

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO GALO,
DOMINGOS MARTINS, ES**

ANDRÉ QUINTÃO DE ALMEIDA

**VITÓRIA
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
JULHO – 2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO GALO,
DOMINGOS MARTINS, ES**

ANDRÉ QUINTÃO DE ALMEIDA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa
dos Santos

VITÓRIA
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
JULHO – 2007

INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO GALO,
DOMINGOS MARTINS, ES

ANDRÉ QUINTÃO DE ALMEIDA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada: 05 de Julho de 2007.

**Prof. Dr. Alexandre Rosa dos
Santos
Orientador - DPGEO/UFES**

**Prof. Dr. Julio Tomás Aquije
Chacaltana
Examinador interno – DEA/UFES**

**Prof. Dr. Aristides Ribeiro
Examinador externo – DEA/UFV**

In memoriam a mamãe Maria Luzia Quintão de Almeida. Sem o seu amor, nada na minha vida seria possível.

Ao meu pai, José Domingos Aparecido de Almeida, pelo amor e apoio concebido em todas as fases da minha vida.

Aos meus irmãos, Fabrício e Felipe Quintão de Almeida, pela amizade e ensinamentos repassados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço

A Deus.

A minha família.

Aos amigos.

Ao professor Alexandre Rosa dos Santos pelo apoio, incentivo e confiança prestado.

Ao professor Julio Tomás Aquije Chacaltana por analisar criteriosamente essa dissertação.

Ao professor Gilson Fernandes da Silva pela ajuda fornecida.

A todos aqueles que diretamente ou indiretamente me ajudaram.

Ao PPGEA/UFES pela oportunidade de estudo concedida.

Ao FACITEC pela bolsa de estudos concedida em boa parte desse estudo.

RESUMO

Este estudo avalia a influência do desmatamento na dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica. O trabalho realizado na bacia do córrego do Galo (973km²), Domingos Martins, ES, considerou um período de análise de trinta e um anos (1975 a 2005). A fim de caracterizar o comportamento hidrológico da bacia, realizou a modelagem morfométrica. Para tal, o uso de sistemas de informações geográficas e elementos cartográficos (curvas de nível e hidrografia) contidos nas cartas planialtimétricas do IBGE foi requerido. Foi gerado para os anos de 1975, 1985, 1995 e 2005, mapas de remanescentes florestais através da panacéia sensoriamento remoto e imagens do satélite LANDSAT. Foi empregado, nos registros históricos de hidrologia, o recurso de análise estatística de séries temporais (BOX & JENKINS), com o intuito de observar a existência de tendências. Os registros foram precipitação (mm) e vazão (m³/s), ambos disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da ANA e a reposta hidrológica, calculada a partir da razão entre vazão e precipitação. Com relação à modelagem morfométrica, os principais resultados obtidos foram: a bacia apresenta forma alongada, seu coeficiente de compacidade é 1,83, o fator de forma é 0,1 e a densidade de drenagem é de 2,68km/km². Em relação à caracterização temporal dos remanescentes florestais, os resultados indicam uma tendência no período de 1975 a 1995, com uma redução da área de floresta na bacia, passando de 581,31 para 393,63km². No período de 1995 a 2005, essa tendência não é mais observada, ocorrendo aumento da área de floresta, passando a apresentar 457,73km² de área florestada. Os dados de hidrologia não mostraram nenhuma tendência ao longo do tempo, indicando uma possível não correlação entre desmatamento e dinâmica hidrológica (vazão e reposta hidrológica) da bacia do córrego do Galo.

ABSTRACT

THE DEFORESTATION INFLUENCE ON THE HYDRIC AVAILABILITY OF THE GALO STREAM RIVER BASIN, DOMINGOS MARTINS DISTRICT/ES.

The present study aims at evaluating the deforestation impact on the hydrologic dynamic of a river basin. The work was held at the Galo stream basin (973Km²), Domingos Martins district of Espírito Santo, taking into consideration an analysis period of thirty years (1975/2005). Aiming at characterizing the basin hydrologic behavior, a morphological modeling was made. To do so, it was used systems of geographical information and cartographic elements (level curves and hydrograph) found in the IBGE planialtimetric letters. For the years 1975, 1985, 1995 and 2005, forest remaining maps were created through remote sensorial panacea and LANDSAT satellite images. It was used, in the hydrology historical files, the resource on statistical analysis of temporal series (BOX & JENKINGS), with the desire of observing the existence of tendencies. The registration analyzed were precipitation (m/m) and emptying (m³/s), both available in the Hydrologic Information System (HIDROWEB) of ANA and hydrologic answer, calculated through the reason between emptying and precipitation. In relation to morphometric modeling, the main results were: the basin has an elongated form, its capacity coefficient is 1, 83, the factor form is 0, 1 and the density of drainage is 2, 68 Km/Km². In relation to temporal characterization of forest remaining, the results indicate a tendency in the period of 1975 to 1995, with a reduction of forest area in the basin of 581,31 to 393, 63 Km². In the period of 1995 to 2005, such tendency is no longer observed, there was an increase of forest area of 457, 73 Km². The results gotten with an analysis of hydrologic data did not show any tendency, indicating the non existence of a relation between deforestation and hydrologic dynamic of the Galo stream basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Ilustração do balanço hídrico.....	21
Figura 2 –	Esquema de uma bacia hidrográfica arredondada.....	27
Figura 3 –	Esquema de uma bacia hidrográfica elíptica.....	27
Figura 4 –	Esquema de uma bacia hidrográfica ramificada.....	28
Figura 5 –	Bacias hidrográficas do Espírito Santo.....	34
Figura 6 –	Bacia hidrográfica do rio Jucu.....	35
Figura 7 –	Bacia hidrográfica do córrego do Galo.....	36
Figura 8 –	Normais climatológicas para a estação pluviométrica de Perobinha.....	38
Figura 9 –	Cena TM/LANDSAT que recobre a bacia hidrográfica do córrego do Galo.....	40
Figura 10 –	Banda espectral 4 da imagem MSS/LANDSAT.....	42
Figura 11 –	Composição com as bandas 6(R) 5(G) 4(B) da imagem MSS/LANDSAT.....	43
Figura 12 -	Postos pluviométricos e fluviométricos que compõem a bacia hidrográfica do córrego do Galo.....	45
Figura 13 –	Hidrografia da bacia do córrego do Galo.....	49
Figura 14 –	Modelo Digital de elevação da bacia do córrego do Galo.....	51
Figura 15 –	Classes de declividade para a bacia hidrográfica do córrego do Galo.....	52
Figura 16 –	Desmatamento da bacia do córrego do Galo, ano de 1975.....	53
Figura 17 –	Desmatamento da bacia do córrego do Galo, ano de 1985.....	54
Figura 18 –	Desmatamento da bacia do córrego do Galo, ano de 1995.....	55
Figura 19 –	Desmatamento da bacia do córrego do Galo, ano de 1995.....	57
Figura 20 –	Evolução do desmatamento na bacia do córrego do Galo.....	59
Figura 21 –	Precipitações médias mensais para a bacia do córrego do galo.....	61
Figura 22 –	Autocorrelações mensais de precipitação “Lag 1”.....	62
Figura 23 –	Precipitações médias anuais para a bacia do córrego do galo.....	63
Figura 24 –	Vazões máximas mensais para a bacia do córrego do galo.....	65
Figura 25 –	Autocorrelações mensais de vazão máxima “Lag 1”.....	66
Figura 26 –	Vazões médias máximas anuais para a bacia do córrego do galo.....	67
Figura 27 –	Vazões mínimas mensais para a bacia do córrego do galo.....	69
Figura 28 –	Autocorrelações mensais de vazão mínima “Lag 1”.....	69

Figura 29 – Vazões médias mínimas anuais para a bacia do córrego do galo.....	70
Figura 30 – Resposta hidrológica para a bacia do córrego do Galo.....	73
Figura 31 – Resposta hidrológica para a bacia do córrego do galo.....	74
Figura 32 – Autocorrelações mensais de resposta hidrológica.....	74
Figura 33 – Série da vazão média mensal para o posto fluviométrico do córrego do Galo.....	75
Figura 34 – Resposta hidrológica anual para a bacia do córrego do galo.....	76
Figura 35 – Dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do córrego do Galo - Precipitação -.....	77
Figura 36 – Dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do córrego do Galo – Vazões -.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Cartas planialtimétricas do IBGE.....	38
Tabela 2 -	Estações hidrológicas dentro do contexto da bacia hidrográfica do córrego do Galo.....	44
Tabela 3 –	Precipitação total mensal (mm) - Estação São Rafael.....	46
Tabela 4 –	Precipitação total mensal (mm) - Estação Perobinha.....	47
Tabela 5 –	Ocorrências anteriores de El Niño e La Niña.....	48
Tabela 6 –	Características físicas da bacia do córrego do Galo.....	50
Tabela 7 –	Classes de altitude para a bacia do córrego do Galo.....	51
Tabela 8 –	Classes de declividade para a bacia do córrego do Galo.....	52
Tabela 9 –	Fragmentos florestais por centro de classe.....	56
Tabela 10 –	Total de área remanescente e desflorestada na bacia do córrego do Galo.....	58
Tabela 11 –	Médias mensais de precipitação (mm).....	60
Tabela 12 –	Vazão máxima mensal (m ³ /s) – Estação córrego do Galo.....	64
Tabela 13 –	Vazão mínima mensal (m ³ /s) – Estação córrego do Galo.....	68
Tabela 14 –	Vazão média mensal (m ³ /s) – Estação córrego do Galo.....	71
Tabela 15 –	Resposta hidrológica.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS

K_c : coeficiente de compacidade;

K_f : fator de forma;

D_d : densidade de drenagem;

S : declividade entre e foz a e nascente;

t : período de tempo;

Z_t : série temporal dependente;

T_t : tendência;

S_t : sazonalidade;

a_t : variável aleatória independente;

∇ : operador diferença;

B : operador de atraso;

p : coeficiente auto-regressivo;

q : coeficiente média móvel;

i : coeficiente integrado;

s : período de sazonalidade;

$\theta_1, \dots, \theta_p$: coeficiente média móvel;

$\theta_1, \dots, \theta_Q$: coeficiente média móvel sazonal;

LISTA DE SIGLAS

LANDSAT: Land Remote Sensing Satellite;

MMA: Ministério do Meio Ambiente;

ANA: Agência Nacional de Águas ;

PNRH: Política Nacional de Recursos Hídricos;

LNECM: Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

DNAEE: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica;

ARMA: Auto-Regressivo Integrado de Médias Móveis;

SARIMA: Autoregressivo Integrado de Médias Móveis Sazonais;

PMIX: Periódicos Auto-regressivos Médias Móveis;

CEPF: Critical Ecosystem Partnership Fund;

ACF : Função de Autocorrelação;

PACF : Função de Autocorrelação Parcial;

HABTEC: Engenharia Sanitária Ambiental;

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística;

SPRING; Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas;

NASA: National Aeronautics and Space Administration;

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Contextualização do problema	19
2.2 Bacia hidrográfica.....	20
2.3 Manejo de bacias hidrográficas	20
2.4 Ciclo hidrológico	21
2.7 O papel da floresta no ciclo hidrológico.....	22
2.8 As geotecnologias e suas implicações em estudos ambientais	25
2.9 Modelagem morfométrica de bacias hidrográficas.....	26
2.10 Uso de análise estatística de séries temporais em registros hidrológicos.....	30
2.11 Caracterização ambiental do estado do espírito santo.....	32
3 MATERIAL E METODOS.....	35
3.1 A área de estudo	35
3.2 Caracterização física.....	37
3.3 Modelagem e caracterização morfométrica.....	38
3.3.1 Materiais utilizados.....	38
3.3.2 Modelagem morfométrica da bacia	39
3.4 Mapeamento da cobertura florestal.....	39
3.4.1 Materiais utilizados	39
3.4.2 Classificação visual das imagens.....	40
3.5 Dados hidrológicos e modelagem estatística de séries temporais	44
3.5.1 Materiais utilizados	44
3.5.2 Cálculo da resposta hidrológica e modelagem estatística de séries temporais.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Análise morfométrica.....	49
4.2 Diagnóstico do desmatamento – período de 1975 a 2005	53
4.3 Dados hidrológicos e análise de séries temporais	59
4.3.1 Precipitação.....	59
4.3.2 Vazões	63
4.3.2.1 Vazão máxima.....	63
4.3.2.2 Vazão mínima	67
4.3.3 Resposta hidrológica.....	70

4.3.4 Dinâmica hidrológica em função do desmatamento	77
5 CONCLUSÕES	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

1 INTRODUÇÃO

O regime hídrico é diretamente afetado pela dinâmica e manejo da vegetação, que podem contribuir tanto para sua manutenção quanto para sua circulação no planeta (Vieira, 2000). Segundo LINHARES (2005), a dinâmica da vegetação inclui as mudanças naturais e as antrópicas. As mudanças naturais constituem fatos normais e habituais do ecossistema que não interferem de modo comprometedor na disponibilidade normal de água. As mudanças antrópicas são geralmente muito mais impactantes e modificadoras da paisagem, sendo o desflorestamento, a prática mais comum.

Vários estudos têm demonstrado a relação entre a vegetação e o regime hídrico de uma bacia (Cheng, 1989; Wright et al., 1990; Cornish, 1993; Gustard e Wesselink, 1993; Hornbeck et al., 1993). Nesses estudos, a análise anterior e posterior a um determinado evento florestal, como corte raso, desbaste e reflorestamento, mostram como a vegetação arbórea influencia à produção e a qualidade de água, o processo de erosão e a proteção dos mananciais. A retirada da vegetação acarreta uma série de alterações no meio físico, sendo uma delas a diminuição nas taxas fotossintéticas e de evapotranspiração, esta última podendo modificar as taxas de precipitação, se ocorridas em larga escala (Jayasuriya et al., 1993; Stoneman, 1993). Mudanças no regime de precipitação têm reflexo no regime de vazões, alterando a resposta hidrológica de uma bacia. Resposta hidrológica é a produção de água de uma bacia, obtida pela razão entre a vazão e a precipitação (Hewlett, 1982).

Poucos são os trabalhos envolvendo a dinâmica da resposta hidrológica com a dinâmica do desflorestamento em bacias hidrográficas como a do córrego do Galo, com uma área de 973km². Entendendo a relação entre resposta hidrológica e desflorestamento, compreenderíamos quais são as conseqüências da dinâmica de uso da terra na dinâmica do ciclo hidrológico. Poderíamos assim desenvolver atividades que busquem aliar o desenvolvimento econômico à preservação ambiental.

O uso integrado de sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto tem resultado em conquistas importantes às diversas áreas do conhecimento, permitindo obter com rapidez, precisão e eficiência, uma visão representativa dos problemas existentes. Outro fator importante acerca das geotecnologias é a possibilidade de incorporar em uma única base de dados, informações espaciais e não-espaciais de natureza, origem e forma diversas e a capacidade de gerar novas informações derivadas, possíveis de serem visualizadas na forma cartográfica (ARONOFF, 1991; BURROUGH, 1986). Nesse sentido, o mapeamento dos remanescentes florestais, através do uso de sensoriamento remoto, pode auxiliar os estudos que buscam correlacionar o desmatamento com a dinâmica da resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica.

A análise estatística de séries temporais é uma das mais importantes ferramentas em hidrologia, sendo usada na construção de modelos matemáticos para geração de séries hidrológicas sintéticas, na previsão de eventos hidrológicos, na detecção de mudanças e tendências em registros hidrológicos, no preenchimento de dados e na extensão de registros.

Com base nas questões expostas acima, a principal motivação para o desenvolvimento deste estudo é a “crise da água”. Um conjunto de fatores sociais, econômicos e ambientais produz quadros de escassez de água potável, principalmente na região Sudeste, a mais populosa do país, que somente agora está sendo considerado um problema real.

Nesse contexto, adquire relevância a investigação da hipótese segundo a qual há uma relação modelável entre a quantidade de cobertura vegetal e a resposta hidrológica da bacia hidrográfica do córrego do Galo, Domingos Martins, ES, através dos recursos de sensoriamento remoto e análise estatística de séries temporais. Para alcançar a hipótese exposta acima, as seguintes análises foram contempladas:

- realizar o mapeamento dos remanescentes florestais nos anos de 1975, 1985, 1995 e 2005 com base em imagens do satélite LANDSAT;

- averiguar, para o intervalo de tempo de 1975 a 2005, a existência de tendências nos registros hidrológicos de precipitação, vazão e resposta hidrológica;
- estabelecer uma possível relação entre o desflorestamento e os registros hidrológicos (precipitação, vazão e resposta hidrológica) da bacia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Contextualização do problema

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 a heterogeneidade da sua distribuição sobre a Terra (Com Ciência/SBPC, 2005; SOS Águas Brasileiras, 2005).

A quantidade de água necessária por pessoa varia muito em função das atividades (agricultura, indústria ou lazer) e da cultura de cada país (The Open University/Unicamp, 2000). Segundo dados do Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), uma pessoa requer 150 litros de água por dia para necessidades básicas. O preço da água no mundo varia em função da sua disponibilidade, como qualquer outro produto de mercado. Em Bangladesh, por exemplo, chega-se a pagar 250 vezes mais pela água encanada em relação à média mundial (US\$ 1,80 por m³) (FELTRIN, 2005).

O direito dos brasileiros a um meio ambiente ecologicamente equilibrado está garantido na Constituição Federal de 1988, assim como a obrigação de preservar este equilíbrio, conforme o artigo 225 desta mesma Constituição. A conscientização da importância da preservação dos recursos naturais aliada ao avanço do conhecimento científico e à emergência de soluções para os novos problemas ambientais, impulsionou a busca por planos de manejo e preservação dos recursos naturais (MMA, 2002a). Estão previstas na Agenda 21 (MMA, 2002b) diversas ações direcionadas ao manejo dos recursos hídricos. Destacando apenas duas, temos o Capítulo 14 totalmente dedicado à promoção do desenvolvimento rural e agrícola sustentável e o Capítulo 18, também inteiramente dedicado à proteção da qualidade e do abastecimento da água. Em julho de 2000 foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), cujo papel é “regular o uso da água dos rios e lagos de domínio da União, assegurando quantidade e qualidade para usos múltiplos, implementar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e executar a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH – Lei 9433/97)”.

2.2 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é a unidade geográfica ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no ecossistema por ele envolvido e pode ser definida como sendo a área fisiográfica drenada por um curso d'água ou por um sistema de cursos d'água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um corpo d'água (LIMA, 1976). Pode-se também definir bacia hidrográfica como sendo uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluente possa ser medida ou descarregada através desse ponto (GARCEZ & ALVAREZ, 1988 e VIESSMAN et al., 1972).

Pelo caráter integrador, Gerra & Cunha (1996) citam que as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nesta ótica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza.

2.3 Manejo de bacias hidrográficas

A expansão urbana e a industrialização, por um lado, e a pecuária e a agricultura intensivas, por outro, exigem quantidades cada vez maiores de água e, na maioria das vezes, agravam a qualidade dos recursos hídricos disponíveis (Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, 1986).

O manejo de bacias hidrográficas é definido como o processo de organizar e orientar o uso da terra e de outros recursos naturais numa bacia hidrográfica, a fim de produzir bens e serviços, sem destruir ou afetar adversamente o solo e a água (BORMANN et al., 1994). Este manejo visa à interação do uso do solo, vegetação, água e outros recursos presentes aumentando assim a disponibilidade e a qualidade de água em uma bacia hidrográfica (LIMA, 1986).

2.4 Ciclo hidrológico

O movimento da água entre os reservatórios do oceano, atmosfera e continente é chamado ciclo hidrológico (Figura 1). O fornecimento de água para a terra é dependente deste ciclo hidrológico. Sob a influência direta ou indireta da radiação solar, a água se evapora dos oceanos e dos continentes. Além disso é transpirada pelas plantas e animais para a atmosfera. Na atmosfera, a água é transportada na fase condensada (água líquida e cristais de gelo) em nuvens; ou na fase de vapor d'água. A água precipita sobre continentes e oceanos, infiltra e escoam sobre ou sob a superfície do solo para rios e correntes, trazendo a água de volta aos oceanos.

O ciclo hidrológico envolve os processos físicos da evaporação, transpiração, precipitação, infiltração e percolação, que representam os diferentes caminhos pelos quais a água circula nas três fases do sistema Terra: hidrosfera, litosfera e atmosfera (LIMA, 1976).

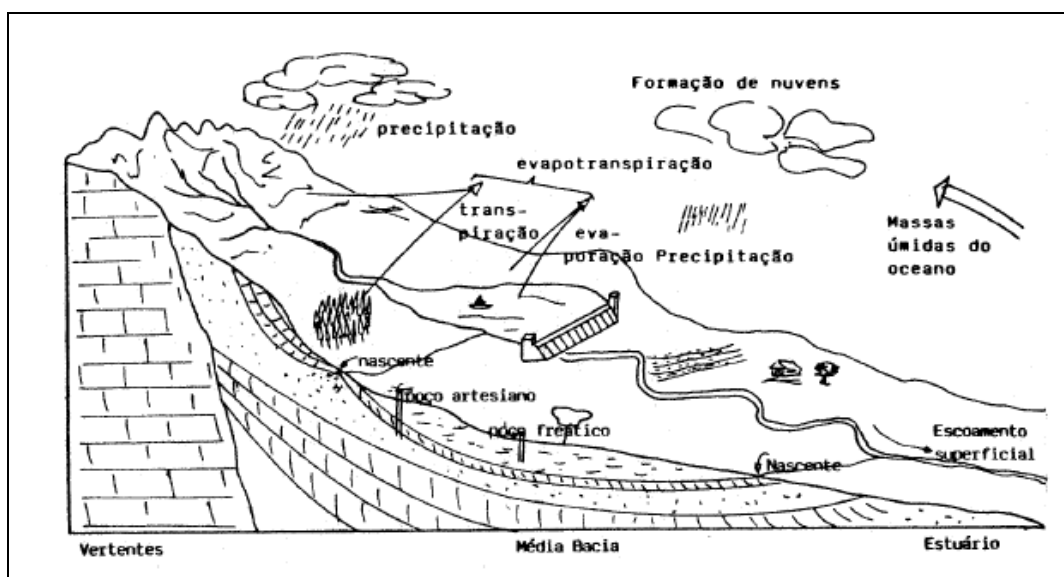


Figura 1 - Diagrama esquemático dos ramos atmosférico e terrestre do ciclo hidrológico mostrando a importância da evaporação, precipitação, escoamento superficial e subterrâneo de rios.

A precipitação é toda água líquida ou sólida proveniente da atmosfera para a superfície terrestre. Ao atingir o dossel de uma floresta ou outro uso do solo

qualquer de uma bacia hidrográfica, a precipitação é a entrada (“input”) do ciclo hidrológico. De um modo geral, cerca de 25% da precipitação anual global torna-se disponível para o escoamento de rios, sendo que a maior parte (75%) retorna para a atmosfera por meio da evapotranspiração (TUCCI, 2000).

Dois grupos distintos de processos físicos formam precipitação: o primeiro é a condensação e crescimento das partículas de água por coalescência e o segundo é o processo de resfriamento que envolve a formação e crescimento de cristais de gelo. Estes processos demandam o suprimento de umidade, movimentos verticais ascendentes e colisão entre partículas de água e cristais.

Vazão é o volume total de água que passa, em determinado período, pela secção transversal de um curso d'água. Descarga ou vazão é o deflúvio na unidade de tempo (m^3/s).

Nem toda precipitação que cai numa bacia se transforma diretamente em vazão (GREGORY & WALLING, 1973). Parte dela escoar como escoamento direto, parte permanece armazenada na bacia por algum tempo, indo fazer parte do aquífero, e parte evapora no solo, voltando à atmosfera.

Calcular a quantidade de água que uma bacia produzirá como vazão a partir das diferentes formas de precipitação vem sendo tratada por hidrologistas como forma de prever e prevenir acidentes ao homem.

A resposta hidrológica é a forma pela qual uma bacia responde à precipitação que cai no solo, sendo definida como a razão entre a vazão e a precipitação (HEWLETT & HIBBERT, 1967). Ela representa a produção de água de uma bacia em função da precipitação.

2.5 O papel da floresta no ciclo hidrológico

Cada estrato florestal (dossel, sub-bosque e sistema radicular) tem seu papel no ciclo hidrológico. O estrato superior intercepta a água da precipitação, diminuindo

seu impacto no solo, regulando a capacidade de infiltração, além de isolar 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 sua permeabilidade.

A qualidade da água é alterada à medida que interage com a atmosfera, vegetação e solo, e esse processo de interação encontra-se equilibrado em um ecossistema sem intervenção humana. A ação antrópica 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. 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 (WHITEHEAD E ROBINSON, 1993). Desde então, este tema tem sido muito explorado, sempre concluindo que a redução da cobertura florestal causa, em curto prazo, aumento da disponibilidade de água na bacia (HIBBERT, 1967; CHENG, 1989; STONEMAN, 1993; SORRISO-VALVO et al., 1995).

Bosch e Hewlett (1982) verificaram que o aumento de cobertura florestal ocasiona uma diminuição na disponibilidade hídrica, 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) diz que apenas alterações acima de 20% na quantidade 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 relacionam diversas práticas referentes à vegetação (reflorestamento, corte, extração seletiva, tipo de uso, regeneração) com a disponibilidade de água em bacias de drenagem (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.

Com o propósito de se avaliar diferentes usos do solo, Castro (1980) acompanhou os dados de deflúvios em duas bacias, sendo uma com mata natural e outra com agricultura e pastagem. O autor obteve na bacia com mata um menor escoamento da água de precipitação, além de que o padrão de sua hidrógrafa, mostrou um achatamento do pico de vazão, evidenciando assim o papel da cobertura florestal na regularização dos cursos d'água, melhorando a porosidade dos solos e facilitando a infiltração.

2.8 As geotecnologias e suas implicações em estudos ambientais

As geotecnologias envolvem a utilização de um conjunto de recursos computacionais e metodológicos para o cumprimento de suas funções; entre esses, destacam-se o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas.

O avanço da tecnologia computacional, associado ao crescimento exponencial do volume dos dados geográficos, decorrente do uso intensivo do conjunto de atividades multidisciplinares possíveis de serem realizados por meio das geotecnologias, tem permitido investigar diversas situações ambientais, bem como o monitoramento do desmatamento.

As geotecnologias envolvem a utilização de um conjunto de recursos computacionais e metodológicos para o cumprimento de suas funções, entre esses, destacam-se os sistemas de informações geográficas e o sensoriamento remoto.

As informações associadas à hidrologia de uma região podem ser preparadas e analisadas no processo de modelagem. Os sistemas de informações geográficas vêm sendo amplamente usados para esta finalidade. Constituem conjuntos interativos de subsistemas orientados à organização da informação espacial com o objetivo de subministrar elementos de apoio à tomada de decisões. Vários são os estudos de hidrologia que envolve o uso de sistemas de informações geográficas (SANTOS, 2001)

A panacéia sensoriamento remoto preocupa-se em estudar um determinado alvo (nesse caso os remanescentes florestais arbóreos) sem entrar em contato com o mesmo (HARRISON, et al., 1989). Tal processo é realizado através da manipulação de dados orbitais.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento da cobertura florestal é cada vez mais freqüente (USTIN, et al., 1999). Vários são os trabalhos realizados (COHEN et al., 1998; PAX-LENNEY et al., 2001). Uma das técnicas utilizadas com assiduidade no monitoramento da cobertura florestal é a

análise multitemporal de observações sensoriadas (FOODY et al., 1996; LUCAS et al., 2002). Esse procedimento permite avaliar a evolução dos desmatamentos.

No Brasil, vários autores já empregaram análise multitemporal de observações sensoriadas, como por exemplo, Skole & Tucker (1993), em um estudo da evolução temporal do desmatamento ocorrido na Floresta Amazônica. Em 1988, deu-se início ao Projeto de Estimativa de Desflorestamento da Amazônia (PRODES), cujo objetivo é mapear e monitorar o desflorestamento da Amazônia Legal anualmente. A metodologia utilizada baseia-se na interpretação visual de imagens Landsat, na escala 1:250.000, que permitem a detecção de áreas desflorestadas maiores que 6,25 ha. No início eram utilizadas imagens em papel e desde 2003 o PRODES passou a ser digital (INPE, 2006). A partir de 1988, as taxas de desflorestamento decresceram, chegando a um mínimo em 1991, refletindo a recessão econômica vivida pelo país no Governo Collor. Neste ano, voltam lentamente a subir, atingindo abruptamente um pico em 1995, com a implantação do Plano Real no Governo FHC. Até 2002, aproximadamente 632.000 km² de floresta haviam sido removidos, quase 16% de toda a Amazônia.

Em estudos mais recentes, o uso de técnicas de sensoriamento remoto por radar é empregado. Saatchi et al., (2001), examinou a fragmentação florestal por meio de técnicas de interferometria ocorrida na vegetação de Mata Atlântica na porção Sudeste do Estado da Bahia, Brasil. Thiel et al., (2006), avaliou o potencial do Japanese Earth Resource Satellite (JERS)-1 no mapeamento da cobertura florestal e na detecção do desmatamento.

2.9 Modelagem morfométrica de bacias hidrográficas

A forma da bacia não é, normalmente, usada de forma direta em hidrologia. No entanto, parâmetros que refletem a forma da bacia são usados ocasionalmente e têm base conceitual. As bacias hidrográficas têm uma variedade infinita de formas, que supostamente refletem o comportamento hidrológico da bacia. Em uma bacia circular, toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo (Figura 2).

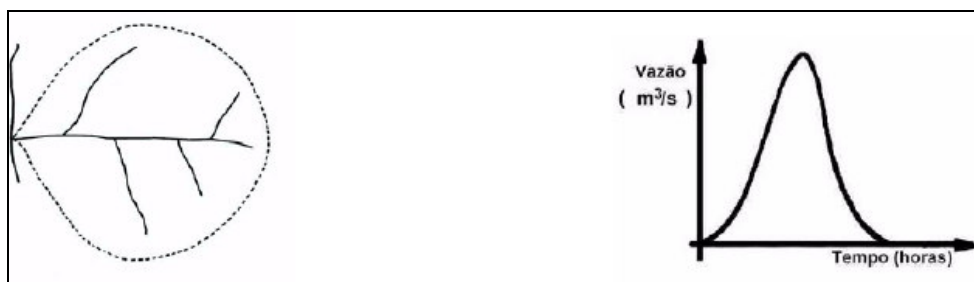


Figura 2 - Bacia Arredondada e as características do escoamento nela originado por uma precipitação uniforme.

Uma bacia elíptica, tendo a saída da bacia na ponta do maior eixo e, sendo a área igual a da bacia circular, o escoamento será mais distribuído no tempo, produzindo, portanto uma enchente menor (Figura 3).

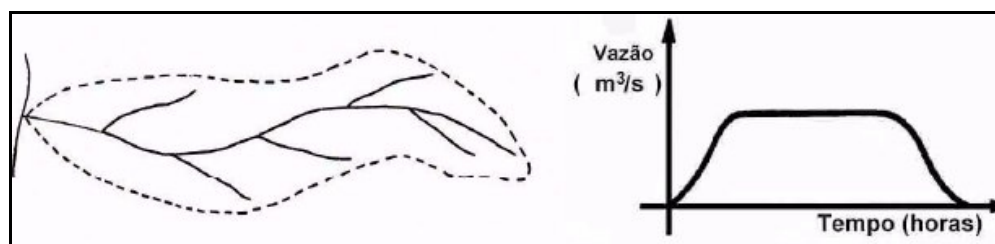


Figura 3 - Bacia elíptica e as características do escoamento nela originado por uma precipitação uniforme.

As bacias do tipo radial ou ramificada são formadas por conjuntos de sub-bacias alongadas que convergem para um mesmo curso principal. Neste caso, uma chuva uniforme em toda a bacia, origina cheias nas sub-bacias, que vão se somar, mas não simultaneamente, no curso principal. Portanto, a cheia crescerá, estacionará, ou diminuirá na medida em que forem se fazendo sentir as contribuições das diferentes sub-bacias (Figura 4).

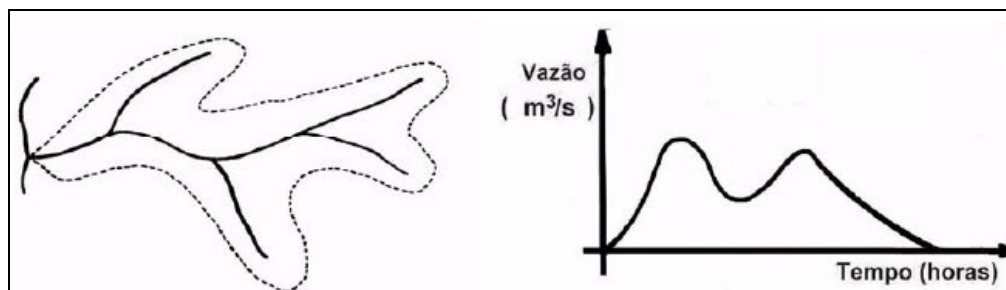


Figura 4 - Bacia ramificada e as características do escoamento nela originado por uma precipitação uniforme.

A forma da bacia é determinada por índices que a relacionam com formas geométricas conhecidas: coeficiente de compacidade (K_c) e fator de forma (K_f).

O K_c constitui a relação entre perímetro da bacia e o perímetro de uma circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Uma bacia será mais susceptível à enchentes quando seu K_c for mais próximo da unidade. O K_c foi determinado segundo a equação abaixo:

$$\diamond K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}, \quad \diamond (1)$$

onde P e A são respectivamente o perímetro e a área da bacia.

O K_f é determinado pela relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (comprimento do curso d'água principal). Segundo VILLELA et al. (1979), uma bacia com o fator de forma baixo é menos sujeita a enchente que outra de mesmo tamanho, porém com outro fator de forma. O fator de forma (K_f) foi determinado, utilizando a seguinte equação:

$$\diamond K_f = \frac{A}{L^2}, \quad \diamond (2)$$

onde L é o comprimento do rio principal da bacia.

O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários, seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. A

densidade de drenagem (Dd) é o índice que indica a eficiência da drenagem da bacia. A Dd é definida pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede e a área da bacia. Este índice foi determinado utilizando-se da seguinte equação:

$$\diamond \quad Dd = \frac{L_t}{A}, \quad \diamond \quad (3)$$

onde L_t é o comprimento total dos cursos d'água da bacia.

As variáveis topográficas (altitude, declividade, orientação do terreno, etc.) passíveis de extração automática em sistemas de informações geográficas são representadas pelos Modelos Digitais de Elevação (MDE¹), que podem dar suporte à classificação multivariada da paisagem, fornecendo uma segmentação da mesma em ambientes topográficos. Como exemplos de extração digital de informações da topografia, temos as análises de redes fluviais (WANG et al., 1998; TURCOTTE et al., 2001), partição de microbacias hidrográficas (Band, 1986) e a identificação de unidades de relevo (MEIJERINK, 1988).

O MDE foi utilizado para a geração do mapa de altitude e de declividade. A imagem de declividade gerada foi do tipo contínuo, por apresentar valores reais. A declividade do rio principal de uma bacia é uma medida representativa de seu relevo e muito utilizada em diversos estudos hidrológicos. Esta declividade pode ser representada pela declividade entre a foz e a nascente. A declividade entre a foz e nascente (S) foi obtida dividindo-se a diferença total de elevação do leito do rio principal pela extensão horizontal do curso d'água entre a nascente e a seção de referência, ou seja:

$$\diamond \quad S = \frac{Cota_{m\acute{a}x} - Cota_{m\grave{i}n}}{L}. \quad \diamond \quad (4)$$

¹ MDE é definido por BURROUGH (1986) como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço

2.10 Uso de análise estatística de séries temporais em registros hidrológicos

A análise de problemas relacionados com recursos hídricos necessita de dois tipos de base de dados (MENDONÇA, 1993):

- a) longas amostras observadas, especialmente séries temporais, que fornecem informações sobre o processo básico com pequena incerteza;
- b) séries com o tamanho padrão da amostra do período (ano, mês, dia, etc.) para produzir informações empíricas sobre variáveis que são funções das variáveis aleatórias observadas.

De um modo geral, toda série temporal (Z_t , $t = 1:n$), pode ser decomposta em uma componente de tendência, outra sazonal e uma aleatória, do tipo $Z_t = T_t + S_t + a_t$. A tendência (T_t) pode ser entendida como um aumento ou diminuição gradual nos valores da série ao longo do período; a série com sazonalidade (S_t) apresenta repetição de comportamento ao longo do tempo; e a_t representa a componente aleatória ou erro. Espera-se que a_t seja um ruído branco com média zero e variância constante.

Na prática, geralmente as séries apresentam tendência e ou sazonalidade. Na maioria dos casos, ao apresentarem essas componentes à série é não estacionária². A condição de estacionariedade é necessária para garantir a invertibilidade do processo, ou seja, para que os valores projetados possam ser transformados em sua base original.

Segundo a metodologia de Box et al. (1994), dada uma série não-estacionária na média Z_t , comumente utiliza-se o operador diferença ∇ para tornar a série estacionária. Para um inteiro $d \geq 0$, esse operador atua da forma dada na equação (5) abaixo;

$$\nabla^d Z_t = (1 - B)^d Z_t, \quad (5)$$

² O conceito de estacionariedade significa que "a série se desenvolve no tempo aleatoriamente em torno de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável".

onde B é o operador de atraso definido por $B^k Z_t = Z_{t-k}$.

Um processo Z_t diz-se um modelo auto-regressivo integrado de médias móveis, abreviado por ARIMA(p, d, q) se, satisfaz,

$$\phi(B) \nabla^d Z_t = \theta(B) a_t, \quad (6)$$

em que $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ e $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ são polinômios em B de graus p e q , chamados, respectivamente, de polinômios auto-regressivo estacionário e médias móvel invertíveis. Os polinômios $\phi(B)$ e $\theta(B)$ devem ter todas as raízes fora do círculo unitário para cumprir as condições de estacionariedade e invertibilidade, respectivamente, e a_t deve ser um ruído branco de média zero e variância constante.

Quando um padrão dinâmico de sazonalidade estocástica está presente na série, este pode ser modelado com uma pequena modificação sobre o modelo ARIMA, dado na equação 7. Esta modificação tem a forma dada,

$$\phi(B) \Phi(B^s) \nabla^d \nabla_s^D Z_t = \theta(B) \Theta(B^s) a_t, \quad (7)$$

onde,

$$\Phi(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_p B^{s^p}; \quad (8)$$

$$\Theta(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \dots - \Theta_q B^{s^q}; \quad (9)$$

$$\Delta_s^D = (1 - B^s)^D; \quad (10)$$

em que o processo $W_t = \nabla^d \nabla_s^D Z_t$ é estacionário, onde d e D representam o número de diferenças simples e sazonal feitas sobre Z_t com o período sazonal s .

A idéia central da técnica Box et al. (1994) é a de que uma série temporal pode ser parcialmente explicada por ela mesma, por suas realizações anteriores (parâmetros auto-regressivos) e pelos próprios erros (parâmetros de médias móveis).

O modelo dado na equação 7 é denominado Autoregressivo Integrado de Médias Móveis Sazonais, SARIMA $(p,d,q) \times (P,D,Q)$. Não há, em princípio, nenhuma dificuldade adicional na identificação, estimação e verificação de modelos sazonais. Caso seja necessário, pode-se tomar a diferença da série com respeito a ∇ e ∇_s , a fim de produzir estacionariedade.

A partir da obtenção da estacionariedade da série, o próximo passo consiste na identificação do processo gerador da respectiva série temporal. Através da análise da função das autocorrelações regular e parcial³, procura-se identificar se o processo é autoregressivo e/ou de médias móveis, de que ordem e se apresenta sazonalidade.

Em estudos hidrológicos, os modelos propostos por Box e Jenkins são amplamente utilizados. Mendonça (1993) desenvolveu a família de modelos Multiplicativos Periódicos Auto-regressivos Médias Móveis (PMIX) e mostrou aplicações desses em estudos de projetos e operação de sistemas de recursos hídricos. Já Reisen (2006), a estimação de processos fracionariamente integrados com componentes sazonais. Portanto, a utilização do modelo SARIMA em estudos hidrológicos e teóricos tem apresentado resultados consistentes na modelagem e previsão de séries temporais, mostrando ser uma ferramenta útil e motivando novos trabalhos.

2.11 Caracterização ambiental do Estado do Espírito Santo

No Estado do Espírito Santo, o processo de desmatamento ocorreu desde o início da colonização (MORAES, 1974), originou-se no litoral e avançou ao interior com a cultura de café. Segundo Kiseo (1984), os desmatamentos nesse Estado

³ Conforme Margarido (1994), a "função de autocorrelação (ACF) indica o processo, enquanto a função de autocorrelação parcial (PACF) mostra a ordem desse processo, no caso de modelos auto-regressivos. No caso de modelos de médias móveis, tem-se o inverso".

aconteceram devido a construção de residências e também pela exploração do Pau-Brasil. Assim, com o aumento dos serviços que dependiam dos recursos florestais, a área desmatada na década de oitenta para a demanda energética, foi superior a uma média de 35.000 ha/ano (SCHETTINO, 2000). Embora os remanescentes da Mata Atlântica situados nas terras altas estejam mais bem conservados e protegidos que nas baixas, devido, em grande parte ao relevo montanhoso, que torna difícil e onerosa a exploração, nessas áreas tem se verificado um acréscimo nos valores de desmatamento (CEPF, 2003)

O Estado do Espírito Santo, para efeito de gerenciamento dos recursos hídricos, encontra-se dividido em 12 bacias ou regiões hidrográficas (Figura 5) (HABTEC, 1997). Dentre as doze bacias ou regiões hidrográficas que compõem o Estado do ES, a bacia do Rio Jucu destaca-se por sua extrema importância, sendo responsável, junto à bacia do Rio Santa Maria, pela geração de 25% da energia elétrica produzida no Estado e por cerca de mais de 90% da água consumida na Grande Vitória (HABTEC, 1997).

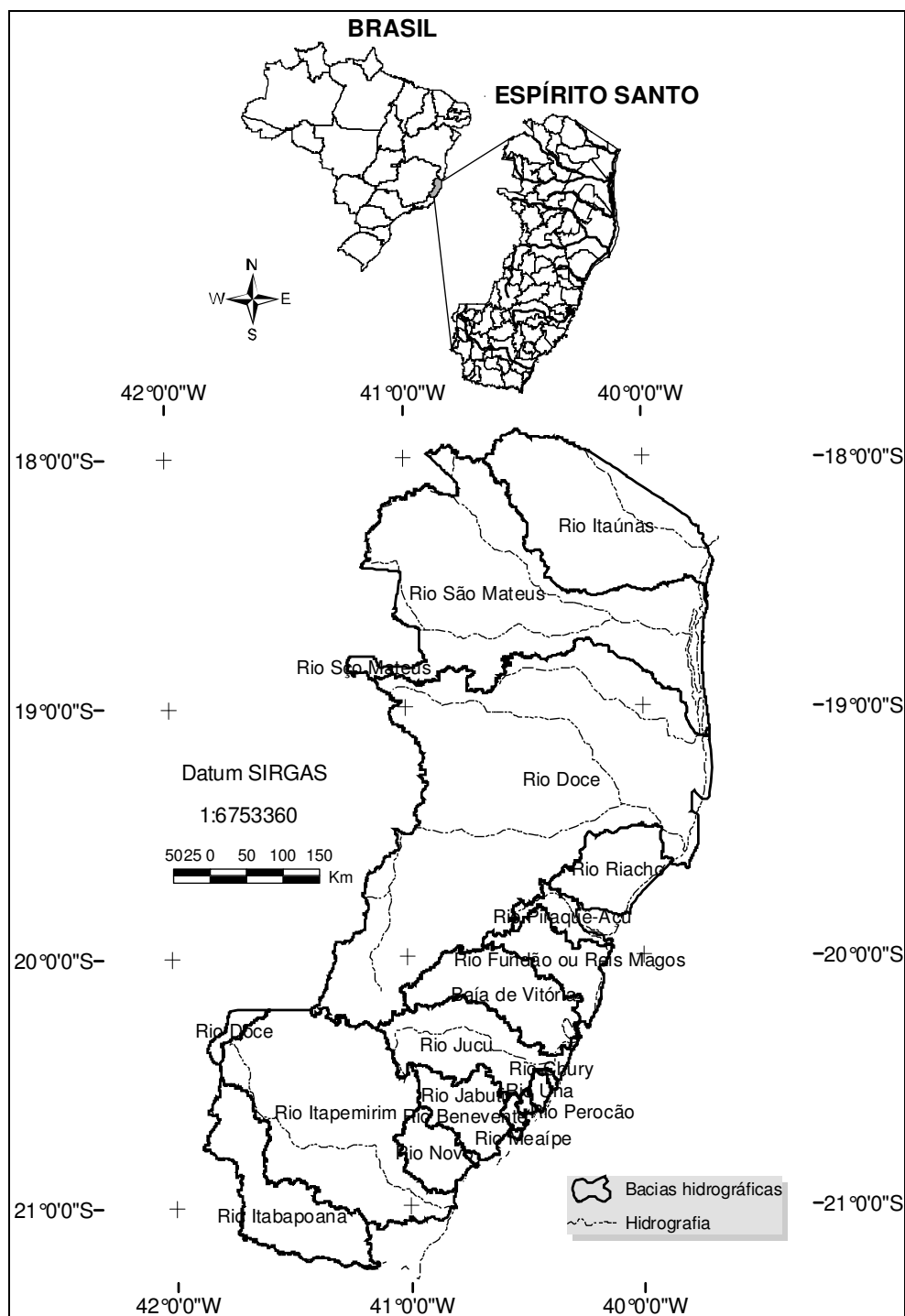


Figura 5 – Localização geográfica do Estado do Espírito Santo e distribuição das 12 principais bacias hidrográficas que compõem o seu território.

3 MATERIAL E METODOS

3.1 A área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Jucu, uma das principais responsáveis pelo abastecimento de água da região Metropolitana da Grande Vitória, tem uma área de 2.032km², com cotas altimétricas variando entre 0 a 1.800 m e perímetro de 340 km. Limita-se a Leste com o oceano Atlântico, ao Norte com as bacias dos rios Doce e Santa Maria da Vitória, a Nordeste com a bacia do rio Formate-Marinho, a Oeste com a bacia do rio Itapemirim e ao Sul com as bacias do rio Benevente e de Guarapari (Figura 6). Tradicionalmente, considera-se que o rio Jucu nasce da junção dos rios Jucu Braço Sul e Jucu Braço Norte.



Figura 6 – Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Jucu.

No entanto, a área analisada nesse estudo consiste a sub-bacia hidrográfica do córrego do Galo (Figura 7) com área de 973km². A sub-bacia é um trecho da bacia

hidrográfica do rio Jucu, e abrange boa parte do rio Jucu Braço Norte. O córrego do Galo nasce na serra de Castelo, um ramo da serra da Pedra Azul. As cabeceiras estão em cotas altimétricas ao redor de 1.200 m, localizando-as ao Sul do povoado de São Paulinho, no município de Domingos Martins.

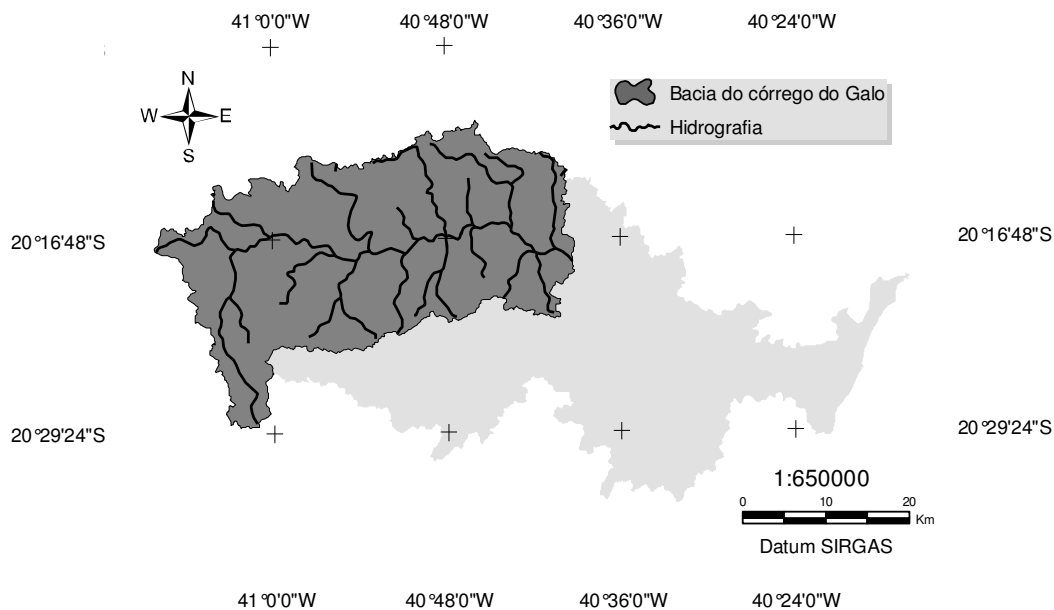


Figura 7 – Localização da bacia hidrográfica do córrego do Galo.

A análise temporal dos eventos climáticos (precipitação, temperatura, vazão, etc.) ocorridos em uma bacia deve incluir uma amostra representativa do clima e das mudanças significativas no uso e cobertura da terra. Essa análise é a mais adequada para estudar os efeitos dessas mudanças sobre o regime hidrológico da mesma (COSTA et al., 2003). Assim, partindo dos objetivos específicos, expostos ao fim da introdução, fez-se necessário uma bacia hidrológica com condições muito específicas, da qual se dispusesse de séries históricas de dados hidrológicos e de dados de cobertura vegetal, permitindo que a questão científica proposta fosse testada. A bacia hidrográfica do córrego do Galo mostrou-se especialmente adequada para esse trabalho, por possuir as características acima mencionadas.

3.2 Caracterização física

A geologia da bacia está representada por rochas com idades variando desde o Pré-Cambriano até o Terciário-Quaternário / Recente, havendo grandes lacunas estratigráficas do Paleozóico ao Mesozóico (RADAMBRASIL, 1981). O relevo é fortemente ondulado, com grandes formações montanhosas, destacando-se o pico granítico da Pedra Azul, considerada como pedra símbolo do Estado do Espírito Santo. Podem-se observar regiões de relevo mais suave, com encostas em meia laranja de declives menos acentuados, com amplos fundos de vale, onde se intensifica o plantio de hortaliças, principalmente o cultivo de alho.

Os solos da bacia são bastante pobres. Os solos das encostas possuem, muitas vezes, um teor elevado de matéria orgânica (cor escura quando úmidos), cuja decomposição é desestimulada pela baixa temperatura do ambiente e, principalmente, pela fertilidade: são os Latossolos Húmicos (RADAMBRASIL, 1981).

A bacia do córrego do Galo se insere no bioma da Mata Atlântica. O mapa de vegetação na escala de 1:1.000.000 do Projeto RADAM (URURAHY, et al., 1983), indica que a bacia abrange parcelas das regiões fitoecológicas originais de Floresta Ombrófila Densa e Aberta.

O clima da região é Brando Úmido (Cwa, segundo Köppen), com inverno seco, onde a temperatura no mês mais quente não ultrapassa 22°C e no mês mais frio é inferior a 18°C (THORNTHWAITE, 1955).

A precipitação média anual na bacia é bastante variável. Nas cabeceiras, é da ordem de 1.600 – 1.700mm e na parte central, oscila entre 1.500 – 1.300mm (HABTEC, 1997).

As normais climatológicas de precipitação do período 1975-2004 para a estação pluviométrica de Perobinha (Figura 8) mostra um período chuvosa de novembro a abril e um com menos chuva, que se estende de junho a setembro. O total anual médio de precipitação, calculado pelo somatório das médias mensais das normais climatológicas é de aproximadamente 1.908mm (ANA, 2006).

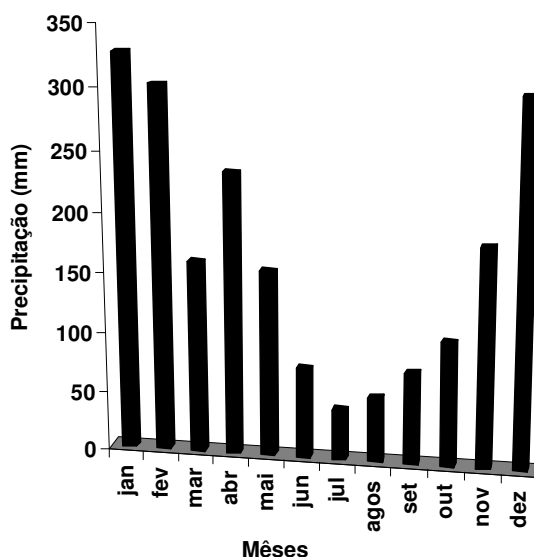


Figura 8 – Normais climatológicas de precipitação para a estação pluviométrica de Perobinha no período de 1975 a 2004. Fonte ANA (2006).

3.3 Modelagem e caracterização morfométrica

3.3.1 Materiais utilizados

Para a obtenção dos dados necessários à realização desta etapa, utilizou-se bases cartográficas planialtimétricas em formato digital (Tabela 1) na escala de 1:50.000, contendo as curvas de nível e hidrografia (IBGE, 1977). O tratamento e análise dos dados foram realizados por meio do software Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING 4.1 (CÂMARA et al., 1996).

Tabela 1 – Nome e folhas das Cartas planialtimétricas do IBGE utilizadas no estudo.

Nome	Folha
Araguaia	SF-24-V-A-III-3
Conceição do Castelo	SF-24-V-A-II-4
Domingos Martins	SF-24-V-A-III-4
Garrafão	SF-24-V-A-III-1
Matilde	SF-24-V-A-VI-1
Santa Leopoldina	SF-24-V-A-III-2

3.3.2 Modelagem morfométrica da bacia

Antes de realizar a modelagem morfométrica da bacia, é necessário identificar e delimitar a mesma. A definição da área de drenagem, que se faz com base nos divisores topográficos, foi realizada a partir das curvas de nível e dos topos de morros identificados nas cartas planialtimétricas citadas na Tabela 1. O polígono gerado nesse processo, correspondente à área de drenagem da bacia, serviu como máscara de recorte de todos os demais planos de informação, visando diminuir o tempo de processamento em função da diminuição de informação.

As características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois, ao estabelecerem-se relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais faltem dados (VILLELA & MATTOS, 1975). Nesta perspectiva, a análise morfométrica da rede de drenagem da bacia hidrográfica do córrego do Galo, possibilitará uma melhor compreensão dos fenômenos e da dinâmica ambiental presentes na área.

Segundo, Hewlett & Hibbert (1967), a resposta hidrológica da bacia depende, de certa forma, de suas características morfométricas (área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal entre outros).

3.4 Mapeamento da cobertura florestal

3.4.1 Materiais utilizados

Os dados de cobertura vegetal arbórea da bacia hidrográfica do córrego do Galo foram calculados a partir de imagens orbitais disponíveis por diferentes sensores do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT). As cenas (imagens) dos sensores *Multispectral Scanner* MSS/LANDSAT 2 (anos de 1975 e 1985) e *Thematic Mapper* TM/LANDSAT 5 (anos de 1995 e 2005), foram adquiridas em formato digital a partir das bandas espectrais 3, 4, 5 e 6. A bacia hidrográfica está compreendida em apenas uma cena LANDSAT (Figura 9), e assim não houve necessidade de

realização de mosaicos. As imagens utilizadas no estudo correspondiam à estação seca, entre junho e setembro, minimizando a ocorrência de nuvens. O tratamento e análise dos dados foram realizados por meio do software SPRING 4.1.



Figura 9 - Cena TM/LANDSAT que recobre a bacia hidrográfica do córrego do Galo. Banda 4 com filtro monocromático, órbita 231, cena 74.

3.4.2 Classificação visual das imagens

Ao trabalhar com imagens de satélite, empregam-se técnicas de sensoriamento remoto (registro, realce, contraste, segmentação, classificação, etc.). Nesse estudo, as imagens analisadas compreenderam os anos de 1975, 1985, 1995 e 2005, totalizando quatro (4) observações. Os motivos pelos quais esses anos e esse intervalo de tempo foram adotados são: o do início da disponibilidade de imagens orbitais pelo Programa LANDSAT, no ano de 1973; e pela redução significativa na taxa anual de desmatamento dos remanescentes florestais de Mata Atlântica, por consequência de uma maior conscientização e fiscalização sobre os mesmos.

Na fase de pré-processamento das imagens digitais, essas foram registradas pelo algoritmo de vizinho mais próximo com relação ao mosaico ortorretificado de imagens TM/LANDSAT, um produto da National Aeronautics and Space

Administration (NASA), disponível na Internet (NASA, 2002). Este mosaico recobre todo o globo terrestre e foi elaborado a partir de imagens TM/LANDSAT do ano de 1990 (± 3 anos). Está disponível nas bandas 7(R) 4(G) 2(B), com resolução espacial de 28,5 metros e na projeção/datum UTM/WGS 84. Detalhes da importação e da manipulação do mosaico dentro do ambiente SPRING podem ser vistos em Silva e Valeriano (2003).

Como a maior parte das imagens possuía correção de sistema, foram necessários poucos pontos de controle (quatro), distribuídos pela cena, para que a qualidade final do registro fosse satisfatória. Esta qualidade consistiu em um erro interno geral inferior a um (1) pixel (30 metros), confirmando que a escolha do mosaico ortorretificado da NASA como base para o registro foi acertada em vista da facilidade e da excelente qualidade do resultado.

Foram elaborados mapas da cobertura vegetal para os respectivos anos dentro do contexto da bacia. A legenda dos mapas consistiu em apenas duas classes, vegetação (V) e não vegetação (NV). A classe V inclui toda e qualquer cobertura vegetal arbórea (floresta nativa, floresta em qualquer estágio de regeneração, reflorestamento) e a classe NV a área desmatada (agricultura, solo, área urbana) (Figura 10). A definição desta legenda baseia-se na hipótese a ser testada no trabalho, qual seja, a de que a presença de vegetação arbórea, 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.



Figura 10 – Banda 4 da imagem MSS/LANDSAT de 1985 com filtro monocromático. As áreas claras representam locais com vegetação arbórea e áreas escuras as demais classes de uso do solo.

Associando cores primárias às informações espectrais contidas em três bandas quaisquer dos sistemas sensores, obtém-se uma composição colorida, sendo esse procedimento bastante utilizado durante a fase de realce das imagens. Segundo MOREIRA (2005) a finalidade é aumentar a acuidade do sistema visual humano em discernir diferentes feições na imagem durante a fase de classificação.

Várias combinações entre as quatro diferentes bandas espectrais do Satélite LANDSAT foram testadas, sendo as composições com bandas 3, 4 e 5 e com bandas 4, 5 e 6 selecionadas nesse estudo por apresentarem melhores resultados relativos à qualidade visual dos fragmentos florestais na classificação visual com digitalização em tela (Figura 11).

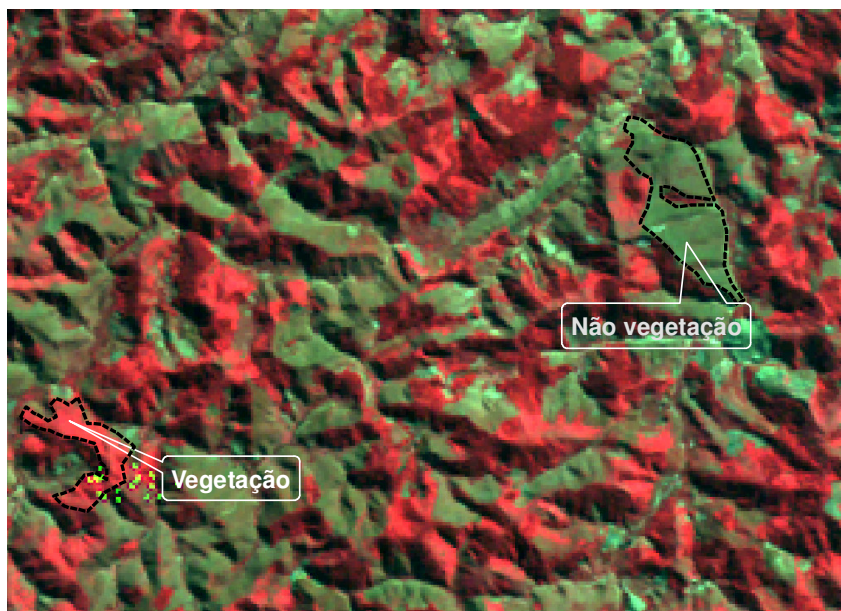


Figura 11 – Composição com as bandas 6(R) 5(G) 4(B) da imagem MSS/LANDSAT de 1985 para a bacia hidrográfica do córrego do Galo.

Tal classificação consistiu em identificar e delimitar as diferentes áreas da superfície terrestre diretamente na imagem de satélite, considerando-se os diferentes padrões tonais, o tamanho, a forma e a textura. Esse procedimento foi realizado diretamente no aplicativo SPRING 4.1, gerando-se um mapa contendo a distribuição espacial dos diferentes fragmentos florestais assim como das demais classes de uso e cobertura do solo.

Após a elaboração dos mapas de cobertura vegetal, a área em km² foi calculada por meio do somatório das áreas dos polígonos de cada classe (NV e V), para cada ano. Também foram calculados os percentuais de desflorestamento em cada ano analisado e a taxa de desflorestamento anual para bacia. A quantificação da cobertura vegetal deu-se pelo somatório da área coberta pelos polígonos da classe V, em termos absolutos (km²) e em termos relativos (%) com relação à data (1975) inicial de observação.

A análise de exatidão (erro), ou seja, a comprovação dos resultados encontrados foi realizada por meio de cartas planialtimétricas do IBGE, dados da FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE (2002) e levantamentos de campo realizados com GPS (esse último, considerando o ano de 2005).

3.5 Dados hidrológicos e modelagem estatística de séries temporais

3.5.1 Materiais utilizados

As informações hidrológicas (precipitação e vazão) utilizadas no estudo são provenientes do Sistema de Informações Hidrológicas, “Hidroweb” da Agência Nacional de Águas (ANA) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2006). Três são os postos de monitoramento hidrológico pertencentes à área de drenagem da bacia, estação córrego do Galo, São Rafael e Perobinha. Do primeiro posto citado foram utilizados os dados de vazão e dos demais os valores de precipitação. Foram utilizadas séries históricas mensais de vazões (m^3/s) máxima, mínima e média e precipitação (mm) total mensal. A Tabela 2 resume as características dos dados para cada estação de monitoramento. A distribuição espacial dos postos dentro da bacia do córrego do Galo pode ser visto na Figura 12.

A modelagem estatística de séries temporais foi realizada por meio da linguagem computacional estatística R, versão 2.0.1.

Tabela 2 – Resumo das estações hidrológicas e dos tipos de dados analisados nas mesmas.

Estação	Código	Registro	Altitude (m)	Periodicidade	Intervalo de tempo (anos)
Córrego do Galo	57170000	Vazão	580	Mensal	1975 - 2005
São Rafael	2040023	Precipitação	818	Mensal	1975 - 2005
Perobinha	2040015	Precipitação	640	Mensal	1975 - 2005

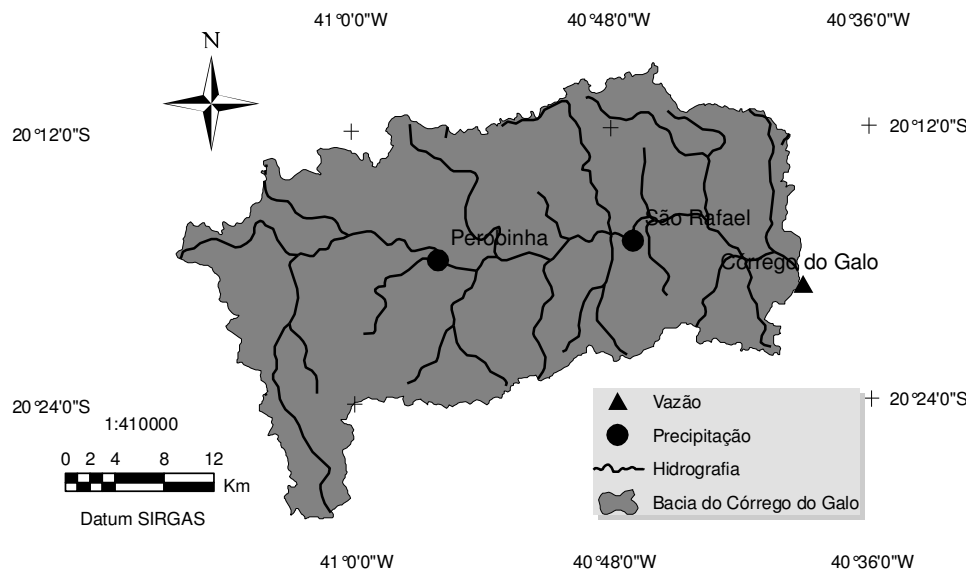


Figura 12 – Localização dos postos pluviométricos e fluviométrico dentro da bacia hidrográfica do córrego do Galo.

3.5.2 Cálculo da resposta hidrológica e modelagem estatística de séries temporais

Devido a problemas técnicos na coleta dos dados de precipitação, alguns meses apresentavam falhas, as quais foram preenchidas. Para preenchimento das falhas, foi utilizado o recurso de média móvel entre oito vizinhos. As tabelas 3 e 4 mostram as duas séries de precipitação completas após preenchimento.

Tabela 3 – Rio Jucu Braço Norte – Estação São Rafael – Precipitação total mensal (mm).

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1975	171,0	73,5	126,4	30,3	52,3	48,9	23,4	11,9	35,8	109,6	165,5	65,3
1976	64,1	57,6	67,1	68,8	60,5	2,5	73,4	1,6	110,4	51,5	255,2	211,2
1977	114,0	27,4	36,5	57,9	43,4	33,4	8,4	0,6	63,4	196,0	160,0	257,0
1978	250,1	125,2	195,0	49,6	94,9	95,9	8,6	105,9	37,2	92,3	97,0	95,4
1979	100,9	412,0	322,4	317,5	135,5	30,4	6,8	14,9	63,7	38,9	87,6	165,3
1980	296,8	217,1	86,8	80,8	167,1	48,2	35,5	13,2	32,9	5,7	38,9	121,5
1981	272,5	157,0	37,1	230,9	99,6	107,3	26,5	9,5	103,4	0,1	188,1	316,3
1982	84,9	228,3	31,0	390,5	178,1	45,3	5,9	13,8	70,0	10,5	20,5	13,0
1983	246,9	361,3	90,0	79,4	135,9	37,3	52,3	24,3	0,2	104,0	181,0	194,4
1984	199,1	152,7	18,2	177,3	65,2	114,5	44,9	1,0	55,7	84,4	114,8	308,1
1985	242,5	452,4	18,2	98,9	42,6	37,6	0,3	25,3	40,0	54,0	134,2	157,1
1986	175,7	111,6	127,0	119,6	33,2	78,0	15,0	61,0	83,4	6,3	61,0	149,6
1987	321,9	130,4	143,2	292,7	127,2	66,0	32,4	24,1	10,7	101,9	75,0	234,8
1988	148,1	134,5	199,0	71,6	77,3	66,4	21,5	3,7	9,9	27,3	106,9	160,2
1989	121,9	190,7	53,6	240,2	169,0	50,2	21,5	3,7	9,9	27,3	106,9	160,2
1990	121,9	190,7	100,5	143,2	139,2	25,5	37,0	79,7	61,9	12,8	115,7	209,2
1991	238,2	247,3	121,5	129,6	11,9	65,9	36,1	87,2	110,4	74,6	1,7	149,2
1992	245,1	98,4	40,8	74,0	47,1	28,0	59,0	61,8	40,4	123,3	175,7	187,9
1993	103,1	88,4	19,3	64,8	134,8	49,2	31,8	11,4	10,5	30,7	111,9	42,9
1994	145,2	239,8	30,8	244,8	75,0	45,6	29,6	10,9	3,5	9,3	78,0	42,6
1995	125,3	50,4	27,0	53,9	58,8	31,0	24,6	49,4	7,0	7,7	147,3	160,9
1996	139,1	20,2	90,3	67,6	48,0	20,5	8,9	29,3	21,1	63,5	55,5	245,9
1997	187,4	175,4	118,2	178,5	57,8	22,3	21,0	18,9	10,4	51,7	173,5	130,8
1998	155,6	89,5	207,0	98,1	42,5	27,6	12,5	12,2	61,8	36,4	169,4	143,1
1999	155,8	119,5	95,9	118,5	98,6	16,3	21,8	50,3	40,9	5,6	63,7	186,2
2000	195,6	129,7	116,9	72,1	38,6	52,6	31,3	34,1	30,6	57,9	33,7	304,1
2001	284,4	145,0	50,4	90,0	86,4	55,1	15,6	11,0	10,2	107,6	118,7	467,3
2002	192,0	88,8	138,8	52,8	75,6	47,0	28,2	40,3	36,9	121,9	15,0	140,6
2003	277,7	356,2	15,6	176,6	74,8	25,5	0,7	11,7	18,7	16,2	99,5	81,6
2004	276,4	304,3	319,7	223,0	151,5	27,0	65,6	17,2	13,4	6,3	61,3	154,6
2005	236,7	185,7	149,9	338,1	56,6	139,5	71,5	25,4	31,0	89,4	62,9	205,0

Tabela 4 – Rio Jucu Braço Norte – Estação Perobinha – Precipitação total mensal (mm).

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1975	222,4	246,0	140,3	53,7	84,5	60,1	13,7	10,5	118,0	187,3	127,7	9,8
1976	1,1	36,5	79,7	54,4	51,7	5,0	66,5	4,1	71,6	56,8	185,3	180,3
1977	85,2	14,1	123,0	113,5	55,0	75,1	23,7	7,2	29,9	114,7	257,0	160,3
1978	213,5	131,3	207,3	130,6	75,9	99,7	10,5	141,5	42,4	78,1	200,3	178,0
1979	185,4	817,3	302,2	259,8	80,5	31,6	6,4	28,2	42,6	41,3	65,8	127,9
1980	263,1	268,3	114,9	47,7	241,0	62,0	28,4	7,3	24,6	15,6	67,0	111,6
1981	329,4	136,4	110,8	249,8	53,4	122,6	14,2	15,0	73,4	18,6	128,2	221,4
1982	115,3	224,4	22,8	309,0	186,4	33,8	18,2	25,6	92,4	28,2	27,2	47,2
1983	209,5	281,4	88,2	130,4	171,2	54,4	23,5	30,2	4,2	163,2	201,3	270,8
1984	236,0	116,6	56,8	115,0	94,2	16,2	10,2	8,4	78,0	87,0	116,8	249,4
1985	354,0	344,8	122,4	148,6	44,4	35,6	9,2	51,8	41,2	119,8	123,8	307,3
1986	204,8	108,0	56,8	61,4	83,2	36,4	40,2	35,2	74,0	43,8	29,8	117,8
1987	331,4	236,8	57,4	206,0	99,8	32,8	50,5	25,6	20,6	68,4	107,2	369,6
1988	119,0	177,4	114,9	193,1	79,1	66,7	26,7	18,6	28,8	30,9	223,1	116,0
1989	113,0	110,9	110,6	192,8	76,8	65,2	26,7	18,6	28,8	30,9	223,1	116,0
1990	113,0	14,4	114,3	88,6	114,6	34,2	9,3	43,2	65,4	44,8	138,8	278,2
1991	155,2	291,0	119,0	208,0	7,9	50,2	29,6	122,2	119,0	106,6	26,8	120,6
1992	127,0	180,2	101,0	65,6	102,6	16,8	78,4	124,0	76,0	76,0	137,2	376,2
1993	136,4	145,0	30,2	67,2	191,8	46,0	26,2	7,6	30,8	51,2	69,8	65,2
1994	255,8	347,4	32,6	336,7	188,2	74,2	23,4	23,4	7,2	9,8	57,8	121,6
1995	151,2	50,6	51,8	85,8	162,4	40,8	10,4	74,2	28,2	38,8	102,8	211,2
1996	303,9	65,0	117,4	67,6	78,3	102,8	45,5	7,1	17,2	89,6	171,8	275,1
1997	309,2	198,6	60,6	307,8	114,2	22,0	20,6	2,7	18,0	44,0	152,4	220,0
1998	214,0	143,2	63,2	104,4	30,0	25,0	12,4	21,0	69,0	9,0	209,0	227,8
1999	112,6	131,6	26,0	259,4	127,4	29,8	47,0	25,9	64,3	106,9	78,7	275,5
2000	159,8	123,6	104,5	119,2	57,3	22,9	33,8	18,4	35,2	58,4	64,4	289,9
2001	274,2	51,6	64,6	119,9	72,7	45,9	15,3	30,5	53,1	96,2	115,6	348,2
2002	124,9	126,0	115,9	44,3	52,0	84,7	15,6	38,6	58,8	129,0	10,9	89,3
2003	237,6	322,1	6,7	139,6	46,2	28,4	1,5	24,1	5,2	14,3	82,2	58,4
2004	320,3	188,4	322,7	173,4	126,1	16,2	67,6	29,7	35,1	15,1	67,0	137,5
2005	126,4	202,2	254,7	14,0	113,9	95,9	20,8	15,1	59,9	66,4	138,0	133,4

Após preenchimento das falhas em ambas as séries mensais de precipitação (São Rafael e Perobinha), a média entre essas foi calculada, gerando assim, uma série mensal média de precipitação para a bacia hidrográfica do córrego do Galo. Os dados de vazão não se apresentavam falhos, necessitando apenas organizar os mesmos.

Foi realizado o cálculo da resposta hidrológica da bacia dado pela razão entre a vazão média mensal em m^3/s e a média de precipitação total mensal calculada entre os postos de São Rafael e Perobinha, dada em mm. Essa normalização elimina variações de vazão devidas a flutuações na dinâmica de precipitação.

De posse das séries históricas de precipitação, vazões e resposta hidrológica, a análise estatística de séries temporais proposta por Box e Jenkins e discutida no

capítulo 2, seção 9, foi empregada com o intuito de identificar os modelos que melhor representassem as séries, buscando também verificar a ocorrência de tendência, sazonalidade e possíveis valores extremos (outliers) nas mesmas.

O clima de uma determinada região é controlado por vários fatores, tais como, a altitude e a latitude geográfica, dentre outros, além disso, é controlado também pela interação entre a superfície dos oceanos e a baixa atmosfera adjacente a ele. Os processos de troca de energia e umidade entre eles (superfície dos oceanos e atmosfera) determinam o comportamento do clima, e alterações destes processos podem afetar o clima regional e global. O El Niño e o La Niña representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical, e que tem conseqüências no tempo e no clima em todo o planeta.

A Tabela 5 mostra os anos de ocorrência desses eventos, El Niño e a La Nina, e suas intensidades (INPE, 2004). Essa tabela auxiliou a discussão dos resultados encontrados.

Tabela 5 – Ocorrências anteriores de El Niño e La Niña.

Fonte: Rasmusson e Carpenter 1983, Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert 1987, Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. Adaptado por CEPTEC-INPE.

1877 - 1878	1888 - 1889		
1896 - 1897	1899		
1902 - 1903	1905 - 1906		
1911 - 1912	1913 - 1914		
1918 - 1919	1923		
1925 - 1926	1932		
1939 - 1941	1946 - 1947		
1951	1953		
1957 - 1959	1963		
1965 - 1966	1968 - 1970		
1972 - 1973	1976 - 1977		
1977 - 1978	1979 - 1980		
1982 - 1983	1986 - 1988		
1990 - 1993	1994 - 1995		
1997 - 1998			
Ocorrência do El Niño			
		1886	1903 - 1904
		1906 - 1908	1909 - 1910
		1916 - 1918	1924 - 1925
		1928 - 1929	1938 - 1939
		1949 - 1951	1954 - 1956
		1964 - 1965	1970 - 1971
		1973 - 1976	1983 - 1984
		1984 - 1985	1988 - 1989
		1995 - 1996	1998 - 2001
		Ocorrência do La Niña	
		Legenda: Forte Moderada Fraco	

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise morfométrica da bacia

A Figura 13 apresenta o mapa de hidrografia da bacia hidrográfica do córrego do Galo. O rio principal aparece em destaque, sendo que seu movimento se dá da direção Sudoeste para Leste da bacia.

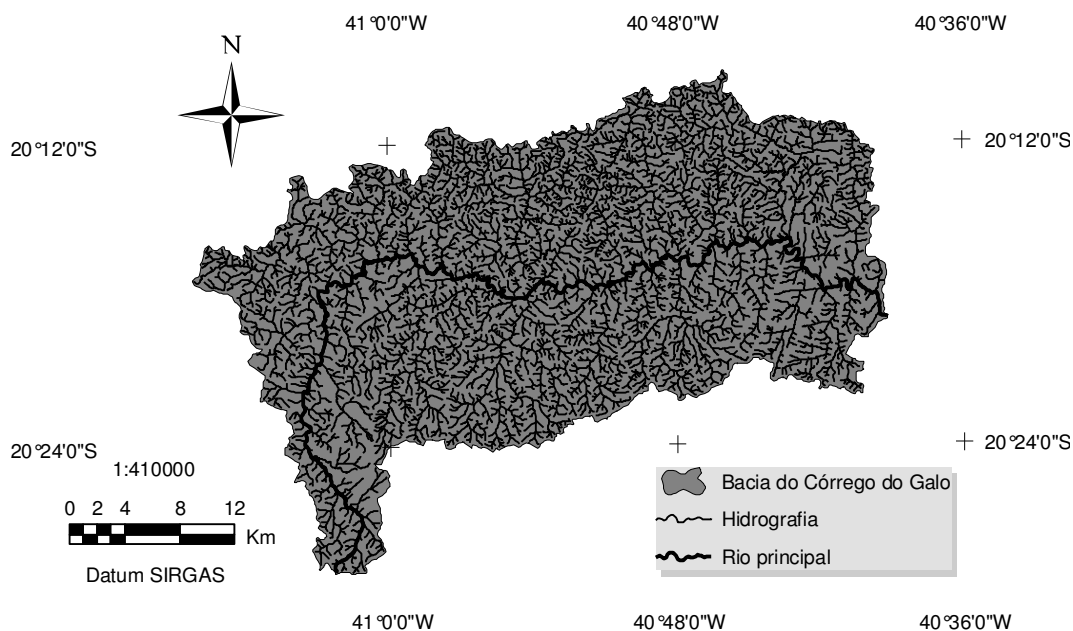


Figura 13 – Hidrografia da bacia do córrego do Galo, com destaque ao seu rio principal.

Na Tabela 6, mostram-se os resultados da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego do Galo. A área de drenagem encontrada na bacia foi de $972,21\text{km}^2$ e seu perímetro, de $204,17\text{km}$. De acordo com os resultados, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do córrego do Galo é pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade (1,83) e, quanto ao seu fator de forma, exibir um valor baixo (0,1). Assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada, elíptica (SANTOS, 2001).

Tabela 6 – Características físicas da bacia do córrego do Galo.

Características físicas	Resultados
Área de drenagem (A)	972,21km ²
Perímetro total (P)	204,17km
Comprimento do rio principal (L)	99,36m
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,83
Fator de forma (Kf)	0,10
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	2607,29km
Densidade de drenagem (Dd)	2,68km/ km ²

A densidade de drenagem encontrada na bacia hidrográfica do córrego do Galo foi de 2,68km/km². De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5km/km², ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo possui média capacidade de drenagem.

As características físicas, juntamente com o tipo de uso do solo existente, ajudam substancialmente no planejamento do manejo da bacia hidrográfica. Essas informações afetam algumas das etapas do ciclo hidrológico, interferindo de forma direta na resposta hidrológica da bacia.

A Figura 14 ilustra a distribuição das altitudes na bacia, constatando-se uma altitude média de 912 metros. As altitudes mínima e máxima foram, respectivamente, aproximadamente 480 e 1900 metros. Na Tabela 7, verifica-se a porcentagem da área de drenagem nas faixas altimétricas definidas. Observa-se, nessa tabela, que a maior porcentagem da área, de acordo com a área da bacia, apresenta-se na faixa entre 934 e 1023 metros, correspondendo a 25,74%.

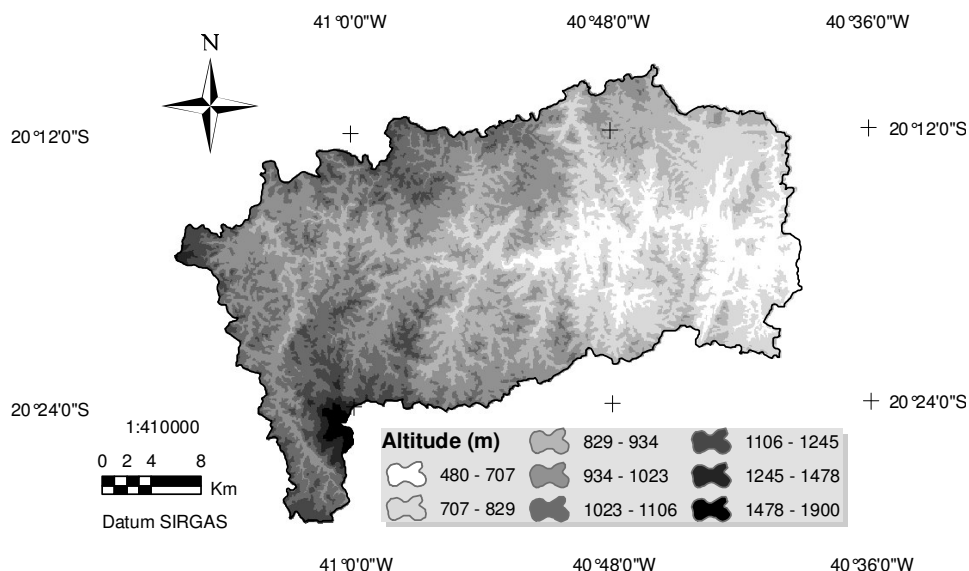


Figura 14 - MDE com a distribuição das altitudes de acordo com a área da bacia hidrográfica do córrego do Galo.

Tabela 7 – Distribuição das altitudes de acordo com a área da bacia hidrográfica do córrego do Galo.

Classes de altitude (m)	Área (km²)	%
480 - 707	103,70	10,67
707 - 829	186,37	19,17
829 - 934	202,56	20,83
934 - 1023	250,25	25,74
1023 - 1106	159,20	16,37
1106 - 1245	56,06	5,77
1245 - 1478	8,54	0,88
1478 - 1900	5,54	0,57

A Tabela 8 e a Figura 15 apresentam informações quantitativas associadas à declividade do terreno da bacia, as classes de declividade foram separadas em seis intervalos distintos, sugeridos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1979). Observa-se, nessa tabela, que a maior parte da bacia apresenta relevo acidentado, com aproximadamente 42% correspondente ao relevo ondulado forte e 22% ao montanhoso. A declividade influencia a relação entre a precipitação e o deflúvio da bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, reduzindo a possibilidade da infiltração de água no solo.

Tabela 8 – Distribuição das classes de declividade da bacia do córrego do Galo, segundo a classificação segundo a EMBRAPA.

Declividade (%)	Relevo	Área (Km ²)	%
0 – 3	plano	203,67	20,95
3 – 8	ondulado suave	21,79	2,24
8 – 20	ondulado	91,23	9,38
20 – 45	ondulado forte	408,21	41,99
45 – 75	montanhoso	213,92	22,00
> 75	montanhoso forte	33,40	3,44

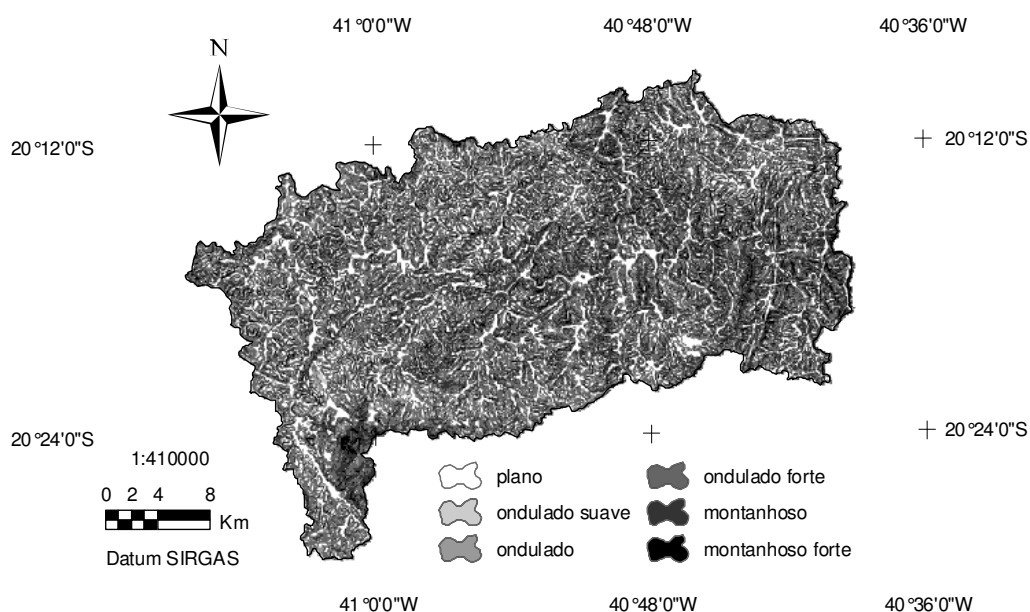


Figura 15 – Classes de declividade para a bacia hidrográfica do córrego do Galo, Domingos Martins, ES.

A declividade (S), entre o ponto mais alto (nascente) e o mais baixo (fz) do rio principal da bacia sugere, mesmo que de maneira aproximada, a velocidade do escoamento superficial. A declividade “S” encontrada para o rio principal da bacia hidrográfica do córrego do Galo foi de 0,014 m/m, mostrando que o curso principal da bacia apresenta um escoamento superficial consideravelmente rápido.

4.2 Diagnóstico do desmatamento – Período de 1975 a 2005

O mapeamento dos remanescentes florestais de Mata Atlântica, no contexto da bacia hidrográfica do córrego do Galo, foi realizado a partir de imagens de satélite por meio de digitalização manual via tela do computador (classificação não-supervisionada). A escala estabelecida para o mapeamento foi de 1:50.000. O erro gráfico associado a essa escala é da ordem de 10m, assim, os resultados de desmatamento encontrados para os respectivos anos de análise (1975, 1985, 1995 e 2005), podem variar para mais ou para menos 100m².

No ano de 1975, o desmatamento na bacia do córrego do Galo corresponde a uma área de aproximadamente 391,00km². A bacia ainda se encontra (Figura 16) com mais da metade de sua área (972,21km²) coberta por floresta (581,21km²), apresentando aproximadamente 40% de área desmatada.

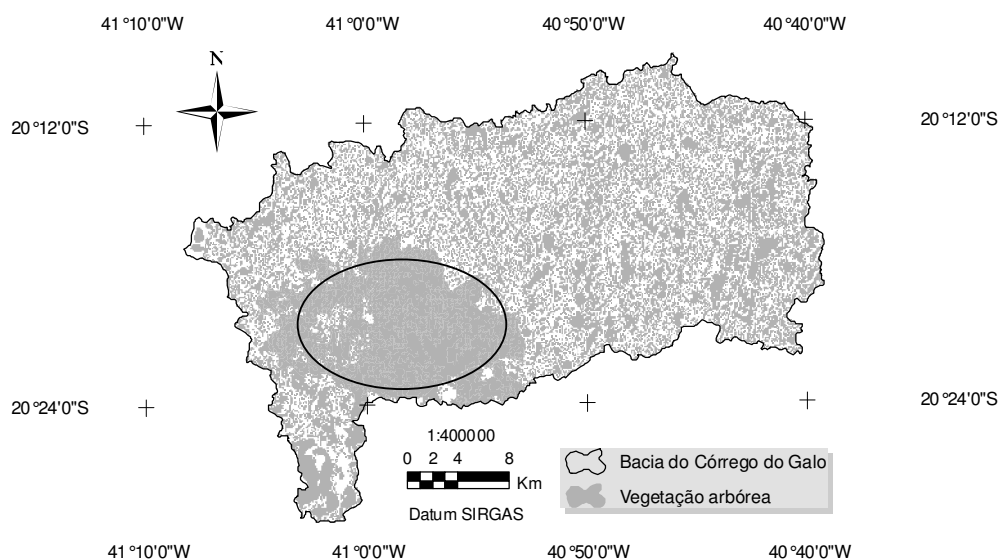


Figura 16 – Desmatamento na bacia do córrego do Galo para o ano de 1975 e plantações da espécie *Pinus* na porção sudoeste da bacia.

Na década de 80, no ano de 1985, o desflorestamento aumentou em aproximadamente 4,5%, com um total de 434,00km² de área desmatada (Figura 17). A taxa anual de desmatamento, no período de 1975 a 1985 foi de aproximadamente 0,45%, ou seja, uma perda média anual de 4,3km²/ano de cobertura florestal. O processo de desmatamento pode ser verificado ao comparar visualmente as duas

Figuras (16 e 17). Em destaque na Figura 16, ao ano de 1975, nota-se, na porção sudoeste da bacia, a existência de um fragmento florestal com um tamanho significativo. Em 1985 (Figura 17) o mesmo fragmento citado anteriormente teve sua forma e tamanho original modificados, apresentando-se completamente fragmentado e, conseqüentemente, com menor área.

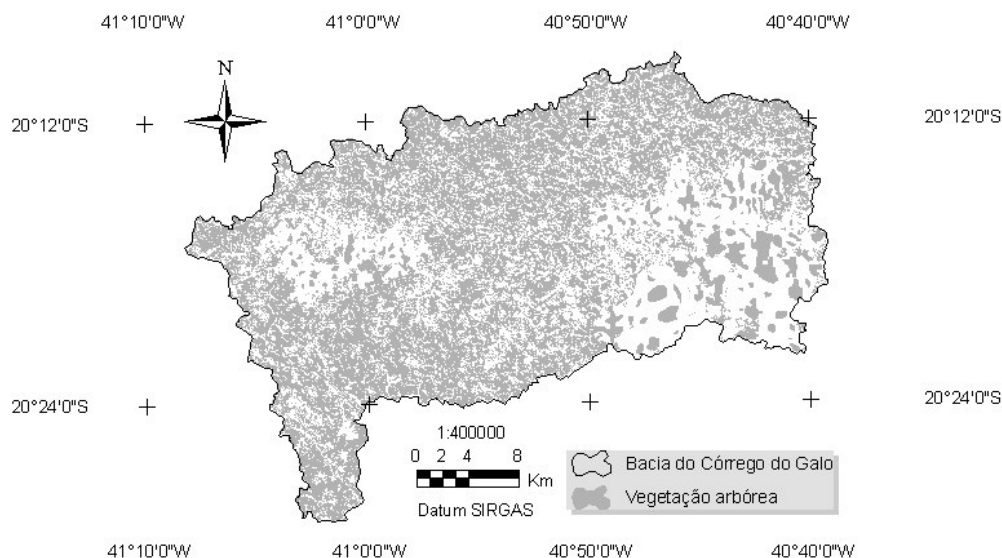


Figura 17 – Desmatamento na bacia do córrego do Galo em 1985.

No ano de 1995 a mudança na paisagem da bacia do córrego do Galo é marcante (Figura 18). O total de floresta diminuiu significativamente, apenas 393,63km² de uso do solo são de cobertura florestal, o que equivale a 40% da área da bacia. Em vinte anos (1975 a 1995), a quantidade de vegetação arbórea suprimida foi de aproximadamente 187,68km². A perda média anual de floresta, considerando o intervalo de tempo entre os anos de 1985 e 1995, corresponde a 14,42km²/ano. O total de área desmatada foi de 578,58km².

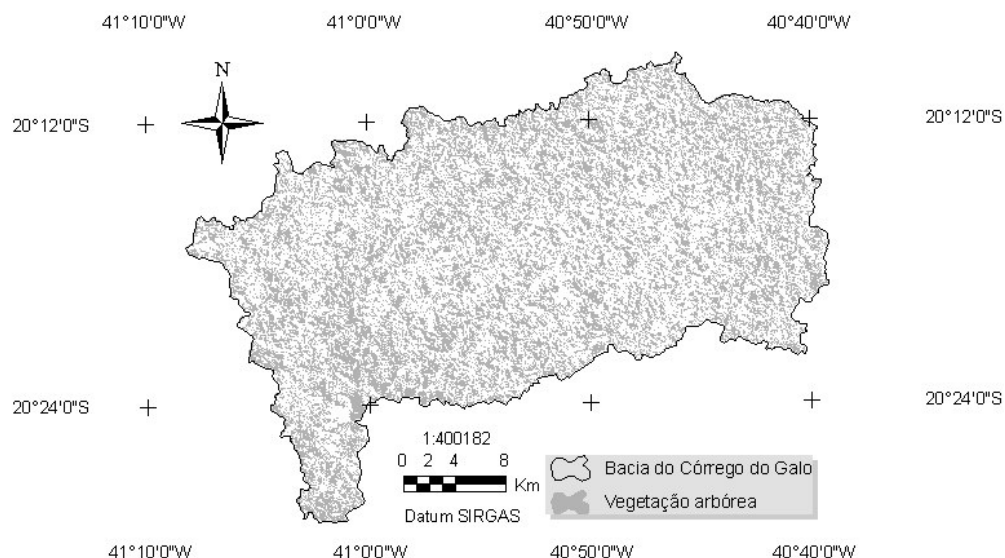


Figura 18 – Desmatamento na bacia do córrego do Galo em 1995.

Ao analisar a Tabela 9, temos que o aumento do número de fragmentos nas menores classes de tamanho é considerável. Com isso os remanescentes de floresta ficam mais vulneráveis aos agentes externos de degradação. Tal resultado corrobora o panorama de uma área em constante processo antrópico de degradação.

Geneletti (2004) cita que a fragmentação de ecossistemas, de maneira geral, caracteriza por três principais efeitos: aumento do isolamento dos fragmentos, diminuição dos seus tamanhos e aumento da suscetibilidade à distúrbios externos, tais como invasão por espécies exóticas ou alterações em suas condições físicas.

Tabela 9 – Número de fragmentos florestais por centro de classe de área (km²).

Centro de classe (km²)	1975	1985	1995
	Número de fragmentos		
2,25	5445	6370	26942
7,25	14	3	0
12,25	3	0	0
17,25	0	0	1
22,25	1	0	0
27,25	0	0	0
32,25	0	0	0
37,25	0	0	0
42,25	0	0	0
47,25	0	0	0
52,25	0	0	0
57,25	1	0	0

Noss et al. (1997) citam que fragmentos maiores e conectados são tipicamente melhores, para a conservação da biodiversidade, do que os pequenos e isolados. O primeiro grupo possui espécies e populações em número maior do que o segundo, e assim, apresenta-se menos suscetível à extinção (espécie, populações e o próprio fragmento).

No período que se estende de 1995 a 2005 houve um incremento no total de florestas (nativa ou plantada). O aumento foi de 63,77km², passando de 393,63km² no ano de 1995 para 457,73km² no ano de 2005 (Tabela 10). O incremento médio anual de floresta em dez anos (1995 a 2005) foi de 6,37km²/ano (Figura 19). Diferentemente do que foi observado nos demais períodos (1975 a 1985 e 1985 a 1995), onde os valores de desmatamento aumentaram, houve uma diminuição da área desmatada ou um possível aumento de plantios comerciais de floresta. Com isso, mostra-se uma possível mudança de comportamento no padrão do desmatamento ocorrido até então na bacia.

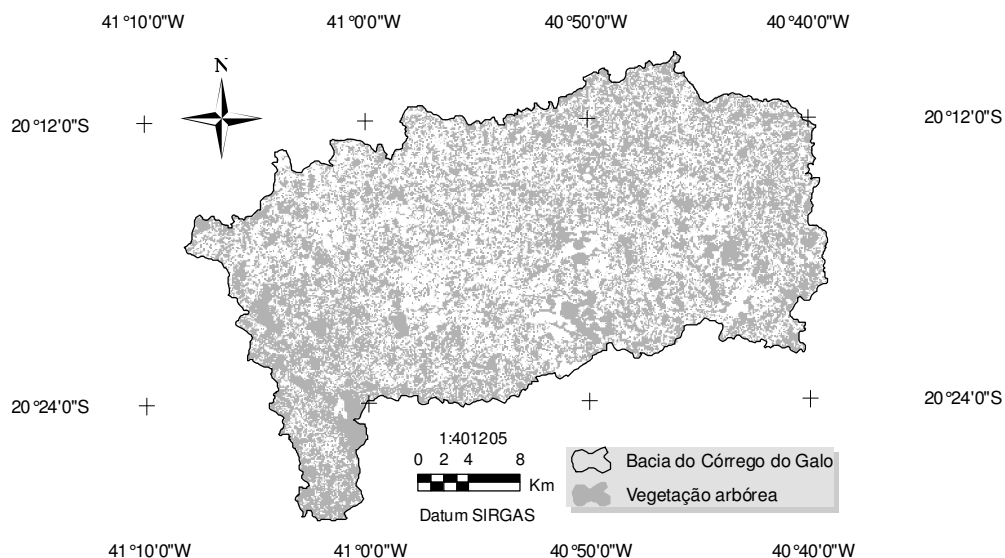


Figura 19 – Desmatamento na bacia do córrego do Galo em 2005.

Com esses resultados, pode-se notar uma possível mudança no comportamento daqueles intrínsecos à bacia, passando esses, a explorar de forma sustentável os recursos presentes na mesma. Segundo Geneletti (2004), as ações de conservação e preservação florestais devem, portanto, caminhar em sentido contrário ao da fragmentação. Dessa maneira poderá garantir-se a manutenção e/ou restauração da biodiversidade da paisagem afetada.

Através de visitas de campo, percebe-se que a diminuição do desmatamento não está relacionada com a diminuição da exploração dos remanescentes de floresta, mas sim, com o aumento de plantios comerciais de espécies florestais, principalmente os povoamentos de Eucalipto.

A Tabela 10 mostra a evolução do total de área (km²) de remanescentes florestais para cada ano analisado, como também do total de área (km²) desflorestada e os respectivos percentuais de perda de cobertura florestal para a bacia do córrego do Galo. É notório o aumento do desmatamento até o ano de 1995 (Figura 20), com uma perda total de aproximadamente 578,25km² de cobertura florestal na bacia.

Tabela 10 – Total de área remanescente e desflorestada na bacia do córrego do Galo.

ano	Área total de remanescentes Florestais (km²)	Área total desflorestada	Percentual desflorestado na bacia
1975	581,31	391,00	40,22
1985	538,23	433,98	44,64
1995	393,63	578,25	59,48
2005	457,73	514,48	52,92

A cobertura vegetal, em particular as florestas, vem juntar a sua influência à da natureza geológica dos terrenos, condicionando a maior ou menor rapidez do escoamento superficial das bacias de drenagem.

A camada de vegetação exerce função hidrológica de interceptação e redistribuição da água da chuva. A maior quantidade da água da chuva atravessa o dossel da floresta, atingindo o piso florestal recoberto de serrapilheira⁴. Nesse processo, o papel exercido pela serrapilheira na diminuição da erosão superficial é fundamental, evitando o selamento do solo e permitindo a infiltração da água no solo (COELHO NETO, 1985). Os macroporos biogênicos, inclusive os dutos de raízes mortas, exercem, juntamente com os sistemas radiculares, visto por Basile et al. (2003), uma função hidrológica importante, propiciando alto valor de permeabilidade às camadas superficiais dos solos florestais.

O padrão de desflorestamento encontrado pode ter influência direta no comportamento hidrológico da bacia do córrego do Galo. A análise estatística de séries temporais sobre os dados hidrológicos (precipitação e vazão), buscará demonstrar tendências significativas nesses, evidenciando assim uma possível relação com o desmatamento.

⁴ Cobertura de matéria orgânica formado sobre a superfície do solo por restos mortos de estruturas (galhos, folhas, frutos, sementes) vegetais.

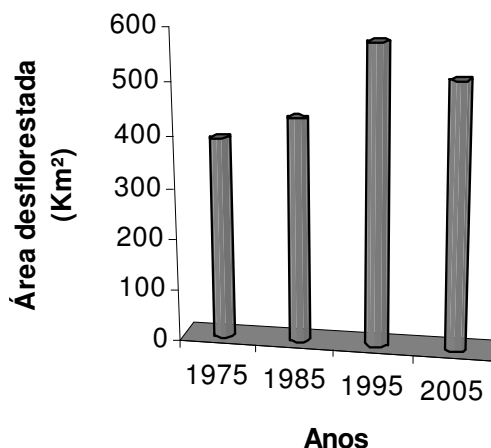


Figura 20 – Evolução do desmatamento na bacia do córrego do Galo.

4.3 Dados hidrológicos e análise de séries temporais

4.3.1 Precipitação

Na Tabela 11, encontram-se os valores totais mensais de precipitação para a bacia hidrográfica do córrego do Galo gerada a partir da média entre os postos pluviométricos de São Rafael e Perobinha, ambas as séries apresentadas no capítulo 3.

A média mensal de precipitação foi de aproximadamente 101,8 mm (Figura 21). Os meses de julho e janeiro, respectivamente, foram os de menor e maior precipitação, com média de 27,38 e 193,46mm (Tabela 10), o que caracteriza um clima de inverno seco e verão chuvoso.

Ao analisar a série da Figura 21, percebe-se, com o passar do tempo, um comportamento sazonal dos valores de precipitação. Tal comportamento é função do clima, mostrando que esse apresenta um padrão de repetição anual, com maiores valores de precipitação no verão e menores no inverno. Entretanto o regime sazonal apresenta flutuações intra-anuais decorrentes dos eventos EL Niño/La Niña, mais evidentes na estação chuvosa e menos na estação seca. Isto se deve ao fato dos valores mínimos serem mantidos por processos de base, como a evaporação de

solos e corpos d'água e a transpiração vegetal. Já os valores de máximo são afetados por alterações nos processos climáticos globais de circulação, como ENSO (El Niño Southern Oscillation)

Tabela 11 - Médias mensais de precipitação (mm) para a bacia hidrográfica do córrego do Galo entre os anos de 1975 e 2005.

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Soma
1975	196,70	159,75	133,35	42,00	68,40	54,50	18,55	11,20	76,90	148,45	146,60	37,55	1093,95
1976	32,60	47,05	73,40	61,60	56,10	3,75	69,95	2,85	91,00	54,15	220,25	195,75	908,45
1977	99,60	20,73	79,75	85,70	49,20	54,25	16,05	3,90	46,65	155,35	208,65	208,65	1028,47
1978	231,80	128,25	201,15	90,10	85,40	97,80	9,55	123,70	39,80	85,20	148,65	136,72	1378,12
1979	143,15	614,65	312,30	288,65	108,00	31,00	6,60	21,55	53,15	40,10	76,70	146,60	1842,45
1980	279,95	242,70	100,85	64,25	204,05	55,10	31,95	10,25	28,75	10,65	52,95	116,55	1198,00
1981	300,95	146,70	73,95	240,35	76,50	114,95	20,35	12,25	88,40	9,35	158,15	268,85	1510,75
1982	100,10	226,35	26,90	349,75	182,25	39,55	12,05	19,70	81,20	19,35	23,85	30,10	1111,15
1983	228,20	321,35	89,10	104,90	153,55	45,85	37,90	27,25	2,20	133,60	191,15	232,60	1567,65
1984	217,55	134,65	37,50	146,15	79,70	65,35	27,56	4,70	66,85	85,70	115,80	278,75	1260,26
1985	298,25	398,60	70,30	123,75	43,50	36,60	4,75	38,55	40,60	86,90	129,00	232,20	1503,00
1986	190,25	109,80	91,90	90,50	58,20	57,20	27,60	48,10	78,70	25,05	45,40	133,70	956,40
1987	326,65	183,60	100,30	249,35	113,50	49,40	41,45	24,85	15,65	85,15	91,10	302,20	1583,20
1988	133,55	155,95	156,95	132,35	78,20	66,55	24,10	11,15	19,35	29,10	165,00	138,10	1110,35
1989	117,45	150,80	82,10	216,50	122,90	57,70	24,10	11,15	19,35	29,10	165,00	138,10	1134,25
1990	117,45	102,55	107,40	115,90	126,90	29,85	23,14	61,45	63,65	28,80	127,25	243,70	1148,04
1991	196,70	269,15	120,25	168,80	9,90	58,05	32,85	104,70	114,70	90,60	14,25	134,90	1314,85
1992	186,05	139,30	70,90	69,80	74,85	22,40	68,70	92,90	58,20	99,65	156,45	282,05	1321,25
1993	119,75	116,70	24,75	66,00	163,30	47,60	29,00	9,52	20,65	40,95	90,85	54,05	783,12
1994	200,50	293,60	31,70	290,75	131,60	59,90	26,50	17,15	5,35	9,53	67,90	82,10	1216,58
1995	138,25	50,50	39,40	69,85	110,60	35,90	17,50	61,80	17,60	23,25	125,05	186,05	875,75
1996	221,50	42,60	103,85	67,60	63,15	61,65	27,20	18,20	19,15	76,55	113,65	260,50	1075,60
1997	248,30	187,00	89,40	243,15	86,00	22,15	20,80	10,78	14,21	47,85	162,95	175,40	1307,99
1998	184,80	116,35	135,10	101,25	36,25	26,30	12,45	16,60	65,40	22,72	189,20	185,45	1091,87
1999	134,20	125,55	60,95	188,95	113,00	23,05	34,40	38,10	52,60	56,25	71,20	230,85	1129,10
2000	177,70	126,65	110,70	95,65	47,95	37,75	32,55	26,25	32,90	58,15	49,05	297,00	1092,30
2001	279,30	98,30	57,50	104,95	79,55	50,50	15,45	20,75	31,65	101,90	117,15	407,75	1364,75
2002	158,45	107,40	127,35	48,55	63,80	65,85	21,90	39,45	47,85	125,45	12,95	114,95	933,95
2003	257,65	339,15	11,15	158,10	60,50	26,95	1,09	17,90	11,95	15,25	90,85	70,00	1060,54
2004	298,35	246,34	321,20	198,20	138,80	21,60	66,60	23,45	24,25	10,71	64,15	146,05	1559,69
2005	181,55	193,95	202,30	176,05	85,25	117,70	46,15	20,25	45,45	77,90	100,45	169,20	1416,20
Média	193,46	180,52	104,64	143,53	92,61	49,57	27,38	30,66	44,33	60,73	112,63	181,82	

A presença de valores extremos (“outliers”) também é observada e esses podem estar relacionados com os anos de ocorrência de El Niño/La Niña. Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC - (INPE, 2004) no ano de 1979 ocorreu o evento El Niño o que pode explicar o pico de precipitação (614,65mm) em fevereiro desse ano, valor aproximadamente 3 vezes maior do que a média do mês (janeiro) mais chuvoso (193,46mm). Já no ano de 1985, o evento observado foi o La Niña, o que pode explicar a ocorrência para o mês de fevereiro,

do alto valor de precipitação (398,60mm). Vale ressaltar que a ocorrência desses valores de precipitação pode consistir em fatos isolados.

A parte das variações temporais inerentes ao fenômeno da precipitação, a dinâmica pluviométrica no período é estável. Esse comportamento caracteriza um processo estacionário na média, ou seja, não possui raiz unitária.

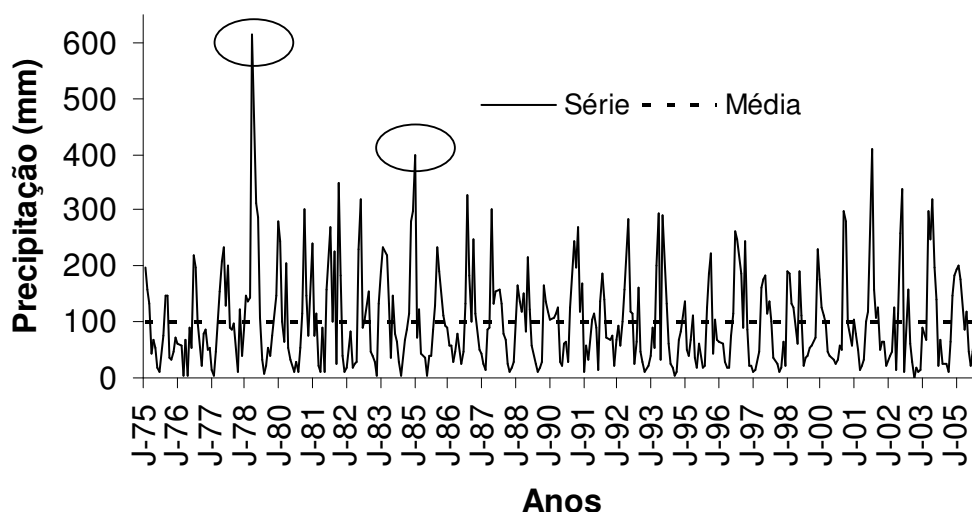


Figura 21 – Série temporal de precipitação para bacia hidrográfica do córrego do Galo, gerada a partir da média entre os postos pluviométricos de São Rafael e Perobinha - Período de 1975 a 2005.

As funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP) (definidas no capítulo 2, item 2.9) da série de precipitação média mensal da bacia do córrego do Galo são mostradas na Figura 22. O rápido caimento apresentado em ambas as funções de autocorrelação evidenciam também um processo estacionário. A estacionariedade da série foi confirmada pelo teste de raiz unitária Dickey-Fuller Aumentado (ADF) (DICKY, 1979). A hipótese nula onde o processo observado possui pelo menos uma raiz unitária foi rejeitada em nível de 5 % de probabilidade.

A FAC sugere um modelo do tipo SARIMA, com período de repetição de 12 meses ($s=12$), que pode ser visualizada pelo resultado dos “lags” 12 significativo, ou seja, fora do intervalo de significância representado pela linha pontilhada. A FACP sugere

que o coeficiente auto-regressivo (“p”) do modelo seja igual a 1, visto que a mesma apresenta defasagem de tamanho 1 significativa.

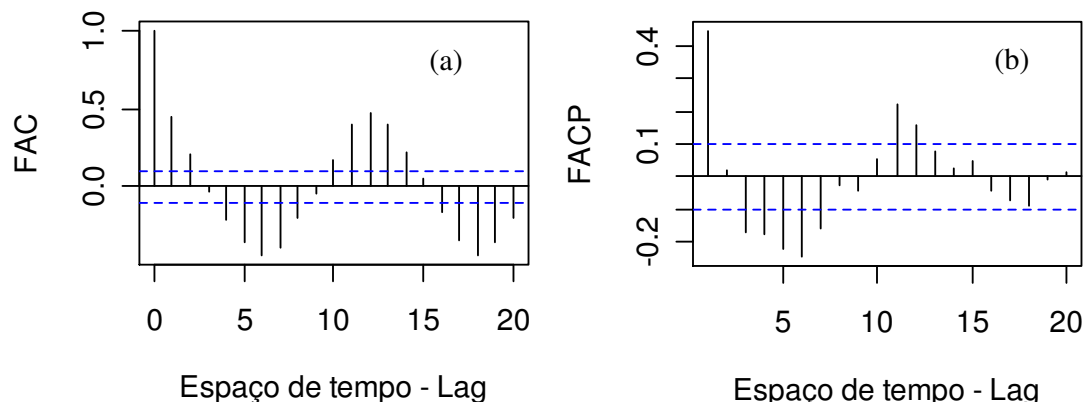


Figura 22 – Funções de autocorrelação (FAC) (a) amostral e autocorrelação parcial (FACP) (b) amostral ajustadas da série de precipitação para a bacia hidrográfica do córrego do Galo.

A média pluviométrica encontrada foi de 1222,00mm anuais, sendo que o ano com menor precipitação (783,10mm) foi o de 1993 e o de maior precipitação (1842,50 mm) foi o de 1979 (Figura 23 e Tabela 11). Percebe-se um comportamento aleatório nos dados, ora com anos acima da média e outros abaixo da mesma.

Até 1987 os totais anuais apresentavam um valor acima da média, aproximadamente 1400mm de chuva, entretanto, no período entre 1992 a 2003, os totais anuais tiveram uma queda, aproximando de 1100mm. Observa-se uma variação interdecadal, assim como as observadas em outros locais (GALDINO et al., 1997; MARENGO, 2004).

As variações interdecadais caracterizam-se por diminuição ou aumento dos totais anuais de precipitação durante uma ou mais décadas em relação às décadas adjacentes (LINHARES, 2005). Na Bacia do Rio Paraguai, por exemplo, os totais de precipitação diminuíram durante a década de 60 e início da década de 70, voltando aos valores anteriores mais altos. A amostragem temporal do presente trabalho não permite afirmar que este fenômeno tenha de fato ocorrido, pois a caracterização da variação interdecadal requer um período de análise maior. Se desconsiderar os efeitos de El Nino para o ano de 1979 esse comportamento fica ainda mais evidente.

À série de precipitação total anual, foi ajustada uma reta para avaliar a ocorrência de tendência. A reta ajustada apresenta uma fraca tendência negativa. No entanto, esta tendência não foi significativa a 5% de probabilidade.

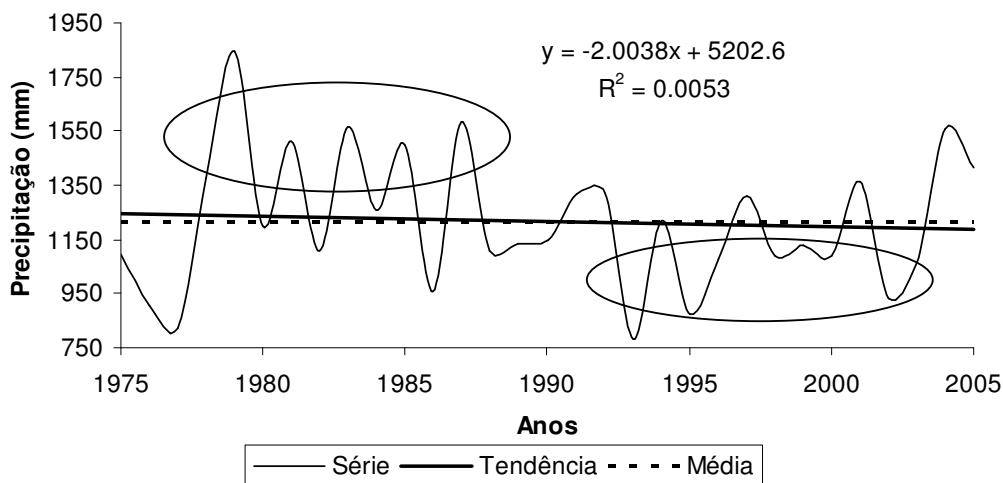


Figura 23 – Totais anuais de precipitação (mm) para a bacia hidrográfica do córrego do Galo, média e linha de tendência ajustada.

4.3.2 Vazões

4.3.2.1 Vazão máxima

Na Tabela 12, encontram-se os valores mensais de vazão máxima (m^3/s) para o posto fluviométrico do córrego do Galo. A média mensal de vazão máxima foi de aproximadamente $24,86m^3/s$ (Figura 24). A média do mês de janeiro foi o de maior vazão, com média de $50,28m^3/s$ (Tabela 12). A vazão do posto pluviométrico do córrego do Galo está diretamente relacionada com a precipitação média da sua bacia de contribuição (córrego do Galo), visto que, no mês em que ocorreu a maior média de precipitação ($193,46mm$), aconteceu o mesmo com a vazão máxima.

Como nos dados de precipitação, percebe-se, com o passar do tempo, um comportamento sazonal dos valores de vazão máxima (Figura 24). A presença de valores extremos (“outliers”) também é observada, como nos meses de fevereiro e janeiro dos anos de 1979 e 1999 respectivamente. A vazão máxima parece estar

mais relacionada com os eventos de El Nino/La Nina do que os valores de precipitação, onde que, inúmeros registros apresentaram comportamento anormal nos anos que ocorrem tais eventos (1979, 1980, 1985 e 1999).

Percebe-se também uma não tendência na série, o que caracteriza um processo estacionário na média, ou seja, não possui raiz unitária. A explicação, segundo Tucci (2002), é que as bacias com maior área de drenagem costumam apresentar maior regularidade nas vazões. Outro fator importante pode ser a geologia. Uma série temporal mais extensa poderia fornecer a informação se este comportamento da vazão máxima na bacia se deve a estes fatores naturais ou se é decorrente de alterações no uso e cobertura da terra que vêm ocorrendo nas últimas décadas.

Tabela 12 – Estação córrego do Galo - Valores de vazão máxima (m³/s).

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Soma
1975	79,40	63,20	28,20	22,80	17,90	22,10	17,20	10,30	25,10	37,40	30,70	20,60	374,90
1976	10,50	11,40	17,20	10,80	11,40	6,81	11,70	6,81	12,00	12,70	53,10	53,10	217,52
1977	23,20	11,70	11,40	17,20	13,00	8,06	7,06	5,34	8,06	16,50	25,00	34,00	180,52
1978	31,50	34,80	17,20	13,90	19,90	10,50	45,90	13,90	17,50	30,70	19,90	32,30	288,00
1979	83,80	150,00	72,80	38,30	23,90	20,60	16,90	23,60	13,90	15,90	69,50	62,70	591,90
1980	111,00	38,70	21,70	70,60	24,30	15,20	15,20	14,60	10,80	11,40	18,20	60,10	411,80
1981	20,60	19,90	27,40	31,50	22,40	14,60	12,00	20,60	9,16	24,30	65,30	36,50	304,26
1982	51,20	20,60	64,30	36,50	19,90	15,20	12,70	42,90	12,70	10,80	9,16	32,30	328,26
1983	55,10	29,80	15,20	28,60	21,00	16,20	10,50	8,06	39,60	35,20	42,90	65,30	367,46
1984	41,90	17,20	18,90	20,60	15,60	10,30	8,06	12,30	12,00	32,30	45,40	52,60	287,16
1985	92,85	45,05	40,23	21,41	19,42	15,37	15,67	17,19	27,80	26,69	39,80	42,83	404,30
1986	32,01	23,47	13,34	13,34	11,68	11,68	10,63	14,48	11,68	10,63	15,07	42,83	210,85
1987	39,38	22,09	48,22	51,00	15,07	13,62	9,86	8,16	11,15	8,63	52,96	27,75	307,89
1988	50,06	22,66	28,51	21,96	10,21	9,45	8,02	8,02	9,45	17,98	22,31	15,80	224,42
1989	23,01	8,48	31,24	11,52	9,21	11,25	7,33	9,70	7,33	6,67	45,37	31,24	202,36
1990	11,78	14,31	10,99	14,02	8,02	5,63	9,45	10,99	10,99	29,28	23,71	16,41	165,58
1991	51,98	19,27	32,04	24,43	14,61	9,95	23,36	52,96	15,20	12,33	22,66	21,62	300,40
1992	23,01	18,62	9,95	12,33	9,45	15,20	30,84	16,72	10,99	23,01	49,58	45,83	265,53
1993	54,92	17,34	19,27	27,75	13,45	13,17	8,72	9,21	8,96	11,78	9,95	25,15	219,69
1994	77,74	16,41	49,11	22,66	25,15	13,73	13,45	9,45	8,72	22,31	18,30	32,04	309,07
1995	10,72	8,25	13,73	20,26	11,64	7,27	8,88	11,38	6,62	10,60	33,78	48,91	192,06
1996	77,74	17,70	15,87	18,65	11,12	9,12	7,05	6,84	11,91	17,70	59,99	51,71	305,41
1997	77,18	20,59	81,75	25,42	18,65	12,72	10,10	10,10	11,12	27,61	31,41	62,01	388,66
1998	29,87	27,98	19,94	17,39	13,27	8,64	11,38	17,70	7,27	13,84	32,19	45,30	244,78
1999	134,42	10,35	20,59	19,94	9,36	14,12	9,12	10,10	12,45	17,70	46,16	31,41	335,72
2000	23,30	27,24	25,72	13,92	12,81	10,23	7,92	8,36	8,36	7,49	36,69	66,19	248,21
2001	22,11	15,06	12,81	12,27	8,58	7,28	8,14	7,70	11,75	18,11	90,01	37,40	251,22
2002	54,89	33,24	24,07	17,66	11,52	9,21	9,46	9,21	21,28	9,96	24,79	41,74	267,02
2003	79,45	20,94	19,60	13,17	9,96	7,33	8,97	8,97	6,46	13,74	10,99	35,71	235,28
2004	52,93	63,55	55,89	39,11	16,11	19,93	12,89	11,52	7,79	12,06	19,93	35,71	347,40
2005	31,23	63,03	80,60	27,37	39,11	33,24	22,65	12,89	24,43	21,62	58,91	55,39	470,46
Média	50,28	29,45	30,57	23,75	15,73	12,83	13,26	13,87	13,31	18,29	36,25	40,73	

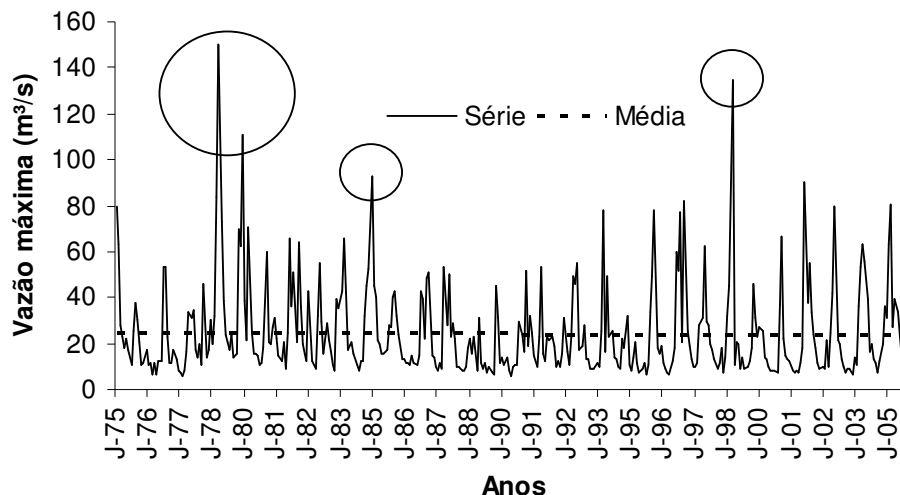


Figura 24 – Série temporal de vazão máxima (m^3/s) e valor médio para o posto fluviométrico do córrego do Galo.

As funções de autocorrelação e autocorrelação parcial da série de vazão máxima para o posto fluviométrico do córrego do Galo são mostradas na Figura 25. O rápido caimento apresentado em ambas as funções de autocorrelação evidenciam também um processo estacionário. A estacionariedade da série foi confirmada pelo teste de raiz unitária Dickey-Fuller Aumentado (ADF) (DICKEY, 1979). A hipótese nula onde o processo observado possui pelo menos uma raiz unitária foi rejeitada em nível de 5 % de probabilidade.

A FAC sugere um modelo do tipo SARIMA, com período de repetição de 12 meses ($s=12$), que pode ser visualizada pelo resultado dos “lags” 12 significativo, ou seja, fora do intervalo de significância representado pela linha pontilhada. A FACP sugere que o coeficiente auto-regressivo (“p”) do modelo SARIMA seja igual a 1, visto que a mesma apresenta defasagem de tamanho 1 significativa.

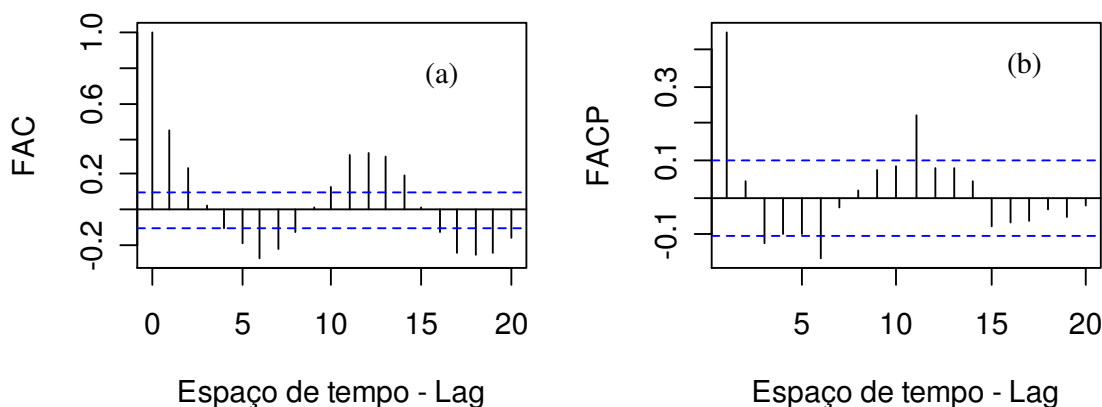


Figura 25 – Funções de autocorrelação (FAC) (a) amostral e autocorrelação parcial (FACP) (b) amostral ajustadas da série de vazão máxima para o posto fluviométrico do córrego do Galo.

O ano com maior descarga foi o de 1979 ($591\text{m}^3/\text{s}$), evento esse correlacionado com o ano de maior precipitação na bacia (Figura 26 e Tabela 12). Diferentes dos dados de precipitação, o comportamento anual dos valores de vazão máxima, apresentam-se estáveis em torno de uma média ($310\text{m}^3/\text{s}$). Se desconsiderar os anos de eventos El Nino/La Nina (1977, 1979, 1980, 1990) o comportamento citado acima é ainda mais visível.

À série de vazão máxima anual, foi ajustada uma reta para avaliar a ocorrência de tendência. A reta ajustada apresenta uma fraca tendência negativa. No entanto, esta tendência não foi significativa a 5% de probabilidade.

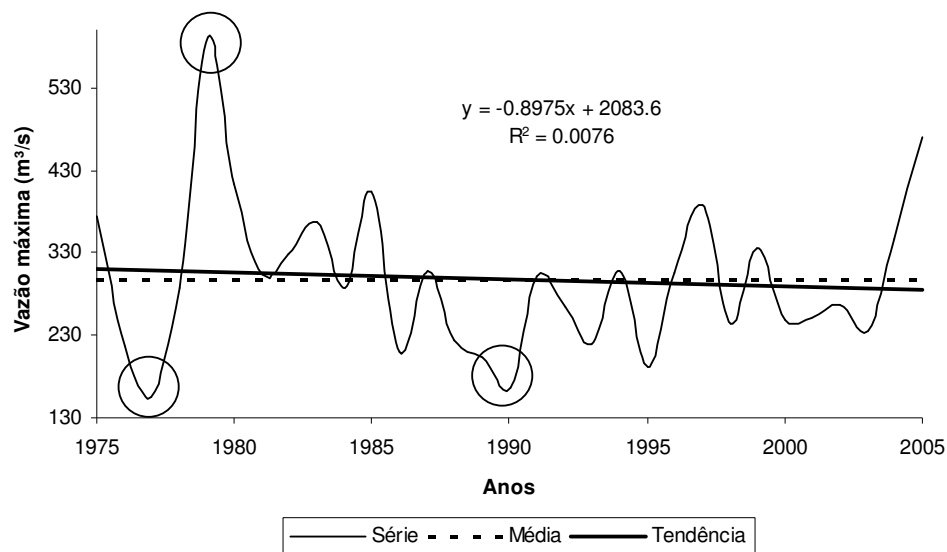


Figura 26 – Totais anuais de vazão máxima (m³/s) do posto fluviométrico do córrego do Galo, média e linha de tendência ajustada.

4.3.2.2 Vazão mínima

Na Tabela 13, encontram-se os valores mensais de vazão mínima (m³/s) para o posto fluviométrico do córrego do Galo. A média mensal de vazão mínima foi de aproximadamente 9,2m³/s (Figura 27). Os meses de setembro e outubro foram os de menor vazão, ambos com 6,9m³/s. Pode-se observar um retardo de dois (2) meses em relação ao mês (julho) de menor precipitação.

Já não é tão claro, como nos dados de vazão máxima, um comportamento sazonal dos valores de vazão mínima (Figura 27). Além do escoamento de base, processo relacionado ao alto período de tempo de residência da água na bacia, também deve contribuir para manutenção desse quadro, o percentual de cobertura florestal presente na bacia, o que diminui o escoamento superficial e lateral e promove o aumento da interceptação.

Tabela 13 – Estação córrego do Galo - Valores de vazão mínima (m³/s).

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Soma
1975	12,70	15,90	14,20	12,30	11,70	10,50	10,30	8,06	7,06	9,98	15,60	10,30	138,60
1976	8,06	6,56	6,06	6,56	6,56	5,81	6,06	5,56	6,81	6,06	6,81	12,70	83,61
1977	11,70	7,31	6,06	6,31	7,06	6,56	5,34	5,13	5,13	5,56	7,00	9,43	82,59
1978	9,16	8,06	9,16	9,70	8,33	7,56	8,06	7,31	7,06	7,56	7,31	8,33	97,60
1979	8,06	24,70	23,60	23,60	17,90	15,60	13,30	12,30	10,80	10,30	9,70	14,60	184,46
1980	20,30	17,20	12,70	15,20	13,90	13,30	10,80	10,30	9,16	8,06	8,06	11,40	150,38
1981	8,88	9,43	9,98	12,00	10,30	10,30	8,61	8,06	7,56	8,06	10,80	13,30	117,28
1982	13,90	10,80	11,70	16,20	13,90	11,40	10,80	10,80	9,16	8,06	6,56	6,56	129,84
1983	12,70	13,30	9,70	10,30	9,98	8,06	7,56	6,06	6,06	8,88	14,60	16,50	123,70
1984	11,40	10,80	10,80	12,70	9,16	7,81	7,06	6,56	7,06	6,31	7,06	22,80	119,52
1985	24,52	22,77	21,41	16,57	14,48	12,23	12,23	11,68	10,89	10,89	11,68	18,13	187,49
1986	13,62	12,23	9,61	9,61	9,12	8,88	7,47	7,24	7,24	6,80	5,14	6,80	103,76
1987	9,12	9,12	9,12	11,68	9,61	9,12	8,16	7,02	7,24	6,80	6,25	12,88	106,13
1988	10,47	9,70	10,21	8,96	8,48	7,78	6,67	6,25	5,83	7,33	8,48	8,48	98,66
1989	6,67	6,25	7,11	7,11	6,67	6,25	5,83	5,43	5,43	5,63	6,25	10,99	79,59
1990	5,63	5,03	6,67	6,25	5,43	4,29	5,43	8,96	4,65	4,65	6,25	8,48	71,72
1991	9,95	12,33	10,72	10,47	8,48	8,48	8,02	8,96	8,48	8,48	8,48	10,47	113,34
1992	8,48	8,48	8,02	8,02	7,78	7,11	7,56	7,33	7,56	8,48	16,41	17,98	113,21
1993	10,99	10,99	10,47	10,47	9,45	8,48	7,78	7,78	6,67	5,83	6,25	6,25	101,40
1994	14,31	9,21	9,21	14,90	13,45	10,72	9,45	8,25	7,33	6,25	6,67	8,72	118,47
1995	6,67	5,03	5,23	7,11	6,84	6,00	6,41	5,20	4,82	5,20	8,41	13,00	79,91
1996	9,12	7,72	6,84	6,84	7,49	6,84	6,00	5,59	5,59	6,62	10,60	16,17	95,41
1997	13,84	11,64	16,78	14,41	12,72	10,10	9,12	7,94	7,72	7,27	7,94	11,38	130,86
1998	10,10	9,12	8,88	9,12	8,17	7,49	7,05	6,62	5,59	5,79	11,12	9,51	98,56
1999	9,60	7,49	7,72	7,72	7,05	6,84	6,84	6,00	5,59	5,39	6,84	12,45	89,52
2000	9,85	11,12	10,86	8,14	7,28	6,66	6,26	5,14	5,14	4,45	5,50	10,23	90,62
2001	8,36	6,86	6,26	6,07	5,88	5,69	5,14	4,79	4,62	5,88	6,86	10,21	76,61
2002	14,90	11,25	9,71	8,49	8,49	7,56	6,89	5,83	6,89	5,43	6,25	5,63	97,33
2003	13,45	9,46	8,49	8,25	7,33	6,25	6,04	5,43	4,85	4,29	4,85	4,66	83,34
2004	11,79	9,46	14,02	13,45	11,25	9,96	9,46	6,68	6,04	6,04	6,25	9,46	113,85
2005	9,46	14,31	18,30	14,61	12,89	14,31	11,79	8,49	8,49	8,73	14,90	16,11	152,38
Média	11,22	10,76	10,63	10,74	9,59	8,64	7,98	7,31	6,86	6,94	8,54	11,42	

Percebe-se também a presença de “outliers”, como o ocorrido no segundo mês do ano de 1979 (24,68m³/s). A presença de valores extremos, em ambas as vazões (máxima e mínima), é reflexo direto da forte precipitação ocorrida nesse mês, ocasionada pelos eventos de El Nino/La Nina. Tais resultados sugerem a ocorrência de possíveis enchentes na bacia.

Temos um comportamento regular da série ao longo do tempo, o que evidência a não presença de tendência, caracterizando um processo estacionário na média.

As funções de autocorrelação e autocorrelação parcial da série de vazão máxima para o posto fluviométrico do córrego do Galo são mostradas na Figura 28. O rápido caimento apresentado em ambas as funções de autocorrelação evidenciam também um processo estacionário. A estacionariedade da série foi confirmada pelo teste de

raiz unitária Dickey-Fuller Aumentado (ADF) (DICKEY, 1979). A hipótese nula onde o processo observado possui pelo menos uma raiz unitária foi rejeitada em nível de 5 % de probabilidade.

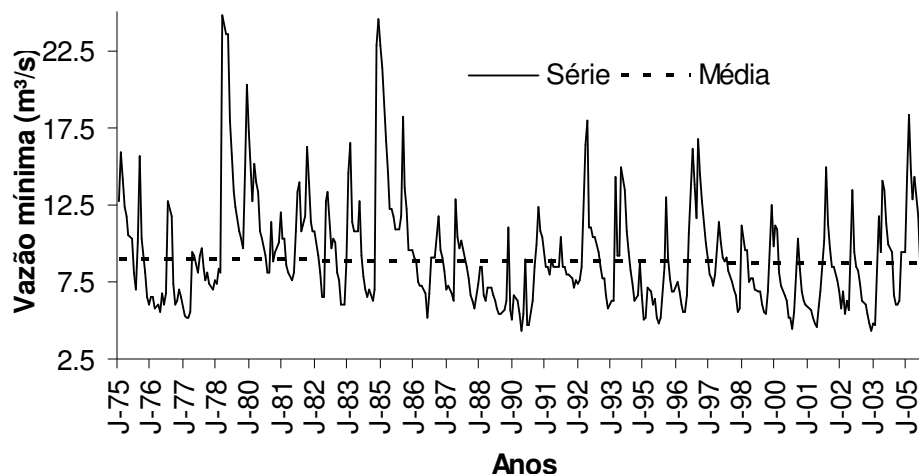


Figura 27 – Série temporal de vazão mínima (m³/s) e valor médio para o posto fluviométrico do córrego do Galo.

A FACP sugere que o coeficiente auto-regressivo (“p”) do modelo SARIMA seja igual a 1, visto que a mesma apresenta defasagem de tamanho 1 significativa.

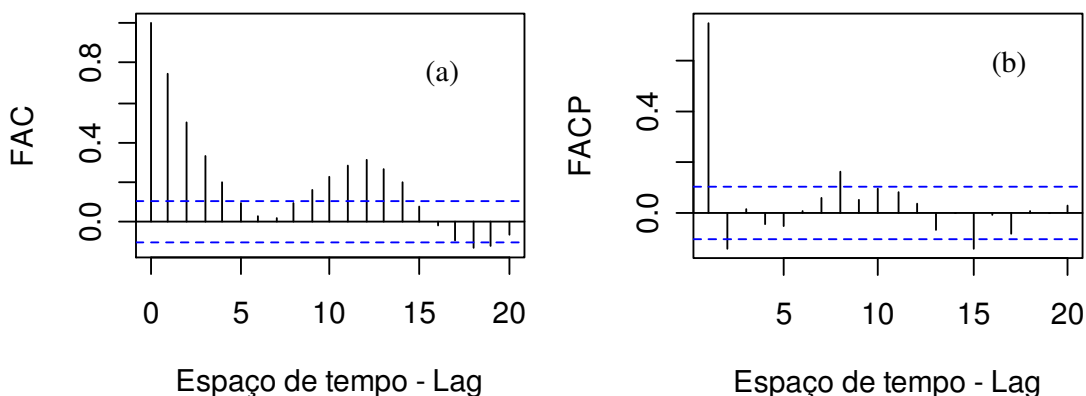


Figura 28 – Funções de autocorrelação (FAC) (a) amostral e autocorrelação parcial (FACP) (b) amostral ajustadas da série de vazão mínima para o posto fluviométrico do córrego do Galo.

A média fluviométrica encontrada foi de aproximadamente 110m³/s anuais (Figura 29). O ano com menor descarga foi o de 1990, com 71,68m³/s, 35% abaixo da média. Nota-se, uma não correlação com os dados de precipitação, visto que o ano

de 1993 apresentou o menor valor de chuva. Percebe-se, como nos dados de precipitação, um comportamento aleatório nos dados de vazão mínima, ora com anos acima da média e outros abaixo da mesma. Se novamente desconsiderar esses valores aleatórios, ou seja, os anos (1978, 1979, 1985, 1989) de eventos climáticos, como El Nino/La Nina, têm-se o mesmo padrão interdecadal observado nos valores de chuva.

À série de vazão mínima anual, foi ajustada uma reta para avaliar a ocorrência de tendência. A reta ajustada apresenta uma fraca tendência negativa. No entanto, esta tendência não foi significativa a 5% de probabilidade.

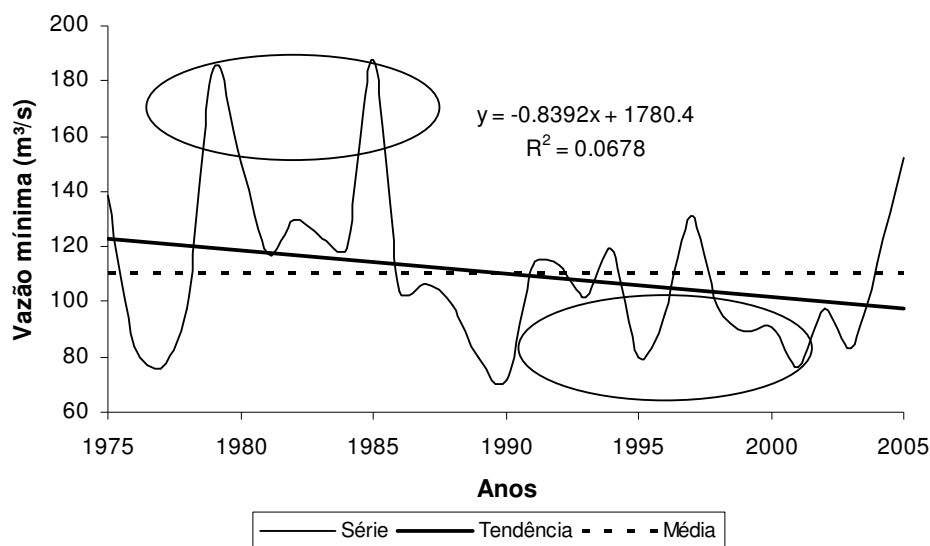


Figura 29 – Totais anuais de vazão mínima (m³/s) do posto fluviométrico do córrego do Galo, média e linha de tendência ajustada.

4.3.3 Resposta hidrológica

A resposta hidrológica foi obtida pela razão entre a vazão média mensal do posto fluviométrico do córrego do Galo (Tabela 14) e o total mensal de precipitação obtido pela média das precipitações totais mensais dos postos pluviométricos de São Rafael e Perobinha (Tabela 11). A resposta hidrológica calculada está disposta na Tabela 15.

Por consistir em um parâmetro que reflete a produção de água na bacia, porém normalizado para a influência da precipitação (Capítulo 2), a resposta hidrológica fornece a possibilidade de avaliar as variações quantitativas de água na bacia e sua dinâmica, independente das variações na precipitação.

Tabela 14 – Estação córrego do Galo – Valores de vazão média mensal (m³/s).

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Soma
1975	27,80	26,70	18,10	15,10	13,40	12,40	11,60	9,11	10,90	18,20	19,60	13,30	196,21
1976	9,38	8,19	8,43	8,13	8,06	6,36	7,57	6,04	8,58	8,62	17,80	22,20	119,36
1977	14,50	8,50	7,78	10,20	9,08	7,02	6,11	5,20	6,36	8,32	15,00	18,90	116,97
1978	17,30	15,10	11,70	11,20	10,90	8,49	13,60	9,26	8,93	13,10	10,60	13,80	143,98
1979	36,90	56,50	37,80	29,30	20,80	16,90	14,60	13,70	12,50	11,90	19,30	26,80	297,00
1980	38,00	23,30	14,90	26,40	18,00	14,30	12,20	11,40	9,69	9,72	10,50	26,90	215,31
1981	12,60	11,80	15,50	17,50	13,60	11,60	9,95	10,90	8,09	10,40	33,10	17,60	172,64
1982	25,00	13,80	29,60	23,10	16,10	13,00	11,50	13,70	10,20	9,25	8,23	12,60	186,08
1983	26,10	18,20	12,20	14,40	12,10	9,55	8,24	7,08	10,80	16,70	22,40	27,80	185,57
1984	17,10	13,00	14,40	16,00	10,80	8,66	7,58	7,89	8,38	10,70	17,60	34,90	167,01
1985	54,98	31,77	28,33	18,93	16,33	13,75	13,39	12,65	13,51	16,21	21,11	26,20	267,15
1986	19,08	14,03	11,22	10,72	9,56	9,64	9,07	9,11	8,49	7,61	8,85	16,41	133,80
1987	18,84	12,31	20,29	17,42	11,08	10,15	8,71	7,70	8,72	7,25	17,95	18,06	158,48
1988	19,78	12,03	13,56	12,83	8,85	8,49	7,54	7,09	6,60	11,89	11,86	10,29	130,80
1989	9,86	6,86	12,49	8,31	7,79	7,92	6,33	6,83	6,25	6,08	16,05	18,10	112,86
1990	7,70	8,23	8,09	8,69	6,43	5,14	8,20	9,47	5,93	7,84	10,36	10,18	96,28
1991	23,74	15,07	17,77	13,32	10,05	9,06	12,16	22,99	11,01	9,62	13,25	14,10	172,15
1992	13,81	12,91	9,25	9,86	8,76	9,12	14,11	9,46	9,55	12,18	30,42	24,82	164,26
1993	21,83	12,88	12,16	13,51	11,25	10,37	8,40	8,27	7,84	7,72	7,30	14,82	136,35
1994	32,09	11,55	27,23	17,48	16,06	12,30	10,55	8,81	7,88	8,23	9,32	14,20	175,69
1995	8,24	6,63	7,36	9,37	7,68	6,53	6,90	6,43	5,48	7,22	13,94	25,65	111,43
1996	19,39	10,22	8,61	9,24	8,68	7,56	6,39	5,99	7,53	9,69	27,73	24,02	145,07
1997	26,03	14,86	27,56	18,08	13,92	11,33	9,63	8,81	8,89	12,12	12,95	21,78	185,96
1998	15,54	15,07	11,93	10,96	9,33	8,02	7,63	8,31	6,13	9,20	17,59	17,70	137,40
1999	18,77	8,37	11,86	10,14	7,82	8,09	7,45	7,05	6,40	7,44	17,71	17,96	129,05
2000	14,38	15,52	13,09	10,49	8,38	7,79	6,81	6,04	6,75	5,31	13,94	23,44	131,93
2001	12,40	8,88	8,26	7,54	6,55	6,30	5,51	5,38	6,60	8,60	29,78	18,48	124,27
2002	23,41	16,49	12,79	10,65	9,65	8,10	7,96	6,98	10,05	6,78	10,15	16,69	139,72
2003	34,04	12,14	11,08	9,90	8,18	6,70	6,64	6,27	5,69	5,99	6,50	13,59	126,72
2004	24,10	25,23	22,69	19,31	12,75	12,02	10,65	8,95	7,02	7,68	7,73	19,56	177,69
2005	17,42	28,42	37,57	16,63	16,41	19,37	14,32	10,96	11,67	11,22	22,14	29,44	235,58
Média	21,29	15,95	16,24	14,02	11,24	9,87	9,40	8,96	8,47	9,77	16,15	19,69	

Tabela 15 –Resposta hidrológica para a bacia hidrográfica do córrego do Galo.

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Soma
1975	0,141	0,167	0,136	0,360	0,196	0,228	0,625	0,813	0,142	0,123	0,134	0,354	3,418
1976	0,288	0,174	0,115	0,132	0,144	1,696	0,108	2,119	0,094	0,159	0,081	0,113	5,224
1977	0,146	0,410	0,098	0,119	0,185	0,129	0,381	1,335	0,136	0,054	0,091	0,157	3,239
1978	0,075	0,118	0,058	0,124	0,128	0,087	1,424	0,075	0,224	0,154	0,071	0,101	2,639
1979	0,258	0,092	0,121	0,102	0,193	0,545	2,212	0,636	0,235	0,297	0,252	0,183	5,124
1980	0,136	0,096	0,148	0,411	0,088	0,260	0,382	1,112	0,337	0,913	0,198	0,231	4,311
1981	0,042	0,080	0,210	0,073	0,178	0,101	0,489	0,890	0,092	1,112	0,209	0,065	3,541
1982	0,250	0,061	1,100	0,066	0,088	0,329	0,954	0,695	0,126	0,478	0,345	0,419	4,911
1983	0,114	0,057	0,137	0,137	0,079	0,208	0,217	0,260	4,909	0,125	0,117	0,120	6,480
1984	0,079	0,097	0,384	0,109	0,136	0,133	0,275	1,679	0,125	0,125	0,152	0,125	3,418
1985	0,184	0,080	0,403	0,153	0,376	0,376	2,818	0,328	0,333	0,187	0,164	0,113	5,513
1986	0,100	0,128	0,122	0,119	0,164	0,169	0,329	0,189	0,108	0,304	0,195	0,123	2,049
1987	0,058	0,067	0,202	0,070	0,098	0,206	0,210	0,310	0,557	0,085	0,197	0,060	2,119
1988	0,148	0,077	0,086	0,097	0,113	0,128	0,313	0,636	0,341	0,409	0,072	0,075	2,494
1989	0,084	0,045	0,152	0,038	0,063	0,137	0,262	0,612	0,323	0,209	0,097	0,131	2,156
1990	0,066	0,080	0,075	0,075	0,051	0,172	0,355	0,154	0,093	0,272	0,081	0,042	1,516
1991	0,121	0,056	0,148	0,079	1,015	0,156	0,370	0,220	0,096	0,106	0,930	0,105	3,401
1992	0,074	0,093	0,130	0,141	0,117	0,407	0,205	0,102	0,164	0,122	0,194	0,088	1,839
1993	0,182	0,110	0,491	0,205	0,069	0,218	0,290	0,869	0,380	0,188	0,080	0,274	3,357
1994	0,160	0,039	0,859	0,060	0,122	0,205	0,398	0,514	1,473	0,863	0,137	0,173	5,004
1995	0,060	0,131	0,187	0,134	0,069	0,182	0,394	0,104	0,311	0,311	0,111	0,138	2,133
1996	0,088	0,240	0,083	0,137	0,138	0,123	0,235	0,329	0,393	0,127	0,244	0,092	2,228
1997	0,105	0,079	0,308	0,074	0,162	0,511	0,463	0,817	0,626	0,253	0,079	0,124	3,603
1998	0,084	0,130	0,088	0,108	0,257	0,305	0,613	0,500	0,094	0,405	0,093	0,095	2,773
1999	0,140	0,067	0,195	0,054	0,069	0,351	0,217	0,185	0,122	0,132	0,249	0,078	1,857
2000	0,081	0,123	0,118	0,110	0,175	0,206	0,209	0,230	0,205	0,091	0,284	0,079	1,911
2001	0,044	0,090	0,144	0,072	0,082	0,125	0,356	0,259	0,209	0,084	0,254	0,045	1,765
2002	0,148	0,154	0,100	0,219	0,151	0,123	0,364	0,177	0,210	0,054	0,783	0,145	2,629
2003	0,132	0,036	0,994	0,063	0,135	0,249	6,090	0,350	0,476	0,393	0,072	0,194	9,184
2004	0,081	0,102	0,071	0,097	0,092	0,556	0,160	0,382	0,289	0,717	0,121	0,134	2,802
2005	0,096	0,147	0,186	0,094	0,193	0,165	0,310	0,541	0,257	0,144	0,220	0,174	2,526
Média	0,121	0,110	0,247	0,124	0,165	0,283	0,711	0,562	0,435	0,290	0,204	0,140	

Os maiores valores de resposta hidrológica são observados nos meses de junho e julho (Figura 30), consequência dos menores valores de precipitação registrados ao longo do ano. A média da resposta hidrológica para o mês de julho foi de 0,711 (Tabela 15). Ao contrário do que foi observado no inverno, temos que, os menores valores de resposta hidrológica estão concentrados no verão, estação com maior índice pluviométrico. No mês de fevereiro observam-se os menores valores de resposta hidrológica, com média de 0,121 (Tabela 15 e Figura 30). Esses resultados são esperados, sabendo-se que a resposta hidrológica está em função da relação entre a vazão e a precipitação.

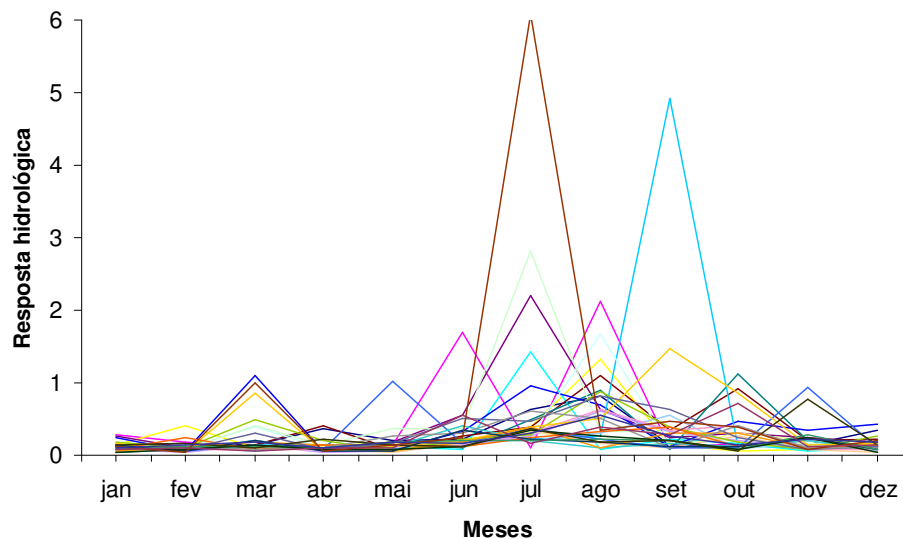


Figura 30 - Totais mensais de resposta hidrológica mínima disposta por ano, para a bacia do córrego do Galo, e a diferença de amplitude para a época seca e úmida.

A série mensal de resposta hidrológica está na Figura 31. A presença de valores extremos é notória, como os encontrados no mês de julho dos anos de 1983 e 2003. Esses valores evidenciam um inverno bastante seco nesses anos, com baixos valores de precipitação registrados no mês de julho (Tabela 11), o que explica os altos valores de resposta hidrológica. Esses baixos valores de precipitação estão diretamente relacionados com o evento de La Nina, que ocasionam invernos secos na região de estudo. Outro possível motivo pode também ser a ocorrência de um determinado evento florestal, como corte seletivo ou desbaste. Além disso, outro fator que deve ser considerado é o uso de técnicas predatórias de exploração florestal/madeira como a prática do fogo em meses mais frios e secos como os observados nessa época (inverno) do ano.

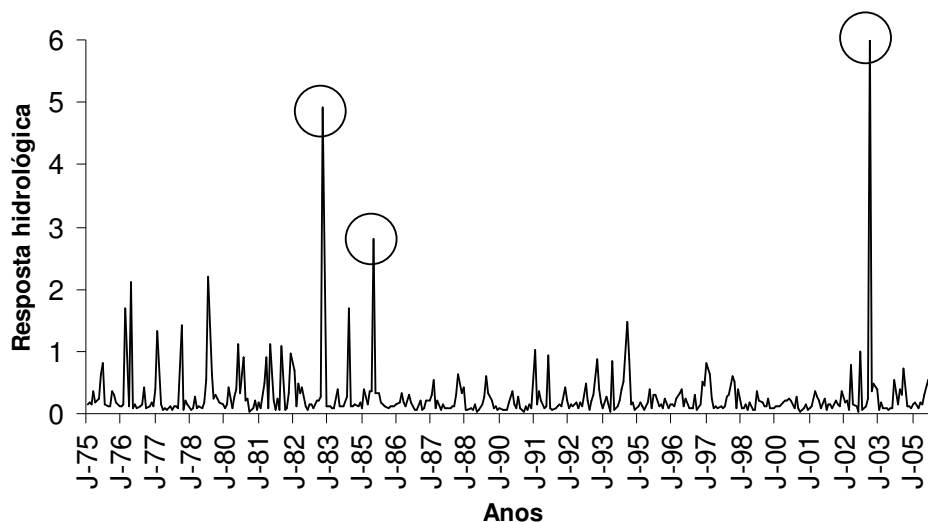


Figura 31 – Série temporal da resposta hidrológica da bacia do córrego do Galo.

A ausência de tendência na série de resposta hidrológica (Figura 31) para o período analisado é uma evidência da não mudança de padrão no comportamento hidrológico da bacia. Por meio do teste Dickey-Fuller Aumentado (ADF) (DICKEY, 1979) a estacionariedade nas séries foi confirmada. A hipótese nula, de que os processos possuem pelo menos uma raiz dentro do círculo unitário, foi rejeitada ao nível de 5% de probabilidade. O rápido decaimento apresentado nas funções de autocorrelação e autocorrelação parcial corrobora a estacionariedade do processo (Figura 32).

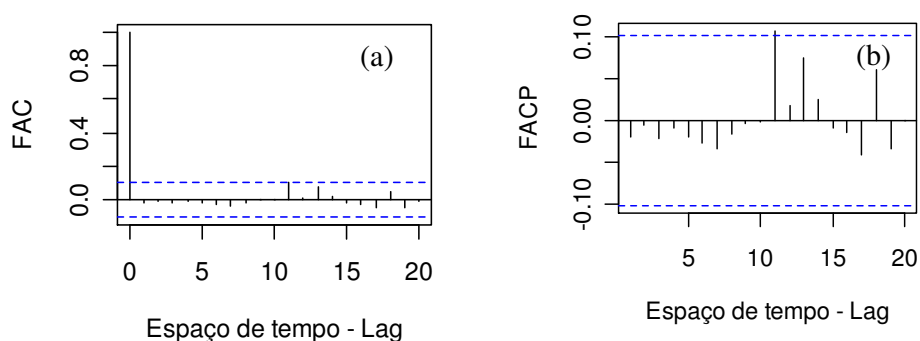


Figura 32 – Funções de autocorrelação (FAC) (a) amostral e autocorrelação parcial (FACP) (b) amostral ajustadas da série de resposta hidrológica para a bacia do córrego do Galo.

Nota-se também, que, para a bacia hidrográfica do córrego do Galo, a resposta hidrológica é diretamente afetada pela precipitação, visto que as vazões médias

apresentaram-se constantes ao longo dos anos analisados (Figura 33). O valor médio da vazão média ao longo dos 31 anos de análise (1975 a 2005) foi de aproximadamente 13,41m³/s. Como nas vazões máximas e mínimas, percebe-se também a não correlação entre a vazão média e o padrão de desmatamento encontrado na bacia.

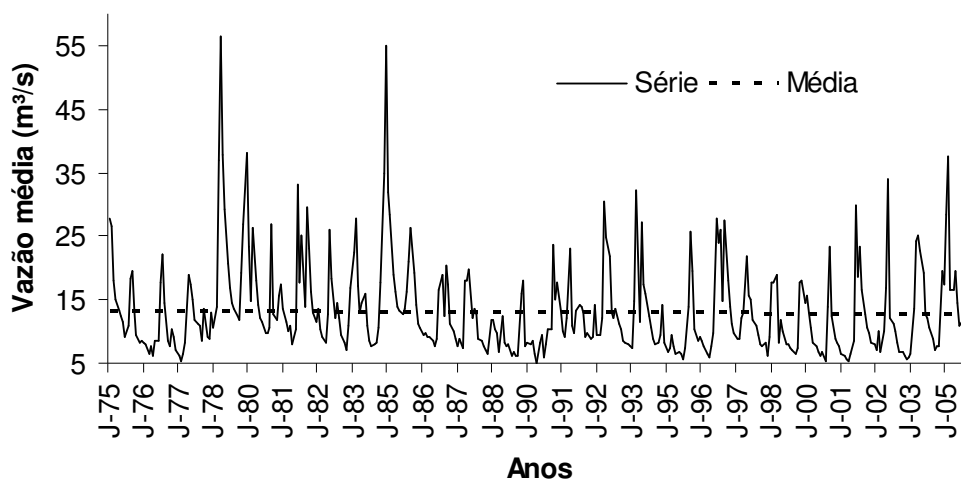


Figura 33 – Série temporal da vazão média (m³/s) e valor médio para o posto fluviométrico do córrego do Galo.

Como o objetivo principal do trabalho é identificar uma possível relação entre cobertura florestal e resposta hidrológica de uma bacia, espera-se encontrar um padrão anual de resposta hidrológica que se assemelhe ao padrão do desmatamento encontrado. Padrão esse caracterizado por um aumento do desmatamento até o ano de 1995 e com uma diminuição nos valores de área desmatada na próxima década analisada.

Nota-se uma leve tendência negativa sobre os dados e coeficientes da regressão próximos de zero (Figura 34). Essa leve tendência é uma primeira evidência de que a dinâmica da resposta hidrológica da bacia não parece ter sido afetada pelo desmatamento. Essa leve tendência não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. O ano com maior resposta hidrológica foi o de 2003, com 9,184 (Figura 34 e Tabela 15). O menor valor de resposta hidrológica encontrado foi para o ano de 1990 com valor de 1,516 (Figura 33 e Tabela 15).

Dividindo o período de análise de 31 anos em dois blocos, o primeiro (1975 a 1995) mais desflorestado e o segundo (1995 a 2005) menos desflorestado, os valores de resposta hidrológica devem apresentar comportamentos distintos, mostrando que as mudanças de uso e cobertura do solo as influenciaram. Esse procedimento também foi adotado por Costa et al (2003).

A Figura 34 confirma a ausência de alterações na resposta hidrológica uma vez que não há diferenças entre os totais anuais do primeiro período e os do segundo. Esse resultado evidencia também uma possível não relação entre a resposta hidrológica e o desmatamento ocorrido na bacia hidrográfica do córrego do Galo. Entretanto, vale ressaltar que vários são os fatores que controlam a dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica, como, a geologia, o clima, características fisiográficas, entre outros, muitos dos quais não foram considerados nesse estudo. Deve-se atentar também ao período de análise considerado (31 anos), necessitando-se de estudos com um horizonte de tempo maior. Além disso, a bacia estuda é de médio porte, o que dificulta o controle dos parâmetros climáticos e hidrológicos da área de análise.

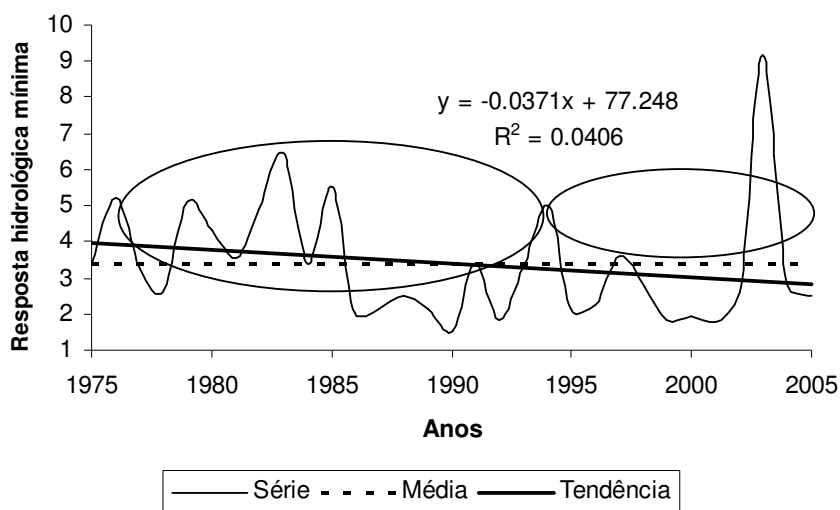


Figura 34 – Totais anuais de resposta hidrológica máxima, média e linha de tendência ajustada para a bacia do córrego do Galo.

4.3.4 Dinâmica hidrológica em função do desmatamento

Nas Figuras 35 e 36 são apresentadas todas as variáveis hidrológicas utilizadas nesse estudo, podendo-se observar seus comportamentos ao longo dos 31 anos analisados. A análise individual de cada parâmetro, precipitação, vazão e resposta hidrológica, indicam que o regime hidrológico da bacia hidrográfica do córrego do Galo, não apresenta tendências significativas que podem ser atribuídas ao desmatamento. Nenhum dos três parâmetros (precipitação, vazão e resposta hidrológica), apresenta comportamento semelhante ao do desmatamento.

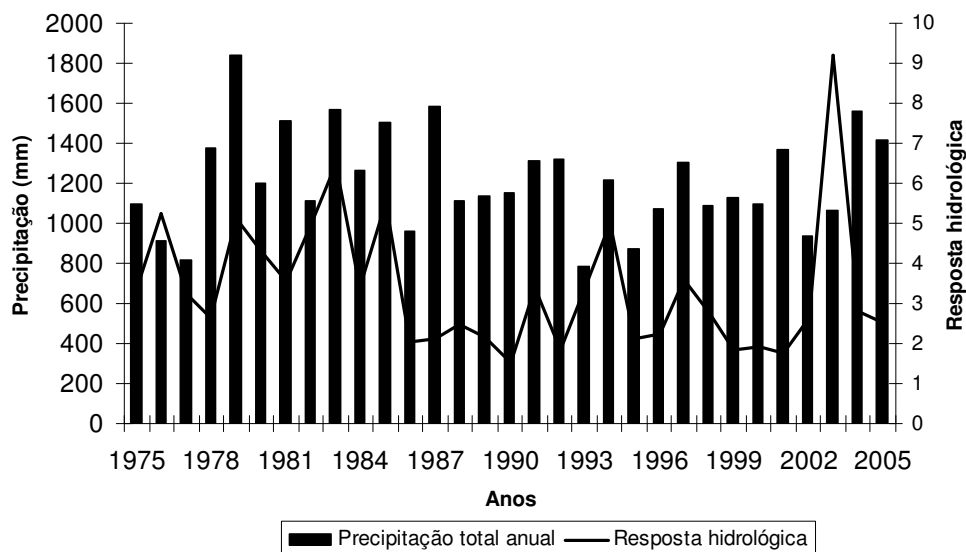


Figura 35 – Dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do córrego do Galo. Séries de precipitação e resposta hidrológica.

Bruijnzeel (1996) realizou uma reflexão interessante sobre os impactos hidrológicos das transformações de uso e cobertura da terra e conclui ser difícil estabelecer a existência de tendências de precipitação e ainda mais difícil ou quase impossível determinar causa e efeito entre desflorestamento e alterações nos padrões de chuva. O autor diz que muitos trabalhos mostram diminuições circunstanciais, às vezes temporárias, da precipitação, sendo comum colocar a causa no desflorestamento, embora não se leve em consideração padrões climáticos globais, como ENSO, flutuações cíclicas e variações interdecadais. Outro problema pode ser a aplicação de técnicas estatísticas inadequadas à análise dos dados. Quem analisa

os dados corretamente, segundo o autor, geralmente encontra resultados pouco ou nada significativos.

No Brasil, Marengo et al. (1998) não encontraram tendências nas séries de precipitação e de vazão para a Amazônia em seu trabalho e indicaram várias outras referências de trabalhos onde também não foram encontraram tendências. Marengo (2004) analisou séries de precipitação da Amazônia entre 1929 e 1998 e também não encontrou qualquer tendência em função do desflorestamento ou de outras mudanças de uso da terra, sendo que as alterações detectadas nas décadas de 40 e de 70 foram de natureza climática.

Com relação ao clima, a única afirmação possível com este estudo é que não foram observadas tendências nas séries de precipitação que indiquem mudança no clima em função da remoção da cobertura florestal, para o período amostrado e na região estudada. Os totais anuais de precipitação apresentaram flutuações normais. Assim, algumas conclusões alcançadas neste trabalho com relação ao clima necessitam estudos posteriores, com amostragem temporal maior, para uma discussão mais aprofundada.

Com relação a vazão, a não correlação com o desmatamento pode ser explicada por vários fatores. O primeiro deles, refere-se ao número reduzido de observações da taxa de desmatamento, não retratando de forma confiável o padrão de desflorestamento ocorrido na bacia. Em segundo lugar, menciona-se o tamanho da bacia. Os resultados aqui encontrados contrariam uma série de trabalhos, que associam o aumento do desflorestamento a aumentos nos valores de vazão. Estes trabalhos, no entanto, foram realizados em bacias menores que 1 km² (BOSCH e HEWLETT, 1982) e nas quais havia controle das condições que exercem influência no processo, o que não ocorre na realidade (COSTA et al., 2003). O volume de água e de energia que circula em bacias de larga escala é muito grande, provavelmente amenizando os efeitos hidrológicos das mudanças de uso e de cobertura da terra. O único trabalho em bacia pequena que não identificou alterações no regime hidrológico foi Wright et al. (1990), após o desbaste de 67% da vegetação de uma bacia 168 na Califórnia.

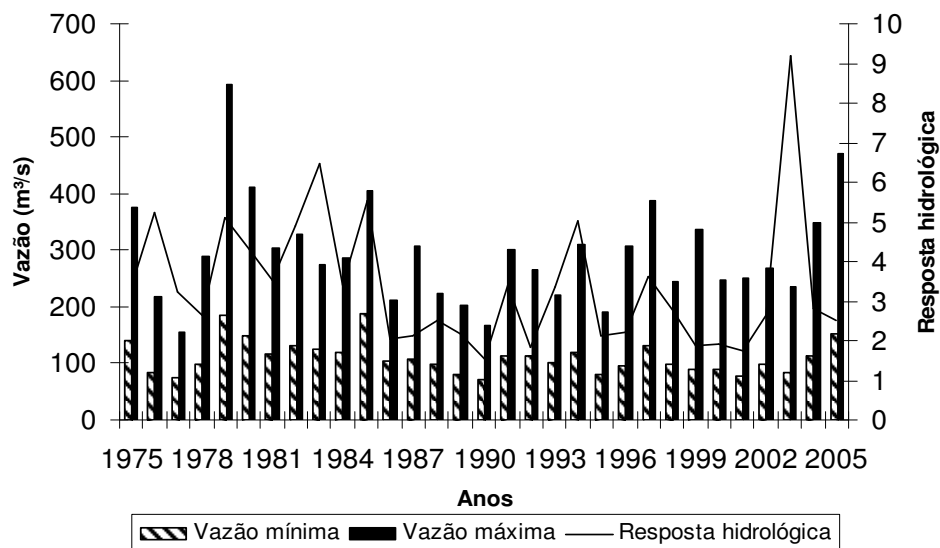


Figura 36 – Dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do córrego do Galo. Séries de vazão (máxima e mínima) e resposta hidrológica.

A não correlação da precipitação e da vazão com o desmatamento pode também, ser explicada pelo fato de que o total de área desflorestada não ter ultrapassado 20% do volume total de vegetação. Isso por que, em um estudo realizado por Hibbert (1967), ele comprova que apenas alterações acima de 20% no volume de vegetação causam efeitos perceptíveis nos valores de precipitação e de vazão.

Outra questão importante, quanto a não correlação da resposta hidrológica com o desmatamento, é o fato de que a mesma é em geral, controlada principalmente pela geologia e menos pelo uso da terra, em especial em bacias grandes Hewlett (1982).

5 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como fim, identificar uma possível relação entre desmatamento e resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística de séries temporais. Na qual, a bacia hidrográfica do córrego do Galo, localizada na região serrana do Estado do Espírito Santo e uma das principais responsáveis pelo abastecimento de água potável da região da Grande Vitória, foi utilizada como unidade de estudo. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego do Galo aponta que a bacia apresenta um forte controle estrutural da drenagem. Esse controle é comprovado pelo fator de forma e pelo coeficiente de compacidade, mostrando esses, a forma alongada da bacia.

- A densidade de drenagem encontrada na bacia hidrográfica do córrego do Galo foi de 2,68 km/km², indicando, assim, que a bacia em estudo possui média capacidade de drenagem.

- A altitude média da bacia é de 912 m, com valores variando entre 480 e 1900 m. O relevo da bacia é predominantemente acidentado, com aproximadamente 42% da área correspondente ao relevo ondulado forte.

- A declividade “S” encontrada para o rio principal da bacia hidrográfica do córrego do Galo é de 0,014 m/m, refletindo em um rápido escoamento superficial do curso principal da bacia.

- A utilização de técnicas de sensoriamento remoto permitiu o mapeamento dos remanescentes florestais de Mata Atlântica a partir da classificação visual de imagens de satélites e verificação de campo.

- A bacia hidrográfica do córrego do Galo apresentou um constante processo de desmatamento até o ano de 1995, onde ao ano de 1975 havia 391,00km² de área

desmatada (40% da área da bacia) e em 1995 havia 578,25km², equivalente a 60% da bacia.

- No período entre 1995 e 2005 houve uma redução no processo de desmatamento, passando de 578,25km² para 514,48km² de área desmatada, correspondendo a um acréscimo de 63,77km² de área de cobertura florestal.

- A análise estatística de séries temporais mostrou-se adequada na modelagem de séries hidrológicas, ao corroborar a sazonalidade presente nos dados e a não existência de tendência nos mesmos.

- A média mensal de precipitação manteve-se constante ao longo dos 31 anos analisados, com um valor médio de 101,8 mm. Os meses de menor e maior média de precipitação foram os de julho e janeiro respectivamente. O comportamento sazonal nos dados de precipitação foi comprovado.

- A média mensal de vazão máxima foi de aproximadamente 24,86 m³/s, com os maiores valores registrados no mês de janeiro. Já a média mensal de vazão mínima foi de aproximadamente 9,2 m³/s, onde os meses de setembro e outubro apresentaram os menores resultados. O comportamento sazonal foi verificado em ambas as séries de vazão.

- O comportamento da resposta hidrológica foi inverso ao da precipitação e vazão, apresentando os maiores índices no inverno e os menores no verão. A estacionariedade dos dados foi encontrada. A presença de valores afastados da média (outliers) também foi verificada.

- A metodologia empregada, baseado em técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística de séries temporais, não foram pujantes o suficiente para encontrar uma relação entre remoção ou incremento de floresta e a dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do córrego do Galo. Porém, vale ressaltar que a bacia em análise apresenta uma área significativa dificultando o controle de todos os agentes (geologia, uso do solo, relevo, etc.) que interferem na sua dinâmica

hidrológica. Além disso, os registros de desmatamento não foram em número suficiente para fazer uma correlação direta com os registros hidrológicos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2001. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 15 abr. 2005.

_____. **Hidroweb**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 1 maio 2006.

ARONOFF, S. 1991. **Geographic information systems: a management perspective**. First Edition. WDL Publications. Ottawa, Canadá, 294p.

BASILE, R.O.N.C.; NEGREIROS, A.B.; MIGUEL, F.L.C.G. A estrutura da Floresta Atlântica de encosta e arquitetura de raízes arbóreas: maciço da Tijuca – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2003. v.1, p.1909-1917.

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**, v. 55, p. 3-23, 1982.

BORMANN, B.T.; BROOKES, M.H.; FORD, E.D. **A framework for sustainable-ecosystem management**. Portland: Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station, 1994. 61 p. (General thechnical report- PNW – GTR – 331).

BOX, G. E. P., JENKINS, C. M., REISEL, G. C. 1994. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. Prentice Hall, 458p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNPH. Projeto RADAMBRASIL: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 740p. (Levantamento dos recursos naturais, 23).

BRUIJNZEEL, L.A. Predicting the hydrological effects of land cover transformation in the humid tropics: the need for integrated research. In: Gash, JHC; Nobre, CA; Roberts, JM; Victoria, R.L. (eds.) **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. cap.2, p. 15-56.

BURROUGH, P.A. 1986. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey Nº 12, New York: Oxford University Press, 193 p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. 1996. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, v.15, p.13-22.

CASTRO, P. S. A. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, MG**. Piracicaba. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, 107 p. 1980.

CEPF – Critical Ecosystem Partnership Fund. **Perfil do ecossistema: Mata Atlântica hotspot de biodiversidade**. Brasil: CEPF, versão final, 2001. Disponível em: www.cepf.net/xp/cepf/static/pdfs/final. Acesso em: 15 nov. 2003.

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, p. 449-456, 1989.

COELHO NETO, A.L. O geoeossistema da Floresta da Tijuca. In: ABREU, M.A.A. **Natureza e sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Biblioteca Carioca/IPLANRIO, 1985. p.104-142.

COHEN, W. B., Fiorellan, M., Gray, J., Helmer, E., & Anderson, K. (1998). An efficient and accurate method for mapping forest clearcuts in the Pacific Northwest using Landsat Imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.64, 293–300.

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. 412p.

Com Ciência/SBPC. **Água**: abundância e escassez. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/aguas/aguas09.htm>. Acesso em: 21 junho. 2005

COSTA, M.H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J.A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, p. 206–217, 2003.

CORNISH, P.M. The effects of logging and forest regeneration on water yields in a moist eucalypt forest in New South Wales, Australia. **Journal of Hydrology**, v. 150, p. 301-322, 1993.

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**. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Ecologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 109 p.1995.

DICKEY, D.A., FULLER, W.A. (1979) Distributions of The Estimators For Autoregressive Time Series With a Unit Root. **Journal of the American Statistical Association**, 75, 427-431.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

Fundação SOS Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais de Mata Atlântica: período de 1995 – 2000**. São Paulo, SP: relatório final, 2002. 43p.

FELTRIN, R. **Veja cronologia do uso da água pelo homem ao longo da história.** Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u9256.shtml>. Acesso em: 29 abr. 2005.

FOODY, G. M., PALUBINSKAS, G., LUCAS, R. M., CURRAN, P. J., & HONZAK, M. (1996). Identifying terrestrial carbon sinks: classification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, 55, 205–216.

GALDINO, S.; CLARKE, R.T.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B.M.A; VIEIRA, L.M. Evolution of the hydrological regime in the lower course of the River Taquari - Pantanal. In: Simpósio da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 12., 1997, Vitória. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 1997.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP. 1988.

GENELETTI, D. Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, p.1-15, 2004.

GERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 337-339. 1996. Giles, P.T.; Franklin, S.E. An automated approach to the classification of the slope units using digital data. **Geomorphology**, Amsterdam, v.21, p.251-264. 1998.

GREGORY, K.J. & D.E. WALLING, 1973. **Drainage Basin Form and Process**. John-Wiley. 456 p.

GUSTARD, A.; WESSELINK, A.J. Impact of land-use change on water resources: Balquhiddy catchments. **Journal of Hydrology**, v. 145, p. 389-401, 1993.

HABTEC – Engenharia Sanitária Ambiental. **Diagnóstico e Plano Diretor das Bacia Hidrográficas dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu**, Vitória, 1997.

HARRISON, B. A.; JUPP, D. L. B. **Introduction to Remotely Sensed Data**. SCIRO Publications. Austrália, 1989. 141p.

HEWLETT, J.D., 1982. **Principles of Forest Hydrology**. The University of Georgia Press. 183 p.

HEWLETT, J.D. & A.R. HIBBERT, 1967. **Factors affecting the response of small watersheds to precipitation** in humid areas. International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press. p. 275-290.

HIBBERT, A. R. 1967. **Forest treatment effects on water yield**. In International Symposium on Forest Hydrology, ed. W. E. Sopper and H. W. Lull, pp. 527-43. Oxford: Pergamon.

HORNBECK, J.W.; ADAMS, M.B.; CORBETT, E.S.; VERRY, E.S.; LYNCH, J.A. **Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA**. Journal of Hydrology, v. 150, n. 2-4, p. 323-344, 1993.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cartas topográficas: Araguaia Conceição do Castelo, Domingos Martins, Garrafão, Matilde e Santa Leopoldina**. Escala 1:50.000. 1977.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **PRODES**. São José dos Campos, SP, 2002. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>. Acesso em: 01 abr. 2006.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) **El Niño e La Niña**. Cachoeira Paulista, SP, 2002. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/enos/>. Acesso em: 01 maio. 2007.

JAYASURIYA, M.D.A.; DUNN, G.; BENYON, R.; O'SHAUGHNESSY, P.J. **Some factors affecting water yield from mountain ash (*Eucalyptus regnans*) dominated forests** in south-east Australia. *Journal of Hydrology*, v. 150, n. 2-4, p. 345-367, 1993.

KISEO, C. M. **Análise da situação da indústria madeireira no Estado do Espírito Santo**. Viçosa, MG: UFV, 1984, 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.

Laboratório Nacional De Engenharia Civil – LNEC. **Introdução ao planejamento e gestão de recursos hídricos**. Lisboa, 1986. 322 p. (Introdução à gestão dos recursos hídricos, 1).

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba; ESALQ/USP, 1986, 242p.

LIMA, W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ/USP. 143p. 1976.

LINHARES, C. A. **Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na baía do Rio Ji-Paraná/RO**. São José dos Campos. Tese de doutorado em Sensoriamento Remoto, 217 p. 2005.

LUCAS, R. M., HONZAK, M., DO AMARAL, I., CURRAN, P. J., & FOODY, G. M. (2002). **Forest regeneration on abandoned clearances in central Amazonia**. *International. Journal of Remote Sensing*, 23(5), 965–988.

MARENGO, J.A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 79–96, 2004.
MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; UVO, C.R.B. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil and northwestern Peru. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 103, n. D2, p. 1775-1783, 1998.

MARGARIDO, M. A. **Transmissão de preços internacionais de suco de laranja para preços ao nível de produtor de laranja no Estado de São Paulo**. São Paulo:. Dissertação de Mestrado - FGV/EAESP, 96p. 1994.

MEIJERINK, A.M.J. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. **ITC Journal**, Wagenigen, v.1988, n.1, p.23-44, 1988.

MENDONÇA, A. S. F. **Stochastic model for Seasonal and Monthly Streamflow**, 1987. 237p. Tese de doutorado – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Colorado State University, Ft. Collins, 1987.

MENDONÇA, A. S. F. **Multiplicative PARMA Models for Seasonal Hydrologic Time Series**. *Advances In HydrosceinceAnd Engineering*, v. 1, p. 530-535, 1993.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 12 maio 2002(a).

_____. **Agenda 21 Brasileira**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/?id_estrutura=18. Acesso em: Maio 2002(b).

MORAES, C. **Geografia do Espírito Santo**. Vitória: Fundação Cultural do Espírito Santo, 1974. 213.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2005. 320p.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **ESAD - MrSid Image Server**. Disponível em: <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Acesso em: 10 ago. 2002.

NOSS, R. F.; O'CONNELL, M.A.;MURPH, D.D. **The science of conservation planning**: habitat-based conservation under the endangered especies. Washington DC: Act. Island, Press, 154p. 1997.

PAX-LENNEY, M., WOODCOCK, C. E., MACOMBER, S. A., GOP al, S., & SONG, C. (2001). Forest Mapping With A Generalized Classifier And Landsat Tm Data. **Remote Sensing Of Environment**, 77, 241–276.

REISEN, V. A., RODRIGUES, A. L., PALMA, W. (2006), Estimation of Seasonal Fractionally Integrated Processes, **Computational Statistics & Data Analysis**, 50, 568 - 582.

SAATCHI, S.; AGOSTI, D.; ALGER, K.; DELABIE, J. & MUSINSKY, J. Examining fragmentation and loss of primary florest in the Southern Bahian Atlantic forest of Brazil with radar imagery. **Conservation Biology** 15(4): 867 – 875. 2001.

SANTOS, A.R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, Viçosa, MG**. Viçosa. Tese de doutorado em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Viçosa, 141p. 2001.

SCHETTINO, L. **Gestão Florestal: um diagnóstico no Espírito Santo**. Vitória, ES, 2000. 182p.

SEREBRENICK, R.; Carvalho, N. O. **Guia prático para estabelecimento de uma curva-chave**. Rio de Janeiro, DNAEE, 1970, 78p.

SILVA, B.S.G.; VALERIANO, D.M. Georeferenciamento e análise da correção atmosférica para o cálculo de albedo usando o sensor Landsat ETM+. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2143-2150. 1 CD-ROM.

SKOLE, D., & TUCKER, C. (1993). Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. **Science**, 260, 1905–1910.

SORRISO-VALVO, M.; BRYAN, R.B.; YAIR, A.; IOVINO, F.; ANTRONICO, L. Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calabrian catchment. **Catena**, v. 25, n. 1-4, p. 89-104, 1995.

STONEMAN, G.L. Hydrological response to thinning a small jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest catchment. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2-4, p. 393-407, 1993.

SOS Águas Brasileiras. **A água no mundo e a responsabilidade de todos**. Disponível em: <http://www.sosaguas.org.br/notas/agua-mundo.htm>. Acesso em: 25 abr. 2005.

THIEL C., P. DREZET, C. WEISE, S. Quegan And C. Schmullius (2006). Radar remote sensing for the delineation of forest cover maps and the detection of deforestation. **Forestry**, 79, 589 – 597.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 125p.

The Open University/UNICAMP. **Os Recursos Físicos da Terra. Bloco 4: Os Recursos Hídricos**. Tradução: Álvaro P. Crosta. Campinas: Unicamp, 2000. 146p.

TURCOTTE, R.; FORTIN, J.P.; ROUSSEAU, A.N.; MASSICOTTE, S.; VILLENEUVE, J.P. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.240, p.225-242, 2001.

URURAHY, J.C.C.; COLLARES, J.E.R.; MESSIAS SANTOS, M.; BARRETO, R.A.A. **Vegetação**: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos _ estudo fitogeográfico. In: Brasil, Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral. In: Projeto RadamBrasil, Levantamento de Recursos Naturais, vol.32, 1983. Rio de Janeiro: Vitória. Brasília, DF.

USTIN, S.L., SMITH, M.O., JACQUEMOUD, S., VERSTRAETE, M. and GOVAERTS, Y. 1999 **Geobotany: Vegetation Mapping for Earth Sciences**. In Remote Sensing for the Earth Sciences – Manual of Remote Sensing . A.N. Rencz (ed.). 3rd edn. Vol. 3. John Wiley & Sons, New York, pp. 189–249.

VALENTE, O.F.; CASTRO, P.S. A bacia hidrográfica e a produção de água. **Informe Agropecuário**, v. 9, n. 100, p. 53-56, 1983.

VISSMAN Jr. W.; HARBAUGH, T. E. & KNAPP, J. W. **Introduction to hydrology**. Ney York, Intext Educational. 1972.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 245p., 1975.

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

WANG, X.; YIN, Y.Z. A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.210, p.221-241, 1998.

WARD, R.C. **Principles of Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1967.

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies – an international and historical perspective of forest impacts. **Journal of Hydrology**, v. 145, n.3-4, p. 217-230, 1993.

WILK, J.; ANDERSSON, L.; PLERMKAMON, V. Hydrological impacts of forest conversion to agriculture in a large river basin in northeast Thailand. **Hydrological Processes**, v. 15, p. 2729-2748, 2001.

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.

