



Modelagem preditiva da espécie *Lychnophora pohlii* SCH. BIP., no estado de Minas Gerais

Thais Ribeiro COSTA^{1*}, Cristiane Coelho de MOURA¹, Evandro Luiz Mendonça MACHADO¹,
Marcelo Leandro BUENO²

¹Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, Brasil.

² Departamento de Biologia Geral - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

*E-mail: thaisribeiro.florestal@gmail.com

Recebido em março/2017; Aceito em agosto/2017.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar a distribuição potencial da espécie *Lychnophora pohlii* em Minas Gerais durante as flutuações climáticas no Quaternário, além de identificar a área de abrangência da espécie em Unidades de Conservação. O algoritmo Maxent foi selecionado para relacionar a ocorrência da espécie com variáveis bioclimáticas que refletem diferentes condições de temperatura, precipitação e sazonalidade. Os modelos foram validados por meio do índice AUC e a influência das variáveis sobre a distribuição das espécies foi avaliada por meio do teste *Jackknife*. Os mapas resultantes prevêm áreas de ocorrência restrita para a espécie, ocorrendo em uma porção da Serra do Espinhaço. Os modelos evidenciaram uma redução de área ambientalmente adequada da espécie do Holoceno para o período atual e aumento considerável dos dias atuais para o futuro. Os modelos apresentaram excelente desempenho, visto que os índices AUC variaram entre 0,971 a 0,997. A modelagem de distribuição de espécies mostrou-se bastante útil em fornecer contribuições para o estudo de questões ecológicas sobre a distribuição da espécie, além de ser uma importante ferramenta para planos de conservação da biodiversidade. Recomenda-se o uso de outras variáveis microclimáticas que possam contribuir com a predição e interpretação da distribuição geográfica de espécies endêmicas.

Palavra-chave: espécies Ameaçadas, Maxent, modelo de distribuição potencial, unidades de conservação.

Predictive modeling of the species *Lychnophora pohlii* SCH. BIP, in the state of Minas Gerais

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the potential distribution of *Lychnophora pohlii* in Minas Gerais during climatic fluctuations in the Quaternary, in addition to identifying the area of coverage of the species in Conservation Units. The Maxent algorithm was selected to relate the occurrence of the species with bioclimatic variables that reflect different temperature, precipitation and seasonality conditions. The models were validated by AUC index and the influence of the variables on the distribution of the species were evaluated by the Jackknife test. The resulting maps provide areas of restricted occurrence for the species, occurring in a portion of the Serra do Espinhaço. The models showed environmentally adequate reduction of the Holocene species for the current period and a considerable increase from the present to the future. The models showed excellent performance, since the AUC values ranged from 0,971 - 0,997. The modeling of species distribution has proved to be useful in providing contributions to the study of ecological issues on the species distribution, besides being an important tool for biodiversity conservation plans. It is recommended to use other microclimatic variables that may contribute to the prediction and interpretation of the geographic distribution of endemic species.

Keywords: conservation units, endangered species, Maxent, potential distribution models.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é um domínio fitogeográfico composto por um mosaico de fitofisionomias, variando de campos limpos até formações florestais (EITEN, 1972). O campo rupestre, em particular, é uma fitofisionomia caracterizada predominantemente por um estrato herbáceo-arbustivo (RIBEIRO; WALTER, 2008), distribuída em diferentes tipos de micro-habitats com substratos que podem variar na fertilidade, profundidade e retenção hídrica, além das diferenças no microclima e topografia (BELO et al., 2013). Apesar de ser considerado um ecossistema de elevada riqueza florística e alta taxa de endemismo, áreas de campo rupestre

tem sido ameaçadas por intensa pressão antrópica (VASCONCELOS et al., 2008).

Nos últimos anos, áreas naturais do Cerrado têm sido convertidas em outros tipos de cobertura de terra, como pastagens, monoculturas, área urbana e mineração (SANO et al., 2007). Igualmente grave é a distribuição altamente fragmentada dos habitats remanescentes, o que interfere na viabilidade de manutenção e reprodução de espécies e no próprio potencial para a conservação (CARVALHO et al., 2009).

Acrescenta-se a esse cenário, o fato de que do território legalmente protegido do bioma, apenas 3,0% são Unidades de Conservação de Proteção Integral (IBAMA, 2009),

quantidade incompatível com o acentuado endemismo (GARCIA et al., 2011), e com a distribuição geográfica de determinadas espécies.

A espécie em estudo, *Lychnophora pohlii* Sch. Bip. (ASTERACEAE), conhecida popularmente como “arnica” (SEMIR, 1991), é restrita a localidades de Minas Gerais com ambientes xéricos, em particular os campos rupestres (RODRIGUES; CARVALHO, 2001). As espécies de arnica apresentam grande importância econômica e ecológica devido às suas características medicinais (CAMPOS, 2014) e possui um potencial para restauração de áreas degradadas (SILVA, 2012).

O forte extrativismo sofrido por populações naturais de *L. pohlii* acarretou em um status de vulnerabilidade à extinção para esta espécie, segundo a Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014). A distribuição em populações pequenas e relativamente isoladas umas das outras representa um fator de risco para a manutenção de uma espécie ameaçada, uma vez que são de maior impacto os efeitos de deriva genética e fluxo gênico (SEOANE et al., 2010). Desse modo, torna-se fundamental, gerar de maneira rápida e eficiente novas informações sobre suas distribuições geográficas e sobre o status de suas populações.

Os modelos de distribuição potencial de espécies podem ser úteis para preencher as lacunas de conhecimento sobre os limites geográficos de espécies de interesse, e ainda auxiliam no entendimento sobre os mecanismos que determinam a distribuição destas espécies (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000), sobretudo a resiliência de uma determinada população frente às mudanças climáticas. Além disso, nesses modelos figuram também os estudos que investigam o quanto de área adequada para determinada espécie encontra-se dentro de áreas protegidas (EMBERT et al., 2011), atuando como indicadores de prioridade na elaboração de planos de manejo.

Um dos algoritmos de adequabilidade ambiental está implementado no software homônimo MAXENT. Segundo Phillips et al. (2006), esse algoritmo estima a probabilidade de ocorrência da espécie encontrando a distribuição de probabilidade de máxima entropia (que é a distribuição mais próxima da distribuição uniforme), submetidas a um conjunto de restrições. Ainda de acordo com o autor, dentre as vantagens do algoritmo, destaca-se o fato de necessitar apenas de dados de presença para modelar toda a área de estudo, juntamente com as informações ambientais.

Visando fortalecer estratégias de conservação diante do atual estado de vulnerabilidade da espécie *L. pohlii*, foram aplicadas neste estudo ferramentas de modelagem que pudessem prever o potencial de distribuição geográfica da espécie no estado de Minas Gerais e sua relação com as flutuações climáticas do Quaternário.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Seleção da Espécie e Variáveis Ambientais

A região modelada e a localização dos indivíduos de *L. pohlii* amostrados situam-se no estado de Minas Gerais (Figura 1), em particular nas áreas de campo rupestres na porção meridional da Cadeia do Espinhaço. Nessa região, o clima é caracterizado como mesotérmico do tipo Cwb de acordo com a classificação de Köppen. A média anual de precipitação oscila entre 1.250 e 1.550 mm, e a temperatura média anual situa-se na faixa de 18° a 20°C. A umidade

relativa do ar é quase sempre elevada, revelando médias anuais de 75,6% (NEVES et al., 2005).

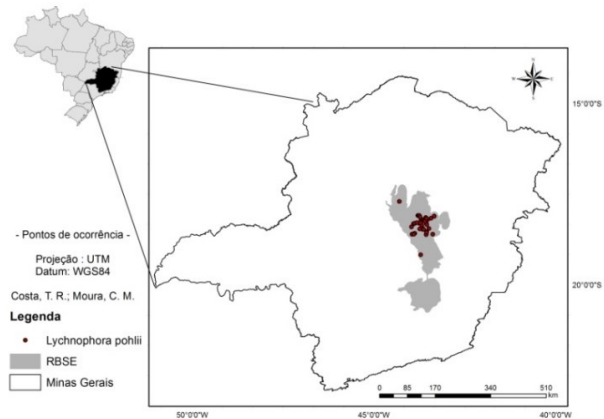


Figura 1. Pontos de coleta da espécie *Lychnophora pohlii* Sch. Bip. inseridos na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE), Minas Gerais.

Figure 1. Collection points of the species *Lychnophora pohlii* Sch. Bip. inserted in the Serra do Espinhaço Biosphere Reserve (RBSE), Minas Gerais.

Os dados bióticos (presença da espécie) foram obtidos de registros em vários herbários (informações sobre a biodiversidade brasileira (GIANNINI et al., 2012)) e disponíveis no site do SPECIESLINK (2017), (<http://smlink.cria.org.br>). Durante o processamento dos dados, pontos de ocorrência duvidosos, com localidade incompleta ou incerta, sem data de coleta ou com coordenadas repetidas foram excluídos da pesquisa (Furini, 2014). Para a criação dos modelos de distribuição potencial utilizou-se três cenários: Holoceno (6000 anos atrás), dias atuais (1960-1990) e futuro (2070), períodos baseados nas simulações climáticas (www.worldclim.org; HIJMANS et al., 2005). Para todos os cenários, empregou-se o Modelo de Sistema Climático Comunitário – CCSM4 (GENT et al., 2011), que representa dados de simulações climáticas com modelos climáticos globais (GCMs) baseado no Projeto de Intercomparação do Modelo Acoplado Fase 5 (TAYLOR et al., 2012).

Foram usadas 19 camadas com dados climáticos, que refletem diferentes condições de temperatura, precipitação e sazonalidade (Tabela 1), com resolução espacial de 5 km, disponíveis no site www.worldclim.org. Todas essas variáveis foram extraídas, conforme a metodologia utilizada por Branquinho (2014), para cobrir o território do estado, englobando toda a distribuição conhecida para a espécie.

Visto que a análise de correlação entre pares das variáveis utilizadas evita a redundância de informação, realizou-se o teste de correlação de Pearson para se evitar a presença de multicolinearidade entre as variáveis. Aquelas altamente correlacionadas ($r > 0,9$) (BUENO, 2014; MOURA et al., 2017) foram excluídas da modelagem com base na relevância ecológica, reduzindo a chance de ocorrer o sobreajustamento dos modelos.

2.2. Elaboração e avaliação dos modelos

De posse das variáveis bioclimáticas selecionadas e das coordenadas geográficas de *L. pohlii*, modelou-se as áreas de distribuição geográfica potencial da espécie usando o algoritmo Maxent v. 3.3 (PHILLIPS et al., 2006). Uma vez

que esse algoritmo também fornece uma curva de resposta da contribuição de cada variável, utilizou-se o teste de *Jackknife* para estimar quais foram as variáveis bioclimáticas de maior contribuição no modelo.

Tabela 1. Relação das 19 variáveis ambientais utilizadas na distribuição potencial da espécie *Lychophora pohlii* Sch.Bip. e suas respectivas descrições, no estado de Minas Gerais.

Table 1. List of the 19 environmental variables used in the potential distribution of the species *Lychophora pohlii* Sch.Bip and their respective descriptions, in the state of Minas Gerais.

Variáveis	Descrição
bio 1	Temperatura média anual
bio 2	Variação diurna média de temperatura
bio 3	Isotermalidade
bio 4	Sazonalidade de temperatura
bio 5	Temperatura máxima do mês mais quente
bio 6	Temperatura mínima do mês mais frio
bio 7	Amplitude térmica atual
bio 8	Temperatura média do trimestre mais úmido
bio 9	Temperatura média do trimestre mais seco
bio 10	Temperatura média do trimestre mais quente
bio 11	Temperatura média do trimestre mais frio
bio 12	Precipitação anual
bio 13	Precipitação do mês mais chuvoso
bio 14	Precipitação do mês mais seco
bio 15	Sazonalidade da precipitação
bio 16	Precipitação do trimestre mais chuvoso
bio 17	Precipitação do trimestre mais seco
bio 18	Precipitação do trimestre mais quente
bio 19	Precipitação do trimestre mais frio

No software *Maxent* foram utilizadas 5000 iterações com 10 repetições do tipo *crossvalidate*, para se obter uma superfície de possibilidade de distribuição mais robusta. Para a avaliação dos modelos gerados foi utilizado o cálculo da área sob a curva ROC (Receiver Operating Characteristics), a AUC.

A AUC serve como uma medida de avaliação do modelo independente de um limite de corte escolhido (PHILLIPS; DUDICK, 2008). Ela é um indicador direto da capacidade discriminatória do modelo e é interpretada diretamente como a probabilidade do modelo de, dado um ponto de verdadeira presença e um ponto de verdadeira ausência, ser classificado corretamente (PHILLIPS et al., 2006).

Tanto o cálculo do índice AUC quanto o teste estatístico *Jackknife* foram calculados pelas ferramentas de pós-análise disponíveis no software *Maxent*. Para inferir sobre o efeito das mudanças climáticas sobre a espécie no estado de Minas Gerais, foram comparadas as projeções nos cenários do passado, presente e futuro.

Utilizou-se para análise da modelagem, um software no ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). Os pontos de presença foram sobrepostos às áreas de ocorrência previstas para avaliar o desempenho dos modelos. Para cada pixel, o Maxent indica um valor numérico que varia de 0-1, melhor definido como adequabilidade ambiental e não como probabilidade de ocorrência (Pearson et al., 2007), sendo representado nos mapas por meio de uma escala de cor crescente, onde os tons mais escuros constituem uma maior adequabilidade ambiental da espécie em estudo.

3. RESULTADOS

A partir da área de abrangência das Unidades de Conservação inseridas na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (Figura 2), pode-se observar que grande parte dos indivíduos amostrados encontra-se ainda desprotegidos por essas Unidades. A maioria dos pontos concentra-se no Parque Estadual do Biribiri, na Área de Proteção Ambiental (APA) de Barão e Capivara, APA do Rio Manso e APA da Serra do Cabral.

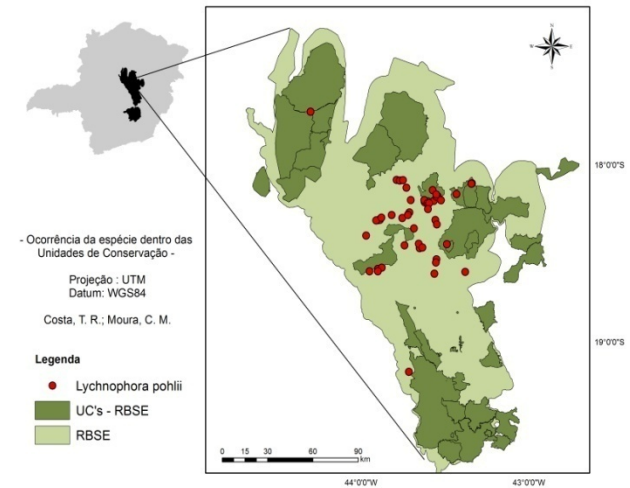


Figura 2. Pontos de coleta da espécie *L. pohlii* e limites das Unidades de Conservação situadas na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE), Minas Gerais.

Figure 2. Collection points of the *L. pohlii* species and limits of the Conservation Units located in the Serra do Espinhaço Biosphere Reserve (RBSE), Minas Gerais.

Realizada a modelagem e o teste de correlação dos dados ambientais, das 19 variáveis bioclimáticas selecionadas inicialmente, apenas dez foram mantidas no modelo final: bio 1, bio 2, bio 3, bio 4, bio 6, bio 7, bio 12, bio 13, bio 14 e bio 18. A modelagem de distribuição para o período do Holoceno apresentou um índice de AUC de 0,977 e desvio padrão de $\pm 0,027$. Para os modelos de distribuição atual e futura os valores de AUC foram de 0,991 e 0,971, com desvio padrão de $\pm 0,006$ e $\pm 0,021$, respectivamente. Quanto mais próximo de 1 for a área sob a curva, melhor o desempenho do modelo, logo todos os períodos analisados demonstraram um alto poder preditivo.

Os mapas gerados evidenciaram uma redução de área ambientalmente adequada da *L. pohlii*, do período holocênico para o atual e aumento considerável dos dias de hoje para o cenário futuro (Figura 3).

No cenário do Holoceno (passado), a arnica apresentou uma distribuição ampla ao longo da Serra do Espinhaço e outras áreas isoladas. No período atual a área ambiental adequada concentrou-se nos municípios de Diamantina, Gouveia, Serro, Buenópolis, Olhos d'água e Bocaiúva. Observa-se que no futuro há uma expansão da área adequada para a ocorrência da espécie em relação ao período atual (Figura 3). No entanto, ao contrário do Holoceno, a área de adequabilidade ambiental da espécie no futuro, não se distribui de maneira uniforme ao longo da Serra do Espinhaço, com a redução de áreas adequadas para a sua ocorrência (Figura 3), especificamente na região dos municípios de Belo Horizonte, Divinópolis, Ouro Preto, e outras áreas da Serra do Cipó.

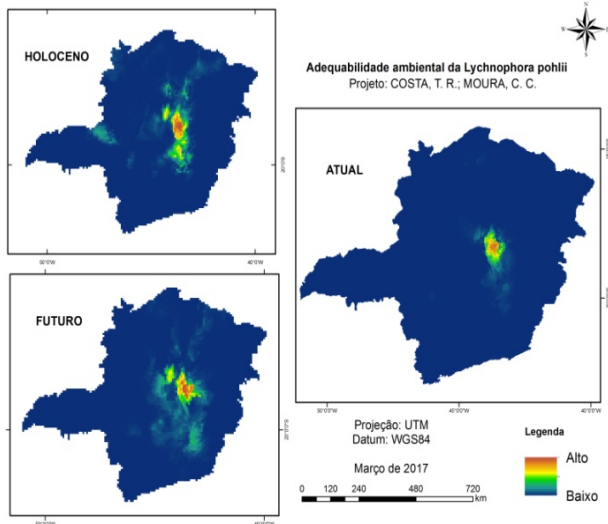


Figura 3. Mapas de distribuição potencial do cenário Holoceno, atual e futuro da espécie *L. pohlii* no estado de Minas Gerais, com percentual de adequabilidade ambiental da espécie.

Figure 3. Potential distribution maps of the Holocene, present and future scenario of the *L. pohlii* species in the state of Minas Gerais, with percentage of environmental suitability of the species.

Para determinar a contribuição relativa das variáveis bioclimáticas analisadas pelo *Maxent* em cada interação do algoritmo de treino, o aumento do ganho regularizado foi adicionado à contribuição da variável correspondente, ou subtraído dele sem que a alteração do valor absoluto de λ fosse negativa. Já para a importância de permutação, para cada variável bioclimática, os valores dessa variável em dados de presença de treinamento e de acontecimentos foram permutados aleatoriamente (Tabela 2). As estimativas de contribuição relativa das variáveis aos modelos do passado, presente e futuro foram maiores para a bio 13, bio 3 e bio 18, respectivamente. No que tange a importância de permutação, a variável bio 14 foi mais expressiva no modelo do passado, a bio 3 foi maior para o modelo atual e a bio 1 no modelo futuro.

Os resultados do teste de *Jackknife* mostraram que para os dois primeiros modelos de distribuição, a variável ambiental com ganho mais elevado quando usada isoladamente é a precipitação do trimestre mais chuvoso, a qual parece ter a maior informação útil agregada. No cenário futuro, a variável com maior ganho e maior perda quando se omite, corresponde à precipitação do trimestre mais quente. No caso dos campos rupestres, em particular nas áreas em que foram obtidos os pontos de coleta, os meses mais quentes correspondem ao início do verão. Esse período, especialmente entre os meses de novembro a fevereiro, coincide com o trimestre de maiores índices de precipitação, que corrobora com o resultado obtido para os outros modelos.

No modelo de distribuição para o período do Holoceno, a variável bioclimática que diminui o ganho quando se omite foi a precipitação do mês mais seco, que parece conter a maioria de informação que não está presente nas outras variáveis.

A variável ambiental que mais prejudica o ganho no modelo de distribuição atual, quando é omitida, é a isothermalidade. A isothermalidade é obtida pela razão da variação de temperatura diurna média mensal pela variação de temperatura anual (Hijmans *et al.*, 2005). Assim, quanto

maior a isothermalidade, maior será a variação diária em relação à anual, influenciando na necessidade das espécies que ocorrem sob esta condição a buscarem mecanismos que possibilitem a adaptação frente às drásticas variações em curta escala de tempo.

Tabela 2. Valores percentuais de contribuição relativa e importância de permutação das variáveis ambientais para cada modelo de distribuição.

Table 2. Percentage values of relative contribution and importance of permutation of environmental variables for each distribution model.

Período	Variáveis	Contribuição (%)	Importância de permutação (%)
Holoceno	bio 1	11,5	0,8
	bio 2	0,7	1,9
	bio 3	12,9	4,3
	bio 4	12,3	0,4
	bio 6	0	0
	bio 7	0,1	0
	bio 12	2,7	1,2
	bio 13	38,3	5,6
	bio 14	15,3	83,6
bio 18	6,2	2,1	
Atual	bio 1	13,3	34,5
	bio 2	0	0,2
	bio 3	30,2	11,1
	bio 4	4,8	0,1
	bio 6	0,4	5,7
	bio 7	0	0
	bio 12	2,1	10,1
	bio 13	2,2	11
	bio 14	5,2	5,8
bio 18	41,9	21,5	
Futuro	bio 1	13,3	34,5
	bio 2	0	0,2
	bio 3	30,2	11,1
	bio 4	4,8	0,1
	bio 6	0,4	5,7
	bio 7	0	0
	bio 12	2,1	10,1
	bio 13	2,2	11
	bio 14	5,2	5,8
bio 18	41,9	21,5	

4. DISCUSSÃO

A concentração de coletas da *L. pohlii* em áreas adjacentes às Unidades de Conservação coloca em risco a perpetuação da espécie, que continuará vulnerável sob pressão antrópica, especialmente pelo extrativismo e ação do fogo. Desse modo, planos de conservação em grandes escalas devem se basear no conhecimento da distribuição passada e presente da espécie em questão (TÓRRES *et al.*, 2012), assim como na distribuição dos impactos existentes sobre as populações. Prever onde as espécies podem sofrer com consequências da fragmentação, por exemplo, pode permitir estabelecer regiões chave para a manutenção da conexão dos fragmentos.

Nogueira *et al.* (2009) discutiram o potencial do uso de espécies de distribuição restrita para identificação de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade. Devido à rápida destruição de habitats no Cerrado, torna-se urgente a seleção destas áreas para conservação e/ou proteção das espécies, em particular as endêmicas, evitando que as

mesmas sejam enquadradas em categorias de extinção. Nesse contexto, a modelagem de distribuição da espécie é uma ferramenta extremamente útil para orientar tomadas de decisão e implementação de medidas de gestão nessas áreas.

Em relação à avaliação dos modelos, segundo Phillips (2006), essa etapa é indispensável na sua construção, pois sem ela haveria risco de que modelos apresentassem erros de omissão, com alta taxa de falsos positivos. A qualidade dos resultados da aplicação de técnicas de modelagem é altamente dependente, no entanto, da qualidade das informações biológicas e dos dados ambientais (GONZALEZ, 2010). Quanto melhor for a resolução, ou seja, quanto mais detalhada for a escala dos mapas e quanto mais precisos forem os registros dos pontos de ocorrência das espécies, melhor será o resultado final da modelagem.

Alguns estudos já relataram que os valores de AUC tendem a serem maiores para espécies que possuem uma distribuição mais restrita (MCPHERSON; JETZ, 2007; EVANGELISTA et al., 2008; YANG et al., 2013). Espécies endêmicas, como o caso da arnica, possuem uma melhor predição comparada às espécies cosmopolitas, pois se tratam de dados mais consistentes em relação às condições favoráveis do habitat, o que auxilia o desenvolvimento de modelos preditivos (MCPHERSON; JETZ, 2007). No entanto, espécies endêmicas tendem a ser mais restritivas do ponto de vista ambiental, tornando-as mais dificilmente previsíveis ou modeladas quanto menor for a escala de dependência ambiental, já que fatores microambientais são mais difíceis de serem detectados em modelos de nicho ecológico.

No geral, observou-se que a espécie, apesar de restrita a ambientes de maiores altitudes, sofreu forte influência das variações climáticas sobre sua distribuição geográfica. Segundo Behling (1998), no sudeste do Brasil no período de 19.000 a 7.000 anos A.P. houve uma época mais seca, com a presença de desertificação em várias áreas, com predomínio de formações de cerrado aberto, o que possivelmente pode explicar a distribuição disjunta da espécie no estado, ocorrendo até mesmo na região do Triângulo Mineiro, numa porção situada em áreas em torno de 800 metros de altitude. Acredita-se que durante as fases secas do Holoceno na América do Sul (VUILLEUMIER, 1970), pequenas áreas favoráveis (apresentando microclimas específicos) podem ter favorecido a persistência de algumas espécies nestes ecossistemas montanhosos, que são adequados para sustentar micro-refúgios.

Por meio dos modelos pode-se inferir que a arnica apresenta caracteres primitivos, que se apresenta com distribuição relictual devido às condições climáticas e geológicas atuais, situando em determinada faixa de latitude e altitude, mesmo com as flutuações climáticas do Quaternário. Pereira; Almeida (2004) ressaltam que algumas populações, que no passado estiveram distribuídas por áreas mais extensas, encontram-se hoje restritas a pequenos sítios (refúgios) em detrimento da perda ou redução da capacidade de evoluir ou adaptar-se frente às mudanças do clima e/ou pressões seletivas. A descontinuidade e isolamento de vários afloramentos constituintes da Serra do Espinhaço, inseridos numa matriz de transição de diferentes tipos de vegetação e condições ambientais, teriam propiciado o modelo alopátrico de especiação, resultando em maior riqueza de espécies e graus de endemismos (VITTA, 2002).

Em relação à modelagem preditiva no cenário futuro é importante destacar que determinado aumento de área climaticamente adequada não necessariamente significa o benefício para determinadas espécies, pois alterações antrópicas na cobertura do solo podem impossibilitar a chegada e o estabelecimento de populações nas novas áreas adequadas (ALEXANDRE et al., 2013). Essas dinâmicas corroboram com a importância da inclusão de variáveis relacionadas a duas grandes mudanças globais (climática e de uso do solo) nos modelos de distribuição futura das espécies, especialmente daquelas ameaçadas de extinção. Os estudos que incluem variáveis indicadoras de antropização nas análises de modelagem preditiva adotam as intervenções humanas no espaço em relação à situação presente (LOISSELLE et al., 2010, HU et al., 2010).

Analisando as relações dos modelos com as variáveis de menor e maior ganho quando omitidas e/ou usadas isoladamente e atribuindo a estudos fenológicos realizados com espécies do gênero (SILVA, 1994; ANTUNES, 2010; COSTA et al., 2016), observa-se que a espécie apresenta alta correlação em seu ciclo reprodutivo com as variáveis de precipitação e temperatura. A correlação da espécie com a variável de precipitação, em especial, pode ser relacionada principalmente com o processo de dispersão. Segundo Pirani et al. (2009), espécies anemocóricas se beneficiam do período mais seco para realizar a dispersão dos seus diásporos, aguardando as condições favoráveis para germinação das sementes e estabelecimento das plantas.

Vale ressaltar que a arnica trata-se de uma espécie restrita a ambientes de altitude, que geralmente se reflete em ambientes de solos ácidos, areníticos ou quartizíticos, de baixo teor nutricional e pouca matéria orgânica (SEMIR, 1991). O microclima desses ambientes também é marcado por grande amplitude térmica e estresse hídrico. Desse modo, outras variáveis como litologia, irradiação, incidência de ventos e processos de evapotranspiração poderiam contribuir significativamente no modelo de distribuição potencial da espécie. Como abordado por Pearson e Dawson (2003), o uso de variáveis do solo, incluindo informações sobre tipologia, valor de cobertura, declividade, índices de vegetação, dentre outros aprimoram a qualidade da informação obtida pelos modelos e são utilizados para interpretá-los em micro e macro escalas, sendo uma importante ferramenta para explicar a adequabilidade ambiental das espécies.

5. CONCLUSÕES

Os modelos de distribuição potencial da espécie apresentaram bom desempenho, com resultados distantes da previsão aleatória. Os mapas apresentados mostraram não somente variação na extensão das áreas consideradas ambientalmente adequadas para os três períodos, como também mudanças das áreas entre si, revelando locais antes não previstos pelos modelos de distribuição potencial atual. No entanto, vale salientar que os modelos consideram apenas variáveis climáticas para inferir sobre o nicho potencial da espécie. A adição de outras variáveis pode contribuir com a predição e a interpretação da distribuição geográfica das espécies.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Marcelo Bueno pelos ensinamentos conferidos e à UFVJM e CAPES, pelo suporte e apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, B. R.; LORINI, M. L.; GRELLE, C. E. V. Modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção: um panorama das pesquisas. **Oecologia Australis**, v. 17, n. 4, p. 483-508, 2013.
- ANTUNES, D. S. **Fenologia e síndromes de dispersão e polinização de espécies de plantas de campos rupestres quartzíticos em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) - Universidade Federal de Ouro Preto, 50 p. 2013.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 99, p.143-156. 1998.
- BELO, R. M.; NEGREIROS, D.; FERNANDES, W.; SILVEIRA, F. A. O; RANIERI B. D.; MORELLATO, P. C. Fenologia reprodutiva e vegetativa de arbustos endêmicos de campo rupestre na Serra do Cipó, Sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 64, n. 4, p. 817-828, 2013.
- BRANQUINHO, F. G. G. **Modelagem da distribuição potencial das espécies úteis da Flora Brasileira**. 2014, 49f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), UFVJM. 2014.
- BUENO, M. L. **Padrões fitogeográficos da Flora arbórea do Brasil Central**. 2014. 137f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal), UFMG, 2014.
- CAMPOS, C. C. F. **Ecologia Reprodutiva de *Lychnophora pinaster* Mart. (Asteraceae)**. 2014. 149f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2014.
- CARVALHO, F. M. V.; DE MARCO, P.; FERREIRA, J. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1392-1403, 2009.
- COSTA, T. R.; MOURA C. C.; MACHADO, E. L. M.; GONZAGA, A. P. D.; TITON, M. Fenologia Reprodutiva de *Lychnophora pohlii* Sch. Bip. (Asteraceae) em área de campo rupestre, Diamantina, MG. **Heringeriana**, v. 10, n. 1, p. 23-34, 2016.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v. 38, p. 139-148, 1972.
- EMBERT, D.; REICHLER, S.; LARREA-ALCÁZAR, D. M.; CORTEZ, C.; MUNOZ, A.; GONZALES, L.; MONTAÑO, R.; AGUAYO, R.; DOMIC, E.; PADIAL, J. M. Priority areas for amphibian conservation in a neotropical megadiverse country: the need for alternative, non place based, conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, p. 1557-1570, 2011.
- EVANGELISTA, P. H.; KUMAR, S.; STOHLGREN, T. J.; JARNEVICH, C. S.; CRALL, A. W.; NORMAN, J. B.; BARNETT, D. T. Modelling invasion for a habitat generalist and a specialist plant species. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 5, p. 808-817, 2008.
- FURINI, P. R. **Modelagem preditiva de distribuição passada e futura de *Ficus adhatodifolia* Schott., *Ficus insipida* Willd., e *Ficus citrifolia* Mil. (Moraceae)**, 2014. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências) USP, 2014.
- GARCIA, F. N.; FERREIRA, L. G.; LEITE, J. F. Áreas Protegidas no Bioma Cerrado: fragmentos vegetacionais sob forte pressão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, XV, 2011. **Anais...** Curitiba, PR, Brasil, p. 4086, 2011.
- GENT, P. R.; DANABASOGLU, G.; DONNER, L. J.; HOLLAND, M. M.; HUNKE, E. C.; JAYNE, S. T.; LAURENCE, D. M.; NEALE, R. B.; RASCH, P. J.; VERTENSTEIN, M.; WORLEY, P. H.; YANG, Z. L.; ZHANG, M. The Community Climate System Model version 4. **Journal of Climate**, v. 24, p. 4973-4991, 2011.
- GIANNINI, T. C.; SIQUEIRA, M. F.; ACOSTA, A. L.; BARRETO, F. C. C.; SARAIVA, A. M.; ALVES-DOS-SANTOS, I. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.
- GONZALEZ, M. **Distribuição geográfica conhecida e potencial de *Hennecartia omphalandra* Poisson e *Macroleplus ligustrinus* (Tul.) Perkins (Monimiaceae)**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Botânica. RJ. 2010.
- GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, v. 135, p. 147-186, 2000.
- HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 25, p. 1965-1978, 2005.
- HU, J.; HU, H.; JIANG, Z. The impacts of climate change on the wintering distribution of an endangered migratory bird. **Oecologia**, v. 164, p. 555-565, 2010.
- IBAMA. Unidades de Conservação, 2009. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/zoneamentoambiental/ucs/>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- LOISELLE, B. A.; GRAHAM, C. H.; GOERCK, J. M.; RIBEIRO, M. C. Assessing the impact of deforestation and climate change on the range size and environmental niche of bird species in the Atlantic forests, Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 37, p. 1288-1301, 2010.
- MCPHERSON, J. M.; JETZ, W. Type and spatial structure of distribution data and the perceived determinants of geographical gradients in ecology: the species richness of African birds. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, p. 657-667, 2007.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). Portaria MMA Nº 443, de 17 de dezembro de 2014. Disponível em: http://cncflora.ibri.gov.br/porta/Static/pdf/portaria_mma_443_2014.pdf. Acesso em 06 mar. 2017.
- MOURA, C. M.; COSTA, T. R.; OLIVEIRA, P. A.; BUENO, M. L.; MACHADO, E. L. M. Modelo preditivo do potencial de distribuição geográfica da espécie *Richeria grandis* Vahl. no estado de Minas Gerais e sua relação com as flutuações climáticas do quaternário. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 911-923, 2017.
- NEVES, S. C.; ABREU, P. A. A.; FRAGA, L. M. S. Fisiografia. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. Serra do Espinhaço Meridional, Paisagens e Ambientes. Belo Horizonte: **O lutador**. p. 47-58, 2005.

- NOGUEIRA, C.; COLLI, G. R.; MARTINS, M. Local richness and distribution of the lizard fauna in natural habitat mosaics of the Brazilian Cerrado. **Austral Ecology**, v. 34, p. 83-96, 2009.
- PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelopes useful? **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, n. 5, p. 361-371, 2003.
- PEARSON, R. G.; RAXWORTHY, C. J.; NAKAMURA, M.; PETERSON, A. T. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. **Journal of Biogeography**, v. 34, p. 102-117, 2007.
- PEREIRA, J. B. S.; ALMEIDA, J. R. Biogeografia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. da (orgs.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Bertrand Brasil, v. 5, 394p. 2004.
- PHILLIPS, S. J.; DUDIK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, v. 31, p. 161-175, 2008.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231-259, 2006.
- PIRANI, J. R.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 1096-1109. 2009.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Cerrado. In: SANO, S.; ALMEIDA, S. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa-CPAC, Plantaltina, DF, v. 1, p. 89-166. 2008.
- RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. **Plantas medicinais no domínio dos cerrados**. Editora UFPA, Lavras, MG. 180p. 2001.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA JR, L. G. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa. 2007.
- SEMIR, J. **Revisão taxonômica de *Lychnophora* Mart. (Veroniaceae: Compositae)**. Dissertação de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 515p. 1991.
- SEOANE, C. E. S.; DIAZ, V. S.; SANTOS, T. L.; FROUFE, L. C. M. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 207-216, 2010.
- SILVA, N. F. **Avaliação de diferentes técnicas na recuperação de uma cascalheira em Diamantina, MG**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG. 75p. 2012.
- SILVA, S. M. P. **Aspectos da fenologia e da reprodução sexuada da arnica (*Lychnophora pinaster* Mart.), Asteraceae**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 45p. 1994.
- TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, p. 485-498, 2012.
- TÔRRES, N. M.; VERCILLO, U. E. Como Ferramentas de Modelagem de Distribuição de Espécies Podem Subsidiar Ações de Governo? **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 228-230. 2012.
- VASCONCELOS, M. F.; LOPES, L. E.; MACHADO, C. G.; RODRIGUES, M. As aves dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço: diversidade, endemismo e conservação. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1, p. 221-241, 2008.
- VITTA, F. A. **Diversidade e conservação da flora nos campos rupestres da cadeia do Espinhaço em Minas Gerais**. In: Araújo, E.L., Moura, A.N, Sampaio, E.V.S.B., Gestinari, L.M.S. & Carneiro, J.M.T. (eds.) Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Sociedade Botânica do Brasil (seção Regional Pernambuco), Recife. 262p. 2002.
- VUILLEUMIER, F. Insular biogeography in continental regions. I. The northern Andes of South America. **The American Naturalist**, v. 104, p. 373-388, 1970.
- YANG, X. Q.; KUSHWAHA, S. P. S.; SARAN, S.; XU, J. C.; ROY, P. S. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. **Ecological Engineering**, v. 51, p. 83-87, 2013.