



# Capítulo 18

Costumes tupiniquins  
Roça de toco queimado  
Era feita mesmo assim  
Em terreno inclinado.

Tudo isso para mim  
Já faz parte do passado  
Mas está longe do fim  
Plantar em chão preservado.

*Geovane Alves de Andrade*



# Impacto das Atividades Agrícolas, Florestais e Pecuárias nos Recursos Naturais

---

---

Mercedes Maria da Cunha Bustamante

Eddie Lenza de Oliveira

## Abstract

*Land use changes are one of the main causes of increasing emissions of greenhouse gases to the atmosphere, especially CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. The savannas of Central Brazil, locally known as Cerrado, originally occupied an area of 2 millions km<sup>2</sup> and present the highest biological diversity of all savannas in the world. In spite of its ecological relevance, this biome is experiencing an intense process of land cover conversion mainly due to agricultural activities. In the present work, we revised studies related to the effects of land use changes in the Cerrado on carbon and nitrogen cycles and consequences in terms of emissions of greenhouse gases (GHG). Frequent fires affects significantly the emissions of GHG to the atmosphere and can alter heat and energy fluxes accelerating climate changes at local and regional scale. Changes in land cover with the replacement of native vegetation by pastures and crops also impacts fluxes and stocks of carbon and nitrogen. The integrated understanding of the biogeochemical cycles of the different elements in face of land use and climate changes could contribute to the development of better strategies of mitigation and adaptation.*



## Introdução

As mudanças no uso da terra estão entre as principais causas da emissão de gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera, particularmente  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Aumentos nas concentrações atmosféricas desses gases trazem inúmeras conseqüências ambientais negativas, entre elas aumento de temperatura, alterações no regime pluviométrico com eventos de precipitação mais intensos (WATSON, 2001).

O Cerrado, com aproximadamente 2 milhões de área original (EITEN 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998), apresenta a maior diversidade biológica entre as savanas mundiais (MYERS et al., 2000). Apesar da importância biológica e ambiental desse bioma no cenário mundial, observa-se, nas últimas décadas, um intenso processo de destruição com a conversão da cobertura vegetal por atividades produtivas, particularmente a pecuária e a agricultura (MACHADO et al., 2004; KLINK; MACHADO, 2005). Desde o ano 1985, o Cerrado tem perdido em média 1,1 % de vegetação nativa em virtude de atividades agropecuárias (MACHADO et al., 2004). A pecuária, principal atividade econômica responsável pela conversão da vegetação natural (DIAS, 1994), ocupa cerca de 67 % de toda área de Cerrado transformada (KLINK; MOREIRA, 2002). Entretanto, nas duas últimas décadas, a produção de grãos, particularmente a soja, tem aumentado consideravelmente (IBGE, 2008). Além da soja, ocupam importante papel econômico na região o milho, o feijão e mais recentemente o algodão. O relevo suave e as boas condições físicas e hídricas dos solos do Cerrado, bem como a existência de um período chuvoso bem definido, favoreceram o desenvolvimento da pecuária e da agricultura nas últimas 3 décadas.

Outro fenômeno importante envolvido no uso da terra no Cerrado é a ocorrência de queimadas antrópicas. As queimadas no Cerrado alteram a estrutura e a composição de espécies (MOREIRA, 2000), a ciclagem de nutrientes (PIVELLO; COUTINHO, 1992; KAUFFMAN et al., 1994), com conseqüências sobre as de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gases do efeito estufa, para a atmosfera (POTH et al., 1995; SANTOS, 1999; SILVA, 1999; KAUFFMAN et al., 1995; KAUFFMAN et al., 1998).

O objetivo do presente capítulo é revisar alguns dos resultados sobre os efeitos das mudanças no uso da terra no Cerrado sobre os ciclos do carbono e do nitrogênio e suas conseqüências em termos de emissões de gases de efeito estufa.



## Estoques de C e N em Áreas Nativas de Cerrado

Estimativas do estoque de biomassa e carbono em distintas fitofisionomias do Cerrado indicam uma grande variabilidade, tanto em uma mesma fitofisionomia quanto entre as diferentes fitofisionomias do Cerrado. A variação entre as estimativas da biomassa no Cerrado deve-se à heterogeneidade na estrutura da vegetação, à sazonalidade climática e da vegetação, à frequência de queimadas e ao tempo da última queimada bem como às diferentes metodologias aplicadas.

Ottmar et al. (2001) estimaram o estoque de biomassa aérea em diferentes fitofisionomias de Cerrados do Brasil Central. Os valores de biomassa aérea variaram entre 3,78 Mg.ha<sup>-1</sup> e 16,57 Mg.ha<sup>-1</sup> para áreas campo limpo, entre 6,68 Mg.ha<sup>-1</sup> e 15,77 Mg.ha<sup>-1</sup> para áreas de campo sujo, entre 12,55 Mg.ha<sup>-1</sup> e 39,05 Mg.ha<sup>-1</sup> para áreas de cerrado ralo, entre 20,9 Mg.ha<sup>-1</sup> e 58,01 Mg.ha<sup>-1</sup> para áreas de cerrado sentido restrito e entre 29,90 Mg.ha<sup>-1</sup> e 71,89 Mg.ha<sup>-1</sup> para áreas cerrado denso.

Diferentes estudos indicam haver um maior estoque de carbono em fitofisionomias arbóreas de Cerrado, bem como um maior estoque de carbono na biomassa subterrânea. A biomassa aérea e subterrânea em quatro fitofisionomias de Cerrado (campo limpo, campo sujo, cerrado aberto e cerrado denso) foi determinada por Castro e Kauffman (1998). Encontraram-se valores entre 5,5 Mg.ha<sup>-1</sup> e 29,4 Mg.ha<sup>-1</sup> para biomassa aérea e entre 16,3 Mg C.ha<sup>-1</sup> e 52,9 Mg C.ha<sup>-1</sup> para biomassa subterrânea. As taxas entre biomassa subterrânea e biomassa aérea (TBSA) variaram entre 2,6 e 7,7, indicando maior estoque de biomassa subterrânea nas quatro fitofisionomias. De maneira semelhante, Lilienfein et al. (2001) encontraram maiores valores de biomassa subterrânea (30,36 Mg.ha<sup>-1</sup>) em relação à biomassa aérea (22,7 Mg C.ha<sup>-1</sup>) em uma área de cerrado sentido restrito de Uberlândia, MG. Por meio de relações alométricas, Rezende (2002) estimou o estoque total de carbono na biomassa aérea em 11,6 Mg.ha<sup>-1</sup> e subterrânea em 18,6 Mg.ha<sup>-1</sup> e uma TBSA de 1,6 em um cerrado sentido restrito do Distrito Federal.

Em uma revisão com resultados de seis outros estudos em áreas de Cerrado, Grace et al. (2006) mostraram também ampla variação nos estoques estimados de biomassa aérea (entre 1,8 Mg C.ha<sup>-1</sup> e 15,9 Mg C.ha<sup>-1</sup>) e subterrânea (entre 7,6 Mg C.ha<sup>-1</sup> e 20,6 Mg C.ha<sup>-1</sup>). As TBSA calculadas também variaram amplamente (entre 1,3 e 5,6) com maiores valores de TBSA em fitofisionomias campestres (campo limpo e campo sujo) em relação a fitofisionomias savânicas (cerrado sentido restrito e cerrado sentido amplo).



Apesar das biomassas aérea e subterrânea representarem importantes estoques de carbono no Cerrado, as maiores quantidades de carbono se encontram armazenadas na matéria orgânica do solo (MOS) (ABDALA et al., 1998; GRACE et al., 2006). Castro (1996) estimou o estoque de carbono da MOS de diferentes fitofisionomias de Cerrado do Distrito Federal entre 211 Mg C.ha<sup>-1</sup> e 255 Mg C.ha<sup>-1</sup>. Em duas outras áreas de cerrado sentido restrito no Distrito Federal, o estoque de carbono na MOS foi de 202 Mg C.ha<sup>-1</sup> (REZENDE, 2002) e de 321 Mg C.ha<sup>-1</sup> (ABDALA et al., 1998). Dessa forma, a MOS do Cerrado representa o mais importante componente do sistema para o acúmulo e sumidouro de carbono. A inclusão desse componente poderá dar um novo quadro quanto ao papel do Cerrado para os estoques e fluxos do CO<sub>2</sub> para atmosfera, no entanto novos estudos são necessários para reduzir as incertezas desses estoques e fluxos (GRACE et al., 2006) frente à elevada heterogeneidade da vegetação observada no Cerrado.

Estudos sobre os estoques de nitrogênio nos diferentes componentes do Cerrado são ainda restritos e limitados. No estudo de Resende (2001), foram estimados os estoques de N na serrapilheira fina (123 kg.N.ha<sup>-1</sup>), no solo a até 1 metro de profundidade (4.576 kg.N.ha<sup>-1</sup>), em raízes (> 2 mm) a até 80 cm de profundidade do solo (103 kg.N.ha<sup>-1</sup>). Na mesma área, Bustamante et al. (2006a) calcularam que o estoque de nitrogênio em folhas de espécies lenhosas na serrapilheira representa 24 kg.N.ha<sup>-1</sup>. Somados, esses valores representam um estoque de nitrogênio de 4.826 kg.N.ha<sup>-1</sup> e indicam que os maiores estoques se encontram na matéria orgânica do solo (95 %). Esses resultados devem ser vistos com cautela, pois os dois estudos acima se referem a uma área de cerrado sentido restrito protegido do fogo há 28 anos, um fenômeno raro em áreas de Cerrado. Dessa forma, são necessários novos estudos em diferentes fisionomias de Cerrado e com diferentes regimes de queima para melhor compreensão dos estoques de nitrogênio no Cerrado.

## **Fluxos de C e N em Áreas Nativas de Cerrado**

A sazonalidade climática e dos eventos vegetativos e reprodutivos da vegetação do Cerrado determina ciclos sazonais nos fluxos de C e N (MIRANDA et al., 1997; PINTO et al., 2002; VARELLA et al., 2004; NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003). A perda de biomassa aérea viva de espécies herbáceas e subarbustivas, particularmente de gramíneas, leva ao acúmulo de biomassa morta durante a estação seca (COUTINHO, 1990; KAUFFMANN et al.,



1994), e os ciclos anuais de substituição da folhagem das espécies lenhosas e produção de serapilheira (NARDOTO et al., 2006) tornam a ciclagem de elementos químicos do componente lenhoso altamente sazonal. Além da produção marcadamente sazonal de serapilheira, a qualidade do material vegetal afeta as taxas de decomposição.

Determinações dos fluxos sazonais de  $\text{CO}_2$  entre o ecossistema e a atmosfera em um cerrado sentido restrito no Distrito Federal indicaram que esse atua como um sumidouro de  $\text{CO}_2$  durante toda estação chuvosa e como fonte por um breve período ao final da seca (MIRANDA et al., 1996; MIRANDA et al., 1997). Um balanço anual feito por Miranda et al. (1996) para esse cerrado indicou que houve um sumidouro anual  $2,5 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Em outro estudo, Rocha et al. (2002) também registraram sumidouro de carbono em um cerrado sentido restrito de São Paulo, embora em menor quantidade ( $0,1 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  a  $0,3 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ). Essas diferenças observadas chamam a atenção para o estabelecimento de novos estudos mais amplos e que considerem a heterogeneidade da vegetação em diferentes áreas e fitofisionomias de Cerrado a fim de se compreender melhor o papel do Bioma Cerrado para o acúmulo de carbono. Uma única estimativa mais ampla feita por Grace et al. (2006) para savanas tropicais, incluindo o Cerrado, indicou que essas savanas acumulam  $0,14 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , contribuindo para um sumidouro total de  $0,39 \text{ Gt C.ano}^{-1}$ , cerca de 15 % de todo carbono fixado pela vegetação mundial.

Um componente importante do sistema sobre os fluxos de  $\text{CO}_2$  no Cerrado é a respiração dos solos, que é fortemente influenciada pela temperatura e pela umidade (MEIR et al., 1996; PINTO et al., 2002). Essas duas variáveis ambientais foram determinantes para a sazonalidade dos fluxos de  $\text{CO}_2$  do solo em cerrado sentido restrito e cerrado denso no Distrito Federal, que apresentaram aumentos no período chuvoso e reduções no período seco (PINTO et al., 2002). A respiração das raízes e a decomposição da serapilheira e das raízes pela biota são as principais fontes de  $\text{CO}_2$  no solo. Os fluxos anuais em áreas nativas, determinados por Aduan (2003) em dois anos consecutivos (2000 e 2001), foram  $13,18 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $13,47 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para cerrado sentido restrito e  $11,96 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $12,80 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para cerrado denso. Valores muito semelhantes foram encontrados por Pinto (2006) para campo sujo ( $13,6 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e cerrado sentido restrito ( $14,5 \text{ Mg C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) também no Distrito Federal.

Os solos do Cerrado, entretanto, não são fortes emissores de metano ( $\text{CH}_4$ ). De acordo com estudo realizado sobre os fluxos de  $\text{CH}_4$  em áreas nativas de Cerrado (POTH et



al., 1995), os solos podem atuar como um pequeno sumidouro desse gás. As emissões de metano ocorrem em ambientes anaeróbicos, porém essa condição é rara para os solos bem drenados de Cerrado, o que pode explicar as insignificantes emissões observadas. Dessa forma, é necessário desenvolver novos estudos para entender melhor as emissões de  $\text{CH}_4$  em sistemas nativos do Cerrado. Estudos recentes sugerem que parte do total desse gás medido na atmosfera possa ser emitido pela vegetação, especialmente em regiões savânicas (KEPPLER et al., 2006). Entretanto, até o momento, não há estudos sobre as emissões de metano da vegetação nativa no Cerrado.

Emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) em áreas nativas de Cerrado são muito baixas e estão geralmente abaixo dos níveis de detecção dos estudos realizados até o momento (POTH et al., 1995; PINTO et al., 2002; VARELLA et al., 2004). De maneira semelhante ao que ocorre para a vegetação, a atividade de microorganismos no solo do Cerrado, responsáveis por etapas importantes dos ciclos biogeoquímicos, é controlada pelas condições ambientais, sendo, portanto, altamente sazonal (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003; VARELLA et al., 2004). Por exemplo, maiores atividades de bactérias nitrificadoras e denitrificadores no Cerrado têm sido observadas no início do período chuvoso (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003). Com o aumento da umidade do solo, fluxos mais elevados de óxido nítrico (NO) foram encontrados (PINTO et al., 2002).

## **Efeitos de Queimadas sobre os Fluxos de C e N do Ecossistema para a Atmosfera**

O Cerrado apresenta uma longa história de fogo, tanto natural quanto antrópico. O fogo é considerado um dos fatores naturais determinantes da estrutura e funcionamento do bioma. No entanto, após o desenvolvimento da agricultura e da pecuária, a ocorrência do fogo no Cerrado tem aumentado, tanto em áreas cultivadas (MISTRY, 1998) como em áreas nativas (KLINK; MOREIRA, 2002). Apenas entre os anos de 1996 e 1999, os focos de queimadas no Cerrado triplicaram (BRASIL, 2002), e cerca 85 % das queimadas no Brasil ocorreram na região do Cerrado (ALVALÁ; KIRCHHOFF, 1998). Estimativas para a década de 1980 indicaram que a frequência média de queimadas em áreas de Cerrado nativo era de 2 a 4 anos (COUTINHO, 1982; COUTINHO, 1990). Klink e Moreira (2002) afirmam que, a partir da década de 1990, as queimadas ocorrem quase anualmente na grande maioria de áreas nativas de Cerrado.



O material combustível para as queimadas no Cerrado é fornecido principalmente pelo estrato graminoso-herbáceo, responsável pela ocorrência de queimadas durante a estação seca. Queimadas em vegetação nativa de Cerrado reduzem os estoques de biomassa na vegetação (OTTMAR et al., 2001). No entanto, pode haver um acúmulo de biomassa aérea devido à recuperação da vegetação após a queimada do fogo. As espécies herbáceas de Cerrado aumentam a biomassa e a produtividade primária líquida após a passagem do fogo no Cerrado (BATMANIAN; HARIDASAN, 1985; ANDRADE, 1998). A recuperação da biomassa do estrato herbáceo do Cerrado é facilitada devido à mineralização pelo fogo de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas que são reincorporados ao solo por deposição seca e úmida (KAUFFMANN et al., 1994) e prontamente absorvidos pelo estrato herbáceo-graminoso (BATMANIAN, 1983; ANDRADE, 1998). Espécies arbustivo-arbóreas também produzem folhas intensamente após a passagem do fogo (SARMIENTO, 1984), contribuindo para a recuperação de parte da biomassa consumida pelo fogo.

No entanto, apesar de certa resiliência da vegetação às queimadas, os ciclos biogeoquímicos são alterados (PIVELLO; COUTINHO, 1992; KAUFFMAN et al., 1994) pela mineralização dos nutrientes contidos na biomassa queimada. Essas alterações podem ocasionar perdas nos estoques de carbono e nitrogênio na biomassa viva e morta e na serapilheira (KAUFFMANN et al., 1994; ROSCOE et al., 2000; NARDOTO et al., 2006) pela exportação dos nutrientes através da atmosfera (COUTINHO, 1979). Perdas desses elementos por erosão podem também ocorrer, uma vez que os solos ficam expostos após a passagem do fogo, e as queimadas provocam selamento superficial, reduzindo a taxa de infiltração de água (KATO, 2002).

Adicionalmente, estudos no Cerrado já mostram que o estoque da biomassa da vegetação pode ser reduzido significativamente com aumento da frequência de queimadas (KAUFFMANN et al., 1994; GRACE et al., 2006). Estimativas feitas para o estrato herbáceo indicam que seria necessário um tempo entre 18 e 24 meses para recuperação da biomassa consumida pelo fogo (BATMANIAN; HARIDASAN, 1985; NASCIMENTO NETO et al., 1998), tempo insuficiente para acumular a biomassa graminosa antes da passagem do fogo, se considerarmos que atualmente a frequência de queimadas no Cerrado é aproximadamente anual. Deve-se acrescentar ainda que não existem muitos estudos determinando o tempo de recuperação da biomassa lenhosa, que é mais negativamente afetada pela passagem do fogo e que, portanto, pode ser responsável pelas maiores perdas de biomassa.





Os estoques de carbono no solo não são fortemente afetados pelas queimadas. Roscoe et al. (2000) mostraram que os estoques de carbono na MOS em áreas frequentemente queimadas de Cerrado mantêm-se inalterados em relação a áreas não queimadas, indicando que os solos apresentam estoque mais conservativo que a biomassa em resposta às queimadas. Devido aos grandes estoques de carbono no solo e ao seu caráter mais conservativo frente à passagem do fogo, esses estoques podem representar um componente importante para conservação de carbono no bioma.

No entanto, todas as mudanças florísticas e estruturais da vegetação provocadas por queimadas antrópicas com redução da vegetação lenhosa pelo fogo e o concomitante aumento da vegetação herbáceo-graminosa elevam os riscos de novas queimadas, além de reduzir o albedo e a rugosidade da vegetação. Essas mudanças são responsáveis por aumentos na temperatura e nos fluxos de elementos químicos para a atmosfera e por reduções nos índices pluviométricos, que, por sua vez, aumentam as chances de que novas queimadas ocorram. Em última análise, aumentos na frequência de queimadas no Cerrado alteram os ciclos hidrológicos (QUESADA et al., 2004) e os fluxos de GEE para a atmosfera (POTH et al., 1995; KISSELLE et al., 2002; PINTO et al., 2002; SANTOS et al., 2003).

Segundo Crutzen e Andreae (1990) e Korontzi (2005), as queimadas em savanas tropicais são responsáveis pela emissão de enormes quantidades de elementos químicos para a atmosfera, entre eles alguns gases do efeito estufa, como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Estimativas feitas por Levine et al. (1996) para Savanas mundiais indicam que a queima de biomassa é responsável por grandes emissões globais de  $\text{CO}_2$  (1,8 Gt) e de  $\text{CO}$  (0,31 Gt) e menores emissões de  $\text{CH}_4$  (0,038 Gt) e de  $\text{NO}$  (0,08 Gt). Um estudo recente desenvolvido por Grace et al. (2006) confirma o papel do fogo como o principal fator de emissão de carbono em savanas tropicais, estimada em  $4,5 \text{ Gt C.ano}^{-1}$ .

Durante a passagem do fogo no Cerrado, parte dos nutrientes contidos na biomassa morta e viva da vegetação e na serapilheira é volatilizada e liberada para a atmosfera (COUTINHO, 1979; PIVELLO; COUTINHO, 1992; KAUFFMANN et al., 1994). A combustão da biomassa é também responsável pela emissão de cinzas e fuligem ou carbono preto (PIVELLO; COUTINHO, 1992; KAUFFMANN et al., 1994; GRACE et al., 2006). Miranda et al. (1996) estimaram valores entre  $5,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$  e  $9,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$  de biomassa consumida pelo fogo para duas áreas de campo sujo no Distrito Federal. Valores um pouco maiores ( $11 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) foram encontrados por Riggan et al. (2004), por meio de análises de



sensoriamento remoto em um cerrado sentido restrito do Distrito Federal. Dois estudos desenvolvidos em quatro fisionomias distintas de Cerrado do Brasil Central encontraram valores semelhantes aos apresentados anteriormente (KAUFFMANN et al., 1994 - entre 6,2 Mg.ha<sup>-1</sup> e 8,4 Mg.ha<sup>-1</sup>; CASTRO; KAUFFMAN, 1998 - entre 5 Mg.ha<sup>-1</sup> e 13,4 Mg.ha<sup>-1</sup>).

Diferenças na absorção anual líquida de carbono foram observadas por Miranda et al. (1996); Maia (2003); Rocha et al. (2002), em três áreas de cerrado sentido restrito submetidas a fogo (2,5 Mg C.ha.ano<sup>-1</sup>; 1,2 Mg C.ha.ano<sup>-1</sup> e 1,5 Mg C.ha.ano<sup>-1</sup>; 0,1 Mg C.ha.ano<sup>-1</sup> e 0,3 Mg C.ha.ano<sup>-1</sup>, respectivamente). Miranda et al. (1996) sugerem que a alta produtividade líquida anual de carbono observada poderia ser consequência da recuperação da vegetação após a ocorrência de uma queimada na área há 7 anos. De maneira semelhante, a área estudada por Maia (2003) entre os anos de 2000 e 2001 sofreu uma queimada acidental no ano de 1999. Por outro lado, a área de Cerrado estudada por Rocha et al. (2002) não foi queimada por longos períodos. Em sete meses de estudo, Silva (1999) mostrou que um campo sujo acumulou 0,55 Mg C.ha<sup>-1</sup> e que a ocorrência de queimada levou a emissões entre 2,7 Mg C.ha<sup>-1</sup> e 4,1 Mg C.ha<sup>-1</sup>, fazendo com que a área passasse de sumidouro a fonte de carbono para a atmosfera, com taxas de emissão entre 2,6 Mg C.ha<sup>-1</sup> e 3,6 Mg C.ha<sup>-1</sup>. Considerados juntos, esses estudos indicam que fitofisionomias savânicas de Cerrado podem atuar como sumidouros, embora a magnitude desse acúmulo anual dependa da história do fogo.

A ocorrência de queimadas no Cerrado pode resultar em um aumento das emissões de gases de carbono e partículas alterando os fluxos de massa e energia tanto em âmbito local e como em regional. Segundo Boian e Kirchoff (2004), o CO liberado pelo fogo na região do Cerrado pode alcançar outras regiões no Brasil, movido por grandes correntes de circulação de massas de ar. Os efeitos dessas mudanças sobre o clima ainda aguardam estudos mais detalhados, mas, considerando que o CO<sub>2</sub> e o CO estão associados ao aquecimento global e a alterações na química da atmosfera (RAMASWAMY et al., 2001), espera-se que o fogo no Cerrado seja um dos principais responsáveis por mudanças climáticas na América do Sul.

Não existem estudos detalhados sobre o efeito do fogo sobre as emissões de CH<sub>4</sub> da vegetação do Cerrado para a atmosfera. No entanto, um amplo estudo avaliando os efeitos do fogo sobre as emissões atmosféricas de CH<sub>4</sub> em savanas africanas (KORONTZI, 2005) mostrou que ocorrem pequenas emissões regionais de CH<sub>4</sub>, que sugere que o fogo



em savanas tropicais não interfere decisivamente nas emissões. Em 2002, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) reuniu dados do Bioma Cerrado (BRASIL, 2002) sobre áreas queimadas, biomassa total e consumida pelo fogo, e a fração dos diferentes elementos químicos na biomassa, para estimar as emissões de gases do efeito estufa pelo fogo. Segundo os cálculos do Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2002), as queimadas no bioma foram responsáveis por elevadas emissões de CO (3.449 Gt.ano<sup>-1</sup>) e menores fluxos de CH<sub>4</sub> (230 Gt.ano<sup>-1</sup>), comprovando alguns estudos de campo que mostram consideráveis emissões de CO pelo fogo.

Além dos efeitos diretos do fogo na emissão de elementos químicos de carbono para a atmosfera, as emissões desses elementos dos solos de Cerrado podem ser alteradas após a passagem do fogo e em interação com a umidade do solo. Os estudos de Poth et al. (1995) em cerrado sentido restrito e Pinto et al. (2002) em campo sujo e cerrado sentido restrito, ambos no Distrito Federal, mostraram que geralmente as emissões de CO<sub>2</sub> durante a estação seca são semelhantes entre áreas queimadas e não queimadas. Entretanto, esse quadro se altera durante a estação chuvosa, com os maiores fluxos sendo observados em áreas queimadas (PINTO et al., 2002). Experimentos de adição de água ao solo conduzidos nos dois estudos indicaram ainda que os fluxos de CO<sub>2</sub> são elevados após a adição de água. No entanto, o efeito é de curta duração, pois, 2 dias após a adição, os fluxos são semelhantes àqueles medidos antes da adição (PINTO et al., 2002).

Esses resultados indicam que, a curto prazo, os aumentos nas emissões de CO<sub>2</sub> após a passagem do fogo ocorrem apenas quando a umidade do solo é mais elevada. Pinto et al. (2002) sugerem também que os maiores fluxos na estação chuvosa em áreas frequentemente queimadas evidenciam os efeitos a longo prazo do fogo sobre as emissões. Assim as queimadas mais frequentes no Cerrado podem ser responsáveis pelos aumentos nos fluxos de CO<sub>2</sub> em escala de anos (POTH et al., 1995; PINTO et al., 2002).

Diferente do que ocorre para o CO<sub>2</sub>, o fogo eleva apenas a curto prazo as emissões de CO dos solos de Cerrado. Kisselle et al. (2002) mostraram que os aumentos imediatos nos fluxos de CO em cerrado sentido restrito e em campo sujo, após a passagem do fogo, devem-se à produção térmica e fotoquímica de precursores de CO e subsequentemente à sua rápida conversão em CO.

Estudos determinando as emissões diretas de nitrogênio pelo fogo indicam haver grandes perdas de N da biomassa queimada e fluxos para a atmosfera. Pivello e Continho



(1992), estudando um cerrado ralo no Estado de São Paulo, determinaram a emissão de  $20,6 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , que representou 95 % da biomassa queimada. No entanto, Resende (2001) mostrou que queimadas a cada quatro anos em cerrado sentido restrito do Distrito Federal consomem cerca de  $47,7 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , dos quais  $22,4 \text{ kg N.ha}^{-1}$  retornam ao sistema na forma de cinzas, com uma perda líquida de 53 %. Esses resultados indicam que o efeito das queimadas sobre a perda de N na biomassa é muito variável e pode depender da fisionomia analisada e do regime de fogo na área.

A produção anual de serapilheira do estrato arbustivo-arbóreo em áreas de cerrado sentido restrito não queimadas por períodos prolongados foi maior ( $2,36 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) do que em área queimadas freqüentemente ( $0,34 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), reduzindo o fluxo anual de nutrientes via serapilheira entre 60 % e 80 % (NARDOTO et al., 2006). As altas taxas de mortalidade pelo fogo de espécies do componente lenhoso seriam responsáveis pelas reduções encontradas. Conseqüentemente, há uma diminuição no total de nitrogênio mineralizado anualmente por microorganismos do solo em áreas queimadas ( $3,8 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) em relação a áreas não queimadas ( $14,7 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003).

Além dos efeitos diretos da queima de biomassa sobre os fluxos de N, queimadas freqüentes no Cerrado podem elevar as emissões de óxidos de nitrogênio do solo para atmosfera (POTH et al., 1995; PINTO et al., 2002). O estudo de Poth et al. (1995) indicou que, imediatamente após a queimada, houve um aumento significativo nas emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo. No entanto, um mês após o fogo, as emissões foram iguais àquelas observadas antes da queimada. Nesse estudo, as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  dos solos foram baixas, tanto em áreas queimadas como não queimadas, e não foram influenciadas pela umidade do solo, controlada experimentalmente. Segundo Pinto et al. (2002), os baixos níveis de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  no Cerrado não indicam um papel relevante do fogo sobre as emissões desse gás.

Semelhante ao que foi observado para o  $\text{N}_2\text{O}$ , aumentos transitórios, com duração inferior a um mês, nas emissões de NO dos solos, ocorrem após queimadas no Cerrado (POTH et al., 1995; PINTO et al., 2002). A umidade do solo exerce forte influência sobre as emissões de NO em solos do Cerrado em áreas queimadas e não queimadas. Poth et al. (1995) mostraram que a adição experimental de água mantém as emissões elevadas até um ano após o fogo, mas sítios sem a adição de água reduziram significativamente as emissões um mês após a queimada. Resultados muito semelhantes foram encontrados



no estudo de Pinto et al. (2002) em área não queimada de campo sujo na qual, 30 minutos após a adição de água, os fluxos aumentaram abruptamente e, três dias após a adição de água, reduziram-se aos níveis anteriores à adição. Ademais, Pinto et al. (2002) observaram que há aumentos imediatos nos fluxos de NO com as primeiras chuvas no final do período seco e que esses aumentos são mais pronunciados em áreas queimadas em relação a áreas protegidas do fogo. A taxa de nitrificação no solo do Cerrado é a principal fonte de NO no começo do período chuvoso. No entanto, as baixas taxas de nitrificação nos solos do Cerrado explicam as baixas emissões de  $N_2O$  e NO. As emissões baixas de  $N_2O$  devem-se também à boa drenagem e aeração dos solos, condição que limita a denitrificação, principal fonte de  $N_2O$  nos solos tropicais (DAVIDSON et al., 1993).

As alterações nos estoques e fluxos de N pela ação do fogo podem modificar o tempo de reposição de N no Cerrado. Resende (2001) calculou que o tempo necessário para a reposição de N consumido pelo fogo seria de cerca de 6 anos, considerando uma perda líquida estimada de  $25,3 \text{ kg N.ha}^{-1}$  e um retorno ao sistema de  $4,24 \text{ kg N.ha}^{-1}$ . O autor concluiu que as queimadas em áreas de Cerrado podem empobrecer o sistema e reduzir a produtividade primária, uma vez que aumentam as perdas de N via volatilização e lixiviação.

Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2002), emissões de gases de nitrogênio por queimadas no Bioma Cerrado são pequenas ( $N_2O = 2,41 \text{ Gt.ano}^{-1}$ ,  $NO_x = 41,73 \text{ Gt.ano}^{-1}$ ), quando comparadas as emissões de gases de carbono. Entretanto, esses podem representar importantes perdas para os ecossistemas de Cerrado onde o nitrogênio é escasso e limitante para a vegetação (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003; NARDOTO et al., 2006). Além do mais, o  $N_2O$  tem importante papel no efeito estufa, pois apresenta elevado tempo de residência na atmosfera (cerca de 120 anos) e alto potencial de aquecimento global (RAMASWAMY et al., 2001).

## **Efeitos de Diferentes Usos da Terra no Cerrado nos Fluxos de C e N**

A retirada da vegetação de Cerrado está associada à redução da biomassa aérea e conseqüentemente do estoque de carbono. Além disso, áreas nativas de Cerrado possuem menor albedo e maior rugosidade (HOFFMANN; JACKSON, 2000) e sistemas radiculares mais profundos e desenvolvidos (EITEN, 1972; OLIVEIRA et al., 2005), quando comparadas às pastagens plantadas e lavouras. Hoffmann e Jackson (2000) afirmaram que mudanças nas propriedades físicas da vegetação podem, por si só, alterar as



interações entre a biosfera e a atmosfera. Segundo esses autores, a conversão da vegetação nativa de Cerrado pode reduzir a evapotranspiração e o fluxo de calor latente para atmosfera e conseqüentemente diminuir a pluviosidade, bem como aumentar a frequência e a intensidade dos veranicos (breves períodos sem chuva durante a estação chuvosa) e elevar as temperaturas do ar na superfície. No entanto, a intensidade e as conseqüências dessas mudanças são ainda pouco conhecidas para o Cerrado.

Os impactos das atividades agrícolas no Cerrado não se restringem apenas aos efeitos diretos da remoção e substituição da vegetação nativa. Por exemplo, Balbino et al. (2004) mostraram que a conversão de áreas nativas de Cerrado em pastagem reduz a formação de microagregados e conseqüentemente a porosidade de camadas superficiais do solo, a condutividade hidráulica e a capacidade de retenção de águas nessas camadas. As mudanças em macro e microestruturas dos solos em pastagem no Cerrado são conseqüências da redução da atividade da fauna do solo (BALBINO et al., 2004) e da compactação devido ao uso de máquinas agrícolas (CORRÊA, 2002). Todas alterações físicas e químicas do solo podem aumentar a compactação e retenção de água (NEUFELDT et al., 1999), a suscetibilidade à erosão (REATTO et al., 1998) e a lixiviação e perda de nutrientes (WILCKE; LILIENFEIN, 2005).

Como em áreas nativas de Cerrado, cerca de 80 % do carbono encontra-se na matéria orgânica do solo (ROSCOE et al., 2000; ROSCOE et al., 2001; ROSCOE, 2002). Atividades que alteram esses estoques podem ter profundos efeitos sobre a ciclagem de nutrientes no sistema. Todas essas mudanças podem alterar, direta ou indiretamente, os ciclos biogeoquímicos em escala local e regional.

Técnicas de manejo do solo, como o plantio direto e a rotação de culturas, estão reduzindo o impacto negativo da agricultura sobre algumas propriedades dos solos de Cerrado (CORRÊA, 2002). Pastagens bem manejadas no Cerrado, geralmente, possuem produtividade primária líquida e estoques de carbono e biomassa similares, ou até mesmo maiores, que àqueles apresentados pelas diferentes fitofisionomias do Cerrado (ROSCOE et al., 2001; SANTOS et al., 2004; SILVA et al., 2004), o que poderia sugerir um maior acúmulo de biomassa em pastagens do que em vegetação nativa do Cerrado. No entanto, aproximadamente 50 % das pastagens no Cerrado encontram-se degradados (BARCELOS, 1996) e produzem geralmente menores quantidades de serapilheira, de matéria orgânica (SILVA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004) e de biomassa microbiana nos solos (OLIVEIRA et al., 2004), reduzindo assim o estoque total de biomassa na vegetação



e nos solos. Aduan (2003) mostrou estoques de carbono semelhantes entre os solos de pastagem degradada (252 Mg.ha<sup>-1</sup>) cerrado sentido restrito (228,4 Mg.ha<sup>-1</sup>) e cerrado denso (230 Mg.ha<sup>-1</sup>). Além do mais, o estoque total (vegetação + MOS) de carbono na pastagem (261,9 Mg.ha<sup>-1</sup>) foi ligeiramente menor do que aquele observado cerrado sentido restrito (272,9 Mg.ha<sup>-1</sup>) e cerrado denso (291,69 Mg.ha<sup>-1</sup>) (ADUAN, 2003).

Alterações na biomassa e nos estoques de carbono com a conversão da vegetação nativa podem ter reflexos sobre a produtividade e os fluxos anuais e sazonais no Cerrado. Santos et al. (2004) mostraram que os fluxos de CO<sub>2</sub> para a atmosfera em uma área de pastagem na região do Cerrado foram superiores aqueles observados em uma área de cerradão, sugerindo que os estoques de carbono e a produtividade em pastagens bem manejadas podem ser maiores do que na vegetação nativa.

Varella et al. (2004) compararam os fluxos de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera em uma área de pastagem de baixa produtividade e um cerrado sentido restrito no Distrito Federal e não encontram diferenças significativas entre os fluxos nos dois sistemas. Também no Distrito Federal, Aduan (2003) encontrou maiores variações sazonais nas emissões de CO<sub>2</sub> em uma pastagem em relação a duas fisionomias de Cerrado e explica que as diferenças encontradas se devem a maior atividade fisiológica e ao crescimento mais acelerado de gramíneas bem como a maior atividade microbiana no solo da pastagem. Os resultados muitas vezes divergentes quanto aos estoques e fluxos de carbono entre pastagem e áreas nativas de Cerrado podem ser em consequência das técnicas de manejo dos solos (CORRÊA, 2002), da intensidade de pastoreio (SANTOS et al., 2004) e do grau de degradação em pastagens (ADUAN, 2003; OLIVEIRA et al., 2004; SILVA et al., 2004), bem como da grande heterogeneidade estrutural e dos estoques de biomassa nas distintas fisionomias de Cerrado (KAUFFMAN et al., 1994; CASTRO; KAUFFMAN, 1998; OTTMAR et al., 2001). Dessa forma, são necessários estudos mais detalhados desses aspectos dos sistemas para ser obter resultados mais conclusivos do efeito da conversão sobre os estoques e fluxos de C e conseqüentemente sobre as mudanças em longo prazo das concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>.

Simulações com modelos para áreas com cultivo de grãos no Cerrado indicam que a conversão para agricultura demanda uma entrada anual de C de cerca de 8.5 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para manter o estoque de C do solo nos níveis encontrados sob vegetação nativa. As entradas de C incluíram tanto a palhada como raízes de soja, milho ou milheto, mas o modelo indicou que o cultivo com pousio não sustenta os níveis necessários de C. Para tal, seria preciso associar um segundo ciclo de cultivo no ano e um manejo eficiente do nitrogênio no solo (BUSTAMANTE et al., 2006b).



Dados disponíveis sobre estoques de C no solo sob silvicultura não são conclusivos sobre o potencial de seqüestro. Alguns trabalhos indicam acúmulo de C (CORAZZA et al., 1999, com *Eucalyptus*), enquanto outros indicam perdas ou ausência de diferenças significativas em relação ao Cerrado nativo (LILIENFEIN et al., 2001; ZINN et al., 2002)

Os dados sobre os impactos de diferentes usos da terra nas emissões de metano no Cerrado são muito escassos. Saminêz (1999) comparou os fluxos de  $\text{CH}_4$  de latossolos de Cerrado sob vegetação nativa, pastagem, rotação soja-milho, plantações de eucalipto e pinheiro e relatou consumo de  $\text{CH}_4$  em todos os usos durante as estações seca e chuvosa, embora com menores valores na última. Fluxos positivos mais baixos foram medidos por Metay et al. (2007) em uma área de cultivo de grãos no Cerrado sob plantio direto ( $0.33 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e convencional ( $0.53 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). A fermentação entérica de ruminantes, como os bovinos, bem como as emissões por dejetos do gado são importantes fonte de  $\text{CH}_4$  para a atmosfera em ecossistemas tropicais (MOSIER et al., 1998), o que pode tornar o rebanho bovino no Cerrado uma fonte potencial destes gases para a atmosfera (LIMA et al., 2001). No entanto, pouco ainda se sabe sobre a importância dessas atividades sobre as concentrações atmosféricas desse gás no Cerrado.

O conhecimento a respeito da conversão de áreas nativas de Cerrado em pastagem sobre os estoques e os fluxos de gases de nitrogênio é ainda muito limitado. Os estoques de N no solo de pastagem bem manejada e de Cerrado diferiram significativamente, sugerindo pequeno efeito da conversão sobre o acúmulo e os fluxos. Varella et al. (2004) mostraram que as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo para a atmosfera em uma pastagem de baixa produtividade no Cerrado foram muito baixas e ficaram abaixo dos limites de detecção, semelhante ao que foi observado na vegetação nativa. Reduções nos fluxos de NO foram observados na pastagem em relação vegetação nativa (VARELLA et al., 2004). Já Pinto et al. (2006) compararam diferentes tratamentos de recuperação de pastagens degradadas (incluindo fertilização e consórcio com leguminosas) e não observaram fluxos expressivos de óxidos de nitrogênio. Dados de uma área com rotação soja-milho indicam um aumento modesto de fluxo de  $0.8 \text{ ng N}_2\text{O-N cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  para  $2.5 \text{ ng N}_2\text{O-N cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (SAMINÉZ, 1999), quando comparados com resultados de outras áreas tropicais. Baixas emissões podem ser explicadas pelo clima seco da região com solos bem drenados. Metay et al. (2007) também indicaram fluxos baixos quando





compararam sistemas agrícolas com plantio direto e convencional. No entanto, as emissões de NO podem quantitativamente ser mais importantes, sobretudo as associadas a eventos de fertilização nitrogenada (CARVALHO et al., 2006).

## Considerações Finais

Queimadas frequentes no Cerrado podem afetar significativamente a entrada de GEE para a atmosfera. Essas emissões podem modificar os fluxos de calor e energia e acelerar o processo de alteração das condições climáticas tanto em âmbito local quanto regional. Dessa forma, é necessário que haja manejo e controle de queimadas em área nativas do Cerrado para reduzir as emissões. De maneira semelhante, é necessário que se entenda melhor o efeito da conversão da vegetação natural por atividades agrícolas sobre os fluxos e estoques de carbono e do nitrogênio, bem como de outros elementos químicos, como o fósforo, que é um elemento químico altamente limitante à produtividade no Cerrado. O conhecimento integrado entre os ciclos biogeoquímicos dos diferentes elementos e da ação das mudanças no uso sobre esses ciclos pode dar uma visão mais abrangente dos impactos ambientais das atividades produtivas no Cerrado e permitir a elaboração de melhores estratégias de mitigação.

Até o momento, estudos avaliando os efeitos das mudanças no uso da terra sobre os ciclos de carbono e nitrogênio no Cerrado se concentram em sua porção sul e sudeste, particularmente no Distrito Federal e no Estado de São Paulo. Considerando que o clima varia ao longo da área de ocorrência do Cerrado e que a vegetação do Cerrado é muito heterogênea tanto em escala local quanto regional, é necessário que novos estudos sejam conduzidos em diferentes regiões do Cerrado. Finalmente, estudos determinando as concentrações e os fluxos atmosféricos a longas distâncias dos gases produzidos pelas atividades produtivas no Cerrado devem ser desenvolvidos para se avaliar os prováveis impactos em âmbito regional.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do projeto "Experimento de Larga Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia" (LBA), subprojeto ND-07. Eddie Lenza recebeu bolsa DTI do programa RHA-E-CNPq para projeto LBA.



## Referências

- ABDALA, G. C.; CALDAS, L. S.; HARIDASAN, M.; EITEN, G. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, p. 11-23, 1998.
- ADUAN, R. E. **Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil central**. 2003. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília.
- ALVALÁ, P. C.; KIRCHHOFF, W. V. J. H. . Observations of atmospheric methane and carbon monoxide in Brazil: SCAR-B Mission. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24, p. 32101-32105, 1998.
- ANDRADE, S. M. A. **Dinâmica do Combustível Fino e Produção Primária do Estrato Rasteiro de Áreas de Campo Sujo de Cerrado Submetidas A Diferentes Regimes de Queima**. 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 1998.
- BALBINO, L. C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, v. 120, p. 297–307, 2004.
- BARCELLOS, A. de O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. **Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados: anais...** Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 130-136.
- BATMANIAN, G. J. **Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes no estrato rasteiro de um cerrado**. 1983. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília.
- BATMANIAN, G. J.; HARIDASAN, M. Primary production and accumulation of nutrients by ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. **Plant and Soil**, v. 88, p. 437-440, 1985.
- BOIAN, C.; KIRCHHOFF, V. W. J. H. Measurements of CO in an aircraft experiment and their correlation with biomass burning and air mass origin in South America. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 6337-6347, 2004.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de gases do efeito estufa da queima de biomassa no cerrado não antrópico utilizando dados orbitais** (Primeiro Relatório Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases do Efeito Estufa - Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais. Brasília, 2002. 53 p. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/21446.html>>. Acesso em: 05 jan. 2008.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E. Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. (Ed.) **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Binghamton, NY: Harworth, 2006b.



- BUSTAMANTE, M. M. C.; MEDINA, E.; ASNER, G. P.; NARDOTO, G. B.; GARCIA-MONTIEL, D. C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. **Biogeochemistry**, v. 79, p. 209-237, 2006a.
- CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N.; VIVALDI, L. J.; SOUSA, D. M. Emissões de óxidos de nitrogênio associadas à aplicação de uréia sob plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 679-685, 2006.
- CASTRO, E. A. **Biomass, nutrient pool and response to fire in the Brazilian cerrado**. 1996. Dissertação (Mestrado) - Oregon State University.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 263-283, 1998.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.
- CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Amarelo em Querência MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 2003-209, 2002.
- COUTINHO, L. M. Aspectos Ecológicos do Fogo No Cerrado. A Precipitação Atmosférica de Nutrientes Minerais. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 2, p. 97-101, 1979.
- COUTINHO, L. M. Ecological Effects Of Fire In Brazilian Cerrado. **Ecological Studies**, v. 42, p. 273-291, 1982.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of Brazilian Cerrado. In: GOLDAMER, G.J. (Ed.) **Fire in the tropical biota**. Berlin: Springer, 1990. p.82-105.
- CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: impacts on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, v. 250, p. 1669-1678, 1990.
- DAVIDSON, E. A.; MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M.; RILEY, R.; DUNKIN, K.; GARCÍA-MÉNDEZ, G.; MAASS, J. M. Processes regulating soil emissions of NO and N<sub>2</sub>O in a seasonally dry tropical forest. **Ecology**, v. 74, p. 130-139, 1993.
- DIAS, B. F. S. Conservação da natureza no Cerrado brasileiro. In: Pinto, M. N. (Org.) **Cerrado**. Brasília, DF: Universidade de Brasília: Sematec, 1994. p. 607-663.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.
- GRACE, J.; SAN JOSÉ, J.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productive and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography** v. 33, p. 387-400, 2006.
- HOFFMANN, W. A.; JACKSON, R. B. Vegetation-climate feedbacks in the conversion of tropical savanna to grassland. **Journal of Climate**, v. 13, p. 1593-1602, 2000.



IBGE. SIDRA. Banco de dados agregados. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 fev. 2008.

KATO, E. **Efeito da queimada na estabilidade de agregados, resistência ao selamento superficial e infiltração de água no solo sob vegetação do cerrado**. 2001. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Fire in the Brazilian Amazon 2. biomass, nutrients pools, and losses in cattle pastures. **Oecologia**, v. 113, p. 415-427, 1998.

KAUFFMANN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, p. 519-531, 1994.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E.; BABBITT. Fire in the Brazilian Amazon: biomass, nutrients pools, and losses in slashed primary forest. **Oecologia**, v. 104, p. 397-409, 1995.

KEPPLER, F.; HAMILTON, J. T. G.; BRAB, M.; RÖCKMANN, T. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. **Nature**, v. 439, p. 187-191, 2006.

KISSELLE, K. W.; ZEPP, R. G.; BURKE, R. A.; PINTO, A. S.; BUSTAMANTE, M. C.; OPSAHL, S.; VARELLA, R. F.; VIANA, L. T. Seasonal fluxes of carbon monoxide in burned and unburned Brazilian savanna. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 8051-8062, 2002.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, p. 707-713, 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land-use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrado of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University, 2002. v. 1, p. 69-88.

KORONTZI, S. Seasonal patterns in biomass burning emissions from southern African vegetation fires for the year 2000. **Global Change Biology**, v. 11, n. 10, p. 1680–1700, 2005.

KRUG, T.; FIGUEIREDO, H. B. de; SANO, E. E.; ALMEIDA, C. A. de; SANTOS, J. R. dos; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. de A. **Emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no Cerrado não-antrópico utilizando dados orbitais**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. 53 p. Relatório de referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

LEVINE, J. S.; WINSTAED, E. I.; SEBACHER, D. I. Biogenic soil emissions of nitric oxide (NO) and nitrous oxide from savannas in South Africa: the impact of wetting and burning. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 23689-23698, 1996.

LILIENTFEIN, J.; WIELCKE, W.; THOMAS, R.; VILELA, L.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Effects of *Pinus caribaea* forests on the C, N, P and S status of Brazilian savanna Oxisols. **Forest Ecology and Management**, v. 147, p. 171-182, 2001.



LIMA, M. A.; BOEIRA, R. C.; CASTRO, V. L. S.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, O. M. R.; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.) **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 169-189.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília, DF: Conservation International, 2004. Technical report.

MAIA, J. M. F. **Balço de energia e fluxo de carbono em uma área de cerrado que sofreu queima acidental**. 2003. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília.

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.; LLOYD, J. Soil respiration in a rainforest Amazônia and in cerrado in central Brazil. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Ed.) **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. p. 319-329.

METAY, A.; OLIVER, R.; SCOPEL, E.; DOUZET, J. M.; MOREIRA, J. A. A.; MARAUX, F.; FEIGL, B. J.; FELLER, C. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). **Geoderma**, v. 114, p. 78-88, 2007.

MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; LLOYD, J.; GRACE, J. A.; MCINTYRE, J. A.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Carbon dioxide fluxes over a cerrado sensu stricto in Central Brazil. In: GASH, J. (Ed.) **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 353-363.

MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, R. J.; MCINTYRE, J. A.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Fluxes of carbon water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant Cell and Environment**, v. 20, p. 315-328, 1997.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The Fire Factor. In: OLIVEIRA, O. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.) **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University, 2002. p. 51-68.

MISTRY, K. Fire in Cerrado (savannas) of Brazil: an Ecological Review. **Progress in Physical Geography**, v. 22, p. 425-448, 1998.

MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 27, p. 1021-1029, 2000.

MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M.; FRENEY, J. R.; HEINEMEYER, O.; MINAMI, K.; JOHNSON, D. W. Mitigation agricultural emissions of methane. **Climatic Change**, v. 40, p. 39-80, 1998.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.



- NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects of fire on soil nitrene dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 955-962, 2003.
- NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KLINK, C. A. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 2, p. 191-201, 2006.
- NASCIMENTO NETO, W.; ANDRADE, S. M. A.; MIRANDA, H. S. The dynamics of the herbaceous layer following prescribed burning: a four years study in the Brazilian savanna. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3.; CONFERENCE ON FIRE AND FOREST METEROLOGY, 14., 1998, Coimbra. **Proceedings...** Coimbra, 1998, v. 2, p. 1785-1792.
- NEUFELDT, H.; AYARZA, M. A.; RESCK, D. V. S.; ZECH, W. Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in Cerrado Oxisols. **Geoderma**, v. 93, p. 85-99, 1999.
- OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; MIRANDA, C. H. B.; VILELA, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Response of degraded pastures in the Brazilian Cerrado to chemical fertilization. **Pasturas Tropicales**, v. 23, p. 14-18, 2001.
- OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Chemical and biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, n. 2, p. 289-300, 2004.
- OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, p. 574-581, 2005.
- OTTMAR, R. D.; VIHANEK, R. E.; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A. **Stereo photo series for quantifying Cerrado fuels in Central Brazil = Series de estereo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do Cerrado do Brasil Central**. [Washington]: USDA: USAID: Brasília, DF: UnB, 2001. v. 1. il.
- PINTO, A. S.; BUSTAMANTE, M. C.; SILVA, M. R. S. S.; KISELLE, K. W.; BROSSARD, M.; KRUGER, R.; ZEEP, R. G.; BURKE, R. A. Effects of different treatments of pasture restoration on soil trace gas emissions in the Cerrados of Central Brazil. **Earth Interactions**, v. 10, p. 1-26, 2006.
- PINTO, A. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KISELLE, K.; BURKE, R.; ZEEP, R.; VIANA, L. T.; VARELLA, R. F.; MOLINA, M. Soil emissions of  $N_2O$ ,  $NO$ , and  $CO_2$  in Brazilian savannas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribe fires. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 8089-8096, 2002.
- PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, p. 487-497, 1992.
- POTH, M.; ANDERSON, I. C.; MIRANDA, H. S.; MIRANDA, A. C.; RIGGAN, P. G. The magnitude and persistence of soil  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$  and  $CO_2$  fluxes from burned tropical savanna in Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 9, p. 503-513, 1995.



QUESADA, C. A. N.; MIRANDA, A. C.; HODNETT M. G.; SANTOS, A. B.; MIRANDA, H. S.; BREYER, L. M. Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. **Ecological applications**, v. 14, p. 533-541, 2004.

RAMASWAMY, V.; BOUCHER, O.; HAIGH, J.; HAUGLUSTAIN, D.; HAYWOOD, J.; MYHRE, G.; NAKAJIMA, T.; SHI, G. Y.; SOLOMON, S. Radiative Forcing of Climate Change. In: HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, D. J.; VAN DER LINDEN, P. J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.). **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. New York: Cambridge University, 2001. p. 349-416. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p. 47-87.

RESENDE, J. C. F. **A ciclagem de nutrientes em áreas de Cerrado e a influência de queimadas controladas**. 2001. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento**. 2002. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.) **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa, 1998. p. 89-166.

RIGGAN, P.; TISSEL, R. G.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J.; PEREIRA, J. A. R.; MIRANDA, H. S.; MIRANDA, A. C.; CAMPOS, T.; HIGGINS, R. Remote measurement of energy and carbon flux from wild fires in Brazil. **Ecological Applications**, v. 14, p. 855-872, 2004.

ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C.; ROSOLEM, R.; JUÁREZ, R. I. N.; TANNUS, R. N.; LIGO, M. A.; CABRAL, O. M. R.; DIAS, M. A. F. S. Measurements of CO<sub>2</sub> exchange over a woodland savanna (cerrado Sensu stricto) in southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 2, p. 1-11, 2002.

ROSCOE, R. **Soil Organic Matter Dynamics in a Cerrado Oxisol**. 2002. Tese (Doutorado) Wageningen University, Wageningen.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; VASCONCELLOS, C. A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**, v. 104, p. 185-202, 2001.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on soil organic matter in a "cerrado sensu-stricto" from Southeast Brazil as revealed by changes in δ<sup>13</sup>C. **Geoderma**, v. 95, p. 141-160, 2000.

SAMINEZ, T. C. O. **Efeito do sistema de cultivo, tensão da água biomassa microbiana e temperatura do solo nos fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em solos de cerrados**. 1999. 99 p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília.



SANTOS, A. B.; QUESADA, C. A. N.; SILVA, G. T.; MAIA, J. M. F.; MIRANDA, H. S.; MIRANDA, A. C.; LLOYD, J. High rates of net ecosystem carbon assimilation by *Brachyaria* pasture in the Brazilian Cerrado. **Global Change Biology**, v. 10, p. 1-9, 2004.

SANTOS, A. B.; SILVA, G. T.; MIRANDA, H. S.; MIRANDA, A. C.; LLOYD, J. Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over campo sujo savanna in central Brazil. **Functional Ecology**, v. 17, p. 711-719, 2003.

SANTOS, J. A. B. **Fluxos de energia, carbono e água em vegetação de campo sujo**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília.

SARMIENTO, G. **The ecology of neotropical savannas**. Cambridge: Harvard University, 1984.

SATO, M. N.; MIRANDA, H. S. Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado *sesnu stricto* submetidas a diferentes regimes de queima. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. **Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga**. Brasília, DF: Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 1996. p. 93-101.

SILVA, G. T. **Fluxos de CO<sub>2</sub> em um campo sujo submetido a queimada prescrita**. 1999. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 357-363, 2004.

VARELLA, R. F.; BUSTAMENTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KISSELLE, K. W.; SANTOS, R. V.; BURKE, R. A.; ZEEP, R. G.; VIANA, L. T. Soil fluxes of CO<sub>2</sub>, CO, NO and N<sub>2</sub>O from an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, v. 14, p. S221-S231, 2004.

WATSON, R. T.; CORE WRITING TEAM (Ed.). **Climate change 2001: synthesis report: an assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: Cambridge University, 2001. 184 p.

WILCKE, W.; LILIENTFEIN, J. Nutrient leaching in oxisols under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1152-1161, 2005.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 166, p. 285-294, 2002.