



ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

www.ambi-agua.net

E-mail: ambi-agua@agro.unitau.br

Tel.: (12) 3625-4212



## **Modelagem do balanço hídrico em povoamentos de eucalipto sob diferentes manejos como auxílio ao gerenciamento do impacto hidrológico da atividade**

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.810>)

**Rosane Barbosa Lopes Cavalcante<sup>1</sup>; Carlos André Bulhões Mendes<sup>2</sup>.**

Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS, Porto Alegre,

<sup>1</sup>e-mail: rosanecavalcante@gmail.com; <sup>2</sup>e-mail: mendes@iph.ufrgs.br

### **RESUMO**

A busca de informações que possibilitem a incorporação das variáveis ambientais nos modelos de gestão florestal é um desafio atual. Para atingi-lo é importante conhecer os processos e componentes que atuam de forma efetiva no balanço de água. Neste contexto, o presente artigo visa estimar o impacto hidrológico de plantações de eucalipto e sua relação com as formas de manejo, a fim de identificar variáveis que auxiliem na integração do planejamento florestal e de recursos hídricos. Para tanto, utilizou-se um modelo de balanço hídrico simplificado que considerasse diferentes características do povoamento florestal para estimar a vazão resultante de diferentes manejos em uma bacia em Eldorado do Sul, RS. O índice de área foliar apresentou-se como um importante descritor do dossel florestal estando diretamente relacionado com a produção de água pela bacia. A vazão média ao longo da rotação obtida pelos diferentes manejos variou de 493 mm.ano<sup>-1</sup> a 792 mm.ano<sup>-1</sup>. A grande variação na vazão anual resultante enfatiza a necessidade da integração do gerenciamento dos recursos florestais com os recursos hídricos.

**Palavras-chave:** eucalipto; impacto hidrológico; manejo de plantações florestais; índice de área foliar.

### **Modeling the water balance in eucalyptus stands under different managements as an aid to the hydrological impact management**

### **ABSTRACT**

The search for information that allows the incorporation of environmental variables in the forest management models is a current challenge. In this context, this article aimed to estimate the hydrological impact of eucalyptus plantations and its relation with management practices, considering a case study in Rio Grande do Sul, Brazil. Variables that may assist in the integration of forest planning and water resources were identified based on the results. A simplified water balance model was used, considering different forest stand characteristics to estimate the discharge resulting from different management practices. The leaf area index was presented as an important descriptor of the forest canopy and it is directly related to the production of water in the watershed. The average flow obtained by different managements ranged from 493 mm.yr<sup>-1</sup> to 792 mm.yr<sup>-1</sup>. The wide variation in annual discharge enhanced the need to integrate the management of forest resources and water resources.

**Keywords:** Eucalyptus; hydrological impact; management; leaf area index.

## 1. INTRODUÇÃO

As altas taxas de crescimento do eucalipto e de outras espécies são normalmente acompanhadas de um alto uso dos recursos naturais locais, levantando questões sobre os impactos ecológicos de sua plantação em larga escala, em especial quanto ao consumo de água. No Rio Grande do Sul, a expansão da silvicultura foi acompanhada de discussões acaloradas sobre seus impactos ambientais (Binkowski, 2009), o que culminou no zoneamento ambiental da atividade (Rio Grande do Sul, 2010). A área com florestas plantadas apenas de eucalipto no estado cresceu 81,6% no período de 2004 a 2008, atingindo 277mil ha (ABRAF, 2009).

Diversos estudos apontam para a necessidade de considerar a possibilidade real de uma redução da vazão das bacias devido à mudança de cobertura vegetal de pequeno para maior porte (Lima e Zákia, 2006; Bruijnzeel, 1990; Brown et al., 2005; Tucci e Clarke, 1998). Muitos fatores são responsáveis por esta redução no deflúvio, entre os quais o aumento da energia disponível para evapotranspiração, aumento da interceptação e ao fato de que florestas retiram do solo mais água do que pastagens (Bruijnzeel, 1990; Lima, 1993).

É importante ressaltar, porém, que o consumo de água do eucalipto dependerá das condições locais, principalmente em termos de solo e da precipitação anual, além de ser fortemente dependente das práticas de manejo (Calder, 1986; Andréassian, 2004). Entretanto, conforme salienta Sun et al. (2008), poucos estudos examinam as mudanças na estrutura e composição florestal de modo associado a hidrologia da bacia. Os estudos que examinam utilizam dados de bacias experimentais que ainda não são disponíveis na maioria dos locais. Logo, a simulação hidrológica aparece como uma ferramenta bastante útil para estimar os impactos do florestamento sobre os recursos hídricos.

Apesar da conhecida relação entre o manejo florestal e as respostas hidrológicas da bacia, a busca de informações e resultados que possibilitem a incorporação das variáveis ambientais nos modelos de gestão florestal é um desafio atual (Lima e Zakia, 2006). Neste contexto, o presente artigo visa estimar o impacto hidrológico da implantação de plantações de eucalipto e sua relação com as formas de manejo, a fim de identificar variáveis que auxiliem na integração do planejamento florestal e de recursos hídricos, com estudo de caso no Rio Grande do Sul.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1. Modelo Hidrológico Simplificado

Um modelo de balanço hídrico simplificado foi utilizado para estimar a vazão resultante de cada manejo considerado para a área de estudo e compará-las a situação anterior ao povoamento de eucalipto.

As alternativas de manejo foram geradas a partir dos dados fornecidos pela empresa responsável pela área de estudo de acordo com as características do local e objetivo da produção. Os dados combinados foram: unidade de manejo, idade mínima e máxima permitidas para o corte em cada rotação, número de rotações mínimo e máximo, densidade do povoamento, material genético e idade da plantação no início do período de análise, de modo a formar o mosaico da plantação. As unidades de manejo foram definidas como as áreas que apresentaram mesmo índice de sítio por ser este o método mais utilizado para definir a potencialidade dos sítios florestais (Tonini et al., 2006), além de fornecer subsídios para o manejo da área (Braga et al., 1999). O índice de sítio é uma variável que procura quantificar a qualidade do sítio por meio de parâmetros dendrométricos, sendo o mais utilizado a altura das árvores dominantes e codominantes de um povoamento numa idade base (Batista e Couto, 1986).

Entre os diversos aspectos da mudança de uso do solo de vegetação de pequeno porte para florestas, a redução na vazão frequentemente observada deve-se, sobretudo, ao aumento da evapotranspiração. O modelo hidrológico utilizado calcula o balanço hídrico diário na zona radicular considerando as diferentes prescrições (Figura 1). Destaca-se que não são considerados no modelo a interação com o lençol freático e o processo de ascensão capilar, sendo necessário um estudo mais detalhado para utilização em locais onde esta influência seja significativa. Para a área de estudo, devido à localização das áreas de plantio e de observações pontuais da profundidade do lençol freático, foi assumido que estes processos não interferiam de forma significativa no balanço hídrico. Estudos realizados no Brasil com *Eucalyptus grandis* em Santa Bárbara/MG (Leite et al., 1999) e em Aracruz/ES (Almeida e Soares, 2003) observaram que o crescimento das plantas foi mais dependente da água retida até 2,5 m de profundidade, enquanto Almeida et al. (2006) observou sistemas de raízes variando de 0,8 m aos 2 anos a 1,6 m aos 7 anos.

Do total precipitado, parte é interceptado no dossel florestal. Para a determinação da interceptação, utilizou-se o modelo para áreas com vegetação esparsa proposto por Valente et al. (1997), desconsiderando as perdas por interceptação dos troncos. Este modelo divide a área total em duas distintas sub-áreas nas quais os cálculos são feitos separadamente: a área descoberta e a área coberta (onde ocorre a interceptação). O parâmetro que ajusta estas áreas é a fração de cobertura vegetal ( $c$ ). Este parâmetro pode ser relacionado com o índice de área foliar (IAF) pela equação de Beer-Lambert conforme apresentado por Van Dijk e Bruijnzeel (2001):

$$c = 1 - e^{-k.IAF} \quad [1]$$

em que  $c$  é a fração de cobertura vegetal [-]; IAF é o índice de área foliar [ $m^2.m^{-2}$ ]; e  $k$  é o coeficiente de extinção luminosa [-].

O IAF corresponde à razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo ( $m^2$  de folha /  $m^2$  de solo). Dessa forma, a fração de cobertura vegetal e a interceptação variam com o tipo e com o estágio de desenvolvimento da vegetação de acordo com as modificações no IAF. A exemplo de Dye et al. (2004), foi assumido neste trabalho  $k=0,45$ .

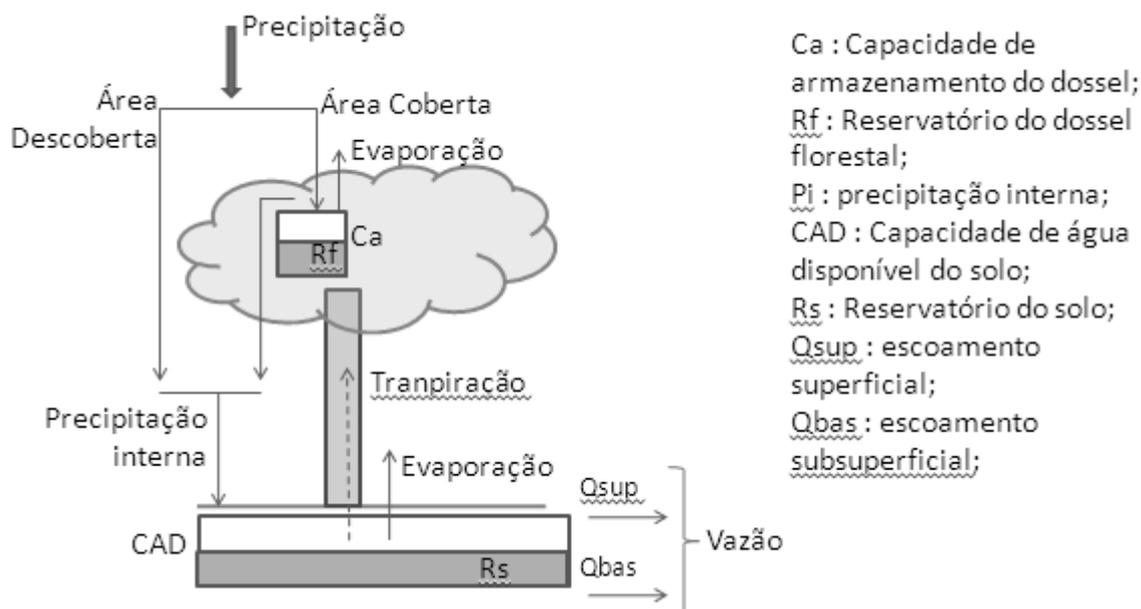
Na área coberta, considera-se que toda a precipitação será interceptada pela copa até que esta se encontre saturada, ou seja, até que seja atingida a capacidade de armazenamento do reservatório do dossel em relação à área coberta. A capacidade de armazenamento do dossel foi considerada como o produto de um valor característico da capacidade de armazenamento das copas por unidade de área foliar pelo IAF. Dingman (2002) cita o valor de 0,15 para este valor característico, enquanto Valente et al. (1997) refere-se a valores de 0,2 a 1,0 mm. Neste trabalho foi utilizada uma capacidade de armazenamento do dossel de  $0,2 \text{ mm} * IAF$ .

O IAF é apontado como uma importante característica da vegetação a ser utilizada em modelos hidrológicos devido a sua influência nos processos de transpiração e interceptação (Soares e Almeida, 2001; Van Dick e Bruijnzeel, 2001; Collischonn et al., 2007). O IAF é também uma das variáveis mais apontadas para explicar a variação na vazão da bacia ao longo do período de rotação devido a sua grande variabilidade com a idade da árvore do povoamento (Cornish e Vertessy, 2001; Almeida et al., 2007).

O excesso de precipitação não interceptada na área coberta drena para a camada superficial do solo. Entretanto, apenas uma parcela da precipitação interna infiltra no solo. A parcela que não infiltra gera escoamento superficial. A separação deste escoamento foi feita utilizando o modelo SCS (Soil Conservation Service), conforme apresentado por Tucci (2004).

O solo é considerado como um reservatório cuja capacidade é definida pela capacidade de água disponível (CAD) do solo. Valores de umidade do solo superiores a CAD são drenados para fora da zona radicular. A CAD representa o limite de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente do solo para uma determinada profundidade do solo sendo, portanto, dependente do tipo de solo e da profundidade das raízes. Na ausência de medições diretas destes parâmetros na área de estudo, os valores das propriedades de retenção de água do solo foram estimados a partir da classificação do solo, enquanto o crescimento do sistema radicular foi definido como tendo variação linear.

O esvaziamento dos reservatórios do dossel e do solo se dá pelo processo de evapotranspiração calculada pela equação de Penman-Monteith conforme apresentado por Allen et al. (2006), com a resistência superficial calculada em função do IAF. Para a vegetação transpirante, a resistência superficial foi calculada conforme apresentado por Dingman (2002). A radiação global foi determinada utilizando a ferramenta Solar Radiation do ArcGis, a partir do modelo digital de elevação do terreno e de parâmetros atmosféricos. O modelo digital de elevação do terreno utilizado foi o ASTER GDEM (disponível em <https://wist.echo.nasa.gov/api>). Os parâmetros atmosféricos foram estimados utilizando dados de cobertura de nuvens provenientes da normal climatológica.



**Figura 1.** Esquema do modelo de balanço hídrico utilizado.

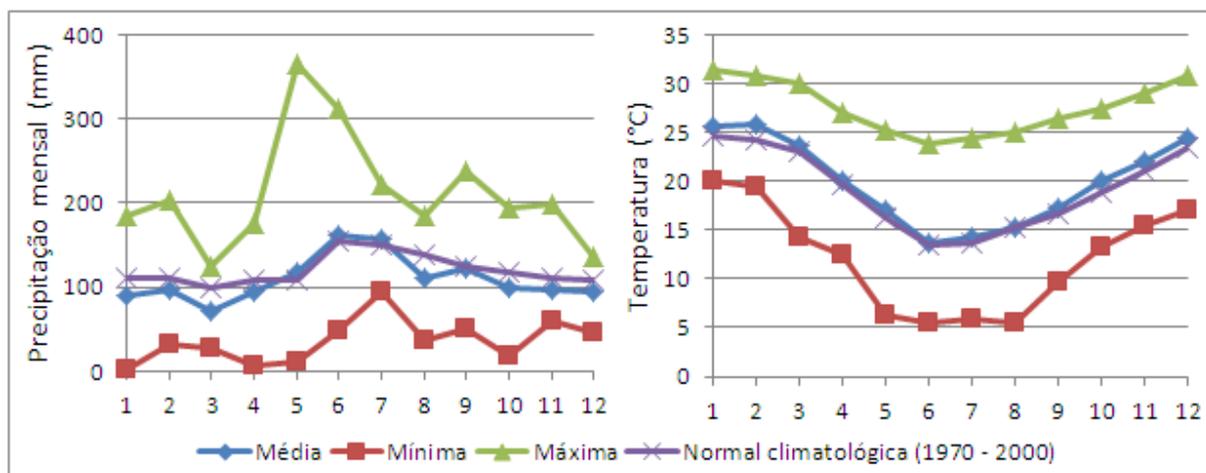
## 2.2. Área de estudo

A área de estudo corresponde a bacia inserida num horto florestal pertencente à empresa CMPC Celulose Riograndense no município de Eldorado do Sul/RS (Figura 2). A bacia possui 0,97 km<sup>2</sup> da área da bacia, 84% são destinados ao plantio de eucalipto, 13% a áreas de preservação e o restante corresponde a demais usos do solo. Toda a produção é destinada a indústria de papel e celulose. A bacia está dividida em duas áreas com índices de sítio IS=30 e IS=32. Para a geração das alternativas de manejo para a área, considerou-se idades de corte entre 7 e 9 anos; 1 ou 2 rotações por ciclo; densidades de 1666, 1333 ou 1111 árvores/ha; e 4 diferentes espécies. Foi adotado ainda idades de 0, 3 e 6 anos no início da análise.



**Figura 2.** Área de estudo (Google Earth) com destaque para a delimitação da bacia.

A precipitação na região é distribuída durante todo o ano, sendo os meses mais chuvosos entre Junho e Agosto (Bermagaschi et al., 2003). O total precipitado anual é de aproximadamente 1450 mm. A temperatura média apresenta comportamento sazonal (Figura 3), com temperatura média inferior a 14°C no mês mais frio (Junho), e superior a 24°C no mês mais quente (Janeiro). Os dados utilizados no modelo de balanço hídrico foram obtidos da estação de Eldorado do Sul da FEPAGRO (30°05'45''S 51°40'24''O), com período de análise de setembro de 1975 a agosto de 1983. A precipitação anual média no período foi de 1317 mm.



**Figura 3.** Dados mensais precipitação e temperatura de normais climatológicas da estação experimental da UFRGS (Bermagaschi et al., 2003) e da estação Eldorado do Sul da FEPAGRO (Setembro de 1975 a Agosto de 1984).

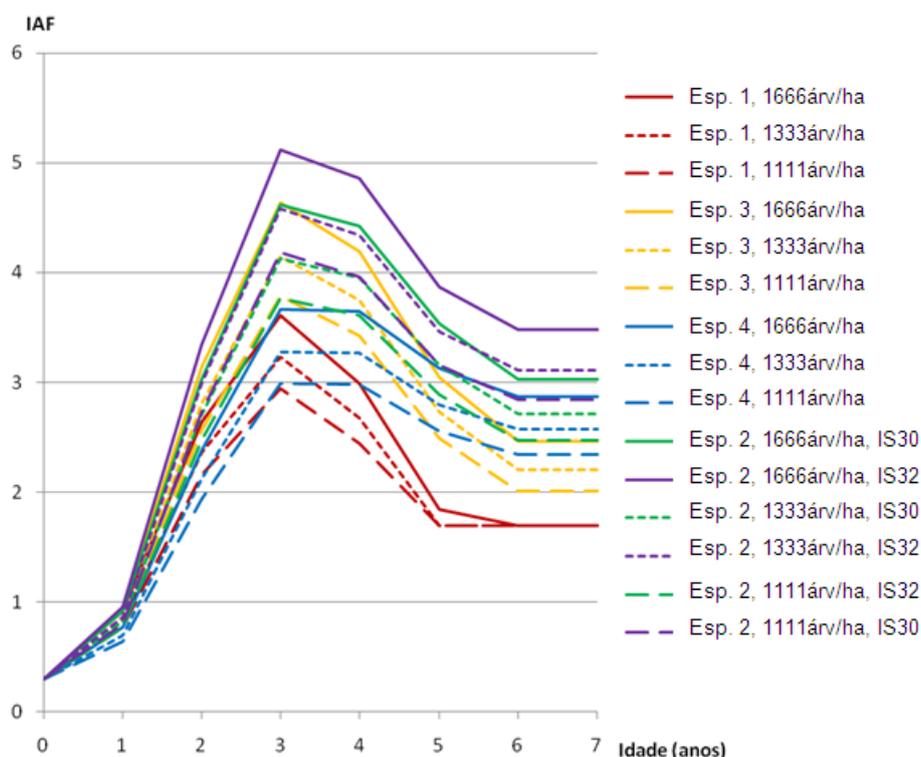
Para este estudo, assim como o índice de sítio e, conseqüentemente, os dados de produtividade, as características do solo também foram assumidas como constantes dentro de cada talhão. Para cada tipo de solo predominante em cada talhão foi obtida a distribuição

granulométrica a partir dos dados obtidos no mapeamento de solos realizado por Costa et al. (2009). A partir da classificação destes solos, os valores das propriedades de retenção de água de cada talhão foram definidos como sendo equivalentes aos valores médios de cada classe textural apresentados por Rawls et al. (1993).

Funções de variação do IAF (Tabela 1), da altura da vegetação e da profundidade da raiz ao longo do crescimento de cada espécie foram ajustadas para a estimativa do impacto hidrológico. Como apenas se dispunha de uma medição de IAF para cada espécie, as funções para simular a variação do IAF com a idade do povoamento foram estabelecidas baseadas na variação do IAF com a idade do povoamento observado em estudos realizados no Brasil (Xavier et al., 2002; Almeida et al., 2007). A Figura 4 apresenta os resultados.

**Tabela 1.** Equações estimadas para determinação do IAF (de 1,5 a 6 anos) e manejos, com parâmetros para as equações de cada espécie com base nas medições de junho de 2009.

IAF=At <sup>3</sup> +Bt <sup>2</sup> +Ct+D							
Manejo	IAF	Densidade	Idade (anos)	A	B	C	D
Espécie 1	2,88	1111 árv.ha <sup>-1</sup>	3,34	0,1443	-1,9481	7,7924	-6,7924
Espécie 2 IS 32	2,82	1111 árv.ha <sup>-1</sup>	4,84	0,1793	-2,4661	10,2734	-9,4665
Espécie 2 IS 30	3,01	1111 árv.ha <sup>-1</sup>	4,84	0,1475	-2,0550	8,7704	-8,0297
Espécie 3	2,01	1122 árv.ha <sup>-1</sup>	8,00	0,1715	-2,3444	9,6985	-8,8183
Espécie 4	2,88	1666 árv.ha <sup>-1</sup>	18,93	0,1310	-1,8281	7,9374	-7,2351



**Figura 4.** Variação da estimativa do IAF ao longo da idade da plantação para diferentes regimes de manejo.

É considerado ainda que o IAF varia linearmente do plantio aos 18 meses e que do sexto ano até o final da rotação o valor do IAF permanece constante. Na ausência de medições de IAF para diferentes espaçamentos de cada espécie, este foi estimado utilizando a equação sugerida por Allen et al. (2006):

$$IAF_{dens1} = IAF_{dens2} \cdot \left(\frac{dens1}{dens2}\right)^{0,5} \quad [2]$$

em que  $IAF_{dens1}$  corresponde a vegetação com densidade dens1; e  $IAF_{dens2}$  corresponde a densidade dens2.

A profundidade do sistema radicular foi definida como variando linearmente entre 0,2 m no plantio, 2,5 m aos 9 anos e 3,5 m aos 20 anos. O crescimento da vegetação foi determinado a partir de tabelas fornecidas pela empresa, sendo ajustada ao modelo de crescimento molecular (Tabela 2).

**Tabela 2.** Equações estimadas de crescimento das espécies do horto florestal.

Eq. de ajuste: $hdom=A*(1-\exp(-a0*I*12))$ , onde $A = IS/(1-\exp(-a0*84))$				
Manejo	Altura (m)	Idade (anos)	IS	a0
Espécie 1, 3x2	26,86	5,17	32	0,0140
Espécie 1, 3x3	26,28	5,17	32	0,0112
Espécie 2, 3x2.5	17,87	3,34	30	0,0114
Espécie 2, 3x3	30,39	6,67	30	0,0400
Espécie 2, 3x3	31,68	6,67	32	0,0315
Espécie 3	30,28	9,42	30	0,0530
Espécie 4	46,55	20,35	30	0,0109

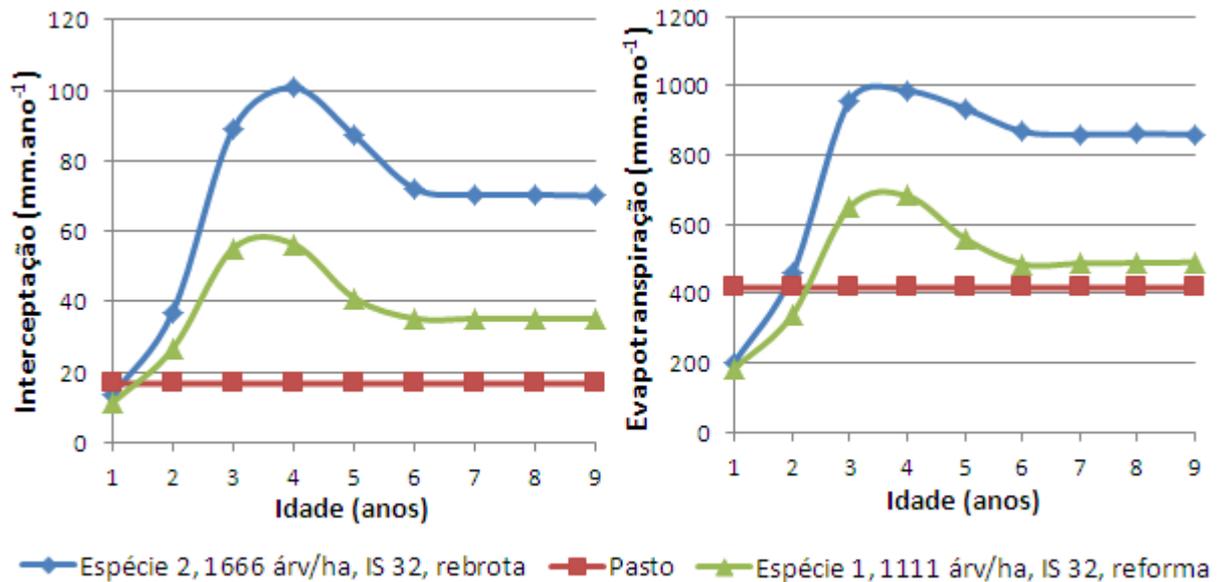
Para a pastagem foi adotado uma profundidade do sistema radicular de 0,30 m; altura de 0,15 m; e IAF de  $0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ . O IAF foi obtido pela média de valores encontrados na literatura para pastagens com altura entre 10 e 15 cm (Fagundes et al., 1999; Kelliher et al., 1993).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

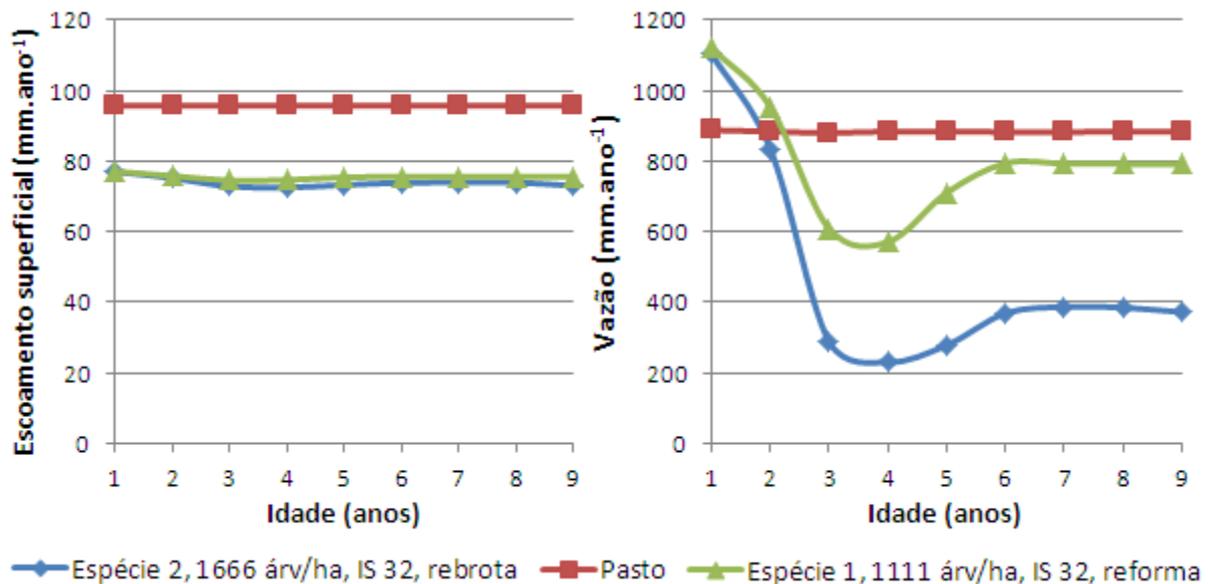
A fim de obter valores mais representativos da vazão anual média em cada ano de plantio, foi calculada a média dos valores obtidos considerando o início do plantio em cada um dos nove anos do período de simulação. As Figuras 5 e 6 ilustram o impacto hidrológico da mudança de cobertura florestal (de pastagem para plantações de eucalipto) ao longo de uma rotação. São apresentadas as parcelas das perdas (interceptação e evapotranspiração), do escoamento superficial e da vazão (escoamento superficial e escoamento subsuperficial) para a pastagem e para as rotações que apresentaram maior e menor média de vazão anual ao longo da rotação. A fim de facilitar a comparação dos valores de vazão independentemente da área sujeita ao manejo, os valores estão apresentados em  $\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$ , o que corresponde a uma vazão em  $\text{L} \cdot \text{ano}^{-1}$  por unidade de área em  $\text{m}^2$ .

Observa-se que a vazão é bastante reduzida entre o terceiro e quarto ano de plantio, onde ocorrem os maiores valores do IAF. As perdas são predominantemente devido à evapotranspiração da vegetação. A pequena redução observada no escoamento superficial é devido à utilização de valores relativos à floresta esparsa e solo com baixa capacidade de

infiltração. Após este período, a vazão anual aumenta, variando pouco após o sexto ano. Na análise do balanço hídrico mensal, observou-se também que a redução da vazão nos períodos secos foi tão significativa quanto à redução na estação chuvosa.

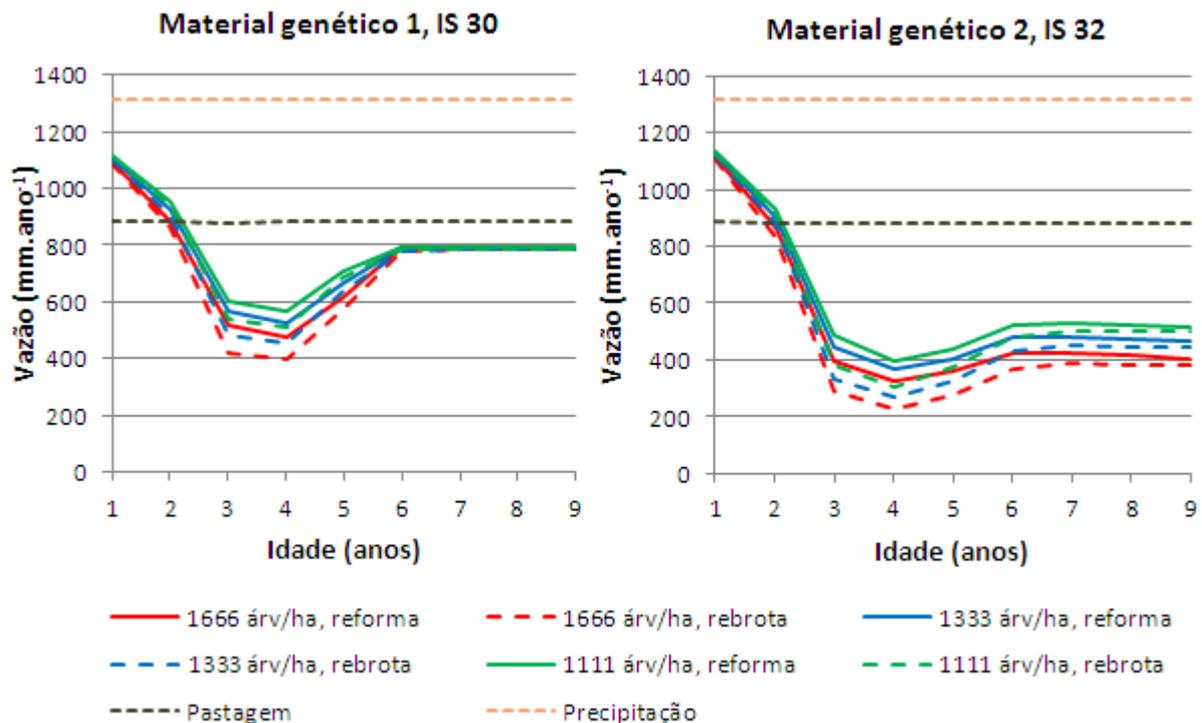


**Figura 5.** Interceptação e evapotranspiração anual para o pasto (vermelho) e para as rotações com maior (verde) e menor (azul) vazão média anual ao longo da rotação.



**Figura 6.** Escoamento superficial e vazão anual para o pasto (vermelho) e para as rotações com maior (verde) e menor (azul) vazão média anual ao longo da rotação.

A escolha da espécie apareceu como o principal fator determinante do impacto hidrológico (Figura 7). Dentre as espécies, a que apresentou menor redução de vazão média foi o material genético 1, com coeficientes de vazão anual (Q/P) variando entre 0,55 e 0,60. A menor vazão média ao longo da rotação ocorre para o material 2 que apresenta coeficiente de vazão anual entre 0,36 e 0,50.



**Figura 7.** Vazões anuais obtidas para o material 2, IS=32, sob diferentes condições de manejo ao longo do período de rotação.

Como esperado, para estes e os demais manejos, a vazão por unidade de área resultante para as plantações de eucalipto aumenta com a redução da densidade do plantio (aumento o espaçamento entre as árvores), devido à diminuição do IAF (Allen et al., 2006; Leite et al., 1999).

Verifica-se também que, mantendo-se as demais variáveis de manejo constantes, a vazão foi menor nas áreas de rebrota que nas áreas de reforma. Isto ocorreu em decorrência da maior profundidade do sistema radicular da plantação sob o regime de rebrota. Com mais água disponível, as perdas por evapotranspiração são maiores neste sistema, tornando a vazão menor.

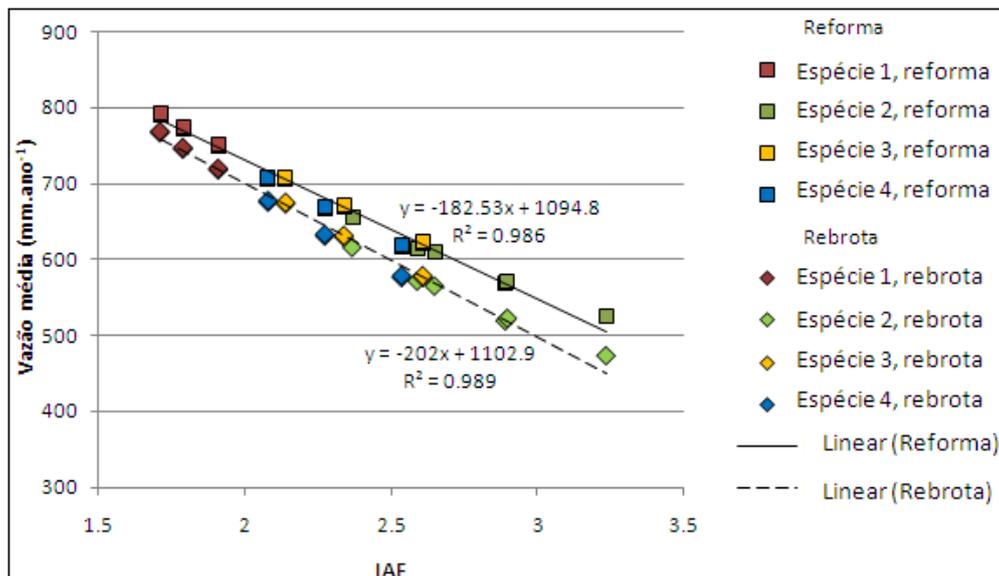
O ano de menor vazão durante a rotação foi o quarto ano para todos os regimes de manejo considerados, indicando que esta se trata de uma idade crítica a ser considerada no planejamento dos povoamentos de eucalipto. Como consequência, trata-se de um dos principais períodos para análise do impacto hidrológico da bacia. Após este período o crescimento das árvores e o IAF diminuem, e a vazão anual começa a aumentar. Dessa forma, rotações mais longas tendem a ter um menor impacto hidrológico por rotação.

A vazão máxima obtida neste ano foi de 570,6 mm para o material genético 1, densidade de 1111 árv.ha<sup>-1</sup>, IS 32 e sistema de reforma. A vazão mínima neste ano foi obtida para o material genético 2, densidade de 1666 árv.ha<sup>-1</sup>, IS 32 e sistema de rebrota e correspondeu a 229,4 mm.ano<sup>-1</sup> (cerca de 40% menor que a máxima), ou seja, 654,2 mm.ano<sup>-1</sup> a menos que para a situação de pastagem. A vazão média ao longo da rotação obtida pelos diferentes manejos variou de 493 mm.ano<sup>-1</sup> a 792 mm.ano<sup>-1</sup>.

Outro valor importante a ser analisado é a vazão a partir do sexto ano de idade e a sua diferença em relação à vazão mínima, visto que a vazão anual pouco varia neste período. Em um manejo onde ocorre um significativo aumento de vazão anual do quarto ao sexto ano, a importância de se adotar rotações mais longas a fim de se reduzir o impacto hidrológico total é ainda maior. Critérios de manutenção da vazão podem, portanto, ser associados a critérios

econômicos objetivando a obtenção de manejos que tenham menor impacto hidrológico sobre a bacia.

Observa-se que os resultados obtidos para vazão anual refletem bem o comportamento do IAF estimado para cada manejo. A Figura 8 apresenta esta relação, onde fica evidente a importância do IAF como descritor do dossel florestal no modelo utilizado. Para fins de comparação, para a pastagem foi definido um IAF de 0,8 e obtida uma vazão estimada de cerca de 883 mm.ano<sup>-1</sup>.



**Figura 8.** Relação entre IAF médio e vazão média (mm.ano<sup>-1</sup>) ao longo da rotação para cada espécie e tipo de condução adotado.

Esta influência do IAF na vazão também é apontada na literatura onde o IAF apresenta-se como uma importante característica da vegetação a ser utilizada em modelos hidrológicos devido a sua influência nos processos de transpiração e interceptação (Soares e Almeida, 2001; Van Dick e Bruijnzeel, 2001; Collischonn et al., 2007). O IAF é também uma das variáveis mais apontadas para explicar a variação na vazão da bacia ao longo do período de rotação devido a sua grande variabilidade com a idade da árvore do povoamento (Cornish e Vertessy, 2001; Almeida et al., 2007), conforme foi verificado neste trabalho.

#### 4. CONCLUSÃO

O modelo utilizado apresentou diferença significativa das estimativas dos componentes do balanço hídrico obtidos para os diferentes manejos, o que ressalta que o impacto hidrológico de uma plantação de eucalipto pode ser fortemente dependente do manejo da área, conforme indicado na literatura. Também evidencia a necessidade da integração do gerenciamento dos recursos florestais com os recursos hídricos e de adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Para tanto, é necessário o monitoramento dos aspectos hidrológicos para que se possa avaliar as práticas de manejo que menos impactam o balanço hídrico da bacia.

Para a área de estudo, o IAF apresentou-se como um importante descritor do dossel florestal estando diretamente relacionado com a produção de água pela bacia. Sua medição poderia, então, ser adicionada aos inventários florestais a fim de melhor analisar o impacto hidrológico. Medições de profundidade do sistema radicular também são importantes por definirem a quantidade de água disponível a evapotranspiração das plantas.

Os resultados obtidos pelo modelo de balanço hídrico apontam para a possibilidade de uma grande variação no impacto ambiental da implantação de um povoamento de eucalipto dependendo do manejo adotado na área. Dessa forma, as políticas que visem reduzir este impacto devem considerar as diferenças entre manejos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor e à CMPC-Celulose Riograndense pela disponibilização de dados.

## 6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2008. Brasília, 2009. [online] Disponível em: <[www.abraflor.org.br/estatisticas.asp](http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp)>. Acesso em 20/12/09.
- ANDRÉASSIAN, V. Water and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 291, n. 1/2, p. 1-27, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo** guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos. Roma: FAO, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2012.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. L.; REZENDE, G. D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, n. 1/2, p. 10-21, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.009>
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. L.; REZENDE, G. D. Water use and yields of *Eucalyptus grandis* hybrids plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **INPE ePrint**: [sid.inpe.br/ePrint@80/2006/07.25.19.29](http://sid.inpe.br/ePrint@80/2006/07.25.19.29), 2006. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint@80/2006/07.25.19.29/doc/v1.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2012.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p.159-170, 2003.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. do. Escolha dos modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus sp* no estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n.32, p.33-42, abr.1986.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R.; CARDOSO, L. S.; SILVA, M. I. G. da. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e Região de Abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- BINKOWSKI, P. **Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura do eucalipto na “metade sul” do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Pós-graduação em Desenvolvimento Rural - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CAVALCANTE, R. B. L.; MENDES, C. A. B. Modelagem do balanço hídrico em povoamentos de eucalipto sob diferentes manejos como auxílio ao gerenciamento do impacto hidrológico da atividade. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 268-280, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.810>)

---

BRAGA, F. A.; BARROS, N. F.; SOUZA, A. L.; COSTA, L. M. Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, 23, p. 291-298, 1999.

BROWN, A. E.; ZHANG, L.; MCMAHON, T. A.; WESTERN, A. W.; VERTESSY, R. A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of hydrology**, Amsterdam, v. 310, n. 1/4, p. 28-61, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.12.010>

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion**: a state of knowledge review. Amsterdam, Free University, 1990. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0009/000974/097405eo.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2012.

CALDER, I. D. Water use of eucalyptus – a review with special reference to south Índia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.11, n. 1/4, p. 333-342, 1986. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774\(86\)90049-1](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774(86)90049-1)

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Journal des Sciences Hydrologiques**, Wallingford, v. 52, n. 5, 2007.

CORNISH, P. M.; VERTESSY, R. A. Forest age-induced changes in evapotranspiration and water yield in a eucalypt forest. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 242, n. 1/2, p. 43–63, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00384-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00384-X)

COSTA, A. M. da; CURI, N.; MENEZES, M. D.; ARAÚJO, E. F. de; MARQUES, J. J. Levantamento detalhado de solos da microbacia hidrográfica do horto florestal Terra Dura (RS) e considerações sobre escalas de mapeamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1272-1279, 2009.

DINGMAN, S. L. **Physical hydrology**. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 568 p.

DYE, P. J.; JACOBS, S.; DREW, D. Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve Eucalyptus plantation stands in Zululand, South Africa. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, n. 1/2, p. 197-218, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.030>

FAGUNDES, J. L.; DA SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S.; SBRISSIA, A. F.; CARNEVALLI, R. A.; CARVALHO, C. A. B. et al. Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob diferentes intensidades de pastejo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1141-1150, 1999.

KELLIHER, F. M.; LEUNING, R.; SCHULZE, E. D. Evaporation and canopy characteristics of coniferous forests and grasslands. **Oecologia**, Berlim, v. 95, n. 2, p.153-163, 1993.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SANS, L. M. A.; FABRES, A. S. Relações hídricas em povoamentos de eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 23, p. 9-16, 1999.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EDUSP, 1993. 301 p.

LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. (Org.). **As florestas plantadas e a água**: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RiMa, 2006. 226 p.

CAVALCANTE, R. B. L.; MENDES, C. A. B. Modelagem do balanço hídrico em povoamentos de eucalipto sob diferentes manejos como auxílio ao gerenciamento do impacto hidrológico da atividade. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 268-280, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.810>)

---

RAWLS, W. J.; AHULA, L. R.; BRAKENSIEK, D. L.; SHIRMOHAMMADI, A. Infiltration and soil water movement. In: Maidment, **D. Handbook of hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1993.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Zoneamento ambiental da silvicultura**: diretrizes da silvicultura por unidade de paisagem e bacia hidrográfica. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/silvicultura/V2\\_ZAS%20APROVADO%20CONSOLIDADO%20CORRIGIDO%20V-18-05-20101.pdf](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/silvicultura/V2_ZAS%20APROVADO%20CONSOLIDADO%20CORRIGIDO%20V-18-05-20101.pdf)>. Acesso em: nov. de 2010.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 253, n. 1/4, p.130–147, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00477-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00477-2)

SUN, G.; ZHUO, C.; LIU, S.; LIU, M.; MCNULTY, S. G.; VOSE, J. M. Watershed evapotranspiration increased due to changes in vegetation composition and structure under a subtropical climate. *Journal of the American Water Resources Association*. Middleburg, v. 44, n. 5, p. 1164-1175, 2008.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de Eucalyptus saligna Smith para a depressão central e serra do sudeste, Rio grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 1, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. In: *Anais... I Fórum Geo-Bio-Hidrologia: estudo em vertentes e microbacias hidrográficas*. Curitiba, 1998.

VALENTE, F.; DAVID, J. S.; GASH, J. H. C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 190, n. 1/2, p. 141-162, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03066-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03066-1)

Van DIJK, A. I. J. M.; BRUIJNZEEL, L. A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 247, n. 3/4, p. 230-238, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00392-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00392-4)

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 36, n. 4, p. 421-427, 2002.