



XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

CONDICIONADOR DE SOLO A BASE DE RESÍDUOS ORGÂNICOS CARBONIZADOS (*BIOCHAR*) E FUNCIONALIZADOS: ESTRATÉGIA PARA AUMENTO DA QUALIDADE DO SOLO E SEQÜESTRO DE CARBONO

Etelvino Henrique Novotny

1 RESUMO

As *Terras Pretas de Índios*, encontradas na Amazônia, são solos antropogênicos arqueológicos extremamente férteis. Esses solos foram enriquecidos em carbono pirogênico durante séculos pelas comunidades pré-colombianas. O estudo da matéria orgânica do solo (MOS) das *Terras Pretas de Índios* possibilitou a definição de um eficiente modelo para a melhoria das condições físico-químicas do solo e seqüestro de carbono. Conhecendo-se a estrutura e propriedades do modelo, pode-se buscar materiais e técnicas que visem reproduzir esse modelo numa forma expedita.

Materiais carbonizados apresentam grupos aromáticos condensados que garantem sua recalcitrância no solo (estimativas da sua meia-vida variam de séculos a milênios), sendo assim um eficiente material para o seqüestro de carbono, ainda mais ao se considerar que o solo é o maior reservatório superficial de carbono, excedendo toda a biomassa por um fator de 3 ou 4. Entretanto esses materiais não apresentam os grupos funcionais carboxílicos, que são importantes para sua reatividade e contribuição para a capacidade do solo em reter nutrientes, como ocorre na MOS das *Terras Pretas de Índios*. Porém estudos preliminares indicam que é possível a funcionalização desses materiais por via química (oxidação ácida), biológica (compostagem) ou enzimática.

A aplicação desses materiais carbonizados aos solos agrícolas pode ser um importante mecanismo de seqüestro de carbono e descarte de resíduos. Além disso, a aplicação de materiais carbonizados ao solo ou a utilização como matéria-prima para a produção de fertilizantes granulados minerais, orgânicos ou organominerais, de liberação controlada ou lenta de nutrientes, propicia outros benefícios, tais como: aumento da produtividade agrícola; supressão das emissões de metano e óxidos nitrosos; redução da necessidade de fertilizantes e; redução das lixiviações de nutrientes e, principalmente, o aumento da eficiência agrônômica dos fertilizantes. Assim sendo, além dos benefícios econômicos diretos, os benefícios ambientais também devem ser levados em

consideração, especialmente no que concerne às mudanças climáticas globais (seqüestro de carbono e redução das emissões de outros gases do efeito estufa) e maior eficiência energética da agricultura, devido ao aumento da produtividade, menor uso de fertilizantes e menores perdas de nutrientes.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Efeito estufa natural e antrópico

O aumento de gases causadores de efeito estufa (GEE) na atmosfera, principalmente CO₂, CH₄ e N₂O, tem alertado a comunidade científica nas últimas décadas (<http://www.forumclimabr.org.br/index.asp>). Entre 1861 e 2000, a temperatura média global aumentou 0,6 °C. Por outro lado, encontram-se relatos científicos sobre as conseqüências negativas da atividade antrópica na paisagem datados já de 1864 e, mais recentemente, em 1956, foi constatado que, uma das mudanças globais mais incontestáveis nos últimos três séculos, devido a ação direta do homem, é a mudança da cobertura das terras (Ramankutty et al., 2001). A expansão da agricultura através da derrubada de florestas durante os últimos 140 anos levou a uma liberação líquida de 121 Gt de carbono para a atmosfera (1 Gt = 1.000.000.000 t) e o Brasil é o maior responsável (single contributor) pela emissão de gases de efeito estufa pela mudança no uso da terra (Watson et al., 2000; Fearnside, 2001).

Embora não seja consenso, possíveis conseqüências desse aumento antrópico de GEE são as conhecidas mudanças climáticas. As precipitações pluviométricas têm se alterado com chuvas mais torrenciais e o fenômeno “El Niño” tem se tornado mais freqüente, persistente e intenso (Garrity & Fisher, 2001). Mantendo-se a mesma tendência atual, a temperatura média da Terra aumentará entre 1,4 e 5,8 °C até 2100 com áreas terrestres se aquecendo mais que os oceanos e causando uma elevação no nível do mar entre 9 e 88 cm. A maioria da comunidade científica internacional preconiza que se não houver nenhuma ação mitigadora, os efeitos das mudanças climáticas serão devastadores, ocorrendo aumento na incidência de temporais intercalados por anos de seca prolongada (Fearnside, 2001; Garrity & Fisher, 2001). A produção mundial de alimentos e a agricultura brasileira, tão dependentes da sazonalidade e constância climática, serão seriamente afetadas pelas mudanças climáticas (Canziani et al., 1998).

O Protocolo de Quioto, estabelecido em dezembro de 1997, durante a Terceira Sessão da Conferência das Partes (COP 3) da Convenção Quadro da ONU para a Mudança Climática (UNFCCC), definiu metas de redução nas emissões de GEE para a atmosfera. Entre 2008 e 2012, a Europa deverá reduzir as emissões em 8% abaixo dos níveis de 1990. Os Estados Unidos e o Japão

deverão reduzir em 7 e 6%, respectivamente. O objetivo da UNFCCC é estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera, a um nível que permita limitar os impactos adversos no clima. Com isso, atualmente existem diversas instituições de pesquisa, públicas e privadas, trabalhando no desenvolvimento de tecnologias para mitigar as concentrações de CO₂ na atmosfera. Dentre as quais se pode citar o seqüestro de carbono nos oceanos, ecossistemas terrestres e formações geológicas.

2.2 Ciclo do Carbono e a matéria orgânica do solo

Estima-se que a massa total de carbono orgânico presente no solo varie de $1,22 \cdot 10^{18}$ g de carbono (Sombroek et al., 1993) a $2,46 \cdot 10^{18}$ g de carbono (Batjes, 1996). Esse estoque encontra-se em uma situação de equilíbrio dinâmico através de um processo contínuo de deposição, na forma de resíduos vegetais e animais, e de reposição através da decomposição natural da MOS que repõe parte do CO₂ atmosférico fixado pela fotossíntese. Os fluxos não são idênticos, como seria esperado num sistema em equilíbrio dinâmico, uma vez que carbono fóssil (gás natural, petróleo, carvão mineral, etc), cujas reservas são estimadas em $5 \cdot 10^{18}$ g de carbono, retorna ao ciclo através da queima dos combustíveis fósseis que emitem anualmente $5 \cdot 10^{15}$ g de carbono.

Observando-se as diferenças entre os estoques e fluxos fica claro a importância da MOS, tanto no ciclo global do carbono quanto no planejamento de estratégias que visem mitigar as emissões antrópicas (Schnitzer, 1991; Borin et al., 1997; Reicosky et al., 1997; Piccolo & Mbagwu, 1994; Piccolo, 1999; Swift, 2001). Além disso, o aumento do conteúdo de carbono no solo aumenta sua fertilidade, especialmente em condições tropicais, e com isso o conteúdo de biomassa vegetal que esse solo é capaz de suportar.

A matéria orgânica presente nos solos desempenha um papel primordial na qualidade desses. Isso decorre da influência que a quantidade e qualidade da matéria orgânica exercem sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Dentre essas propriedades destacam-se efeitos na melhoria e estabilidade de agregados; diminuição da plasticidade; aumento da capacidade de retenção de água; aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), que é a capacidade do solo de reter cátions, entre eles diversos nutrientes; e participação essencial na respiração microbiana de determinadas espécies. Adicionalmente a matéria orgânica é, geralmente, o principal sítio de sorção para agrotóxicos e metais traços no solo, tanto micronutrientes como tóxicos. Esses efeitos são particularmente importantes nos solos tropicais, naturalmente ácidos e cuja fração mineral é composta principalmente de argilas de atividade baixa (Benites et al., 2005).

A quantidade e as frações relativas da MOS podem, segundo Wander (2004), ser classificadas em:

1. MOS lábil ou ativa; tem meia vida que vai de dias a poucos anos por se tratar de material fresco ou fazer parte de organismos vivos. Possui altos teores de nutrientes e energia, não está protegida fisicamente e participa da formação de macroagregados na superfície do solo (biomassa microbiana, substratos lábeis e compostos como carboidratos);
2. MOS pouco transformada ou intermediária; tem meia vida que vai de poucos anos a décadas e pode estar protegida fisicamente (resíduos parcialmente decompostos e compostos amínicos, glicoproteínas e alguns compostos húmicos solúveis em ácido/base);
3. MOS recalcitrante, passiva, estável ou inerte; tem meia vida que vai de décadas até séculos por estar bioquimicamente estável ou associada com minerais do solo (incluem as macromoléculas alifáticas e as substâncias húmicas).

Assume-se que detritos de plantas frescas são convertidos gradualmente a formas mais estáveis e que essa estabilização envolve uma variedade de processos físicos, químicos, microbianos e a fauna do solo. De acordo com Sollins et al. (1996), a estabilização significa um decréscimo do potencial de perda da MOS, sendo um dos principais critérios da qualidade da MOS (Cerri et al., 1997; Silva & Pasqual, 1999). A estabilidade do carbono orgânico é resultante de três conjuntos gerais de características: recalcitrância, interações e acessibilidade. Por definição ela aumenta com a recalcitrância e decresce com a acessibilidade. A recalcitrância compreende características moleculares de substâncias orgânicas, incluindo composição elementar, presença de grupos funcionais e conformação molecular, que influenciam na sua degradação por microorganismos e enzimas. Interações referem-se às relações entre as substâncias orgânicas e inorgânicas, ou outras substâncias que alteram a taxa de degradação desses compostos orgânicos ou a síntese de novos compostos orgânicos. Acessibilidade refere-se à localização (posição) de substâncias orgânicas com respeito a microorganismos e enzimas. Com isso, uma das dificuldades em se tentar aumentar a quantidade de carbono presente no solo, sob a forma de matéria orgânica, encontra-se na ação de microorganismos do solo responsáveis pela decomposição da mesma. O que se observa normalmente é que em solos de regiões onde as condições limitam a ação de microorganismos por exemplo, solos sob clima muito frio, ou inundados periodicamente ou constantemente, apresentam acúmulo considerável de matéria orgânica. Já em solos onde há uma boa oxigenação, ocorre a aceleração de sua decomposição por microorganismos com conseqüente evolução (liberação) de CO₂ para a atmosfera.

2.3 As Terras Pretas de Índios

Muitos dos solos da Amazônia são ácidos, com baixa CTC, baixa fertilidade e conseqüentemente com baixo potencial produtivo. Nesse ambiente onde a fertilidade do solo é o

fator limitante para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável há as *Terras Pretas de Índios* que contrastam com os demais solos, principalmente no que se refere à fertilidade e à sustentabilidade dessa.

Terras Pretas de Índios são solos que têm um horizonte arqueo-antropogênico, que é um horizonte superficial de profundidade variável enriquecido em matéria orgânica e que contém peças de cerâmica ou artefatos líticos, assim como outras evidências de atividade humana (Kämpf et al., 2003).

Esses solos ocorrem em pequenas manchas, muitas das quais não excedem 2 hectares, entretanto áreas de até 350 hectares já foram relatadas (Kern et al., 2003).

Atualmente é aceito que as *Terras Pretas de Índios* são de origem pré-Colombiana, resultado da atividade dos povos indígenas, entretanto não é claro se é resultado de um processo intencional de melhoria do solo, ou subproduto das atividades agrícolas e de habitação desses povos. Essa atividade humana, no passado pré-Colombiano, resultou no acúmulo de resíduos vegetais e animais, assim como grandes quantidades de cinzas e carvão e de diversos elementos químicos, tais como: P, Mg, Zn, Cu, Ca, Sr e Ba, que representam a assinatura geoquímica da ocupação humana (Costa & Kern, 1999). Esses acúmulos provavelmente contribuíram de forma decisiva para a formação desses solos férteis, que apresentam maiores valores de: pH, Ca e Mg, P, CTC e saturação de bases (V%), em relação aos solos adjacentes (Tabela 1) (Cunha et al., 2007, 2009).

Tabela 1 - Atributos químicos de solos da Amazônia

Solos	pH	Ca+Mg [*] cmol _c /kg	CTC	P ^{**} mg/kg	V% %
Controle	4,4	1,3	9,5	5	21
<i>Terras Pretas</i>	5,4	6,8	17,3	300	55

* Trocável, ** Mehlich

A alta fertilidade das *Terras Pretas de Índios*, e particularmente sua sustentabilidade e resiliência, são atribuídas aos seus elevados teores de matéria orgânica e das propriedades físico-químicas dessa. Esses solos têm conteúdos de carbono de até 150 g kg⁻¹ de solo, enquanto que os solos adjacentes esses valores são de apenas 20-30 g kg⁻¹ (Sombroek et al., 1993; Woods & McCann, 1999; Glaser et al., 2001). Adicionalmente, a camada enriquecida de carbono pode ser de até 200 cm, com média da ordem de 40-50 cm, enquanto que nos solos adjacentes se limita aos primeiros 10-20 cm. Assim, o estoque de carbono nas *Terras Pretas de Índios* pode ser uma ordem

de magnitude maior e ser até seis vezes mais estável que nos solos adjacentes. Pesquisas indicaram que o carbono adicional presente nas *Terras Pretas de Índios* encontra-se principalmente na forma de carbono pirogênico (Glaser et al., 2001).

A contribuição do carbono pirogênico para a fertilidade do solo e sua sustentabilidade é atribuída à sua composição e estrutura química. Estudos utilizando a espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de ^{13}C (^{13}C RMN) mostraram que os ácidos húmicos, uma das frações da MOS, das *Terras Pretas de Índios* são ricos em estruturas aromáticas condensadas e funcionalizadas com grupos carboxílicos ligados diretamente aos C aromáticos (Figura 1), enquanto que os ácidos húmicos dos solos adjacentes apresentam um maior conteúdo de compostos lábeis ou pouco alterados, tais como carboidratos, aminoácidos e resíduos de lignina (Novotny et al., 2006; 2007; 2009a,b).

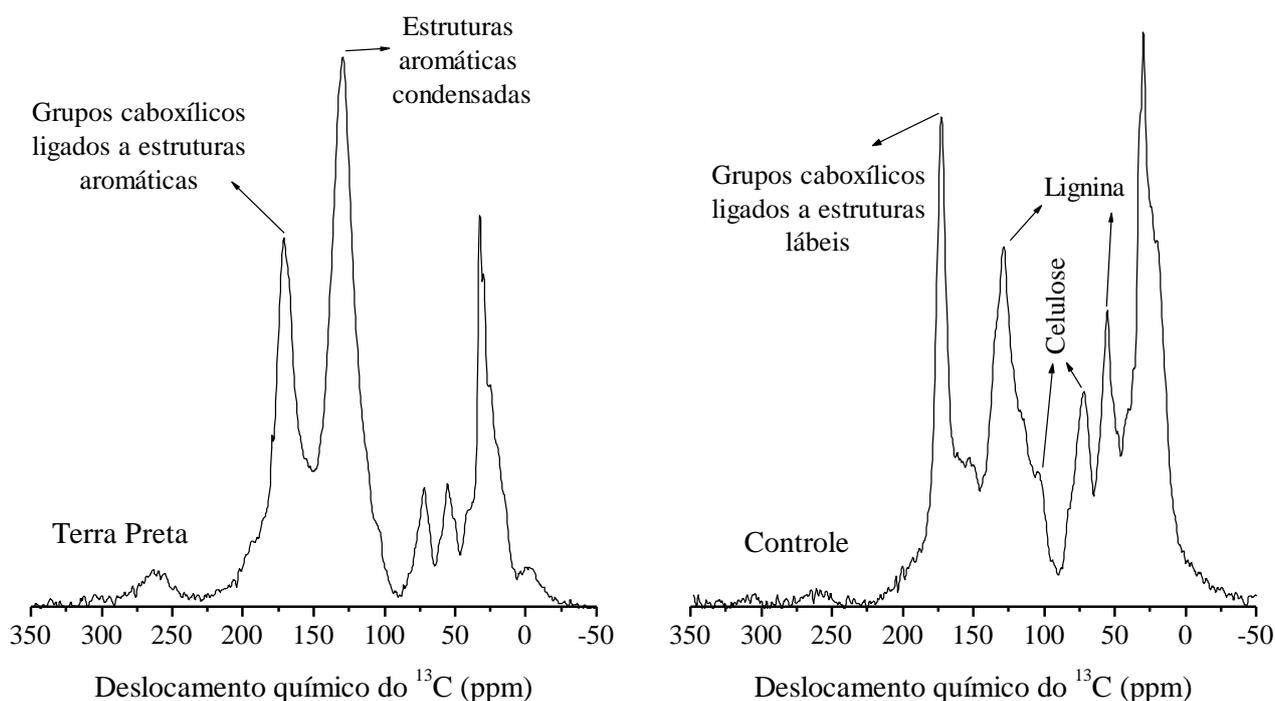


Figura 1 - Espectros de Ressonância Magnética Nuclear de ^{13}C de ácidos húmicos de solos da Amazônia (Novotny et al., 2007).

O conteúdo dessas estruturas recalcitrantes e reativas se correlaciona com a estabilidade térmica desses ácidos húmicos, assim como com dados da sua composição elementar que indicam elevado grau de condensação dos anéis aromáticos (baixa relação atômica H/C) e conteúdo de grupos oxigenados (alta relação atômica O/H) o que confirma, por métodos independentes, que os ácidos húmicos das *Terras Pretas* são caracterizados por uma elevada estabilidade estrutural e térmica, aliado a isso, os grupos oxigenados reativos, tais como carboxílicos e fenólicos, são recalcitrantes, enquanto que nos solos adjacentes os grupos oxigenados são associados

principalmente às estruturas lábeis ou pouco reativas, tais como carboidratos, peptídeos e lignina. Dados preliminares indicam que essas propriedades se mantêm nas demais frações da matéria orgânica desses solos, tais como ácidos fúlvicos e humina (Novotny et al., 2008). Essas características explicam a elevada fertilidade, sustentabilidade e resiliência desses solos. As *Terras Pretas de Índios* são um sistema que seqüestra carbono, porém numa forma extremamente útil que melhora as características do solo, aumentando sua fertilidade, sustentabilidade e capacidade de suporte.

2.4 O carbono pirogênico

O carbono pirogênico é derivado da carbonização (pirólise) parcial principalmente de materiais ligno-celulósicos e é composto de unidades poliaromáticas condensadas, deficientes em hidrogênio e com diferentes tamanhos e nível organizacional (Kramer et al., 2004). Esse material é altamente resistente à oxidação térmica, química e foto-oxidação (Skjemstad et al., 1996), e devido a essa recalcitrância, sua incorporação ao solo é um importante mecanismo de seqüestro de carbono (Glaser et al., 2001; Masiello, 2004). Além disso, a oxidação parcial das unidades aromáticas periféricas produz grupos carboxílicos (Glaser et al., 2001; Kramer et al., 2004; Masiello, 2004; Novotny et al., 2007, 2009a) ligados diretamente às estruturas aromáticas recalcitrantes. Tais grupos contribuem para a elevada acidez total (CTC) e conseqüentemente para a elevada fertilidade desses solos, adicionalmente sua estrutura aromática recalcitrante garante a sustentabilidade dessa fertilidade (Novotny et al., 2007, 2009b).

No Brasil, o carbono pirogênico não se restringe às *Terras Pretas de Índios*, tão pouco sempre é de origem antrópica. Solos onde há registros históricos de queima da vegetação, natural ou provocada, a ocorrência de carbono pirogênico é freqüente, sendo um importante componente dos solos do Cerrado (Roscoe et al., 2001) e em *Terras Pretas* naturais encontradas em áreas rupestres de altitude (Benites et al., 2005). Semelhante às *Terras Pretas de Índios*, a matéria orgânica desses solos apresenta elevada recalcitrância e CTC. Devido a sua alta estabilidade e reatividade, o carbono pirogênico é de grande importância para solos tropicais sujeitos às condições climáticas que favorecem a mineralização da matéria orgânica e onde a fração argila dos solos apresenta baixos valores de CTC.

Atualmente entende-se que os sistemas de produção de culturas ancestrais nativas podem prover conhecimentos que serviriam de base para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo agrícola e as *Terras Pretas de Índios* nos fornecem um excelente modelo de agricultura sustentável e que seqüestra carbono, especialmente útil em ecossistemas tropicais.

2.5 Utilizando-se a matéria orgânica das *Terras Pretas de Índios* como modelo

Tendo-se um modelo, o conhecimento da sua estrutura (Figura 2) e suas propriedades possibilita a procura por materiais e técnicas que visem sua mimetização de forma expedita.

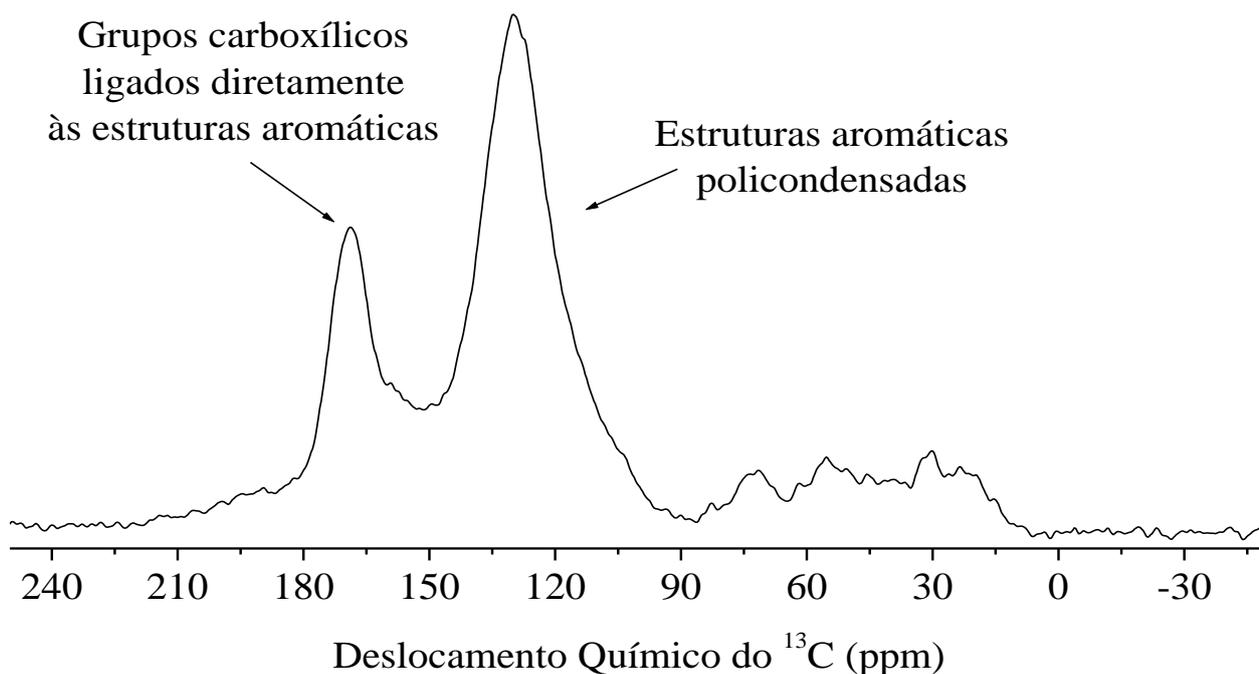


Figura 2 - Espectro de Ressonância Magnética Nuclear de ^{13}C da fração húmica (ácidos húmicos extraídos a pH 7) característica das *Terras Pretas de Índios* (Novotny et al., 2009c).

O carvão vegetal apresenta os grupos aromáticos condensados, que garantem a sua recalcitrância no solo, sendo um eficiente material para sequestro de carbono. Entretanto, não apresenta os grupos carboxílicos (Figura 3a), importantes para sua reatividade e contribuição para a CTC do solo. Sua aplicação ao solo e conseqüentes alterações químicas e biológicas acabarão gerando esses grupos ácidos, entretanto esse processo pode demorar décadas. Nesse contexto estudos preliminares indicam que é possível a funcionalização desses materiais por via química (Figura 3b), biológica (compostagem) ou enzimática.

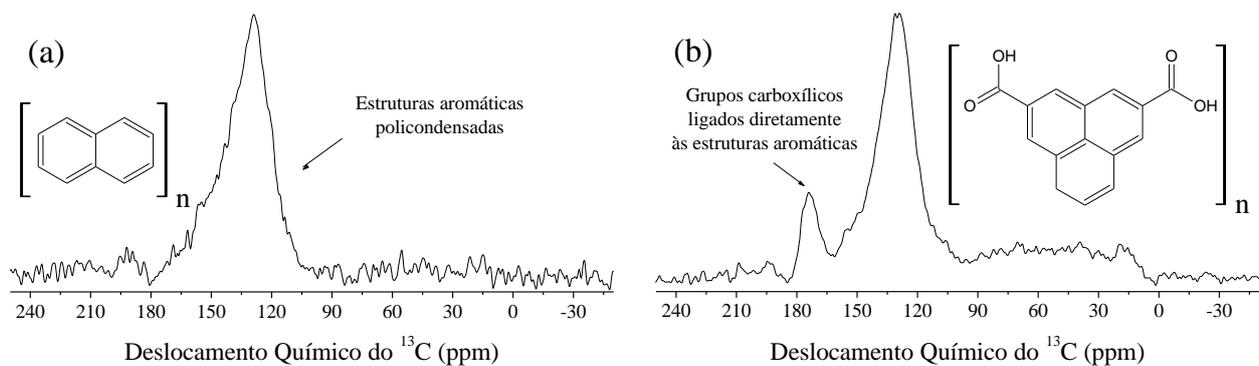
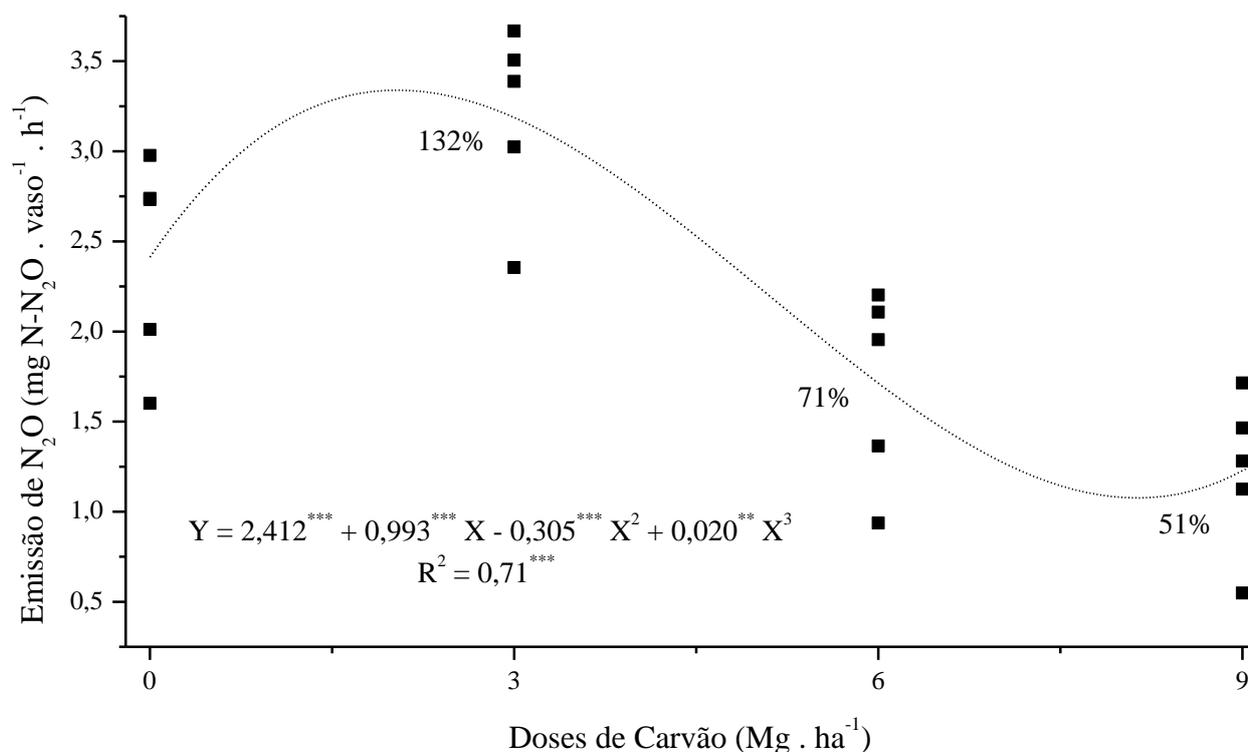


Figura 3 - Espectros de Ressonância Magnética Nuclear de ^{13}C de carvão vegetal (a) e carvão vegetal funcionalizado quimicamente (b). As estruturas hipotéticas de cada material é dado na figura (Linhares et al., 2009).

A estrutura hipotética do carvão funcionalizado obtido teria uma CTC (acidez carboxílica) estimada de $787 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, muito superior aos $3\text{-}15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ da caulinita; $2\text{-}4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ dos sesquióxidos; $80\text{-}150 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ dos argilominerais 2:1 e superior até mesmo que a CTC da MOS ($100\text{-}300 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) mostrando o potencial desse tipo de material como condicionador do solo.

Adicionalmente, a aplicação de carvão vegetal ao solo propicia outros benefícios, tais como: aumento da produtividade; supressão das emissões de metano; redução das emissões de óxido nítrico (Figura 4); redução da necessidade de fertilizantes (estimado em 10%) e; redução da lixiviação de nutrientes (Gaunt & Lehmann, 2007). Além dos benefícios econômicos os benefícios ambientais também devem ser levados em conta (Lehmann, 2007), especialmente no que concerne às mudanças climáticas globais. Nesse contexto esses benefícios se potencializam pela redução da emissão de GEE (CO_2 , CH_4 , N_2O e NO_x) e maior eficiência energética da agricultura decorrente da maior produtividade, menor uso de fertilizantes e menores perdas de nutrientes.



** Significativo a 1%; *** Significativo a 0,1%. As percentagens se referem às emissões relativas ao tratamento controle (sem adição de carvão).

Figura 4 - Emissão de N₂O encontrada para os diferentes tratamentos (Alho et al., 2009).

2.6 Obtenção de biocarvão

A pirólise é um processo para transformar biomassa em bioóleos (liquefação) ou gás sintético (gaseificação), transformando e armazenando assim a energia acumulada da biomassa em bioóleos ou gás combustível, esse gás sintético também pode ser usado na síntese de hidrocarbonetos (Mesa-Perez et al., 2003; Rocha et al., 2003; Mesa-Perez, 2004; Boateng et al., 2007).

A biomassa utilizada nesse processo pode ser de diferentes origens, florestal, agro-industrial ou urbana. O bioóleo é um potencial substituto para várias frações combustíveis e não combustíveis do petróleo, como por exemplo, o óleo combustível e o fenol. Além do bioóleo, os principais produtos desse processo são o carvão fino e os gases pirolíticos. O carvão fino (biomassa carbonizada) poderá ser usado para produção de pelotas de minério, briquetes, uso agrícola etc (Rocha et al., 2003).

Há diversos processos de conversão termoquímica de biomassa que poderão ser adotados, entre eles destacam-se: a pirólise rápida, a pirólise lenta (carbonização); a torrefação e a liquefação. Todos eles devem ser entendidos no contexto de biorrefinarias devido a possibilidade de produção

integrada de outros produtos derivados da mesma biomassa; da necessidade do uso integral dessa biomassa e; da redução ou mesmo eliminação dos efluentes.

Durante o processo de produção convencional de carvão, aproximadamente 35% do carbono é fixado na forma de carvão, 35% do carbono compõe os chamados vapores condensáveis (extrato piro-lenhoso), 5% na forma de alcatrão sendo o restante lançado à atmosfera na forma de gases não condensáveis (CO_2 , CO , CH_4 etc). Existe hoje tecnologia adequada para recuperação de até 50% do carbono perdido na forma de vapores condensáveis, sendo o produto condensado explorado comercialmente por pequenas empresas. Esse condensado, por sua vez, pode ser destilado produzindo uma série de compostos, e alguns subprodutos como o piche de alcatrão.

Em alguns processos a pirólise é a baixa temperatura ($< 300^\circ \text{C}$), também denominada torrefação, resultando em uma carbonização incompleta do material e assim a biomassa parcialmente carbonizada produzida apresenta características dos seus precursores (Figura 5), o que diminui seu tempo de residência, devendo ser considerado no quesito seqüestro de carbono, entretanto essa característica pode facilitar a geração de grupos carboxílicos pela via biológica.

Na gaseificação a biomassa é tratada em reatores produzindo gases combustíveis tais como CH_4 e H_2 que podem ser utilizados diretamente na produção de energia elétrica. Aproximadamente 30% da massa é convertida em gases combustíveis enquanto que 35% é convertida em carvão. Esse processo tem como resíduo sólido cinzas com carvão obtido a altas temperaturas o que deve comprometer as características nessa aplicação como condicionador de solo.

Na liquefação o tratamento da biomassa em reatores produz um composto oleoso chamado bioóleo com um poder calorífico de 16-17 MJ kg^{-1} (diesel: 46 MJ kg^{-1} , gás natural: 69 MJ kg^{-1}) com um rendimento em massa de aproximadamente 15-25% e carvão (20-25%) com um poder calorífico de 23 - 32 MJ kg^{-1} . Do bioóleo produzido é possível obter outros compostos químicos de valor comercial.

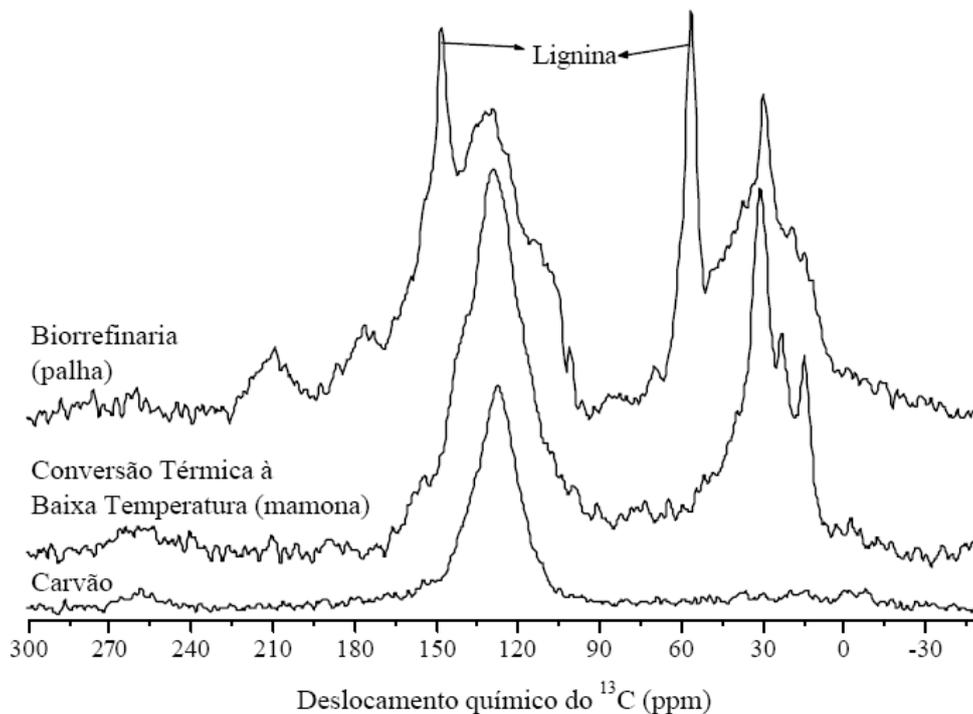


Figura 5 - Espectros de Ressonância Magnética Nuclear de ^{13}C de carvão vegetal, e de resíduos da carbonização parcial produzidos por diferentes métodos de pirólise.

Como uma alternativa à gaseificação e liquefação há a conversão à baixa temperatura idealizada pelo Prof. Gilberto A. Romeiro o processo é a temperatura de 300-400° C e a 1 atm de pressão. Esse processo já foi testado para diversos resíduos da agroindústria, tais como bagaço de cana-de-açúcar (produção de álcool), torta de mamona (produção de biodiesel) (Figura 5), torta de soja, resíduos do beneficiamento do café, lodo de esgoto e aguapés (*Nymphaea odorata*) de lagos e represas.

Nas biorrefinarias o processamento da biomassa produz compostos químicos substitutos de petroquímicos. Esses compostos são precursores de farmoquímicos, aditivos para combustíveis, solventes, polímeros, agroquímicos etc. Um dos processos mais conhecidos converte os carboidratos (celulose e hemicelulose) em ácido levulínico (50%) e carvão (45%) (Figura 5), esse processo é auto-suficiente em energia.

A via celulósica para produção de etanol hidrolisa a celulose e hemicelulose em seus constituintes básicos, os monossacarídeos (hexoses e pentoses) e desses as hexoses são fermentadas normalmente produzindo etanol. O bagaço de cana possui 65% de carboidratos na sua composição, sendo 41,5% na forma de hexoses e 23,5% na forma de pentoses, como atualmente não existem meios viáveis de converter pentose em etanol (Rossel, 2007) a produção de etanol gera um resíduo (235 kg por tonelada de bagaço processado pela via celulósica) passível de ser processado a ácido levulínico, produzindo 117,5 kg desse produto por tonelada de bagaço, e carvão. Qualquer que seja

o processamento dos carboidratos do bagaço-de-cana (celulose e hemicelulose) ainda haverá como resíduo a lignina, que corresponde a aproximadamente 20% da composição do bagaço e que pode ser utilizado na produção de carvão.

2.7 Materiais potenciais para produção de condicionadores de solos e fertilizantes orgânicos

Existem diversos materiais que podem ser pirolisados, principalmente resíduos industriais e urbanos que apresentam problemas de descarte, tais como: resíduos das indústrias madeireira e de papel e celulose; lodo de esgoto; casca de coco-verde em regiões litorâneas; e tantos outros. A indústria emergente de biocombustíveis também irá gerar muitos resíduos (torta de oleaginosas), e há também a possibilidade de cultivo de espécies com elevado potencial de produção de biomassa inteiramente dedicados à produção de energia. Dentre tantas fontes pode-se destacar:

Carvão vegetal e seus subprodutos

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, respondendo por 38,5% da produção. São produzidos anualmente 36 milhões de m³, o que corresponde a aproximadamente 8 milhões de toneladas. A maior parte (85%) desse carvão se destina à indústria siderúrgica. O fino de carvão, obtido no processo de peneiramento na classificação do carvão vegetal representa, em alguns casos, até 15% do carvão produzido. Esse subproduto pode ser utilizado como condicionador de solos, embora já se empreguem tecnologias capazes de aproveitá-lo na indústria siderúrgica, tal como briquetagem.

Cana-de-açúcar

A indústria sucroalcooleira do Brasil produz cerca de 59,5 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar. A maior parte desse bagaço é utilizado nas próprias destilarias para geração de energia, entretanto ainda há um excedente de 12%, o que poderia produzir 2,3 milhões de toneladas de carvão. Atualmente não se utiliza a palha da cana, produzida em igual quantidade que o bagaço, ela é queimada antes da colheita ou é retornada ao solo no caso da colheita mecânica o que, em certos casos, aumenta a incidência de pragas e doenças por ser um refúgio para insetos e patógenos.

Macrófitas aquáticas

Ilhas flutuantes, formadas por macrófitas aquáticas, de tamanhos variados formados principalmente por aguapés (*Eichhornia* spp.) e ciperáceas são conhecidos por “matupás” na Amazônia e por “baceiros, batumes e camalotes” no Pantanal (Pott & Pott, 2000). Nativas das

Américas, uma das espécies, *Eichhornia crassipes*, tem se espalhado e se tornado um sério problema nos cinco continentes (NAS, 1976; Gopal, 1987; Wilson et al., 2005; Téllez et al., 2008).

As áreas inundáveis sul-americanas estão entre os ecossistemas mais diversificados e produtivos do mundo. Devido ao pulso de inundação (Junk et al., 1999), a produção de biomassa vegetal oscila anualmente no ecótono entre as fases terrestre e aquática da planície inundável. Durante a fase seca desenvolvem-se preferencialmente gramíneas terrestres. Na fase aquática há predomínio de crescimento de plantas aquáticas, entre elas *E. crassipes*. Assumindo-se a ocorrência de ambiente aquático adequado ao crescimento em pelo menos 50% dos 8000 km² do Pantanal (planície) do Rio Paraguai no Brasil, a montante de Corumbá, a produção anual de *E. crassipes* pode atingir formidáveis 2,4 10⁷ toneladas de biomassa seca. Estudos preliminares indicam que o escoamento anual pelo Rio Paraguai (Corumbá-MS) do excedente dessa produção na forma de camalotes e baceiros seja da ordem de 1,7 10⁶ toneladas de biomassa seca em anos de cheia (Ramires, 1993) ou o equivalente a 7% do total de biomassa seca de *E. crassipes* potencialmente produzida no Pantanal do Paraguai.

Sua elevada taxa de crescimento e densidade espacial de ocupação tem como consequências a obstrução de corpos d'água e outros efeitos sobre o ambiente (diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido na água, aumento da evapotranspiração etc); a saúde humana (vetores de doenças) e; o desenvolvimento econômico (dificuldade em navegação, acesso etc) (Ashton et al., 1979; Fernandez et al., 1990; Julien et al., 1999; Gunnarsson & Petersen, 2007; Malik, 2007). A decomposição (metabolismo heterotrófico) dessas plantas nos ecossistemas aquáticos é responsável pela incorporação de carbono na teia alimentar aquática (Azevedo et al., 2008), mas também pela morte por asfixia (falta de oxigênio) de espécimes da ictiofauna no Rio Paraguai (Hamilton et al., 1997). Tal processo tende a selecionar espécies de peixes com hemoglobinas mais adaptadas às condições de hipóxia (Schwantes et al., 1993), cujo valor comercial é menor, pois são espécies usualmente sedentárias e de pequeno porte. Em represas poluídas, como os reservatórios de Garças e de Americana no Estado de São Paulo, a proliferação de *E. crassipes* é acentuada, obrigando práticas de controle e remoção. Contudo, devido a grande carga orgânica antrópica, a remoção de *E. crassipes* resulta no aumento da ocorrência de cianobactérias tóxicas, devido ao aumento da disponibilidade de luz no corpo d'água (Bicudo et al., 2007). Por outro lado, em seu habitat natural da Amazônia, a herbivoria realizada por *Trichechus inunguis* (peixe-boi) e insetos exerce um controle natural sobre o crescimento das populações de *E. crassipes* (NAS, 1976). No Pantanal, entretanto, há pouca informação acerca de predadores naturais, muito embora mamíferos, como a capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*), podem utilizar *E. crassipes* em sua dieta (Borges & Colares, 2007).

Em termos de biomassa seca (BS), *E. crassipes* representa uma das espécies vegetais mais produtivas, produzindo entre 8 e 320 toneladas de BS ha⁻¹ ano⁻¹ (Gunnarsson & Petersen, 2007).

A produtividade anual de biomassa seca de *E. crassipes* é em média 60 t ha⁻¹, muito próximo à produtividade do napier e superior à produtividade do capim elefante e da cana-de-açúcar. A biomassa de *E. crassipes* duplica por reprodução assexuada (vegetativa) a cada duas semanas (Pott & Pott, 2000; Wilson et al., 2005; Malik, 2007), tendo assim um enorme potencial como biomassa para pirólise.

Ossos de suínos

A carne suína é a fonte de proteína animal mais importante no mundo, sendo o Brasil o quarto maior produtor em termos absolutos (Mielle & Waquil 2007), resultados obtidos pelo abate de 36.819.000 cabeças em 2008 (IBGE, 2008). Sabendo que o peso médio de animais abatidos é de 110 kg, e que 12% desse valor corresponde a ossos, é possível estimar a quantidade de ossos suínos produzidos anualmente no Brasil é de 486.010.800 kg. Vale ressaltar que cada kg de osso contem, aproximadamente, cerca de 18% de P, ou 41% de P₂O₅, permitindo inferir que a cadeia de suínos pode contribuir anualmente com 203.152.514 kg de P₂O₅.

No entanto, o destino final para esses resíduos da agroindústria ao longo do tempo vem sendo a produção de farinha de osso para alimentação animal, em razão do alto teor de nutrientes com: 27,3; 27,7; 4,3; 4,1 e 0,4 % de P₂O₅, Ca, K₂O, N e Mg, respectivamente (Cavallaro Júnior et al., 2009), fator que, também, lhe confere excelência como fertilizante. Porém, no futuro próximo o consumo desse tipo de matéria prima poderá ser restringido das formulações de rações devido às restrições sanitárias, a exemplo de países europeus onde essa prática já é proibida.

Dessa forma esses resíduos podem ser pirolisados produzindo energia (bioóleo) e *biochar* rico em nutrientes e que pode se comportar como um fertilizante de liberação lenta visto que a porção orgânica dos ossos é carbonizada. Dados preliminares obtidos por Ressonância Magnética Nuclear de ¹³C e ³¹P indicam a presença de compostos orgânicos parcialmente carbonizados e fosfatos em duas estruturas, brushita e hidroxiapatita (Figura 6), cujas proporções variam em função das condições de pirólise (Novotny et al., 2010).

O processo de produção para geração do *biochar* pode ser considerado mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), pois no equipamento de carbonização não são gerados gases tóxicos ou de efeito estufa. Dessa forma, há a possibilidade de manter os teores nutricionais de P e Ca, entre outros nutrientes, somado ao fato de preservar o C no processo de produção, fator que, possivelmente, conferirá melhor ajuste do fornecimento dos nutrientes (liberação lenta), além do

diferencial da maior economia de energia durante o processo de produção, somado a não emissão de GEE.

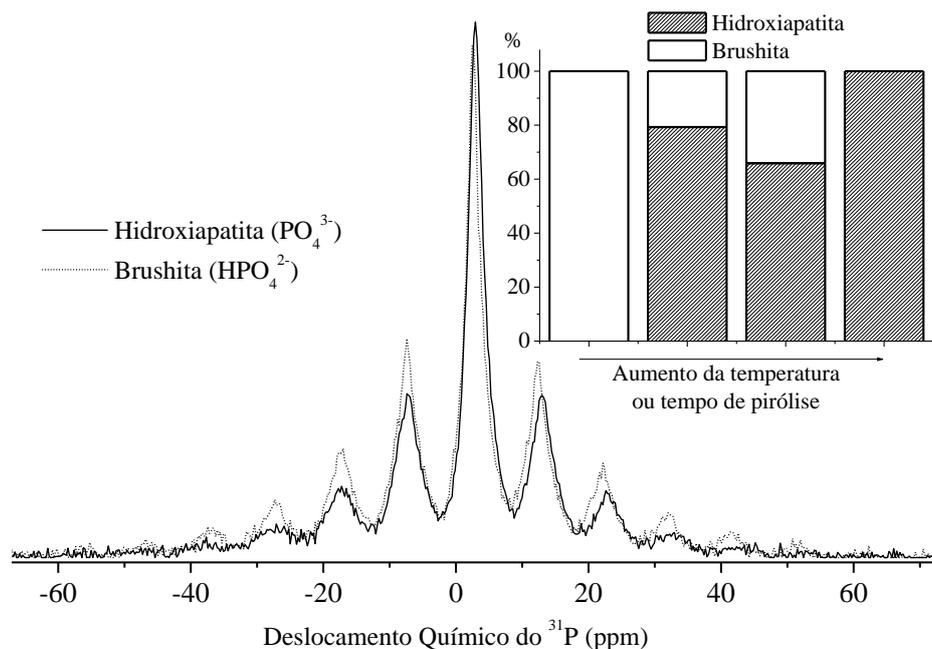


Figura 6 - Espectros de Ressonância Magnética Nuclear de ^{31}P de ossos de suínos pirolisados (Novotny et al., 2010).

3 PRINCIPAIS COLABORADORES

A seguir lista-se os principais pesquisadores colaboradores desse projeto:

- Ruben Auccaise Estrada (Física, Espectroscopia)
- Carolina Rodrigues Linhares (Química, Funcionalização)
- Carlos F. Brazão Vieira Alho (Engenharia Florestal, Carbonização, Emissão de GEE)
- Jasmin Lemke (Engenharia Ambiental, Compostagem)
- Nathalia Amaral (Engenharia Química, Espectroscopia)
- Antonio Salvio Mangrich (Química, Funcionalização, Pirólise, Espectroscopia)
- Beata Eموke Madari (Química do Solo, Carbonização, Experimentação Agrícola)
- Bruno José Rodrigues Alves (Química do Solo, Espectroscopia de Massa)
- Claudia Maria B.F. Maia (Química do Solo, Produção Florestal, Carbonização)
- Eduardo Ribeiro de Azevedo (Física, Espectroscopia)
- Gilberto Alves Romeiro (Química, Pirólise)
- Ivan Bergier Tavares de Lima (Agronomia, Experimentação Agrícola)
- Jair Carlos Checon de Freitas (Física, Espectroscopia, Carbonização)
- Jiri Kucerik (Análise Térmica)

- José Dilcio Rocha (Química, Pirólise)
- Juliano C. Corrêa (Agronomia, Aproveitamento de Resíduos)
- Martha M. Higarashi (Química, Gestão Ambiental)
- Michael H.B. Hayes (Química do Solo, Funcionalização, Pirólise, Biorefinarias)
- Tito José Bonagamba (Física, Espectroscopia, Carbonização)
- Valéria M.N. Abreu (Zootecnia, Sistema de Produção – Aves)
- Vinicius de Melo Benites (Química do Solo, Carbonização, Experimentação Agrícola)

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHO, C.F.B.V.; CARDOSO, A.S; ALVES, B.J.R. & NOVOTNY, E.H. Utilização de *biochar* para mitigação das emissões de óxido nitroso do solo. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 8., Pelotas, 2009. Anais. Pelotas, UFPel. 2009. p. 120.
- ASHTON, P.J.; SCOTT, W.E.; STEYˆN, D.J. & WELLS, R.J. The chemical control programme against the water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms on Hartbeespoort Dam: historical and practical aspects. S. Afr. J. Sci., 75:303-306, 1979.
- AZEVEDO, J.C.R.; MIZUKAWA, A.; TEIXEIRA, M.C. & PAGIORO, T.A. Contribuição da decomposição de macrófitas aquáticas (*Eichhornia azurea*) na matéria orgânica dissolvida. Oecol. Bras., 12:42-56, 2008.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. Eur. J. Soil Sci., 47:151-163, 1996.
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, E.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, 127:104-113, 2005.
- BICUDO, D.C.; FONSECA, B.M.; BINI, L.M.; CROSSETTI, L.O.; BICUDO, C.E.M. & JESUS, T.A. Undesirable sideeffects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. Freshwater Biology, 52:1120-1133, 2007.
- BOATENG, A.A.; DAUGAARD, D.E.; GOLDBERG, N.M. & HICKS, K.B. Bench-Scale Fluidized-Bed Pyrolysis of Switchgrass for Bio-Oil Production. Ind. Eng. Chem. Res., 46:1891-1897, 2007.
- BORGES, L.V. & COLARES, I.G. Feeding habits of capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus 1766), in the Ecological Reserve of Taim (ESEC - Taim) - south of Brazil. Braz. Arch. Biol. Technol., 50:409-416, 2007.

- BORIN, M.; MENINI, C. & SARTORI, L. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil Tillage Res.*, 40:209-226, 1997.
- CANZIANI, O. F.; DÍAZ, S.; CALVO, E.; CAMPOS, M.; CARCAVALLO, R.; CERRI, C. C.; GAY-GARCIA, C.; MATA, L. J.; SAIZAR, A.; ACEITUNO, P.; ANDRESSEN, R.; BARROS, V.; CBIDO, M.; FUENZALIDA-PINCE, H.; FUNES, G.; GALVÃO, C.; MORENO, A. R.; VARGAS, W. M.; VIGLIZAO, E. F. & DE ZUVIRÍA, M. Latin America. In: WATSON, R. T.; ZINYOWERA, M. C. & MOOSS, R. H., ed. *The regional impact of climate change: an assessment of vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 187-230.
- CAVALLARO JÚNIOR, M.L.; TRANI, P.E.; PASSOS, F.A.; KUHN NETO, J. & TIVELLI, S.W. Produtividade de rúcula e tomate em função da adubação N e P orgânica e mineral. *Bragantia*, 68:347-356, 2009.
- CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J. & PICCOLO, M. Ciclo de carbono e mudanças globais. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2., São Carlos, 1997. Anais. São Carlos, Embrapa/CNPDIA, 1997. p. 21-25.
- COSTA, M.L. & KERN, D.C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *J. Geochem. Explor.*, 66:369-385, 1999.
- CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MADARI, B.E.; MARTIN-NETO, L.; REZENDE, M.O.O.; CANELLAS, L.P. & BENITES, V.M. Spectroscopic Characterization of Humic Acids Isolated from Amazonian Dark Earth Soils (Terra Preta de Índio). In: WOODS W.I.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLER-PRINS, A.M.G.A. & REBELLATO, L. org. *Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision*. Heidelberg: Springer Science, 2009, p. 363-374.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M. & SANTOS, G.A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com A antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazonica*, 37:91-98, 2007.
- FEARNSIDE, P. M. Saving tropical forests as a global warming countermeasure: an issue that divides the environmental movement. *Ecological Economics*, Amsterdam, 39:167-184, 2001.
- FERNANDEZ, O.A.; SUTTON, D.L.; LALLANA, V.H.; SABBATINI, M.R. & IRIGOYAN, J.H. Aquatic weed problems and management in South and Central America. In: CHARUDATTAN, R. ed. *Aquatic weeds - the ecology and management of nuisance aquatic vegetation*. New York, Oxford University Press, 1990. p. 406-425.

- GARRITY, D. & FISHER, M. Beating the heat: climate change and the rural poor. Trabalho apresentado no Workshop on Tropical Agriculture in Transition: Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions. Bonn, nov. 2001. Digitado.
- GAUNT, J. & LEHMANN, J. Prospects for C trading. In: INTERNATIONAL AGRICULTURAL INITIATIVE (IAI) CONFERENCE, Terrigal-Australia, 2007. Anais. Terrigal-Australia, 2007. p. 20-21.
- GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G. & ZECH, W. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88:37-41, 2001.
- GOPAL, B. Water Hyacinth. Elsevier, Amsterdam, 1987. 471p.
- GUNNARSSON, C.C. & PETERSEN C.M. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: a literature review, *Waste Management*, 27:117-129, 2007.
- HAMILTON, S.K.; SIPPEL S.J.; CALHEIROS, D.F. & MELACK, J.M. An anoxic event and other biogeochemical effects of the Pantanal wetland on the Paraguay River. *Limnol. Oceanog.*, 42:257-272, 1997.
- IBGE. Censo Agropecuário 2006. Resultados preliminares. 2008. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/defaulttab_censoagro.shtm >. Acesso 22 fev. 2010.
- JULIEN, M.H.; GRIFFITHS, M.W. & WRIGHT, A.D. 1999. Biological control of water hyacinth. The Weevils *Neochetina bruchi* and *N. eichhorniae*: Biologies, Host Ranges, and Rearing, Releasing and Monitoring Techniques for Biological Control of *Eichhornia crassipes*, Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra.
- JUNK, W.J. & SILVA, C.J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal Mato Grossense. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2., Corumbá, 1996. Anais. Corumbá, Embrapa-CPAP, 1999, p. 17-28.
- KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; SOMBROEK, W.; KERN, D.C. & CUNHA, T.J.F. Classification of Amazonian dark earths and other ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I., eds. Amazonian dark earths. Origin, properties, management. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 77-104.
- KERN, D.C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T.E.; FRAZÃO, F.J.L.; SOMBROEK, W.; MYERS, T.P. & NEVES, E.G. Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I., eds. Amazonian dark earths. Origin, properties, management. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 51-76.

- KRAMER, R.W.; KUJAWINSKI, E.B. & HATCHER, P.G. Identification of black carbon derived structures in a volcanic ash soil humic acid by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *Environ. Sci. Tech.*, 38:3387-3395, 2004.
- LEHMANN, J. A handful of carbon. *Nature*, 447:143-144, 2007.
- LINHARES, C.R.; DE AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; DE SOUZA, A.A.; ROMEIRO, G.A. & NOVOTNY, E.H. Funcionalização química de carvões e de materiais parcialmente carbonizados produzidos a partir de diferentes biomassas com vistas ao uso agrícola como condicionadores de solo. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 8., Pelotas, 2009. Anais. Pelotas, UFPel. 2009. p. 138.
- MALIK, A. Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth. *Environ. Internat.*, 33:122-138, 2007.
- MASIELLO, C.A. New directions in black carbon organic geochemistry. *Mar. Chem.*, 92:201-213, 2004.
- MESA-PÉREZ, J.M. 2004. Teste em uma Planta de Pirólise Rápida de Biomassa em leito fluidizado: critérios para sua otimização. Tese (Doutorado), FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP.
- MESA-PÉREZ, J.M.; CORTEZ, L.A.B.; ROCHA, J.D. & GOMEZ, E.O. Pirólise Rápida em Leito Fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. *Revista Analytica*, 4:32-36, 2003.
- MIELE, M. & WAQUIL, P.D. Cadeia produtiva da carne suína no Brasil. *Revista de Política Agrícola no Brasil.*, 16:75-87, 2007.
- NAS, National Academy of Sciences. Making aquatic weeds useful: some perspectives for developing countries. National Academy of Sciences, Washington, 1976. 174p.
- NOVOTNY, E.H.; AUCCAISE, R.; VELLOSO, M.H.R, CORRÊA, J.C.; HIGARASHI, M.M.; ABREU, V.M.N. & ROCHA, J.D. C-13 and P-31 NMR analyses of swine bones Biochar. In: INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE CONFERENCE 2010, 3., 2010. Anais. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2010.
- NOVOTNY, E.H.; BONAGAMBA, T.J.; DE AZEVEDO, E.R. & HAYES, M.H.B. Solid-State ¹³C Nuclear Magnetic Resonance Characterization of Humic Acids Extracted from Amazonian Dark Earths (Terra Preta de Índio). In: WOODS W.I.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLER-PRINS, A.M.G.A. & REBELLATO, L., org. Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision. Heidelberg, Springer Science, 2009a, p. 375-394.

- NOVOTNY, E.H.; DE AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M. & HAYES, M.H.B. Studies of the Compositions of Humic Acids from Amazonian Dark Earth Soils. *Environ. Sci. Tech.*, 41:400-405, 2007.
- NOVOTNY, E.H.; HAYES, M.H.B.; DE AZEVEDO, E.R. & BONAGAMBA, T.J. Characterisation of Black Carbon Rich Samples by ^{13}C Solid-State Nuclear Magnetic Resonance. *Naturwissenschaften*, 93:447-450, 2006.
- NOVOTNY, E.H.; HAYES, M.H.B.; SONG, G.; DE AZEVEDO, E.R. & BONAGAMBA, T.J. Extraction and characterisation of humin fraction from Amazonian Anthropogenic Dark Earths Soils (“Terra Preta de Índios”). In: MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 14., Moscow-St. Petersburg, Rússia, 2008. *Anais. Moscow, IHSS*, 2008. p. 14-19.
- NOVOTNY, E.H.; HAYES, M.H.B.; MADARI, B.E.; BONAGAMBA, T.J.; DE AZEVEDO, E.R.; DE SOUZA, A.A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C.M. & MANGRICH, A.S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the Utilisation of Charcoal for Soil Amendment. *J. Braz. Chem. Soc.*, 20:1003-1010, 2009b.
- NOVOTNY, E.H.; VELLOSO, M.H.R.; DE AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; SONG, G. & HAYES, M.H.B. Extração seletiva da fração húmica característica das Terras Pretas de Índios. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 8., Pelotas, 2009. *Anais. Pelotas, UFPel*. 2009c. p. 145.
- PICCOLO, A. Atmospheric CO_2 and alteration of Global Climate. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., Santa Maria, 1999. *Anais. Santa Maria, UFSM*. 1999. p. 145.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J.S.C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:950-955, 1994.
- POTT, V.J. & POTT, A. Plantas aquáticas do Pantanal. Brasília, Embrapa, 2000. 404p.
- RAMANKUTTY, N. K. K.; GOLDWIJK, K. K.; LEEMANS, R.; FOLEY, J. & OLDFIELD, F. Land cover change over the last three centuries due to human activities. *Global Change Newsletter*, 47:17-18, 2001.
- RAMIRES, J.R.S. Transporte de banco de macrófitas flutuantes em função do nível hidrométrico no rio Paraguai, Pantanal-MS. Monografia de Graduação em Ciências Biológicas, UFMS, Corumbá, MS, 1993. 31p.
- REICOSKY, D.C.; DUGAS, W.A. & TORBERT, H.A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. *Soil Tillage Res.*, 41:105-118, 1997.

- ROCHA, J.D.; GÓMEZ, E.O.; PÉREZ, J.M.M. & CORTEZ, L.A.B. 2003. A tecnologia de leite fluidizado borbulhante em regime de pirólise rápida para a obtenção de bio-óleo a partir de resíduos agro-industriais. 1º Congresso Internacional de Biodiesel - Rede Brasileira de Biodiesel, Ribeirão Preto, São Paulo - Brasil. 14 a 16 de abril de 2003. 2 p.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J. & VASCONCELLOS, C.A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the ¹³C/¹²C isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. *Geoderma*, 104:185-202, 2001.
- ROSSEL, C. 2007. *JornalCana*, março 2007, p. 26-28. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/pdf/159/%5Ctecindl.pdf>>. Acesso em 23 mar. 2008.
- SCHNITZER, M. Soil organic matter-the next 75 years. *Soil Sci.*, 151:41-58, 1991.
- SCHWANTES, A.R.; LIMA, I.B.T. & SCHWANTES, M.L.B. Functional properties of fish hemoglobins in erythrocytes and in solution. In: BICUDO, E. & GLASS, M., ed. *The vertebrate gas transport cascade: adaptations to environment and mode of life*. New York, CRC, 1993. p. 188-193.
- SILVA, L.M.V. DA & PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. *Energia na agricultura*, 14:13-24, 1999.
- SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P.; TAYLOR, J.A.; OADES, J.M. & MCCLURE, S.G. The chemistry and nature of protected carbon in soil. *Aust. J. Soil Res.*, 34:251-271, 1996.
- SOLLINS, P.; HOMANN, P. & CALDWELL, B.A. Stabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, 74:65-105, 1996.
- SOMBROEK, W.G.; NACHTERGAELE, F.O. & HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestrations of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22:417-426, 1993.
- SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166:858-871, 2001.
- TÉLLEZ, T.R.; LÓPEZ, E.M.R.; GRANADO, G.L.; PÉREZ, E.A.; LÓPEZ, R.M. & GUZMÁN, J.M.S. The Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*: an invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain). *Aquatic Invasions*, 3:42-53, 2008.
- WANDER, M.M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: MAGDOFF, F. & WEIL, R., eds. *Advances in Agroecology*. Boca Raton, CRC Press, 2004. p. 67-102.
- WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J. & DOKKEN, D. J. Land use, land-use change and forestry: a special report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 377 p.
- WILSON, J.R.; HOLST, N. & REES, M. Determinants and patterns of population growth in water hyacinth, *Aquatic Botany*, 81:51-67, 2005.

WOODS, W.I. & MCCANN, J.M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. Yearb. - Conf. Lat. Am. Geogr., 25:7-14, 1999.