



ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE ALTERAÇÕES NA COBERTURA VEGETAL E A EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA

Rodrigo José Coelho Pereira¹; Rogério Ribeiro de Oliveira²

Resumo – O presente trabalho teve como unidade de estudo a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, localizada na vertente sul do Maciço da Tijuca, município do Rio de Janeiro. O objetivo geral do estudo foi analisar os efeitos das alterações na cobertura vegetal dessa bacia sobre seu comportamento hidrológico. A componente hidrológica selecionada para análise foi a evapotranspiração real da bacia. Através do método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, aplicado de forma sequencial, foi estimada uma série mensal de evapotranspirações reais da bacia. Foram utilizados nesse método de balanço hídrico dados de temperaturas médias do ar e totais precipitados na região. Por meio de tecnologias de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram mapeadas dez imagens do satélite Landsat-5/TM, estimando-se assim as alterações ocorridas na cobertura vegetal da bacia. Finalmente buscou-se estabelecer uma correlação entre as variações da cobertura vegetal e da componente hidrológica selecionada. O resultado obtido para a evapotranspiração real foi satisfatório, indicando uma relação direta com a dinâmica da cobertura da bacia. Através desse estudo adquiriu-se um melhor entendimento sobre a influência da variação da cobertura vegetal no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

Palavras-Chave – Balanço hídrico; hidrologia florestal; evapotranspiração real.

CORRELATION ANALYSIS BETWEEN LAND COVER CHANGES AND REAL EVAPOTRANSPIRATION IN RIVER CACHOEIRA WATERSHED

Abstract – The present work had as unit of study the Cachoeira river watershed, located on the southern slope of the Tijuca Massif, city of Rio de Janeiro. The general objective of the study was to analyze the effects of land cover changes on hydrological processes of this watershed. The hydrological component selected for analysis was the real evapotranspiration. Through the Thornthwaite and Mather water balance method, applied sequentially, a monthly series was established. Monthly series of average air temperatures and total precipitations was used to calculate the water balance. It was possible to estimate the changes in land cover using geoprocessing and remote sensing technologies. Finally, a correlation was established between the variation of land cover and the variation of the real evapotranspiration. The result obtained was satisfactory, which indicates a direct relationship between this hydrological component and the watershed land cover dynamic. This study could contribute as an exercise to aggregate knowledge about the influence of land cover on hydrological processes over time.

Keywords – Water balance; forest hydrology; real evapotranspiration.

¹ Hicon Engenharia Ltda. Av. Rio Branco nº 20, 13º andar. Rio de Janeiro - RJ. CEP: 20090-000. Tel./Fax: (21) 2576-6090. rodrigo@hicon.com.br.

² Prof. Dr. do Departamento de Geografia e Meio Ambiente - PUC-Rio. Tel.: (21) 3527-1949. rro@puc-rio.br.



1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é um assunto que vem ganhando cada vez mais relevância em estudos sobre o meio ambiente. Abrangendo medidas ambientais de controle, preservação e recuperação, os instrumentos de gestão são de fundamental importância na manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, que por sua vez estão diretamente ligados ao desenvolvimento social e econômico de uma região.

O monitoramento da bacia hidrográfica aliado ao conhecimento científico sobre hidrologia é essencial para a compreensão do comportamento hidrológico da mesma, ou seja, como funciona a circulação das águas em seu ecossistema solo-vegetação-atmosfera. Apesar da crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, em diversas bacias hidrográficas brasileiras ainda temos a problemática da expansão da ocupação antrópica de forma desordenada, que normalmente acarreta para a região práticas como a remoção de cobertura vegetal e indevido uso do solo, modificando o sistema natural da bacia.

Diante desse quadro, temos como hipótese que alterações na cobertura vegetal e nas propriedades físicas do solo, impostas por processos antrópicos, interferem na dinâmica dos recursos hídricos com o ecossistema solo-vegetação-atmosfera, trazendo impactos negativos para a bacia. As consequências esperadas seriam a diminuição da infiltração do solo e das perdas por evapotranspiração, ocasionando um aumento do escoamento superficial e a degradação da qualidade das águas.

Pretendeu-se com o presente estudo analisar essa hipótese, contribuindo para um melhor entendimento sobre a influência da variação da cobertura vegetal no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. Para tal foi escolhida como estudo de caso a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, localizada na vertente sul do Maciço da Tijuca, município do Rio de Janeiro. Ressalta-se que não foram avaliadas questões relacionadas à qualidade das águas do rio Cachoeira. Essa bacia foi escolhida como unidade de estudo, pois se constitui de uma área de expansão do município do Rio de Janeiro que apresenta ocupações urbanas formais e informais em limites de encostas sob área florestal conservada. Além disso, possui uma rede de monitoramento hidrometeorológico com informações disponíveis e suficientes para realização de um estudo hidrológico adequado.

Através da aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram gerados, para o período de 1988 a 2010, mapeamentos temáticos que quantificassem as alterações ocorridas nas formas das áreas florestais na bacia do rio Cachoeira. O resultado dessa estimativa foi correlacionado às alterações do comportamento da componente hidrológica de evapotranspiração real da bacia.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente estudo é analisar os efeitos das alterações na cobertura vegetal da bacia do rio Cachoeira sobre a evapotranspiração real estimada. Assim, procura-se entender melhor a influência da cobertura vegetal no comportamento hidrológico dessa bacia.

Os objetivos específicos estabelecidos para se alcançar o objetivo geral descrito acima foram obter séries históricas consistentes de precipitações totais mensais e temperaturas médias do ar para a bacia hidrográfica; estimar a evapotranspiração real da bacia hidrográfica pelo método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), aplicado de forma sequencial; elaborar através de tecnologias de geoprocessamento e de sensoriamento remoto mapas temáticos ambientais de cobertura vegetal; e quantificar as alterações ocorridas na bacia hidrográfica para as áreas florestais, correlacionando-as com a série histórica de evapotranspiração real obtida.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Cachoeira se localiza na vertente sul do Maciço da Tijuca, município do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22° 56' e 23° 00' de latitude sul e os meridianos 43° 15' e 43° 19' de longitude oeste. A bacia tem forma triangular, abrangendo uma área de 21,7 km² e seu perímetro atinge aproximados 22,2 km. A Figura 1 a seguir ilustra a localização geográfica da bacia do rio Cachoeira na cidade do Rio de Janeiro.

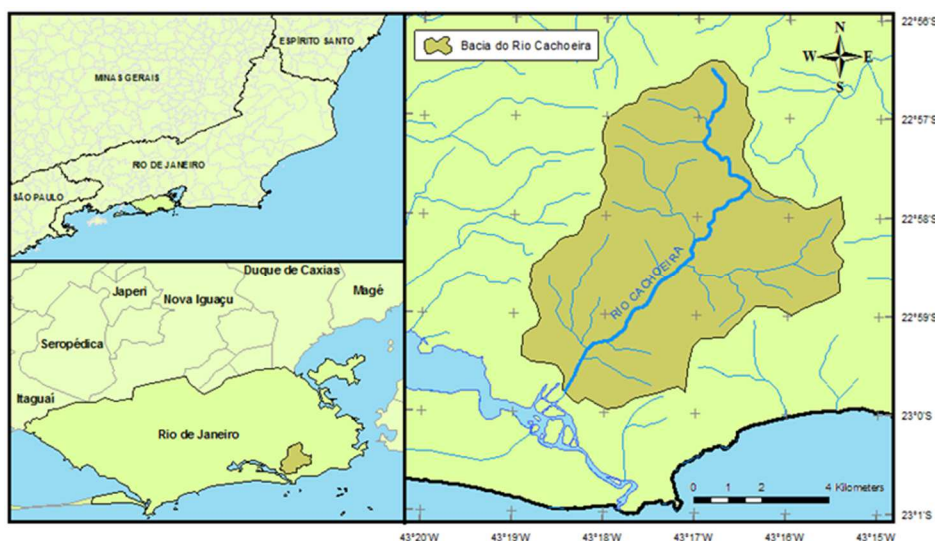


Figura 1 – Mapa de Localização da Bacia do Rio Cachoeira. (Fonte: Elaboração própria)

A partir das dimensões características da bacia hidrográfica do rio Cachoeira foram calculados alguns índices fluviomorfológicos. Esses índices constam apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices Fluviomorfológicos da Bacia do Rio Cachoeira

Índices Fluviomorfológicos	Valores Obtidos
Área de Drenagem	21,7 km ²
Perímetro	22,2 km
Comprimento	8,9 km
Desnível Médio	740 m
Índice de Compacidade	1,33
Índice de Conformação	0,27
Densidade de Drenagem	1,5 m/m ²
Declividade Média	8,3 %

O clima predominante na região da bacia, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, é tropical, quente (média maior que 18°C em todos os meses) e superúmido com subseca no inverno. As temperaturas médias anuais oscilam entre 26,5°C e 21,3°C. A umidade relativa média mensal é de 79% e a evaporação total anual é de 1198,5 mm. (INMET, 1992).

Para determinação das características pluviométricas da bacia do rio Cachoeira, foi considerada como referência a estação pluviométrica Capela Mayrink (código: 2243239), instalada

dentro da bacia hidrográfica do rio Cachoeira. Essa estação apresenta 2230 mm de precipitação total anual, com médias mensais variando entre 137 mm, em junho, e 239 mm, em abril.

3.2 Seleção e Tratamento dos Dados Geográficos

Para elaboração do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a bacia do rio Cachoeira, optou-se pelo software ArcGIS, utilizando a combinação dos modelos vetorial e matricial. Esse SIG foi desenvolvido no sentido da obtenção de planos de informação para a determinação da área de drenagem do ponto do exutório da bacia e no sentido da integração de imagens digitais do satélite Landsat-5/TM. Buscou-se garantir que o Modelo Digital do Terreno estivesse hidrologicamente consistente, ou seja, livre de depressões. Em seguida procedeu-se a geração de planos de informação que permitiram caracterizar o escoamento superficial quanto à direção dos fluxos e ao fluxo acumulado na bacia hidrográfica. Através desses planos foi possível obter a rede de drenagem que definiu o entorno da bacia. A Figura 2 a seguir ilustra essa sequência dos planos de informação gerados.

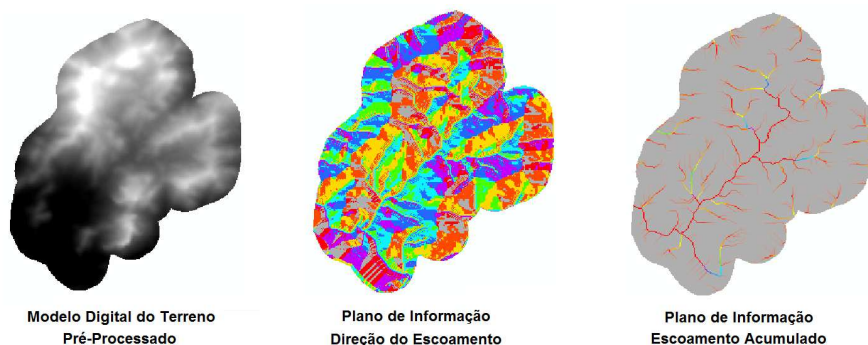


Figura 2 – Sequência de criação dos planos de informação

3.3 Seleção e Tratamento dos Dados Hidrometeorológicos

Para avaliar o comportamento hidrológico da bacia do rio Cachoeira foram selecionadas seis estações pluviométricas e uma climatológica como representativas da região. A Tabela 2 apresenta essas estações, fornecendo para cada uma seu código, a localização e o órgão responsável.

Tabela 2 – Estações Selecionadas

Tipo Estação	Nome	Código	Latitude	Longitude	Responsável
Pluviométrica	Alto da Boa Vista	2243149	-22°57'57"	-43°16'42"	INMET
Pluviométrica	Benfica	2243092	-22°53'17"	-43°14'56"	INEA
Pluviométrica	Capela Mayrink	2243239	-22°57'28"	-43°16'40"	INEA
Pluviométrica	Eletrobrás	2243083	-22°55'18"	-43°25'12"	INEA
Pluviométrica	Rio Centro	-	-22°57'25"	-43°24'42"	GEORIO
Pluviométrica	Via 11	2343007	-23°00'00"	-43°21'59"	INEA
Climatológica	Rio de Janeiro	83743	-22°52'48"	-43°10'51"	INMET

Dentre as estações pluviométricas selecionadas destacaram-se, tanto pela localização quanto pela disponibilidade de dados, as estações Capela Mayrink e Alto da Boa Vista. A primeira é a única estação pluviométrica localizada dentro da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, utilizada como referência para obtenção da série de precipitações totais; e a segunda, além de pluviométrica é

também meteorológica, utilizada como referência para obtenção da série de temperaturas médias do ar. A Figura 3 ilustra a localização das estações selecionadas.

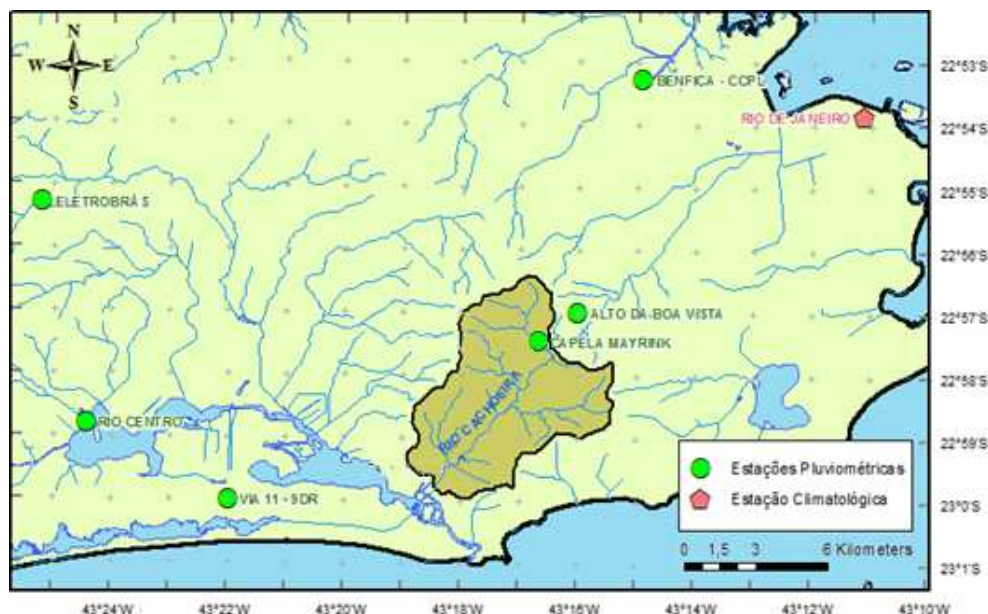


Figura 3 – Mapa de Localização da Bacia do Rio Cachoeira

A análise de consistência preliminar dos dados pluviométricos foi feita de forma visual, a partir da plotagem conjunta das séries de precipitações totais mensais das estações. Após essa análise buscou-se preencher as falhas apresentadas. Para realizar o preenchimento foram avaliadas as correlações cruzadas entre os dados de precipitação total mensal das estações pluviométricas selecionadas. Após os preenchimentos de falhas, a consistência das séries foi analisada do ponto de vista regional, ou seja, foi verificada a homogeneidade do comportamento da precipitação na região pelo Método da Dupla-Massa.

Como resultado da análise de consistência da estação Capela Mayrink, tida como principal, obteve-se para a bacia do rio Cachoeira uma série pluviométrica de totais mensais consistentes e sem falhas. A Figura 4 apresenta a curva duplo-acumulativa obtida para esta estação.

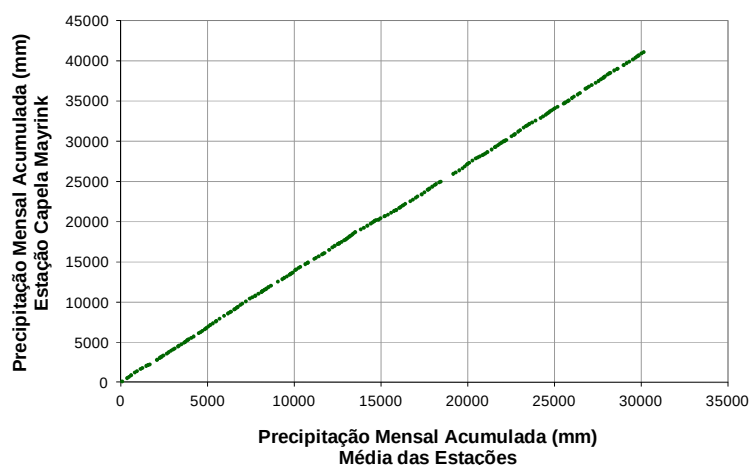


Figura 4 – Curva Duplo-acumulativa da Estação Pluviométrica Capela Mayrink

3.4 Seleção e Tratamento dos Dados de Satélite



Os dados de satélite foram obtidos em formato GeoTIFF, através do catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens – DGI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Foram escolhidas dez imagens no catálogo do satélite Landsat-5, sendo todas do sensor TM e dotadas das sete bandas. A seleção das imagens foi baseada em um histórico de 22 anos com espaçamento temporal médio a cada 2 anos. As imagens selecionadas foram as datadas de 22/03/1988, 24/02/1990, 14/02/1992, 18/01/1994, 24/01/1996, 02/11/2000, 31/12/2004, 31/08/2006, 23/10/2008 e 15/02/2010. Das bandas óticas disponíveis nas imagens, foram selecionadas para formar a composição colorida as bandas 5, 4, 3, em R, G, B (do inglês: *Red, Green, Blue*), respectivamente.

Após o georreferenciamento das imagens, a classificação supervisionada foi realizada para caracterizar a cobertura vegetal em função de duas classes temáticas de interesse: (1) Área Florestal – com áreas que apresentam cobertura florestal e demais feições naturais não profusamente alteradas por atividades humanas, e (2) Área Não Florestal – com áreas urbanizadas e a maioria das áreas cujas características originais foram alteradas em consequência de atividades humanas. Admite-se que a classificação empregada é extremamente simplificada e que numerosas diferenças em relação ao comportamento hidrológico devem existir dentro de uma mesma classe.

Por se tratar de um processo automático, os produtos temáticos gerados apresentaram erros, pixels fora do contexto das classes. Para contornar esses erros e proporcionar a uniformidade das classes mapeadas foi realizada uma pós-classificação por filtro majoritário e de forma manual.

4. RESULTADOS

4.1 Estimativa da Evapotranspiração - Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather

Com base nos dados mensais de temperatura média do ar e de precipitação total, foi calculado de forma sequencial o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955). O total médio anual estimado para a evapotranspiração real no período estudado foi de 1.056 mm, variando entre 1.007 mm e 1.166 mm. Esse valor médio corresponde a aproximadamente 50% do total médio anual precipitado (2.148 mm), ou seja, essa estimativa indica que metade da precipitação sobre a bacia retornaria à atmosfera pelos processos do ciclo hidrológico.

A Figura 5 a seguir apresenta as séries estimadas de evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR). A comparação entre essas séries foi expressa através de uma razão, chamada de evapotranspiração relativa (ETR/ETP).

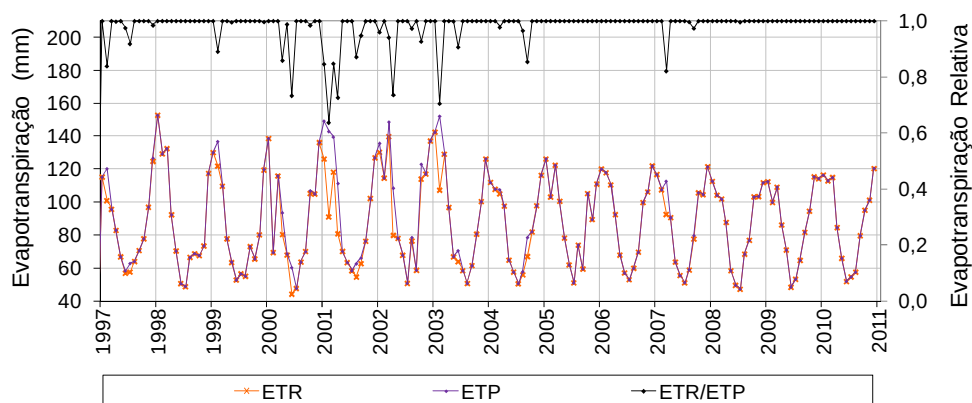


Figura 5 – Evapotranspiração Potencial e Evapotranspiração Real, entre 1997 e 2010

Cabe acrescentar que o valor médio estimado é compatível com o valor médio descrito por Tucci e Clarke (1997) para florestas tropicais. De acordo com os autores, a evapotranspiração de florestas tropicais que raramente tem déficit de umidade do solo é em média 1.415 mm, podendo cair para 900 mm se houver períodos de déficit hídrico.

4.2 Dinâmica da Cobertura Vegetal

Os mapas temáticos gerados proporcionaram uma estimativa do histórico de alterações florestais sobre a bacia do rio Cachoeira. A quantificação das áreas classificadas encontra-se apresentada na Figura 6.

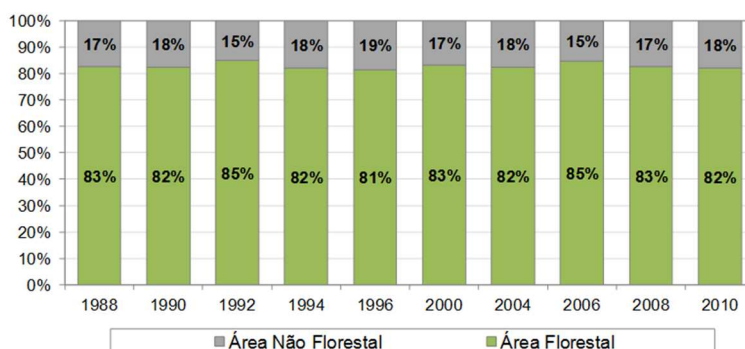


Figura 6 – Quantificação do Mapeamento de Cobertura Florestal na Bacia do Rio Cachoeira

Como validação dos resultados obtidos foi realizada uma comparação do mapeamento temático de 2010 obtido no presente estudo com o mapeamento temático de 2010 elaborado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAC, apresentado na Figura 7. De maneira geral, verificou-se que o mapeamento obtido para a classe “Área Não Florestal” é semelhante ao elaborado pela SMAC na classe de referência “Áreas Antrópicas” (ou Área de Não Vegetação Natural). Através dessa comparação acredita-se que os mapas gerados para os anos anteriores a 2010 também sejam consistentes e representem uma estimativa da realidade do período passado.

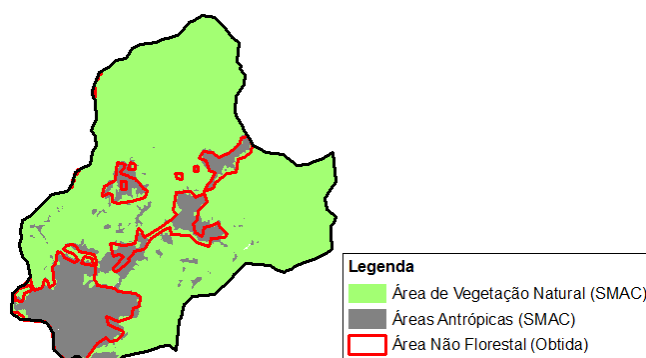


Figura 7 – Comparação dos Mapeamentos Temáticos de Cobertura Florestal – 2010

4.3 Correlação Variação Cobertura Vegetal Contra Evapotranspiração Real

Buscou-se correlacionar a variação entre as porcentagens de áreas florestais e a variação da evapotranspiração real da bacia do rio Cachoeira estimada. As variações foram calculadas para cada par de valores consecutivos correspondentes aos anos das imagens. O resultado obtido nessa correlação foi satisfatório, indicando uma relação direta da evapotranspiração real com a dinâmica



da cobertura florestal. O ajuste de uma equação linear nos pontos apresentou um bom coeficiente de determinação ($R^2 = 0,80$). Esses resultados são mostrados na Figura 8.

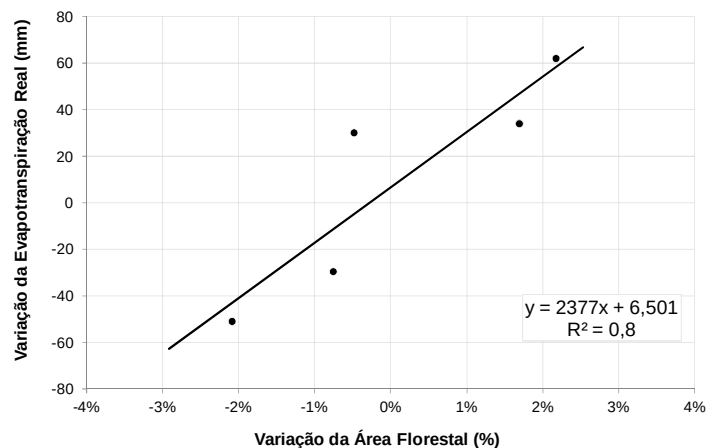


Figura 8 – Correlação entre a Variação da Porcentagem de Área Florestal e da Evapotranspiração Real Estimada

5. CONCLUSÕES

Através da análise que correlacionou a variação das áreas florestais com a variação da evapotranspiração real da bacia do rio Cachoeira, concluiu-se que existe uma relação direta com a dinâmica da cobertura vegetal. Esse resultado pode confirmar para a bacia do rio Cachoeira a consideração difundida na literatura, que a evapotranspiração é a componente hidrológica mais afetada pela alteração do tipo de cobertura da superfície terrestre.

REFERÊNCIAS

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. *Normais Climatológicas* (1961/1990). Brasília - DF, 1992.
- PEREIRA, R. J. C. *Análise de Correlação entre Alterações na Cobertura Vegetal e o Comportamento Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira – RJ*. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2012.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE – SMAC. SIG Floresta.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. *The water balance*. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.
- TRIMBLE, S. W.; WEIRICH, F. H.; HOAG, B. L. *Reforestation and the reduction of water yield on the southern Piedmont since circa 1940*. Water Resources Research, Washington, v.23, p.425-437, 1987 apud BALBINOT, R.; et al. *O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas*. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 4, n. 1, Jan./Abr. 2008.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. *Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V 2, n.1, p.135-152. Jan./Jun. 1997.