

Distribuição espacial da capacidade de troca de cátions do solo e sua relação com áreas desflorestadas em dois municípios do estado de Rondônia

André Marcondes Andrade Toledo ¹
Maria Victoria Ramos Ballester ¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/CENA
Caixa Postal 96 - 13400-970 - Piracicaba - SP, Brasil
{atoledo, vicky}@cena.usp.br

Abstract. The objective of this research was to identify the relationships between the spatial distribution of soil cation exchange capacity (CEC) and the land use at the municipalities of Urupá and Cujubim, in Rondonia State, focusing in the natural resources sustainability. For the geostatistical analysis was used the program GS⁺ 5.0 to determine the spatial distribution of CEC. The programs ERDAS 8.7, ArcGIS 9 and SPRING 4.0 were used for conversion, edition, processing and exhibition of thematic maps and processing of Landsat ETM⁺ and CBERS-2 images from 2001 and 2004. Results indicate that the soil fertility and land use change relation differ between both regions. Soil fertility plays a minor role in the deforestation decision process. The main factors associated with deforestation in the study area could be related to new settlements and economic factors.

Palavras-chave: geoprocessing, remote sensing, soil fertility, land use, geoprocessamento, sensoriamento remoto, fertilidade do solo, uso da terra.

1 Introdução

A partir de 1970, os projetos de colonização oficial do Governo Federal, gerenciados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), foram gradativamente implantados na região norte, alterando a estrutura de posse e uso da terra no decorrer de três décadas. Esses projetos tinham como objetivo disciplinar o assentamento desordenado de colonos que vinha ocorrendo (MATRICARDI, 1997). Entretanto, devido ao estabelecimento apressado de áreas destinadas para tais propósitos, as variações na qualidade dos solos e as características topográficas e hidrográficas das mesmas foram ignoradas e alguns projetos foram implantados em áreas provavelmente inadequadas (FEARNSIDE, 1987). Além disso, muitas áreas preservadas, determinadas como reserva legal, foram invadidas por migrantes e posseiros, os quais fizeram uso do desmatamento como meio de legitimar a ocupação.

Neste contexto, a intensificação do desmatamento, visando a exploração comercial da madeira e abertura de áreas para a introdução de atividades agropecuárias, tem promovido expressiva alteração da paisagem da Amazônia Legal Brasileira. Até o ano de 1999 a área desmatada na mesma foi estimada em 589.000 km² (BRASIL, 2001). Desse total, o estado de Rondônia tem uma expressiva participação, 58.000 km² (9,8%), o que corresponde a aproximadamente 24% da área total do estado.

Analisando as taxas de desmatamento no estado de Rondônia nos últimos 25 anos, observa-se uma tendência de aumento exponencial (BRASIL, 2001). Em 1978 a área desmatada correspondia a 1.216 km², ou seja, 0,5% da área total do Estado. Em apenas dois anos a área aumentou para 7.579 km² (3,1%). Quatro anos mais tarde esse número praticamente dobrou, passando para 13.955 km². A partir de 1984, com o término da pavimentação da rodovia Cuiabá-Porto Velho (BR-364), observou-se uma grande migração de colonos para o Estado de Rondônia, acentuando ainda mais a derrubada de florestas e intensificando o uso e manejo da terra. O resultado do processo de ocupação e colonização agrícola desta região, concentrado no entorno da BR-364, foi a substituição de áreas de vegetação nativa por cultivos agrícolas e a formação de pastagens.

Diante deste cenário de expansão das áreas agrícolas e do aumento dos problemas ambientais decorrentes da utilização inadequada da terra, não somente em Rondônia, mas

também em todo o território nacional, tem sido de extrema importância o desenvolvimento de pesquisas com o objetivo de diagnosticar os problemas e indicar o potencial das terras para a determinação do seu melhor uso.

Por meio de um criterioso levantamento de dados, acompanhado de uma base cartográfica com escala compatível à proposta do estudo, aquisição de produtos de sensoriamento remoto e utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) é possível monitorar as mudanças do uso da terra e analisar a relação das mesmas com as características dos solos para posterior recomendação do melhor aproveitamento do uso e manejo das terras nas áreas sob estudo.

Neste sentido, frente à grande quantidade de informações disponíveis referentes aos aspectos físicos e antrópicos dos municípios de Urupá e Cujubim, no estado de Rondônia, este trabalho teve como objetivo geral identificar as áreas desflorestadas em um período de três anos e analisar a relação das mesmas com a distribuição espacial da fertilidade do solo de dois municípios com características distintas com relação aos solos e o histórico da colonização.

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

As áreas de estudo correspondem a 77% do município de Urupá e 62% do município de Cujubim abrangendo aproximadamente 652 e 350 km², respectivamente. O primeiro está localizado na região central do estado de Rondônia, entre as coordenadas 11° 00' e 11° 15' latitude sul e 62° 06' e 62° 37' longitude oeste, região mais alterada e sob maior influência da ação antrópica naquele estado, onde ocorreram os primeiros programas de assentamentos de colonos promovidos pelo INCRA, no final da década de 70 e início da década de 80 do século passado. O município de Cujubim está situado na região norte, entre os paralelos 9° 02' e 9° 19' sul e os meridianos 62° 28' e 62° 38' oeste, na qual os projetos de assentamento ocorreram principalmente no início da década de 90.

A temperatura média anual naquela região é de 25,2° C, a precipitação pluviométrica varia entre 1750 mm e 2750 mm e a Umidade Relativa é de 85% (FUJISAKA, 1996). O relevo é predominantemente suave, com altitudes variando entre um mínimo de 180m e um máximo de 492m (BALLESTER et al., 2003).

2.1.2 Aquisição de dados e sistema de informações geográficas

Os planos de informação referentes aos fatores físicos do terreno, isto é, o modelo digital de elevação do terreno (MDET), a rede de drenagem e a carta do mapeamento de reconhecimento dos solos do estado de Rondônia, foram obtidos no banco de dados digital georeferenciado do projeto temático “Alterações na dinâmica da matéria orgânica em rios de micro e meso-escala do Estado de Rondônia, em função de mudanças no uso da terra” (FAPESP Proc. Num. 99/01159-4, juruti.cena.usp.br). Os planos de informação foram projetados em um sistema único UTM (Universal Transversa de Mercator), zona 20 sul, datum WGS-84, permitindo a análise e sobreposição com outras informações disponíveis. Todas as etapas desenvolvidas com uso da técnica de Geoprocessamento, envolvendo processamento e classificação de imagens, digitalização, edição e álgebra de mapas, foram realizadas através de operação conjunta com uso dos programas ERDAS IMAGINE 8.7, SIG-SPRING 4.1 e ArcGIS 9 para computadores pessoais.

Para elaborar os mapas de uso da terra foram utilizadas imagens CBERS-2, sensor CCD, com resolução espacial de 20 metros, referentes ao ano de 2004, cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e imagens LANDSAT 7 ETM+, ano de 2001,

adquiridas junto à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). As imagens foram utilizadas para análise de áreas desflorestadas em um período de três anos nos municípios de Cujubim e Urupá. As cenas do CBERS-2, que abragem as áreas sob estudo e as respectivas datas de registro, estão apresentadas na **Tabela 1**. A etapa de processamento das imagens para identificação de áreas desmatadas envolveu os seguintes passos:

- correção de posicionamento;
- exportação para o formato geoTIFF, para manipulação das cenas no SIG-SPRING 4.1 ;
- realce das bandas, ajustando-as com média e variância semelhantes;
- segmentação e classificação;
- mapeamento;

Tabela 1 - Imagens CBERS-2, sensor CCD, de recobrimento dos municípios de Urupá e Cujubim, referentes ao ano de 2004 (www.dgi.inpe.br/CDSR/)

Órbita_ponto	Data	Região
173_112	22.07.2004	Urupá
174_112	19.07.2004	Urupá
174_110	23.06.2004	Cujubim

Para o desenvolvimento da etapa de elaboração dos mapas de uso da terra foram utilizados os três programas supracitados para proceder a correção geométrica e classificação das imagens e, posteriormente, edição dos mapas. Cada programa apresenta alguma vantagem no processamento de imagens e na elaboração de mapas. A correção de posicionamento geográfico das imagens foi realizada utilizando o programa ERDAS IMAGINE 8.7, considerando como referência as imagens do LANDSAT 7 ETM+, na qual obteve-se erro quadrado médio inferior a 10 metros (RMSE < 0,5 pixel). O SIG-SPRING tem como vantagens a facilidade de ajuste do realce de contraste de imagens, através da manipulação de histograma, e a técnica de segmentação de imagens que auxilia na etapa de elaboração do mapa de uso da terra. As operações de cruzamento dos mapas, envolvendo álgebra, edição e exposição dos mesmos, foram realizadas com o ArcGIS 9. Neste contexto, para desenvolver todas as operações envolvidas no processamento digital de imagens, tomou-se o cuidado de investigar quais desses programas dispõem de ferramentas que atendam de forma satisfatória o rigor científico que a análise em questão requer.

Os mapas pedológicos adquiridos no formato analógico, na escala 1:50.000, correspondem aos levantamentos de solos realizados pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), compreendendo os seguintes levantamentos:

- Levantamento de solos e inventário florestal na gleba Cujubim II (CETEC, 1985). Neste levantamento, foram analisados 20 perfis para identificar as propriedades físicas e químicas dos solos e 278 amostras de solos foram coletadas nas profundidades de 0-20 e de 60-80 cm para determinar o pH, saturação de alumínio, matéria orgânica e fertilidade do solo.

- Levantamento pedológico com detalhes de área na bacia do rio Urupá-RO (CETEC, 1981). Neste levantamento 26 perfis foram observados, para analisar as propriedades físico-químicas dos solos. Além disso, 315 amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-20 e de 60-80 cm para determinar os parâmetros pH, saturação de alumínio, matéria orgânica e fertilidade do solo.

As classes de solo descritas no mapa pedológico original, com a nomenclatura antiga, foram renomeadas de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999) e, ainda, com auxílio de Prado (2001).

2.1.3 Digitalização de dados e mapas de solos

As unidades de mapeamento de solo na escala 1:50.000, bem como os pontos referentes a distribuição espacial dos perfis e das amostras de fertilidade de solo das áreas sob estudo, foram extraídas dos mapas de solos no formato analógico e convertidas para o formato digital utilizando-se o programa Arc-Info 7.3 para estação de trabalho e mesa digitalizadora CalComp 9500. Além disso, todas as informações apresentadas nos relatórios dos levantamentos pedológicos, referentes aos parâmetros físicos e químicos supracitados, foram convertidas para o formato digital e armazenadas em planilhas eletrônicas.

2.1.4 Análise geoestatística para elaboração do mapa de capacidade de troca de cátions

Com os dados pontuais de solos no formato digital foi possível elaborar mapas de distribuição espacial do parâmetro capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef) dos solos dos municípios de Urupá e Cujubim. Utilizou-se valores médios calculados, profundidade de 0-80 cm, para análise da variabilidade espacial deste parâmetro.

Para tal, usou-se a geoestatística, sendo a análise de dependência espacial realizada através do ajuste dos dados ao semivariograma experimental, pela equação:

$$\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [z(\mathbf{x}_i) - z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})]^2$$

Em que, $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$ é a semivariância estimada a partir dos dados experimentais; Z são os valores medidos nos pontos x_i e x_i+h ; $Z(x_i)$ = variável regionalizada; $N(h)$ = é o número de pares de pontos separados por uma distância h . Esta estimativa foi realizada utilizando-se o programa GS⁺ v. 5.1 (*Geostatistic for the Environmental Sciences*). A seleção dos modelos foi realizada com base no melhor R^2 (coeficiente de determinação) e menor SQR (soma do quadrado do resíduo). Após as estimativas dos parâmetros dos semivariogramas experimentais, fez-se a interpolação de dados por krigagem simples, visando definir o padrão espacial das variáveis estudadas.

2.1.5 Levantamentos de campo

Esta etapa do trabalho teve como objetivo principal auxiliar a classificação das imagens de satélite, referentes aos anos de 2001 e 2004, para elaboração dos mapas de uso das terras e conhecer melhor a área de estudo no que diz respeito aos aspectos físicos, socioeconômicos e dos distintos níveis de manejo do solo.

O primeiro levantamento de campo foi realizado no final de novembro e início de dezembro de 2002. Para cada local de observação, de um total de 89 pontos, o uso da terra ao redor de cada ponto foi anotado, as coordenadas gravadas e a área fotografada.

Em dezembro de 2004 foi realizado um segundo levantamento de campo, no qual foram observados um total de 152 pontos, sendo 95 em Urupá, 57 em Cujubim.

3 Resultados e Discussão

Resultados da análise temporal de ocupação das terras nos municípios de Cujubim e Urupá possibilitaram quantificar a redução de áreas ocupadas com florestas e, conseqüentemente, o incremento das atividades agropecuárias.

A **Figura 1** destaca a expressiva área desmatada em um período de três anos e o mapa de distribuição espacial de CTCef média do solo no município de Cujubim. A **Figura 2**

apresenta gráfico com o percentual das mudanças da ocupação do solo ocorridas no referido período e gráfico da CTCef nas áreas desflorestadas até o ano de 2001 e entre 2001 e 2004.

Em Cujubim a área desmatada em 2001 abrangia aproximadamente 19% (**Figura 2a**) da área total da mesma, aumentando para 36% em 2004, ou seja, houve um incremento da área desflorestada em 93% no período analisado, correspondente a 6.070 ha. A região apresenta baixos valores de CTCef, variando de 1,3 a 3,7 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de solo (**Figura 1d**). Diante da realidade sócio-econômica da região e da impossibilidade dos colonos de corrigir a fertilidade do solo, nessas condições não é possível garantir boas produções ao longo de anos de cultivo agrícola.

Observando os mapas de uso da terra em 2001 e de CTCef (**Figura 1**), pode-se notar que grande parte da área desflorestada ocorre nas áreas de solos com baixas concentrações de CTCef. Por outro lado, o incremento das áreas desmatadas no período de 2001 a 2004 (**Figura 1c**) parece ter seguido uma tendência de ocorrer em solos com maiores valores deste parâmetro. A análise estatística de área (**Figura 2b**) confirma esta observação. A CTCef média da área desflorestada até o ano de 2001 é de 2,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, enquanto no período de 2001 a 2004 o valor médio desse parâmetro é de 2,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de solo.

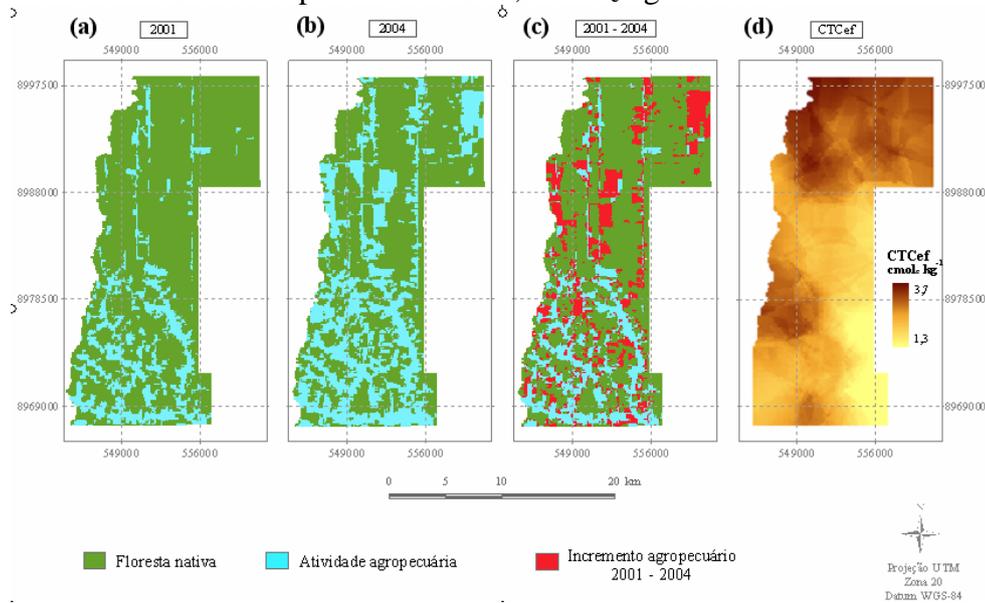


Figura 1 - Mapas de situação de áreas ocupadas com florestas e sob atividades agropecuárias, em Cujubim, em 2001 (a) e 2004 (b); destaque da área desflorestada no período de três anos (c) e mapa de distribuição da CTCef do solo (d), determinado com os seguintes ajustes de semivariograma: *modelo*: exponencial; *variância pepita*: 0,042; *patamar*: 0,107; *alcance* (m): 8.430; coef. determ. (R^2): 0,80; soma quad. resíd. (SQR): 0,0012

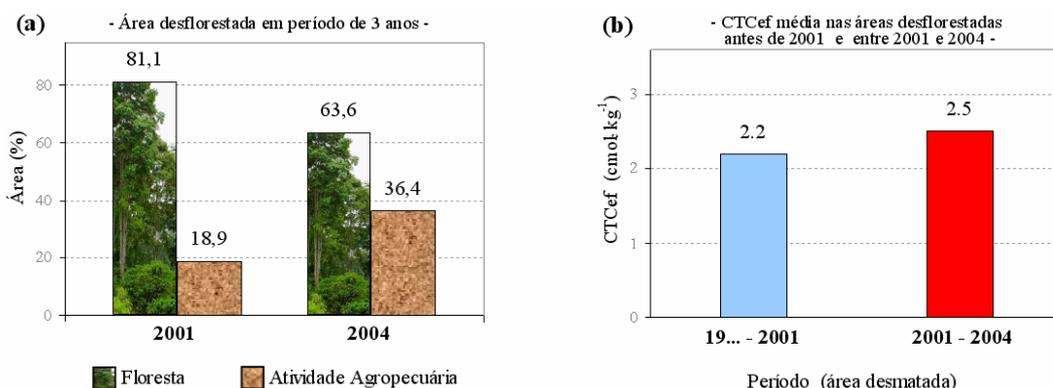


Figura 2 - Gráficos de área ocupada com floresta e atividade agropecuária em 2001 e 2004 (a) e gráfico da CTCef média nas áreas desmatadas antes de 2001 e no período entre 2001 e 2004 (b)

Considerando os problemas relacionados ao aspecto cultural e socioeconômico predominantes naquela região, não se pode inferir que está havendo uma tendência de procura por solos mais férteis. Possivelmente, está ocorrendo uma tendência de avanço da exploração madeireira em áreas de florestas intactas. Este argumento é reforçado com a constatação em campo de intenso tráfico de caminhões transportando madeiras e expressivo número de serrarias na região norte de Cujubim, na qual observa-se ainda expressiva área ocupada com floresta nativa.

Com relação ao município de Urupá, no começo do programa de assentamento promovido pelo INCRA, início da década de 80, uma considerável área de floresta na porção sul do município foi excluída das áreas destinadas aos assentamentos, sendo determinada como área de reserva legal correspondente aos lotes distribuídos. Esta foi a forma encontrada pelo governo de “flexibilizar” a exploração das propriedades, permitindo os desmatamentos e incentivando o uso agrícola, sem a necessidade de respeitar a “Lei nº 4.771/1965, ‘Art.16’” do Código Florestal, alterada com a “Medida Provisória Nº 2.166-67/2001”, a qual determina a manutenção da reserva legal em 80% da propriedade rural.

Entretanto, no final da década de 90 a referida área de reserva foi invadida por posseiros que fizeram uso de desmatamentos, intensificados principalmente no período entre 2001 e 2004, como meio de legitimar a ocupação e posteriormente obter a posse.

Neste sentido, de forma semelhante ao cenário observado em Cujubim, observa-se no município de Urupá acelerado processo de desmatamento no referido período (**Figura 3**). Os resultados mostram que a área ocupada com floresta em 2001 abrangia aproximadamente 33% (**Figura 4a**), correspondente a uma área de 21.360 ha. Após três anos essa área foi reduzida pela metade passando a ocupar 15%, aproximadamente 9.770 ha, com maior ocorrência dos desmatamentos nas regiões central e sul do município (**Figura 3c**).

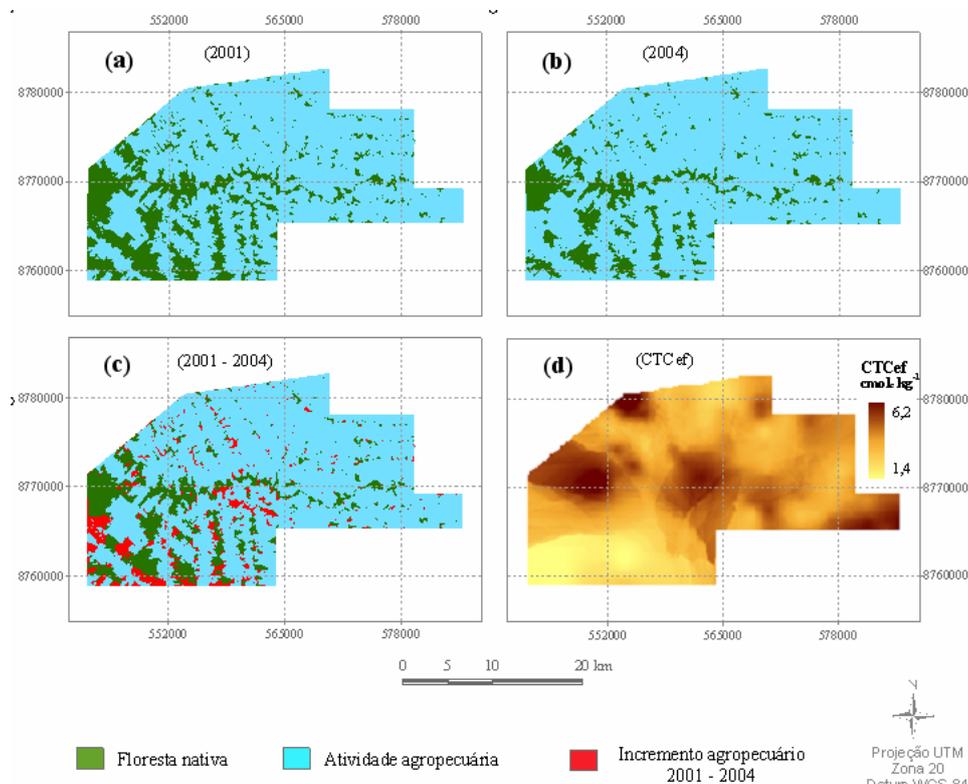


Figura 3 - Mapas de situação de áreas ocupadas com florestas e sob atividades agropecuárias, no município de Urupá, em 2001 (a) e 2004 (b), destaque da área desflorestada no período de três anos (c) e mapa da distribuição espacial da CTCef do solo (d), determinado com os seguintes ajustes de semivariograma: modelo: exponencial; variância pepita: 0,78; patamar: 2,01; alcance (m): 3.760; coef. determ. (R^2): 0,82; soma quad. resíd. (SQR): 0,24

Observa-se, ainda, maior amplitude e valores mais elevados de CTCef (**Figura 3d**) em comparação com aqueles observados no município de Cujubim. As menores concentrações, próximas de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, ocorrem na região sul, área que outrora foi determinada como reserva legal, conforme mencionado anteriormente, e as maiores, atingindo $6,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, são observadas principalmente no centro e nas extremidades leste e oeste do município. A análise estatística por área indica pouca variação da concentração média da CTCef correspondente à área ocupada com atividades agropecuárias até o ano de 2001, determinada em $3,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, comparada com o valor inferior, determinado em $2,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, referente à área desmatada no período entre 2001 a 2004 (**Figura 4b**).

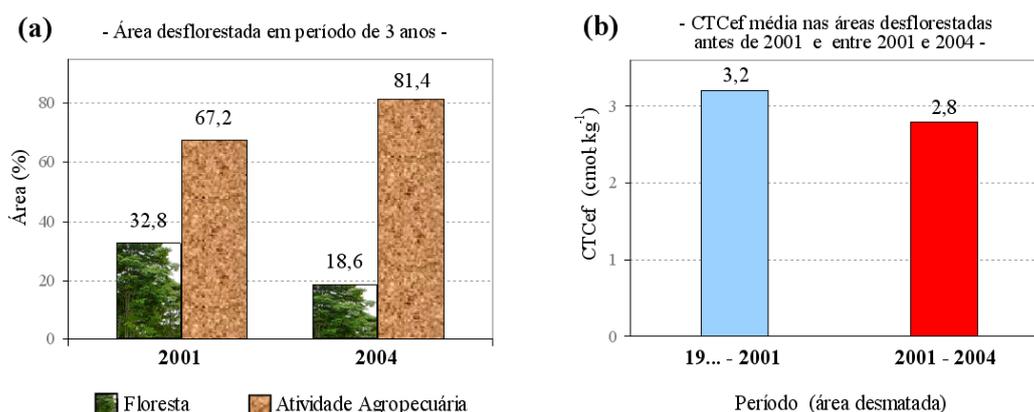


Figura 4 - Gráficos de área ocupada com floresta e atividade agropecuária, em Urupá, em 2001 e 2004 (a) e gráfico da CTCef média nas área desmatadas antes de 2001 e no período entre 2001 e 2004 (b)

Nas atividades de campo foi possível observar que a maior degradação do solo está relacionada com a excessiva exploração de sua fertilidade natural, não havendo reposição ou correção da mesma. A prática do desmatamento tornou-se atrativa para os produtores rurais, pois além de garantir boa rentabilidade com o comércio de madeira, proporciona, ainda, ganhos em produtividade. Isto está relacionado à introdução de atividades agropecuárias em áreas recém desmatadas que apresentam maior disponibilidade de nutrientes comparadas às áreas desmatadas e exploradas por maior período de tempo.

Os resultados observados das duas regiões analisadas indicam que a exploração das terras ocorreu de forma distinta com relação à fertilidade do solo. Em Cujubim as primeiras áreas exploradas, no início do processo de ocupação, apresentam menores concentrações de CTCef comparadas àquelas exploradas entre 2001 e 2004. No município de Urupá ocorreu o inverso, sendo as áreas exploradas nesse último período as que apresentam menores valores de CTCef comparadas com as anteriores.

4. Considerações finais

A exploração das terras ocorreu de forma distinta com relação à fertilidade do solo, ao longo do processo de ocupação, entre as duas regiões analisadas. Observa-se que esse parâmetro do solo é um fator que exerce pouca influência nas tomadas de decisões durante o processo de ocupação das terras e escolha das áreas a serem desmatadas. Neste contexto, pode-se inferir que os principais fatores determinantes no processo de mudanças do uso da terra estão relacionados principalmente aos novos assentamentos e fatores econômicos. Este cenário apresenta-se tal como aqueles verificados nos trabalhos desenvolvidos por Alves et al. (1999) e Roberts et al. (2002).

REFERÊNCIAS

ALVES, D.S. Characterizing landscape changes in central Rondonia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, Abingdon, v.20, n.14, p.2877-2882, 1999.

BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, D.C; COBURN, R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; KRUSCHE, A.V.; LOGSDON, M.G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E. Land use/cover of the Ji-Paraná river basin: building a GIS-based physical template to support understanding of the biogeochemistry of surface waters in a meso-scale river in Western Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, Nova Iorque, v.87, n.4, p.429-445, 2003.

BRASIL, 2001. Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satellite (Projeto PRODES). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes>> . Acesso em: 12 out. 2005.

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Levantamento de solos e inventário florestal na gleba Cujubim II**. Escala 1:50.000. Relatório Final. Belo Horizonte, 1985. 113p.

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Levantamento pedológico reconhecimento com detalhes de área na bacia do rio Urupá-RO**. Escala 1:50.000. Relatório Final. Belo Horizonte, 1981. 155p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro-RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília : Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999. 412p.

FEARNSIDE, P.M. Distribuição de solos pobres na colonização de Rondônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.6, n.33, p.74-78, 1987.

FUJISAKA, S.; WILLIAN, B.; THOMAS, N.; HURTADO, L.; CRAWFORD, E. Slash-and-burn agriculture, conversion to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon colonies. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdã, v.59, p.115-130, 1996.

MATRICARDI, E. **Uso e ocupação das terras rurais em Rondônia**. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Porto Velho: PNUD PLANAFLORO, 1997. 122p. (Projeto BRA/97/007)

PRADO, H. Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento. 2.ed. Piracicaba: H. do Prado, 2001. 220p.

ROBERTS, D.A.; NUMATA, I.; HOLMES, K.; BATISTA, G.; KRUG, T.; MONTEIRO, A.; POWELL, B.; CHADWICK, O.A. Large area mapping of land-cover change in Rondonia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.107, p. 1-20, 2002.