

Avaliação dos impactos ambientais do desflorestamento sobre o regime hídrico da região de Petrópolis-RJ

Josimar Ribeiro de Almeida¹

Manoel Gonçalves Rodrigues²

Gustavo Henrique de Souza Araujo³

Resumo

Neste trabalho, foi analisado o impacto do desflorestamento sobre o regime hídrico da Cidade de Petrópolis. A vegetação tem estreita relação com os processos do ciclo hidrológico, modificando-as em função das condições em que se encontra e a mesma regula o ciclo hidrológico fazendo com que a água percorra as diversas fases do mesmo, de forma adequada a possibilitar a estabilidade do processo. A vegetação retém grande parcela da água precipitada, libertando-a, aos poucos, para os cursos d'água e reservatórios superficiais e subterrâneos. Os resultados mostram que a redução da área de cobertura vegetal provocou aumentos das vazões anuais. A redução de 58% da cobertura vegetal para 39% provocou um acréscimo na vazão média de 60%. Isto implicou no aumento do índice de escoamento de 0.29 para 0.50. Mudanças são, igualmente, verificadas com relação às vazões mínimas e máximas médias anuais. No primeiro caso, teve-se um acréscimo de 86,3% e, no segundo caso, a vazão máxima média anual foi aumentada em 49,9%.

Abstract

In this research it was analyzed the deforestation impact on the hydric rate of Petrópolis City, located in the state of Rio de Janeiro in Brazil. The vegetation has a strict relationship with the hydrological cycle processes, and there are changes according to some inner conditions. The vegetation monitors the hydrological cycle, it makes the water appropriately goes through several phases of the cycle in order to make possible the process's stability. The vegetation keeps a great portion of the precipitate water, setting it free little by little for the watercourses and superficial and underground reservoirs. The results show that the reduction of the area with vegetable covering caused annual flows' increased. The reduction from 58% of the vegetable covering to 39% caused an increment in the medium flow of 60%. This conducted to an increase of the drainage index from 0.29 to 0.50. Changes are equally checked regarding the minimum and maximum annual average flows. In the first case, there was an increment of 86.3%, and in the second case, the maximum annual average flow had an increase of 49.9%.

¹ Pós-Doutorado em Engenharia Ambiental pela USP. Professor na Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

² Pós-Doutorado em Economia do Meio Ambiente pela UNICAMP. Coordenador Acadêmico do Curso de Pós-Graduação em Gestão do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos da Associação Educacional Dom Bosco (AEDB).

³ Mestre em Fitotecnia pela UFFRJ. Professor no Curso de Pós-Graduação em Gestão do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos na Associação Educacional Dom Bosco (AEDB).

Introdução

Os processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica possuem duas direções de fluxo: vertical (representado pela precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação); e horizontal (representado pelos escoamentos superficiais, sub-superficiais e subterrâneos). A vegetação tem papel fundamental em todo o processo hidrológico da bacia hidrográfica, principalmente na interceptação e evapotranspiração, atuando, indiretamente, em todas as fases do ciclo.

Em solos florestados há um aumento da capacidade de infiltração. Entretanto, tem sido verificado que uma maior quantidade total de água é infiltrada num solo descoberto que num solo florestado devido à parcela da água precipitada que consegue chegar ao solo depois de ser interceptada. Esta parcela é tanto maior quanto menor for o porte da vegetação. Áreas florestadas, por este motivo, apresentam menor infiltração de água. Por outro lado, podem ocorrer problemas de infiltração em solo descoberto devido à alteração das propriedades do solo pelo impacto das gotas de chuva.

O escoamento sub-superficial, aquele que ocorre abaixo, através da manta de detritos foliares e das primeiras camadas do solo, explica o fato da rápida alimentação dos cursos d'água, logo após uma chuva, sem que haja escoamento superficial. Por outro lado, a maioria das florestas atuam no sentido de diminuir as amplitudes das variações de umidade e de temperatura do ambiente.

A evapotranspiração a partir das terras e florestas representa um papel considerável quando se realiza sobre grandes áreas. Em áreas mais restritas, a água evaporada é transportada por correntes de vento para outros locais. A floresta propicia uma diminuição na evaporação do solo, já que ameniza as temperaturas e diminui as velocidades médias dos ventos. Embora a evapotranspiração apresente elevados valores, esta perda é compensada pela melhor economia do restante da água que segue o ciclo hidrológico.

Dons (1986) mostra que existem reduções das vazões dos rios em pequenas bacias hidrográficas, provocadas pelo incremento da evaporação de água interceptada pelo dossel durante as chuvas. Segundo a mesma lógica, a falta das árvores provocaria um aumento da vazão dos rios. Espécies vegetais de rápido crescimento apresentam, como consequência, reduções nas vazões de bacias hidrográficas. Scott e Lesch (1977), em pesquisa realizada na África do Sul, constataram o aumento da ordem de 51% durante a estação de chuvas e 52% na estação seca, nos seis primeiros anos após o plantio de *Eucalyptus* spp.

A floresta reduz a ocorrência de inundações, na medida em que intercepta a água de modo que esta não atinja rapidamente o solo; conserva e aumenta a capacidade de infiltração; contém e reduz a erosão e o consequente depósito de sedimentos nos canais fluviais; aumenta a capacidade de retenção de água no solo pela manutenção e aumento da porosidade; e favorece a eliminação da água armazenada no solo nos períodos de intervalo entre tormentas. Portanto a vegetação tem estreita relação com os processos do ciclo hidrológico, modificando-as em função das condições em que se encontre. Neste trabalho, foi analisado o impacto do desflorestamento sobre o regime hídrico da Cidade de Petrópolis.

Materiais e Métodos

A área de estudo compreende a região de Petrópolis situa-se a uma altitude média de 865 m, sendo cercada por três serras: a Serra do Couto, a Serra das Araras e a Serra dos Órgãos, esta última atingindo as maiores altitudes com a Pedra do Sino com 2.232 m de altitude. A cobertura vegetal era, originalmente, composta por “floresta ombrófila densa” e “floresta ombrófila mista”; esta segunda, em menor escala. A “floresta ombrófila densa” é uma formação que se caracteriza por árvores perenefoliadas com alturas de 20 a 30 metros, com brotos foliares sem proteção contra a seca. Sua área de ocorrência é formada por encostas íngremes da Serra do Mar formando vales profundos e estreitos. A média anual de precipitação varia de 1300 a 1500 mm. A distribuição da pluviosidade mostra uma variação sazonal bem delineada, com períodos mais chuvosos nos meses de verão e mais secos nos meses de inverno, comportamento característico dos regimes tropicais. A grande concentração de pluviosidade no verão deve-se principalmente à orografia local que atual como barreira às penetrações de massas de ar úmido provenientes do litoral, ocasionando as chuvas orográficas. Os solos são, na sua grande maioria, cambisol distrófico e cambisol álico. As altitudes variam de 200 a 1000 metros. Os rios de Petrópolis possuem perfil longitudinal com declividades bastantes acentuadas, com inúmeros saltos e corredeiras.

Mudanças radicais no uso do solo ocorreram nas últimas décadas. A floresta cedeu lugar, principalmente, às culturas agrícolas cíclicas, às pastagens e a ocupação imobiliária. Os remanescentes florestais são, na maioria, degradados. A maior parte das terras não é apta para uso agrícola. Somente uma pequena parcela tem aptidão regular para culturas de ciclo curto ou longo.

Quanto à cobertura vegetal, optou-se por trabalhar com a área da bacia hidrográfica com vegetação de porte arbóreo, em dados relativos e absolutos. Os vários tipos de vegetação de porte arbóreo, tais como capoeira, mata secundária e mata primária, foram agrupados em um tipo único, apesar das particularidades de cada um em

relação ao ciclo hidrológico. Utilizou-se a Carta do Brasil em escala 1:50.000, e imagem de satélite em escala 1:250.000 (TM-LANDSAT). A avaliação das áreas foi feita utilizando-se planimetria. Os dados diários de precipitação e de vazão do rio foram fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Determinou-se o tempo de trânsito das ondas de cheia, assim entendido como o intervalo de tempo entre o centro de gravidade do hietograma excedente e o pico do hidrograma de volume unitário. Adotou-se a equação de Snyder para o tempo de trânsito t_p é $t_p = C_1 \cdot (L \cdot \bar{L})^{0,3} (h)$, onde: L = comprimento de curso d'água principal, desde o divisor de águas até a foz; \bar{L} = distância entre o centro de gravidade da bacia e o exutório, medida ao longo do curso d'água principal; C_1 = constante regional, que segundo Snyder varia entre 1,35 e 1,65 quando as distâncias são medidas em km. Para o cálculo da duração da chuva unitária a equação proposta foi: $t_u = t_p / 5,5(h)$.

Para o cálculo da descarga de pico do hidrograma unitário de duração t_u , correspondente a uma precipitação efetiva de 1 mm uniforme sobre a bacia, empregou-se a expressão: $Q_u = 0,28 \cdot C_p \cdot A / t_p (m^3 / s)$, onde A é a área de drenagem em km^2 e C_p (constante empírica regional, com valores compreendidos, entre 0,56 e 0,69). Um indicador do tempo de base do hidrograma unitário é dado pela expressão: $t_b = 3 + 3 \cdot t_p / 24$ (dias).

Uma vez obtido o hidrograma unitário, obteve-se os hidrogramas componentes concebendo-se uma tormenta e aplicando-a ao hidrograma unitário de acordo com os princípios da Teoria do Hidrograma Unitário. Para a concepção de estudos, valeu-se de relações intensidade – duração – frequência para observações da região. Aplicou-se à chuva no ponto um coeficiente de dispersão e adotou-se uma distribuição temporal considerada conveniente conforme histórico regional.

A equação de chuvas intensivas para período de retorno de dois anos (T) foi $P_{T, 2} = 54,068 \cdot t^{0,458}$ mm (Precipitação $P_{T, T}$, t(h)) e para cinco anos foi $P_{T, 5} = 66,144 \cdot t^{0,458}$. As expressões que fornecem a descarga de pico do hidrograma unitário e o tempo de base são:

$$Q_u = \frac{220/t_p}{t_p} (m^3 / s \cdot 100km^2), t_b = 2,525t_p (h)$$

O valor de t_p é constante para uma dada duração unitária numa determinada bacia, e para um hidrograma unitário correspondente a uma chuva efetiva de uma hora. Calcula-se pela expressão: $t_p = 46,6 \cdot S^{-0,39} \cdot (1 + u)^{-1,99} \cdot R_c^{-0,4} \cdot L^{0,15} (h)$, onde: L = comprimento do curso d'água principal em km; S = declividade média do curso d'água do curso principal, calculada entre pontos situados a 0,1 . L e 0,8 . L do exutório; u = grau de impermeabilização da bacia; e R_c = índice climático.

Calculou-se a declividade média da bacia da cidade de Petrópolis transformando-a em outra constituída por uma série de terraços sobrepostos delimitados por curvas de nível de igual cota relativamente ao nível do mar (isoipsas). Considerou-se duas curvas isoipsas próximas de comprimentos $\lambda_s + \lambda$ e λ_s envolveu-se uma área a_s , a declividade média i da parte da bacia definida pelas duas curvas, através da expressão: $i = \lambda/2 (\lambda_s + \lambda_s + \lambda)$. h_s/a_s , sendo h_s o espaçamento entre as curvas de nível. A declividade média da bacia tornou-se igual à média das declividades médias, a declividade média da bacia é dada pela relação entre a soma dos comprimentos das isoipsas multiplicada pela equidistância entre elas, e a soma das superfícies horizontais dos terraços ou patamares. A soma das superfícies horizontais dos patamares equivale à superfície da projeção horizontal da bacia hidrográfica.

O ângulo α que representa a declividade média foi calculado através da expressão: $tg\alpha =$ equidistância x semi-soma do comprimento das isoipsas / superfície de projeção horizontal. O comprimento das isoipsas foi obtido de um mapa por curvimetria e as áreas por planimetria. Na medição dos λ_s para simplificar os cálculos, construiu-se uma curva clinográfica da seguinte forma: num plano cartesiano bidimensional grafou-se as equidistâncias h sobre o eixo y, em seguida, sobre paralelas ao eixo x, marcou-se alguns comprimentos das isoipsas a partir dos valores de h. A curva resultante da interpolação desses pontos permitiu aproximar todos os comprimentos das isoipsas.

Determinou-se superfície efetiva da bacia da cidade de Petrópolis, recorrendo-se às expressões: $\Delta h_o = \Delta \omega - \cos\beta$, ou $\Delta \omega = h_o/\cos\beta = h_o \cdot \sec\beta$, onde β é o ângulo que um elemento de superfície $\Delta \omega$ forma com sua projeção horizontal Δh_o . Somando-se as expressões de todos os elementos obteve-se o valor da superfície:

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \Delta \omega = \sum_{i=1}^n \Delta h_o \cdot \sec \beta$$

como os ângulos β são desconhecidos, admitiu-se que exista um ângulo ϑ tal que: $\sec \vartheta = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta h_o \cdot \sec \beta}{\sum \Delta h_o} = \text{superfície efetiva/superfície horizontal}$, e considerou-se que esse ângulo pode ser assumido com suficiente aproximação igual ao ângulo da declividade média. A superfície efetiva foi dada por: $\Omega = \sum_{i=1}^n \Delta \omega = \text{Seca} \sum_{i=1}^n \Delta h_o$, portanto, a superfície efetiva da Bacia Hidrográfica da cidade de Petrópolis foi considerada igual ao produto de sua projeção horizontal pela secante da declividade média da mesma bacia.

Resultados e Discussões

Estimou-se que, no início da colonização, a bacia hidrográfica em questão possuía 100% de cobertura vegetal arbórea nativa. O processo de transformação evoluiu de tal forma que, em 1966, existiam 58%, ou seja, 198.129 hectares e, em 1986, apenas 39% de área coberta por florestas, ou seja, 134.714 hectares. O desflorestamento ocorreu, portanto, à taxa média aproximada de 3000 hectares por ano, durante o período de 1966 a 1986, por exemplo.

A capacidade de infiltração do solo é menor em um solo descoberto, mas, ao menos em um momento imediato ao desmatamento, a taxa de infiltração é maior no solo descoberto. Em princípio, esperava-se que a vazão mínima fosse diminuir, já que o curso de água, em época de estiagem, é alimentado pelo lençol subterrâneo que, por sua vez, obtém água da infiltração da chuva no solo. Outro fato que contribui para esta hipótese é que, com o desflorestamento, as características físicas do solo, principalmente a estrutura, vão-se degradando e tornando a infiltração mais difícil. As características geológicas e geomorfológicas e as características dos solos da área estudada contribuem para que a vazão mínima sofra acréscimo como o que foi constatado.

Tabela 1 - Dados de chuva máxima em um dia para Região de Petrópolis, com valores estimados correspondentes aos períodos de retorno de 2,5, 10, 25, 50, 75 e 100 anos, pelo método de Chow-Gumbel.

	Interv. de Confiança	Precipit. Mínima	Precipit. Média	Precipit. Máxima
Retorno de 02 anos	68%	99	104	110
	80%	97	104	112
	90%	95	104	114
	95%	93	104	116
Retorno de 05 anos	68%	131	142	152
	80%	128	142	155
	90%	124	142	159
	95%	121	142	162
Retorno de 10 anos	68%	152	166	181
	80%	148	166	185
	90%	142	166	190
	95%	138	166	195
Retorno de 25 anos	68%	177	197	217
	80%	172	197	223
	90%	165	197	230
	9,5%	158	197	236
Retorno de 50 anos	68%	196	220	244
	80%	190	220	251
	90%	181	220	260
	95%	173	220	267
Retorno de 75 anos	68%	207	234	260
	80%	200	234	267
	90%	191	234	277
	95%	182	234	285
Retorno de 100 anos	68%	215	243	271
	80%	207	243	279
	90%	197	243	289
	95%	188	243	298

De um modo geral os solos da bacia hidrográfica em questão tem textura médio-argilosa ou franco-argilosa, são bem drenados e porosos e, portanto, possuem boa capacidade para infiltração da água. O escoamento superficial também sofre um considerável acréscimo, decorrente da parcela da água desviada da interceptação, que não infiltra no solo. Isto tem ação direta no aumento das vazões máximas. Com relação à vazão média, o desflorestamento provoca uma redução da quantidade da água da precipitação extraída pela transpiração, assim como da evaporação da parcela interceptada. Isto provoca um aumento dos escoamentos, alterando desta forma o balanço hídrico da bacia. Além do mais, na condição com florestas, os volumes evapotranspirados são transferidos para outras regiões, reduzindo o volume disponível para geração dos escoamentos.

Tabela 2 – Valores médios de precipitação, vazão e taxa de escoamento dos períodos estudados na bacia da cidade de Petrópolis-RJ.

	Período I	Período II	Diferença	Diferença Relativa
<i>Precipitação (mm)</i>	1442,00	1347,57	-67,44	-4,7%
<i>Vazão Mínima (m³/s)</i>	6,13	11,42	5,29	86,3%
<i>Vazão Média (m³/s)</i>	44,40	71,03	26,63	60,0%
<i>Vazão Máxima (m³/s)</i>	547,18	820,20	273,02	49,9%
<i>Taxa de Escoamento</i>	0,29	0,50	0,21	72,4%

Desta forma, verifica-se que a vegetação funciona como se fosse um reservatório de contenção de cheias, com a vantagem de se prestar a outros fins de grande importância ambiental, econômica e social, tais como a produção madeireira, a produção hídrica, a biomassa, a proteção a outros recursos naturais como o solo e a fauna e os bancos de germoplasma.

Além do mais, o desflorestamento faz parte do conjunto de fatores que determinam a ocorrência ou a maior incidência de cheias e enxurradas, seja atuando de forma direta ou indireta. Indiretamente, a retirada da floresta aumenta a erosão do solo e o assoreamento dos cursos d'água. O desflorestamento atua diretamente no aumento do escoamento das águas superficiais e, por consequência, no nível dos cursos d'água. As cheias e enxurradas ocorrem, portanto, em áreas desflorestadas, num período de tempo menor do que ocorreriam em áreas cobertas por florestas, devido à melhoria das condições hidrodinâmicas.

Ressalta-se que, na relação vegetação – água, existe uma série de variáveis que poderiam ter sido consideradas, tais como o porte da vegetação, a distribuição espacial dos indivíduos, o tipo de sistema radicular, a morfologia externa e a taxa de crescimento do vegetal. Deve-se também distinguir o tipo de influência de cada tipo de vegetação no ciclo hidrológico. No presente estudo, estes aspectos foram considerados de forma global. Eles permitiram evidenciar a influência da vegetação no ciclo hidrológico, devendo, portanto, ser esta considerada em qualquer projeto (estrutural ou não), especialmente aqueles de contenção de cheias (tais como as barragens e represas) e enxurradas, evitando-se, desta forma, o desperdício de recursos e o impacto sócio-ambiental de tais projetos.

Observou-se, à nível de campo, que o transbordamento dos rios da cidades de Petrópolis começa a ocorrer com precipitações superiores a 90 mm, em menos de 3 (três) horas. Observou-se, também, que uma grande precipitação dificilmente ocorre em intervalo superior a 3 (três) horas, pelo menos para precipitações em torno de 90mm. Tem-se com um intervalo de confiança de 95%, um retorno de cada 2 (dois) anos de uma precipitação entre 93 e 116 mm. Estatisticamente tem-se então um transbordamento dos rios Petropolitanos a cada 2 (dois) anos.

Os deslizamentos não estão necessariamente ligados a grandes precipitações em um dia, mas sim, à problemas de Balanço Hídrico. Observa-se que o Balanço Hídrico, no verão, apresenta um grande excedente. Este excedente, no entanto, não representa grande problema enquanto no período entre as precipitações houver tempo para que a água excedente percole para camadas subterrâneas do solo. O perigo dos desabamentos nas encostas Petropolitanas torna-se maior quando a quantidade de água percolada dentro do solo para as camadas subterrâneas for menor ao volume precipitado em um mesmo período. O problema se torna ainda mais grave quando o escoamento superficial estiver prejudicado ou quando houver infiltrações no solo por meio de pequenos sulcos. A declividade, o tipo de solo, a sua cobertura e a sua drenagem são fatores muito importantes para determinar se uma encosta é segura ou não.

Observou-se a nível de campo que pequenos deslizamentos começam ocorrer a partir de precipitações máximas diárias em torno de 140 mm, sendo que com 160 mm esses deslizamentos começam a se intensificar.

Ressalta-se que este dado empírico pode variar bastante, devido ao nível de saturação do solo, antes de uma grande precipitação.

Os dados empíricos obtidos, são válidos partindo-se de um solo saturado (capacidade de campo), condição esta bem comum no período de verão em Petrópolis. O período de retorno para as chuvas de 140 mm é de cinco anos.

Dentre as causas não climatológicas que agravam cada vez mais as conseqüências das grandes precipitações, pode-se citar o contínuo desmatamento, o aumento das áreas construídas e o assoreamento dos rios. O desmatamento é, certamente, a principal de todas as causas citadas. Como conseqüência deste, temos um escoamento superficial muito maior e muito mais rápido, fazendo com que a água precipitada chegue em tempo muito mais rápido aos rios, provocando, então, as enchentes.

Referências

ANEEL, <http://aneel.gov.br>.

Braga, B. et al. Introdução à Engenharia Ambiental (2003). São Paulo, Prentice House.

Dons, A. (1986) The effect of large-scale afforestation on Tarawera river flows. *Journal of Hidrology*, 25 (2), 61-73.

Fujieda, M.; Tetsuya, K; Cicco, V. e Calvarcho, J. L. de. (1997) Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. *Journal of Hidrology* 196 (1997) 26-46.

Scott, D. F. e Lesch, W. (1997) Streamflow responses to afforestation with *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* and to felling in the Mokubulaan experimental catchments, South Africa. *Journal of Hidrology*, 199(1997) 360-377.