENG, J.; CROWLEY, D. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 139, p. 469–475, 2010.

ZOU, J.; HUANG, Y.; JIANG, J. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. **Global Biogeochemical Cycles** v.19, p. 1-9, 2005.

ZWIETEN, L. V.; SINGH, B.; JOSEPH, S.; KIMBER, S.; COWIE, A.; YIN CHAN, K. Biochar for environmental management: Biochar and emissions of non-CO₂ greenhouse gases from soil. Science and Technology. **Earthscan**, v. 13, p. 227-243, 2009.

CAPÍTULO 2

BIOCHAR IN FLOODED RICE CULTIVATION WITH DIFFERING FERTILIZER REGIMES: EFFECTS ON RICE PERFORMANCE, NUTRIENT AVAILABILITY AND METHANE EMISSIONS IN THE EASTERN PERIPHERY OF AMAZONIA

Biochar in flooded rice cultivation with differing fertilizer regimes: Effects on rice performance, nutrient availability and methane emissions in the eastern periphery of Amazonia

Aurea Maria B. de SOUSA¹, Raimundo Reginaldo dos SANTOS², Christoph GEHRING¹

¹Master's Course in Agroecology, Maranhão State University, São Luís, MA, Brazil. PO Box 09, 65054-970. E-mail: christophgehring@yahoo.com.br. (55) 98 3248-2436. ²Rural Extension Service of Maranhão State (AGERP), Arari, MA, Brazil

Abstract

This study investigated the effects of biochar under anaerobe (flooded rice) cultivation at three (synthetic) fertilizer levels, in in three cycles cultivation, in the Maranhão lowlands, eastern periphery of Amazonia. Two applications of 15 Mg ha⁻¹ of fine (<2mm particle size) charcoal derived from the endocarp of the babassu palm (*Attalea speciosa* Mart.) had remarkably little influence on soil fertility, rice growth, yield and nutritional status over the 3-cycle study-period. Exception to this were negative impacts of charcoal on first-cycle N-availability, with lower subsoil ammonium availability paired with lower rice tissue-N and a responsiveness of grain yields to (mainly N-) fertilization following charcoal application. This N-limitation effect was, however, ephermal, limited to the first cultivation cycle and agronomically barely significant. Initial N immobilization could be valuable for soil-fertility buildup in the mid term, by construction of an N-buffer which could reduce gaseous N-losses. A further charcoal effect was the increase in K-availability in the second and third cultivation cycle. Low K-concentrations of our charcoal exclude the possibility of direct K-inputs via charcoal, suggesting other more indirect mechanisms for K-availability increases. Methane fluxes were only very slightly reduced by charcoal on the 'background' level (without immediate fertilizer effect). Fertilization significantly increased methane fluxes, and fertilizer-affected methane fluxes (3-5 days after N-fertilization) were strongly and significantly reduced by charcoal, especially at high fertilizer levels with a 7.3-fold reduction of emissions. Thus, charcoal could be a valuable tool for reducing peak methane emissions associated with intensely fertilized irrigated rice, without significantly affecting grain yields.

Key-words: anaerobic soil; babassu palm; black carbon; charcoal; lowland rice; smallholder farmers.

1. Introduction

Black carbon/biochar has been found to improve soil physical (Pietikainen et al. 2000; Mann, 2002), chemical (Glaser et al 2002; Chan et al. 2008) and biological (Rondon et al. 2007; Warnock et al. 2007) attributes, to stabilize soil organic matter (Lehmann et al. 2006) and – ultimately – to increase agricultural productivity (Yamato et al. 2006; Marris, 2006; Lehmann, 2007; Lehmann et al. 2008). Research on ‘terra preta de índio’ suggests that benefits of BC on soil fertility occur especially when combined with high doses of organic nutrients, as this promotes the formation of carboxylic groups and ultimately the formation of cation exchange capacity (Glaser et al. 2001; Lehmann et al. 2006; Novotny et al. 2008; Luostarinen et al. 2010). Intensive irrigated rice cultivation could constitute such a favorable constellation, as fertilizer-rates in such systems are typically high (Dobermann and Fairhurst, 2000; Sirisena et al. 2004). However, conditions in this system are fundamentally different from TPI in two key aspects: (i) the anaerobic environment throughout the cultivation cycle, and (ii) the prevalence of synthetic (rather than organic) nutrient inputs. Effects and dynamics of biochar under such conditions remain largely unknown.

A further key function that black carbon / biochar can exert is in its supposed ability to reduce methane and nitrous oxide emissions (Rondon et al. 2006; Yanai et al. 2007). For irrigated rice, methane emissions are specially worrisome as they amount to 264 Tg CO₂eq year⁻¹ or 11% of worldwide anthropogenic methane emissions (IPCC 2007). Thus, biochar in irrigated rice could prove to be valuable for control or reduction of greenhouse gas emissions. However, most studies about biochar effects on methane emissions have so far been conducted under aerobic or intermittently anaerobic hydric conditions (Asai et al. 2009; Masulili and Utomo, 2010; Zhang et al. 2010). Adsorption of methane on the large surface area of biochar and subsequent chemical alteration are the most likely mechanisms by which biochar can reduce methane (and nitrous oxide) emissions (Zwieten et al. 2009).

This study reports on a field trial conducted in the ‘Maranhão lowlands’, a region with rapidly expanding irrigated rice agriculture in the northeastern periphery of Amazonia. We investigate the potential of fine (i.e. ‘residual’) charcoal of babassu nuts, a locally available zero-cost resource produced by smallholder farmers of the region. We report on rice performance, soil fertility and methane emissions, and explore interactions of charcoal with contrasting fertilizer rates.

2. Methods

2.1 Study region and experimental site

Research was conducted within the Embrapa experimental station of Arari county, Maranhão lowlands, northeastern periphery of Amazonia (03°27'30''S, 44°46'00''W), close to the Banks of the Mearim river at 15m a.s.l.. Soils are classified as Vertissolos Aquerts (USA 1998), with very high clay content (Table 1), predominantly expandable 2:1-layer clays. The experimental area has been under annual irrigated rice cultivation for >15 years, with continuously high fertilizer-rates throughout this period.

Table 1. Physical and chemical characteristics of the study soil (0-15 cm aerobe soil samples).

Sand	Silt	Clay	Silt : Clay	Bulk soil density	Electric conductivity ^a	P ^b	K ^b	Ca ^c	Mg ^c
%				g cm ⁻³	mmhos cm ⁻¹	Mg kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹		
1	27	72	0,38	1,43	0,28	3,5	3,64	48,95	98,6

^{a)} at 25°C; ^{b)} Mehlich 1; ^{c)} KCl

Climate is classified according to Köppen as equatorial sub-humid (*Aw*), with 1500-2000 mm annual precipitation concentrated in 6 months rainy season. Poor drainage (due to the high clay content and an impermeable sub-soil) cause seasonal natural flooding during most of this period. Irrigated rice agriculture occurs during the dry season, when absent rains and the proximity to a large river allow for perfect control of the water-table.

2.2 Experimental layout and treatments

Experimental design is bi-factorial. We test two doses of charcoal application (0 and 15 Mg ha⁻¹) and three fertilizer levels ('low', 'mid', 'high'), within a completely randomized block design with 4 replications (2 x 3 x 4), plot size was 15m² (5 x 3 m). The experiment was conducted during 3 continuous seasons: Irrigated – naturally flooded – irrigated. This results in a repeated measure design for irrigated rice conditions, and a 3rd factor when comparing irrigated and naturally flooded seasons with differing meteorological conditions, charcoal application and fertilizer levels.

Table 2 shows the 3 fertilizer levels and 2 charcoal levels tested. Fertilizer-levels range between 50-200 kg N ha⁻¹, 30-120 kg P ha⁻¹ and 15-60 kg K ha⁻¹ for both irrigated seasons and half these levels in the naturally flooded

season (test for residual effects). 15 Mg ha⁻¹ charcoal was applied twice only, at at the onset the two irrigated seasons.

Table 2. Fertilizer ('low' – 'mid' – 'high') and charcoal doses along the three continuous cultivation periods

Cultivation period		N	P	K	Babassu charcoal
		(Low – Mid -High) kg ha ⁻¹			Mg ha ⁻¹
1 st	Aug. – Dec. (2009)	50 – 100 – 200	30 – 60 – 120	15 – 30 – 60	0 or 15
2 nd	Jan – May (2010)	25 – 50 – 100	15 – 30 – 60	7,5 – 15 – 30	no application
3 rd	Aug. – Dec. (2010)	50 – 100 – 200	30 – 60 – 120	15 – 30 – 60	0 or 15

2.3 Charcoal and fertilizers

We used charcoal produced locally in traditional kirms of smallholder farmers of Arari county, (unknown temperatures and oxygen conditions during carbonization) of the endocarp of the babassu (*Attalea speciosa* MART.) palm nut. Charcoal was ground and sieved to ≤ 2 mm, in order to (i) guarantee charcoal homogeneity and accelerate possible charcoal action and (ii) simulate cost-free locally available fine charcoal as a by-product of mainly smallholder farmers / extractivist babassu charcoal production with great socioeconomic importance in our region. Charcoal was applied 5 days before transplanting on wettened soil and incorporated superficially (approximately 2cm) with a rake. Table 3 shows key physical (Embrapa 1997) and chemical (Raij et al. 2001) characteristics of our charcoal.

Table 3. Physical and chemical characteristics of experimental charcoal (derived from babassu endocarp, ground to ≤ 2 mm).

P ^a	K ^a	Ca ^b	Mg ^b	1	2	3	4	Porosity	Bulk density	Electric Conductivity ^c
Mg kg ⁻¹								g cm ⁻³		mmhos cm ⁻¹
0,96	5,14	0,36	0,48	58	18	9	15	53	0,5	0,79

1) Coarse particles (0,2-2,0mm); 2) Médium particles (0,05-0,2mm); 3) Fine particles (0,002-0,5); 4) Very fine particles (<0,002); ^{a)} Mehlich 1; ^{b)} KCl; ^{c)} at 25°C.

Low P and K concentrations demonstrate absence of significant contamination with ashes. Consequently, total P and K inputs via charcoal are low in comparison with fertilizer rates, summing only 0.01 kg P ha⁻¹ and 0.08 kg K ha⁻¹ per 15 Mg ha⁻¹ charcoal application.

Nitrogen was fertilized as urea, split in three doses, with 5% of total at transplanting, and halves of the remaining 95% at beginning of tillering and panicle differentiation. The other fertilizers (triple-fosphate and KCl) were applied single-dosed at transplanting. We used 25 day-old transplants of the locally developed successful cultivar 'Arariba', planting density was 25 cm between lines and 20 cm within lines.

2.4 Soil sampling and analyses

We obtained composite soil samples for each plot at 0-15 cm and 15-30 cm depth (i) as aerobic soil samples taken at initiating the experiment, at non-flooded intervals between 1st and 2nd and 2nd and 3rd cycles, and (ii) as anaerobic samples (mud) taken at the onset of flowering of each cultivation cycle (0-15cm only). Aerobic samples were air-dried and sieved to ≤ 2 mm before analysis. Anaerobic samples were taken simultaneously with rice sampling and biomass estimation (see chap. 2.5), sealed and stored refrigerated until subsequent resin-extraction. We also determined soil texture and bulk density in aerobic samples, according to standard methods of Embrapa (1997).

In aerobic soil samples, we estimated NH₄⁺ and NO₃, via 1 mol KCl extraction (1:10 sample:extractor ratio) and subsequent quantification with the Kjeldahl method (Morris 1983). Both in aerobic and anaerobic soil samples, we extracted available P with Amberlite IRA-400 synthetic anion exchange resin, and available K, Ca and Mg with Amberlite IR-120 synthetic cation exchange resin, following methodology of Raji et al. (2001). All soil and plant (see. 2.5) extracts were analysed with an ICP-720 ES optic emissions spectrometer at the Soil Laboratory

of Maranhão State University. Results are given as mg kg^{-1} for available P, nitrate and ammonium and $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ for K, Ca and Mg.

2.5 Sampling and measurement of rice performance

We sampled, estimated biomass and analysed chemical composition of rice at initiation of flowering, considering this the nutritionally most sensitive period (Veloso et al. 2004). We collected 3 complete plants per plot, roots were extracted from 20 x 25cm hexagons surrounding individual plants and immediately separated from soil by washing-sieving over 2-3 (2, 1, 0.25mm) sieves. Leaf and root samples were dried at 70°C for 1 week for dry-weight biomass estimation. Samples were subsequently ground and complete nutrient extraction conducted with concentrated H_2SO_4 according to methodology established by Tedesco et al. (1995). Nitrogen contents were established via Kjeldahl method. All other elements quantified with an optic emissions spectrometer (see 2.4).

At terminating each cultivation cycle, grain yield was determined by complete harvesting of 4,2 x 2,0 central plot area (excluding 0,40 and 0,50 cm boarder-zone). Grain yield is reported at 14% humidity, we subsequently estimated 1000 grain weight and grain filling (% of unfilled grains). We furthermore quantified panicles per plant, panicle length, and grains per panicle in 5 plants per plot at harvesting, following standard procedures of Embrapa (1977).

2.6 Methane measurements

We assessed possible charcoal effects on flooded rice methane emissions in the third cultivation cycle. We measured (i) ‘background’ methane emissions at 27 - 31 days after transplanting (DAT), not directly influenced by fertilizer applications (20-24 days after first N cover-application), and (ii) ‘fertilizer-impacted’ methane emissions, 3-5 days after second N cover-application, at 45 - 47 DAT. Measurements were conducted in the four most contrasting treatments of our trial, with / without 15 Mg.ha^{-1} charcoal applications, at ‘low’ and ‘high’ fertilizer-levels.

We collected methane in 50 x 60cm base and 40 cm high PVC chambers, with lids sealed airtight on pre-installed bases for 30 minutes in the morning (8-9 am), following technical recommendations of Zou et al. (2005). Methane samples were transferred to the Nutrient-Cycling laboratory of Embrapa Agrobiologia (Rio de Janeiro) within 48 hours and analysed in a gas chromatograph using FID (Chang et al. 2000). We calculated time- and area-based methane emissions following procedures established in Rolston (1986).

2.7. Statistics

We checked for normality of data-distribution visually (histograms) and with Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors's tests. Most data followed normal distribution or could be normalized via ln-transformation, thus allowing for bi-factorial ANOVA and regression analyses. Since methane data could not be normalized, we applied non-parametric procedures (medians, Mann-Whitney U-test, Kruskal-Wallis ANOVA). Analyses were conducted with Statistica 7.0 (StatSoft 2004).

3. Results

3.1 Charcoal effects on soil physical and chemical parameters

In the first cultivation cycle, 15 Mg ha⁻¹ charcoal application slightly but significantly reduced soil bulk density in the 0-15 cm soil layer from 1.45 ± 0.01 to 1.42 ± 0.01 g m⁻³ (means ±SE). There were no charcoal effects on soil bulk density in the following seasons, nor were there any differences in soil texture (data not shown).

Coincidentally, charcoal application caused significantly lower ammonium availability in air-dried samples of the 15-30 cm soil layer in the first cultivation cycle as well (Fig. 1A). By contrast, we did not detect any charcoal-related differences in N-availability in the 0-15cm depth, any differences in N-availability in the following cultivation cycles, nor any differences in other (P, K, Ca, Mg) nutrients in air-dried soil (data not shown).

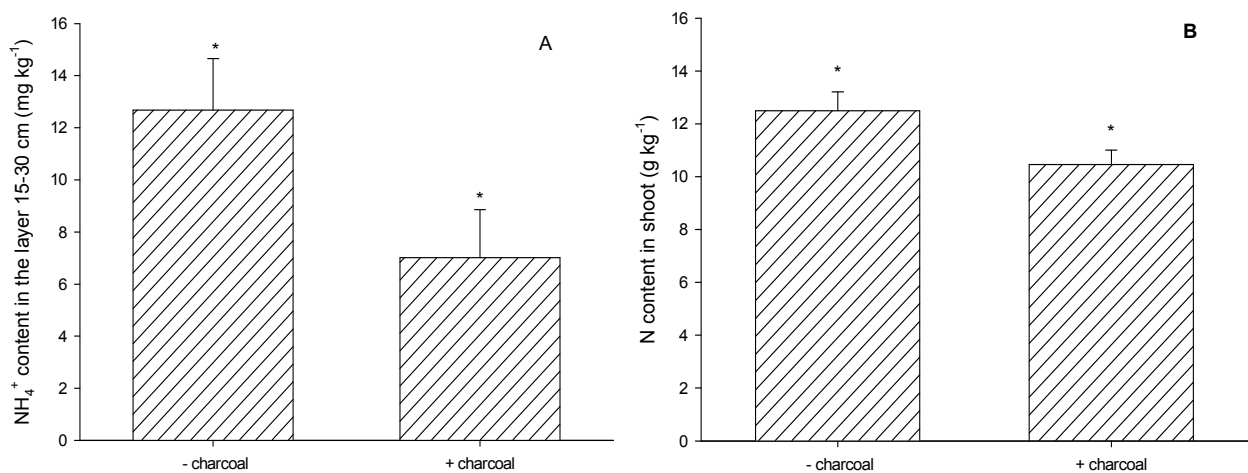


Fig. 1 Effect of 15Mg ha⁻¹ babassu charcoal application on (A) first-cycle ammonium availability in 15-30 cm depth, and (B) first-cycle rice foliar N-content; Means ± standard errors, * indicates significant differences identified by t-tests.

In anaerobe soil samples, we did not find any charcoal effects in P, K, Ca and Mg availability of the first cultivation cycle, nor in P, Ca and Mg availability of the following two cycles (data not shown). By contrast, we found significant charcoal-related increases in K-availability both in the second and third cultivation cycle (Fig. 2).

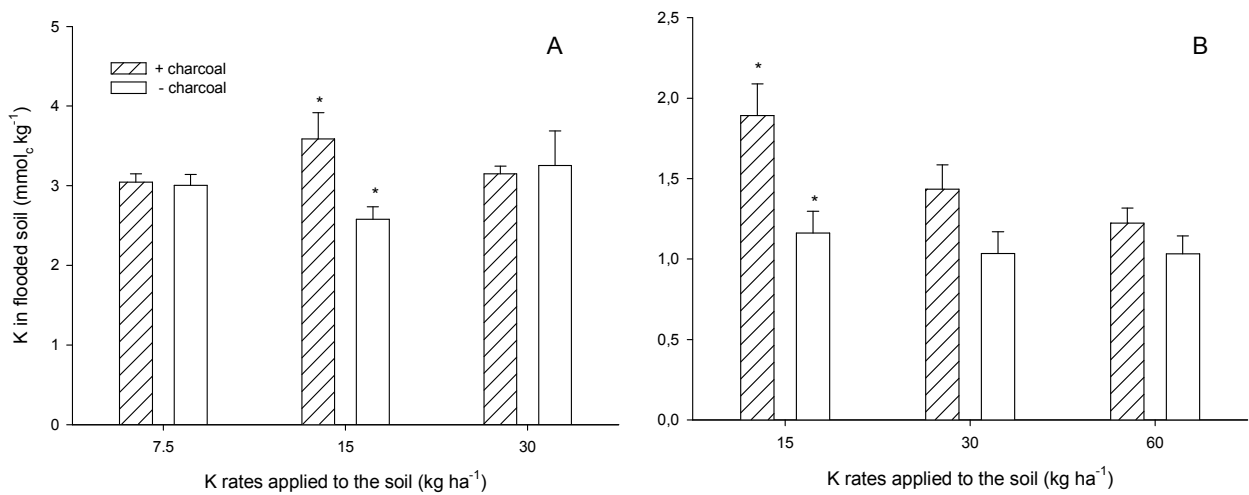


Fig. 2 Charcoal effects on K-availability in anaerobe (flooded) 0-15cm soil samples (A) in the second (residual charcoal) and (B) in the third cultivation cycle, note differing quantities of K applied between seasons; Means \pm standard error, * indicates significant difference identified by t-test.

3.2 Charcoal effects on rice nutrition

In the first cultivation cycle, 15 Mg ha⁻¹ charcoal application significantly reduced (overall by 16.3%) rice foliar N-contents (Figure 1B). By contrast, aboveground N-stocks, did not differ significantly between treatments, and charcoal effects on foliar N-concentration were limited to the first cultivation cycle. Rice foliar P, K, Ca and Mg concentrations were not affected by charcoal applications or differing fertilizer levels in any of the three cultivation cycles (data not shown).

3.3 Charcoal effects on rice growth and grain yield

Total (above- and belowground) rice biomass, the number of spikelets, the percentage of unfilled grains and the weight of 1000 grains were all unaffected both by charcoal application and by fertilizer rates throughout the three cultivation cycles (data not shown). By contrast, root:shoot ratio tended to be lower with

than without charcoal application in the second cultivation cycle (residual charcoal, halved fertilizer rates), but not in the first and third cultivation cycles. This reduction was significant at mid-fertilizer rate (Fig. 3).

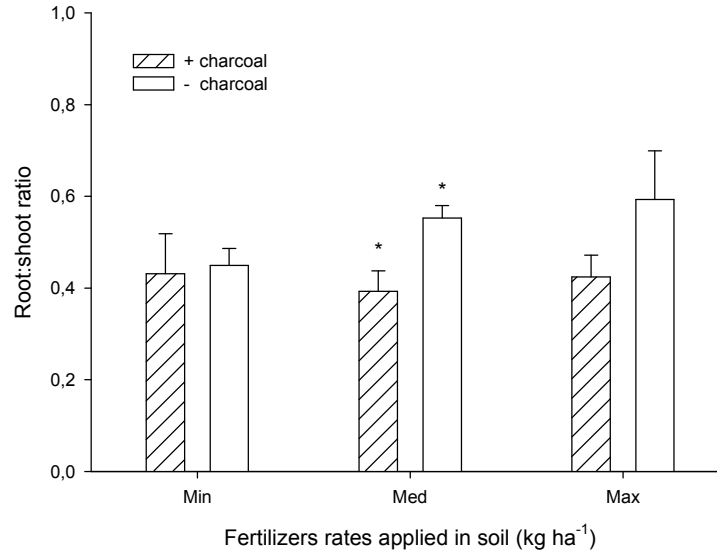


Fig. 3 Charcoal effects on rice root:shoot ratio in the second cultivation cycle; means \pm standard errors, * indicate significant difference at medium fertilizer rate.

In the first cultivation cycle, we detected a significant ($p=0.08$) linear effect of fertilizer rate on grain yield over all treatments with (but not without) charcoal application ($0,3\pm 0,02$ Mg ha⁻¹). In the second cultivation cycle the effect of (halved) fertilizer rates on grain production was significant but that of charcoal not, and in the third cultivation cycle we did not detect any effects either of fertilization or charcoal on grain yields.

3.4 Charcoal effects on methane emissions

'Background' methane emissions, measured at 20-24 days after first N cover-application, did not differ between fertilizer levels (data not shown). Charcoal application failed to significantly affect methane emissions. Exception to this was day 23 where methane flux was significantly different between negative (i.e., methane sequestration) with charcoal vs. positive (emission) without charcoal application, summing to a median difference (sequestration) of 1.32 mg m⁻².ha⁻¹ (Fig. 4).

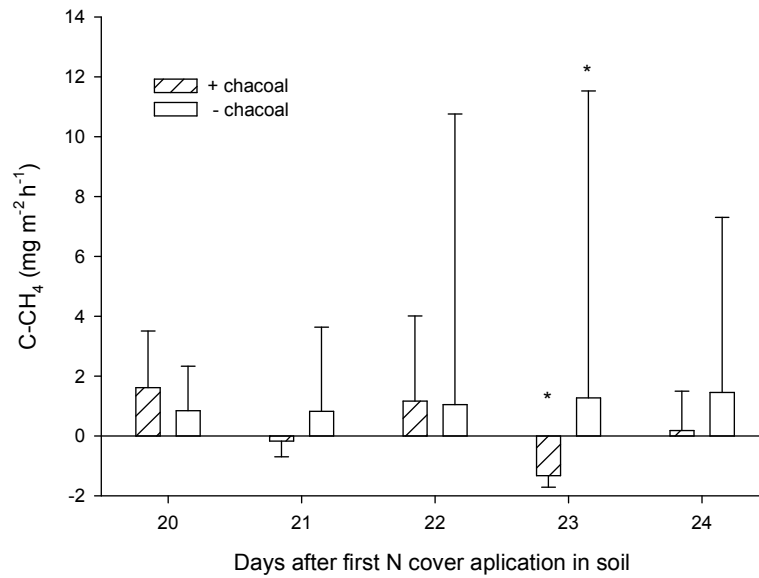


Fig. 4 Charcoal effects on ‘background’ methane fluxes in irrigated rice: medianas and 75 percentils, * indicates significant difference (Mann-Whitney U-test) at 23 days after first N cover application.

Fertilizer-impacted methane emissions (3-5 days after second N cover-application) were (overall approximately 83%) higher at ‘high’ (200 kg N cover application) than at than at ‘low’ (50 kg N cover application) fertilizer-levels (Figure 5). Differences (Mann-Whitney U-tests) were significant both in treatments with and without charcoal application, but failed to be significant on a daily basis (Figure 6), due to the high variability of methane data. Integrated over the 3 day measuring period, charcoal supressed fertilizer-impacted methane emissions by a median $-0.05 \text{ mg m}^2 \text{ h}^{-1}$ de C-CH_4 (reduction by $1.3 \text{ mg m}^2 \text{ h}^{-1}$ or suppression by 4,3%) at low fertilizer level. Charcoal effect was much higher at high fertilizer-level, with a 7.3-fold reduction from 9.1 to $1.9 \text{ mg m}^2 \text{ h}^{-1}$ de C-CH_4 (Fig. 5).

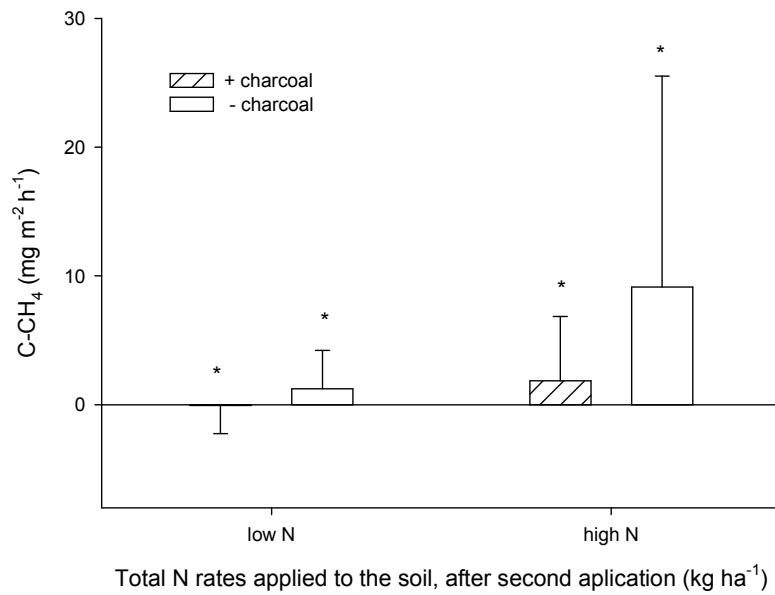


Fig. 5 Fertilizer and charcoal effects of ‘fertilizer-impacted’ methane fluxes in irrigated rice at low (A) and high (B) fertilizer rates. Medians and 75 percentils, data integrated over 3-5 days after second N cover application, * indicates significant difference between +/- charcoal application treatments identified by Mann-Whitney U-test.

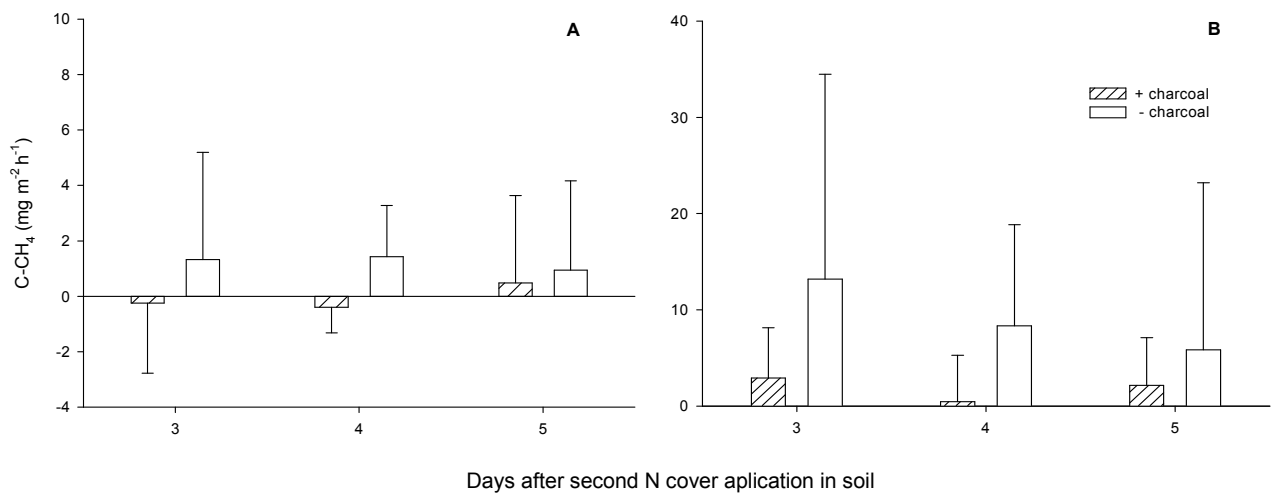


Fig. 6 Effects of charcoal on ‘fertilizer-impacted’ methane fluxes along 3-5 days after second N cover fertilization in irrigated rice at low (A) and high (B) fertilizer rates. Medians and 75 percentils, note scale differences, no significant differences by Mann-Whitney U-test and Kruskal-Wallis ANOVA.

4. Discussion

Two applications of 15 Mg ha⁻¹ of charcoal had remarkably little effects on soil physico-chemical characteristics, nor on rice nutritional status, growth and yield. This study was conducted on a soil high in fertility both dominated by high-activity clays and with a long history of past fertilizations on the experimental site. Overall high nutritional status of our rice is likely responsible for the lack of any responses of rice growth, yield or nutrient-content.

4.1 Charcoal and initial N-immobilization

One small but interesting exception of this lack of charcoal effects is in first-cycle nitrogen availability. Charcoal application (i) reduced ammonium availability in the subsoil, (ii) reduced rice foliar N-concentrations, and (iii) caused fertilizer-responsiveness of rice grain yield in treatments with charcoal but not without charcoal application. Nitrogen is to be seen as principal nutrient, both key for irrigated rice cultivation in our site and most other sites worldwide (Wang et al. 1993; Kronzucker et al. 2001), and as the main component in our fertilizers. Charcoal effects on ammonium availability were limited to the subsoil (coincidental with a slight soil density reduction, presumably due to translocation of our fine (<2mm particle size) charcoal to the subsoil) and were also limited on initial charcoal application, with no charcoal or residual effects detectable in the following cultivation cycles.

Our data are in line with observations compiled in Lehmann et al. (2003) on N-immobilization caused by black carbon addition. Possible reasons for such N-immobilisation could be the high C:N-ratio of charcoal (Chan and Xu 2009) and a high capacity of porous structures of charcoal to absorb ammonium ions (Berglund et al. 2004).

Though N-immobilisation caused by charcoal at the first glance appears as a negative effect in agricultural practice, it could provide long-term advantages. Accumulation of soil nitrogen in differing degrees of immobilization could serve as a mid-term N-reserve, reduce N-losses caused by volatilization or denitrification (Le Leuch and Bandosz 2007; Singh et al. 2010; Steiner et al. 2010). The initial N-immobilization here observed was insufficient to significantly depress rice development or grain yield.

4.2 Charcoal and soil potassium

Charcoal caused an increase in available K in anaerobe samples of the second and third cultivation cycle. Low K-concentrations of our babassu charcoal (<1,0 g kg⁻¹, equivalent to 0.08 kg K in 15 Mg charcoal) discount the

possibility of any significant direct K-input via charcoal (i.e., caused by ash contamination or by very high carbonization temperatures; Yu et al. 2005). Charcoal-associated buildup of K-availability must therefore occur via some – so far unknown or speculative – indirect process of increasing K exchange capacity promoted by the porous structure of charcoal surfaces (Steiner et al. 2007). Increase of CTC as a whole, as consequence of the formation of carboxylic groups generated via interactions between biochar and nutrients may provide a further explanation for this K availability increase. The absence of short-term effects of charcoal on K-availability (effects observed in second and third cultivation cycle only) would be in accordance with such mid- to long-term soil chemical transformations (Liang et al. 2006; Novotny et al. 2008). As already stated in the Introduction section, environmental conditions in our study deviate from those supposedly necessary for the formation of such carboxylic groups in (i) the prevalence of an anaerobic environment, and (ii) the prevalence of synthetic fertilizers as nutrient-source. More systematic research on this important point is warranted.

4.3 Charcoal effects on methane emissions

High doses of N-fertilizers are known to increase methane emissions in irrigated rice agriculture (Lindau et al. 1991; Sirisena et al. 2004), a result confirmed in our study and worrisome in the face of the necessity of continuously higher N-fertilization to increase worldwide rice production (FAO 2010) which would result in further increases of irrigated rice methane and also nitrous oxide emissions (Sirisena et al. 2004). One possible mechanism by which N-fertilization could affect methane emissions is in the inhibition of methane oxidation by ammonium ions (Mohanty et al. 2006). Apparently, some methanotrophic organisms are also autotrophic ammonium-oxidizers and can potentially use ammonium, instead of methane, while using O₂ as an electron acceptor (Bykova et al. 2007). Hütsch et al. (1993) suggested that the lack CH₄ oxidation in soil fertilized with inorganic N, is the result of a long term effect.

Nevertheless, the impacts of N-fertilization on methane emissions remain far from understood and results of other research is not at all unanimous, with several other studies having found inconsistent or contradictory results on such relationships (Krüger and Frenzel 2003; Zou et al. 2005).

Most research about possible biochar effects on methane emissions has so far been conducted under aerobe or intermittently anaerobe hydric conditions (Asai et al. 2009; Masulili and Utomo 2010; Zhang et al. 2010). Adsorption of methane on the large surface area of biochar and subsequent chemical alteration seem the most plausible mechanisms by which biochar can reduce methane (and nitrous oxide) emissions (Zwieten et al. 2009). The strongly porous structure of charcoal is likely key for methane adsorption (Bagreev et al. 2001; Hitoshi et al.

2002). Metallic components on the surface of biochar such as TiO_2 may be important for in the subsequent oxidation of adsorbed methane (Oviedo and Sanz 2005). Results of our study indicate that charcoal-associated reductions in methane emissions may be more expressed at 'peak' flux situations (i.e., emissions-increases caused by N-fertilization) than at 'background' methane emission levels.

Results of our study confirm previous studies conducted in a variety of other environments on the great potential of biochar for the reduction of methane emissions (Rondon et al. 2006; Renner 2007). High variability of methane data, as encountered in this study, is a typical feature of such research (Knoblauch et al. 2010), and largely impeded significant charcoal-induced differences on a daily basis, but not the general conclusion on significant charcoal-induced reductions in methane emissions, especially in peak-flux situations provoked by nitrogen fertilization.

Charcoal-associated increase in available potassium of flooded soil (5.2) could play a key role in methane reductions, due to the stimulation of metanotrophic organisms and consequent inhibition of methane generation, and to the increase of redox potential resulting in methane oxidation (Chen et al. 1997; Babu et al. 2006). Our results are contrary to Zhang et al. (2010), who did not observe any effects of charcoal additions on methane emissions in intermittently-flooded rice cultivation in China.

5. Conclusions

This study does not support the existence of any siezable short-term agronomic potential of fine (i.e., residual) locally produced babassu charcoal, but does support the idea of mid-term benefits of charcoal on soil fertility buildup in anaerobe (flooded rice) environment with a predominantly synthetic fertilizer regime. Possibly even more importantly, charcoal does seem capable of substantially reducing irrigated rice methane emissions, especially in intensive rice production systems with high nitrogen fertilization.

6. Acknowledgments

We gratefully acknowledge financial support by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq N° 39/2007).

REFERÊNCIAS

- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T (2009) Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Research* 111: 81-84. doi:10.1016/j.fcr.2008.10.008
- Babu JY, Nayak DR, Adhya TK (2006) Potassium application reduces methane emission from a flooded field planted to rice. *Biology and Fertility of Soils* 42: 532-541. doi: 10.1007/s00374-005-0048-3
- Bagreev A, Bandosz TJ, Locke DC (2001) Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. *Carbon* 39: 1971-1977. doi: doi:10.1016/S0008-6223(01)00026-4
- Berglund LM, Deluca TH, Zackrisson TH (2004) Activated carbon amendments of soil alters nitrification rates in Scots pine forests. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 2067–2073. doi:10.1016/j.soilbio.2004.06.005
- Bykova S, Boeckx P, Kravchenko I, Galchenko V, Van Cleemput O (2007) Response of CH₄ oxidation and methanotrophic diversity to NH₄⁺ and CH₄ mixing ratios. *Biology and Fertility Soils* 43: 341-348. doi: 10.1007/s00374-006-0114-5
- Chan KY, Zwieten BLV, Meszaros I, Downie D, Joseph S (2008) Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research* 46: 437–444. doi: 10.1071/SR08036
- Chan KY, Xu Z (2009) Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. In: Lehmann, J. and Joseph, S. (ed) *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, London and Washington DC; pp. 67-81
- Chang TC, Luo YC, Yang SS (2000) Determination of greenhouse gases by open-path gas-type FTIR spectroscopy. *Food Science and Agricultural Chemistry* 2: 7-14
- Chen J, Xuan J, Du C, Xie J (1997) Effect of potassium nutrition of rice on rhizosphere redox status. *Plant and Soil* 188: 131-137. doi: 10.1023/A:1004264411323

Dobermann A, Fairhurst TH (2000) Rice nutrients disorders and nutrient management. Nutirent management in rice fields. Potash and phosphate institute (PPI), potash and phosphate institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI)

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997). Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. (ed.), 212 p

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1977) Manual de métodos de pesquisa em arroz: primeira aproximação. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Goiânia, 106p

Food Agriculture Organization – FAO (2010) OECD-FAO Agricultural Outlook 2010-2019. <https://www.fao.org.br/publicacoes.asp>. Accessed 12 july 2011

Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W (2001) The ‘Terra Preta’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissen-schaften* 88: 37–41. doi: 10.1007/s001140000193

Glaser B, Lehmann J, Zech W (2002) Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology and Fertility of Soils* 35: 219–230. doi: 10.1007/s00374-002-0466-4

Hitoshi T, Ai F, Haruo H (2002) Development of advanced utilization technologies for organic waste: (Part 1) Greenhouse gas and nutrient salt adsorption properties of wood-based charcoal. *Denryoku Chuo Kenkyujo Abiko Kenkyujo Hokoku*. Research Report of Abiko Research Laboratory, 17p. Access number: 02A0944660

Hütsch BW, Webster CP, Powlson DS (1993) Long term effects of nitrogen fertilization on methane oxidation in soil of the Broadbalk Wheat Experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 1307-1317. doi:10.1016/0038-0717(93)90045-D

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007) Agriculture. In: Metz B, Davidson OR, Bosch PR (eds.) *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of*

the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK/New York, pp. 498–540

Knoblauch C, Maarifat AA, Pfeiffer EM, Haefele SM (2010) Degradability of black carbon and its impact on trace gas fluxes and carbon turnover in paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 1768-1778. doi:10.1016/j.soilbio.2010.07.012

Kronzucker HJ, Britto DT, Davenport RJ, Tester M (2001) Ammonium toxicity and the real cost of transport. *Trends in Plant Science* 6: 335-337. doi: 10.1016/S1360-1385(01)02022-2

Krüger M, Frenzel P (2003) Effects of N-fertilization on CH₄ oxidation and production, and consequences for CH₄ emissions from microcosms and rice fields. *Global Change Biology* 9: 773– 784. doi: 10.1046/j.1365-2486.2003.00576.x

Le Leuch LM, Bandosz TJ (2007) The role of water and surface acidity on the reactive adsorption of ammonia on modified activated carbons. *Carbon* 45: 568–578. doi:10.1016/j.carbon.2006.10.016

Lehmann J, Silva JP, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B (2003) Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249: 343-357

Lehmann J, Gaunt J, Rondon M (2006) Bio-char sequestration in terrestrial Ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 403-427. doi: 10.1007/s11027-005-9006

Lehmann J (2007) A handful of carbon. *Nature* 447: 143–144. doi:10.1038/447143a

Lehmann J, Skjemstad JO, Sohi S (2008) Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon. *Nature Geoscience* 1: 832–835. doi: 10.1038/ngeo358

Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J et al (2006) Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1719-1730. doi: 10.2136/sssaj2005.0383

Lindau CW, Bollich PK, Delaune RD, Patrik WH, Law VJ (1991) Effect of urea fertilizer and environmental factors on methane emission from a Louisiana, USA rice field. *Plant and Soil* 136: 195– 203. doi: 10.1007/BF02150050

Luostarinen K, Vakkilainen E, Bergamov G (2010) Biochar filter - carbon containing ashes for agricultural purposes. Lappeenranta University of Technology, Faculty of Technology. LUT Energy, Research report 9

Mann CC (2002) The real dirt on rainforest fertility. *Science* 297: 920–923. doi: 10.1126/science.297.5583.920

Marris E (2006) Putting the carbon back: black is the new green. *Nature* 442: 624–626. doi: 0.1038/442624a

Masulili A, Utomo WH (2010) Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agricultural Science* 2:39-47

Morries P (1983) A century of Kjeldahl (1883-1983). *Journal of the Association of Public Analysts* 21: 53-58

Mohanty SR, Bodelier PLE, Floris V and Conrad R (2006) Differential Effects of Nitrogenous Fertilizers on Methane-Consuming Microbes in Rice Field and Forest Soils. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 1346-1354. doi: 10.1128/AEM.72.2.1346-1354

Novotny EH, Romeiro GA, Figueiredo MKK, et al (2008) ¹³C-NMR Spectroscopy evaluation of different pyrolysis feedstock. Apresentação de painel, 2008 International Biochar Initiative Conference, Newcastle, UK. <http://wenku.baidu.com/view/095bb41cb7360b4c2e3f64b4.html?from=related>. Accessed 20 June 2011

Oviedo J, Sanz J F (2005) N₂O decompositions on TiO₂ (110) from dynamic first principles calculations. *Journal of Physical Chemistry B* 109: 223-226. doi: 10.1021/jp053652o

Pietikäinen J, Kiikkilä O, Fritze H (2000) Charcoal as a habitat for microbes and its effects on the microbial community of the underlying húmus. *Oikos* 89: 231–242. doi: 10.1034/j.1600-0706.2000.890203.x

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas Instituto Agronômico, 285p

Renner R (2007) Rethinking biochar. *Environmental Science and Technology* 41: 5932-5933

Rolston DE (1986) Gas flux. In: Klute A (ed) *Methods of Soil Analysis*. 2nd ed. Agronomy Monograph No. 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, pp. 1103-1119

Rondon MA, Molina D, Hurtado M, Ramirez J, Lehmann J, Major J, Amezquita E (2006) Enhancing the Productivity of Crops and Grasses while Reducing Greenhouse Gas Emissions through Bio-Char Amendments to Unfertile Tropical Soils. 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA

Rondon MA, Lehmann J, Ramirez J, Hurtado M (2007) Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils* 43: 699-708. doi: 10.1007/s00374-006-0152-z

Singh PB, Hatton JB, Singh B, Cowie LA, Kathuria A (2010) Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality* 39:1224–1235. doi: 10.2134/jeq2009.0138

Sirisena DN, Wickramasinghe WMADB, Bandara WMJ et al (2004) Effect of fertilizer management on emission of methane and nitrous oxide from rice fields in low country intermediate zone of Sri Lanka. *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture* 6: 203-216

Statsoft (2004) *Statistica* (data analysis software system) Inc. Version 7. www.statsoft.com

Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J et al (2007) Long term effects of manure, charcoal, and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil* 291: 275–290. doi: 10.1007/s11104-007-9193-9

Steiner C, Das CK, Melear N, Lakly D (2010) Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environmental Quality* 39: 1236–1242. doi: 10.2134/jeq2009.0337

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ (1995) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2nd (ed) Porto Alegre (Boletim técnico, 5), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p

USA (1998) *Keys to soil taxonomy*. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. 8 (ed), 326p

Veloso CAC, Araújo SMB, Viégas IJM, Oliveira RF (2004) *Amostragem de Plantas para Análise Química*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Comunicado Técnico 121, 4p

Wang MY, Siddiqi MY, Ruth TJ, Glass ADM (1993) Ammonium uptake by rice roots. I. Kinetics of $^{13}\text{NH}_4^+$ influx across the plasmalemma. *Plant Physiology* 103: 1259–1267. doi: 10.1104/pp.103.4.1259

Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW, Rillig MC (2007) Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant and Soil* 300: 9–20. doi: 10.1007/s11104-007-9391-5

Yamato M, Okimori Y, Wibowo IF, Anshiori S, Ogawa M (2006) Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition* 52: 489–495. doi: 10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x

Yanai Y, Toyota K, Okazaki M (2007) Effect of charcoal addition on N_2O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil Science and Plant Nutrition* 53: 181–188. doi: 10.1111/j.1747-0765.2007.00123.x

Yu C, Tang Y, Fang M, Luo Z, Cen K (2005) Experimental study on alkali emission during rice straw pyrolysis. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)* 39: 1435-1444

Zhang A, Cui L, Pan G, Li L, Hussain Q, Zhang X, Zheng J, Crowley D (2010) Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 469–475. doi:10.1016/j.agee.2010.09.003

Zou J, Huang Y, Jiang J (2005) A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. *Global Biogeochemical Cycles* 19: 1-9. doi: 10.1029/2004GB002401

Zwieten LV, Singh B, Joseph S, Kimber S, Cowie A, Yin Chan K (2009) Biochar and emissions of non-CO₂ greenhouse gases from soil In: Lehmann J and Joseph S (eds) *Biochar for environmental management*. Earthscan, London and Washington DC, pp. 227-243

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO CULTIVO CONTÍNUO DE ARROZ IRRIGADO PARA A BAIXADA MARANHENSE, PERIFERIA NORDESTE DA AMAZÔNIA

**Avaliação econômica do cultivo contínuo de arroz irrigado para a Baixada Maranhense,
periferia nordeste da Amazônia**

**Economic evaluation of continuous rice cultivation for the Maranhão lowlands,
northeastern periphery of Amazonia**

Aurea Maria B. de Sousa¹ Raimundo Reginaldo dos Santos² Christoph Gehring¹

RESUMO

Mesmo com a alta produtividade (de até 6 Mg ha⁻¹) alcançada por meio de métodos modernos de cultivo de arroz irrigado, a agricultura familiar, especialmente os minifundiários, ainda não alcançam uma renda satisfatória. O presente trabalho teve como objetivo avaliar economicamente o cultivo contínuo de arroz irrigado / alagado para agricultores ribeirinhos, sob três doses de N, P e K, ao longo de três ciclos de cultivo, além de avaliar o desempenho de duas variedades de arroz. Para isso, foram quantificadas algumas variáveis produtivas, o rendimento de grãos e contabilizadas as despesas e os lucros médios obtidos com a atividade. Os resultados apontam que a linhagem CNA apresenta melhor comprimento de panícula e peso de 1000 grãos do que a cultivar Arariba, no segundo ciclo de cultivo. Entretanto foi mais suscetível ao ataque de broca, que reduziu significativamente a produtividade da cultura. Com o cultivo contínuo foi possível obter em média um rendimento anual de grãos acima de 10 Mg ha⁻¹ e lucratividade acima de R\$ 4 mil reais ha⁻¹, se a contratação de mão-de-obra terceirizada for dispensada (serviço que a agricultura familiar minifundiária raramente utiliza). Deste modo, o cultivo contínuo do arroz irrigado / alagado constitui uma estratégia

^{1*} Mestrado em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil. Caixa Postal 09, 65054-970. E-mail: christophgehring@yahoo.com.br. Autor para correspondência.

^{II} Rural Extension Service of Maranhão State (AGERP), Arari, MA, Brazil

viável de intensificação agrícola para a agricultura familiar ribeirinha, mesmo com a existência de alguns riscos operacionais (i) devido ao menor controle da tábua de água na época chuvosa, e (ii) da atração de pragas pela cultura contínua.

Palavras-chave: Agricultura Intensiva. Arroz inundado. Agricultura Familiar.

ABSTRACT

In spite of the high grain productivity (of 6 Mg ha⁻¹) achievable by modern irrigated rice cultivation, income generation remains insufficient for many smallholder farmers. This paper investigates the economic viability and potential of continuous irrigated / flooded rice cultivation for riverine smallholder agriculture along three consecutive cultivation cycles. Thus, we quantified some productivity aspects, grain yields and accounted the expenses and profits generated by the crop. Our results indicate that CNA was best in panicle length and 1000 grains weight than Arariba, in the second cycle, but was susceptible to pest attack, that reduced significantly the rice yield. Continuous rice cultivation allows for an annual grain production of more than 10 Mg ha⁻¹ and annual financial gains of more than R\$ 4.000 Brazilian reais ha⁻¹, providing the non-accountancy of hired labor (as smallholder farmers rarely hire external labor). Thus, continuous cultivation of irrigated / inundated rice is a viable strategy of agricultural intensification for smallholder riverine agriculture, in spite of the existence of operational risks (i) caused by reduced control of the water table during rainy season, and (ii) proliferation of pests as consequence of continuous cultivation.

Key words: Agricultural intensification; flooded rice; smallholder agriculture.

INTRODUÇÃO

O cultivo de arroz irrigado é conhecido como uma das formas mais intensivas de agricultura (IRRI, 2010), que já se encontra estabelecida na Baixada Maranhense, tanto para a agricultura familiar, quanto para grandes rizicultores. Entretanto, a competitividade dos pequenos agricultores no mercado regional é baixa devido principalmente ao aumento dos custos de produção, associados à estagnação dos preços dos produtos e o aumento limitado da produção do arroz, relacionado com o tamanho das áreas dos produtores (1 a 3 ha). Isso dificulta a melhoria da sua renda líquida e a garantia de boas condições de vida no campo e resulta na evasão dos agricultores para outros ramos da atividade econômica.

Os métodos modernos de cultivo de arroz irrigado concentram-se entre os meses de agosto a dezembro, época de estiagem para a região da Baixada Maranhense, e isso torna a produção de arroz irrigado uma atividade sazonal, devido à falta de oferta do produto no primeiro semestre do ano. Na época chuvosa, o pequeno rizicultor tende a migrar para outras atividades econômicas ou tenta sobreviver com a renda da produção do ano anterior.

O relevo plano e as características do solo (80% de argila), combinados com o regime pluviométrico da região, possibilitam a formação de uma lâmina de água sobre o solo, capaz de sustentar o cultivo de arroz com a utilização da água da chuva, eliminando as despesas com a irrigação, como ocorre nos cultivos sob lâmina de água controlada. Assim, uma alternativa promissora para o aumento da produção anual do arroz irrigado, que se adapte às condições do pequeno rizicultor, seria o cultivo contínuo de arroz irrigado, ou seja, a produção de arroz duas vezes no ano (época chuvosa e seca), com a utilização da mesma área.

Este trabalho se propôs a avaliar economicamente o cultivo contínuo do arroz irrigado, levando em consideração as despesas com insumos e contratação de mão de obra terceirizada, na expectativa de que o produtor possa dobrar a sua produção, aumentar a

disponibilidade de produtos no mercado, fixar-se na atividade orizícola e aumentar sua renda líquida.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram conduzidos na Estação Experimental da Embrapa Cocais e Planícies Inundáveis, no município de Arari, a 165 Km da capital São Luís, na Baixada Maranhense, planície do rio Mearim (03°27'30''S, 44°46'00''W), a 15 m acima do nível do mar. Os solos são classificados como Vertissolos Arquets (USA, 1998), com elevado teor de montmorilonita e ilita. O clima é classificado, de acordo com Köppen, como equatorial sub-úmido (*Aw*), com 1500-2000 mm de precipitação anual, com chuvas concentradas entre os meses janeiro a junho.

O cultivo contínuo do arroz irrigado se deu em três ciclos: agosto/dezembro de 2009 e 2010 (1° e 3° ciclos) e janeiro/maio de 2010 (2° ciclo). No 2° ciclo (época chuvosa) o arroz foi irrigado com a água da chuva, que somadas às características do solo, proporcionou a formação de uma lama, mantendo o solo saturado durante todo o cultivo. Entre agosto e dezembro (1° e 3° ciclo), época de estiagem, o arroz foi mantido sob uma lâmina de água, atingindo 15 cm de altura, desde o transplante até a fase de colheita.

Foi utilizada uma cultivar de ciclo médio (cv. ARARIBA) e uma linhagem de ciclo longo (CNA 10.896) para a avaliação de seus rendimentos. O N foi parcelado em três aplicações: 5% antes do plantio e os 95% restantes divididos igualmente entre o início do perfilhamento e a diferenciação do primórdio floral. Assim, os tratamentos arranjados em blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 4 repetições, foram distribuídos em 16 parcelas de 5 m x 3 m (15 m²) conforme a Tabela 1.

A análise econômica se baseou na contabilização das médias das despesas totais e da rentabilidade líquida (lucro) por tratamento, em cada ciclo. Os gastos com mão de obra

correspondem às diárias com trabalhos de nivelamento, confecção de sementeira, incubação da semente, adubações (de plantio e coberturas), arranquio e transplante de mudas, aplicação de defensivos, colheita e secagem. Os outros gastos representam os insumos como sementes, defensivos, fertilizantes, sacos de nylon de 50 kg, barbantes, as despesas com corrente elétrica para bombeamento da água nos ciclos 1 e 3, e serviços de aração, gradagem e entaipamento, que foram pagos em função das horas trabalhadas pelo trator.

A produtividade de grãos na área útil de cada parcela foi mensurada no final do cultivo, corrigida à 14% de umidade e expressa em Mg ha^{-1} . Também foram mensurados alguns parâmetros produtivos como o comprimento de panícula (cm) e peso de 1000 grãos (g), em 5 plantas por parcela. A soca não foi quantificada devido a problemas no enchimento dos grãos e em função da coincidência da fase reprodutiva das cultivares utilizadas, em todos os ciclos.

No 2º ciclo, durante o estágio V3 do arroz, ao se observar a proliferação da larva de broca do colo (*Ochetina uniformis*, Pascoe), procedeu-se a contagem do número de plantas atacadas por parcela, antes de efetuar o controle químico com o inseticida sistêmico Cabofuran (Furadan 5G), na dose de 8 kg ha^{-1} . O número de plantas atacadas por broca foi convertido para porcentagem de plantas para o estabelecimento de possíveis relações entre o ataque da praga e o rendimento da cultura.

Os dados foram analisados pelo programa Statistica7.0, submetidos a teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors a 5% de probabilidade (LILLIEFOR'S, 1967; SATSOFT, 2004) e à análise de variância paramétrica. Foi utilizada regressão linear para estabelecer a relação entre o ataque de pragas e rendimento de grãos do arroz.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de grãos do arroz não apresentou diferenças entre as cultivares, mas foram observadas diferenças significativas no comprimento de panícula, nos 2º e 3º ciclos, e no peso de 1000 grãos, no 2º ciclo (Figura 1). Não foram observados efeitos das doses de N, P e K aplicados no solo, nos 3 ciclos de cultivo. Entretanto, a diferença no rendimento de grãos entre os ciclos (Figura 2) foi forte e significativa ($p < 0,01$), seguindo a ordem: 3º ciclo ($7,9 \pm 0,10 \text{ Mg ha}^{-1}$), 1º ciclo ($5,8 \pm 0,07 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 2º ciclo ($3,6 \pm 0,15 \text{ Mg ha}^{-1}$). O menor rendimento no 2º ciclo ainda persiste mesmo levando-se em consideração as doses coincidentes de fertilizante, entre os ciclos ($3,45 \pm 0,16$ e $3,95 \pm 0,34 \text{ Mg ha}^{-1}$, média e erro padrão da menor e maior dose coincidente de adubo, respectivamente). Entretanto, no 2º ciclo, o ataque da broca do colo reduziu significativamente a produtividade do arroz (Figura 3). A linhagem CNA apresentou maior suscetibilidade ao ataque (cerca de $5,6 \pm 2,3\%$ a mais, com $p = 0,08$).

A falta de resposta do arroz aos níveis de adubação provavelmente pode ser explicada pela alta fertilidade natural dos solos da região, ricos em argila do tipo 2:1. Além disso, a área vem sendo utilizada para cultivos de arroz há um longo tempo, com aplicações de elevadas doses de adubo, o que pode promover um efeito residual sobre os cultivos consecutivos, com inibição das respostas à adubação. Segundo FAGERIA et al. (2003) há uma curva quadrática de resposta à adubação, em que a produtividade da cultura não se altera a partir de uma determinada dose de fertilizante aplicado.

As menores doses de fertilizantes aplicadas no 2º ciclo não foram as principais causas determinantes da redução do rendimento de grãos, mas o aumento da nebulosidade nessa época pode ter interferido na fotossíntese da planta e resultado em menores rendimentos (CRUZ, 2010), além do ataque da broca, que não foi observada nos 1º e 3º ciclos. De acordo

com SOUSA (2002), a broca do colo pode causar perdas de até 64 % na produtividade dos grãos.

Quanto à análise econômica os resultados apontam que o lucro e uma considerável redução nas despesas totais são obtidos, quando não há os gastos com a contratação de mão de obra terceirizada, em todos os ciclos (Figura 4). Entretanto, o trabalho em questão é voltado para agricultores familiares que dispõem de reduzidas áreas de cultivo (1 a 3 ha) e raramente contratam serviços de terceiros que, neste trabalho, comprometeram em média 62,7 % dos gastos e conduziram a um prejuízo médio de R\$ 26,24 por ciclo. Além disso, a diária de um trabalhador rural é reajustada a cada dois anos e no período de 2009/2010 houve um incremento de 75% sobre o valor praticado em 2007/2008 (R\$ 20,00), enquanto que o preço de mercado do kg do arroz em casca manteve-se inalterado (R\$ 0,60).

Comparando-se com o cultivo praticado somente na época de estiagem, que neste trabalho rendeu em média 6,85 Mg ha⁻¹, o cultivo na época chuvosa incrementa 3,6 Mg ha⁻¹ a mais, totalizando uma produção anual de 10,45 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). Assim, sem a contratação de mão de obra terceirizada é possível obter um lucro anual de R\$ 3.901,50, com apenas 137 dias de trabalho (ou 4,5 meses), obtendo um rendimento diário de R\$ 28,48. Multiplicando-se o rendimento diário pelo total de dias e dividindo-se pelos n° de meses trabalhados temos um total por mês de R\$ 867,06. Esse valor supera em 37,14% o salário mínimo praticado atualmente no Brasil (R\$ 545,00).

Essa renda poderia aumentar mais ainda se fosse considerado o rendimento de pelo menos uma soca (a do período mais produtivo, por exemplo), que pode render até 50% da produção principal (COSTA et al., 2000). Assim, a produção anual aumentaria para 13,88 Mg ha⁻¹ ano, incrementando R\$ 1.840,00 sobre a renda líquida e, com mais 25 dias de trabalho, chaga-se a um salário mensal de R\$ 1.083,26.

Acredita-se que devido ao longo tempo de cultivos no local, com objetivos de potencializar a produção anualmente, o solo tenha recebido elevadas cargas de fertilizantes, o que pode ter aumentado o efeito residual sobre os sucessivos cultivos. A consequência foi que as doses de fertilizantes não exerceram efeitos sobre o rendimento de grãos. Como na região é comumente aplicada a dose média de adubação, pode-se fazer essa análise sobre esse tratamento, com utilização da linhagem CNA na estação chuvosa, que apresentou melhor rendimento, além de vantagens agronômicas sobre a cultivar ARARIBA. Assim, a produção anual ficaria em torno de $10,35 \text{ Mg ha}^{-1}$, com um lucro de R\$ 3.960,00 e um rendimento diário de R\$ 28,91, aproximadamente. Ao considerar que as despesas com corrente elétrica, precária ou inacessível em determinados locais, deve-se analisar se há ou não vantagens na utilização de bomba com motores a diesel para a irrigação da lavoura na época de estiagem.

O modelo proposto mostra a possibilidade de aumentar a produção de arroz e incrementar a renda líquida dos agricultores familiares sem a necessidade de expandir a área de cultivo. Entretanto, é importante considerar que essa atividade envolve uma série de riscos iminentes. Um deles é de caráter ecológico que pode proporcionar o aumento da infestação de pragas ou plantas daninhas e, conseqüentemente, intensificar o uso de pesticidas químicos, além de aumentar o risco de contaminação dos mananciais próximos; pode também contribuir para a exaustão da fertilidade natural do solo e aumentar a emissões de gases de efeito estufa, como o metano, que em arroz irrigado chega a 19% das emissões totais desse gás (IPCC, 2007). Os riscos de caráter econômico envolvem a perda da produção agrícola no 2º ciclo, em decorrência da inundação das áreas de cultivo, proveniente da enchente do rio, que ocasionalmente podem assolar a região. O ataque de pragas, doenças ou competição com plantas daninhas, além dos fatores climáticos envolvidos no 2º ciclo, como o aumento da nebulosidade ou a elevada umidade que dificulta a secagem dos grãos, também interferem negativamente na produtividade da cultura. Em caráter social, porém, gera uma alternativa de

ocupação do agricultor familiar, o que pode minimizar a evasão do homem do campo, além de contribuir com o aumento da renda.

CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que o cultivo contínuo de arroz irrigado constitui uma alternativa rentável para a agricultura familiar ribeirinha, que pode garantir a fixação do pequeno produtor no campo e a contínua oferta de produto. Porém, é necessária a utilização de técnicas que visem reduzir os impactos gerados pela atividade. Essas técnicas devem levar em consideração a manutenção da matéria orgânica do solo, um manejo alternativo de pragas, doenças e plantas daninhas e redução das emissões de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

- COSTA, E. G. C., et al. Características agronômicas da cultura principal e da soca de arroz irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, p. 15-24, 2000. (Edição Especial). Disponível em <http://www.editora.ufla.br/site/revista_detalhes.php?r=24&n=56>. Acesso em: 20 jun. 2011.
- CRUZ, R. P. **Exigências Climáticas para a cultura do arroz irrigado**. Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), 2010, 40p. (Boletim Técnico 11).
- FAGERIA, N. K., et al. **Manejo de Nitrogênio em Arroz Irrigado**. Embrapa, 2003, 4p. (Circular Técnica 58).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Agriculture. In: METZ, B., et al. (Eds.) **Climate Change, 2007: Mitigation, contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK/New York, p. 498–540, 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch8.html>. Acesso em: 25 jul. 2011.

IRRI (International Rice Research Institute). **World Rice Statistics 2010**. Disponível em <<http://irri.org/about-rice/rice-facts/rice-production-and-processing>>. Acesso em: 22 jul. 2011.

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62, p. 399-402, 1967. Disponível em <<http://www.jstor.org/pss/2283970>>. Acesso em: 10 jun. 2011.

SOUSA, A. D. **Danos de *Ochetina uniformis* (Pascoe, 1881) (Coleoptera, Eirirhinidae, Eirirhininae), sob diferentes níveis populacionais, na cultura de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.)**. 2004. 65f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

STATSOFT. Statistica (data analysis software system), Inc. 2004. Version 7. <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 10 jun. 2011.

Tabela 1. Esquema experimental dos tratamentos do cultivo contínuo de arroz irrigado.

Doses de adubação + Cultivar ou Linhagem	1º e 3º ciclos (agosto a dezembro de 2009/2010)			2º ciclo (janeiro a maio de 2010)		
	N	P	K	N	P	K
	kg ha ⁻¹					
Mínima + Arariba	50	30	15	25	15	7,5
Média + Arariba	100	60	30	50	30	15
Média + CNA	100	60	30	50	30	15
Máxima + Arariba	200	120	60	100	60	30

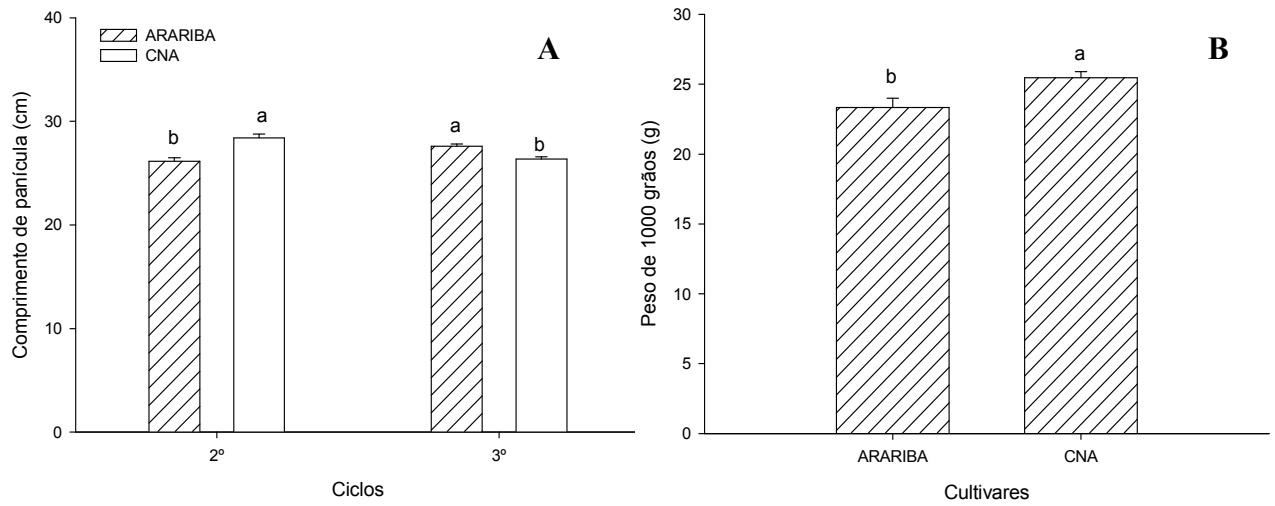


Figura 1. Diferenças no comprimento médio de panícula entre as cultivares, no 2º e 3º ciclos (A) e peso médio de 1000 grãos na cultivar ARARIBA e CNA, no 2º ciclo (B). Média e erro padrão (letras diferentes denotam diferenças significativas entre os ciclos e cultivares, pelo teste t, ao nível de 5%).

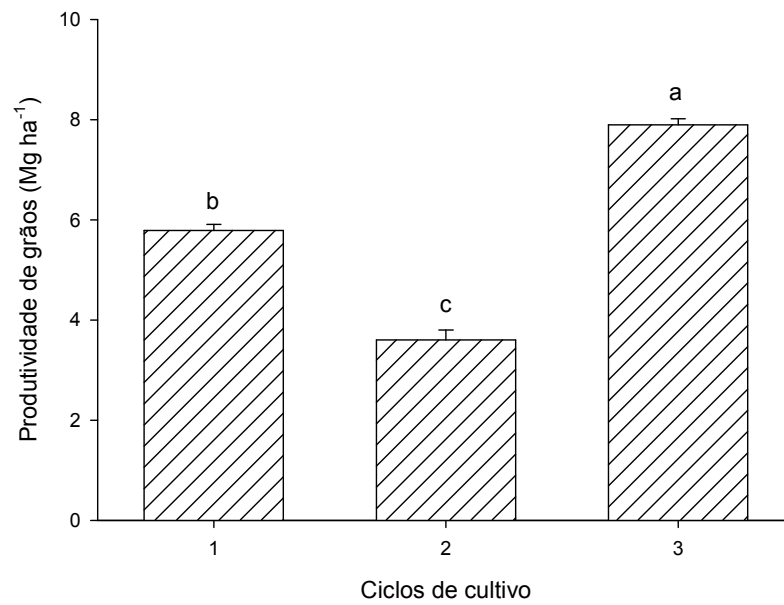


Figura 2. Produtividade do arroz nos três ciclos de cultivo. Média e erro padrão (letras diferentes denotam diferenças significativas entre os ciclos, pela ANOVA, ao nível de 5%).

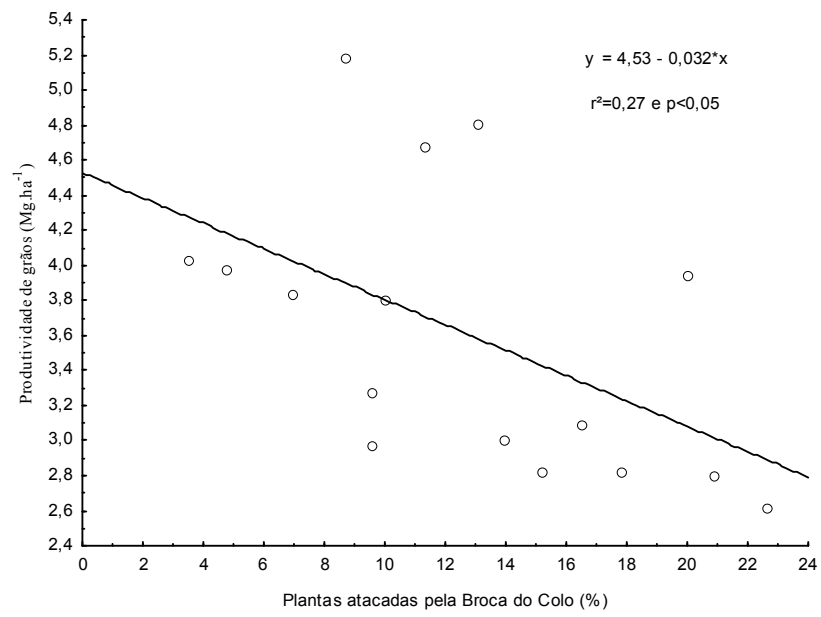


Figura 3. Efeito do ataque de broca do colo sobre a produtividade de grãos em arroz irrigado, no 2º ciclo de cultivo.

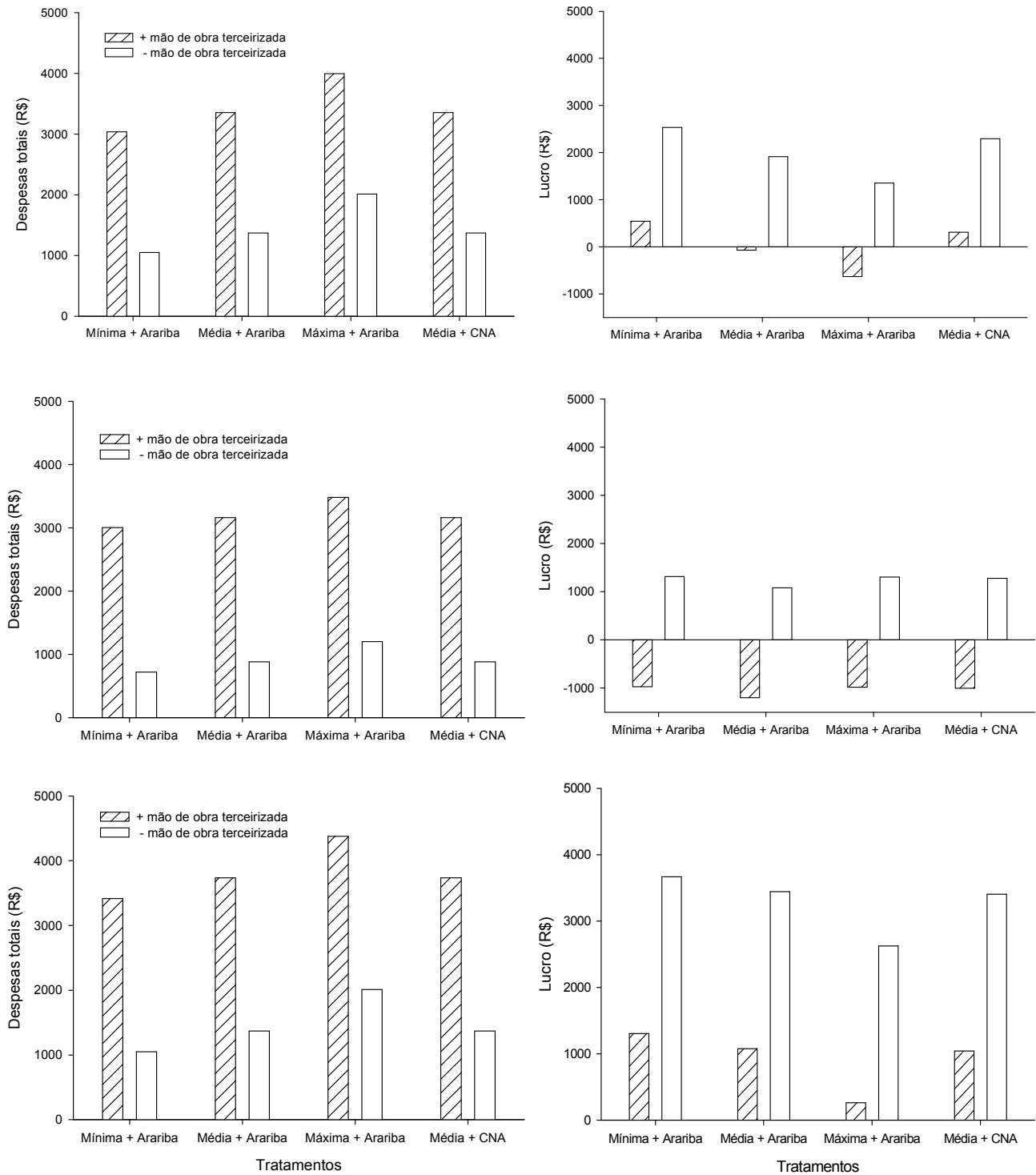


Figura 4. Despesas totais (esquerda) e lucro (direita) com e sem contratação de mão de obra, em 3 ciclos de cultivo contínuo de arroz irrigado: 1º (topo), 2º (meio) e 3º (abaixo).

Tabela 2. Balanço econômico dos cultivos das épocas de estiagem (1° e 3° ciclos), chuvosa (2° ciclo) e nas duas épocas, sem a contratação de mão de obra terceirizada.

Tratamentos	Época de estiagem (média entre o 1° e o 3° ciclos)				Época chuvosa (2° ciclo)				Total por ano			
	Rend. Grãos	Despesas	Lucros	Rend./ dia	Rend. Grãos	Despesas	Lucros	Rend./ dia	Rend. Grãos	Despesas	Lucros	Rend./ dia
	Mg ha ⁻¹	R\$			Mg ha ⁻¹	R\$			Mg ha ⁻¹	R\$		
Mín.+Arariba	6,92	1.050,00	3.102,00	38,78	3,39	720,00	1.314,00	17,52	10,31	1.770,00	4.416,00	32,23
Méd.+Arariba	6,75	1.370,00	2.680,00	33,50	3,27	880,00	1.082,00	14,43	10,02	2.250,00	3.762,00	27,46
Máx.+Arariba	6,67	2.010,00	1.992,00	24,90	4,17	1.200,00	1.302,00	17,36	10,84	3.210,00	3.294,00	24,04
Méd.+CNA	7,04	1.370,00	2.854,00	35,68	3,60	880,00	1.280,00	17,07	10,64	2.250,00	4.134,00	30,18
Média	6,85	1.450,00	2.657,00	33,21	3,61	920,00	1.244,50	16,59	10,45	2.370,00	3.901,50	28,48
Soca	3,43	218,00	1.840,00	73,6					3,43	218,00	1.840,00	73,6
Total									13,88	2.588,00	5.741,50	35,44

ANEXOS

NORMAS DAS REVISTAS

NUTRIENT CYCLING IN AGROECOSYSTEMS

(Capítulo 2)

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.

Note: If you use Word 2007, do not create the equations with the default equation editor but use the Microsoft equation editor or MathType instead.

- Save your file in doc format. Do not submit docx files.
- [Word template \(zip, 154 kB\)](#)

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- [LaTeX macro package \(zip, 182 kB\)](#)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data).

Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

Please always use internationally accepted signs and symbols for units, SI units.

Genus and species names should be in italics.

Generic names of drugs and pesticides are preferred; if trade names are used, the generic name should be given at first mention.

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1993).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

- Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325–329

- Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med.* doi:10.1007/s001090000086

- Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics.* Blackwell, London

- Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

- Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

- Dissertation

Trent JW (1975) *Experimental acute renal failure.* Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

- [EndNote style \(zip, 3 kB\)](#)

Tables

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.

- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

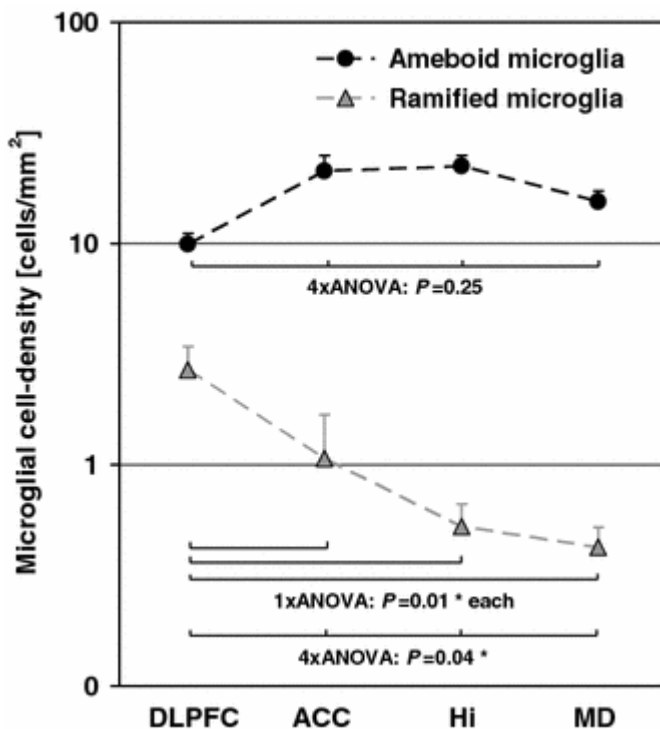
Artwork

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork – photographs, line drawings, etc. – in an electronic format. Your art will then be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

Electronic Figure Submission

- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

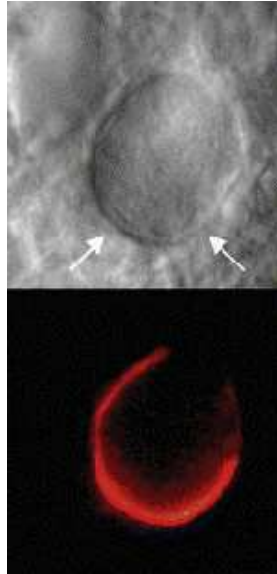
Line Art



- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

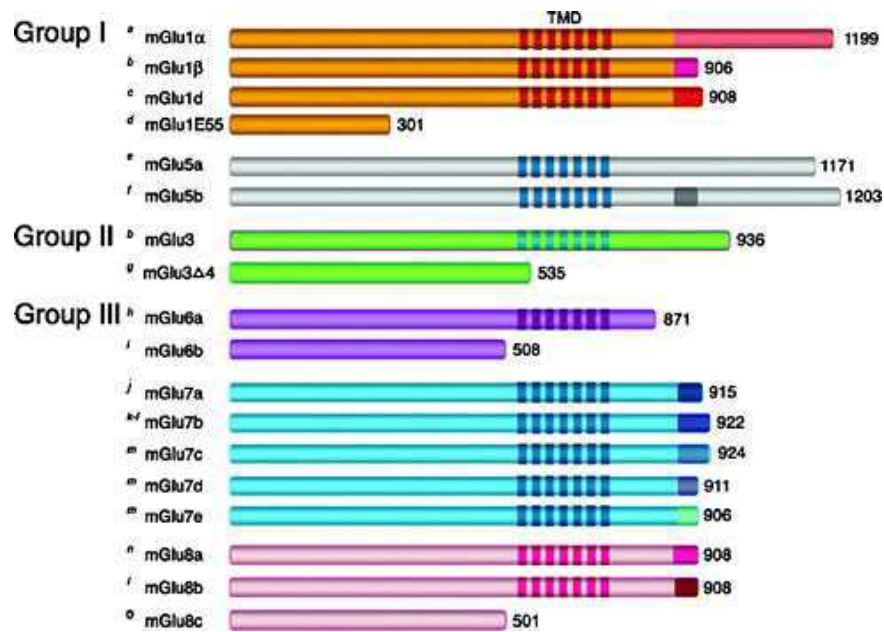
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art



- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art



- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (color-blind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Electronic Supplementary Material

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This

feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Submission

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

- Always use MPEG-1 (.mpg) format.

Text and Presentations

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

- Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.
- If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

- Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.
- Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

- Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

Dear Dr Christoph Gehring,

Thank you for submitting your manuscript,

"Biochar in flooded rice cultivation with differing fertilizer regimes: Effects on rice performance, nutrient availability and methane emissions in the eastern periphery of Amazonia", to Nutrient Cycling in Agroecosystems

During the review process, you can keep track of the status of your manuscript by accessing the following web site:

<http://fres.edmgr.com/>

Your username is: Cgehring

Your password is: ilse69

If your manuscript is accepted for publication in Nutrient Cycling in Agroecosystems, you

may elect to submit it to the Open Choice program. For information about the Open Choice program, please access the following URL: <http://www.springer.com/openchoice>

Thank you very much.

With kind regards,

Journals Editorial Office FRES

Springer

CIÊNCIA RURAL

(Capítulo 3)

Normas para publicação

1. CIÊNCIA RURAL - Revista Científica do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria publica artigos científicos, revisões bibliográficas e notas referentes à área de Ciências Agrárias, que deverão ser destinados com exclusividade.

2. Os artigos científicos, revisões e notas devem ser encaminhados via [eletrônica](#) e editados em idioma Português ou Inglês. Todas as linhas deverão ser numeradas e paginadas no lado inferior direito. O trabalho deverá ser digitado em tamanho A4 210 x 297mm com, no máximo, 25 linhas por página em espaço duplo, com margens superior, inferior, esquerda e direita em 2,5cm, fonte Times New Roman e tamanho 12. **O máximo de páginas será 15 para artigo científico, 20 para revisão bibliográfica e 8 para nota, incluindo tabelas, gráficos e figuras.** Figuras, gráficos e tabelas devem ser disponibilizados ao final do texto e individualmente por página, sendo que **não poderão ultrapassar as margens e nem estar com apresentação paisagem.**

3. O artigo científico deverá conter os seguintes tópicos: Título (Português e Inglês); Resumo; Palavras-chave; Abstract; Key words; Introdução com Revisão de Literatura; Material e Métodos; Resultados e Discussão; Conclusão e Referências; Agradecimento(s) e Apresentação; Fontes de Aquisição; Informe Verbal; Comitê de Ética e Biossegurança devem aparecer antes das referências. **Pesquisa envolvendo seres humanos e animais obrigatoriamente devem apresentar parecer de aprovação de um comitê de ética institucional já na submissão** (Modelo [.doc](#), [.pdf](#)).

4. A revisão bibliográfica deverá conter os seguintes tópicos: Título (Português e Inglês); Resumo; Palavras-chave; Abstract; Key words; Introdução; Desenvolvimento; Conclusão; e Referências. Agradecimento(s) e Apresentação; Fontes de Aquisição e Informe Verbal; Comitê de Ética e Biossegurança devem aparecer antes das referências. **Pesquisa envolvendo seres humanos e animais obrigatoriamente devem apresentar parecer de aprovação de um comitê de ética institucional já na submissão** (Modelo [.doc](#), [.pdf](#)).

5. A nota deverá conter os seguintes tópicos: Título (Português e Inglês); Resumo; Palavras-chave; Abstract; Key words; Texto (sem subdivisão, porém com introdução; metodologia; resultados e discussão e conclusão; podendo conter tabelas ou figuras); Referências. Agradecimento(s) e Apresentação; Fontes de Aquisição e Informe Verbal; Comitê de Ética e Biossegurança devem aparecer antes das referências. **Pesquisa envolvendo seres humanos e animais obrigatoriamente devem apresentar parecer de aprovação de um comitê de ética institucional já na submissão.** (Modelo [.doc](#), [.pdf](#)).

6. Não serão fornecidas separatas. Os artigos encontram-se disponíveis no formato pdf no endereço eletrônico da revista www.scielo.br/cr.

7. Descrever o título em português e inglês (caso o artigo seja em português) - inglês e português (caso o artigo seja em inglês). Somente a primeira letra do título do artigo deve ser maiúscula exceto no caso de nomes próprios. Evitar abreviaturas e nomes científicos no título. O nome científico só deve ser empregado quando estritamente necessário. Esses devem aparecer nas palavras-chave, resumo e demais seções quando necessários.

8. As citações dos autores, no texto, deverão ser feitas com letras maiúsculas seguidas do ano de publicação, conforme exemplos: Esses resultados estão de acordo com os reportados por MILLER & KIPLINGER (1966) e LEE et al. (1996), como uma má formação congênita (MOULTON, 1978).

9. As Referências deverão ser efetuadas no estilo ABNT (NBR 6023/2000) conforme normas próprias da revista.

9.1. Citação de livro:

JENNINGS, P.B. **The practice of large animal surgery**. Philadelphia : Saunders, 1985. 2v.

TOKARNIA, C.H. et al. (Mais de dois autores) **Plantas tóxicas da Amazônia a bovinos e outros herbívoros**. Manaus : INPA, 1979. 95p.

9.2. Capítulo de livro com autoria:

GORBAMAN, A. A comparative pathology of thyroid. In: HAZARD, J.B.; SMITH, D.E. **The thyroid**. Baltimore : Williams & Wilkins, 1964. Cap.2, p.32-48.

9.3. Capítulo de livro sem autoria:

COCHRAN, W.C. The estimation of sample size. In: _____. **Sampling techniques**. 3.ed. New York : John Willey, 1977. Cap.4, p.72-90.

TURNER, A.S.; McILWRAITH, C.W. Fluidoterapia. In: _____. **Técnicas cirúrgicas em animais de grande porte**. São Paulo : Roca, 1985. p.29-40.

9.4. Artigo completo:

O autor deverá acrescentar a url para o artigo referenciado e o número de identificação DOI (Digital Object Identifiers), conforme exemplos abaixo:

MEWIS, I.; ULRICHS, CH. Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Stored Product Research**, Amsterdam (Cidade opcional), v.37, p.153-164, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0022-474X\(00\)00016-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-474X(00)00016-3)>. Acesso em: 20 nov. 2008. doi: 10.1016/S0022-474X(00)00016-3.

PINTO JUNIOR, A.R. et al (Mais de 2 autores). Resposta de *Sitophilus oryzae* (L.), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) e *Oryzaephilus surinamensis* (L.) a diferentes concentrações de terra de diatomácea em trigo armazenado a granel. **Ciência Rural**, Santa Maria (Cidade opcional), v. 38, n. 8, p.2103-2108, nov. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000800002&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 25 nov. 2008. doi: 10.1590/S0103-84782008000800002.

9.5. Resumos:

RIZZARDI, M.A.; MILGIORANÇA, M.E. Avaliação de cultivares do ensaio nacional de girassol, Passo Fundo, RS, 1991/92. In: JORNADA DE PESQUISA DA UFSM, 1., 1992, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria : Pró-reitoria de Pós-graduação e Pesquisa, 1992. V.1. 420p. p.236.

9.6. Tese, dissertação:

COSTA, J.M.B. **Estudo comparativo de algumas características digestivas entre bovinos (Charolês) e bubalinos (Jafarabad)**. 1986. 132f. Monografia/Dissertação/Tese

(Especialização/ Mestrado/Doutorado em Zootecnia) - Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria.

9.7. Boletim:

ROGIK, F.A. **Indústria da lactose**. São Paulo : Departamento de Produção Animal, 1942. 20p. (Boletim Técnico, 20).

9.8. Informação verbal:

Identificada no próprio texto logo após a informação, através da expressão entre parênteses.

Exemplo: ... são achados descritos por Vieira (1991 - Informe verbal). Ao final do texto, antes das Referências Bibliográficas, citar o endereço completo do autor (incluir E-mail), e/ou local, evento, data e tipo de apresentação na qual foi emitida a informação.

9.9. Documentos eletrônicos:

MATERA, J.M. **Afecções cirúrgicas da coluna vertebral: análise sobre as possibilidades do tratamento cirúrgico**. São Paulo : Departamento de Cirurgia, FMVZ-USP, 1997. 1 CD.

GRIFON, D.M. Arthroscopic diagnosis of elbow displasia. In: WORLD SMALL ANIMAL VETERINARY CONGRESS, 31., 2006, Prague, Czech Republic. **Proceedings...** Prague: WSAVA, 2006. p.630-636. Acessado em 12 fev. 2007. Online. Disponível em: <http://www.ivis.org/proceedings/wsava/2006/lecture22/Griffon1.pdf?LA=1>

UFRGS. **Transgênicos**. Zero Hora Digital, Porto Alegre, 23 mar. 2000. Especiais. Acessado em 23 mar. 2000. Online. Disponível em: <http://www.zh.com.br/especial/index.htm>

ONGPHIPHADHANAKUL, B. Prevention of postmenopausal bone loss by low and conventional doses of calcitriol or conjugated equine estrogen. **Maturitas**, (Ireland), v.34, n.2, p.179-184, Feb 15, 2000. Obtido via base de dados MEDLINE. 1994-2000. Acessado em 23 mar. 2000. Online. Disponível em: <http://www.Medscape.com/server-java/MedlineSearchForm>

MARCHIONATTI, A.; PIPPI, N.L. Análise comparativa entre duas técnicas de recuperação de úlcera de córnea não infectada em nível de estroma médio. In: SEMINARIO LATINOAMERICANO DE CIRURGIA VETERINÁRIA, 3., 1997, Corrientes, Argentina. **Anais...** Corrientes : Facultad de Ciencias Veterinarias - UNNE, 1997. Disquete. 1 disquete de 31/2. Para uso em PC.

10. Desenhos, gráficos e fotografias serão denominados figuras e terão o número de ordem em algarismos arábicos. A revista não usa a denominação quadro. As figuras devem ser disponibilizadas individualmente por página. Os desenhos figuras e gráficos (com largura de no máximo 16cm) devem ser feitos em editor gráfico sempre em qualidade máxima com pelo menos 300 dpi em extensão .tiff. As tabelas devem conter a palavra tabela, seguida do número de ordem em algarismo arábico e não devem exceder uma lauda.

11. Os conceitos e afirmações contidos nos artigos serão de inteira responsabilidade do(s) autor(es).

12. Será obrigatório o cadastro de todos autores nos metadados de submissão. O artigo não tramitará enquanto o referido item não for atendido. Excepcionalmente, mediante consulta prévia para a Comissão Editorial outro expediente poderá ser utilizado.

13. Lista de verificação (Checklist [.doc](#), [.pdf](#)).

14. Os artigos serão publicados em ordem de aprovação.

15. Os artigos não aprovados serão arquivados havendo, no entanto, o encaminhamento de uma justificativa pelo indeferimento.

16. Em caso de dúvida, consultar artigos de fascículos já publicados antes de dirigir-se à Comissão Editorial.

Você Aurea Maria Barbosa de Sousa,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "CR-6083 - Avaliação econômica do cultivo contínuo de arroz irrigado para a Baixada Maranhense, periferia nordeste da Amazônia" para Ciência Rural. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://submission.scielo.br/index.php/cr/author/submission/70165>

Login: 09age101

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Rudi Weiblen

Ciência Rural