

DETERMINAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA PLANTIOS DE EUCALIPTO UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Leonardo Pereira Fardin¹; Daniel Camilo de Oliveira Duarte²; Carlos Alberto Araújo Júnior¹

- (1) Doutorando em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Av. P. H. Rolfs s/n CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil
- (2) Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Av. P. H. Rolfs s/n CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil

leopard@gmail.com, dcoduarte@gmail.com, araujocaj@gmail.com

Identificação do evento: Apresentado no III Congresso Brasileiro de Eucalipto – 02 a 04 de Setembro de 2015 – Centro de Treinamento Dom João Batista – Vitória – ES

RESUMO: A seleção da localização de um novo projeto florestal é uma decisão que envolve uma série de questionamentos, sendo necessária a utilização de ferramentas que permitam a análise destes fatores em conjunto. O objetivo do trabalho foi identificar as áreas adequadas ao plantio de eucalipto utilizando ferramentas de análise multicritério, o trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Piranga, estado de Minas Gerais, os fatores considerados na análise multicritério foram: Uso e ocupação do solo, classes de solo, nascentes, hidrografia, rodovias, solos, radiação e declividade, estes fatores foram escalonados em um mesmo intervalo de valores em termos de adequabilidade ao plantio de eucalipto, sendo preenchida posteriormente a matriz de comparação aos pares de fatores, tal preenchimento foi realizado a partir da discussão entre os especialistas acerca do grau de importância de um fator em relação a outro fator, após o preenchimento o método de AHP (Analytic Hierarchy Process – Processo Analítico Hierárquico) forneceu os pesos dos fatores: Nascentes 4%, Hidrografia 4%, Rodovias 7%, Solos 10%, Radiação 16%, Uso e ocupação 24% e declividade 35%. Os resultados revelaram que cerca de 203.745 ha foram considerados como áreas indicadas para o plantio do eucalipto, 96.761 ha considerados como pouco indicados para o plantio e as áreas restritas totalizaram 359.792 ha, a partir dos resultados pode-se concluir que a análise multicritério mostrou-se eficiente para determinação de áreas adequadas ao plantio de eucalipto e a sub-bacia do rio Piranga possui áreas aptas para o desenvolvimento de projetos de reflorestamento.

Palavra chave: Sistemas de Informações geográficas, aptidão florestal, bacia hidrográfica.

INTRODUÇÃO

A madeira de eucalipto tem sido utilizada principalmente como matéria prima para produção de celulose, papel e carvão vegetal (IBA, 2014). Ainda, em virtude da crescente demanda por energia elétrica e associada à atual situação das hidrelétricas nacionais, tem se destacado a utilização da madeira de eucalipto para geração de energia por meio de termoelétricas.

Com essa perspectiva de aumento no consumo de madeira, torna-se importante a definição de locais adequados para a introdução de reflorestamentos, de maneira a evitar áreas de elevada declividade, de orientação de encostas voltadas para o norte e baixa aptidão agrícola (FRANCELINO et al., 2012). Além desses fatores, outros devem ser observados, tais como dificuldades operacionais (mecanização), logísticas (escoamento da produção) e geomorfológicas (fertilidade e textura dos solos).

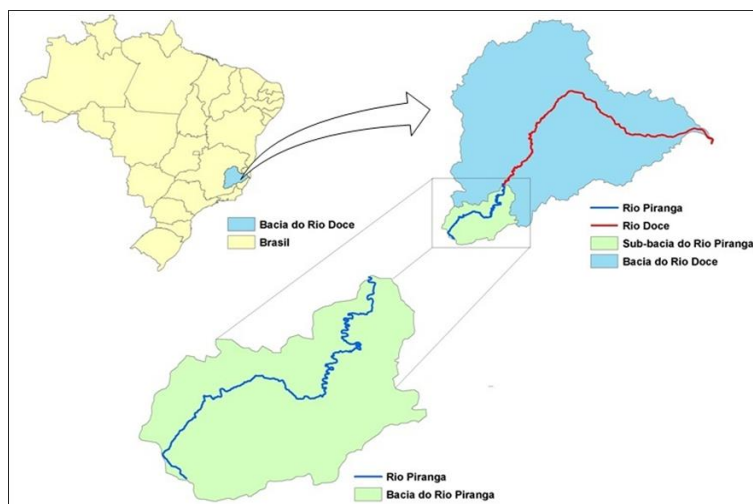
Assim, a seleção da localização de um novo projeto florestal considerando tais variáveis envolve a utilização de ferramentas que permitam análise destes fatores de maneira conjunta e espacializada. Uma ferramenta de suporte à decisão espacial pode ser definida como um sistema de computador interativo projetado para ajudar o usuário alcançar altos níveis de eficácia no processo de tomada de decisão, resolvendo desafios representados por problemas de decisão espaciais semiestruturados (MALCZEWSKI, 1999).

Como exemplo, pode-se citar a análise multicritério, cuja principal vantagem é a possibilidade de atribuir diferentes valores relativos a cada um dos fatores no processo de agregação de características. Tal ferramenta tem sido utilizada para gerar mapas de susceptibilidade à erosão (VALLADARES et al., 2012), seleção de culturas agrícolas para cultivo (VIEIRA & CURI, 2015) e mapeamento de áreas prioritárias para adequação do uso da terra (SARTORI et al., 2011). Assim, considerando a necessidade de implantação de reflorestamentos e o potencial de utilização de ferramentas de sistemas de informação geográfica para a tomada de decisão quanto aos empreendimentos florestais, este trabalho objetiva utilizar ferramentas de análise multicritério para identificação de áreas adequadas ao plantio de eucalipto na bacia do Rio Piranga, no estado de Minas Gerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido considerando dados da bacia hidrográfica do rio Piranga, estado de Minas Gerais (Figura 1). O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, enquadra-se como tropical de altitude com chuvas durante o verão e verões frescos. A temperatura média anual varia em torno de 18°C e a precipitação média anual é de 1.400 mm (IGAM, 2007).

Figura 1: Localização da área de estudo, Bacia do Piranga - MG – Brasil.



Foram utilizadas cartas topográficas vetoriais do Mapeamento Sistemático Brasileiro (IBGE, 2015), sendo selecionados os temas de sistema viário, hidrografia, curvas de nível e pontos cotados. O mapa de solos utilizado é um recorte do original do trabalho de Filho et al. (2010).

Um Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Condicionado (MDEHC), com resolução espacial de 15m, foi gerado a partir dos planos de informação referentes à hidrografia e altimetria. A partir de tal modelo, calculou-se a radiação solar utilizando a ferramenta *Solar Radiation* disponível no ArcGis10.2.2. Assim, obteve-se a radiação total para o ano de 2008, sendo o resultado convertido em MJ.dia/m² por meio dos dados de horas de radiação solar para o mesmo período. Tais cálculos são importantes pelo fato de que se observa um aumento na quantidade de biomassa das árvores à medida que se aumenta a quantidade de luz incidente sobre as mesmas (BINKLEY et al., 2010).

Para determinar as classes de uso e cobertura do solo, foram processadas imagens do satélite Landsat5 utilizando-se o método da Máxima Verossimilhança e considerando as classes referentes às áreas de pastagem, floresta, agricultura, urbanização, solo exposto e água. O escalonamento considerou como mais importante a conversão de áreas de solo exposto em áreas para o cultivo de eucalipto e como menos importante a conversão da agricultura em reflorestamento.

A importância relativa dos fatores estabelecidos foi definida a partir da elaboração uma matriz de comparação aos pares de fatores (Tabela 1). A determinação dos valores inseridos na matriz foi realizada a partir da discussão entre especialistas e considerando o grau de importância de um fator em relação a outro fator. Os pesos relativos a cada fator foram obtidos a partir da técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*) proposta por Saaty (1980) (Tabela 2). O índice de consistência utilizado foi igual a 0,01, uma vez que índices menores que 0,1 demonstram consistência na determinação dos pesos e indicam a possibilidade de se prosseguir com os cálculos. Os mesmos foram realizados utilizando o *software* ArcGIS 10.2.2.

A combinação linear dos critérios foi obtida multiplicando-se os valores de escalonamento pelo peso correspondente obtido na análise hierárquica de processos e somando-os aos resultados dos outros fatores. O resultado final é então dividido pelo número de fatores. Para realizar a agregação destas informações foi utilizada a ferramenta *Weighted Overlay* disponível no *software* ArcGis 10.2.2, a qual faz a sobreposição de várias camadas raster utilizando uma escala de medida comum e pesos, cada um de acordo com sua importância.

Tabela 1. Matriz de comparação em pares para os fatores utilizados na análise multicritério.

Fatores	Nascentes	Hidrografia	Rodovias	Solos	Radiação	Uso e Ocupação	Declividade
Nascentes	1	1	0.50	0.33	0.25	0.20	0.16
Hidrografia	1	1	0.50	0.33	0.25	0.20	0.16
Rodovias	2	2	1	0.50	0.33	0.25	0.20
Solos	3	3	2	1	0.50	0.33	0.25
Radiação	4	4	3	2	1	0.50	0.33
Uso e Ocupação	5	5	4	3	2	1	0.50
Declividade	6	6	5	4	3	2	1

Tabela 2. Tabela de pesos determinados pelo método AHP

Crítérios	Nascentes	Hidrografia	Rodovias	Solos	Radiação	Uso e Ocupação	Declividade
Pesos	4%	4%	7%	10%	16%	24%	35%

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados revelaram que cerca de 203.745 ha foram considerados como áreas indicadas para o plantio de eucalipto, 96.761 ha foram considerados como pouco indicados para o plantio e para o restante, 359.792 ha, como não indicadas (Tabela 3). De fato, as áreas não indicadas representam locais onde impôs-se restrições ao modelo (áreas de APP, área de servidão ao longo das rodovias, florestas, áreas urbanas e declividades acima de 45 graus), o que indica que o processamento foi eficiente para tal finalidade.

Tabela 3. Resumo das áreas por classe de adequabilidade ao plantio de eucalipto

Descrição	Área (ha)	Área do menor polígono (ha)	Área do maior polígono (ha)
Alta adequabilidade para o plantio	1.397	0,01	23,91
Boa adequabilidade para o plantio	202.348	0,01	566,11
Baixa adequabilidade para o plantio	96.761	0,01	364,83
Áreas restritas	359.792	-	-

Os polígonos gerados para os locais considerados ótimos tiveram áreas variando de 0.01 ha à 23.91 ha (Tabela 3). Conforme Pereira Neto (1995), o tamanho ideal de talhões deve considerar aspectos como o procedimento de colheita florestal e qualidade do local, recomendando-se uma área mínima de 5.0 ha, o que diminui ainda mais as áreas ótimas indicadas para plantio.

As áreas de alta adequabilidade para plantio concentraram-se na classe de solo Argissolo (71%), em classes de elevada radiação solar (97%) e nas classes de menor declividade (90%) (Tabela 4). Tais resultados mostram a importância de uma classificação dos fatores em função da literatura pertinente.

Tabela 4. Fatores considerados na análise multicritério e seus respectivos valores de escalonamento.

Fator	Descrição da classe	Área de alta adequabilidade (%)	Área de boa adequabilidade (%)	Área de baixa adequabilidade (%)
Classe de solo	LVd	8%	22%	10%
	PVAe/PVd	71%	22%	8%
	LVAAd	21%	54%	75%
	CXbd	0%	2%	6%
Classe de Radiação solar	8 - 49	1%	1%	12%
	49 - 61	3%	23%	59%
	61 - 64	97%	30%	22%
	64 - 76	0%	46%	7%
Classe de Declividade (graus)	0 - 3	90%	6%	0%
	3 - 8	9%	24%	2%
	8 - 20	0%	58%	39%
	20 - 45	0%	11%	57%
Distância até a rodovia (m)	30 - 3500	97%	79%	61%
	3500 - 7000	3%	18%	31%
	7000 - 10500	0%	2%	7%
	> 10500	0%	0%	1%

Com relação à declividade, a análise indicou que o maior percentual das áreas de boa e elevada adequabilidade estão em locais de menor declive, possibilitando maior mecanização da atividade. Essa indicação é reforçada pelos trabalhos de Lima et al. (2004), indicando que as principais máquinas utilizadas na colheita florestal têm restrições em relação a sua utilização em terrenos com declividade, e Pereira et al (2012), que concluíram que a profundidade da mesma diminui com o aumento da declividade, sugerindo um limite igual a 22 graus.

Os locais com alta adequabilidade para plantio apresentaram maior percentual de áreas de polígonos próximos às rodovias. Em contrapartida, as áreas menos indicadas para o cultivo de eucalipto são aquelas que apresentaram menor percentual de áreas de polígonos próximos às estradas pavimentadas. Tais resultados são condizentes com a literatura, uma vez que em um trabalho sobre classificação de estradas florestais, Lopes et al (2002) destacaram que estradas que apresentam superfície de rolamento sem revestimento podem comprometer a trafegabilidade em determinadas épocas

do ano. E, ainda, o desempenho dos veículos de transporte de madeira decresce em função da diminuição da qualidade das estradas.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que o método AHP (Analytic Hierarchy Process) mostrou-se eficiente em atribuir os pesos dos critérios selecionados para análise. Ainda, a análise multicritério mostrou-se como ferramenta importante para determinação de áreas adequadas ao plantio de eucalipto e a sub-bacia do rio Piranga possui áreas potencialmente aptas para o desenvolvimento de projetos de reflorestamento com eucalipto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; BAUERLE, W. L.; RYAN, M. G. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by Eucalyptus at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 259, p. 1704-1713, 2010.

FRANCELINO, M. R.; REZENDE, E. M. C.; SILVA, L. D. B. Proposta metodológica para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 275-283, 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES/IBÁ. **Anuário estatístico 2014: ano base 2013**. Brasília: 2014. 100p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 11 de agosto de 2015.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/>>. Acesso em: 11 de agosto de 2015.

LEITE, E. S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; AMARAL, E. J.; LACERDA, E. G. Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 000-000, 2014.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; AREAS, M. L. Estimativas das estabilidades longitudinal e transversal de tratores florestais utilizados na colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 839-844, 2004.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 329-338, 2002.

MALCZEWSKI, J., **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. John Wiley and Sons, New York, 1999.

PEREIRA NETO, S. D. **Análise econômica da densidade de estradas nas áreas de produção de Eucalyptus**. 1995. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

PEREIRA, D. P.; FIEDLER, N. C.; LIMA, J. S. S.; GUIMARAES, P. P.; MORA, R.; CARMO, F. C. A. Eficiência da subsolagem na profundidade de preparo do solo em função da declividade do terreno. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 607-612, 2012.

SAATY, T. L., **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-hill, New York, 1980.

SARTORI, A. A. C.; NOSSACK, F. A.; MORAES, D. A. C.; DANTAS, M. J. F.; SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. Definição de áreas prioritárias à adequação do uso da terra por meio da abordagem multicritério em ambiente SIG. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.8725

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de susceptibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, 2012.

VIEIRA, A. S.; CURI, W. F. Seleção de culturas agrícolas utilizando técnicas de análise multicritério. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 45-60, 2015.