

Influência do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Ji-Paraná

Claudia de Albuquerque Linhares ¹

João Viane Soares ¹

Getúlio Teixeira Batista ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{linhares, viane}@dsr.inpe.br

² Universidade de Taubaté – UNITAU
Estrada Municipal Dr. José Luis Cembranelli 5000 - 12081-010 - Taubaté – SP, Brasil
getulio@agro.unitau.br

Abstract. This paper refers to first author's doctoral thesis and the objective is to publish some preliminary results. This study will evaluate the dynamic of hydrological response at Ji-Paraná River basin (*Rondônia*) as a response of the gradual and increasing removal of the forest, in order to generate a regression model. The deforested area at Ji-Paraná River basin was mapped and calculated from TM/Landsat images for 18 consecutive years. The hydrological data were deriving from ANEEL (*Agência Nacional de Energia Elétrica*). The analysis was carried out at SPRING software.

Palavras-chave: deforestation, hydrology, dynamic, Amazônia, deflorestamento, hidrologia, dinâmica.

1. Introdução

O desenvolvimento das nações e o crescimento populacional resultaram na remoção de extensas áreas de vegetação natural para implantação de empreendimentos imobiliários e estabelecimento de culturas agrícolas e pastagens, visando suprir a demanda de moradia e de alimentos (Vieira, 2000). A supressão da vegetação e a mudança de uso da terra desencadeiam uma série de alterações no meio físico, no ciclo hidrológico e no clima. Dentre os efeitos das mudanças climáticas, destaca-se a elevação da temperatura global e as alterações no regime de chuvas, que afetariam o suprimento dos mananciais que abastecem as cidades. A diminuição na disponibilidade de água pode gerar crises energéticas e racionamento de água, agravado pelo uso não sustentável da água pela população. Com isso, a maior demanda por água, fica comprometida devido às próprias conseqüências da expansão. A condição de recurso natural renovável significa que toda a água doce do planeta (cerca de 1% da água total) circula entre a atmosfera e a superfície terrestre sem acréscimos e nem decréscimos significativos, desde que o ambiente esteja em equilíbrio. No entanto, este percentual pode diminuir em função do mau uso da água pela população e do processo de mudança do uso da terra expostos anteriormente. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), 8% do estoque mundial de água doce do planeta encontra-se no Brasil, ressaltando a importância do país gerenciar com responsabilidade seus recursos naturais.

O regime hídrico é diretamente afetado pela dinâmica e manejo da vegetação, que podem contribuir tanto para sua perfeita manutenção e circulação no planeta ou ainda para sua indisponibilidade (Vieira, 2000). A dinâmica da vegetação inclui mudanças naturais (fatos normais do ecossistema, que não comprometem a disponibilidade normal de água, como o fogo nos cerrados) e as antrópicas (sendo o desmatamento a prática mais comum). A vegetação tem influência direta no processo de erosão, na qualidade da água, na dinâmica de nutrientes, na proteção de mananciais e na produção de água. Sua retirada acarreta uma série de alterações no meio físico, como a diminuição nas taxas fotossintéticas e de evapotranspiração, esta última podendo modificar, as taxas de precipitação. Estas mudanças têm efeito direto sobre a resposta hidrológica de uma determinada bacia, definida como a

vazão normalizada pelo valor de precipitação, correspondendo à produção de água nas bacias hidrográficas de uma determinada região. Diversas bacias experimentais têm sido utilizadas para o estudo da relação entre vegetação e ciclo hidrológico, geralmente envolvendo análises hidrológicas antes/depois de um determinado evento florestal programado, como corte, desbaste ou reflorestamento (Cheng, 1989; Wright et al., 1990; Gustard e Wesselink, 1993; Câmara, 1999). No entanto, uma análise multitemporal das conseqüências hidrológicas em função do desmatamento gradual de uma área nunca foi realizada, provavelmente pela escassez de séries históricas, tanto de cobertura vegetal, quanto de dados hidrológicos. O conhecimento desta relação e o estabelecimento de modelos permitiriam a elaboração de cenários que norteassem a implantação de um programa de desenvolvimento sustentável.

O ritmo acelerado com que a floresta Amazônica vem sendo removida em algumas regiões fornece uma possibilidade ímpar de monitoramento florestal. Além disso, estão disponíveis dados hidrológicos desde o início do processo de desmatamento, por volta da década de 70, permitindo o monitoramento hidrológico.

O objetivo deste trabalho é testar a hipótese de que há uma relação modelável entre área de cobertura vegetal e resposta hidrológica em uma bacia amazônica. A proposta é que seja possível estimar a disponibilidade de água a partir da quantificação da área vegetada em uma bacia de drenagem e, mediante a manipulação de dados georreferenciados, traçar cenários que sirvam de instrumentos úteis ao manejo hidrológico e florestal, ao aprimoramento do Código Florestal Brasileiro (Lei 4771 de 15/09/1965 alterada pela Lei 7803 de 18/07/1989) e ao desenvolvimento sustentável de uma região.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Contextualização do problema

A água é um dos elementos mais importantes para a existência e a manutenção da vida na Terra. Segundo dados reunidos durante o "*1965/1975 International Hydrological Decade Program*", aproximadamente 97 % da água do nosso planeta é salgada, concentrada na sua maior parte nos oceanos e, assim, indisponível para uso humano. Resta menos de 3 % na forma de água doce, da qual 2,2 % está localizada nas geleiras e também indisponível ao Homem. Isto nos leva a cerca de 0,69 % de água doce *a priori* disponível para uso e constantemente renovada pelo ciclo hídrico, localizada nos solos, lagos e rios. Considerando-se que a água presente nos solos (cerca de 0,6 %) esta fortemente aderida aos espaços porosos, não podendo ser facilmente extraída (Moniz, 1975), sua disponibilidade ao uso humano também está limitada. Com isso, tem-se menos de 0,09 % de água potável disponível, descontando-se a parcela presente na atmosfera (Hewlett, 1982), cerca de 0,013%. Este quadro de escassez de água é agravado pela destruição de cursos d'água e de mananciais e pela poluição dos recursos hídricos (MMA, 2002).

O maior problema relacionado à questão da água não é propriamente a sua falta, mas sim a indisponibilidade da água ao consumo, devido ao comprometimento de sua qualidade, à falta de um gerenciamento adequado e à heterogeneidade da sua distribuição sobre a Terra (Com Ciência/SBPC, 2000; SOS Águas Brasileiras, 2002). O manejo de bacias hidrográficas tem como principal objetivo proteger os mananciais, assegurar uma oferta adequada de água de boa qualidade para a população, preservando as funções hidro-bio-químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas às possibilidades da natureza e combatendo enchentes, erosões e vetores de moléstias (MMA, 2002). O manejo hidrológico deve incluir as águas de superfície e as subterrâneas, e deve estar associado a um manejo florestal, incluindo a recuperação de áreas degradadas e desmatadas e a conexão de fragmentos florestais.

2.2. O papel da floresta

Cada camada da estrutura florestal (dossel, liteira e sistema radicular) seu papel no ciclo hidrológico. O dossel e a liteira interceptam a água da precipitação, diminuem seu impacto no solo, ajustando a quantidade que infiltrará, além de isolarem o solo dos ventos e da radiação solar (Colman, 1953). A vegetação representa um obstáculo ao escoamento da água, diminuindo sua velocidade, permitindo maior tempo de infiltração no solo, maiores taxas de absorção, menor possibilidade de formação de valas e menor probabilidade de erosão (Ward, 1967; Colman, 1953). Além disso, a vegetação colabora na estabilização de encostas principalmente pelo reforço mecânico do sistema radicular, que dificulta o destacamento do solo pela água da chuva (Lima, 1986). As raízes das plantas também colaboram refreando e direcionando o escoamento abaixo do solo, absorvendo água que voltará à atmosfera sem deslocar-se pelo solo e aumentando a permeabilidade do solo.

A qualidade da água é alterada à medida que interage com estes componentes (solo, vegetação e rochas) e esse processo de interação encontra-se equilibrado em um ecossistema sem intervenção humana. Sua modificação pode resultar na alteração da qualidade da água (Lima, 1986). Assim, a boa qualidade da água não depende apenas de levantamentos sanitários e tratamento de resíduos industriais e domésticos, mas também de um manejo efetivo da bacia hidrográfica. Zon (1927) apud Lima (1986), realizou um amplo trabalho de revisão que comprova o papel da floresta na proteção dos recursos hídricos. A vegetação é um meio natural, eficiente, barato e ecologicamente adequado no controle e no armazenamento da água de uma bacia quando comparada com construções civis (Colman, 1953).

Os primeiros estudos relacionando os efeitos do manejo florestal às conseqüências no fornecimento de água foram realizados em uma bacia experimental no Colorado, EUA, em 1909. Desde então, este tema tem sido muito explorado (Bosch e Hewlett, 1982), sempre concluindo que a redução da cobertura florestal causa, em curto prazo, aumento da disponibilidade de água na bacia. Ou seja, o reflorestamento ou o desenvolvimento de vegetação secundária em áreas abandonadas promove um decréscimo da disponibilidade de água no sistema (Hibbert (1967) apud Bosch e Hewlett, 1982). Bosch e Hewlett (1982) confirmaram a revisão de Hibbert, sendo que os efeitos foram mais evidentes em coníferas, seguido pelas florestas lenhosas decíduas, depois pela vegetação arbustiva e por fim pelas gramíneas. Estes resultados reforçam a importância de uma boa política de manejo, que concilie produção, qualidade e regime hídricos e preservação dos solos e nutrientes.

Os resultados revisados por Bosch e Hewlett (1982) não permitem o estabelecimento de um modelo de previsão da alteração da vazão em função de alterações na cobertura vegetal. No entanto, é possível estimar com segurança a magnitude aproximada das alterações na disponibilidade de água em função da prática de manejo adotada. Hibbert (1967) apud Bosch e Hewlett (1982) diz que apenas alterações acima de 20% no volume de vegetação causam efeitos perceptíveis nos valores de precipitação e de vazão. Bosch e Hewlett (1982) não concordam e entendem que qualquer alteração, mesmo as menores, na quantidade de vegetação causará uma alteração no regime hídrico.

Alguns trabalhos posteriores à revisão de Bosch e Hewlett (1982) relacionam diversas práticas referentes à vegetação (reflorestamento, corte, extração seletiva, tipo de uso, regeneração) com a disponibilidade de água em bacias de drenagem, todos chegando às mesmas conclusões de Hibbert (1967) e Bosch e Hewlett (1982) (Cheng, 1989; Wright et al., 1990; Gustard e Wesselink, 1993). Cruz (1995), analisou a influência de padrões e processos da paisagem sobre a vazão de quatro bacias. O autor encontrou uma forte relação entre a complexidade da vazão de estiagem e a complexidade da estrutura da paisagem, indicando a possibilidade de desenvolvimento de um modelo que defina uma vazão mínima de preservação ambiental.

3. Material e Métodos

A área de estudo consiste em duas sub-bacias na região amazônica, sendo uma apresentando cobertura vegetal intacta, que serviu de referência, e outra em processo constante e progressivo de desmatamento e que foi monitorada ao longo de 18 anos. A sub-bacia de referência (Bacia 1) (**Figura 1**) é um trecho da Bacia do Rio Sucunduri, no Estado do Amazonas e abrange três cenas TM/Landsat (229/65, 229/66 e 230/65), totalizando 13.377 km². A sub-bacia monitorada (Bacia 2) (**Figura 2**) é um trecho da Bacia do Rio Ji-Paraná ou Machado, no Estado de Rondônia e abrange quatro cenas TM/Landsat (229/69, 230/68, 230/69 e 231/68), em uma área total de 32.861 km². A proximidade geográfica das duas sub-bacias minimiza as diferenças climáticas e o tamanho das mesmas é tal que permite a verificação dos fenômenos desejados, o controle das variáveis que influenciam o comportamento hidrológico e são suficientemente grandes para minimizar os erros (Bosch e Hewlett, 1982).

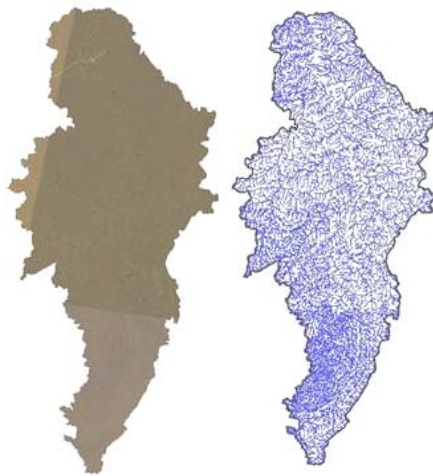


Figura 1: Mosaico de imagens TM/Landsat da Bacia 1 no ano de 2001 e a drenagem digitalizada das cartas topográficas em 1:100.000.

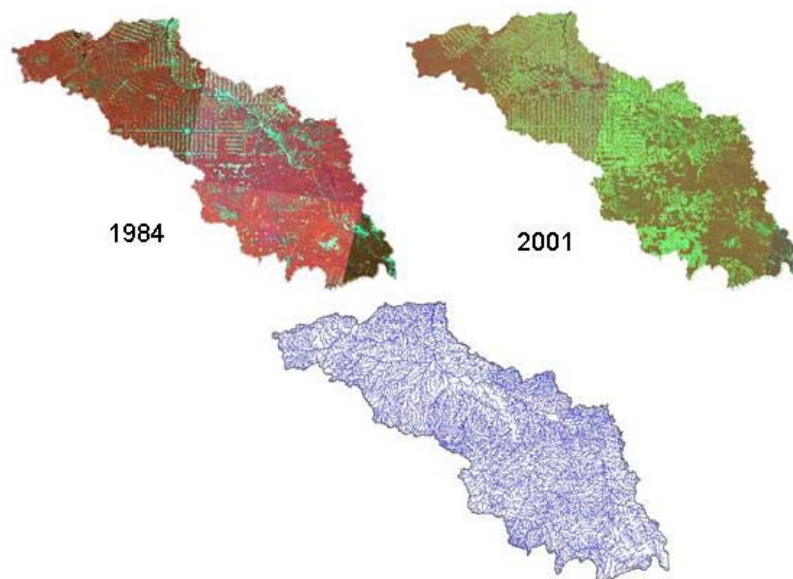


Figura 2: Mosaicos de imagens TM/Landsat da Bacia 2 nos anos de 1984 e 2001, e a drenagem digitalizada das cartas topográficas em 1:100.000. Áreas em vermelho correspondem à vegetação.

As isolinhas de altitude e a drenagem total das duas bacias foram digitalizadas a partir das cartas topográficas na escala 1:100.000. Os divisores topográficos foram delimitados nas cartas topográficas em papel e depois digitalizados, definindo assim os limites das bacias.

O período de monitoramento da Bacia 2 compreende os anos de 1984 a 2001, totalizando 18 anos de observação. Foram elaborados mapas da cobertura vegetal desta bacia para cada ano, a partir de imagens digitais TM e ETM+/Landsat 5 e 7, da estação seca. A legenda dos mapas consiste em apenas duas classes, **vegetação (V)** e **não vegetação (NV)**. A classe **V** incluiu toda a cobertura vegetal original e a classe **NV** incluiu a área desmatada (agricultura, solo, área urbana). Rios de margem simples e os pequenos corpos d'água presentes foram incluídos na classe **V** devido à sua relativa constância ao longo do tempo, não alterando os valores de vegetação. O Rio Ji-Paraná ou Machado foi extraído em classe à parte por constituir um rio de margem dupla. A definição desta legenda baseou-se na hipótese a ser testada no trabalho, qual seja, a de que a presença de vegetação, seja ela qual for, possui relação direta com a resposta hidrológica de uma bacia. Desta forma, todos os demais alvos representam desmatamento ('não vegetação'), desempenhando, em princípio, um papel negativo em relação à resposta hidrológica, não necessitando serem discriminados.

O primeiro mapa de cobertura vegetal gerado foi do ano de 1984, gerado a partir do fatiamento da banda TM 5, correspondente à região do infravermelho médio. A partir da definição de um valor de corte, a imagem foi classificada nos dois temas (**V** e **NV**), resultando em um mapa, o qual foi editado manualmente para correção de possíveis erros de classificação. Além da edição manual, foram eliminados os polígonos com menos de 6 hectares, que 'sujavam' a imagem e não contribuía significativamente para a quantificação do desmatamento (abaixo de 1%). O mesmo procedimento foi realizado para os anos subsequentes, até 2001. Os mapas finais foram montados a partir de mosaicos entre os planos de informações, sendo que o plano a ser adicionado ocupa apenas a área sem classe do mapa destino. Isso garante que algumas classes sejam preservadas na sua totalidade e a ordem do mosaico será de acordo com o objetivo de cada estudo. Neste caso, o Rio Ji Paraná deve aparecer na íntegra em todos os anos, sendo o primeiro a ser mosaicado, seguido pelos polígonos de desmatamento do ano anterior, que devem estar presentes no ano subsequente, e por fim, o mapa oriundo do fatiamento (com as classes **V** e **NV**), ocupando apenas o espaço restante, complementando, assim, o desmatamento do ano em questão. Este procedimento garantiu a coerência da seqüência temporal, ou seja, o desmatamento anteriormente mapeado continua em todos os anos posteriores.

O mapa de distribuição das estações fluviométricas e pluviométricas provém da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Todo o processamento dos dados geográficos foi realizado em ambiente SPRING e somente dentro da área das bacias.

A resposta hidrológica é obtida através da razão entre vazão e precipitação. A média anual de vazão foi gerada pelas médias mensais, calculadas a partir dos seus valores diários, sendo considerada a última estação fluviométrica à jusante de cada sub-bacia. A precipitação média anual também foi calculada a partir de médias mensais, através dos dados de todas as estações pluviométricas dentro de um raio de 200 km a partir do centro geométrico de cada sub-bacia.

O comportamento anual da resposta hidrológica será analisado em relação ao decréscimo da cobertura vegetal, visando a geração do modelo de regressão. A quantificação da cobertura vegetal dar-se-á pelo somatório da área coberta pelos polígonos da classe **V**, em termos absolutos (km²) e em termos relativos (%) com relação à data inicial de observação.

4. Resultados preliminares

Os dados referentes à análise multitemporal da cobertura vegetal da Bacia 2, provenientes das imagens digitais, indicaram um comportamento coerente com o processo vigente nas últimas décadas na região, ou seja, antropização e desflorestamento crescentes, com gradual remoção da mata (**Figura 3** e **Tabela 1**).

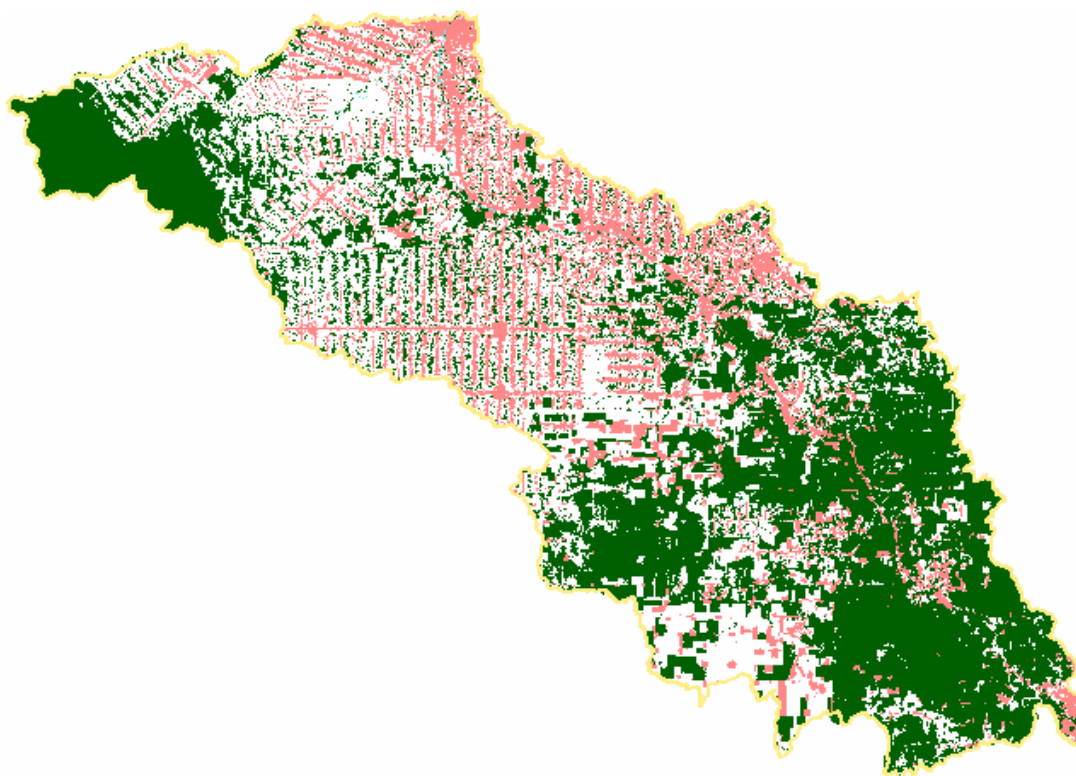


Figura 3: Mapa da dinâmica vegetal no período analisado. Em rosa, o desmatamento em 1984, em branco, o desmatamento de 1985 até 2001 e em verde, a floresta em 2001.

Tabela 1: Valores em km² das áreas de floresta, áreas desflorestadas, área correspondente ao Rio Ji-Paraná e área total da Bacia 2, referentes à **Figura 3**.

| Área da classe (km ²) /Ano | 1984 | 2001 |
|--|--------|--------|
| <i>Floresta</i> | 27.264 | 14.885 |
| <i>Desmatamento</i> | 5.550 | 17.978 |
| <i>Rio Ji-Paraná</i> | 53 | 56 |
| <i>Área da Bacia 2</i> | 32.867 | 32.867 |

A despeito do desmatamento apresentar um comportamento fortemente recorrente, ou seja, ocorrer de forma significativa ao redor das principais rodovias e em áreas já desflorestadas anteriormente (Alves et al., 2003), os dados confirmaram que novas áreas de floresta vêm sendo removidas a cada ano (**Figura 4** e **Tabela 2**).

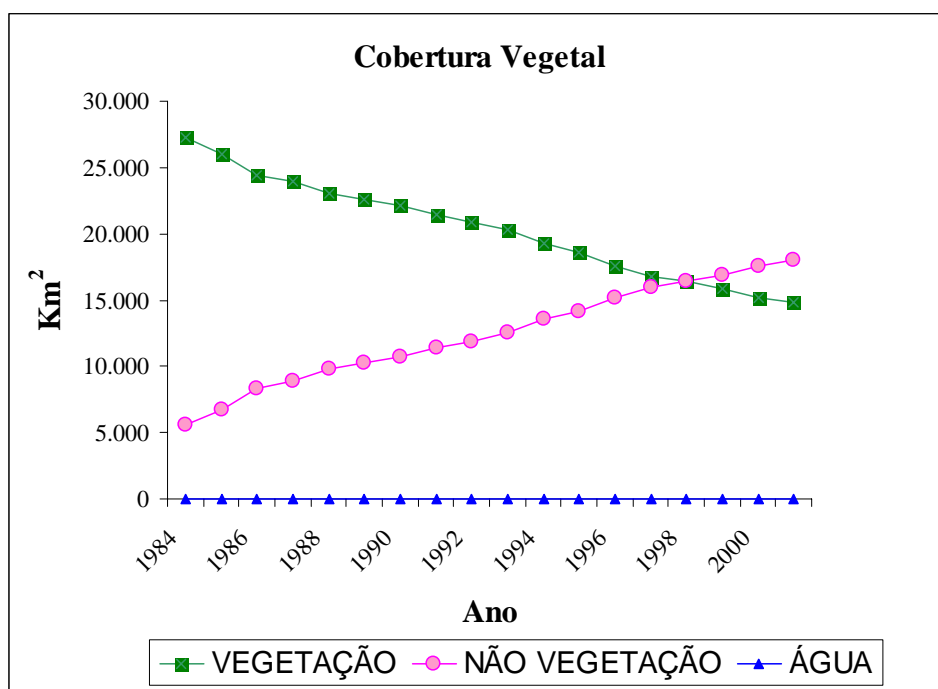


Figura 4: Evolução do desflorestamento no período analisado

Tabela 2: Áreas das classes Vegetação (V) e Não Vegetação (NV), em km², na Bacia 2 para o período analisado.

| <i>Ano/Classe</i> | Vegetação | Não Vegetação | Água |
|-------------------|------------------|----------------------|-------------|
| 1984 | 27.264 | 5.550 | 53 |
| 1985 | 26.040 | 6.777 | 53 |
| 1986 | 24.460 | 8.354 | 53 |
| 1987 | 23.901 | 8.913 | 53 |
| 1988 | 23.002 | 9.818 | 53 |
| 1989 | 22.544 | 10.271 | 54 |
| 1990 | 22.143 | 10.669 | 54 |
| 1991 | 21.395 | 11.424 | 54 |
| 1992 | 20.898 | 11.914 | 54 |
| 1993 | 20.249 | 12.570 | 54 |
| 1994 | 19.278 | 13.540 | 55 |
| 1995 | 18.642 | 14.176 | 55 |
| 1996 | 17.612 | 15.200 | 55 |
| 1997 | 16.802 | 16.015 | 55 |
| 1998 | 16.437 | 16.374 | 55 |
| 1999 | 15.899 | 16.920 | 55 |
| 2000 | 15.228 | 17.595 | 56 |
| 2001 | 14.885 | 17.978 | 56 |

A Bacia 1 apresentou uma área desmatada em 1984 de 2,9 km² e em 2001, de 52,7 km², sendo que esta última representa aproximadamente 0,4% da área total da bacia (13.677 km²), podendo ser considerada virgem e totalmente apta a servir como referência para o estudo.

Os dados hidrológicos estão em fase de processamento e análise estatística.

5. Conclusões

Os resultados preliminares relativos à cobertura vegetal confirmaram trabalhos anteriores sobre o processo de antropização na região de Rondônia e reforçaram a hipótese a ser testada.

No caso de valores decrescentes de resposta hidrológica para o período analisado, a hipótese testada será verdadeira e a importância do papel da floresta na disponibilidade e na manutenção de água na bacia será confirmada. No caso de validação da hipótese, um modelo de regressão poderá ser elaborado, visando estimar a disponibilidade de água a partir da quantificação da área vegetada na região de Rondônia e traçar cenários possíveis para um plano de desenvolvimento sustentável.

Os resultados finais e definitivos, assim como sua análise completa, serão divulgados em revista indexada após a conclusão do programa de doutorado a que se refere este trabalho.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a dedicação dos profissionais da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE) na recuperação, processamento e fornecimento das imagens digitais, em especial as mais antigas, e os colegas Dr. Carlos Alberto Felgueiras e Anderson Rodolfo Barbosa pelo desenvolvimento de uma rotina no SPRING fundamental para a finalização do trabalho.

Referências Bibliográficas

- Alves, D.S., Escada, M.I.S., Pereira, J.L.G., Linhares, C.A. Land use intensification and abandonment in Rondonia, Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.4, p.899-903.
- Bosch, J.M.; Hewlett, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, n.55, p.3-23, 1982.
- Câmara, C.D. **Efeitos do corte raso do eucalipto sobre o balanço hídrico e a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental**. 1999. 76p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba. 1999.
- Cheng, J.D. Streamflow changes after clear-cut logging of a Pine beetle-infested watershed in Southern British Columbia, Canada. **Water Resources Research**, v.25, n.3, p.449-456, 1989.
- Colman, E.A. **Vegetation and watershed management**: an appraisal of vegetation management in relation to water supply, flood control, and soil erosion. New York: The Ronald Press Company, 1953.
- Com Ciência/SBPC. **Água: abundância e escassez**. Disponível on line em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/framereport.htm>> 2000, Acessado em: 10 de mai 2002.
- Cruz, R.C. **Relação entre padrões e processos em pequenas bacias hidrográficas: a interface entre ecologia da paisagem e hidrologia através do geoprocessamento e da geometria fractal**. 1995. 109p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre. 1995. 109p.
- Gustard, A.; Wesselink, A.J. Impact of land-use change on water resources: Balquhiddy catchments. **Journal of Hydrology**, n.145, p.389-401, 1993.
- Hewlett, J.D. **Principles of Forest Hydrology**. Athens: The University of Georgia Press, 1982.
- Lima, W.P. O papel hidrológico da floresta na proteção dos recursos hídricos. **Silvicultura**, v.11, n.41, p.59-62, 1986.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Agenda 21 Brasileira**. Disponível on line em: <<http://www.mma.gov.br>> 2002. Acessado em: 23 de mai 2002.
- Moniz, A.C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Ed. Polígono & EDUSP, 1975.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.29, n.1, p.16-20, 1991.

SOS Águas Brasileiras. Disponível on line em: <<http://www.sosaguas.org.br/notas/agua-mundo.htm>> 2002.
Acessado em: 17 de abr de 2002.

Vieira,C.P. Alterações na cobertura vegetal: interferência nos recursos hídricos. **Silvicultura**, v.20, n.82, p.26-27, 2000.

Ward, R.C. **Principles of Hydrology**. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1975.

Wright, K.A.; Sendek, K.H.; Rice, R.M.; Thomas, R.B. Logging effects on streamflow: storm runoff at Caspar Creek in Northwestern California. **Water Resources Research**, v.26, n.7, p.1657-1667, 1990.