

VARIACION DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO EN AREAS DE PLANTACIONES FORESTALES DE CRECIMIENTO RAPIDO ENTRE DIFERENTES FASES DE EXPOSICION Y GRADOS DE INCLINACION DEL TERRENO

Aristides Ribeiro¹, Alexandro Gomes Facco¹, Fernando Palha Leite², Gilberto Chohaku Sedyama¹, Maria José Hatem de Souza¹

¹*Departamento de Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa (Brasil)*

²*Celulose Nipo-Brasileira S. A. (Brasil)*

e-mail: ribeiro@ufv.br

telefono: + 55 31 38991906

fax: + 55 31 38992735

1. Introducción

Originario de Australia y otros islas de Oceanía el eucalipto fue introducido en el Brasil en 1910, por Navarro de Andrade. Según el Ministério de Ciências e Tecnologia (MCT), el Brasil posee la mas grande area de eucalipto del mundo, mas de tres millones de hectareas plantados. Además de eso, se destaca como el mas grande productor mundial de celulosa, con 6,3 millones de toneladas por año, con indice medio de productividad de 40 m³ de madera por hectarea por año.

En el Brasil el eucalipto es destinado basicamente para la produccion de celulosa, papel y carvón. Las industrias brasileñas que usan el eucalipto como materia prima para la produccion de sus productos representan 4% del PIB, siendo responsable por 8% de las exportaciones brasileñas y crean 150 mil empleos. Todos esos números demuestran la importancia del eucalipto para la economia del pais y la necesidad de que busquemos siempre la maxima competitividad em un mercado bastante disputado.

En varios paises surgió la controversia sobre el efecto ambiental de la plantación del eucalipto en gran escala para uso industrial. Uno de los principales puntos de esa discusión, o sea, la demanda de agua por la plantación del eucalipto. En los ultimos años, hubieron esfuerzos para investigar una posible reducción del agua retenida en el suelo. Por acaso eso sea verificado, seria importante también conocer em que magnitud

eso ocurre (MAESTRI, 2003; SACRAMENTO NETO, 2001 e NEVES, 2000). Sin embargo, hasta el momento no se tiene una respuesta definitiva para estas preguntas, y hay la necesidad de que continuen los esfuerzos de las investigaciones iniciadas.

Varios trabajos realizados con el objetivo de determinar la disponibilidad hídrica para la cultura del eucalipto hay tratado de forma puntual (localizada) y sin considerar la topografía en los factores energéticos y en la redistribución del agua. El creciente desarrollo de sistemas de informaciones geográficas aplicado a la hidrología ha favorecido a una representación matemática de los procesos envueltos en el mundo real, en que los componentes del balance hídrico son estimados espacialmente, buscando simular sus interacciones con la topología del área que se está estudiando.

2. Objetivos

Este estudio tuvo como objetivo estimar el balance hídrico del suelo, teniendo en consideración la redistribución de agua y energía solar en función de la exposición del terreno, para toma de decisiones, en plantaciones forestales. Específicamente visó desarrollar un sistema computacional capaz de estimar los componentes del balance hídrico del suelo para las diferentes áreas de plantaciones de eucalipto en una región de relieve ondulado. Fue objetivo de este estudio también, determinar la influencia de la topografía en el saldo de radiación y consecuentemente en la tasa de evapotranspiración de la cultura.

3. Materiales y Métodos

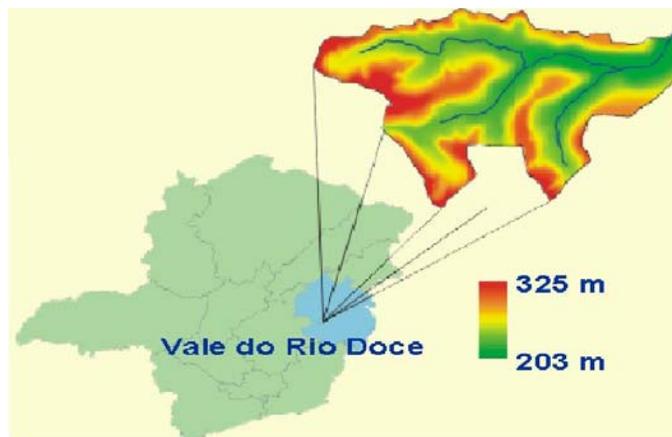


Figura 1 – Localización y relevo de la area de estudio.

La micro-cuenca hidrografica en estudio tiene una área de 324 hc, con altitud media de 248 m, su centro tiene las coordenadas de 19°21'S y 42°15'O. La inclinación media de sus rampas es de 21%. El clima de la región es clasificado como tropical lluvioso de savana, por tener épocas secas y lluviosas bien definidas durante el año. La temperatura media anual es de 25°C, la humedad relativa media anual es de 65% y el total medio anual de precipitación es de 1163 mm. El sistema computacional tiene como base modelos digitales de elevación hidrologicamente consistentes, con resolución de 16 m. La implementación de sistema fue hecha utilizando el lenguaje de programación de software Microsoft Visual Basic 6.0, y procesado en el sistema de informaciones geograficas ArcGis 8.1 (ESRI) por medio de "macros". Para la simulaciones fueron utilizados datos meteorologicos horarios de una estación automatica situada a una distancia de 8 Km de la micro-cuenca.



Figura 2 – Inclinación de las rampas y edades de las plantaciones en el área de estudio.

Por la figura 2 se puede comprobar la predominancia en la micro-cuenca en estudio de áreas con inclinaciones hasta 15%, seguida por áreas con inclinación entre 15 e 30%. Son verificadas también pequeñas áreas totalmente planas o con inclinación mayores que 30%. Se puede observar también la predominancia de plantaciones con 3 años de edad, con una pequeña área de dos años localizada al noroeste de la cuenca.

En la figura 3 son presentadas las orientaciones de las rampas, siendo verificado una predominancia en la orientación sur para áreas con plantaciones de dos años. Se verifica una distribución equilibrada de la orientación de las rampas entre todas las direcciones para las plantaciones con tres años de edad. Este hecho se puede confirmar por el análisis de la distribución de frecuencia entre las diferentes direcciones mostradas por la Figura 4.

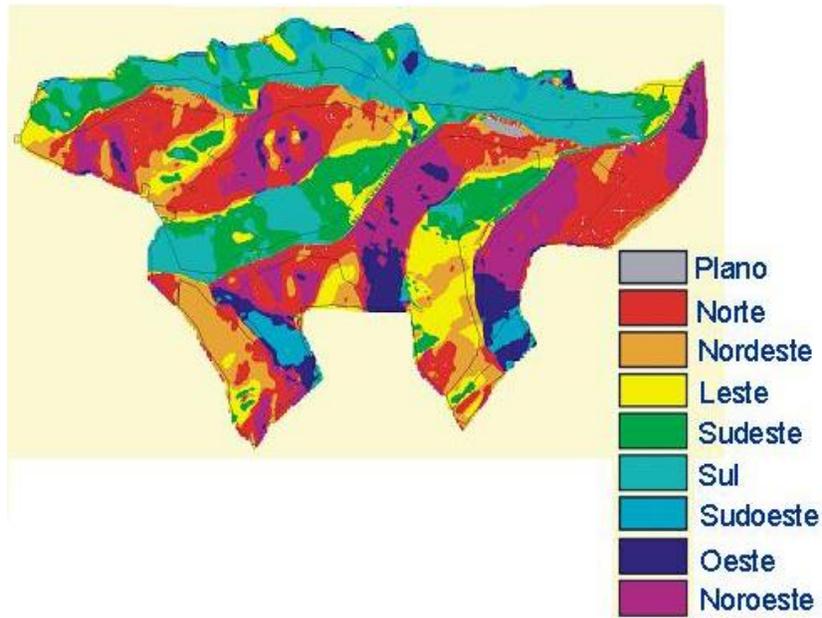


Figura 3 – Orientación de las rampas en el área de estudio.

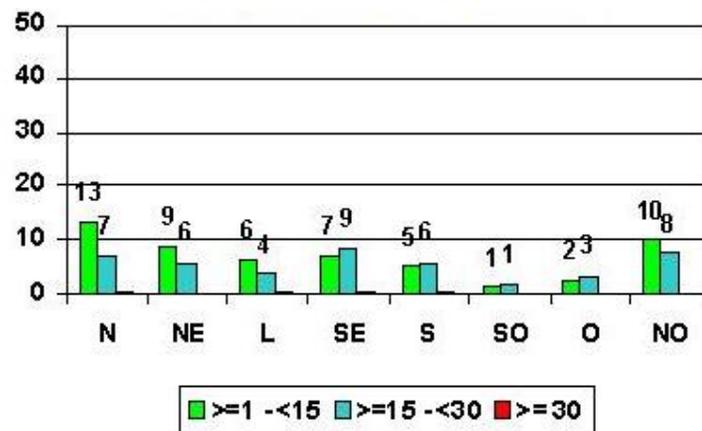


Figura 4 – Distribución de frecuencia de las facetas de exposición de las rampas en el área de estudio .

Para la estimativa de la evapotranspiración diaria fue utilizada el modelo de Penman-Monteith con la resistencia de la cultura estimada a través del modelo propuesto por MIELKE et al. 1999.

$$LE = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)}$$

en que,

LE = flujo de calor latente de evaporación (kJ m² s⁻¹);

Δ = declividad de la curva de presión de saturación de vapor (kpa °C⁻¹);

Rn = saldo de radiación (kJ m⁻² s⁻¹);

S = flujo de calor en el suelo (kJ m⁻² s⁻¹);

ra = densidad absoluta del aire (kg m⁻³);

g = coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

cp = calor específico del aire seco (kJ kg⁻¹ °C⁻¹);

(es – ea) = déficit de presión del vapor de agua (kPa);

ra = resistência aerodinâmica (s m⁻¹);

rc = resistência del dossel de la planta (s m⁻¹).

La resistencia de la cultura es dada pela ecuaciones descritas abajo:

$$r_c = \frac{r_e}{IAF}$$

$$r_e = \frac{120,26 \cdot P_{atm}}{(273,15 + t) \cdot -0,024 + 0,00008 \cdot R_{par} - 0,156 \cdot DPV + 0,129 \cdot \Psi_{pd} + 0,016 \cdot T}$$

en que,

DPV = déficit de presión del vapor de agua (kPa);

R_{par} = radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

t = temperatura média del aire ($^{\circ}\text{C}$);

P_{atm} = presión atmosférica local (KPa);

Ψ_{pd} = potencial hídrico foliar (MPa), -0,4 e -0,9 para los periodos seco y humedo, respectivamente.

El tratamiento del balance de las ondas cortas es descritos por las ecuaciones siguientes, siendo considerados sepradamente los componentes directo e difusio de la irradiancia solar.

El calculo del balance de ondas cortas fue hecha con base de tiempo horário para poder tener el efecto de la elevacion del sol en el total de energia estimada. Posteriormente los valores horarios fueron integrados em diários, los cuales alimentaram la ecuacione de Penmam-Monteith.

$$BOC = R_G (1 - \alpha)$$

$$R_G = I_n \cdot \text{Cos}(\theta) \cdot \text{Somb} + D$$

En que,

R_g = irradiación solar global ($\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$);

I_n = irradiación solar directa normal a la superficie ($\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$);

D = irradiación solar difusa ($\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$) e

θ = ángulo vertical de incidencia de los rayos solares directos.

Somb = mapa de sombreados (booleano).

$$I_n = \frac{I_d}{\text{Cos}(z)}$$

en que,

I_d = irradiación directa para superficie plana ($\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$) y

$\text{Cos}(z)$ = coseno del ángulo zenital (grados).

Para determinar la Irradiância solar directa e difusa utilizou a metodologia desenvolvida por $\frac{I_d R_g}{M_T R_{g0}}$ (MIMA, 1996) descrita a seguir:

$$I_d = R_g(1 - 0,221 M_T) \text{ para } M_T \leq 0,20$$

$$I_d = R_g(0,135) \text{ para } M_T \geq 0,80$$

$$I_d = R_g(0,798 + 2,442 M_T - 9,634 M_T^2 + 6,9381 M_T^3) \text{ para } 0,20 < M_T < 0,80$$

Para corregir la inclinación de las rampas y las facetas de exposición en la cuantificación de la radiación directa fue utilizada la metodología propuesta por IQBAL (1983), decrita abajo:

$$A = \text{Cos}(\phi) \times \text{Cos}(\delta) \times \text{Cos}(i) + \text{Sen}(i) \times \text{Cos}(Az) \times \text{Cos}(\delta) \times \text{Cos}(\phi)$$

$$B = \text{Sen}(i) \times \text{Cos}(\delta) \times \text{Sen}(a)$$

$$C = \text{Sen}(\phi) \times \text{Sen}(\delta) \times \text{Cos}(i) - \text{Sen}(i) \times \text{Cos}(Az) \times \text{Sen}(\delta) \times \text{Cos}(\phi)$$

Em que,

h = ángulo horario (grados);

A, B, C = parametros de simplificación de la ecuación;

ϕ = latitud local (grados);

δ = declinación solar (grados);

Az = azimute o orientación de la superficie (grados);

i = inclinación de la superficie.

Para la estimava del balance de ondas largas fue derivado um modelo empírico basado en datos levantados en campo para estas edades que presentó un coeficiente de correlación de 89%.

$$BOL = 9,5035 \times 10^{-5} \cdot t^4 \cdot (0,09 \cdot \sqrt{e} - 0,56) + 0,456$$

BOL = balance de ondas largas;

t = temperatura media diaria del aire;

e = presión real media diaria del vapor de el agua.

3. Resultados

La figura 5 muestra que en el verano el saldo de radiación en determinadas áreas, cuando se considera la topografía original, tuvo un aumento de hasta el 20% en relación a la región considerada plana. Por otro lado otras áreas presentan una disminución también de esa magnitud. Se verifica, de manera geral, predominio de áreas con un aumento de hasta 10% en el saldo de radiación comparando los dos escenarios.

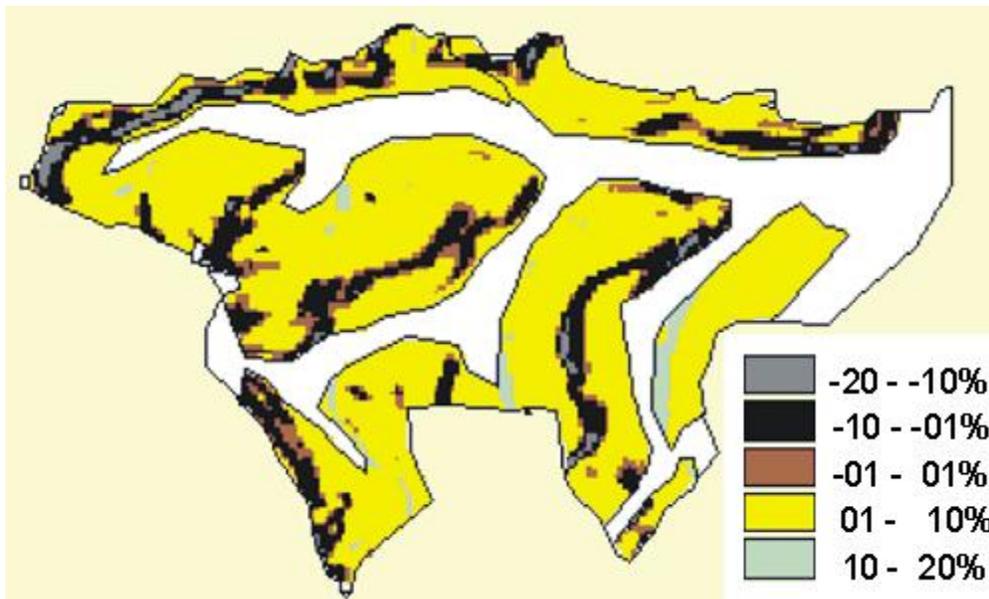


Figura 5 – Variación porcentual del saldo de radiación en el verano entre la superficie considerada plana y considerando a topografía del terreno.

En el verano la mayor coincidência del sol con la micro-cuenca en estudio, o sea, la mayor elevación de los rayos solares, implica en una menor amplitud de variación en los valores. Por la figura 6 se puede verificar que la reducción del saldo de radiación solamente es verificada en área de mayor inclinación. Este hecho puede ser comprendido cuando uno mismo flujo radiante incide sobre una superficie plana e otra

inclinada. Verifica-se una menor densidade del flujo en la rampa inclinada pues la área de distribución del flujo es mayor.

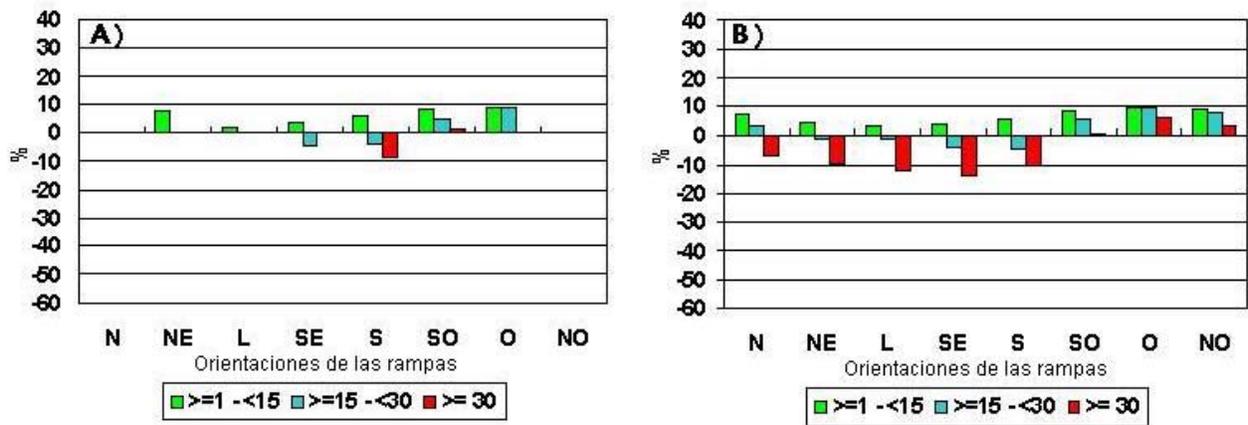


Figura 6 – Histogramas de la variación porcentual del saldo de radiación en el verano entre la superficie considerada plana y considerando la topografía del terreno, tanto para la plantación de dos años de edad (A) como para la plantación de tres años de edad (B).

Por otro lado en el invierno el desplazamiento del sol para el norte y la consecuente menor elevación de los rayos solares favorece para una disminución de la disponibilidad de energía en las facetas voltadas para el norte. Eso puede verificarse en la figura 7 en que se nota que la disminución llegó a ser de 50% y el aumento de hasta el 30%. La figura 8 muestra que en las plantaciones de dos años de edad predomina la disminución de los valores del saldo de radiación, por que estos están localizados en áreas con predominio de facetas vueltas para el lado sur. La distribución equilibrada de las facetas de exposición en las diferentes direcciones de las plantaciones de tres años induce a aumentos y disminuciones de la energía disponible en esas áreas, siendo dependiente de que la faceta de exposición fuese para el norte o para el sur, respectivamente (Figura 8).

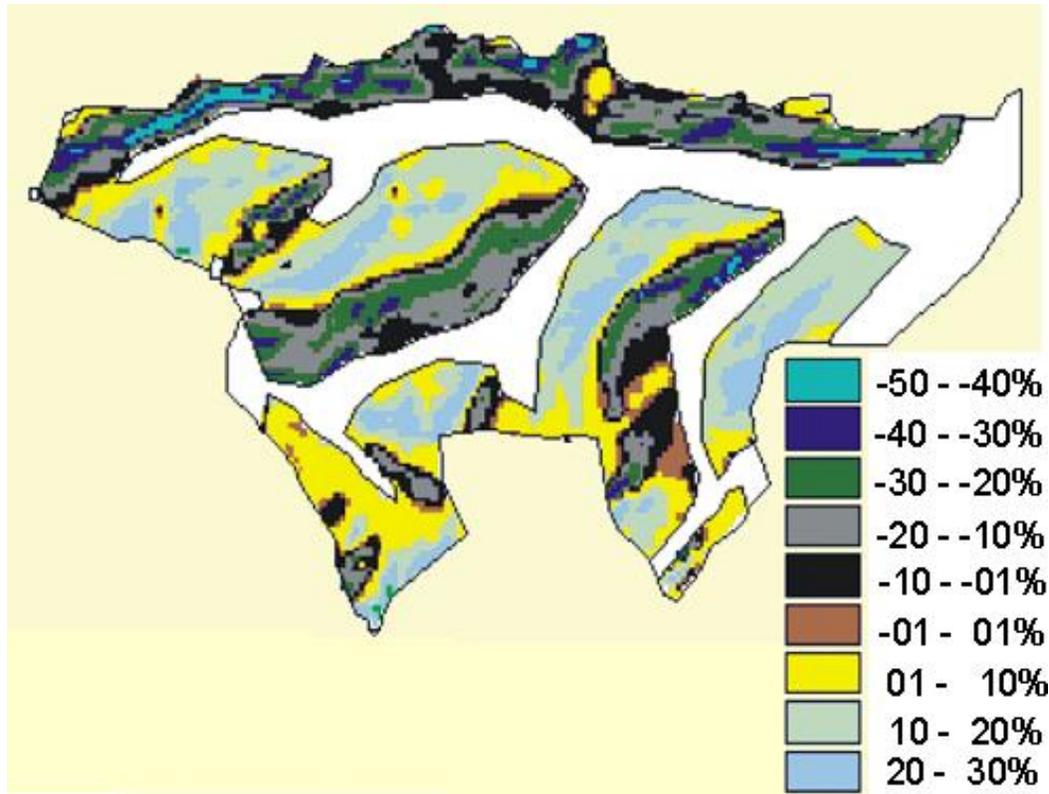


Figura 7 – Variación porcentual del saldo de radiación no invierno entre a superficie considerada plana y considerando la topografía del terreno.

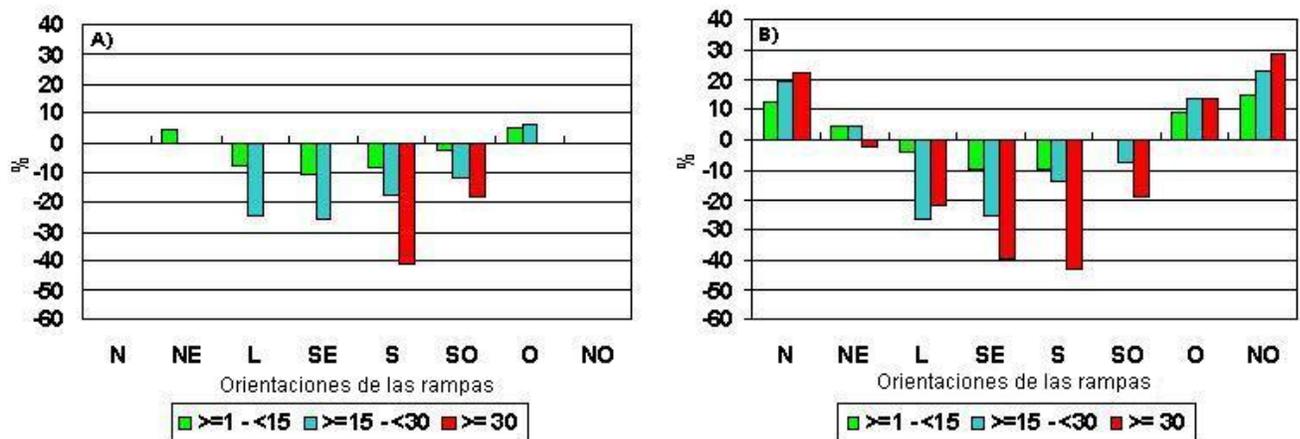


Figura 8 – Histogramas de la variación porcentual del saldo de radiación no invierno entre la superficie considerada plana y considerando la topografía do terreno, tanto para la plantación de dos años de edad (A) como para el 3 años (B).

Para verificar el efecto de la disponibilidad de energía en la tasa de evapotranspiración en áreas de relieve ondulado, fue espacializada la diferencia porcentual de la evapotranspiración en el invierno en la micro-bacia estudiada entre la superficie considerada plana y la topografía original do terreno (Figura 9), una vez que en esta época del año se verifica las mayores diferencias entre rampas de los valores del saldo de radiación. Así se verifica que en la regiones tropicales, donde el saldo de radiación es el factor que más explica el total de transferencia de vapor de agua entre la superficie y la atmosfera, es necesario considerar em el cálculo del saldo de radiación la inclinación y la faceta de exposición del terreno.

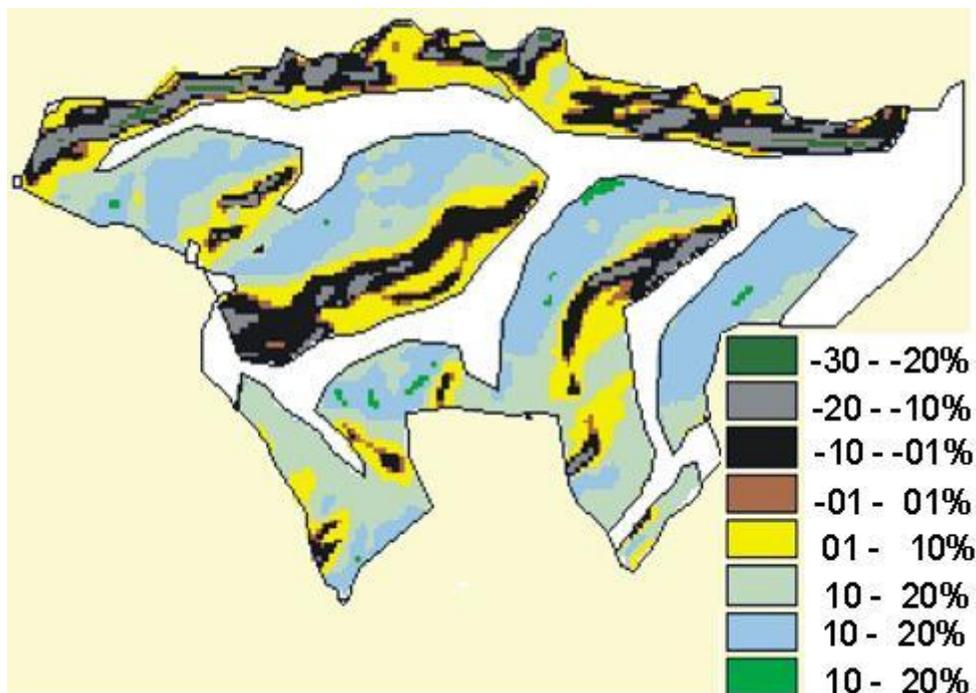


Figura 9 – Diferencia porcentual de la evapotranspiración en el invierno en la micro-cuenca estudiada entre la superficie considerada plana y considerando la topografía del terreno

Conclusiones

Se verifico que existe una influencia de las diferentes inclinaciones y orientaciones de las rampas en los totales diários de evapotranspiración. En general este hecho esta relacionado con la mayor o menor disponibilidad de energia para el proceso de cambio de fase de la agua (líquido-vapor), que depende de la faceta de exposición del terreno. Debido a la posición geográfica y la característica de la topografía de la cuenca, el saldo de radiación no sufrio muy grandes alteraciones em el verano. Sin embargo, en el invierno, cuando el sol esta mas al norte de la micro-cuenca, esta diferencia llegó hasta el 50% para rampas vueltas para el sur y aumento del 20% para regiones con rampas vueltas para el lado norte. Por lo tanto, se conclue que es importante, em regiones de relieve ondulado, hacer la corrección espacial de la intensidad de flujos a partir de la irradiancia solar medida en el piranometro.

4. Referencias Bibliográficas

IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation, 400p, 1983.

MAESTRI, R. Modelo de Crescimento e Produção Implícito para Povoamentos de Híbridos Naturais de *Eucalyptus grandis* Baseado em Variáveis do Ambiente e do Povoamento. Tese de Doutorado, UFPR, XX p, 2003.

MIELKE, M. S.; OLIVA, M. A.; BARROS, N. F.; PENCHEL, R. M.; MARTINEZ, C. A.; ALMEIDA, A. C. Stomata control of transpiration in the canopy a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. *Trees*, v.13,152-160 p, 1999.

NEVES, J. C. L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Tese de Doutorado, UENF, 191 p. 2000.

SACRAMENTO NETO, O. B. Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente-MG. Dissertação de Mestrado, UFV, 82 p., 2001.