

Dispositivo Adaptativo na Análise de Modelos de Distribuição de Espécies

(05 Dezembro 2009)

Elisângela S. C. Rodrigues, Fabrício A. Rodrigues, Ricardo L. A. Rocha

Resumo — A modelagem de distribuição de espécies desempenha um importante papel na conservação da biodiversidade. Este artigo apresenta uma proposta de um método baseado em um dispositivo adaptativo para a análise de resultados da modelagem de distribuição de espécies.

Palavras chave — Modelagem de Distribuição de Espécies (*Modeling of Species Distribution*), Dispositivo Adaptativo (*Adaptive Device*).

I. INTRODUÇÃO

A destruição da biodiversidade no mundo é um problema que vem crescendo rapidamente nas últimas décadas. Este problema causa a diminuição ou até mesmo a extinção de espécies animais e vegetais no planeta. Os efeitos da perda de biodiversidade são irreversíveis. Por isso, a conservação ambiental é um dos grandes desafios atuais da humanidade.

Segundo Myers et al. [1], é muito difícil a preservação de todas as espécies ameaçadas de extinção, pois o número de espécies a serem protegidas ultrapassa os recursos disponíveis para a conservação. Assim, uma das maneiras de conservar a maior quantidade de espécies com o menor custo possível é a identificação de *hotspots*, ou seja, regiões cuja biodiversidade esteja significativamente ameaçada pela destruição.

O Brasil é o país que abriga a flora mais rica do planeta, cerca de um sexto do total [1]. Desta forma, fica evidente a necessidade do estudo e do desenvolvimento de tecnologias que auxiliem na conservação da biodiversidade.

A modelagem de distribuição geográfica de espécies é uma técnica importante que tem sido aplicada em diferentes estudos da biodiversidade. Por exemplo, avaliação do impacto das mudanças climáticas [2], [3], previsão de invasão de espécies [4], [5] e planejamento da conservação de espécies ameaçadas [6].

Para aplicar a técnica de modelagem de distribuição geográfica de espécies, são necessários dados de ocorrências de espécies e variáveis ambientais, tais como variáveis climáticas e topográficas. Existem muitos

métodos disponíveis para a tarefa de modelagem. O método mais conhecido e usado é o GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Prediction*) [7]. Recentemente, um método baseado em Entropia Máxima vem sendo usado e testado por diversos pesquisadores [8] – [10].

Os modelos gerados são interpretados empiricamente por profissionais envolvidos na preservação da biodiversidade. Desta forma, é importante o estudo e o desenvolvimento de um método que verifique a qualidade e a precisão dos resultados obtidos, auxiliando na análise dos modelos. O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de um método baseado em um dispositivo adaptativo para a análise dos modelos resultantes da modelagem de distribuição geográfica de espécies.

Os dispositivos adaptativos possuem diversas características que podem ser úteis na análise de modelos de espécies biológicas. A principal característica e vantagem dos dispositivos adaptativos é a capacidade de automodificação. Esta capacidade, além de permitir a representação do conhecimento, permite a incorporação de novas informações e atividades básicas de aprendizagem [11].

Os dispositivos adaptativos possuem aplicações nas mais variadas áreas. Por exemplo, reconhecimento de formas [12], avaliação de autômatos gerados por algoritmos genéticos [13], casamento de padrões [14], entre outros.

Este trabalho está no escopo do projeto *openModeller* e contribuirá com o componente de pós-análise. O projeto *openModeller* tem como principal objetivo fornecer ferramentas livres e de código aberto a pesquisadores interessados em modelagem de distribuição de espécies [15].

Na seção II será apresentada uma visão geral da modelagem de distribuição de espécies. Da mesma forma, na seção III são descritos os dispositivos adaptativos. A proposta do método baseado em um dispositivo adaptativo para a análise de modelos de espécies biológicas é descrita na seção IV. Na seção V são apresentadas as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

II. MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES

Os resultados da modelagem de distribuição geográfica de espécies são distribuições de probabilidade construídas a partir de um conjunto de dados de ocorrência e um conjunto de variáveis ambientais. Os modelos gerados devem representar algumas características ambientais que provavelmente influenciam a qualidade do ambiente para as espécies [16], [17], apud [9].

Os dois primeiros autores são bolsistas da CAPES. O projeto *openModeller* (04/11012-0) é financiado pela FAPESP.

E. S. C. Rodrigues é aluna de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: elisangela.rodrigues@poli.usp.br).

F. A. Rodrigues é aluno de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: fabricio.rodrigues@poli.usp.br).

R. L. A. Rocha é professor do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: luis.rocha@poli.usp.br).

Os dados de ocorrência são pontos georeferenciados (latitude e longitude) em uma região de interesse onde a presença ou ausência das espécies foi observada. As variáveis ambientais representam o nicho ecológico da espécie, isto é, “um conjunto de condições ecológicas com as quais as populações conseguem se manter” [18] apud [19]. O conjunto de variáveis ambientais pode conter dados de temperatura, topografia, precipitação etc, e devem pertencer à mesma região de estudo [9].

Existem vários métodos de modelagem de distribuição de espécies disponíveis. Os modelos gerados são projetados em um espaço geográfico, embora representem a qualidade do ambiente em um espaço ecológico [9]. A Fig. 1 ilustra de forma abrangente o processo de modelagem.

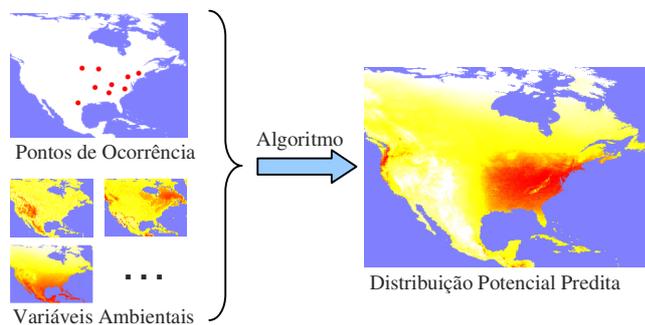


Fig. 1. Processo Modelagem (figura adaptada dos slides referentes a referência [9]).

O modelo criado pelo algoritmo é uma função de probabilidade que mapeia os pontos de ocorrência de uma determinada espécie para um domínio no espaço de variáveis ambientais [19].

Geralmente, existem muitos registros de presença e raros dados de ausência das espécies [9]. Por isso, os métodos que não utilizam dados de ausência são muito empregados. Exemplos de métodos para modelagem de distribuição de espécies que usam somente dados de presença são BIOCLIM [20], [21], e DOMAIN [22].

Na referência [23] são comparados 16 métodos de modelagem de distribuição de espécies em que somente dados de presença são usados na construção dos modelos. Estes métodos foram avaliados como suficientemente precisos para serem usados no planejamento da conservação ambiental e em muitas outras aplicações. Além disso, alguns métodos que ainda não foram aplicados à modelagem de distribuição de espécies se revelaram promissores.

O *openModeller* oferece várias ferramentas aos seus usuários. Dentre elas destacam-se a biblioteca *openModeller* e o *openModeller Desktop*. A biblioteca *openModeller* é capaz de ler dados de ocorrências e de variáveis ambientais, executar algoritmos de modelagem permitindo ao usuário modificar parâmetros referentes a cada algoritmo e escrever de forma apropriada os resultados obtidos. O *openModeller Desktop* é uma ferramenta com uma interface que ajuda o usuário na preparação dos dados, execução dos algoritmos e visualização dos resultados [15]. A Fig. 2 mostra a

interface gráfica do *openModeller Desktop*.



Fig. 2. Interface gráfica do *openModeller Desktop*.

III. DISPOSITIVOS ADAPTATIVOS

Adaptatividade pode ser entendida como a capacidade que um sistema tem de modificar sua própria estrutura, sem a intervenção de agentes externos [24].

Os dispositivos adaptativos são abstrações formais que representam algum sistema cujas operações sejam guiadas por regras. Essas regras definem as próximas situações do sistema e as alterações esperadas no conjunto de regras. Os dispositivos adaptativos são divididos basicamente em duas partes: um dispositivo subjacente, não-adaptativo, e um mecanismo adaptativo [24].

O primeiro dispositivo adaptativo criado foi o Autômato Adaptativo [25]. O dispositivo subjacente do Autômato Adaptativo é o autômato de pilha estruturado. Os autômatos adaptativos são formalismos que possuem equivalência expressiva com as Máquinas de Turing [26]. No entanto, por possuírem as características de um dispositivo adaptativo, tornam-se mais adequados a aplicações cujo comportamento seja dinâmico e que requeiram capacidade de aprendizagem. Além disso, os autômatos adaptativos possuem grande potencial para representar soluções elegantes, eficientes, compactas e práticas para muitos problemas complexos [27].

Posteriormente, outros formalismos adaptativos foram desenvolvidos. A referência [24] apresenta uma revisão bibliográfica ampla de tais formalismos, como gramáticas, *statecharts*, redes de Markov, tabelas de decisão e árvores de decisão.

Os mecanismos adaptativos associados aos dispositivos subjacentes possuem ações adaptativas que permitem alterar o conjunto de regras que definem o sistema. As três ações adaptativas elementares dos mecanismos adaptativos são: Consulta; Remoção e Inserção. A ação de consulta permite a verificação da existência ou não de uma regra com um determinado padrão. A ação de remoção elimina do conjunto de regras todas as regras aderentes a um padrão específico. A ação de inserção insere novas regras no conjunto de regras de acordo com um padrão especificado [28].

IV. PROPOSTA

As subseções seguintes apresentam, respectivamente, uma visão geral do que está implementado no componente de pós-análise do *openModeller* e a proposta de um método baseado em um dispositivo adaptativo para este componente.

A. Pós-análise no *openModeller*

A validação dos modelos de distribuição de espécies gerados pelo *openModeller* é feita através de algumas medidas consideradas simples. A partir da matriz de confusão – definida abaixo, são calculados: acuidade, erro de omissão e erro de sobreprevisão [29].

A matriz de confusão mostra o número de classificações corretas versus as classificações previstas para cada classe. Esses valores se localizam na diagonal principal da matriz. Os demais elementos da matriz representam erros na classificação, por isso o ideal é que eles sejam iguais a zero. Assim, a matriz de confusão oferece uma medida de precisão do modelo de classificação.

No caso de modelagem de distribuição de espécies, a acuidade é a taxa de acerto de pontos classificados corretamente. Os erros de omissão consistem em não considerar áreas que são habitadas e os erros de sobreprevisão consistem em incluir no modelo áreas que não são habitadas.

Além dessas medidas, o *openModeller* calcula a curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) e a AUC (*Area Under the ROC Curve*) [30]. A AUC fornece uma medida de desempenho do modelo [31]. Geralmente, a análise desses valores não é suficiente para a garantia da geração de um bom modelo. Dessa forma, também é necessária a avaliação de um profissional da área.

B. Método de Pós-análise Baseado em um Dispositivo Adaptativo

Segundo Neto [24], os dispositivos adaptativos mais adequados ao auxílio a tomadas de decisões são as tabelas de decisão adaptativas e as árvores de decisão adaptativas.

Como a modelagem de distribuição de espécies é utilizada principalmente para a conservação ambiental e outras tarefas relacionadas a tomadas de decisão, o dispositivo adaptativo usado no método proposto será a tabela de decisão adaptativa. Este dispositivo foi escolhido devido à sua simplicidade de representação e interpretação.

Conforme visto na seção IV-A, além das medidas calculadas pelo *openModeller*, é necessária a análise dos modelos por parte de profissionais especializados. Esta análise é realizada com base em determinadas características dos modelos gerados e muitas vezes fazem parte apenas da experiência pessoal de cada profissional. Em outras palavras, o mesmo modelo pode ser interpretado de forma diferente por profissionais com experiências diferentes.

A mesma situação pode ocorrer na construção dos modelos. Pelo não-determinismo da maioria dos

algoritmos de modelagem, diferentes modelos podem ser criados por diferentes algoritmos a partir dos mesmos dados de entrada.

Essa característica dinâmica da modelagem de distribuição de espécies sugere fortemente que os dispositivos adaptativos sejam excelentes candidatos à criação de um método de pós-análise dos modelos gerados.

A primeira parte do método proposto é a identificação das características básicas dos modelos que geralmente são usadas para a identificação da sua qualidade. A partir dessas características, será criado um conjunto de regras que reconheça um bom modelo. Essas regras terão funções adaptativas associadas para inserir outras que permitam o reconhecimento de modelos de boa qualidade, porém com características mais sofisticadas.

Além disso, regras poderão ser simplesmente removidas ou substituídas por outras que caracterizem melhor a qualidade do modelo. Assim, a cada novo modelo gerado, o método aprenderá a reconhecer modelos de melhor qualidade. As características e métricas freqüentemente utilizadas para avaliar a qualidade dos modelos são apresentadas na seção IV-B-1.

Ao término da execução das regras, o usuário deverá receber explicações acerca das inferências realizadas para a obtenção da conclusão final. A Fig. 3 apresenta um esquema do método proposto.

Fig. 3. Esquema do método proposto.

1) Avaliação de modelos

A qualidade de um modelo deve ser avaliada de acordo com o objetivo estabelecido para a modelagem. Por exemplo, suponha que a meta seja prever se uma determinada região possui as condições necessárias para a proliferação de uma praga. Um modelo considerado de boa qualidade para esse problema não é bom, se o objetivo é a conservação da espécie atacada pela praga. Assim, a escolha da métrica de avaliação dos modelos deve levar em consideração o objetivo da modelagem. Isso pode ser feito dando pesos a cada tipo de medida.

Geralmente, as primeiras medidas usadas na avaliação da qualidade de um modelo são as taxas de erro e a precisão. Neste caso, verifica-se qual a porcentagem de pontos de ocorrências previstos corretamente. No entanto, o ideal é que dois conjuntos disjuntos de dados sejam usados, um para criar o modelo e outro para testá-lo.

Quando apenas um conjunto de dados está disponível, a avaliação da qualidade é feita na calibração do modelo, usando as técnicas de validação cruzada, *bootstrap* ou *jackknife*, por exemplo. Quando dois conjuntos de dados independentes estão disponíveis, a avaliação é feita na calibração e pela comparação dos valores previstos com os valores observados [32]. No caso em que existe um conjunto de dados para testar o modelo, a taxa de erro é verificada sobre este conjunto.

A taxa de erro de um classificador h , denotada por

$err(h)$ (1), compara os pontos de ocorrência com os pontos preditos pelo algoritmo. O número de exemplos é indicado por n ; y_i é a classe associada ao exemplo x_i , em que $1 \leq i \leq n$; e o operador $\|E\|$ retorna 1 se a expressão E for verdadeira, e zero caso contrário [35].

$$err(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|y_i \neq h(x_i)\| \quad (1)$$

A precisão do modelo, denotada por $acc(h)$ é o complemento da taxa de erro (2) [35].

$$acc(h) = 1 - err(h) \quad (2)$$

Outra forma de avaliar os modelos é pelo tamanho da área predita. Áreas muito pequenas indicam que o modelo pode ter sido super ajustado (*overfitting*) para o conjunto de treinamento e podem ocorrer predições falso-negativas, ou seja, o modelo prevê que a espécie não ocorrerá em uma área que possui as condições para que ela se mantenha. As áreas muito grandes podem resultar na predição de regiões potenciais, mas que não são ocupadas pela espécie [33].

Várias medidas podem ser obtidas a partir das taxas de erro. A curva ROC, por exemplo, é usada para medir a especificidade e a sensibilidade do modelo. A especificidade (3) é a ausência de erros de sobreprevisão e a sensibilidade (4) é a ausência de erros de omissão.

$$especificidade = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

Em que TN é o número de exemplos falsos classificados corretamente como falsos e FP é o número de exemplos falsos classificados erroneamente como verdadeiros.

$$sensibilidade = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

Em que TP é o número de exemplos verdadeiros classificados corretamente como verdadeiros e FN é o número de exemplos verdadeiros classificados erroneamente como falsos.

A avaliação da qualidade dos modelos envolve muitos fatores, como a adequação das variáveis utilizadas na modelagem, a escala geográfica e a distribuição ambiental e espacial das espécies [34]. Desta forma, o dispositivo adaptativo proposto será capaz de efetuar diversas medidas de acordo com o tipo de dados e com o objetivo da modelagem, se adaptando de acordo com as necessidades do problema.

2) Integração do Mecanismo Adaptativo com o *openModeller*

O componente de pós-análise da ferramenta *openModeller* é implementado, atualmente, de forma que as medidas calculadas sejam apresentadas ao final da execução do algoritmo de modelagem. Da mesma forma, o resultado obtido pelo dispositivo adaptativo será exibido ao término da construção dos modelos. No entanto, para que a tabela adaptativa seja armazenada e reutilizada novamente, o usuário deverá ser capaz de salvar os resultados e reutilizá-los nas execuções subsequentes.

Como cada usuário pode gerar modelos com finalidades diferentes, o objetivo da análise deve fazer parte das especificações de entrada. Outras características de entrada poderão ser definidas a partir de um estudo em conjunto com o especialista.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem de distribuição geográfica de espécie é uma área que tem recebido muita atenção devido à sua importância na conservação da biodiversidade. Como o Brasil é um dos países com a flora mais variada do mundo, é necessário interesse crescente em novas tecnologias que contribuam para a preservação desta riqueza.

Este artigo mostrou uma visão simplificada do processo de modelagem de distribuição de espécies e dos dispositivos adaptativos. Além disso, foi proposto um método baseado em tabelas de decisão adaptativas para a análise da qualidade dos modelos gerados. Esse método está sendo configurado e implementado como uma das contribuições ao projeto *openModeller*.

Como trabalhos futuros, pretende-se implementar o método proposto e utilizar a tecnologia adaptativa em um algoritmo de modelagem baseado em entropia máxima.

REFERÊNCIAS

- [1] N. Myers, R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca and J. Kent, "Biodiversity hotspots for conservation priorities", *Nature*, Vol. 403, pp. 853 – 858, 24 February 2000.
- [2] C. D. Thomas, A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, O. L. Phillips and S. E. Williams, "Extinction risk from climate change", *Nature*, Vol. 427, pp. 145 – 148, 8 January 2004.
- [3] M. F. de Siqueira and A. T. Peterson, "Consequences of Global Climate Change for Geographic Distributions of Cerrado Tree Species", *Biota Neotropica*, Vol. 3, No. 2, 2003.
- [4] A. T. Peterson, M. Papes and D. A. Kluza, "Predicting the potential invasive distributions of four alien plant species in North America", *Weed Science*, Vol. 51, pp. 863 – 868, 2003.
- [5] A. T. Peterson and D. A. Vieglais, "Predicting Species Invasions Using Ecological Niche Modeling: New Approaches from Bioinformatics Attack a Pressing Problem", *BioScience*, Vol. 51, No. 5, pp. 363 – 372, May 2001.
- [6] C. H. Graham, S. Ferrier, F. Huettman, C. Moritz and A. T. Peterson. "New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis", *TRENDS in Ecology and Evolution*, Vol.19, No.9, pp. 497 – 503, September 2004.
- [7] D. Stockwell and D. Peters, "The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 13, No. 2, pp. 143-158, 1999.
- [8] S. J. Phillips, M. Dudík and R. E. Schapire, "A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling". *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, Banff, Canada, 2004*.
- [9] S. J. Phillips, R. P. Anderson, and R. E. Schapire, "Maximum entropy modeling of species geographic distributions", *Ecological Modelling*, Vol. 190, pp. 231 – 259, 2006.
- [10] S. J. Phillips and M. Dudík, "Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation", *Ecography*, Vol. 31, pp. 161 – 175, 2008.
- [11] J. J. Neto, "Autômatos em Engenharia de Computação - uma Visão Unificada", *Primera Semana de Ciencia y Tecnología de la Sociedad Chotana de Ciencias y la Red Mundial de Científicos Peruanos Ciudad de Chota, Perú, Junio 22-27, 2003*.

- [12] L. C. B. Neto, A. R. Hirakawa e A. M. A. Massola, "Aplicação de Técnicas Adaptativas em Reconhecimento de Formas", Memórias do WTA 2008 – Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa, pp. 1 – 4, 2008.
- [13] V. D. Lopes e R. L. A. Rocha, "Aplicação de Autômatos Adaptativos na avaliação de autômatos gerados por algoritmos genéticos", Memórias do WTA 2008 – Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa, pp. 14 – 17, 2008.
- [14] E. S. C. Rodrigues, F. A. Rodrigues e R. L. A. Rocha, "Autômatos Adaptativos para Emparelhamento de Cadeias", Memórias do WTA 2008 – Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa, pp. 27 – 30, 2008.
- [15] T. Sutton, R. de Giovanni and M. F. de Siqueira, "Introducing openModeller – a fundamental niche modeling framework", OSGEO Journal, Vol.1, 2007. Available in: http://www.osgeo.org/files/journal/final_pdfs/OSGeo_vol1_openModeller.pdf
- [16] J. H. Brown and M. V. Lomolino, "Biogeography", 2nd ed., Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1998.
- [17] T. Root, "Environmental factors associated with avian distributional boundaries", *J. Biogeography* 15, pp. 489 – 505, 1988.
- [18] G. E. Hutchinson, "Introducción a la Ecología de Poblaciones", Barcelona, Editorial Blume, 492p., 1981.
- [19] M. F. de Siqueira, "Uso de modelagem de nicho fundamental na avaliação do padrão de distribuição geográfica de espécies vegetais", Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade de São Carlos, São Paulo, 2005.
- [20] J. R. Busby, "A biogeographical analysis of *Nothofagus cunninghamii*", (Hook.) Oerst. in southeastern Australia. *Aust. J. Ecol.* 11, 1 – 7, 1986.
- [21] H. Nix, "A biogeographic analysis of Australian elapid snakes", *Atlas of Elapid Snakes of Australia*, Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 4 – 15, 1986.
- [22] G. Carpenter, A. N. Gillison and J. Winter, "DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants, animals", *Biodivers. Conserv.* 2, 667 – 680, 1993.
- [23] J. Elith, C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. McC. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. S. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz and N. E. Zimmermann, "Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data", *Ecography* 29: 129 – 151, 2006.
- [24] J. J. Neto, "Um Levantamento da Evolução da Adaptatividade e da Tecnologia Adaptativa", *Revista IEEE América Latina*, Vol. 5, Num. 7, ISSN: 1548-0992, pp. 496 – 505, Novembro 2007.
- [25] J. J. Neto, "Contribuições à Metodologia de Construção de Compiladores", Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1993.
- [26] R. L. A. Rocha e J. J. Neto, "Autômato Adaptativo, limites e complexidade em comparação com Máquina de Turing", In: *Proceedings of the Second Congress of Logic Applied to Technology – LAPTEC'2000*, São Paulo: Faculdade SENAC de Ciências Exatas e Tecnologia, pp. 33 – 48, 2001.
- [27] J. J. Neto, "Solving Problems Efficiently with Adaptive Automata", CIAA 2000 – Fifth International Conference on Implementation and Application of Automata, London, Ontário, Canadá, July 2000.
- [28] J. J. Neto, "Adaptive Rule-Driven Devices – General Formulation and Case Study", *Lecture Notes in Computer Science*, Watson, B. W. and Wood, D. (Eds.): *Implementation and Application of Automata 6th International Conference, CIAA 2001*, Vol. 2494, Pretoria, South África, Springer Verlag, pp. 234 – 250, July 23 – 25 2002.
- [29] Report OM-FAPESP: openModeller - A framework for species modeling. Partial Report N. 2, 2007. Disponível em: <http://openmodeller.incubadora.fapesp.br/portal/reports/2007>
- [30] Report OM-FAPESP: openModeller - A framework for species modeling. Partial Report N. 3, 2008. Disponível em: <http://openmodeller.incubadora.fapesp.br/portal/reports/2008>
- [31] A. H. Fielding, and J. F. Bell, "A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models", *Environmental Conservation* 24: 38 – 49, 1997.
- [32] A. Guisan and N. E. Zimmermann, "Predictive habitat distributions models in ecology", *Ecological Modelling*, Vol. 135, pp. 147 – 186, 2000.
- [33] C. J. Raxworthy, C. M. Ingram, N. Rabibisoa and R. G. Pearson, "Applications of Ecological Niche Modeling for Species Delimitation: A Review and Empirical Evaluation Using Day Geckos (*Phelsuma*) from Madagascar", *Systematic Biology*, Vol. 56 (6), pp. 907 – 923, 2007.
- [34] P. Segurado and M. B. Araújo, "An evaluation of methods for modelling species distributions", *Journal of Biogeography*, Vol. 31, pp. 1555 – 1568, 2004.
- [35] S. O. Rezende – organização, "Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações", Barueri, SP: Manole, 2003.



Elisângela S. C. Rodrigues nasceu em Pelotas/RS, Brasil, em 18 de abril de 1978. Graduou-se em Informática pela Universidade Federal de Pelotas em 2000 e obteve o título de Mestre em Informática pela Universidade Federal de Campina Grande em 2002. Iniciou suas atividades docentes em 2002, na Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana/BA, onde atuou até 2005. Neste mesmo ano, transferiu-se para a Faculdade ÁREA1 em Salvador/BA, onde atuou até 2007. Em 2006, participou como pesquisadora bolsista (com bolsa da Petrobrás) do Projeto Sistema de Gerenciamento de Poços Automatizados (SGPA), na Universidade Federal da Bahia. Atualmente, é aluna regular do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em regime integral.



Fabrício A. Rodrigues nasceu em Mossoró/RN, Brasil, em 09 de agosto de 1973. Graduou-se em Sistemas de Informação pela Universidade Potiguar em 2000 e obteve o título de Mestre em Informática pela Universidade Federal de Campina Grande em 2002. Iniciou suas atividades docentes em 2002, na Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana/BA, onde atuou até 2005. Neste mesmo ano, transferiu-se para a Faculdade ÁREA1 em Salvador/BA, onde atuou até 2007, além de atuar como Chefe do Núcleo de Computação. Atualmente, é aluno regular do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em regime integral.

Ricardo Luis A. Rocha é natural do Rio de Janeiro-RJ e nasceu em 29/05/1960. Graduou-se em Engenharia Elétrica modalidade Eletrônica na PUC-RJ, em 1982. É Mestre e Doutor em Engenharia de Computação pela EPUSP (1995 e 2000, respectivamente). Suas áreas de atuação incluem Tecnologias Adaptativas, Fundamentos de Computação e Modelos Computacionais.

Dr. Rocha é membro da ACM (Association for Computing Machinery) e da SBC (Sociedade Brasileira de Computação).