

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Mudanças ocorridas no uso do solo

No Quadro 11 são apresentadas as exatidões dos mapas temáticos gerados a partir do processamento digital das imagens do sensor Landsat 5 TM. Desta forma, as imagens foram classificadas de bom a muito bom, segundo o método do Índice Kappa, conforme Landis e Koch (1977).

Quadro 11 - Exatidão dos mapeamentos de uso do solo

Anos	Índice Kappa (%)	Classificação
1985	56,6	Bom
1987	57,0	Bom
1989	58,3	Bom
1991	74,7	Muito Bom
1993	76,5	Muito Bom
1995	56,9	Bom
1996	57,1	Bom
1998	78,6	Muito Bom
2000	77,8	Muito Bom

Tendo em vista as exatidões dos mapeamentos temáticos gerados, foi possível a realização do monitoramento das modificações do uso do solo nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, que subsidiaram a elaboração de análises de tendências ao longo do período compreendido de 1985 a 2000.

De uma maneira geral, o uso do solo nas áreas de drenagem das oito estações fluviométricas localizadas nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros teve o comportamento conforme é visualizado no Quadro 12. Ressalta-se no Quadro 12 a presença das cores azuis e vermelhas, ou seja, a cor azul está associada à tendência de crescimento da variável de uso do solo ao longo do período analisado e à cor vermelha

associa-se com tendências de redução das mesmas. Os dados referentes às obtenções destas tendências estão listados no Apêndice A.

Quadro 12 - Significâncias e tendências observadas para o comportamento do uso do solo, no período de 1985 a 2000, para as estações fluviométricas monitoradas.

Estações fluviométricas	Significâncias (%) e Tendências (↑↓) ao longo do tempo para as classes de uso do solo					
	Mata	Cerrado	Pasto	Cultivo	Urbano	Reser.*
Fazenda Barra da Égua	95,0 ↑	99,8 ↓	75,4 ↓	99,9 ↑	--	78,4 ↑
Fazenda Poções	96,2 ↑	99,4 ↓	68,8 ↓	98,8 ↑	--	58,1 ↑
Fazenda Limeira	58,5 ↓	99,3 ↓	58,4 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	61,4 ↑
Unai	84,1 ↑	99,0 ↓	66,1 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	60,3 ↑
Santo Antônio do Boqueirão	93,5 ↑	98,9 ↓	74,1 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	54,0 ↑
Fazenda Resfriado	99,8 ↑	90,3 ↓	94,7 ↓	97,9 ↑	--	64,3 ↑
Fazenda Santa Cruz	98,7 ↑	90,2 ↓	71,5 ↓	83,9 ↓	--	30,7 ↑
Porto dos Poções	99,9 ↑	99,9 ↓	69,5 ↑	99,9 ↑	99,9 ↑	64,6 ↑
Média	90,7	97,1	72,3	97,5	99,9	59,0

* Classe de uso do solo reservatório; -- Sem ocorrência; ↑: Crescimento; ↓: Diminuição

Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto

A classe de uso do solo mata apresentou, exceto para a estação fluviométrica Fazenda Limeira, tendência de crescimento em todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas, com uma significância média de 90,7%, onde registrou-se ocorrência de uma tendência oposta às demais áreas de drenagem.

Nas áreas de drenagem das estações fluviométricas onde houve tendência de aumento da cobertura de mata, pode-se associá-la a áreas que não foram utilizadas para a expansão agrícola na bacia, em função de altas declividades.

O crescimento das áreas de cobertura por mata em áreas ditas abandonadas foi mais expressivo onde anteriormente haviam pastagens, ou seja, em um primeiro momento, a vegetação nativa da região (cerrado) foi retirada para dar lugar a áreas de pastagens. Entretanto, devido a não capacidade de suporte do meio físico a este tipo de uso, essas áreas foram abandonadas, ficando desta forma sujeitas a regeneração natural.

Neste sentido, estas áreas não foram utilizadas para a expansão da agricultura na região, o que levou a ocorrer a regeneração da vegetação em muitas destas, fazendo com que houvesse a expansão deste tipo de cobertura.

A área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Limeira, entretanto, localiza-se em um platô, ou seja, é uma forma de relevo constituída por uma superfície elevada, com cume mais ou menos nivelado e com baixa declividade.

Assim, a expansão da agricultura ocorreu nestas áreas, fazendo com que as mesmas tivessem, ao longo do tempo, sua cobertura modificada para extensas áreas agrícolas, favorecidas pela baixa declividade e pela possibilidade de mecanização.

Este tipo de comportamento evidenciado pela tendência de redução da cobertura de mata nesta área de drenagem, evidencia que, por outro lado, o processo de expansão da agricultura ainda não atingiu seu limite. Entretanto, evidencia-se, por meio de sua significância ao longo do período entre 1985 a 2000, uma tendência de redução desacelerada, pois sua significância é de 58,5%, ou seja, ao longo do período de monitoramento não houve grandes alterações na taxa de desmatamento nesta área de drenagem.

A classe de uso do solo cerrado obteve um comportamento de redução para todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas por este estudo, com uma significância média de 97,1%, ou seja, o cerrado sofreu uma drástica substituição por um outro tipo de cobertura do solo, evidenciado pela alta significância, sendo na maior parte dos casos pelo uso do solo cultivado.

Este resultado vem comprovar a substituição da vegetação nativa de cerrado por culturas anuais como, por exemplo, soja e milho (EMATER, 2006). Na Figura 16 observa-se a expansão da fronteira agrícola, caracterizada pelo uso do solo cultivado sob as áreas de cerrado na área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Limeira.

Rodriguez (2004) evidenciou que na bacia do ribeirão Entre Ribeiros há conflitos de disponibilidade de água para atendimento da demanda de seus agentes consumidores, onde 92% da vazão consumida para a estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua e 93% para a estação Fazenda Poções são para o atendimento da demanda de irrigação nestas áreas de drenagem. Este conflito pode ser comprovado pelo avanço do uso do solo cultivado sobre áreas de cerrado, como pode ser visto por meio da Figura 17 para a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua.

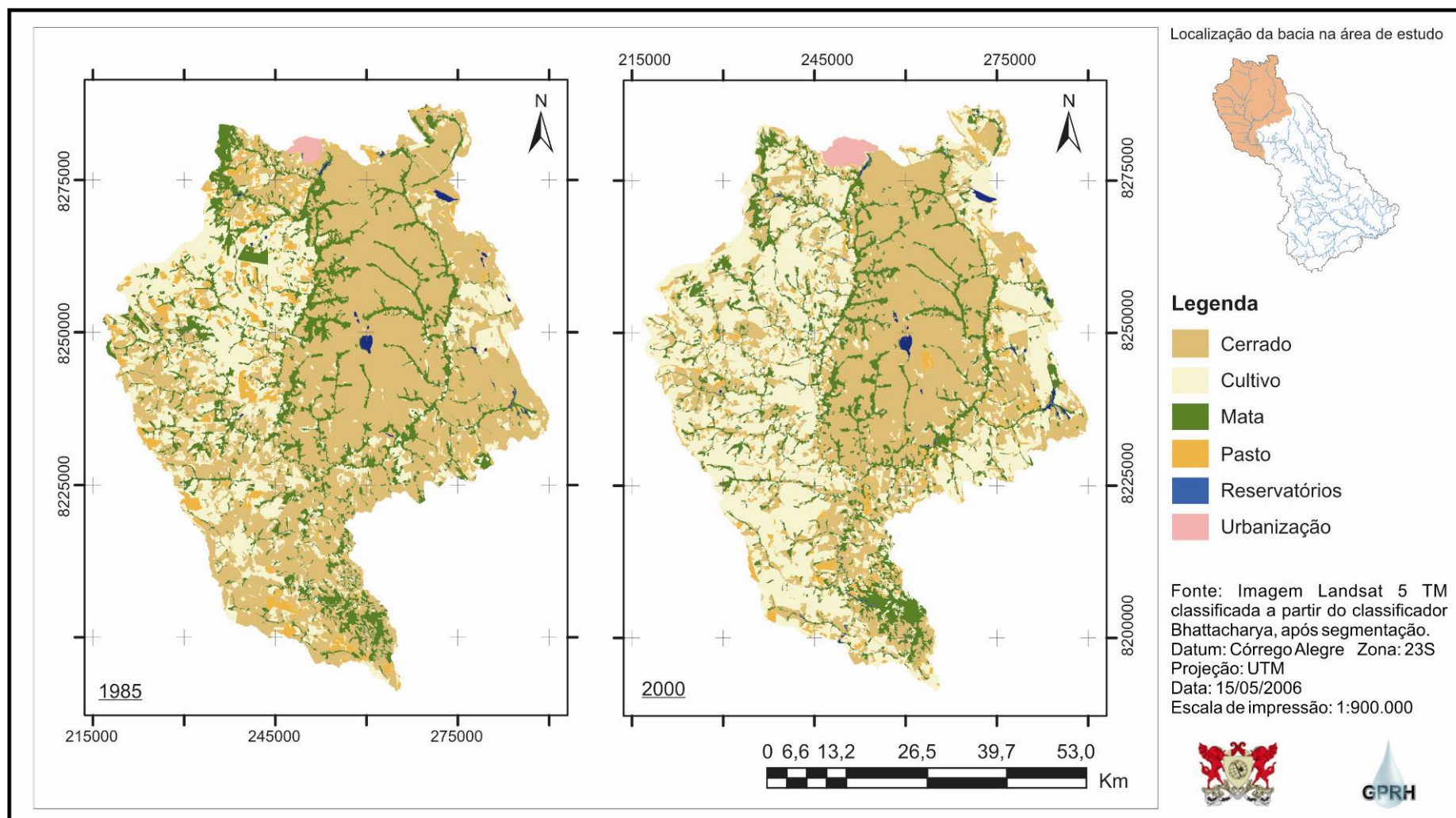


Figura 16. Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Limeira.

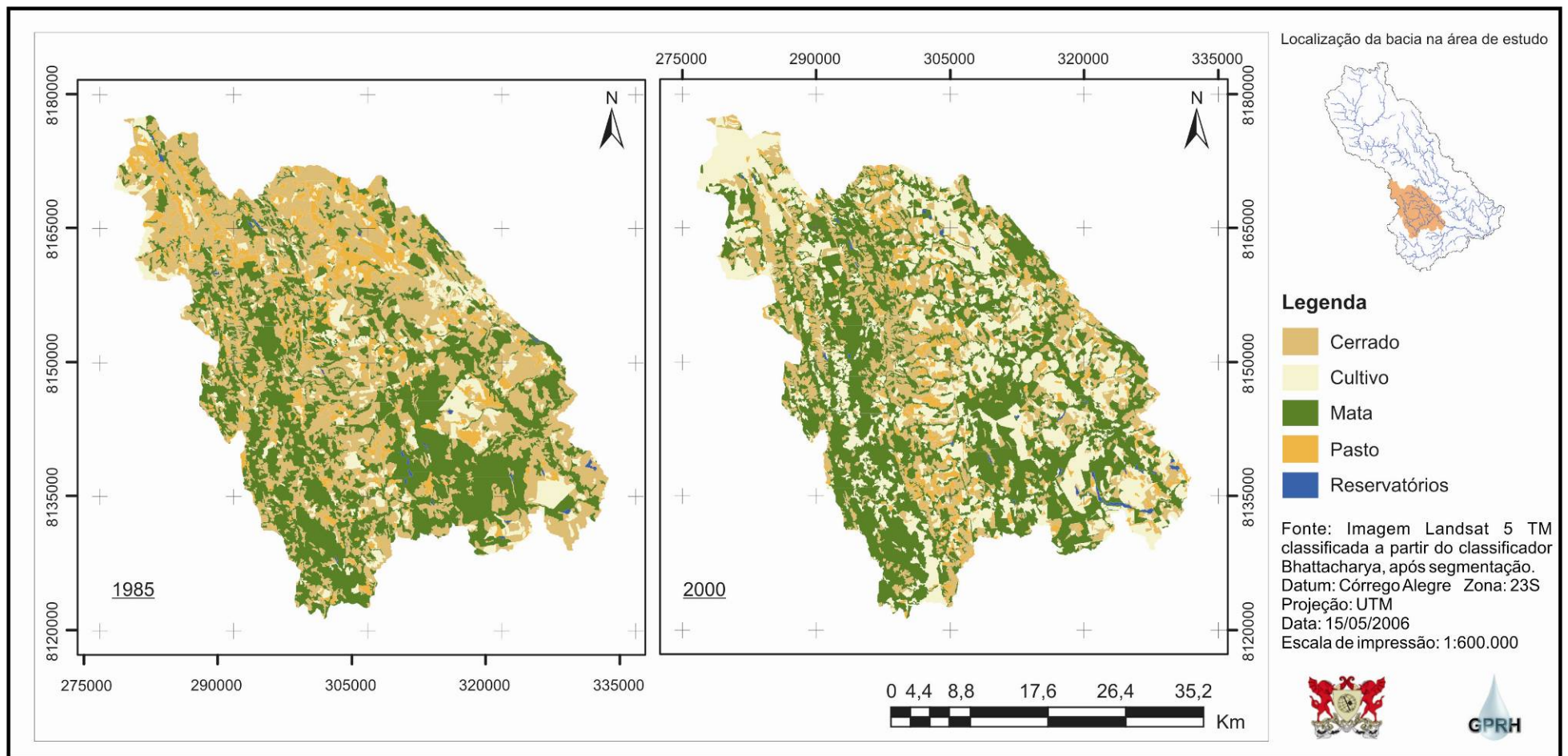


Figura 17. Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua.

Para a classe de uso do solo pasto foram identificadas tendências de redução de sua área de cobertura nas áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas, ao longo do período de 1985 a 2000, exceto para a estação fluviométrica Porto dos Poções.

Esta redução da classe de uso do solo pasto foi evidenciada na maioria das vezes, pela substituição para a cobertura de mata, ou seja, há a hipótese dessas áreas de pasto terem sido abandonadas e estarem sujeitas à regeneração natural. Entretanto, para a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Limeira esta hipótese não é válida, pois para esta área houve também a redução do uso do solo mata.

Neste sentido, a expansão do uso do solo cultivo na área de drenagem da estação Fazenda Limeira, foi o principal agente modificador do uso do solo no período de 1985 a 2000, ocupando áreas de mata e pasto concomitantemente.

Em um comportamento geral a classe de uso do solo pasto obteve uma significância média para todas as áreas de drenagem monitoradas de 72,3%. Entretanto, o valor não pode ser considerado baixo, pois apresenta-se um valor acima de 70% de mudanças.

Desta forma, a área de drenagem da estação Santo Antônio do Boqueirão sofreu mudanças expressivas na redução da classe de uso do solo pasto, como pode ser visualizado por meio da Figura 18, com uma significância média de 74,1%, conforme Quadro 12.

Observa-se ainda, com o auxílio da Figura 18, que essas mudanças ocorreram mais espacialmente localizadas, a jusante da estação fluviométrica Fazenda Limeira e nas proximidades no município de Unaí/MG. Estas mudanças de uso do solo localizadas próximas a Unaí/MG, são justificadas pela expansão da área de cobertura do uso do solo cultivo ao sul e norte e à expansão da classe de uso do solo mata nas direções norte e noroeste.

Outra observação que deve ser destacada no monitoramento da classe de uso do solo pasto é que, entre as estações fluviométricas Santo Antônio do Boqueirão e Porto dos Poções, houve um aumento das áreas de pasto, sobrepujando às áreas de cerrado, principalmente.

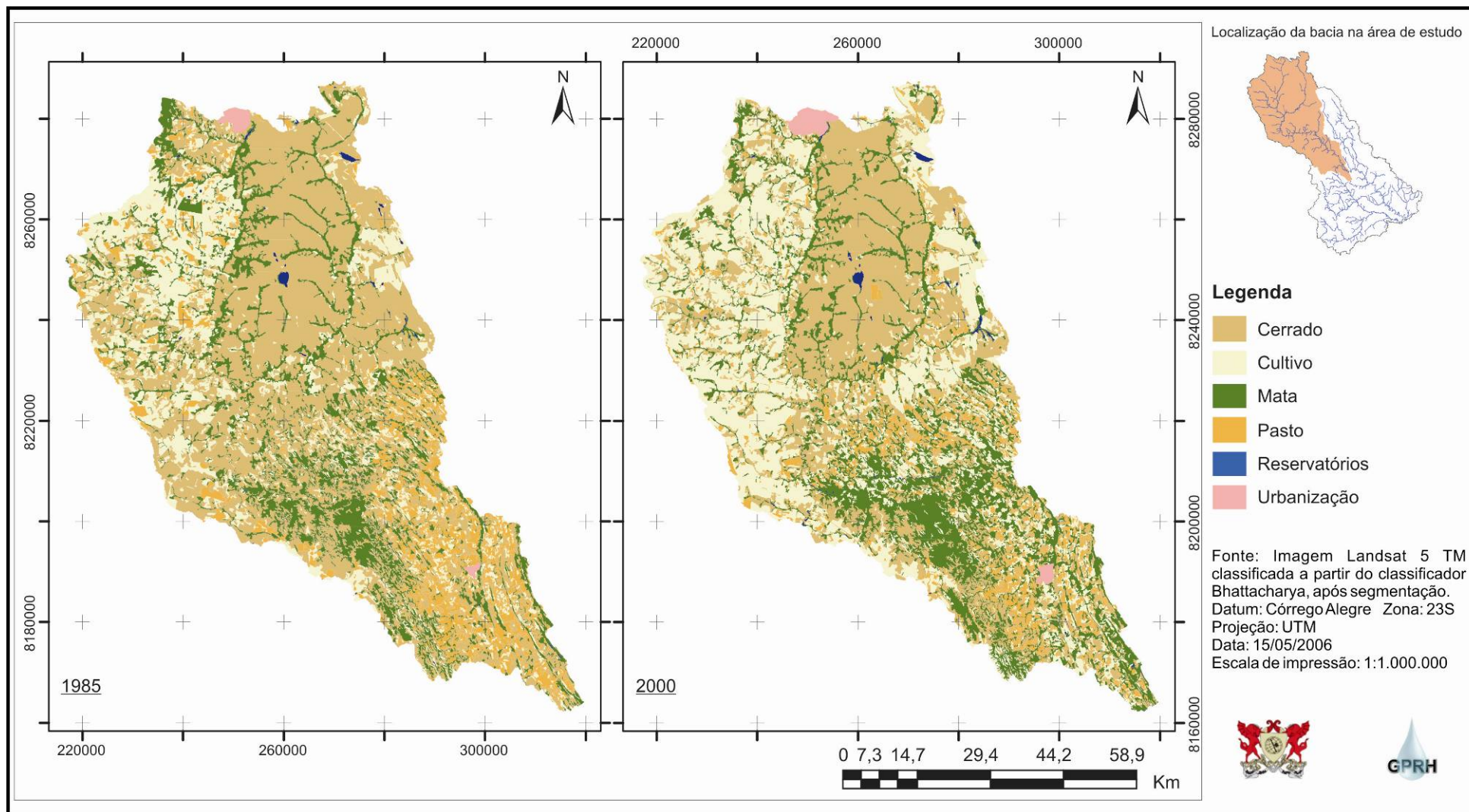


Figura 18. Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da estação fluviométrica Santo Antônio do Boqueirão.

No monitoramento realizado para a classe de uso do solo cultivo foram observadas tendências, de uma maneira geral, de aumento em sua área de cobertura para todas as estações fluviométricas, exceto para a área de drenagem da estação Fazenda Santa Cruz.

Com 97,5% de significância média ao longo do período de 1985 a 2000, a classe de uso do solo cultivo obteve um aumento bastante expressivo nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros. Para a bacia do rio Preto, na estação fluviométrica Porto dos Poções a significância obtida pelo avanço das áreas de cultivo, sobretudo em substituição por áreas de cerrado foi de 99,9% neste mesmo período.

Entretanto, para a área de drenagem da estação Fazenda Santa Cruz não houve o mesmo comportamento das tendências de aumento obtidas para as demais estações. Desta forma, foi identificada a tendência de redução para a classe de cultivo com uma significância de 83,9%, sendo que as mudanças ocorridas no uso do solo nesta bacia são visualizadas por meio da Figura 19.

São observadas mudanças principalmente devido ao aumento da classe de uso do solo mata sob áreas de pasto, cerrado e cultivo. Estas mudanças levam à elaboração da hipótese de um abandono destas áreas para que houvesse a recomposição da cobertura vegetal por mata nesta bacia. Houve um aumento das áreas com cobertura por mata, devido também às condições do relevo desta bacia, que é formada por pequenas serras e áreas com declive acentuado em suas bordas, no sentido Noroeste - Sudeste (NO-SE).

Rodriguez (2004) apresentou informações sobre o aumento do consumo de água pela irrigação na bacia do Paracatu, sendo identificados conflitos na relação oferta-demanda para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

Do mesmo modo, Moreira (2006) evidenciou que para a bacia do rio Paracatu, nos afluentes rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, não haver disponibilidade de água para atendimento de novas outorgas de concessão de direito de uso da água até 2010.

Estes fatos, aliados ao monitoramento da cobertura da classe de uso do solo cultivo, vêm provar que existe uma influência da expansão da fronteira agrícola, principalmente da agricultura irrigada, com a diminuição da disponibilidade hídrica na bacia, devido ao aumento da área irrigada, conforme já evidenciado pelos Censos Agropecuários do IBGE (Quadro 1), Moreira (2006) e Rodriguez (2004).

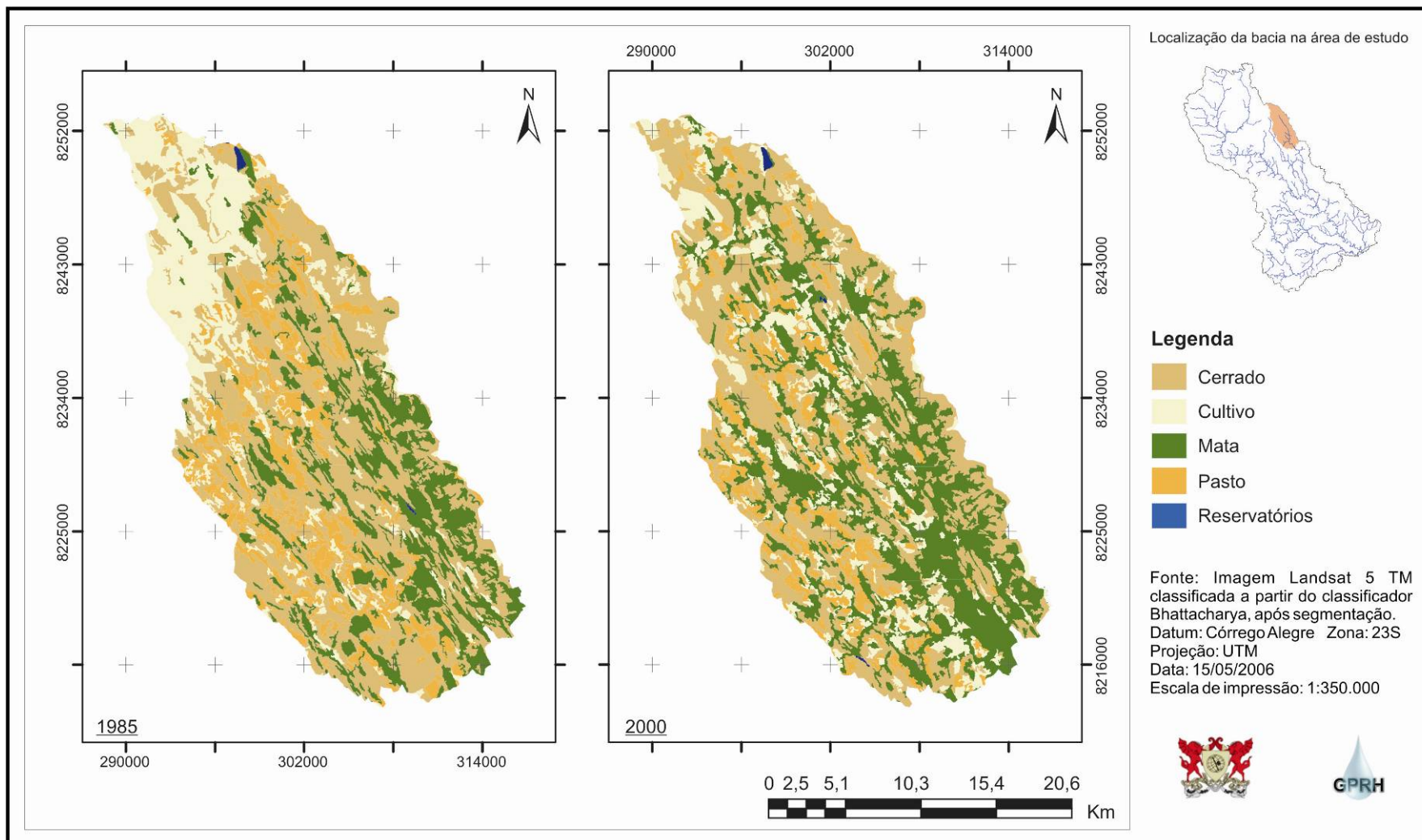


Figura 19. Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da estação fluviométrica Santa Cruz.

Para as classes de uso do solo urbanização e reservatórios foram identificadas tendências de aumento em suas áreas de cobertura, para todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas que possuíam estes usos, refletindo deste modo, o crescimento urbano na bacia identificado por IBGE (2005) e a expansão da agricultura irrigada na região das sub-bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros.

A classe de uso do solo urbanização possui uma significância média no período analisado de 99,9%, enquanto o uso do solo reservatórios possui uma significância média de 59,0%, para o mesmo período, conforme é visualizado no Quadro 12.

Estes elevados valores para estas classes de uso do solo não chegam a corresponder a 1% no aumento em área nas respectivas bacias, o mesmo valendo para a classe de uso do solo reservatórios.

Entretanto, é válido destacar o registro de aumento das áreas de espelho d'água nas bacias monitoradas, tendo possíveis relações com o aumento das áreas irrigadas ao longo das bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, sendo que não houve a identificação de nenhuma grande barragem para este fim, sendo que há uma barragem de extenso espelho d'água, utilizada para fins de disposição de rejeitos de mineração, localizada dentro dos limites no município de Paracatu/MG.

Neste sentido, o aumento identificado para este uso do solo é caracterizado por pequenas barragens provavelmente utilizadas como reservatórios utilizados para alimentação de sistemas de irrigação, principalmente, pivô-central.

Contudo, as classes de uso do solo que tiveram mudanças mais expressivas em média foram: urbanização, cultivo, cerrado, mata, pasto e reservatórios, respectivamente. Os mapas de mudanças do uso do solo para cada área de drenagem das estações fluviométricas estudadas encontram-se no Apêndice B.

No Quadro 13 são apresentados os valores, em km², das mudanças ocorridas no uso do solo para as oito áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas por este estudo, do período de 1985 a 2000.

A classe de uso do solo mata obteve para a área da Fazenda Limeira uma redução de sua área de cobertura de 6,41%, por outro lado, a área de drenagem da estação Fazenda Resfriado registrou um aumento de 68,99% das áreas deste tipo de cobertura, contabilizando um crescimento de 91,53 km² para o período de 1985 a 2000.

Quadro 13. Valores de áreas e diferenças (km²), assim como variações percentuais para as áreas ocupadas pelos diferentes tipos de usos do solo nas áreas de drenagem das oito estações fluviométricas no período de 1985 e 2000.

Estações fluviométricas	Classe de uso do solo											
	Mata				Cerrado				Pasto			
	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença.	Δ (%)
Faz. B. da Égua	620,55	694,13	+73,58	+11,86	635,23	332,55	-302,68	-47,65	176,21	97,22	-78,99	-44,83
Faz. Poções	242,62	263,11	+20,49	+8,45	238,52	110,91	-127,61	-53,50	34,62	17,77	-16,85	-48,67
Faz. Limeira	646,71	605,27	-41,44	-6,41	2.151,24	1.584,14	-567,1	-26,36	213,10	183,69	-29,41	-13,80
Unai	1.048,79	1.199,02	+150,23	+14,32	2.725,14	1.956,59	-768,55	-28,20	525,69	379,30	-146,39	-27,85
Sto. Ant. do Boq.	1.157,42	1.388,03	+230,61	+19,92	2907,86	2.098,80	-809,06	-27,82	721,01	474,46	-246,55	-34,20
Faz. Resfriado	132,67	224,20	+91,53	+68,99	228,21	198,52	-29,69	-13,01	201,59	84,98	-116,61	-57,85
Faz. Sta. Cruz	115,28	183,18	+67,9	+58,90	231,96	215,43	-16,53	-7,13	96,71	66,27	-30,44	-31,48
Porto dos Poções	2.145,75	2.822,55	+676,80	+31,54	4.345,67	1.122,84	-3.222,83	-74,16	1.351,88	1.798,90	+447,02	+33,07

Estações fluviométricas	Classe de uso do solo											
	Cultivo				Urbanização				Reservatório			
	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença	Δ (%)
Faz. B. da Égua	154,68	461,09	+306,41	+198,09	-	-	-	-	4,33	6,01	+1,68	+38,80
Faz. Poções	33,55	157,50	+123,95	+369,45	-	-	-	-	0,69	0,71	+0,02	+2,90
Faz. Limeira	1.118,24	1.744,31	+626,07	+55,99	19,76	27,63	+7,87	+39,83	14,95	18,96	+4,01	+26,82
Unai	1.072,11	1.821,54	+749,43	+69,90	25,48	36,34	+10,86	+42,62	15,79	20,21	+4,42	+27,99
Sto. Ant. do Boq.	1.134,83	1.944,08	+809,25	+71,31	25,48	36,34	+10,86	+42,62	16,40	21,29	+4,89	+29,82
Faz. Resfriado	116,24	169,80	+53,56	+46,08	-	-	-	-	0,29	1,50	+1,21	+417,24
Faz. Sta. Cruz	105,12	84,15	-20,97	-19,95	-	-	-	-	0,93	0,97	+0,04	+4,30
Porto dos Poções	1.567,56	3.639,75	+2.072,19	+132,19	25,51	36,38	+10,87	+42,61	22,63	38,58	+15,95	+70,48

* Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto.

O uso do solo cerrado apresentou reduções para todas as áreas de drenagem, com uma menor redução para a área da estação fluviométrica Fazenda Santa Cruz, com 7,13%. Entretanto, para a área da estação Porto dos Poções foi registrado uma redução de 74,16% das áreas de cobertura de cerrado, contabilizando um total de 3.222,83 km². Esta informação retrata como a expansão da fronteira agrícola, aliada a outros tipos de usos do solo vêm alterando significativamente a paisagem da região.

Com relação à classe de uso do solo pasto houve o registro de uma maior redução deste tipo de uso do solo, na área de drenagem da estação Fazenda Resfriado, com 57,85%, com um total de 116,61 km². Entretanto, para a área de drenagem da estação Porto dos Poções houve a identificação de aumento desta cobertura, na taxa 33,07%, para o período de 1985 a 2000, com um total de 447,02 km².

Para a classe de uso do solo cultivo houve a identificação de redução de sua área de cobertura para a área de drenagem da estação Fazenda Santa Cruz, à uma taxa de 19,95%, contabilizando um total de redução de 20,97 km². Entretanto, há que se destacar que para as áreas de drenagem das estações Fazenda Barra da Égua e Fazenda Poções foram registradas as maiores variações percentuais para o aumento das áreas de cultivo, ou seja, para estas áreas de drenagem houve uma maior expansão das áreas de cultivo, com percentuais de 198,09% e 369,45%, respectivamente.

Este resultado comprova mais uma vez o que Rodriguez (2004) havia identificado, ou seja, que a área de drenagem do ribeirão Entre Ribeiros está sofrendo com conflitos de uso da água, devido à expansão da agricultura irrigada.

A classe de uso do solo urbanização obteve aumento para todas as áreas de drenagem, obtendo para a área de drenagem da estação fluviométrica Porto dos Poções um maior aumento registrado para o período monitorado, chegando a 10,87 km².

No mesmo sentido, houve aumento para todas as áreas de drenagem da classe de uso do solo reservatórios, sobretudo acompanhado pelo aumento das áreas irrigadas. Assim, registrou-se como um crescimento pouco expressivo deste uso do solo para a área de drenagem da estação Fazenda Santa Cruz, com a taxa de 4,30%. Este fato pode estar relacionado com a diminuição de áreas de cultivo nesta bacia.

Por outro lado, houve um crescimento relativo de 417,24% para a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Resfriado. Na área de drenagem da estação Porto dos Poções, que compreende cerca de 92% da área de drenagem do rio Preto, houve um aumento das áreas de reservatórios da ordem de 70,48% para o período, o que refletiu especialmente em um aumento de 15,95 km².

4.2. Análise do comportamento das variáveis hidrológicas

Para o período selecionado neste estudo houve a necessidade de preenchimento de falhas apenas para a série de vazões mínimas de sete dias consecutivos (Q_7). As equações usadas no preenchimento são apresentadas no Apêndice C.

Os testes de estacionariedade nas séries de vazões e precipitações apresentaram resultados de comportamento de séries estacionárias ao nível de 1% de probabilidade, ou seja, as séries não apresentaram alterações de seu comportamento ao longo do tempo entre 1985 a 2000.

No Quadro 14 observam-se as significâncias e tendências obtidas pelas variáveis hidrológicas referentes às vazões e precipitações, ao longo do período de 1985 a 2000, para cada estação fluviométrica utilizada no estudo.

Quadro 14 - Significância e tendências observadas para vazões e precipitações nas estações fluviométricas utilizadas no período entre 1985 a 2000

Estações fluviométricas	Significâncias (%) e Tendências (↑↓) ao longo do tempo para as variáveis hidrológicas							
	Q_{max}	Q_{med}	Q_7	Q_{90}	Q_{95}	Pa	Pmc	Pms
Fazenda Barra da Égua	85,2 ↓	81,3 ↓	93,1 ↓	87,3 ↓	88,3 ↓	86,3 ↓	93,9 ↓	66,4 ↑
Fazenda Poções	94,1 ↓	54,5 ↓	86,8 ↓	79,7 ↓	76,3 ↓	94,9 ↓	97,4 ↓	89,0 ↓
Fazenda Limeira	81,7 ↓	94,7 ↓	98,6 ↓	97,7 ↓	98,1 ↓	74,1 ↓	96,3 ↓	83,4 ↑
Unai	91,4 ↓	92,5 ↓	97,9 ↓	97,0 ↓	97,5 ↓	76,8 ↓	95,1 ↓	81,2 ↑
Santo Antônio do Boqueirão	83,6 ↓	93,0 ↓	96,4 ↓	95,6 ↓	96,2 ↓	78,3 ↓	94,8 ↓	93,1 ↑
Fazenda Resfriado	55,7 ↑	78,1 ↓	98,1 ↓	94,9 ↓	95,6 ↓	82,2 ↓	91,4 ↓	52,6 ↑
Fazenda Santa Cruz	61,4 ↓	98,0 ↓	99,0 ↓	99,3 ↓	99,3 ↓	74,3 ↓	88,8 ↓	97,1 ↑
Porto dos Poções	80,8 ↓	89,9 ↓	95,7 ↓	90,5 ↓	92,9 ↓	81,8 ↓	95,2 ↓	77,7 ↑
Média	79,2	85,2	95,7	92,7	93,0	81,1	94,1	80,1

↑: Crescimento; ↓: Diminuição

Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto

Verifica-se que a tendência obtida pela vazão máxima (Q_{max}), nas estações fluviométricas monitoradas neste estudo, retrata um comportamento de redução ao longo do período de 1985 a 2000 para todas as estações, exceto para a estação Fazenda Resfriado, onde constatou-se a tendência de crescimento desta variável ao longo do tempo.

Esta tendência de redução para a vazão máxima é justificada pela redução da precipitação do mês mais chuvoso (Pmc), para a área de drenagem das estações fluviométricas.

Entretanto, para a área de drenagem da estação Fazenda Resfriado há uma inversão desta tendência quando comparadas com as demais. Neste caso, a variável

precipitação do mês mais chuvoso (P_{mc}) não é associativa ao comportamento obtido pela vazão máxima, devido às incongruências entre as tendências apresentadas.

As vazões médias obtiveram tendências de redução ao longo do período analisado para todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas. Este resultado pode ser associado ao comportamento da tendência da variável hidrológica precipitação anual (P_a), que também apresentou tendências de redução para o mesmo período.

As vazões mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) obtiveram tendências de redução para o período analisado para todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas. Porém, estas tendências não podem ser atribuídas à precipitação do mês mais seco (P_{ms}), pois esta precipitação obteve tendência de aumento ao longo do mesmo período, exceto para a área de drenagem da estação Fazenda Poções. Vale ressaltar que este tipo de precipitação (P_{ms}) não gera escoamento superficial, pois é de baixo volume e intensidade para este tipo climático.

Assim, a única precipitação que possui condições de associação entre redução das vazões mínimas é a precipitação anual (P_a), que também obteve tendências de redução ao longo do período de analisado, para todas as áreas de drenagem das estações monitoradas.

A variável hidrológica vazão máxima (Q_{max}) obteve significância média para todas as estações fluviométricas de 79,2%, conforme é visualizado no Quadro 12. Porém, quando analisadas separadamente por estações, observa-se que para as estações localizadas na área de drenagem da bacia do ribeirão Entre Ribeiros, respectivamente, as estações Fazenda Barra da Água e Fazenda Poções, permaneceram entre os maiores índices de significância dentre as analisadas.

Na vazão média (Q_{med}) foi identificada a significância média para todas as estações fluviométricas de 85,2%, ou seja, o impacto da redução da precipitação anual (P_a), juntamente com aqueles advindos do uso do solo, reduziu a vazão média nestas estações, demonstrando resultados com elevada expressividade ao longo do período de 1985 a 2000.

Para todas as vazões mínimas monitoradas por este estudo houve elevada taxa de significância com valores acima de 90%. Assim, no período entre 1985 a 2000, as vazões que tiveram modificações mais expressivas ao longo do tempo foram as vazões mínimas, devido ao aumento de área irrigada, o que provavelmente ocasionou uma redução ainda maior na disponibilidade hídrica nestas áreas de drenagem.

Neste contexto, observa-se que para as vazões estudadas neste trabalho as significâncias médias das vazões mínimas foram superiores as das vazões máxima e

média, refletindo um maior impacto de redução das vazões mínimas ao longo do período entre 1985 a 2000.

Na Figura 20 apresentam-se os resultados do coeficiente β_1 para as vazões das oito áreas de drenagem das estações fluviométricas selecionadas.

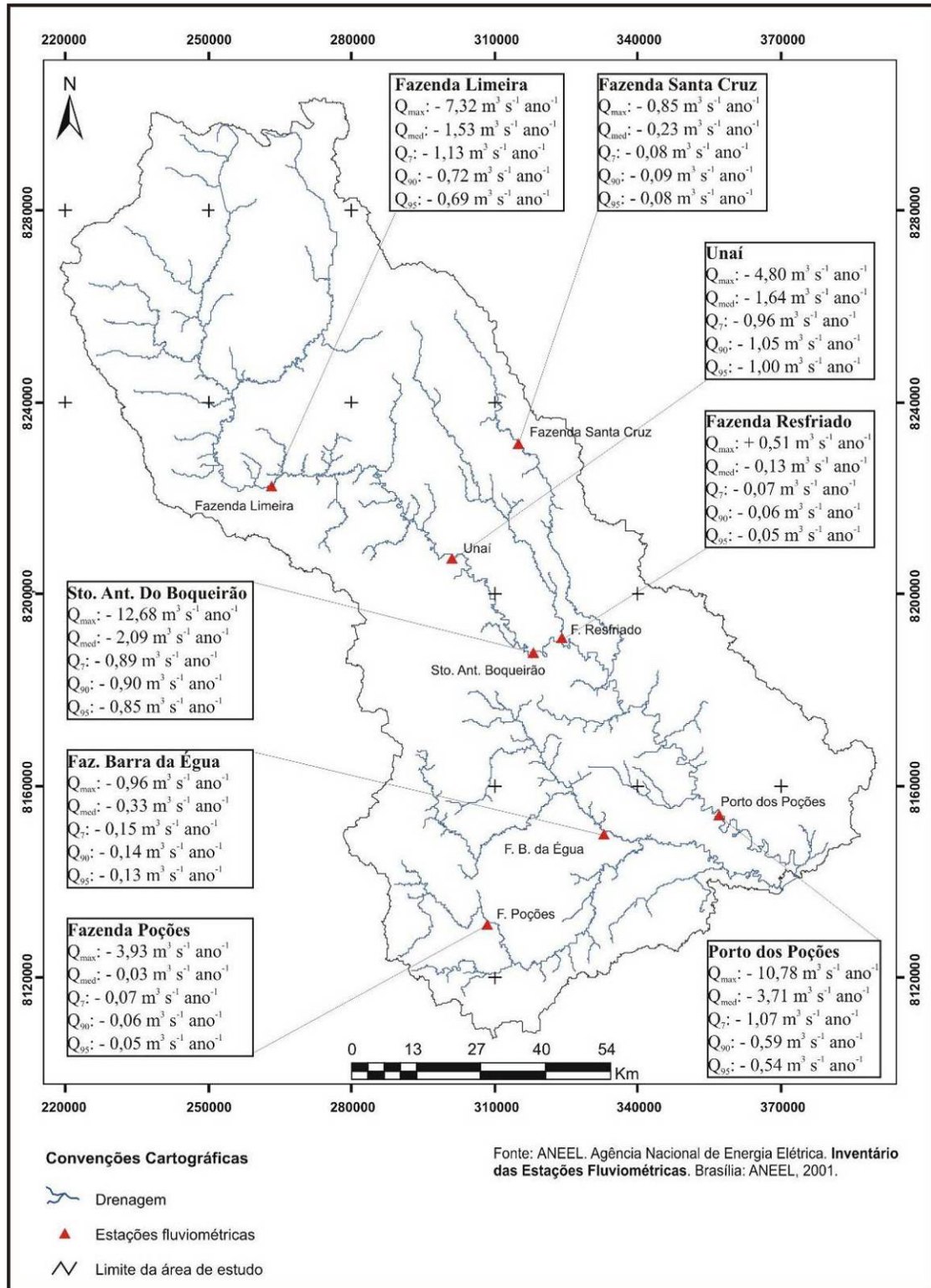


Figura 20. Comportamento das vazões das oito estações fluviométricas no período de 1985 a 2000, por meio do β_1 das equações de regressões lineares simples estimadas.

Deste modo, observa-se na Figura 20 que as maiores reduções ao longo do tempo das vazões máximas, ocorreram na bacia do rio Preto, na estação fluviométrica Santo Antônio do Boqueirão, com $12,68 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, provavelmente devido ao aumento da classe de uso do solo reservatórios, com a taxa de 29,82% (Quadro 13).

Quando analisadas as informações para vazões médias observa-se que para a estação fluviométrica Porto dos Poções, houve a maior redução ao longo do tempo com o valor de $3,71 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Os valores de β_1 das vazões mínimas Q_7 , Q_{90} e Q_{95} foram divididos pela área de drenagem das respectivas estações fluviométricas (Quadro 10), sendo obtidos os valores das reduções em vazões específicas, conforme visualiza-se no Quadro 15.

Quadro 15 - Reduções do coeficiente β_1 para as vazões específicas mínimas no período entre 1985 a 2000

Estações fluviométricas	Reduções para as vazões específicas ($\text{L s}^{-1} \text{ ano}^{-1} \text{ km}^2$)		
	q_7	q_{90}	q_{95}
Fazenda Barra da Égua	0,09	0,09	0,08
Fazenda Poções	0,13	0,11	0,09
Fazenda Limeira	0,27	0,17	0,16
Unai	0,18	0,19	0,18
Santo Antônio do Boqueirão	0,15	0,15	0,14
Fazenda Resfriado	0,10	0,09	0,07
Fazenda Santa Cruz	0,16	0,16	0,15
Porto dos Poções	0,11	0,06	0,05

Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto

Assim, verifica-se que de maneira geral as vazões mínimas específicas q_7 obtiveram maiores reduções quando comparadas com as vazões específicas q_{90} e q_{95} . Da mesma maneira, a q_{90} obteve maiores reduções quando comparadas com a q_{95} para o período analisado.

A área de drenagem que sofreu maiores reduções para a q_7 foi a estação fluviométrica Fazenda Limeira, bem como estando dentre as maiores reduções para a q_{90} e q_{95} .

Desta forma, obtiveram as maiores reduções para as vazões mínimas específicas as estações fluviométricas Fazenda Limeira, Unai, Fazenda Santa Cruz e Santo Antônio do Boqueirão.

Visualizam-se, por meio da Figura 21, os resultados do coeficiente β_1 para a precipitação média anual (Pa), precipitação do mês mais chuvoso (Pmc) e precipitação

do mês mais seco (Pms) observadas nas oito áreas de drenagem das estações fluviométricas selecionadas.

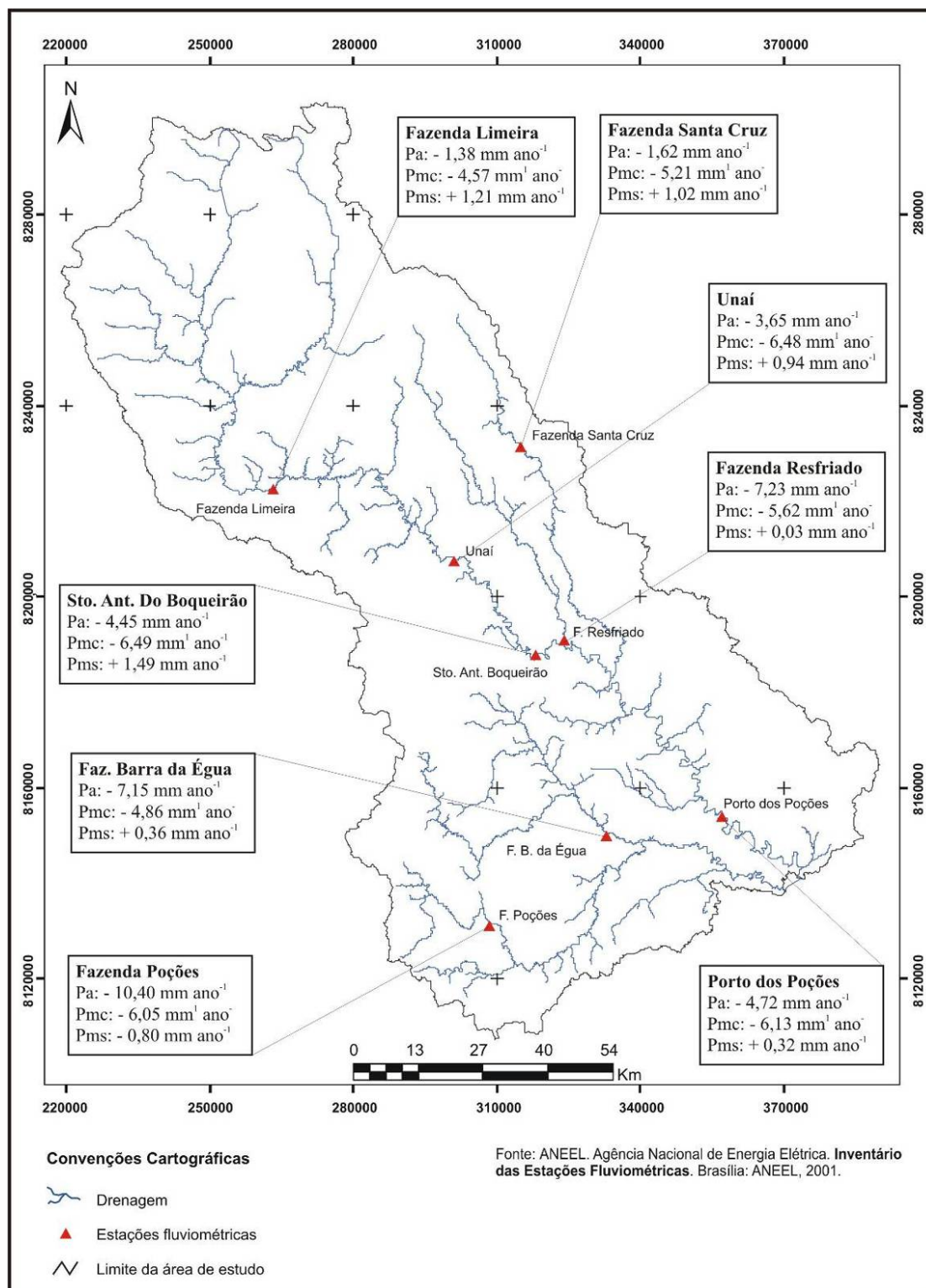


Figura 21. Comportamento das precipitações das oito estações fluviométricas no período de 1985 a 2000, por meio do β_1 das equações de regressões lineares simples estimadas.

Com relação às precipitações observa-se significância acima de 80% (Quadro 14) para todas elas, o que mostra que sua redução ou aumento possui uma elevada expressividade ao longo do período. Neste caso, a precipitação do mês mais chuvoso apresentou resultado mais expressivo quando comparada aos outros tipos de precipitações monitoradas, chegando a um valor de 94,1% em média.

No Quadro 16 apresentam-se os resultados referentes às médias de reduções para a precipitação média anual (Pa) e precipitação do mês mais chuvoso (Pmc), bem como as médias de crescimento da precipitação do mês mais seco, nas áreas de drenagem das seções fluviométricas monitoradas localizadas nas duas bacias.

Quadro 16 - Médias das variações nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros no período entre 1985 a 2000

Bacias monitoradas	Médias das variações obtidas por bacia (mm ano⁻¹)		
	Pa	Pmc	Pms
Rio Preto	-3,84	-5,75	+0,83
Ribeirão Entre Ribeiros	-8,77	-5,45	-0,22

Deste modo, observa-se que para a precipitação média anual (Pa) houve uma maior redução para as áreas de drenagem das estações fluviométricas localizadas na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, com valor de 8,77 mm ano⁻¹ quando comparadas às estações da bacia do rio Preto sendo obtido o valor de 3,84 mm ano⁻¹.

Neste mesmo período houve uma maior redução média da precipitação do mês mais chuvoso (Pmc), para as estações localizadas na bacia do rio Preto, com valor de 5,75 mm ano⁻¹, registrando-se valores de até 6,49 mm ano⁻¹ para a área de drenagem da estação Santo Antônio do Boqueirão (Figura 21).

Com relação aos resultados obtidos, por meio do monitoramento da precipitação do mês mais seco (Pms), nas áreas de drenagem das oito estações fluviométricas, localizadas nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, houve uma diferenciação no comportamento para as duas bacias citadas.

A única área de drenagem onde houve redução da Pms ao longo do tempo foi a área da estação fluviométrica Fazenda Poções, com valor de 0,80 mm ano⁻¹ (Figura 21). Neste sentido, no momento de realização da média entre as estações por bacias hidrográficas, a bacia do ribeirão Entre Ribeiros obteve uma redução média 0,22 mm ano⁻¹, conforme é apresentado no Quadro 16.

Entretanto, para a bacia do rio Preto a média de aumento da Pms foi de 0,83 mm ano⁻¹, registrando-se valores de 1,49 mm ano⁻¹ para a área de drenagem da estação fluviométrica Santo Antônio do Boqueirão (Figura 21).

Nota-se que mesmo para a precipitação do mês mais seco (Pms), com tendência de comportamento de elevação, este aumento não foi suficiente para que houvesse alterações para aumento das vazões mínimas Q_7 , Q_{90} e Q_{95} , o que comprova que o uso consuntivo de água pelo aumento da agricultura na área de estudo, bem como, para o consumo para abastecimento humano têm influenciado nas reduções destas vazões.

Com relação às precipitações média anual (Pa) e do mês mais chuvoso (Pmc), houve uma coerência quando relacionadas com os dados de vazões média e máxima, ou seja, a redução da precipitação média anual e precipitação do mês mais chuvoso certamente teve influência para que estas vazões acompanhassem esta redução, visto que, a precipitação é o principal meio de entrada de água nas bacias monitoradas.

4.3. Associações entre modificações no uso do solo e comportamento hidrológico

Neste estudo de associação entre modificações no uso do solo e comportamento hidrológico destas bacias, não participaram das análises as classes de uso do solo reservatórios e urbanização, pelo fato de não serem espacialmente representativas em ambas as bacias, não chegando a representar 1% das mesmas.

4.3.1. Vazões máximas

O comportamento observado ao longo do período de análise deste trabalho, compreendido entre 1985 a 2000, evidencia um decréscimo nas vazões máximas para todas as estações fluviométricas monitoradas neste estudo, exceto para a estação Fazenda Resfriado.

O comportamento de redução da vazão máxima está associado à redução da precipitação do mês mais chuvoso (Pmc), pois o comportamento da Pmc também foi de redução ao longo do tempo. Entretanto, a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Resfriado não pode ser incluída nesta associação, pois a Pmc teve uma redução ao longo do tempo, sendo que a vazão máxima teve uma tendência de crescimento neste mesmo período.

Assim, supõe-se como provável causa para este comportamento que com o aumento das áreas de cobertura de cultivo sobre áreas de pasto e cerrado, reduziu-se a cobertura do solo às ações da água da chuva.

Outra hipótese levantada para a explicação deste fenômeno é que se o total precipitado ao longo do mês mais chuvoso tenha sido concentrado em alguns dias, o efeito da substituição da cobertura do solo trará sérias consequências ao comportamento

hidrológico da bacia, podendo até mesmo a tendência do comportamento da vazão aumentar em função de tendências de precipitações estarem diminuindo.

Para este período a classe de uso do solo mata consegue ser explicativa para a associação do comportamento da vazão máxima para todas as estações, exceto para as estações fluviométricas Fazenda Limeira e Fazenda Resfriado.

Porém, o comportamento esperado só não foi observado para as duas estações anteriormente citadas, onde ocorreram reduções na vazão máxima com diminuição da cobertura de mata para a área de drenagem da estação Fazenda Limeira e aumento das vazões máximas com o aumento da cobertura de mata para a área de drenagem da estação Fazenda Resfriado.

Nesta última, mesmo com a diminuição da precipitação do mês mais chuvoso (Pmc) e aumento das áreas com cobertura de mata a vazão máxima aumentou, sustentando a hipótese de que a Pmc tenha sido concentrada em alguns dias do mês.

Com relação à classe de uso do solo cerrado foi constatado que sua tendência de comportamento foi de redução em todas as áreas de drenagem das oito estações fluviométricas avaliadas neste trabalho.

Deste modo, esperaria-se um aumento das vazões máximas nas estações, devido à substituição desta classe de uso do solo por áreas de cultivo, principalmente. No entanto, para o período analisado apenas a estação Fazenda Resfriado foi associativa ao comportamento da vazão máxima associado ao uso do solo cerrado.

Nas demais áreas de drenagem das estações monitoradas, o comportamento de redução das áreas de cerrado e aumento da vazão máxima não é justificado, mas sim devido à redução da precipitação do mês mais chuvoso nestas áreas de drenagem.

A classe de uso do solo pasto apresentou tendência de redução de sua área de cobertura ao longo do tempo em todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas estudadas, exceto para a área da estação Porto dos Poções.

Com a redução das áreas de cobertura de pasto por coberturas de áreas de mata, sobretudo, esperava-se uma redução das vazões máximas observadas nas estações fluviométricas, devido à maior cobertura do solo pela mata, aumentando a interceptação da água da chuva pela cobertura vegetal mais densa e possibilitando, com isto, maiores taxas de infiltração de água no solo.

Entretanto, no período de 1985 a 2000 o comportamento da vazão máxima pode ser explicado por meio da associação com o uso do solo pasto, exceto para as estações Fazenda Limeira e Fazenda Resfriado, pois para a primeira estação foi constatada a redução de pasto e a redução de mata, com redução da vazão máxima. Neste sentido, a

redução de pasto não está associada à redução da vazão máxima, sendo a mais provável causa para este comportamento a redução da precipitação do mês mais chuvoso (Pmc).

Já para a área de drenagem da estação Fazenda Resfriado foi constatada a substituição de pasto por áreas de mata, porém o comportamento da tendência observada para a vazão máxima não teve redução ao longo do período de análise e sim de aumento. Este aumento de vazão máxima pode estar relacionado com as formas de precipitação na bacia, devido, sobretudo pela sua intensidade.

Finalmente, para a classe de uso do solo cultivo houve a tendência de aumento em sua área de cobertura ao longo do tempo, para todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas estudadas.

Neste período, o comportamento da vazão máxima não pode ser associado ao uso do solo cultivo, pois com o aumento deste tipo de uso em detrimento, principalmente, de cerrado e por vezes por mata, causaria um aumento na vazão máxima observada nas estações avaliadas, sendo que o comportamento das vazões máximas observadas não expressam esse aumento, exceto para a seção Fazenda Resfriado.

Desta forma, existe uma associação qualitativa constatada somente para a estação fluviométrica Fazenda Resfriado, onde a diminuição das áreas de cerrado acarretou um comportamento de aumento na tendência das vazões máximas para esta estação fluviométrica.

Neste contexto, o principal fator atuante para que as vazões máximas observadas neste período diminuíssem foi a redução da Pmc, que teve um comportamento de diminuição ao longo do tempo para todas as áreas de drenagem das estações monitoradas, com significância média de 94,1%.

Com isto, as variáveis que estão associadas qualitativamente com as vazões máximas observadas para as áreas de drenagem das oito estações fluviométricas avaliadas neste trabalho foram: a precipitação do mês mais chuvoso (Pmc), áreas de coberturas de mata e pasto, obtendo as significâncias de 94,1%, 90,7% e 72,3%, respectivamente.

Assim, observa-se a maior influência do fator climático no comportamento do regime hidrológico das vazões máximas observadas para o período de 1985 a 2000, sendo em seguida, mais influenciadas pelas classes de usos do solo mata e pasto.

Com base no diagrama de relações causais do comportamento das vazões máximas, ajustaram-se equações a partir da metodologia de regressão linear múltipla, na tentativa de associar as vazões máximas observadas às diversas classes de usos do solo.

Um fator muito importante a ser ressaltado é com relação aos sinais dos coeficientes das variáveis. Para o ajuste das equações de regressão linear múltipla foram observados, de acordo com os diagramas de relações causais, os sinais positivo ou negativo.

Assim, as variáveis que sempre irão possuir sinais positivos, são: precipitação do mês mais chuvoso (Pmc), cultivo e pasto; sendo que a variável mata sempre receberá sinais negativos, quando associados aos ajustes para as vazões máximas.

Com isto, para o aumento de Pmc mantendo as outras variáveis constantes, o valor da variável dependente vazão terá um comportamento de aumento. Com o aumento da variável cultivo, mantendo as outras constantes, a vazão terá um comportamento de aumento, assim como para a variável pasto.

Esta adoção foi necessária para que o ajuste das equações do Quadro 17 pudesse ficar “hidrologicamente consistente”, ou seja, possuindo um comportamento hidrológico condizente com uma determinada situação esperada, conforme é descrito por meio dos diagramas de relações causais.

Porém, para a variável mata sempre haverá o acompanhamento do sinal negativo, pois com o aumento desta variável, há uma tendência de uma maior possibilidade de infiltração das águas da chuva e uma maior rugosidade no terreno, propiciando, desta forma, uma redução do escoamento superficial.

No Quadro 17 podem ser observadas as equações ajustadas para cada uma das oito estações fluviométricas monitoradas neste estudo e as significâncias obtidas para cada uma das variáveis explicativas do comportamento da vazão máxima.

Deste modo, observa-se que em apenas quatro estações fluviométricas ajustaram-se equações com R^2 satisfatórios, sendo as estações fluviométricas Fazenda Limeira, Unaí, Santo Antônio do Boqueirão e Fazenda Santa Cruz.

Para as demais estações: Fazenda Barra da Égua, Fazenda Poções, Fazenda Resfriado e Porto dos Poções não foram obtidas equações com coeficientes de determinação satisfatórios, sendo que para esta última nem foi obtido ajuste.

Para se chegar a cada equação apresentada por meio do Quadro 17 foram testadas aproximadamente de 12 a 15 combinações entre as variáveis explicativas, sendo a presença da precipitação uma constante em todas estas combinações.

Além deste fato, observa-se que as principais variáveis que conseguiram explicar a variável dependente (Q_{max}) nas equações ajustadas foram: a precipitação do mês mais chuvoso (P_{mc}), mata (M), cultivo (Cul) e pasto (P), sendo que esta última variável foi apenas utilizada para o ajuste para a estação fluviométrica Fazenda Santa Cruz.

Em seis das oito estações fluviométricas monitoradas: Fazenda Barra da Égua, Fazenda Limeira, Unaí, Santo Antônio do Boqueirão, Fazenda Resfriado e Fazenda Santa Cruz foram registradas maiores significâncias para os coeficientes para a variável precipitação do mês mais chuvoso (P_{mc}), logo depois pelas variáveis cultivo, mata e pasto, respectivamente.

Deste modo, é notório o controle climático sobre a associação do regime de vazões máximas observadas na área de estudo, pois as maiores significâncias na maioria das estações estão associadas a esta variável, devido à alta significância da variável P_{mc} ao longo do período analisado.

Desta forma, a tendência de comportamento da vazão máxima acompanhou a tendência obtida pela precipitação do mês mais chuvoso ao longo do período analisado, mesmo tendo sido observadas altas significâncias para variáveis cuja resposta esperada fosse para o sentido ao contrário, ou seja, o aumento das áreas de cultivo não influenciou no aumento das vazões máximas observadas.

A classe de uso do solo mata obteve uma significância média de 77,02% nas equações ajustadas, bem como a presença em todos os ajustes realizados, o que auxiliou na redução do comportamento das vazões máximas observadas para as áreas de drenagem das estações monitoradas, devido ao potencial aumento da evapotranspiração.

Quadro 17 - Equações ajustadas para a vazão máxima por estação fluviométrica no período de 1985 a 2000

Estação	Equação ajustada	R ² (%)	Sign(a) (%)	Variáveis *	Sign(b) dos coeficientes (%)
42435000	$Q_{\max} = 48,87 + 0,1027P_{\text{pmc}} - 0,02765M$	44,16	82,59	Pmc, M	73,48 62,26
42440000	$Q_{\max} = 324,223 - 0,9698M + 0,0151P_{\text{pmc}}$	13,40	35,07	M, Pmc	78,10 52,46
42460000	$Q_{\max} = - 774,648 + 1,4101P_{\text{pmc}} + 0,3673C_{\text{cul}} - 0,0374M$	75,54	94,53	Pmc, Cul, M	99,29 93,39 53,64
42490000	$Q_{\max} = 546,137 + 0,4339P_{\text{pmc}} - 0,3605M + 0,04623C_{\text{cul}}$	69,89	77,14	Pmc, M, Cul	93,15 91,89 64,63
42540000	$Q_{\max} = 206,695 + 2,2949P_{\text{pmc}} + 0,3983C_{\text{cul}} - 0,6214M$	88,65	99,15	Pmc, Cul, M	99,91 96,07 92,71
42545500	$Q_{\max} = 13,41 + 0,1198P_{\text{pmc}} + 0,5633C_{\text{cul}} - 0,3435M$	53,34	62,21	Pmc, Cul, M	89,32 88,43 73,35
42546000	$Q_{\max} = 52,85 + 1,3022C_{\text{cul}} + 0,2794P_{\text{pmc}} - 0,3759M + 0,1986P$	94,94	99,26	Cul, Pmc, M, P	99,90 99,70 87,21 79,89
42600000	-	-	-	-	- - - -

Sign(a): Significância da equação pelo teste F; Sign(b): Significância dos coeficientes dos parâmetros pelo teste t

* Pmc - Precipitação do mês mais chuvoso, M - Mata, C - Cerrado, Cul - Cultivo e P - Pasto

- Sem ajuste

42435000 – Fazenda Barra da Égua

42440000 – Fazenda Poções

42460000 – Fazenda Limeira

42490000 – Unaí

42540000 – Santo Antônio do Boqueirão

42545500 – Fazenda Resfriado

42546000 – Fazenda Santa Cruz

42600000 – Porto dos Poções

4.3.2. Vazões mínimas

No período de 1985 a 2000 o comportamento das tendências para todas as vazões mínimas das estações fluviométricas avaliadas neste trabalho (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}), foi de redução (Quadro 16).

Observa-se ainda que a média das significâncias das tendências para o período analisado foram de 95,7%, 92,7% e 93,0%, respectivamente para a Q_7 , Q_{90} e Q_{95} , chegando a valores de 99,0%, 99,3% e 99,3% na área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Santa Cruz. Assim, constata-se que a estação Fazenda Santa Cruz foi a seção fluviométrica que obteve as maiores reduções expressivas para as vazões mínimas dentre todas as demais estações monitoradas por este estudo.

O comportamento de redução das vazões mínimas está associado à redução da precipitação média anual (P_a), pois foi observado que o comportamento da mesma também foi de redução ao longo do período de análise para as áreas de drenagem de todas as estações fluviométricas, com significância média de 81,1%, atingindo valores de 94,9% para a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Poções.

Quando analisados os dados de cobertura da classe de uso do solo mata, apenas a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Limeira obteve comportamento condizente, pois com a diminuição desta classe de uso do solo na área de drenagem desta estação, esperaria-se uma redução também das vazões mínimas Q_7 , Q_{90} e Q_{95} . Enquanto para as outras estações monitoradas neste trabalho os valores de cobertura de mata elevaram-se e os valores das vazões mínimas reduziram-se, refletindo um comportamento não condizente apoiado pelas análises de relações causais.

Assim, com o crescimento de áreas de cobertura por mata, algumas vezes por veredas, principalmente sobre áreas de pasto, esperaria-se um aumento das vazões mínimas, devido ao fato da maior possibilidade de infiltração de água no solo e, conseqüente, re-alimentação do aquífero subterrâneo, alimentando desta forma as vazões em tempo de estiagem.

Neste sentido, observa-se que qualitativamente a classe de uso do solo mata não associa-se para a explicação da redução das vazões mínimas, exceto para a estação Fazenda Limeira.

A classe de uso do solo cerrado obteve comportamento ao longo da série histórica de dados, obtendo significância média de 97,1%, chegando a valores de 99,9% para a área de drenagem da estação fluviométrica Porto dos Poções, que representa cerca de 91,99% da área de drenagem da bacia do rio Preto.

Conforme dados analisados anteriormente para as tendências das diversas classes de usos do solo, houve uma maior substituição desta classe por cobertura de uso agrícola.

Assim, o uso do solo cerrado é explicativo para o comportamento das vazões mínimas estudadas neste trabalho para todas as estações fluviométricas, pois com a substituição das áreas de cobertura desta classe de uso do solo para áreas de cultivo, principalmente, esperaria-se uma redução destas vazões, devido à maior exposição do solo às ações das águas das chuvas, aumentando assim o escoamento superficial e selamento superficial e conseqüente redução da vazão mínima.

Com relação à classe de uso do solo pasto observou-se uma tendência de redução de sua cobertura em todas as estações fluviométricas avaliadas durante o período de 1985 a 2000, exceto para a área de drenagem da estação fluviométrica Porto dos Poções onde apresentou comportamento de elevação ao longo do tempo.

Esta redução deve-se ao fato do avanço das áreas de mata sob áreas de pasto. Porém, este quadro não é válido para as áreas de drenagem das estações Fazenda Limeira e Porto dos Poções, sendo que na primeira ambos os usos do solo pasto e mata tiveram um comportamento de queda, sendo o principal responsável por essa redução o crescimento das áreas de cultivo. Já para a área da estação Porto dos Poções houve a tendência de crescimento da área de cobertura de pasto ao longo do período analisado, divergindo das demais áreas de drenagens de estações fluviométricas.

Neste sentido, a classe de uso do solo pasto não consegue explicar, por meio de uma análise qualitativa a associação entre reduções nas vazões mínimas para as estações monitoradas, exceto para as estações Fazenda Limeira e Porto dos Poções.

Pois, devido à substituição de pasto por mata na maioria dos casos encontrados, esperaria-se um aumento das vazões mínimas, devido ao aumento da interceptação vegetal e conseqüente aumento de taxas de infiltração, alimentando os aquíferos subterrâneos e reduzindo-se o escoamento superficial.

Entretanto, para a área de drenagem da estação Fazenda Limeira houve a diminuição das áreas de pasto e mata, sendo substituídas pelo uso do solo cultivo, o que diminui a eficiência da interceptação das águas da chuva pela cobertura vegetal, devido a menores taxas de cobertura do solo, possibilitando desta forma, a redução das vazões mínimas. Para a área de drenagem da estação Porto dos Poções mesmo tendo sido observado o crescimento de áreas de cobertura de pasto, o que contribui para a redução das vazões mínimas, há uma discordância, pois também há o aumento da cobertura de mata.

O que explica a redução das vazões mínimas para esta área de drenagem é que a única classe de uso do solo que reduziu-se ao longo do tempo foi o cerrado, ou seja, como todas as oito bacias de estações fluviométricas estão inseridas no bioma do cerrado, a redução deste tipo de vegetação que é a natural da região, influenciou significativamente a redução das vazões mínimas, aliado com a redução da precipitação média anual ao longo do período analisado e aumento de áreas de cultivo.

Finalmente, para a classe de uso do solo cultivo observou-se um crescimento das áreas de sua cobertura para todas as áreas de drenagem para as oito estações fluviométricas monitoradas neste trabalho.

Com o crescimento das áreas de cultivo principalmente sob áreas de cerrado é de se esperar um comportamento de redução das vazões mínimas, pois com esta substituição, além da redução da eficiência na interceptação pela cobertura vegetal às ações das águas da chuva, e conseqüente redução da infiltração de água no solo, o uso de água por irrigação para atendimento da nova demanda para suprimento das lavouras, reduz a disponibilidade de água na bacia principalmente em tempos de estiagem.

Desta forma, é associativo o comportamento obtido por esta classe de uso do solo para a redução das vazões mínimas em todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas.

Este fato trás à tona a realidade da área em estudo, pois devido a este crescimento acelerado das áreas de cultivo nas áreas de drenagem das estações fluviométricas causam conflitos de uso deste recurso, evidenciando problemas de disponibilidade de água para atendimento da demanda dos usuários conforme citado por Rodriguez (2004).

Desta forma, as variáveis que estão associadas qualitativamente com as vazões mínimas observadas Q_7 , Q_{90} e Q_{95} para todas as oito estações fluviométricas monitoradas neste trabalho, foram: a precipitação média anual (P_a), áreas de coberturas das classes de uso do solo cerrado e cultivo, obtendo as significâncias médias de 81,1%, 97,1% e 97,5%, respectivamente, conforme é observado por meio do Quadro 14.

Assim, observa-se que as maiores significâncias obtidas para a associação com a redução das vazões mínimas observadas são das áreas de cultivo e cerrado, respectivamente, sendo em seguida mais influenciadas pela precipitação média anual. Isto reflete que as classes de uso do solo cultivo e cerrado contribuem expressivamente para a redução das vazões mínimas na área de estudo, seguidas pela precipitação média anual.

Com base no diagrama de relações causais para o comportamento das vazões mínimas, ajustaram-se equações a partir da metodologia de regressão linear múltipla, para a tentativa de associação entre as vazões mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) observadas e as diversas classes de usos do solo.

No Quadro 18 podem ser observadas as equações ajustadas para a Q_7 , para cada uma das oito estações fluviométricas monitoradas neste estudo, bem como as significâncias obtidas para cada uma das equações e variáveis explicativas para a associação do comportamento desta vazão.

Observa-se no Quadro 18 que seis estações fluviométricas: Fazenda Poções, Fazenda Limeira, Unai, Santo Antônio do Boqueirão, Fazenda Resfriado e Fazenda Santa Cruz apresentaram equações com R^2 satisfatórios, ou seja, valores iguais ou superiores a 0,70. Porém, as demais estações fluviométricas (Fazenda Barra da Égua e Porto dos Poções) não apresentaram equações com coeficientes de determinação satisfatórios.

Além deste fato, observa-se que as principais variáveis que conseguiram explicar a variável dependente (Q_7) nas equações ajustadas foram: a precipitação do mês mais seco (Pms), precipitação média anual (Pa), mata (M), cerrado (C), cultivo (Cul) e pasto (P), sendo que esta última variável apenas influenciou no ajuste para as estações fluviométricas Fazenda Resfriado e Porto dos Poções.

Nota-se que para as associações quantitativas a variável que possui maior significância média dentre as equações ajustadas foi a mata, com o valor de 89,81% (Quadro 12), além do fato de sempre estar em todos os ajustes. Isto demonstra que existe uma significativa associação entre o uso do solo mata e o comportamento da Q_7 .

Neste sentido, comprova-se que, quantitativamente, que o aumento da área de cobertura de mata influenciou, junto com as demais variáveis, para a redução da Q_7 nas bacias das estações fluviométricas estudadas. Além da regeneração deste tipo de uso do solo em vários locais da área de estudo, o que aumentaria as taxas de evapotranspiração, comprova-se por meio de visitas a campo, extensas expansões da cultura de eucalipto, o que compromete a recarga do lençol freático e que retiram água deste ao longo de todo o ano.

Este comportamento é enfatizado pelo fato desta cultura não ser adaptada ao clima do local, ou seja, a maioria das espécies arbóreas da região são dos tipos: caducifólias ou sub-caducifólias, espécies de clima tropical, sendo o eucalipto uma espécie arbórea ombrófila, ou seja, que mantêm-se verde ao longo de todo ano, sem que haja perda de folhas para reduzir a evapotranspiração em períodos de estiagem.

Assim, a tendência do comportamento de redução da Q_7 foi mais associativa com o comportamento da tendência de crescimento do uso do solo mata e cultivo, pois o registro da redução da Q_7 pode estar associado às taxas de evapotranspiração da mata e maiores exposições do solo às ações das águas das chuvas no uso cultivo.

A quantidade de água evapotranspirada faz com que a bacia perca água para a atmosfera, minimizando desta forma, a principal fonte de alimentação de vazões no período de estiagem, sendo que até por esse motivo, os sinais da variável mata sempre estarão negativos quando associados às vazões mínimas.

Entretanto, as variáveis cultivo e cerrado registraram significâncias médias para as equações ajustadas de 78,49% e 73,48%, respectivamente. A variável cultivo esteve presente em 50% das equações ajustadas, sendo que a variável cerrado, em cinco das oito equações.

A classe de uso do solo cerrado, em associação com a classe de uso cultivo, é uma das grandes responsáveis pelo decréscimo ocorrido em todas as vazões mínimas monitoradas nas oito estações fluviométricas, devido à expansão da agricultura irrigada na bacia. O avanço de áreas de cultivo sob áreas de cerrado proporcionou uma maior exposição do solo às ações das águas das chuvas. Com isto, em épocas de estiagem, quando registra-se as vazões mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) espera-se uma tendência de redução para estas vazões.

Um fator de relevância a ser exposto é o fato da presença de dois tipos de precipitações nas equações, sendo a precipitação média anual (Pa) e a precipitação do mês mais seco (Pms). Das oito equações ajustadas, em apenas duas houve a presença da Pa, sendo que as demais houve o melhor ajuste para a Pms.

A maior presença da Pms (75%) nos ajustes era esperada, pois o mês que registra a Pms é o mesmo mês que há o registro das vazões mínimas, assim, conclui-se que estes dados possuem uma alta correlação. Mas por força de ajuste, por meio da observação dos sinais deste coeficiente, as estações fluviométricas Unai e Santo Antônio do Boqueirão receberam a variável Pa, pois caso contrário a precipitação teria um sinal negativo.

Com relação às vazões Q_{90} e Q_{95} as equações ajustadas podem ser visualizadas por meio dos Quadros 19 e 20, para cada uma das oito estações fluviométricas monitoradas neste estudo, bem como as significâncias obtidas para cada equação e variáveis explicativas para a associação do comportamento destas vazões.

Quadro 19 - Equações ajustadas para a Q_{90} por estação fluviométrica no período de 1985 a 2000

Estação	Equação ajustada	R ² (%)	Sign(a) (%)	Variáveis *	Sign(b) dos coeficientes (%)			
42435000	$Q_{90} = 3,0701 + 0,0004814Pa - 0,00001759P$	0,41	> 99	Pa, P	55,71	50,00		
42440000	$Q_{90} = 6,3114 - 0,01729M - 0,01249P + 0,02375Pms$	69,61	87,98	M, P, Pms	93,14	89,80	89,32	
42460000	$Q_{90} = 3,7812 - 0,05279M + 0,03244C + 0,02408Pms - 0,003193Cul$	90,22	97,32	M, C, Pms, Cul	99,00	98,87	64,42	63,09
42490000	$Q_{90} = 57,37 - 0,04748M + 0,009710Pa + 0,004003C - 0,002265Cul$	93,94	98,94	M, Pa, C, Cul	99,81	96,05	81,46	67,33
42540000	$Q_{90} = 77,61 - 0,04527M - 0,005662P + 0,004838Pa + 0,0009884C$	82,53	91,92	M, P, Pa, C	97,75	77,63	75,04	56,53
42545500	$Q_{90} = 7,8438 - 0,02041M - 0,01075P + 0,01914Pms$	76,72	95,14	M, P, Pms	99,45	98,00	76,82	
42546000	$Q_{90} = 2,8221 - 0,007522M + 0,002029C + 0,0003044Pa - 0,001885Cul$	69,58	71,11	M, C, Pa, Cul	77,47	65,39	64,00	62,97
42600000	$Q_{90} = 105,442 - 0,02341M - 0,009034P + 0,003805Pms$	51,31	72,86	M, P, Pms	95,21	72,13	50,63	

Sign(a): Significância da equação pelo teste F; Sign(b): Significância dos coeficientes dos parâmetros pelo teste t

* Pms - Precipitação do mês mais seco, Pa - Precipitação anual, M - Mata, C - Cerrado, Cul - Cultivo e P - Pasto

42435000 – Fazenda Barra da Égua

42440000 – Fazenda Poções

42460000 – Fazenda Limeira

42490000 – Unaf

42540000 – Santo Antônio do Boqueirão

42545500 – Fazenda Resfriado

42546000 – Fazenda Santa Cruz

42600000 – Porto dos Poções

Quadro 20 - Equações ajustadas para a Q_{95} por estação fluviométrica no período de 1985 a 2000

Estação	Equação ajustada	R ² (%)	Sign(a) (%)	Variáveis *	Sign(b) dos coeficientes (%)			
42435000	$Q_{95} = 2,9024 + 0,0003506Pa - 0,0002039P$	0,30	> 99	Pa, P	54,39	51,21		
42440000	$Q_{95} = 5,2815 - 0,01413M - 0,01127P + 0,01999Pms$	69,78	85,08	M, P, Pms	91,21	89,50	87,60	
42460000	$Q_{95} = 7,6424 - 0,05059M + 0,03014C - 0,005347Cul + 0,02680Pms$	90,21	97,31	M, C, Cul, Pms	98,97	98,72	71,57	66,43
42490000	$Q_{95} = 53,69 - 0,04220M + 0,008433Pa + 0,003248C - 0,003086Cul$	93,91	98,93	M, Pa, C, Cul	99,80	95,66	79,20	74,76
42540000	$Q_{95} = 71,85 - 0,04294M - 0,004740P + 0,003778Pa + 0,001509C$	84,65	93,66	M, P, Pa, C	98,11	76,28	72,40	61,03
42545500	$Q_{95} = 7,2770 - 0,01992M - 0,009737P + 0,02395Pms$	77,28	95,42	M, P, Pms	99,52	97,73	82,99	
42546000	$Q_{95} = 2,7887 - 0,007216M - 0,002516Cul + 0,0002481Pa + 0,001438C$	71,75	80,58	M, Cul, Pa, C	81,37	70,74	64,26	63,77
42600000	$Q_{95} = 95,97 - 0,0284M - 0,009192P + 0,015009Pms$	52,91	95,42	M, P, Pms	95,49	75,24	52,87	

Sign(a): Significância da equação pelo teste F; Sign(b): Significância dos coeficientes dos parâmetros pelo teste t

* Pms - Precipitação do mês mais seco, Pa - Precipitação anual, M - Mata, C - Cerrado, Cul - Cultivo e P - Pasto

42435000 – Fazenda Barra da Égua

42540000 – Santo Antônio do Boqueirão

42440000 – Fazenda Poções

42545500 – Fazenda Resfriado

42460000 – Fazenda Limeira

42546000 – Fazenda Santa Cruz

42490000 – Unai

42600000 – Porto dos Poções

Deste modo, observa-se por meio dos Quadros 19 e 20 que seis estações fluviométricas: Fazenda Poções, Fazenda Limeira, Unaí, Santo Antônio do Boqueirão, Fazenda Resfriado e Fazenda Santa Cruz apresentaram equações com R^2 satisfatórios.

Porém, as demais estações fluviométricas (Fazenda Barra da Égua e Porto dos Poções) não apresentaram equações com coeficientes de determinação satisfatórios, registrando 0,41% e 51,31% e 0,30% e 52,91%, respectivamente para Q_{90} e Q_{95} .

Observa-se que as principais variáveis que conseguiram explicar as variáveis dependentes Q_{90} e Q_{95} nas equações ajustadas foram a precipitação do mês mais seco (Pms), precipitação média anual (Pa), mata (M), cerrado (C), cultivo (Cul) e pasto (P), sendo que para esta última variável, ao contrário da Q_7 , observou-se uma maior presença nas equações, bem como maiores significâncias.

Nota-se que a variável que possui maior significância média dentre as equações ajustadas na análise quantitativa foi a mata, com o valor de 94,55% e 94,92%, respectivamente para a Q_{90} e Q_{95} , além do fato de sempre estar em todos os ajustes, exceto para a estação Fazenda Barra da Égua. Isto demonstra que existe uma significativa associação entre o uso do solo mata e o comportamento das vazões observadas.

Neste sentido, a tendência do comportamento de redução destas vazões, assim como da Q_7 , é associativa por meio da análise quantitativa, com o comportamento da tendência de crescimento do uso do solo mata.

Os usos do solo cerrado e cultivo são uns dos responsáveis pelo decréscimo ocorrido nas vazões mínimas Q_{90} e Q_{95} , monitoradas nas oito estações fluviométricas. Esta influência é percebida por meio das significâncias médias obtidas por estes usos do solo, que foram de 75,56% e 75,68%, respectivamente.

Finalmente, a classe de uso do solo pasto foi de maior representatividade para a Q_{90} e Q_{95} , quando comparadas à Q_7 , pois das oito equações ajustadas em cinco esta variável esteve presente, com uma significância média de 77,51% e 77,99% para Q_{90} e Q_{95} , respectivamente.

É válido ressaltar que o sinal adotado para o pasto nas vazões mínimas foi negativo, pois com o comportamento desta classe ao longo dos anos de 1985 a 2000 foi de redução, principalmente para áreas de mata. Desta forma, espera-se uma tendência de redução das vazões mínimas Q_{90} e Q_{95} devido a um maior potencial de evapotranspiração.

Contudo, há uma associação entre as vazões mínimas monitoradas neste trabalho com as variáveis precipitação do mês mais seco (Pms), precipitação anual (Pa), mata,

cerrado, cultivo e pasto, conforme o tipo de vazão e estação fluviométrica. Entretanto, de uma maneira geral as variáveis mata, pasto e Pms obtiveram melhores significâncias do que cerrado e cultivo, na associação com as vazões mínimas nas bacias em estudo. Vale destacar que as classes de uso do solo cerrado e cultivo também influenciam significativamente os ajustes das equações.

4.3.3. Vazões médias

No período de 1985 a 2000 o comportamento das tendências para todas as vazões médias das estações fluviométricas monitoradas neste trabalho foi de redução. A significância média de redução das vazões médias para as áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas foi de 85,2%, atingindo valores acima de 90% nas áreas de drenagem das estações Fazenda Limeira, Unaí, Santo Antônio do Boqueirão, Fazenda Santa Cruz e Porto dos Poções.

O comportamento de redução das vazões médias foi acompanhado e está associado à redução da precipitação anual (Pa), pois o comportamento da mesma também foi de redução ao longo do período de análise para as áreas de drenagem de todas as oito estações fluviométricas.

Entretanto, a significância média para a redução da precipitação média anual foi de 81,1%, chegando a valores de 94,9% para a área de drenagem da estação Fazenda Poções.

Quando analisados os dados de cobertura da classe de uso do solo mata, apenas a estação Fazenda Limeira não obteve comportamento condizente quando associados às vazões médias, sendo que para as demais estações fluviométricas registrou-se comportamento condizente com as tendências das vazões médias observadas.

O aumento da área de cobertura da classe de uso do solo mata para as áreas de drenagem das demais estações, esperaria-se uma diminuição para as vazões médias, devido a maiores taxas de evapotranspiração e, conseqüentemente, menores taxas de escoamento superficial.

Assim, com o crescimento de áreas de mata, principalmente sobre áreas de pasto esperaria-se uma diminuição das vazões médias, devido ao fato da maior possibilidade de infiltração de água no solo.

Neste sentido, observa-se que qualitativamente a classe de uso do solo mata associa-se para a explicação das vazões médias, exceto para a estação Fazenda Limeira.

Esta associação também foi encontrada por Bruijnzeel (1990) onde observou-se aumento da vazão média com a retirada da vegetação nativa para bacias com área menor

do que 1km². Entretanto, para bacias com maiores extensões houve a observação de uma redução da vazão média com o incremento de vegetação nativa, o que é explicado segundo o aumento de evapotranspiração. Esta mesma associação foi encontrada por Costa e Foley (1997) e Costa (2003).

Já com relação à classe de uso do solo cerrado houve a tendência em seu comportamento de redução de sua área de cobertura em todas as áreas de drenagem das oito estações fluviométricas monitoradas. Com isto, esperava-se um aumento das vazões médias observadas para as estações fluviométricas, pois a classe de uso do solo que o substituiu, na maioria das vezes, foi a classe de uso do solo cultivado configurando-se, neste sentido, em menor eficiência à proteção ao solo, menor rugosidade aerodinâmica e menores taxas de evapotranspiração, aumentando desta forma, as vazões médias Costa e Foley (1997) e Costa (2003).

Aliado a este fato, também contribui para a redução das vazões médias a tendência de redução no comportamento da precipitação média anual.

Entretanto, o que se observou foi que mesmo com a redução do cerrado em detrimento, principalmente para áreas de cultivo, não houve aumento das vazões médias observadas para as estações monitoradas.

Assim, a classe de uso do solo cerrado não é associativa qualitativamente com os dados observados para as vazões médias das estações fluviométricas avaliadas neste trabalho.

A classe de uso do solo pasto possui a tendência de redução de sua área de cobertura para todas as estações fluviométricas monitoradas, exceto para a área de drenagem da estação Porto dos Poções. Entretanto, as significâncias destas reduções quando comparadas com as demais classes de uso do solo, está relativamente baixa, com média de 72,3%, enquanto para as demais obteve-se média acima de 90%.

Com a redução da área de cobertura da classe de uso do solo pasto principalmente por áreas de mata, esperaria-se uma diminuição para as vazões médias, devido à maior cobertura do solo, maiores taxas de infiltração, maiores taxas de evapotranspiração Costa e Foley (1997).

Neste sentido, observa-se que qualitativamente a classe de uso do solo pasto associa-se com os comportamentos observados para as vazões médias das estações Fazenda Barra da Égua, Fazenda Poções, Unaí, Santo Antônio do Boqueirão, Fazenda Resfriado e Fazenda Santa Cruz.

Já para as estações Fazenda Limeira e Porto dos Poções não houve comportamento associativo entre vazões médias e a classe de uso do solo pasto, pois na

primeira, houve a redução das áreas de pasto, mata e cerrado com crescimento apenas para a classe cultivo, o que resultaria em um aumento da vazão média na mesma. Já para a estação Porto dos Poções houve apenas a redução da classe cerrado, o que resultaria em um aumento das demais, causando um aumento das vazões médias.

Finalmente, a classe de uso do solo cultivo apresentou tendências de crescimento de sua área de cobertura para todas as estações fluviométricas utilizadas neste trabalho no período de 1985 a 2000.

Com o crescimento das áreas de cultivo principalmente sobre áreas de cerrado, era de se esperar um aumento nas vazões médias para as estações fluviométricas, pois com a substituição de cerrado por cultivo, a interceptação das águas da chuva pela cobertura vegetal tenderia a reduzir-se, haveria a tendência de aumento do escoamento superficial e diminuição da evapotranspiração.

Neste sentido, nenhuma associação entre o uso do solo cultivo e vazões médias foi observada nas oito estações em estudo, pois todas apresentaram comportamentos de redução da vazão média com crescimento das áreas de cultivo. Entretanto, um fator preponderante nesta não associação foi que, neste mesmo período, a precipitação média anual também reduziu, aliado ao crescimento das áreas de mata, o que contribuiu para a redução das vazões médias observadas.

Desta forma, as variáveis que estão associadas, qualitativamente, com as vazões médias observadas para a maioria das estações fluviométricas monitoradas neste trabalho foram: a precipitação média anual, as áreas de coberturas das classes de uso do solo mata e pasto.

Com base no diagrama de relações causais para o comportamento das vazões médias, ajustaram-se equações a partir da metodologia de regressão linear múltipla, para a tentativa de associação entre as vazões médias diárias anuais observadas (Q_{med}) e as diversas classes de usos do solo.

Deste modo, por meio do Quadro 21 podem ser observadas as equações ajustadas para a Q_{med} , para cada uma das oito estações fluviométricas monitoradas neste estudo, observando-se também as significâncias obtidas para cada uma das equações e variáveis explicativas para a associação do comportamento desta vazão.

Observa-se no Quadro 21 que apenas três estações fluviométricas (Unaí, Santo Antônio do Boqueirão e Fazenda Resfriado) apresentaram equações com R^2 satisfatórios.

Quadro 21 - Equações ajustadas para a Q_{med} por estação fluviométrica no período de 1985 a 2000

Estação	Equação ajustada	R ² (%)	Sign(a) (%)	Variáveis *	Sign(b) dos coeficientes (%)			
42435000	$Q_{med} = 19,02 - 0,01708M + 0,004014Pa$	14,15	36,74	M, Pa	73,48	64,38		
42440000	-	-	-	-	-	-	-	-
42460000	$Q_{med} = 82,71 + 0,03108Pa - 0,06707M - 0,02309Cul$	58,30	80,87	Pa, M, Cul	93,60	91,59	86,26	
42490000	$Q_{med} = 96,79 + 0,04319Pa - 0,08127M$	91,60	99,94	Pa, M	99,94	99,94		
42540000	$Q_{med} = 109,109 + 0,05406Pa - 0,09704M + 0,008275Cul$	77,75	95,64	Pa, M, Cul	98,36	97,86	68,83	
42545500	$Q_{med} = 4,584 - 0,07325M + 0,06339Cul + 0,0050Pa$	80,79	96,94	M, Cul, Pa	99,28	99,38	98,20	
42546000	$Q_{med} = 10,80 + 0,005897Pa - 0,05352M - 0,02197C$	47,07	67,38	Pa, M, C	94,99	90,75	89,20	
42600000	$Q_{med} = 561,236 - 0,1831M - 0,03006C + 0,03896P + 0,009488Pa$	58,16	64,64	M, C, P, Pa	85,74	74,33	71,47	54,35

Sign(a): Significância da equação pelo teste F; Sign(b): Significância dos coeficientes dos parâmetros pelo teste t

* Pa - Precipitação anual, M - Mata, C - Cerrado, Cul - Cultivo e P - Pasto

- Sem ajuste

42435000 – Fazenda Barra da Égua 42540000 – Santo Antônio do Boqueirão

42440000 – Fazenda Poções 42545500 – Fazenda Resfriado

42460000 – Fazenda Limeira 42546000 – Fazenda Santa Cruz

42490000 – Unafí 42600000 – Porto dos Poções

As demais estações (Fazenda Barra da Égua, Fazenda Poções, Fazenda Limeira, Fazenda Santa Cruz e Porto dos Poções) não apresentaram estações com coeficientes de determinação satisfatórios, sendo que a estação Fazenda Poções não obteve nenhum ajuste devido aos sinais dos coeficientes.

Das três estações com ajustes satisfatórios as variáveis explicativas foram: precipitação anual (Pa), mata (M) e cultivo (Cul), sendo que para todas as equações obtidas a classe de uso do solo mata sempre esteve presente como variável explicativa.

Nota-se que a variável que possui maior significância média dentre as equações ajustadas na análise quantitativa foi a variável mata, com o valor de 91,23%. Isto demonstra que existe uma significativa associação entre o uso do solo mata e o comportamento da Q_{med} .

Neste sentido, a tendência do comportamento de redução da Q_{med} é associativa, por meio das equações ajustadas, com o comportamento da tendência de crescimento do uso do solo mata, pois a redução da Q_{med} pode estar associada conforme já salientado por Costa e Foley (1997) e Bruijnzeel (1990).

As variáveis de precipitação anual, cerrado e cultivo registraram significâncias médias para as equações ajustadas de 86,26%, 81,76% e 84,82%, respectivamente.

Um fator que deve ser ressaltado é que sempre o sinal do coeficiente da precipitação anual (Pa) terá um comportamento positivo, pois caso aumente o valor de precipitação a vazão média tenderá também ter um crescimento. As variáveis mata e cerrado terão os sinais negativos e para cultivo e pasto positivos.

Com isto, ajustam-se equações “hidrologicamente consistentes”, pois com o aumento de mata e cerrado espera-se redução para a vazão média, pois estes usos auxiliam o potencial para evapotranspiração. Porém, os usos cultivo e pasto, possuem menor cobertura do solo quando comparados aos outros usos mapeados, favorecendo, deste modo, o aumento das vazões médias.

Assim, as principais responsáveis pela associação com os dados de vazões médias nas oito estações fluviométricas foram as variáveis precipitação anual (Pa) e mata (M) que tiveram comportamento de redução ao longo do período analisado e aumento da área de cobertura, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Com a base nos resultados obtidos neste trabalho chegou-se às seguintes conclusões:

- As classes de usos do solo que tiveram tendências de crescimento ao longo do período analisado foram: mata, cultivo, urbanização e reservatórios. Por outro lado, as classes de usos do solo que tiveram tendências de redução neste mesmo período foram cerrado e pasto;
- Ao longo do período analisado o aumento das áreas de cobertura de cultivo ocorreu, principalmente, em substituição ao cerrado;
- Os comportamentos das variáveis hidrológicas vazões máxima, mínimas e média, assim como a precipitação anual e a do mês mais chuvoso tiveram tendências gerais de redução ao longo do período analisado. Apenas a precipitação do mês mais seco obteve tendência geral de aumento neste mesmo período;
- Na análise qualitativa, as reduções nas vazões máximas foram mais sensíveis à redução da precipitação do mês mais chuvoso ao longo da série e ao aumento de áreas de mata. Nas vazões mínimas associaram-se as variáveis precipitação anual, cerrado e cultivo. Sendo que para as vazões médias associaram precipitação anual, mata e pasto;
- Na análise quantitativa houve as seguintes associações: às vazões máximas as variáveis de precipitação do mês mais chuvoso, mata e cultivo; às vazões mínimas as variáveis de precipitação do mês mais seco, precipitação anual, mata, cerrado e cultivo; e às vazões médias as variáveis de precipitação anual, mata e cultivo;
- Em uma visão geral, a análise quantitativa conseguiu identificar associações entre as mudanças do uso do solo e comportamento hidrológico, com um maior número de variáveis do que a análise qualitativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 64 p. (Edição comemorativa do Dia Mundial da Água), 2002.

_____. **Aspectos gerais da região: diagnóstico da bacia**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Bacias/Sfrancisco/Planos/Paracatu/introdcacao.htm>>. Acesso em: 08 Set. 2005.

_____. **Sistema de Informações Hidrológicas - HidroWeb**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 17 Set. 2005.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Inventário das Estações Fluviométricas**. Brasília: ANEEL, 2001.

BLASCHKE, T. e KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**. Oficina de textos: São Paulo, 2005.

BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS; Governo do estado. DISTRITO FEDERAL. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu – PLANPAR**. [S. l.]: 1996. Vol. 1, T. 1. (CD-ROM).

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. [S. l.]: MMA/ SRH, 1997.

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review**. IHP. IAHS, UNESCO, 224p., 1990.

_____. **Predicting the hydrological impacts of tropical forest conversion: The need for integrated research**. Journal of Hydrology, 1996.

CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. **Plano de recursos hídricos para a bacia do rio São Francisco**. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004.

_____. Disponível em: <<http://www.cbhsaofrancisco.org.br>>. Acesso em: 11 Jan. 2006

CODEVASF – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE SÃO FRANCISCO. **Os vales: vale do São Francisco apresenta características de identificação, solos, vegetação, recursos hídricos, potencial energético e irrigação.** Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br>>. Acesso em: 03 abr. 2003.

COSTA, M. H. & FOLEY, J. A. **The water balance of the Amazon basin: dependence on vegetation cover and canopy conductance.** Journal of Geophysical Research-Atmospheres 102, 23973–23989, 1997.

COSTA, M. H., BOTTA, A. and CARDILLE, J. A. **Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia.** Journal of Hydrology, 2003.

COSTA, M. H. Large-scale hydrological impacts of tropical forest conversion. In: BONELL, M. and BRUIJNZEEL, L.A. (Eds.). **Forest–Water–People in the Humid Tropics.** Cambridge University Press, Cambridge, (in press), 2003.

COUTINHO, A. C. **Segmentação e classificação de imagens Landsat - TM para o mapeamento dos usos da terra na região de campinas, SP.** São Paulo: USP, 1997.

CUNHA, L.V. da. **Perspectivas da gestão da água para o século XXI: desafios e oportunidades.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, p. 65-73, 2002.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. **Levantamento de áreas irrigadas na bacia do rio Paracatu/MG.** 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Projeto Brasil em Relevo: Dados SRTM compatíveis com as escalas do IBGE.** Campinas, 2005. Disponível em:<<http://www.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em : 29 Set. 2005.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS v. 9.0.** Help on Line. Redlands, Califórnia: ESRI, 2004.

FEDOROV, D., FONSECA, L. M. G., CASTEJON, E. F., KENNEY, C. e MANJUNATH, B. S. **Software Regeemy 0.2.42.** São José dos Campos: DPI/INPE/Universidade da Califórnia, 2005. Disponível em: <<http://regima.dpi.inpe.br>>.

FERREIRA, P. A. e EUCLYDES, H. P. **Recursos hídricos e tecnologia necessária aos projetos hidroagrícolas: bacia do Paracatu.** Viçosa, MG: UFV/DEA, 200 p., 1997.

FREITAS, A. J. Gestão de Recursos Hídricos. In: SILVA, D. D. e PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais.** Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 659 p.

GARRIDO, R.J.S. Subprojeto 4.2B – Avaliação dos mecanismos financeiros para o gerenciamento sustentável da bacia do rio São Francisco. In: _____. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco.** Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 335 p. (Relatório Final).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa populacional para 01/07/2005: considerações**. Brasília: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16/01/2006.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2 ed., n.º 7, 2006.

_____. **Censos Agropecuários**. Brasília: IBGE, 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING - Apostila teórica do curso de Classificação de Imagens Digitais**. São José dos Campos: INPE, 2004.

_____. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. SPRING v. 4.2**. São José dos Campos: INPE/DPI, 2005.

_____. DGI. Divisão de Geração de Imagens. **Características técnicas de imagens dos sensores Landsat 5 TM e 7 ETM +**. Cachoeira Paulista: INPE/DGI, 2006. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 07 Jan. 2006.

LANDIS, J. R. e KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v.33, n.1, 159-174p. 1977.

LANNA, A.E.L. **Gerenciamento da bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

MACHADO, P. J. O. **Uma Proposta de Zoneamento Ambiental Para a Bacia Hidrográfica da Represa de São Pedro – Juiz de Fora/MG**. Presidente Prudente: UNESP, 1998 (Dissertação de Mestrado).

MASCARENHAS, N. D. A. e VELASCO, F. R. D. **Processamento Digital de Imagens**. São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística, USP, 1984. In: MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicações**. Viçosa: UFV, 250p., 2005.

MENDES, C. A. B. **Gestão de recursos hídricos: bacias dos rios Mundaú e Paraíba**. *Revista Sociedade e Natureza*. Uberlândia, Ano 3, n.º 5/6, p. 53-58, jan./dez, 1991.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicações**. Viçosa: UFV, 250p., 2005.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 2006. (Tese de Mestrado)

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 3ª Ed., 2003.

NOVO, E.M.L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blücher, 3ª ed., 308p., 1999.

PEREIRA, S. B. **Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 2004, 125p. (Tese de Doutorado)

PRUSKI, F. F., PEREIRA, S. B., NOVAES, L. F., SILVA, D. D. e RAMOS, M. M. **Comportamento hidrológico na foz do rio São Francisco durante período de 1950 a 1999**. Viçosa: Engenharia na Agricultura, v. 13, n. 2, 118-123, 2005.

REBOUÇAS, A.C., BRAGA, B., TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999. 717 p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para a Estimativa das Demandas e Disponibilidades Hídricas: Estudo de Caso da Bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 2004, 111 p. (Tese de Mestrado).

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: UFU, 1990.

SAHIN, M. J. & HALL, M. J. **The Effects of afforestation and deforestation on water yields**. Journal of Hydrology, 1178, 239-309p., 1996.

SCHIEWE, J. e TUFTE, L. O potencial de procedimentos baseados em regiões para a avaliação integrada de dados de SIG e Sensoriamento Remoto. In: BLASCHKE, T. e KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. São Paulo Oficina de Textos, cap. 5, 51-60, 2005.

SETTI, A. A. Legislação para o uso dos recursos hídricos. In: SILVA, D. D. e PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 659 p.

SHARMA, R. H. e SHAKYA, N. M. **Hydrological changes and its impact on water resources of Bagmati watershed, Nepal**. Journal of Hydrology, 11.051, 315-322, 2006.

SILVA, D. D. e RAMOS, M. M. **Curso de especialização por tutoria a distância: uso racional dos recursos naturais e seus reflexos no meio ambiente – Módulo 10. Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos**. Brasília: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, DEA, 2001. 89 p.

SOARES, V. P. **Apostila teórica sobre Classificação de Imagens Digitais (material didático) – ENF 610 (Sensoriamento Remoto)**. Viçosa: DEF/UFV, 27p., 2004.

SWAIN, P. H. e DAVIS, S. M. **Remote Sensing: The Quantitative**. New York: McGraw-Hill, 1978.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS e ABRH, 1997.

_____. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. UFRGS e ABRH, 1998.

_____. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. In: TUCCI, C. E. M. e BRAGA, B. (org.). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: Ed. UFRGS e ABRH, 2003.

VALE DO SÃO FRANCISCO. Economia – Potencialidade apresenta informações sobre qualidade e quantidade de águas, solos para irrigação, hidroeletricidade e navegação. Disponível em: <<http://www.valedosaofrancisco.com.br>>. Acesso em: 24 abr. 2003.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.