

USO DA ANÁLISE MULTIVARIADA PARA ESTABELECEMOS RELAÇÕES ECOLÓGICAS EM UMA ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Carlos Eduardo Batista de Oliveira^{1*}, Flaviana Delmiro Oliveira², Caio Henrique Januário Calassa³, Guilherme Murilo Oliveira⁴ e Fábio Venturoli⁵

¹Mestrando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras.

²Mestranda em Agronomia, Universidade Federal de Goiás.

³Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás.

⁴Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal de Goiás.

⁵Professor da Universidade Federal de Goiás

*c.eduardoufg@gmail.com

Recebido em: 30/07/2016 – Aprovado em 22/09/2016 – Publicado em: 26/09/2016
DOI: 10.18677/TreeDimensional_2016_015

RESUMO

O estudo foi realizado em uma área de restauração florestal no bioma Cerrado. O objetivo deste estudo é verificar padrões ecológicos em uma área de restauração florestal através da metodologia de análise multivariada utilizando análise de componentes principais. Foram alocadas 10 parcelas de 288 m² distribuídas aleatoriamente na área, realizando estudos de densidade de fluxo de fótons, cobertura do dossel, cobertura do solo e inventário florestal em duas estações climáticas (seca e chuvosa). Várias relações foram encontradas entre variáveis importantes para o sucesso de restauração florestal, como correlação negativa de gramíneas com a regeneração natural na estação chuvosa, correlação negativa da serapilheira e gramíneas na estação seca. Mostrou-se eficiente o uso da análise multivariada respondendo a variância dos dados superior a 60%, se utilizada como uma ferramenta para uso anual, poderá melhor referenciar padrões ecológicos da área, podendo ser usado para identificar indicadores de restauração florestal.

PALAVRAS-CHAVE: Análises de componentes principais, restauração ecológica, Cerrado.

USING MULTIVARIATE ANALYSIS TO ESTABLISH ECOLOGICAL RELATIONSHIPS IN A FOREST RESTORATION

ABSTRACT

The study was conducted in a forest restoration area in the Cerrado biome. The aim of this study is to determine ecological standards in an area of forest restoration, through multivariate analysis methodology using principal component analysis. They were allocated 10 plots of 288 m² distributed randomly in the area, making photon flux density studies, canopy cover, ground cover and forest inventory in two seasons (dry and wet). Several links were found between, important variables for the success

of forest restoration, negative correlation of grass with natural regeneration in the rainy season, a negative correlation of litter and grasses in the dry season. Efficient use of multivariate analysis, responding to data variance greater than 60%, if used as a tool for annual use, reference may best ecological standards of the area, can be used to identify forest restoration indicators

KEYWORDS: principal component analysis, ecological restoration, Cerrado.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o bioma Cerrado já perdeu mais de 50% da vegetação original, convertida para diversos usos, apenas 2,2% é estritamente protegido (KLINK & MACHADO, 2005). O aperfeiçoamento do conhecimento da distribuição e padrões da biodiversidade para o bioma faz-se necessário para identificar áreas de proteção e auxiliar estratégias de conservação do Cerrado, como modelos de restauração (WERNEK et al., 2012).

O Cerrado vem tomando frente como um dos biomas mais importante no atual cenário nacional, não apenas por possuir uma vegetação típica, mas devido ao novo código florestal implementado através da Lei nº 12.651 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2012), que traz como exigência a conservação ou restauração de áreas de vegetação nativa nas propriedades rurais. Segundo SOARES-FILHO et al., (2014) com a nova legislação em vigor espera-se restaurar uma área total de aproximadamente 21 milhões hectares, dentre esses 16 milhões são de reservas legais, sendo que 3,7 milhões estão no bioma Cerrado.

Na restauração no bioma Cerrado há uma grande discussão em relação às diferenças com a restauração em florestas tropicais. Essas possuem solos mais férteis e clima mais favorável para obter sucesso com a restauração florestal, pois enquanto na floresta tropical o fator árvore é o mais discutido, no Cerrado há outras formas de vida, como arbustos, herbáceas que compõem de forma mais representativa essa fisionomia (DURIGAN, 2013).

Os usos de estratégias próprias para a restauração florestal no Cerrado e a avaliação do processo de restauração vêm sendo bastante estudados devido à importância da biodiversidade do Cerrado e dos serviços ecossistêmicos prestados por savanas tropicais (DURIGAN, 2003; KLINK & MACHADO, 2005; LEHMANN et al., 2014). Fator abiótico, como a seca prolongada, torna-se um obstáculo quanto à restauração (DURIGAN et al., 2013).

Diversos estudos de vegetação já foram realizados utilizando análises estatísticas multivariadas e envolveram fertilidade de solo, uso do hidrogel em plantio de espécies nativas para recuperar áreas degradadas; associação entre solos e vegetação do cerrado, estudos sobre o regime de fogo, entre outros (MANZIONE & ZIMBACK, 2011; BARROS, 2012; MONTEIRO et al., 2016).

O objetivo deste estudo foi utilizar a Análise de Componentes Principais (PCA, em inglês) para verificar a relação entre fatores ecológicos em duas estações do ano (seca e chuvosa), em uma área em processo de restauração florestal, buscando compreender o funcionamento do ecossistema e discutir possíveis intervenções que possam ser feitas para aperfeiçoar o processo de restauração local.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde a uma floresta em processo de restauração florestal, com três hectares, localizada na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (16°36'10"S/49°16'40"W), em Goiânia, Goiás.

A floresta local é heterogênea e inequiana, é composta por espécies nativas do bioma Cerrado que foram plantadas ao longo dos últimos dez anos. O clima é do tipo Aw, pela classificação climática de Köppen-Geiger, caracterizado como sendo um clima tropical, com sazonalidade: uma estação seca e outra chuvosa, bem definidas (CARDOSO et al., 2014).

Na área foram alocadas aleatoriamente dez parcelas experimentais de 288m², onde as espécies foram identificadas e foram realizados estudos de densidade de fluxo de fótons (DFF), cobertura do dossel e cobertura do solo. A coleta de dado foi realizada em duas ocasiões em 2014, a primeira em fevereiro e a segunda em agosto. Essas duas épocas correspondem às estações chuvosa e seca, respectivamente.

A densidade de fluxo de fótons (DFF) foi estimada por sensores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), acoplados a um *datalogger* modelo LI-250A. As medições ocorreram simultaneamente em pleno sol, em uma área externa à floresta e no seu interior, permitindo, por diferença, verificar a porcentagem de luz que atravessava o dossel da floresta no decorrer de um dia. As medições iniciaram-se às 08h30min e finalizaram-se às 18h30min.

No interior da floresta as medições foram realizadas a 1,30m de altura do solo e ao nível do solo, onde foram tomadas três medições a cada 30 segundos, no ponto central da parcela. Para as medições os sensores foram nivelados, conforme metodologia descrita por FELFILI & ABREU (1999) e também utilizada por VENTUROLI et al. (2012).

A porcentagem de sombreamento foi calculada a partir dos dados de DFF conforme a seguinte equação.

$$S (\%) = \left[1 - \left(\frac{DFF \text{ floresta}}{DFF \text{ pleno sol}} \right) \right] * 100$$

Em que:

- S (%) é o percentual de sombreamento estimado;
- DFF floresta representa a densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) no interior da floresta;
- DFF pleno sol representa a densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) a pleno sol.

A cobertura do dossel foi mensurada utilizando-se um densiômetro esférico convexo, instalado no ponto central de cada uma das parcelas do estudo. Em cada ponto foi feita uma avaliação a 1,30m do solo.

Segundo LEMMON (1957), o densiômetro possui 24 quadrantes, sendo que cada quadrante é dividido em quatro partes iguais. O número de quartos de cada quadrante multiplica por 1,04 fornece uma estimativa da cobertura do dossel, em porcentagem.

Para a avaliação da cobertura do solo foi utilizado um gabarito de madeira de 0,25m², dividido em 100 retículos iguais. O gabarito foi lançado aleatoriamente com 10 repetições por parcela. Em cada lançamento foi identificada a porcentagem de cobertura do solo por gramíneas, herbáceas, serapilheira e por regeneração

natural de espécies arbóreas, por uma contagem dos retículos ocupados por cada um desses componentes da vegetação

Foi realizado um inventário florestal em cada uma das dez parcelas para identificar as espécies arbóreas. As árvores também foram medidas em altura total e sendo incluídas na amostragem as que possuíam um DAP ≥ 5 cm. Os diâmetros foram medidos com suta e as alturas com clinômetro eletrônico.

Foram realizadas análises de componentes principais (PCA) relacionando o sombreamento a nível do solo, o sombreamento a 1,3 m de altura, a classificação de cobertura do solo, a altura média das árvores, a área basal das árvores e a cobertura do dossel de cada parcela, na busca por compreender as relações ecológicas entre estas variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de avaliação, pode-se verificar (tabela 1) que a maior porcentagem de sombreamento ocorreu durante a estação chuvosa e no interior da floresta, em ambos níveis de medições (ao nível do solo e a 1,3m de altura). O sombreamento médio foi de 85,68% ao nível do solo e 86,5% a 1,3 m de altura.

A cobertura do solo que obteve maior média na estação chuvosa foi composta por gramíneas (18,77%) e na estação seca por serapilheira (53,64%), a serapilheira não foi mensurada na estação chuvosa por não compor uma categoria, observando em campo na estação seca uma porcentagem alta de serapilheira na estação seca, decidiu-se adicionar essa na categoria de cobertura do solo, para verificar se existia alguma relação ecológica.

Quanto a cobertura do dossel teve pouca variação entre as estações, sendo de 65% na chuva e 60% na seca.

Nas variáveis obtidas através do inventário florestal verifica-se valores de média \pm desvio padrão na altura (6,88 m \pm 0,85) e área basal (0,49 m²/parcela \pm 0,21).

TABELA 1 – Média obtida em porcentagem para cada variável com seu respectivo desvio padrão do presente estudo

| Classe de Variável | | Estação Chuvosa | Estação Seca |
|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | | -----% | |
| Sombreamento | Ao nível do solo | 85,68 ($\pm 6,7$) | 76,00 ($\pm 12,0$) |
| | A 1,3 m de altura | 86,50 ($\pm 8,4$) | 75,70 ($\pm 10,7$) |
| Cobertura do Solo | Regeneração Natural | 1,31 ($\pm 3,1$) | 0,12 ($\pm 0,3$) |
| | Gramíneas | 18,77 ($\pm 22,1$) | 8,16 ($\pm 11,2$) |
| | Herbáceas | 7,87 ($\pm 10,9$) | 0,17 ($\pm 0,5$) |
| | Serapilheira | NM | 53,64 ($\pm 14,7$) |
| Cobertura do dossel | | 65,00 ($\pm 7,54$) | 60,00 ($\pm 11,8$) |

NM= não mensurado

Através dos diagramas biplots resultantes da PCA, apresentados nas figuras 1 e 2, foi possível verificar as relações existentes entre as variáveis do estudo na estação chuvosa e seca, respectivamente. Os pontos enumerados de 1 a 10 com a letra “p” antes, representando as parcelas do estudo, para melhor visualização no diagrama.

As principais relações encontradas na área durante a estação chuvosa foram:

- Maior cobertura de herbáceas (Hb_CH) e de gramíneas (Gra_CH) com menor cobertura do dossel (Doss_CH), menor regeneração natural (RN_CH) e menor altura média das árvores (H_med): correlação negativa;
- Correlação positiva entre o sombreamento ao nível do solo (Somb_so_CH) e o sombreamento a 1,3 m de altura (Somb_1,3_CH);
- Correlação positiva entre a densidade de indivíduos arbóreos (Dens_Arv) e a área basal das árvores (G_parc);
- As parcelas p5, p8, p9 e p10 localizadas próximas aos vetores de herbáceas e gramíneas durante a estação chuvosa, representando a alta porcentagem dessas plantas nessas parcelas.

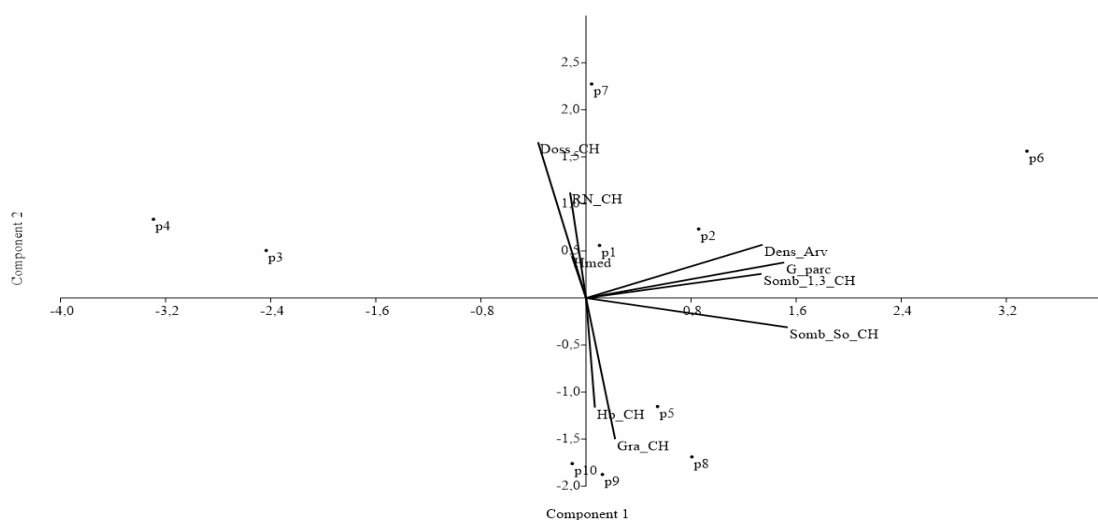


FIGURA 1. Biplot da PCA desenvolvido com as variáveis do estudo para estação chuvosa, onde as duas primeiras componentes principais correspondem a 61,7% da variância do estudo. Siglas estão acompanhadas de CH para corresponderem a estação chuvosa (Doss= cobertura do dossel, RN= regeneração natural, Somb_1,3= sombreamento a 1,3 m do solo, Somb_So= sombreamento a nível do solo, Hb= herbáceas, Gra= gramíneas), H_med= altura média das árvores, Dens_Arv= Densidade de

Na estação seca as relações entre as variáveis do estudo foram:

- Maior densidade de árvores e maior área basal com menor porcentagem de herbáceas: correlação negativa;
- Correlação negativa entre a regeneração natural, o sombreamento ao nível do solo e a 1,3 m de altura e a altura média das árvores com as gramíneas;
- Correlação negativa entre a serapilheira (Sr_S) e as gramíneas;
- Correlação positiva entre a densidade de indivíduos arbóreos (Dens_Arv) e a área basal das árvores (G_parc);

- Correlação positiva entre o sombreamento ao nível do solo e ao nível de 1,3 m de altura.

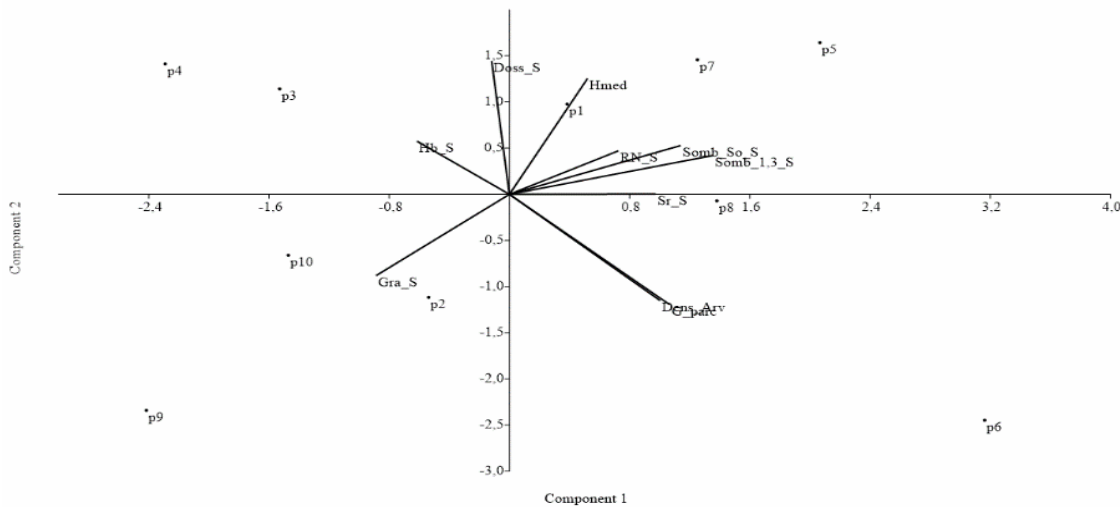


FIGURA 2 - Biplot da PCA desenvolvido com as variáveis do estudo para estação seca, onde as duas primeiras componentes principais correspondem a 62,2% da variância do estudo. Siglas estão acompanhadas de S para corresponderem a estação seca (Doss= cobertura do dossel, RN= regeneração natural, Somb_1,3= sombreamento a 1,3 m do solo, Somb_So= sombreamento a nível do solo, Hb= herbáceas, Gra= gramíneas), H_med= altura média das árvores, Dens_Arv= Densidade de árvores e G_parc= área basal de árvores,

A correlação positiva entre o sombreamento nos dois níveis do estudo demonstrou o que já havia sido observado por VENTUROLI et al. (2012). Não foram encontradas diferenças significativas entre as medições de sombreamento ao nível do solo e 1,3 m de altura em florestas semidecíduas no Cerrado.

Estudos no bioma Cerrado apresentam a porcentagem de cobertura do dossel oscilando de 57,55% a 90%, observando-se maiores valores na estação chuvosa (GUILHERME, 2000; RIBEIRO & WALTER, 2008). Este estudo apresenta valores dentro da variação, mas devido à baixa correlação com sombreamento, demonstra que uma avaliação não pode ser substituída por outra.

Entre as duas estações do ano, na estação seca observou-se uma correlação negativa entre a gramínea *Urochola* e a regeneração natural. GUILHERME (2000) em mata de galeria no Cerrado verificou a mesma relação, porém com a gramínea *Olyra taquara*. As gramíneas exóticas invasoras em áreas de restauração florestal são tidas como um fator negativo, devido à forte competição que exercem sobre mudas de árvores plantadas (HOLL et al., 2010; DURIGAN et al., 2013).

Em ambas estações climáticas pode-se observar que a regeneração natural e a altura média das árvores apresentaram correlação negativa com as gramíneas. Essa correlação pode ser uma resposta de intervenção na área, pois segundo DURIGAN et al., (2013), a regeneração natural é um dos parâmetros mais utilizados para avaliar o sucesso de programas de restauração florestal.

O avanço de estágios sucessionais espera-se a redução da cobertura de gramíneas. RODRIGUES et al. (2009) mostram que em estágios mais avançados de sucessão em um sistema florestal, espera-se maior cobertura por serapilheira, arbustos e ervas cobrindo o solo exposto.

CONCLUSÃO

Com as avaliações realizadas durante as duas estações climáticas, pode-se verificar que a análise de componentes principais (PCA) foi uma boa ferramenta para estudar os padrões ecológicos em áreas de restauração florestal.

Um acompanhamento anual poderá trazer uma melhor visão do processo de restauração da área, servindo também como uma ferramenta para uso de indicadores de restauração florestal.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geifer para Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, p.40-55, jan/mar. 2014. DOI: 10.5654/actageo2014.0004.0016.

BARROS, J.S. **Associação entre solos e vegetação nas áreas de transição cerrado-caatinga-floresta na bacia do Parnaíba sub-bacia do rio longá PI**. 2012.157f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ecologia, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/11488>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

DURIGAN, G. Bases e diretrizes para restauração da vegetação de Cerrado. In: KAGEYAMA, P. Y.; LIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p.187-201.

DURIGAN, G. Reflexões sobre a restauração ecológica em regiões de Cerrado. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). **Políticas públicas para a restauração ecológica e conservação da biodiversidade e Anais do VI Simpósio de Restauração Ecológica**, 400p, Instituto de Botânica, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://botanica.sp.gov.br/files/2013/12/Anais-do-V-Simp%C3%B3sio-de-Restaura%C3%A7%C3%A3o-Ecol%C3%B3gica.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

DURIGAN, G.; GUERIN, N.; COSTA, J. N. M.N. da. Ecological restoration of Xingu Basin headwaters: motivations, engagement, challenges and perspectives. **Philosophical Transaction Of The Royal Society B: Biological Sciences**, v.368, n.1619, p.165, 2013. DOI: 10.1098/rstb.2012.0165.

FELFILI, J. M.; ABREU, H. M. Regeneração natural de *Roupala montana* Aubl. *Piptocarpha macropoda* Back. e *Persea fusca* Mez. em quatro condições ambientais na mata de galeria do Gama-DF. **Cerne**, Lavras, v.5, n.2, p.125-132, 1999.

GUILHERME, F. A. G. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural das plantas lenhosas em mata de galeria, Brasília-DF. **Cerne**, Lavras, v.6, n.1, p.60-66, 2000.

HOLL, K. D.; ZAHAWI, R. A.; COLE, R. J.; OSTERTAG, R.; CORDELL, S. Planting Seedlings in Tree Islands Versus Plantations as a Large-Scale Tropical Forest Restoration Strategy. **Restoration Ecology**, v.19, n.4, p.470-479, 2010. DOI: 10.1111/j.1526-100x.2010.00674.x.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado, **Conservation Biology**, v.19, n.3, p.707-713, 2005. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x.

LEHMANN, C. E. R.; ANDERSON, T. M.; SANKARAN, M.; HIGGINS, S. I.; ARCHIBALD, S.; HOFFMANN, W. A.; HANAN, N. P. ; WILLIAMS, R. J. ; FENSHAM, R. J.; FELFILI, J.; HUTLEY, L. B.; RATNAM, J.; JOSE, J. S.; MONTES, R.; FRANKLIN, D.; RUSSEL-SMITH, J.; RYAN, C. M.; DURIGAN, G.; HIERNAUX, P.; HAIDAR, R.; BOWMA, D. M. J. S.; BOND, W. J. Savana vegetation-fire-climate Relationships differ among continents, **Science**, v.343, n.6170, p.548-552, jan. 2014. DOI: 10.1126/science.1247355.

LEMMON, P. E. A. A new instrument for measuring forest overstory density. **Journal of Forestry**, Washington, v.55, n.9, p.667-669, Sept. 1957.

MANZIONE, R. I.; ZIMBACK, C. R. L. Análise Espacial Multivariada Aplicada na Avaliação da Fertilidade do Solo. **Reveng**, v.19, n.3, p.227-235, jun. 2011. Revista Engenharia na Agricultura. DOI: 10.13083/1414-3984.v19n03a05.

MONTEIRO, M. M.; VIEIRA, D. A.; SILVA-NETO, C. de M.; GATTO, A.; VENTUROLI, F. ABORDAGEM MULTIVARIADA DO USO DO HIDROGEL EM ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO EM ÁREA DEGRADADA. **Treedimensional**, v.1, n.1, p.1-13, jan. 2016. DOI: 10.18677/treedimensional_2016_002.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei nº 12.651, de 25 maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 de maio de 2012. Seção I. pp.1-8. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 14 jul. 2016.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. ; RIBEIRO, J. F. (Ed.) **Cerrado : Ecologia e Flora**. v.1, p.151-199. Embrapa Cerrados, Brasília, DF, 2008.

RODRIGUES, R. R. ; LIMA, R. A. F. ;GANDOLFI, S. ; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v.142, n.6, p.1242-1251, jun. 2009. DOI: 1016/j.biocon.2008.12.008.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A. COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v.344, n.6182, p.363-364, abr. 2014. DOI : 10.1126/science.1246663.

VENTUROLI, F.; FRANCO, A. C.; FAGG, C. W.; FELFILI, J. M. Regime de luz em uma floresta estacional semidecídua sob manejo, em Pirenópolis, Goiás. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.36, n.6, p.1135-1144, dez/2012. DOI: 10.1590/s0100-67622012000600014.

WERNECK, F. P.; NOGUEIRA, C.; GUARINO, R. C.; JÚNIOR-SITES, J. W.; COSTA, G. C. Climatic stability in the Brazilian Cerrado: implications for biogeographical connections of South American savanas, species richness and conservation in a biodiversity hotspot. **J. Biogeogr**, v.39, p.1695-1706, 2012. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2012.02715.x