

Modelagem de Nicho Ambiental em Biodiversidade com Algoritmos Genéticos

Lucas Persona, Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa e Antonio Mauro Saraiva

Resumo-- Este trabalho apresenta o estudo realizado sobre Algoritmos Genéticos, que são baseados em um processo evolutivo na procura de soluções melhores adaptadas a uma situação. Dentre os Algoritmos Genéticos, uma atenção especial é dada ao Algoritmo Genético GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Production* – Algoritmo Genético para Produção de Conjunto de Regras). Formado por conjuntos de regras, o GARP segue os princípios dos Algoritmos Genéticos na busca de conjunto de regras que representem uma solução. Estas regras, utilizando informações sobre condições ambientais e disposição geográfica conhecida das espécies, podem ser utilizadas para obter modelos de distribuição de espécies em estudos sobre biodiversidade. Todo este estudo visa fornecer um conhecimento básico para a modelagem de uma arquitetura e uma implementação do algoritmo GARP em JAVA, que poderá ser utilizado como parte de um sistema de criação de modelos de predição ambiental, tornando possível prever, com certa segurança, qual será a organização e composição de diversos ecossistemas. Esta implementação tem por aplicação final, permitir um estudo da utilização do GARP em conjunto com uma base de dados de biodiversidade de abelhas brasileiras, para se identificar nichos ambientais das espécies estudadas.

Palavras-chaves—abelhas brasileiras, algoritmos genéticos, biodiversidade, GARP, modelagem ambiental, modelos de predição, nicho ambiental.

Abstract-- This paper presents a research done on Genetic Algorithms, which are based on an evolutive process of searching the solutions that better fit on a situation. Among the Genetic Algorithms, a special attention is given to GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Production*). Made of a set of rules, GARP follows the basis from Genetic Algorithms in the search for a solution. These rules, using environment

conditions and known geographical species distribution information, can be used to create predictive species distributions models for biodiversity research. The purpose of this research is to provide a knowledge base to create an architecture model and a JAVA implementation of the GARP algorithm, that could be used as part of a predictive species distribution creation system, making it possible to predict, with some level of assurance, what will be the organization and composition of several ecosystems. The purpose of the implementation is a research on GARP's usage altogether with a biodiversity database of Brazilian bees, in order to identify ecological niches.

Keywords—Brazilian bee, genetic algorithm, biodiversity, GARP, predictive modeling, prediction models, ecological niches.

I. TERMINOLOGIA

GARP - *Genetic Algorithm for Rule-set Production*, ou, Algoritmo Genético para Produção de Conjunto de Regras .

TDD - *Test-Driven Development*, ou, Desenvolvimento Orientado por Testes.

II. INTRODUÇÃO

OS avanços da civilização moderna, nas mais diversas áreas, têm contribuído para mudanças no meio-ambiente e na relação entre seres vivos. Em função da aceleração do processo de extinção de várias espécies, decorrente de ações diretas ou indiretas dos seres humanos, torna-se necessário ser capaz de prever, com certa segurança, qual será a organização e composição de diversos ecossistemas.

Neste contexto, a utilização de Algoritmos Genéticos no processo de Modelagem Ambiental possibilita antecipar algumas mudanças como o deslocamento geográfico, extinção e adaptação de espécies. Segundo PETERSON, Modelagem Ambiental é “qualquer abstração do mundo natural com algum poder de prever eventos com base em princípios gerais” [1].

Diversos estudos estão sendo feitos em países como México, Canadá, Índia, Estados Unidos e também no Brasil, no sentido de identificar os tipos de efeitos das mudanças climáticas e seus impactos em diversos nichos ambientais [1]. Estes nichos ambientais, ou ecológicos, é definido por PETERSON e VIEGLAIS como um conjunto de fatores ambientais que determinam onde uma espécie pode e/ou não pode manter populações [2].

L. Persona é acadêmico do último ano do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Escola de Engenharia de Piracicaba, Av. Monsenhor Martinho Salgot, 560, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 13414-040 (email: contato@lucaspersona.com.br).

P. L. P. Corrêa é Bacharel em Ciências da Computação, Professor Doutor Escola Politécnica da USP, Laboratório de Automação Agrícola, Av. Prof. Luciano Gualberto, tv.3, 380, São Paulo, São Paulo, Brasil, 05508-900 (email: pedro.correa@poli.usp.br).

A. M. Saraiva é Eng.Eletricista, Eng.Agrônomo, Livre-docente da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, Laboratório de Automação Agrícola, Av. Prof. Luciano Gualberto, tv.3, 380, São Paulo, São Paulo, Brasil, 05508-900 (email: antonio.saraiva@poli.usp.br).

Um grande aliado destes trabalhos, o Algoritmo Genético GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Production* – Algoritmo Genético para Produção de Conjunto de Regras), utiliza-se de informações sobre condições ambientais, topográficas e disposição geográfica conhecida das espécies para prever modelos de distribuição das espécies.

Uma implementação do GARP em Java possibilitará uma maior abrangência no seu uso, devido à própria portabilidade da linguagem, além de permitir sua utilização através de um modelo de serviços distribuídos pela Internet.

Esta visão de modelagem, ao ser aplicada juntamente com informações de uma base de dados de biodiversidade de abelhas brasileiras do Projeto WebBee [3], que tem por objetivo "organizar as informações e o conhecimento gerados nas pesquisas sobre os meliponídeos, e facilitar o acesso remoto a esses conteúdos, contribuindo para a sua difusão e estimulando o trabalho e a pesquisa cooperativos" [4], torna possível identificar nichos ambientais das espécies estudadas.

III. ALGORITMOS GENÉTICOS

Algoritmos Genéticos fazem parte do ramo de Computação Evolucionária, pertencente à área de Inteligência Artificial.

Inicialmente desenvolvidos na década de 60 por John H. Holland, os algoritmos genéticos baseiam-se em um processo evolutivo onde novos conjuntos de soluções são criados até que certas condições sejam atingidas, em outros termos, procuram-se soluções melhores adaptadas a uma situação.

Conforme HOLLAND, adaptação, em qualquer contexto, envolve uma modificação progressiva de alguma estrutura ou estruturas. Sugere que, em um processo de adaptação existem os modificadores das estruturas, responsáveis por criar novas estruturas possivelmente melhor adaptadas a uma situação. Esta situação é denominada por ele como "*the environment of the system undergoing adaptation* - o ambiente do sistema submetido à adaptação" [5].

A ação dos modificadores nas estruturas corresponde ao plano adaptativo que, segundo HOLLAND, determina quais estruturas aparecem em resposta ao ambiente, o possível conjunto alcançável de estruturas e, aplicando todas as seqüências possíveis de operadores, define os limites do domínio de ação deste plano adaptativo.

Uma medida de aptidão, definida por HOLLAND [6], identificará, a cada estágio do plano adaptativo, as estruturas melhores adaptadas ao ambiente e que terão maior influência nas estruturas do próximo estágio do plano adaptativo.

Estes conceitos abordados pelos algoritmos genéticos são uma representação de processos naturais de adaptação das espécies. Considerando esta abordagem, os principais modificadores que estariam atuando sobre as estruturas são, na maioria das vezes, simulações dos processos de sobrevivência, reprodução, mutação e extinção dos indivíduos de uma população.

IV. ALGORITMO GENÉTICO GARP

O Algoritmo Genético GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Production* – Algoritmo Genético para Produção de Conjunto de Regras) utiliza-se de informações sobre condições ambientais, topográficas e disposição geográfica conhecida das espécies para prever mapas de distribuição das espécies.

Foi criado por David Stockwell [7] com o objetivo de ser um método genérico e com desempenho confiável para analisar todos os dados e relacionamentos potenciais das espécies com o meio-ambiente. Os modelos do GARP são formados por um conjunto de regras, onde uma regra equivale a uma estrutura, ou indivíduo, de uma população conceituada nos termos dos Algoritmos Genéticos. Esta população de regras do GARP é então avaliada e, novas populações são geradas de acordo com os conceitos de Algoritmos Genéticos, através dos operadores ou modificadores de estruturas.

A. Algoritmo GARP

De acordo com STOCKWELL [8], o algoritmo utilizado pelo GARP é formado pelos seguintes passos:

1) Criar uma População Inicial de Indivíduos:

O conjunto inicial de informações biológicas contendo pontos de existência e/ou inexistência da espécie em estudo, de forma georeferenciada é utilizado como ponto de partida da identificação de uma população inicial de indivíduos. Estes indivíduos são estruturas formadas por regras que regem as condições nas quais a espécie em estudo teve a existência ou inexistência comprovada.

Para elaboração das regras, as informações relativas a condições ambientais e topográficas são recuperadas de acordo com a referência geográfica e temporal de cada registro apresentado nas informações biológicas.

Este conjunto de indivíduos pode ser estabelecido de forma específica ou mesmo recuperado de forma randômica, dentro do universo de dados informados.

2) Avaliar a Adaptabilidade dos Indivíduos:

Em uma população, sempre existirão os indivíduos mais representativos e mais aptos a determinadas situações.

Neste conceito, cada indivíduo, formado por um conjunto de regras, tem sua aplicabilidade testada com base no conjunto de pontos de existência e/ou inexistência informados inicialmente.

Deste processo, é possível obter uma classificação que represente quais indivíduos ou, conjunto de regras, são mais representativos na definição de existência ou ausência da espécie em estudo.

3) Armazenar os Melhores Indivíduos:

Nesta atividade, o conjunto representando os melhores indivíduos é armazenado para referência posterior na possível definição de solução.

4) *Verificar Critério de Aceitação do Resultado:*

Após a avaliação e armazenagem dos melhores indivíduos, uma verificação ocorre visando identificar o nível de alteração entre os melhores indivíduos da população obtida em uma iteração anterior e os melhores indivíduos da população atual. Este nível de alteração, em conjunto com um parâmetro inicial do algoritmo, define o grau de convergência aceitável como resultado no processamento do algoritmo. Caso este grau seja atingido, o processamento é encerrado e o conjunto armazenado é apresentado como solução.

5) *Aplicar Modificadores de Estruturas à População:*

Após a constatação que o nível de alteração não corresponde com a precisão desejada, a população será utilizada na criação de uma nova população após a aplicação de diversos modificadores.

Estes modificadores, também chamados de operadores heurísticos [8], são responsáveis por alterar o espaço de busca do algoritmo e convergir a uma solução mais adequada.

Os operadores mais aplicados são a união, o cruzamento e a mutação.

A partir do conjunto de indivíduos mais adaptados, conforme classificado pelo passo 2, os primeiros indivíduos serão persistidos na nova população e realizarão cruzamentos e uniões entre eles.

Uma união ocorre com a junção de dois indivíduos, através da união de suas regras, formando um único indivíduo.

No processo de cruzamento, um ponto de corte comum é definido e as regras do primeiro indivíduo, após este ponto de corte, são trocadas com as regras do segundo indivíduo, após também o ponto de corte.

Baseado em funções randômicas o processo de mutação entra em ação, alterando determinada regra de um indivíduo para novos valores definidos aleatoriamente. Este processo é importante no quesito de encontrar novas áreas de busca que, possivelmente, poderiam trazer resultados mais aptos à solução desejada.

6) *Reiniciar Iteração:*

Finalizando, o processo retorna ao passo 2 para uma avaliação da adaptabilidade de cada indivíduo desta nova população.

Como critério de parada, também pode ser utilizado um contador de gerações que será incrementado após cada iteração.

B. *Aplicações*

Este algoritmo vem sendo aplicado por PETERSON na criação de modelos preditivos de distribuição de espécies [2]-[9]. Neste sentido, alguns estudos já foram efetuados, resultando em testes precisos [1] com capacidade de prever, no caso aplicado, a distribuição de espécies invasoras, tanto a

distribuição nativa quanto a distribuição do invasor.

Alguns sistemas, baseados no GARP, são utilizados como referência de aplicação e modo de processamento de informações de biodiversidade. Os sistemas em questão são:

DESKTOPGARP [10], desenvolvido por R. S. Pereira para o Centro de Pesquisa de Biodiversidade da Universidade de Kansas em conjunto com o Centro de Referência em Informação Ambiental - CRIA, permite utilizar o algoritmo GARP, diretamente em um computador pessoal, para prever e analisar distribuições de espécies.

De uma forma bem simplificada, o usuário define os parâmetros e conjunto de dados utilizados na análise, e o DesktopGarp realiza o processamento dos dados de acordo com os conceitos do Algoritmo Genético GARP. Após o processamento, o resultado pode ser obtido através de mapas gráficos ou ainda na forma de descrição das regras resultantes.

LIFEMAPPER [11], desenvolvido por R. S. Pereira juntamente com a equipe do LifeMapper, do Centro de Pesquisas em Biodiversidade da Universidade de Kansas. O LifeMapper se utiliza da Internet para criar uma estrutura de processamento paralela através de programas clientes executando, principalmente, na forma de protetores de tela (*screen-saver*). Cada cliente realiza o processamento do modelo de uma determinada espécie, através do algoritmo GARP, e envia os resultados para um servidor do LifeMapper.

WHYWHERE [12], desenvolvido por David Stockwell no Centro de Supercomputadores de San Diego, disponibiliza uma interface Web para a utilização do GARP, permitindo a criação de diversos modelos de distribuição de espécies.

V. *MODELAGEM PROPOSTA*

A viabilização do modo de operação do GARP necessita uma modelagem específica e serviços agregados que, juntos, fornecerão suporte ao completo funcionamento do processo.

Este conjunto de serviços, proposto em Fig. 1, sendo regido por um componente de coordenação (*Coordinator*) é inicializado através de uma requisição feita por um usuário ou cliente, de processamento e criação de um modelo de distribuição de determinada espécie, onde a apresentação do resultado pode ser feita na forma das regras existentes no modelo ou como um mapa gráfico identificando a distribuição geográfica da espécie.

Este usuário requisitante pode ser representado tanto por um ser humano através de interfaces de definição dos parâmetros de busca e configuração do algoritmo, como um outro sistema ou serviço que necessite realizar o processamento e obter modelos de distribuição de muitas espécies.

Após receber a requisição, o coordenador inicia então a seqüência de processamento solicitando informações de serviços que contenham, e disponibilizem, dados ambientais e topográficos. De acordo com a espécie definida na requisição inicial de processamento, serviços contendo informações de biodiversidade são pesquisados para se obter o conjunto

conhecido de análises de existência ou inexistência da espécie requerida.

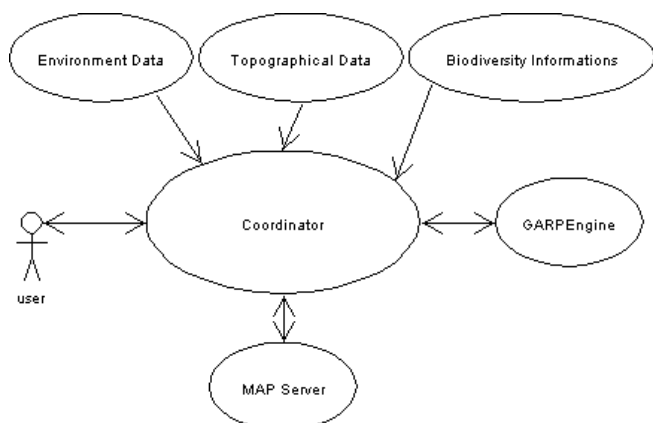


Fig. 1. Modelo de Componentes sugerido como solução de aplicação baseada em serviços.

A partir deste momento, essas informações alimentam o processamento do algoritmo GARP, através do *GARPEngine*, que estará realizando todas as atividades anteriormente descritas, de acordo com o algoritmo especificado pelo GARP.

Para se realizar este processamento, um Diagrama de Classes (Fig. 2) sugerido representa as classes básicas internas do serviço de *GARPEngine*. Esse serviço, regido pela classe *GARPEngine*, possui um estrutura de agregação de classes que representam as entidades utilizadas pelo GARP.

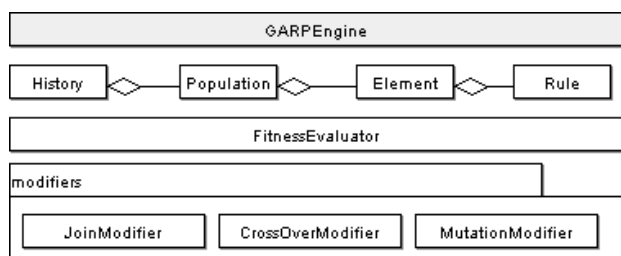


Fig. 2. Modelo de Classes do serviço *GARPEngine*.

Inicialmente, a classe *History*, corresponde a um conjunto de populações, geradas e arquivadas representando uma linha do tempo das populações. Estas populações históricas podem ser utilizadas como parâmetro de interrupção do processamento do GARP, quando, após notar-se que certo conjunto de população não apresenta mudança significativa em seus elementos mais adaptados, é aceitável estabelecer que aqueles elementos são os que melhor definem a solução procurada.

Definindo uma população de indivíduos, a classe *Population* representa todos os indivíduos daquela população, ordenados de acordo com a adaptabilidade de cada um.

Estes indivíduos, representados pela classe *Element*, agregam um conjunto de regras, representadas pela classe *Rule*, que estabelecem a existência ou inexistência de

determinada espécie quando o conjunto de regras agregadas seja validado de forma positiva.

À parte da estrutura de representação dos elementos manipulados pelo algoritmo genético, a classe *FitnessEvaluator*, é responsável por calcular a adaptabilidade de um indivíduo de acordo com as informações assimiladas das coleções biológicas, verificando a validade daquele conjunto de regras e sua representatividade do conjunto de pontos de ocorrência da espécie.

Durante o processamento do algoritmo, modificadores dos indivíduos são utilizados na criação de novas populações. Estes modificadores são representados pelas classes *JoinModifier*, *CrossOverModifier* e *MutationModifier*.

Todo este conjunto, interno ao serviço do *GARPEngine*, é utilizado na execução do serviço que, após processado retorna as soluções relativas as regras encontradas e distribuição prevista da espécie ao *Coordinator*.

O próximo passo, antes de finalizar o processamento da requisição e retornar ao usuário, é identificar se o modo de retorno do modelo de regras encontrado será feito na forma de lista de regras, ou como representação gráfica das regras aplicadas a um mapa. No caso da necessidade de se retornar um mapa gráfico, é necessário que o *Coordinator* inicie um processo de consulta a um servidor de mapas (*Map Server*) para obter, e remeter ao usuário, uma representação gráfica do modelo de distribuição de espécies encontrado.

VI. VARIÁVEIS CONSIDERADAS

As regras do GARP utilizam variáveis ambientais e informações de existência e inexistência das espécies para tornar possível identificar pontos georeferenciados e obter um modelo de distribuição de espécies.

Levando em consideração um levantamento dos dados mais comumente utilizados e informações disponíveis, as seguintes variáveis foram consideradas como aptas a definir parâmetros abióticos que identifiquem possibilidade de distribuição da espécie:

Altitude	Umidade Relativa do Ar
Índice de Cobertura Vegetal	Precipitação
Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
Temperatura Média	Radiação Solar
Radiação Ultra-Violeta	Tipo de Vegetação

VII. IMPLEMENTAÇÃO

Um protótipo da aplicação do algoritmo GARP foi implementado em Java, utilizando o SDK Java 2 Standard Edition versão 1.4.1 da Sun Microsystems [13].

Os módulos foram implementados seguindo o Diagrama de Classes apresentado anteriormente (Fig. 2), e conforme a prática de Test-Driven Development – Desenvolvimento Orientado por Testes [14], ou TDD.

De uma forma geral, segundo a prática TDD, todos os códigos são implementados para atender a testes

desenvolvidos anteriormente. Estes testes, implementados neste projeto com o auxílio do framework JUnit [15], estarão representando os requisitos necessários ao código que será implementado, e estarão guiando processos posteriores de manutenção e suporte do código. Um outro aspecto importante é a possibilidade de se obter uma implementação enxuta. Tornando possível garantir o correto funcionamento e objetividade de cada código.

VIII. CONCLUSÕES

A aplicação de Algoritmos Genéticos a este domínio de modelagem ambiental surge como alternativa a outros algoritmos de busca, que poderiam inviabilizar a criação de um modelo de predição. Esta inviabilidade pode ocorrer devido à grande quantidade de variáveis necessárias para a criação dos modelos e também à falta de informações no campo de atuação definido. Com a utilização de algoritmos genéticos, esta falta de informações não impossibilita a busca por uma solução.

Outro aspecto resultante de algoritmos de busca alternativos é a possibilidade dos resultados se restringirem a mínimos e máximos locais, não tendo então uma melhor representação da realidade. Este problema é mais bem coberto pelo algoritmo genético através da criação de novas frentes de buscas após a aplicação dos modificadores de estruturas.

A implementação do modelo estruturado e sugerido permite disponibilizar serviços de criação de modelos de nichos ecológicos com um melhor aproveitamento dos dados, possibilitando avanços importantes nas pesquisas em Biodiversidade.

Uma futura linha de pesquisa pode surgir com a implementação deste modelo em conjunto com técnicas de processamento paralelo para agilizar e permitir buscas mais extensas com melhor grau de precisão.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] A. T. Peterson, "Simuladores do Futuro", *Revista FAPESP*, São Paulo, n. 80, pp. 32-35, Out. 2002.
- [2] A. T. Peterson e D. A. Vieglais, "Predicting Species Invasions Using Ecological Niche Modeling: New Approaches from Bioinformatics Attack a Pressing Problem", *Bioscience*, v. 51, pp. 363-371, Mai. 2001.
- [3] Webbee. (2003, Abr.). Webbee. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. [Online]. Disponível em: <http://www.webbee.org.br>
- [4] A. M. Saraiva e V. L. Imperatriz-Fonseca, "WebBee: Uma rede de informações sobre biodiversidade brasileira em abelhas nativas," in *Proc. Encontro sobre Abelhas*, 5. Ribeirão Preto, SP. FFCLRP/FMRP/USP, 2002. pp. 108-113.
- [5] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems* Cambridge, Massachusetts: University of Michigan Press. MIT Press., 1992.
- [6] J. H. Holland, "Genetic Algorithms", *Scientific American*, New York, v. 267, n. 1, pp. 44-50, Jul. 1992.
- [7] D. R. B. Stockwell. (2003, Mai.). Genetic algorithms for species distribution modeling. San Diego, CA. [Online]. Disponível em: <http://biodi.sdsc.edu/~davids/Project/SGER/GAS/outline.html>
- [8] D. R. B. Stockwell e K. Payne. (2003, Mai.). GARP Modelling System User's Guide and Technical Reference. San Diego

Supercomputer Center. San Diego, CA. [Online]. Disponível em: <http://biodi.sdsc.edu/Doc/GARP/Manual/manual.html>

- [9] A. T. Peterson, "Predicting Species' Geographic Distributions based on Ecological Niche Modeling", *The Condor*, v. 103, n. 3, pp. 599-605, Ago. 2001.
- [10] DesktopGarp. (2003, Mai.). DesktopGarp. [Online]. Disponível em: <http://www.lifemapper.org/desktopgarp>
- [11] Lifemapper. (2003, Jun.). Lifemapper. Informatics Biodiversity Research Center University of Kansas. Lawrence, KS. [Online]. Disponível em: <http://www.lifemapper.org>
- [12] WhyWhere. (2003, Mai.). Biodiversity Insight Systems Diego Supercomputer Center. University of California. San Diego, CA. [Online]. Disponível em: http://biodi.sdsc.edu/ww_home.html
- [13] Java. (2003, Mai.). The Source for Java Technology. Sun Microsystems. [Online]. Disponível em: <http://java.sun.com>
- [14] K. Beck, *Test Driven Development: By Example*, Addison-Wesley Pub. Co., 2003.
- [15] JUnit. (2003, Out.). JUnit, Testing Resources for Extreme Programming. [Online]. Disponível em: <http://www.junit.org>

X. BIOGRAFIAS



Lucas Persona nasceu em Limeira, São Paulo, Brasil em 10 de março de 1982. Graduou-se Técnico em Processamento de Dados pelo Colégio Técnico da UNICAMP e, atualmente, é Acadêmico do último ano de graduação do curso de Bacharelado em Ciência da Computação pela Escola de Engenharia de Piracicaba, São Paulo.

Sua experiência na área computacional se inicia em 1989 com a capacidade de programação em BASIC. Desde então, sua experiência na programação se expande com o aprendizado de muitas outras linguagens de programação, aprofundando-se, atualmente, na programação Java. Em seu uso de outras linguagens, como PHP, participou do desenvolvimento de projetos OpenSource.

Atuou como técnico em Processamento de Dados na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Sua experiência profissional no desenvolvimento de sistemas inclui também serviços desenvolvidos para empresas como Federal Mogul, Hewlett-Packard, Lucent Technologies e Caterpillar. Nesta atuação, adquiriu fortes conhecimentos de EDI e processos do gerenciamento de cadeias de suprimentos.

Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa. Graduou-se em Ciências de Computação em 1987 pelo ICMSC/USP. Mestre em Ciências da Computação em 1992 pelo ICMSC/USP. Doutor em Engenharia Elétrica 1992 pela POLI/USP.



Atuou como Consultor no Desenvolvimento de Sistemas junto a empresas nas áreas financeiras, através da Interchange Serviços (empresa de EDI - Eletronic Data Interchange) e na coordenação de equipes e projeto de sistemas de governo eletrônico da Secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo, através do PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) de 1998 a 2002. Atualmente, é docente da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. Áreas de interesse: Banco de Dados Distribuídos, Sistemas de Biodiversidade e Governo Eletrônico.

Antonio Mauro Saraiva é Engenheiro Eletricista, Mestre, Doutor e Livre-docente em Engenharia de Eletricidade pela Escola Politécnica da



Universidade de São Paulo (USP); Engenheiro Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da USP; é professor associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais onde coordena o Laboratório de Automação Agrícola. Atua na área de TI aplicada ao agronegócio e ao ambiente desde 1988.