Programa Temático Multiinstitucional em
Ciência da Computação
ProTem - CC

ICOM
Inteligência Computacional: Princípios e Aplicações

Categoria: 2 - Projeto de Pesquisa Aplicada

Tipo: 4 - forte

Temas: Redes Neurais, Inteligência Artificial, Teoria da Computação e Arquitetura de Computadores

Instituições: CEPEL, COPPE/UFRJ, EMBRAPA, IBM, PUC-RJ, UFC, UFES, UFPe

2. Resumo

O projeto ICOM tem como meta principal a pesquisa em Inteligência Computacional, seus princípios e aplicações, em particular a paralelização e o desenvolvimento de ferramentas e aplicações de sistema híbridos inteligentes.

O cenário mundial na área de computação aponta, cada vez mais, para o desenvolvimento e a aplicação de sistemas computacionais inteligentes [Kandel, Langholz 92]. Esses sistemas utilizam e integram uma série de técnicas da Inteligência Artificial (IA) para reproduzir aspectos do comportamento humano como percepção, raciocínio, adaptação e aprendizado, em um novo paradigma para a IA: a Inteligência Computacional. Essas técnicas abrangem: Redes Neurais; Algoritmos Genéticos; Lógicas Clássica, Não Monotônicas e Nebulosa; Programação em Lógica Indutiva e Sistemas Especialistas.

Cada uma dessas técnicas da IA já mostrou, isoladamente, sua importância e seus pontos fortes. Através da integração de suas concepções, considerando-se as características positivas de cada uma, obtém-se sistemas híbridos inteligentes bem mais poderosos e robustos, permitido solucionar problemas em diversas áreas, com níveis de eficiência jamais alcançados por métodos convencionais. Além disso, o desenvolvimento de algoritmos paralelos e distribuídos [Barbosa 93] torna-se essencial para uma implementação eficiente das diversas técnicas da Inteligência Computacional.

Conforme o próprio título indica, os objetivos desse projeto se dividem em teóricos e práticos. Do ponto de vista teórico os objetivos são:

1. desenvolver um sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais de forma fortemente acoplada [Garcez et al 95];
2. aperfeiçoar modelos de redes neurais fuzzy, como o CNM [Machado, Rocha 91] e pesquisar algoritmos de aprendizado para este tipo de rede;
3. desenvolver algoritmos paralelos e distribuídos para a implementação eficiente de diversos modelos de Inteligência Computacional;

As tarefas relacionadas à parte prática do projeto serão baseadas nos resultados preliminares descritos na seção 3 (Estado da Arte) e revisarão suas decisões conforme novos resultados sejam obtidos dos estudos teóricos. Além disso, fornecerão os resultados práticos que permitirão corroborar as previsões feitas pela teoria. Os objetivos da pesquisa aplicada são:

4. desenvolver a paralelização de funções de treinamento das redes neurais, da segmentação e da interpretação de imagens de satélite do NICE ("Neural Image Classification Environment"). Este objetivo constitui encomenda feita pelo parceiro industrial IBM à COPPE;
5. desenvolver aplicações de Inteligência Computacional em problemas reais dos setores ambientais (EMBRAPA) e sistemas elétricos de potência (CEPEL);

A relevância da parceria para as instituições envolvidas no ICOM é baseada no fato de que congrega uma parte significativa da pesquisa de ponta e desenvolvimento em Inteligência Computacional no Brasil. Permite assim, juntar esforços para obtenção de resultados inovadores (de pesquisa e desenvolvimento) e contribuir para o desenvolvimento de produtos de software em áreas estratégicas.

A participação e a interação entre os parceiros para atingir estes objetivos pode ser vista na tabela a seguir:

Atividades Parceiros	1	2	3	4	5
CEPEL	x		x		x
COPPE	x	x	x	x	x
EMBRAPA		x			x
IBM		x	x	x	x
PUC			x		x
UFPe	x		x		
UFES			x		
UFC			x		x

O projeto se insere na categoria 2 - **Projetos de Pesquisa Aplicada** - contando com a parceria industrial tipo 4 (**forte**) da IBM, além da participação de dois institutos de pesquisa aplicada, CEPEL e EMBRAPA. O projeto também se insere na categoria que aborda **Problemas de Interesse Estratégico** no item de **Aplicações Industriais**, com o desenvolvimento da paralelização da ferramenta NICE encomendada pela IBM a um dos parceiros, ao PESC/COPPE (vide documentação em anexo), traduzida pelas tarefas que se encontram descritas no plano de trabalho.

Os resultados esperados e seus aproveitamentos são descritos abaixo:

- um protótipo do sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais de forma fortemente acoplada;
- um estudo das potencialidades e viabilidades de extração de regras de redes em redes neurais booleanas;
- algoritmos e protótipo da versão expandida do modelo CNM;
- ferramenta para realização do particionamento fuzzy de atributos numéricos com vistas a problemas classificatórios;
- mapeamento do espaço-de-estados de sistemas discretos sob Escalonamento por Reversões de Arestas (ERA);
- paralelização de funções de treinamento das redes neurais, da segmentação e da interpretação de imagens de satélite do NICE;
- utilização do NICE em uma aplicação ambiental a ser desenvolvida dentre os temas: análise de cobertura vegetal com base em imagens do satélite Landsat V, monitoramento do desflorestamento na região amazônica usando imagens de sensoriamento remoto e zoneamento ecológico-econômico na região amazônica;
- um sistema de diagnóstico de falhas e sua integração no sistema de supervisão e controle do CEPEL;
- desenvolvimento de metodologias de mapeamento em temas como áreas aptas em drenagem de solos, aptidão para culturas, isto é, em produtos desenvolvidos pela EMBRAPA, para regiões específicas como Milho no Cerrado;
- um sistema de previsão de carga elétrica a ser oferecido pelo CEPEL para as concessionárias de energia elétrica do Brasil, que incluirá previsões de curto, médio e longo prazo, e poderá ser customizado para cada empresa específica, de acordo com suas peculiaridades;

- um sistema para análise de redes de distribuição e determinação de bancos de capacitores para minimização das perdas de energia elétrica;
- artigos em revistas e congressos, nacionais e internacionais.

O código paralelizado do NICE no que se refere as funções de treinamento de redes neurais usando o algoritmo de retropropagação de erros ("Backpropagation"), de segmentação e de interpretação de imagens de sensoriamento remoto, será uma ferramenta extremamente valiosa para os usuários desse software. Permitirá desenvolver aplicações em tempos substancialmente menores, aprofundar o treinamento das redes neurais, permitindo obter classificadores mais poderosos. Permitirá também acelerar a produção do sistema, o que é importante quando aplicamos o sistema a grandes áreas geográficas, tais como a análise de desflorestamento da Amazônia (de interesse por exemplo para o IBAMA, SIVAM).

O protótipo da aplicação ambiental a ser escolhida trará resultados dependentes dessa escolha. Assim, por exemplo, a análise de desflorestamento constitui-se numa ferramenta importante para o controle ambiental; a aplicação de análise de cobertura vegetal fornece subsídios variados que vão desde suporte ao estudo de solos e inventário de recursos naturais até a previsão de safras agrícolas. A aplicação de zoneamento ecológico-econômico fornece subsídios importantes para o planejamento permitindo conciliar de forma racional o desenvolvimento econômico com a preservação de recursos naturais.

Os novos procedimentos de mapeamento melhorarão, quando implementados, a qualidade dos mapas gerados pelo CNPS-EMBRAPA e fornecerão uma melhor informação ao produtor.

O sistema de diagnóstico de falhas será integrado no sistema digital de supervisão e controle do CEPEL; o sistema de previsão de carga elétrica será oferecido pelo CEPEL para as concessionárias de energia elétrica do Brasil e o sistema adaptativo de determinação da configuração ótima de capacitores às indústrias com grande consumo de energia elétrica.

O desenvolvimento de um protótipo de um sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais de forma fortemente acoplada perimitirá uma forma unificada de Representação do Conhecimento, além do tratamento integrado da informação estruturada e não-estruturada. Com este tipo de unificação será possível a comparação dos aprendizados simbólicos e conexionista diretamente, ao invés da forma empírica que tem sido usada até o presente.

Como foi dito, o CNM (Combinatorial Neural Model) é um bloco de construção poderoso para o desenvolvimento de sistemas híbridos inteligentes. A sua expansão para trabalhar com atributos numéricos de entrada amplia largamente a sua aplicabilidade em problemas tais como interpretação, diagnóstico, prescrição e previsão. A ferramenta de geração automática de funções de pertinência é um componente importante para a expansão do CNM.

Além desses resultados, as instituições envolvidas, através de seus membros participantes neste projeto, contribuirão no desenvolvimento de capacitação em áreas estratégicas. Além disso, formará recursos humanos através das bolsas e dos trabalhos dos pesquisadores.Também gerar-se-á conhecimento que estará disponível não apenas aos parceiros do projeto mas a toda comunidade científica através dos relatórios e artigos produzidos na execução deste projeto.

O projeto contribuirá para a formação de pessoal em em áreas estratégicas, que resultará em maior independência tecnológica, permitirá o intercâmbio e a complementação do conhecimento científico e tecnológico entre centros de pesquisa e o setor produtivo e tornará possível o desenvolvimento de produtos utilizando pesquisa de ponta.

3. Estado da Arte

O cenário mundial na área de computação aponta, cada vez mais, para o desenvolvimento e a aplicação de sistemas computacionais inteligentes. Esses sistemas utilizam e integram uma série de técnicas da Inteligência Artificial (IA) para reproduzir aspectos do comportamento humano como percepção, raciocínio, adaptação e aprendizado, em um novo paradigma para a IA: a Inteligência Computacional. Essas técnicas abrangem:

- Redes Neurais;
- Algoritmos Genéticos;
- Lógicas Clássica, Não Monotônicas e Nebulosa;
- Programação em Lógica Indutiva;
- Sistemas Especialistas.

A importância do processamento paralelo vem crescendo continuamente nos últimos anos. Avaliações realizadas recentemente apontam a necessidade ainda reprimida do processamento paralelo em áreas de inégavel impacto econômico e social. O processamento paralelo, é uma tecnologia que proporciona capacidade crescente a custos progressivamente menores, viabilizando novas e melhores aplicações de computação. Ele é uma ferramenta de trabalho que permite a melhoria na produtividade, competitividade e qualidade dos produtos e serviços a seus usuários. Por esta razão, pesquisas que utilizam o processamento paralelo na resolução de problemas de inteligência computacional têm sido objeto de estudos recentes.

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são dispositivos computacionais não-lineares, inspirados na funcionalidade dos neurônios biológicos. Elas têm atraído uma enorme atenção por possuirem uma variedade crescente de aplicações, como reconhecimento de padrões, otimização, interpretação de imagens, previsões em sistemas complexos, etc. As características de plasticidade e generalização das Redes Neurais capacitam-nas a trabalhar também satisfatoriamente em tarefas como percepção, aprendizado, aquisição de conhecimento e processamento de linguagem natural.

O avanço tecnológico dos últimos anos, em especial da microeletrônica, vem permitindo a realização física de modelos neurais, anteriormente impensável. Juntamente com a definição de modelos neurais como o de Hopfield [Hopfield 82] e o método de aprendizado "backpropagation" [Rumelhart et al. 86], o avanço tecnológico viabilizou a implementação de sistemas inteligentes em redes neurais e suaa aplicações.

Atualmente, sistemas inteligentes híbridos que integram modelos de redes neurais "feedforward", lógica fuzzy e algoritmos genéticos, como [Machado, Rocha 91] e [Machado, Rocha 92] tem se caracterizado como poderosos sistemas de aprendizado automático. A partir desses modelos foi desenvolvida pelo CCR-IBM uma ferramenta para interpretação de imagens, o sistema NICE (Neural Image Classification Environment) [ver documento em anexo]. Por outro lado, sistemas paralelos de otimização não-linear têm utilizado modelos de redes neurais simétricas [Barbosa 93] com bastante efetividade.

Os algorítmos genéticos - procedimentos de busca baseados na mecânica da genética e da seleção natural - mais recentemente vêm chamando atenção por sua aplicabilidade em problemas de otimização em geral e, mais particularmente, no aprendizado automático [Holland 75]. A evolução das espécies se dá pela seleção dos indivíduos mais aptos ao ambiente em que vivem. Estes têm mais chance de sobreviver e de gerar filhos que herdam suas características. Esta forma de otimização das espécies através das gerações que os Algoritmos

Genéticos imitam, onde o ambiente corresponde ao problema a ser otimizado e os indivíduos às possíveis soluções do problema.

Os Algoritmos Genéticos têm sido usados para resolver problemas em várias áreas de estudo, principalmente na área de otimização combinatória, como por exemplo, o problema clássico do caixeiro viajante, alocação de recursos, geração automática de programas e, mais recentemente, treinamento e definição de topologias de redes neurais. Atualmente, existe uma tendência em se acreditar que a direção mais promissora para o desenvolvimento de técnicas eficientes na solução de problemas NP-Completos é a utilização de estruturas algorítmicas que visem tirar vantagem de peculiaridades dos problemas a serem tratados. Neste sentido, nos últimos tempos, muitos problemas têm sido tratados através da aplicação de sistemas híbridos com Algoritmos Genéticos e Redes Neurais, obtendo resultados bastante satisfatórios.

A lógica matemática é responsável por, através de sua linguagem formal, justificar e parametrizar o processo de aprendizado e de raciocínio feitos sobre o conhecimento, pelas técnicas aqui apresentadas, atuando como âncora da integração proposta pelo ICOM. As lógicas não monotônicas [Zaverucha 92, 94] e a lógica nebulosa têm a capacidade de modelar o raciocínio incompleto e impreciso, sendo aplicada na solução de problemas de senso comum.

Mais especificamente, a lógica fuzzy tem encontrado uma gama muito grande de aplicações, como em interpolação espacial, sistemas de apoio a decisão, raciocínio aproximado e aprendizado. Inicialmente na área de controle e atualmente de forma mais visível no campo de suporte a decisão, em países como o Japao, é possível ver a lógica nebulosa incorporada a produtos de consumo de massa, como lavadoras de roupas, aparelhos de ar condicionado e tradutores de bolso.

A tarefa do aprendizado indutivo é achar hipóteses capazes de explicar um conjunto de exemplos de forma coerente com um conhecimento preliminar. Em geral, tais hipóteses são definições de conceitos expressas em alguma linguagem baseada na Lógica. Já os exemplos são descrições de instâncias e não-instâncias do conceito a ser aprendido, e o conhecimento preliminar fornece informações adicionais sobre os exemplos e o domínio de conhecimento do conceito em questão.

O aprendizado indutivo pode ser realizado tanto através de Redes Neurais como também através de uma área de pesquisa bastante nova que integra Programação em Lógica [Casanova et al 87] com indução através de métodos de Aprendizado Automático (“Machine Learning”) chamada Programação em Lógica Indutiva [Lavrac, Dzeroski 94], [Muggleton, Raedt 94].

Sistemas Especialistas são sistemas capazes de, em um domínio específico, analisar uma grande quantidade de conhecimento, inferir e recomendar um curso de ação. Todas as técnicas de IA aqui apresentadas podem, isoladamente ou em conjunto, participar de um ambiente pera sistemas especialistas capaz de realizar indução e dedução, ou seja: aprendizado automático, de forma maciçamente paralela.

A IA tem como objetivos finais a criação de máquinas inteligentes e a compreensão do raciocínio humano. De acordo com suas técnicas, ela se divide entre Simbolista e Conexionista. A chamada concepção simbolista parte do princípio de que o computador deve operar como supostamente opera a mente humana, isto é, manipulando sistemas de símbolos. Já a concepção conexionista considera que o computador deve ser um modelo do funcionamento do cérebro.

A habilidade de raciocinar simbolicamente exerce papel fundamental na capacidade de solucionar problemas e no processo cognitivo dos seres humanos. O raciocínio se caracteriza por tarefas inteligentes como: o aprendizado, a descoberta de novos conhecimentos, a resolução de ambigüidades e inconsistências e o uso do conhecimento já adquirido em decisões diante de

situações novas. O cérebro humano equaciona tarefas cognitivas muito rapidamente, utilizando o paralelismo de sua estrutura e lançando mão de aproximações na solução dos problemas.

Cada uma das técnicas da IA já mostrou, isoladamente, sua importância e seus pontos fortes. A integração de suas concepções considerando-se as características positivas de cada uma, um dos objetivos do ICOM, tem-se um sistema híbrido inteligente capaz de tirar o máximo proveito da sinergia resultante de tal integração. Extrair as potencialidades de cada técnica específica, nos permite solucionar problemas em diversas áreas, com níveis de eficiência jamais alcançados por métodos convencionais.

A realização de tarefas cognitivas (raciocínio simbólico) em arquiteturas de redes neurais (computação conexionista) é responsável pela integração dos paradigmas da IA. Assim, o paradigma simbolista acrescenta seus valores ao conexionista, permitindo que as redes neurais tenham um poder de representação similar ao dos sistemas simbolistas e apresentem justificativas para as decisões tomadas em seu processo de raciocínio. Aumenta, portanto, a capacidade de representação e utilização das redes neurais. Em contrapartida, o paradigma conexionista acrescenta seus valores ao simbolista; maior velocidade, robustez e flexibilidade (tolerância à falhas). Em suma, um sistema inteligente que representa e processa o conhecimento em redes neurais contribui para a inevitável evolução da computação na direção de arquiteturas maciçamente paralelas.

Como os paradigmas da IA possuem características radicalmente distintas, não é trivial representar o conhecimento simbólico em redes neurais. Algumas destas características são: a natureza estática da topologia das redes neurais, a não representação de estruturas complexas em redes neurais e o mecanismo de controle procedural dos sistemas simbolistas, enquanto os sistemas conexionistas, para garantir o paralelismo, não devem ter controle centralizado. Representar e processar computação simbólica em redes neurais se aplica, do ponto de vista de engenharia, na computação paralela e nos sistemas baseados em conhecimento. Tais aplicações vão tirar proveito das seguintes propriedades: poder de representação, capacidade de lidar com inconsistências, robustez e capacidade de aprendizado.

Alguns dos trabalhos responsáveis pelos primeiros resultados nesta área, ainda bastante nova, são [Shastri, Ajjanagadde 90], [Lima 92], [Pinkas 92], [Holldobler 93] e [Sun, Bookman 93]. Neles, os autores concentram suas pesquisas em como representar a lógica proposicional e a lógica de predicados em arquiteturas de redes neurais, utilizando-as para realizar inferência lógica automática, de forma paralela. Vingralek [Vingralek 94] mostrou como codificar o problema de obter "*stable models*" [Gelfond, Lifschitz 88] e "*answer sets*" [Gelfond, Lifschitz 91] em um problema de minimização de energia, abrindo o caminho para a inferência automática não monotônica em redes neurais simétricas [Hopfield 82]. Outros trabalhos, como [Towell 92] e [Towell, Shavlik 94], tratam de integrar a representação da lógica matemática na rede neural com a grande capacidade de aprendizado da rede neural, decorrente de seus poderosos algoritmos de aprendizado. Um sistema inteligente unificado, para se valer das vantagens de cada paradigma da IA, deve ser capaz de integrar a lógica matemática com as redes neurais [Holldobrer, Kalinke 94], [Lima 95] e com aprendizado indutivo [Garcez et al. 95].

4. Objetivos

Conforme o próprio título indica, os objetivos desse projeto se dividem em teóricos e práticos. Do ponto de vista teórico os objetivos são:

1. desenvolver um sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais de forma fortemente acoplada [Garcez et al 95]. Este tipo de acoplamento apresenta a vantagem por permitir uma forma unificada de Representação do Conhecimento além de permitir o tratamento integrado da informação estruturada e não-estruturada. A partir extração de regras das redes neurais, uma parte fundamental dessa integração, será possível a comparação dos aprendizados simbólicos e conexionista diretamente, ao invés da forma empírica que tem sido usada até o presente.
2. aperfeiçoar modelos de redes neurais fuzzy, como o CNM [Machado, Rocha 91]. Esse modelo pode ser visto como um poderoso bloco de construção para a criação de sistemas hibridos inteligentes. Pretende-se adaptar o algoritmo de aprendizado de pesos de redes neurais baseadas no CNM para situações onde as entradas do modelo sao atributos numéricos, ampliando dessa forma a proposta original voltada para atributos binarios. Pretende-se tambem aprofundar o estudo de algoritmos para geração automatica de funções de pertinencia capazes de realizar o particionamento nebuloso dos atributos numéricos de entrada, de forma a otimizar o desempenho de redes neurais baseadas no CNM [Machado 95];
3. desenvolver algoritmos paralelos e distribuídos para a implementação eficiente de diversos modelos de Inteligência Computacional. É bem conhecido que algumas técnicas inteligentes, como redes neurais, lógica fuzzy e algoritmos genêticos são exemplos típicos de algoritmos com alto potencial de paralelismo que é frequentemente perdido com definições e implementaçõess em linguagens sequenciais. Além disso, será necessário o estudo e desenvolvimento de mecanismos distribuídos de comunicação que permitam o processamento paralelo de sistemas inteligentes híbridos sobre arquiteturas baseadas em equipamentos disponíveis comercialmente, tais como clusters de estações RISC e anéis ATM de alta velocidade;

As tarefas relacionadas à parte prática do projeto basearão as estratégias a serem adotadas nos resultados preliminares a serem descritos na seção 4 e revisarão suas decisões conforme novos resultados sejam obtidos dos estudos teóricos. Além disso, fornecerão os resultados práticos que permitirão corroborar as previsões feitas pela teoria. Os objetivos da pesquisa aplicada são:

- desenvolver a paralelização de funções de treinamento das redes neurais, da segmentação e da interpretação de imagens de satélite do NICE ("Neural Image Classification Environment") visando reduzir o tempo de desenvolvimento e o tempo de execucao de aplicacoes complexas ligadas a interpretacao de imagens de sensoriamento remoto. Este objetivo constitui encomenda feita pelo parceiro industrial IBM à COPPE-PESC;
- desenvolver aplicações de Inteligência Computacional em problemas reais ambientais (EMBRAPA) e em sistemas elétricos de potência (CEPEL). No que concerne a aplicações em problemas ambientais, o trabalho enfocará o uso de sistemas hibridos inteligentes em: a) desenvolvimento de procedimentos de mapeamentos de qualidades da terra de uma

determinada região (drenagem, fertilidade, potencial de risco a erosão) e de aptidão dos solos, adequados as observações descritivas e quantitativas em solos; b) para uma aplicacao ambiental a ser desenvolvida dentre os temas: analise de cobertura vegetal com base em imagens do satelite Landsat V, monitoramento do desflorestamento na regiao amazonica usando imagens de sensoriamento remoto e zoneamento ecologico-economico na regiao amazonica. Com relação a sistemas elétricos de potência a aplicação dos sistemas desenvolvidos de modo a solucionar os problemas encontrados em: a) diagnostico de falhas ;b) previsão de carga elétrica e c)alocação ótima de capacitores.

5. Trabalhos Correlatos

O conjunto de participantes reunido no ICOM preenche todo um espectro de competências capaz de garantir sua bem-sucedida finalização. Na intenção de se delinear um contexto em que o ICOM possa, em seus diversos aspectos, ser comparado com alguns dos esforços mais significativos em áreas de atuação correlatas, apresentaremos inicialmente as atividades, projetos e experiências de seus integrantes nestas áreas. O projeto NEUROCON [Ludermir et al. 94] tem como motivação principal a aplicação de formas de aprendizado baseados em modelos de RNAs ao processamento procedural convencional. Espera-se neste contexto que ganhos qualitativos em performance sejam obtidos através do uso de RNAs como substrato de processamento adaptativos em que a arquitetura alvo apropriada a um determinado procedimento ou programa seja definida dinamicamente durante sua execução. Tal seria possível via a migração de sequências de operações mais custosas e fundamentais deste procedimento para RNAs que executariam equivalente computação nao-proceduralmente. Este projeto se encontra em andamento tendo sido aprovado dentro da iniciativa ProTem-CC, fase 2, vigente no bienio 95-96.

A investigação sobre o impacto do uso de mecanismos probabilísticos em algoritmos distribuídos é a motivação central de um projeto de colaboração com o Istituto di Cibernetica, Napolis, Itália, dentro do convênio CNPq-CNR. Em um primeiro artigo publicado em parceria com pesquisadores do Istituto di Cibernetica, desenvolvemos um algoritmo probabilístico para a definição de orientações acíclicas em sistemas anônimos, i.e., no qual seus componentes são indistinguíveis entre si, e possuindo qualquer topologia [Calabrese, França 94]. Este projeto foi aprovado pelos conselhos acessores do CNPq e do CNR, presentemente esperando a definição do início de sua execução orçamentária.

O projeto GEOTEC é um projeto suportado pelo ProTem-CC/2 do qual participa o CCR-IBM na qualidade de parceiro industrial em conjunto com diversas universidades e institutos de pesquisa brasileiros, dentre os quais citamos a UNICAMP, a COPPE, o INPE e a EMBRAPA, dentre outros. O projeto tem como objetivo a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias e software para o geoprocessamneto, visando a gerar soluções competitivas internacionalmente e que sejam ao mesmo tempo adequadas aos problemas urbanos e ambientais do País. O projeto abrange o biênio 1995-96. O GEOTEC prevê também a pesquisa de técnicas de Inteligência Artificial em conexão com a interpretação de imagens de satélite, como forma de extrair automaticamente informações para alimentar os sistemas de geoprocessamento. O CCR-IBM vem, no âmbito desse tópico, aprofundando pesquisas desenvolvidas em um projeto anterior mantido com o INPE sobre o emprego de redes neurais (perceptrons de múltiplas camadas), treinadas usando o algoritmo de retropropagação de erros (backpropagation), para a interpretação de imagens de satélite. O CCR-IBM vem também construindo a ferramenta NICE ("Neural Image Classification Environment") para facilitar o desenvolvimento de sistemas para geração automática de mapas temáticos a partir de imagens de sensoriamento remoto. O NICE apresenta-se como uma ferramenta robusta e flexível capaz de não apenas ajudar na vizualização, interpretação manual e edição das imagens, como também realizar a interpretação automática das imagens através de classificadores neurais. A classificação é feita combinando-se as tecnologias de redes neurais e lógica nebulosa, o que permite obter elevados índices de desempenho e lidar de forma confiável com problemas complexos de interpretação tais como transições graduais entre classes e a ocorrência de fenômenos de interferência, como nuvens e sombras.

Com o objetivo de difundir a teoria e a aplicação das técnicas computacionais inteligentes, o DEE da PUC-Rio, com o apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia (através do Programa RHAE), CNPq, FINEP e Conselho Britânico, criou o I.C.A.-Núcleo de Pesquisa em Inteligência Computacional Aplicada - no final de 1993. As aplicações desenvolvidas no âmbito desses projetos patrocinados têm envolvido, até o momento, basicamente uma única técnica inteligente (Rede Neural, Algoritmo Genético, Lógica Fuzzy ou Sistemas Especialistas), de acordo com as suas características intrínsicas e a aplicabilidade técnica. Em uma breve descrição dos projetos em andamento no ICA teríamos inicialmente os apoios FINEP (período: 01/94 a 06/96), CNPq (período: 08/95 a 07/97) e RHAE (em análise para o período 01/96 a 02/98) para a montagem de um laboratório específico para a construção de sistemas inteligentes dedicados. Um projeto de colaboração com o ISL (Intelligent Systems Lab) do University College London também se encontra em análise (CAPES e Conselho Britânico) para o período 02/96 a 01/99. O desenvolvimento de um Modelo de Previsão de Carga (em conjunto com o Núcleo de Estatística Computacional do DEE da PUC-Rio) combinando técnicas da estatística e da inteligência computacional é um projeto em andamento (01/95 a 12/96) encomendado pelo CEPEL de forma a colocar à disposição de cada empresa concessionária do setor de energia elétrica um ferramental que ofereça previsões de carga com a melhor qualidade possível.

Dentro de uma parceria similar, o PESC-COPPE analizou a utilização de técnicas de Inteligência Artificial na diagnose de um Sistema de Potência , pretendendo auxiliar os operadores destes sistemas a determinar as causas dos distúrbios que possam surgir. Com o propósito de verificar a viabilidade desta proposta, definida em conjunto com o CEPEL, estudamos comparativamente a aplicação de duas técnicas: a lógica não-monotônica e a rede neural, no desenvolvimento de um sistema inteligente de diagnóstico de falhas [Silva et al. 94]. Desenvolvemos um sistema híbrido de diagnose baseado nestes dois paradigmas [Silva et. al. 95]. Trabalhos recentes, como [Pinkas 92] e [Holldobler 93], mostram a viabilidade da implementação de lógicas nas redes neurais simétricas. Trabalhos como [Towell 92] e [Garcez et al. 95] mostram a viabilidade de se acoplar aprendizado nesta implementação. É um de nossos objetivos comparar esses trabalhos visando o aperfeiçoamento destas implementações no sentido de criar sistemas híbridos fortemente acoplados [Medsker 94].

O Centro Nacional de Pesquisa de Solos participa pela primeira vez do ProTem-CC, mas participa de convênios de pesquisa com as Universidade de Karlshue (Alemanha) com a participação da Universidade de Barcelona, financiado pela comunidade Europeia para desenvolvimento do projeto Adaptação e Desenvolvimento de Tecnologias para Gestão Agroambiental Sustentável em regiões de Relevo Acidentado, ORSTON (França), Convênio de cooperação técnica para consultoria e treinamento de pessoal nos projetos do e International Soil References and Information Center (ISRIC) convênio de cooperação técnica nas avaliações de mapas do solos do mundo e na estruturação de solos referências.

6. Descrição do Projeto

Esta seção descreve como o projeto ICOM será encaminhado a partir da experiencia dos parceiros, objetivos definidos e resultados esperados. Este procedimento para a cooperação, foi determinado a partir de reuniões preliminares entre grupos de parceiros e uma reunião eletrônica da coordenação técnica do ICOM.

Os parceiros deste projeto tem experiência de dois tipos na área de inteligência computacional: desenvolvimento de protótipos, aplicações e produtos; e resultados de pesquisa teórica e aplicada em técnicas da área.

O projeto será encaminhado levando-se em conta seus objetivos e resultados esperados, além da vocação e experiência de cada parceiro. Devido ao fato dos parceiros não universitários (CCR-IBM, CEPEL, EMBRAPA) estarem ligados a centros de pesquisa, e do perfil de alguns paceiros (ICA-PUC) e/ ou grupos (COPPE-UFRJ) estarem também voltados ao desenvolvimento de aplicações, as tarefas relacionadas tanto aos objetivos da parte prática como da parte teórica do projeto envolverão ambos os tipos de parceiros.

Os principais riscos atualmente identificados na obtenção dos resultados são os seguintes:

• problemas de integração de resultados

A utilização imediata dos resultados de pesquisa nas aplicações poderá ser, em alguns casos, impossível, devido aos cronogramas de produção destes últimos. Além disso as versões do software podem não ser compatíveis. O mesmo tipo de problema pode ocorrer quando da utilização, por um parceiro de ferramentas desenvolvidas em outra instituição participante. Para isso será necessário estabelecer formas e mecanismos de gerência de versões.

• problemas de infraestrutura computacional

Devido a complexidade das técnicas, sistemas e aplicações de inteligência computacional, além da paralelização de funções da ferramenta NICE e do desenvolvimento de algoritmos paralelos e distribuídos para a implementação eficiente dos diversos modelos, é fundamental prover uma infraestrutura computacional adequada. Portanto, um risco evidente é a não disponibilidade de recursos computacionais suficientes para as atividades de implementação. Com isso, muitos dos objetivos ficarão comprometidos. No entanto, ressaltamos a contrapartida industrial (CCR-IBM) ao desenvolvimento do NICE, garantindo os recursos necessários a este objetivo.

• problemas de coordenação da cooperação entre os participantes

Os parceiros estão cientes de que este projeto, pela sua envergadura e número de participantes, pode vir a apresentar dificuldades no que tange coordenar a cooperação. Para contornar tal problema, são levadas em consideração os seguintes fatores:

- a experiência comprovada de cada grupo participante nas linhas de atuação dentro do projeto e o entrosamento já existente;

-a existência ce cooperação prévia entre alguns grupos de parceiros do ICOM, que facilitará a integração inicial entre as instituições;

-o estabelecimento de mecanismos de gerência, que incluem contato constante por meio de comunicação eletrônica e o forum eletrônico que será estabelicido parta este projeto, a partir da COPPE;

- a proximidade geográfica da maioria dos parceiros (Rio de Janeiro e Espirito Santo), que facilitará a comunicação. Com relação a UFPE e UFC, embora prejudicados pela distância, estes dois grupos já mantem cooperação com a COPPE (ProTeM-CC II) e, PUC e IBM, respectivamente.

- a experiência de vários parceiros adquirida nos ProTem-CC na cooperação existente entre instituições visando complemetar conhecimentos.

7. Originalidade

A originalidade da pesquisa envolvida neste projeto, tanto do ponto vista científico qanto do tecnológico pode ser avaliada, a partir de comparação com esforços no mesmo sentido em projetos e congressos internacionais. Podemos citar entre eles o Real World Computing, o Massively Parallel Reasoning e os do Intelligent Systems Lab (ISL), do University College of London (Pigmalyon, Galatea e Papagena).

Com relação ao Real World Computing, o projeto japonês com duração prevista de 10 anos, o nosso projeto é bem menos ambicioso e mais específico.

O Massively Parallel Reasoning é um projeto pioneiro na área de sistemas conexionistas simbólicos, coordenado por Steffen Holdobbler um dos coolaboradores internacionais do ICOM. O nosso projeto difere principalmente na forma fortemente acoplada de integração de inferência lógica com redes neurais, no tratamento integrado da informação estruturada e não estruturada e na análise dos aprendizados simbólico e conexionista de forma direta, ao invés da forma empírica que tem sido utilizada até o presente.

Os projetos do ISL, também um dos coolaboradores internacionais do ICOM, tem sido voltados para aplicações do na área financeira. As áreas de aplicação do ICOM serão ambientais e sistemas elétricos de potência.

A principal perspectiva tecnólogica desta pesquisa será a paralelização da ferramenta NICE com relação a algumas de suas funções tais como: treinamento das redes neurais, segmentação e interpretação de imagens de satélite do NICE ("Neural Image Classification Environment") visando reduzir o tempo de desenvolvimento e o tempo de execução de aplicacoes complexas ligadas a interpretacao de imagens de sensoriamento remoto. Tal objetivo constitui encomenda feita pelo parceiro industrial IBM à COPPE-PESC.

Além disso, as ferramentas desenvolvidas durante o projeto serão utilizadas em problemas ambientais e em sistemas elétricos de potência, de alto interesse tecnológico para o país.

No que concerne a aplicações em problemas ambientais, o trabalho enfocará o uso das ferramentas em um dos seguintes temas: análise de cobertura vegetal com base em imagens do satélite Landsat V, monitoramento do desflorestamento na região amazônica usando imagens de sensoriamento remoto e zoneamento ecológico-econômico na região amazônica.

Com relação a sistemas elétricos de potência, as ferramentas serão aplicadas em diagnóstico de falhas, previsão de demanda de carga a curto, médio e longo prazo e alocação ótima de capacitores. Será selecionada uma subestação para implementação e verificação em campo dos resultados previstos. Esta aplicação será integrada ao sistema digital de supervisão e controle do CEPEL.

Como perspectivas científicas, o desenvolvimento de um protótipo de um sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais de forma fortemente acoplada perimitirá uma forma unificada de Representação do Conhecimento, além do tratamento integrado da informação estruturada e não-estruturada. Com este tipo de unificação será possível a comparação dos aprendizados simbólicos e conexionista diretamente, ao invés da forma empírica que tem sido usada até o presente.

Com o aperfeiçoamento dos modelos de redes neurais fuzzy, como o CNM será possível adaptar o algoritmo de aprendizado de pesos de redes neurais baseadas no CNM para situações onde as entradas do modelo sao atributos numéricos, ampliando dessa forma a

proposta original voltada para atributos binários. Aprofundando o estudo de algoritmos para geração automática de funções de pertinência capazes de realizar o particionamento nebuloso dos atributos numéricos de entrada, poderemos otimizar o desempenho de redes neurais baseadas no CNM.

A utilização de algoritmos genéticos como meio de determinar a topologia ideal para redes neurais possibilitará a escolha de uma topologia adequada para o problema alvo, fundamental à eficiência do sistema.

O desenvolvimento de algoritmos paralelos e distribuídos permitirá a utilização de diversos modelos de Inteligência Computacional em problemas que requerem resposta em tempo real, os quais não seriam implementados de forma eficiente em sistemas sequenciais. Além disso, será necessário o estudo e desenvolvimento de mecanismos distribuídos de comunicação que permitam o processamento paralelo de sistemas inteligentes híbridos sobre arquiteturas baseadas em equipamentos disponíveis comercialmente, tais como clusters de estações RISC e anéis ATM de alta velocidade.

8. Aderência do projeto ao ProTeM-CC

O projeto se insere na categoria 2 - **Projetos de Pesquisa Aplicada** - contando com a parceria industrial tipo 4 (**forte**) da IBM, além da participação de dois institutos de pesquisa aplicada, CEPEL e EMBRAPA.

O projeto tambem se insere na categoria que aborda **Problemas de Interesse Estratégico** no item de **Aplicações Industriais**, com o desenvolvimento da paralelização da ferramenta NICE encomendada pela IBM a um dos parceiros.

Conforme documentos em anexo, o projeto recebeu encomenda da IBM ao PESC/COPPE, traduzida pelas tarefas que se encontram descritas no plano de trabalho.

Além dos parceiros mencionados acima, o projeto conta com a participação das seguintes instituições acadêmicas: COPPE/UFRJ, PUC/RJ, UFPe, UFC e UFES, onde as duas últimas são identificada como centros emergentes.

Estão, portanto, satisfeitas as exigências de composição da parceria.

Adicionalmente, o projeto tem a cooperação com os seguintes institutos internacionais de pesquisa: UCL (Inglaterra), CNR (Itália) e Technical University of Dresden (Alemanha).

Internacionalmente, as áreas de Sistemas Híbridos e Paralelismo vêm merecendo crescente interesse no meio acadêmico, o que pode ser verificado pelo surgimento de Workshops e conferências em sistemas híbridos e pela importância das conferências e publicações de arquiteturas e algoritmos paralelos e distribuídos.

Com relação aos **Temas de Pesquisa** abordados pelo projeto, podemos identificar quatro dentre os relacionados como de interesse preferencial do PROTEM-CC. São eles: Redes Neurais, Inteligência Artificial, Teoria da Computação e Arquitetura de Computadores.

Finalmente, **ICOM** se coaduna com os objetivos do PROTEM-CC ao promover o intercâmbio entre centros acadêmicos e entre academia e indústria. Tal se dará não apenas através de execução direta das tarefas aplicativas propostas, como também através da formação de pessoal tanto para a continuação do trabalho de pesquisa quanto para o mercado de trabalho na indústria, uma vez que vários projetos de formação de pessoal poderão derivar do **ICOM**.

9. Equipe e Capacitação

COPPE / UFRJ

O Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC) é uma das doze unidades básicas que compõem a estrutura acadêmica da Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia - COPPE/UFRJ. A COPPE é uma das quatro unidades que constitui o Centro de Tecnologia.

O PESC tem como objetivo principal o desenvolvimento de pesquisa em Ciência de Computação e a formação de docentes e pesquisadores em nível de Mêstrado e doutorado. Criado a 26 anos, o Programa tem participado ativamnete no desenvolvimento da Ciência da Computação no Brasil, tendo formado mais de 600 Mestres e 100 Doutores que se encontarm em instituições públicas e particulares de todo o país. O Programa conta com 42 docentes e pesquisadores, 5 professores colaboradores e 4 professores visitantes.

O grupo do **PESC/COPPE/UFRJ** participará em atividades relacionadas a todos os objetivos do ICOM, que envolve as áreas de Teoria da Computação, Inteligência Artificial, Redes Neurais e Arquiteturas e Algoritmos Paralelos. O grupo tem demonstrado excelência nas áreas citadas.

Intêligencia Artificial e Teoria da Computação. O grupo tem atuado nessa área, com destaque para trabalhos em Lógicas Não-clássicas, em particular, Lógicas Não-monotônicas [ ], implementação e paralelização de sistemas de Programação em Lógica [ ], Sistemas Híbridos envolvendo inferência lógica e redes neurais [ ] e aplicações [ ].

Redes Neurais. Quatro dos participantes tem atuado fortemente na área com trabalhos relevantes internacionais (incluindo livro [ ]) e nacionais, tanto em redes neurais artificiais [ ] como em redes neurais biológicos [ ].

Arquiteturas e Algoritmos Paralelos. Dois dos participantes possuem considerável experiência na área evidenciada com trabalhos relevantes internacionais (incluindo livro [ ]) e nacionais.

Além disso o grupo tem participado em projetos correlatos, como o NEUROCOM e projetos individuais de pesquisa, conforme descrito na seção 5.

O grupo mantém ainda colaboração internacional com o Imperial College (Londres), CNR (Nápoles), Technical University of Dresden, University of Bristol e International Computer Science Institute (Berkeley).

Tal capacitação mereceu solicitação por parte da IBM da paralelização do seu sistema NICE, um dos objetivos do ICOM, a qual em contrapartida cederá equipamentos e software para o projeto conforme documento em anexo.

Centro Científico Rio - IBM

Áreas de atuação: Redes Neurais, Processamento de imagens, Bancos de dados

A equipe do Centro Científico Rio (CCR-IBM) tem uma competência reconhecida nacionalmente de pesquisa avancada em suas áreas de atuação.

Desde 1988 o CCR-IBM vem explorando a tecnologia de redes neurais e seu emprego em combinação com outras técnicas como lógica nebulosa e algoritmos genéticos para a geração de sistema híbridos mais poderosos na área de inteligência artificial, esforço esse que tem recebido o reconhecimento da comunidade científica através da publicação de diversos artigos aceitos internacionalmente bem como através do Prêmio Nacional de Informática, conferido em 1992.

No que se refere a interpretação de imagens o CCR-IBM manteve com o INPE durante quatro anos um projeto para a pesquisa e desenvolvimento de um sistema para monitoração do desflorestamento da Amazônia, e mais recentemente vem mantendo um projeto com a EMBRAPA para a elaboração de um sistema de Análise de Cobertura Vegetal.

Participa tambem do projeto Geotec suportado pelo PROTEM-CC/2.

Com base nessa experiência, o CCR-IBM vem desenvolvendo o NICE (Neural Image Classification Environment), um software que aplica técnicas de redes neurais e lógica nebulosa para a interpretação automática de imagens de satélite, com grande potencial de aplicação, em conexão com sistemas de geoprocessamento.

CEPEL

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, uma empresa do grupo ELETROBRÁS, foi constituído em 1974 com a missão de prover suporte científico e tecnológico ao desenvolvimento do setor elétrico brasileiro.

Suas atividades são direcionadas para o atendimento das necessidades das empresas de energia elétrica, da indústria de bens e serviços e dos consumidores de energia elétrica, mediante ações de:

- Pesquisa e Desenvolvimento
- Ensaios
- Certificação
- Transferência de Tecnologia

Na sua atuação junto ao setor elétrico o CEPEL comprovou que a crescente complexidade dos Sistemas de Potência vêm exigindo o desenvolvimento de técnicas cada vez mais sofisticadas para Supervisão, Controle e Automação.

Embora atualmente o setor elétrico possua sistemas digitalizados de supervisão e controle (SDSCs), estes em geral somente substituem ou complementam os sistemas convencionais. Todo o conhecimento sobre o planejamento e a operação do sistema continua sendo privilégio

de alguns especialistas, isto é, de pessoas capazes de tomar decisões a partir da lógica, heurística, experiência e, até Mêsmo, intuição.

Em meados da década de 90, começaram a ser desenvolvidos no CEPEL projetos em atividades de definição e implementação de técnicas de Inteligência Artificial que se adaptem aos problemas e requisitos do setor elétrico brasileiro. Dentre estes, podemos destacar:

Ampacidade (1160) A técnica de ***Redes Neurais*** vem sendo aplicada dentro deste projeto, no sentido de modelar os valores de temperatura superficial dos condutores aéreos de linhas de transmissão de energia elétrica. Assim, utilizando a característica não-linear das redes neurais são feitas previsões de curto prazo de temperatura superficial do condutor considerando os parâmetros elétricos e ambientais.

Diagnóstico de Hidrogeradores (1203) Este projeto visa a estabelecer uma técnica de monitoramento eficiente para máquinas hidrogeradoras e a partir de grandezas mecânicas (vibração radial e axial do eixo), elétricas(descargas parcias) e térmicas (temperatura nos mancais) inferir um diagnóstico do estado operativo da maquina. A análise dos sinais de vibração do eixo no domínio do tempo é realizada através de um módulo de ***Redes Neurais*** e no domínio da frequência por um sistema com base em conhecimento. Um módulo de ***Lógica Fuzzy*** avaliará outras grandezas como temperatura nos mancais.

Tópicos Especiais em Sistemas de Supervisão e Controle (1211) O objetivo inicial deste projeto era fazer uma análise comparativa sobre a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial no Diagnóstico de Falhas a partir do Processamento de AlarMês de um Sistema Elétrico de Potência.
Para tal, foram implementadas simplificadamente em um sistema elétrico de uma usina, três técnicas diferentes de Inteligência Artificial: ***Sistemas Especialistas, Redes Neurais, e Sistemas Híbridos (Lógica Não-monotônica + Rede Neural e Lógica Difusa + Rede Neural).***

Previsão de Carga (1235) O objetivo deste projeto é fazer uma análise comparativa entre várias metodologias de previsão englobando abordagens estatísticas tradicionais como métodos de alisamento exponencial e modelos Box & Jenkins univariados, modelos estruturais e de regressão dinâmica, métodos de previsão via ***Redes Neurais,*** os métodos utilizados pelas concessionárias e possíveis combinações, aplicada à previsão de carga. Estabelecer a metodologia de previsão mais eficiente para cada concessionária de energia elétrica e cada tipo de série de carga (demanda na ponta, demanda fora da ponta e energia) num horizonte de planejamento mensal da operação.

SINAPE (1245) ***Sistemas Especialistas*** serão usados neste projeto para desenvolver um sistema automático de análise de perturbação em sistemas elétricos. O objetivo é aliviar o trabalho do profissional responsável pela análise da proteção, considerando-se o grande aumento do parque de oscilografia instalado e previsto a curto e médio prazo.
O aumento no volume de faltas e de oscilogramas a analisar será compensado pela utilização de ***sistemas especialistas***. Isto representará redução de custos operacionais, maior eficiência do profissional envolvido e rapidez nos resultados.

Diagnose de Transformadores (2068) Um dos serviços prestados pelo CEPEL no Laboratório de Materiais 5 é o diagnóstico da condição de operação de transformadores a partir da análise de uma amostra do óleo mineral isolante. O diagnóstico é feito através da

interpretação dos teores obtidos na cromatografia dos gases dissolvidos no óleo. O objetivo deste estudo é fornecer subsídios ao especialista no diagnóstico de transformadores a partir da utilização de técnicas de Inteligência Artificial (mais especificamente ***Redes Neurais, Lógica Fuzzy e Sistemas Especialistas***).

Recomposição (2904) Durante a reunião Bienal da CIGRÉ em Paris em 1994, foram discutidos no grupo SC-38 diversos aspectos do uso de técnicas de inteligência artificial, aplicadas ao setor elétrico. Uma aplicação importante apresentada na reunião foi a aplicação de sistemas inteligentes na recomposição de sistemas elétricos de potência.
Este estudo tem por objetivo testar diversas técnicas de Inteligência Artificial ***(Sistemas Especialistas, Redes Neurais, Lógica Fuzzy)*** em recomposição de sistemas elétricos de potência, após a ocorrência de uma perturbação simples (perda de uma linha ou de parte da subestação) ou perturbação geral (black-out).
A metodologia adotada consiste em:

- Escolher um subsistema elétrico, onde já tenham sido feitos estudos, para estabelecer estratégias de recomposição;
- A partir das Instruções de Operação do sistema elétrico desenvolver ferramentas para auxiliar os operadores na recomposição.

O produto final será um protótipo para análise e testes do desempenho de ferramentas, baseadas em inteligência artificial, para auxiliar o operador na recomposição de sistemas elétricos. Futuramente, estas ferramentas serão usadas nos Centros de Operação para auxiliar e reduzir a pressão sobre os operadores, no caso de perturbação do sistema elétrico, reduzindo assim o tempo de desligamento.

A participação do CEPEL no presente projeto, viabilizará a aplicaçãoe a verificação dos resultados obtidos em empresas concessionárias de energia elétrica. As empresas passarão a contar com uma análise da aplicação das tecnologias mais recentes em sistemas de supervisão, controle e planejamento. Em alguns casos isto significará uma sensível redução de custo em relação aos sistemas hoje disponíveis. Em outros casos, a melhoria de desempenho pelo emprego de técnicas mais modernas justificará sua utilização.

ICA Núcleo de Pesquisa em Inteligência Computacional Aplicada

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

O ICA tem como proposta fundamental trabalhar em colaboração com empresas no estudo e na aplicação da inteligência computacional em problemas do mundo real.

Criado em 1993 com o apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia; através do Programa RHAE; CNPq, FINEP e Conselho Britânico, o ICA integra o Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio.

A dinâmica das atividades executadas no ICA desde a sua criação resultou no desenvolvimento de um número de projetos de sistemas inteligentes voltados para os problemas reais dos diversos setores da indústria e do comércio.

A tabela abaixo resume os projetos por setor de aplicação nos quais o ICA tem atuado.

Projetos de Pesquisa Desenvolvidos no ICA

Setor	Tema
Ensino	Software Demonstrativo para o Ensino de Sistemas Inteligentes
Energia	Previsão de Carga em Sistemas Elétricos de Potência por Redes Neurais Diagnóstico de Falhas em Sistemas Elétricos Otimização de Despacho por Algoritmos Genéticos Otimização da Alocação de Capacitores em Sistemas Elétricos Otimização do Pré-Despacho Térmico por Algoritmos Genéticos
Petroquímico	Simulação de Forno de Craqueamento da Refinaria REDUC Utilizando Rede Neural Sensor Virtual baseado em Redes Neurais para a Medição de Intemperismo na Produção de GLP Otimização da Distribuição e do Estoque de derivados de Petróleo por Algoritmos Genéticos
Industrial	Sistema Inteligente de Reconhecimento de Imagens Bidimensionais Redes Neurais Aplicadas a Ensaios Não-Destrutivos de Materiais Condutores Sistemas Inteligentes Aplicados ao Reconhecimento de Voz Controle Nebuloso do Deslocamento de uma Peça Móvel em uma Área com Obstáculos Visão Computacional utilizando Redes Neurais Compressão de Imagens Digitalizadas por Redes Neurais

Comercial	Otimização do Planejamento de Horários por Algoritmos Genéticos Reconhecimento de Dígitos Manuscritos por Redes Neurais Aplicado à Leitura de Código Postal Reconhecimento de Caracteres Impressos (OCR) Utilizando Redes Neurais Previsão de Tiragem de Jornal Estudo de Circuitos Integrados Dedicados na Área de Inteligência Computacional Otimização da Área Ocupada por Figuras Geométricas através de Algoritmos Genéticos
Econômico	Avaliação de Risco em Sistemas Financeiros Previsão de Indicadores Financeiros (Ouro) por Redes Neurais
Financeiro	Previsão do Índice Bovespa por Redes Neurais Teoria de Sistemas Dinâmicos (Teoria de Caos) aplicada à Previsão de Séries Temporais
Meio Ambiente	Previsão de Precipitação Pluviométrica na Área do Nordeste por Redes Neurais

O corpo técnico-científico do ICA é constituído por professores do DEE da PUC-Rio, por pesquisadores contratados como bolsistas RHAE, por alunos de graduação e pós-graduação, e por engenheiros e técnicos.

Além dos pesquisadores e técnicos do DEE da PUC-Rio, o ICA também conta com a colaboração de pesquisadores de outras instituições nacionais e internacionais, como University College London, Universidade Federal do Ceará.

As funções do ICA neste projeto PROTEM consistem no desenvolvimento de sistemas híbridos dedicados ao setor energético e ao reconhecimento de imagens. Essas aplicações serão definidas de acordo com o interesse dos parceiros industriais deste projeto, a saber CEPEL e IBM.

EMBRAPA

O Centro Nacional De Pesquisa De Solos - EMBRAPA se caracteriza por ser um centro de pesquisa voltado a classificação dos solos nacionais, a avaliação do seu potencial de uso e o monitoramento de sua conservação de forma a se estabelecer uma agricultura auto sustentavel. Para atingir este objetivo este centro utiliza informações originárias dos levantamentos de solos que realiza há 40 anos. O CNPS é uma instituição de referência tecnológica e metodológica na

ciência do solo, com atribuições de realizar pesquisa básica e aplicada para o conhecimento dos solos brasileiros, sua constituição, propriedades, limitações e potencialidades, como também subsídio para orientar seu manejo o planejamento do uso das terras e as práticas conservacionistas mais apropriadas.

O CNPS participa pela primeira vez do ProTem-CC, mas participa de convênios de pesquisa com as Universidade de Karlshue (Alemanha) com a participação da Universidade de Barcelona, financiado pela comunidade Européia para desenvolvimento do projeto Adaptação e Desenvolvimento de Tecnologias para Gestão Agroambiental Sustentável em regiões de Relevo Acidentado, ORSTON (França), Convênio de cooperação técnica para consultoria e treinamento de pessoal nos projetos do International Soil References and Information Center (ISRIC) e convênio de cooperação técnica nas avaliações de mapas do solos do mundo e na estruturação de solos referências.

O DEE-UFC COMO GRUPO EMERGENTE

A participação da UFC no projeto é motivada pelos seguintes aspectos:

- A criação em Fortaleza do Centro Nacional de Processamento de Alto Desempenho (CENAPAD-CE). Nós acreditamos firmemente que o esforço do estabelecimento deste centro deve ser seguido pour outro que vise a exploração de maneira adequada e competente de todo o potêncial de computação de alto desempenho oferecido pelo CENAPAD-CE. Neste sentido o PROTEM poderá usufruir do grande potêncial do CENAPAD-NE.

- As crescentes cooperações e convênios do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (DEE/UFC) com outras instituições nacionais (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC/RJ) e internacionais (Sussex e Lyon) têm evoluído, devido ao perfil dos pesquisadores das diferentes instituições, para o estudo do processamento paralelo aplicado às técnicas inteligentes. O DEE-UFC ja mantém projetos integrados de pesquisa junto com a PUC/RJ e a Ecole Normale Supérieure de Lyon, França (processo 520093/95-0 no CNPq).

- A nossa experiência de vários anos na área de processamento paralelo e a finalização recente de nosso Doutorado no Laboratoire de l'Informatique du Paralléslisme de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon (LIP/ENSL) na França. Gostariamos de comentar que devido a nossas contribuições na área de processamento paralelo, o Institute of Electrical and Electronic Enginneers (IEEE), a Association for Computing Machinery (ACM) e a International Society for Computer Simulation (SCS) concedeu-nos a honra de presidir como "chairman" uma das sessões científicas do 27th Annual Simulation Symposium organizado pelo IEEE, ACM e SCS em San Diego, California, USA em 1994.

Papel/Função do DEE-UFC no Projeto

A participação do DEE- UFC no PROTEM compreende:

- *O desenvolvimento de técnicas e ferramentas de processamento paralelo para inteligencia computacional aplicada.*

É bem conhecido que algumas técnicas inteligentes, como redes neurais, lógica fuzzy e algoritmos genéticos são exemplos típicos de algoritmos com alto potencial de paralelismo que frequentemente é perdido com definições e implementações em linguagens sequenciais. A paralelização dos algoritmos inteligentes será uma das principais tarefas a serem realizadas. A metodologia de paralelização baseia-se nas seguintes etapas:

- Encapsulamento dos procedimentos básicos associados com o modelo a ser paralelizado em uma biblioteca de funções;
- Análise do domínio de dados e tarefas, visando verificar como pode ser realizada a distribuição das diferentes tarefas na arquitetura "host";
- Otimização paralela, aplicada principalmente aos laços de código;
- Avaliação do desempenho de cada paralelização realizada.

DI-UFPE

O Departamento de Informática da UFPE oferece cursos de graduação, mestrado e doutorado em Computação além de um programa de extensão que tem contribuído para uma maior interação com empresas, através de consultoria e treinamento. O corpo docente do DI-UFPE é formado por 37 professores (dos quais 30 são doutores). O corpo discente abriga cerca de 350 alunos de graduação, 100 alunos de mestrado e 15 alunos de doutorado.

O projeto em questão contará com a colaboraçãode pessoal dos grupos de Teoria da Computação e Redes Neurais do DI. Dentre as pesquisas nestes grupos que se relacionam a este projeto podemos destacar o nosso trabalho em Redes Neurais sem Pesos (RNSP) [Ludermir & de Oliveira 1994] onde fazemos um apanhado dos modelos existentes seguido de um estudo comparativo. Temos também trabalhos no reconhecimento de linguagens regulares com RNSP [Ludermir 1990a], [Ludermir 1990b], [Silva & Ludermir 1995a], [Silva & Ludermir 1995c] onde propusemos um classificador para linguagens regulares e uma nova rede neural RAM-based recorrente capaz de reconhecer perfeitamente várias linguagens regulares, juntamente com o estudo da adequabilidade dos modelos propostos a soluçãodo problema em questão.

Extendemos as RNSP para obtermos uma equivalência com as máquinas de Turing [de Oliveira & Ludermir 1992]. Isto estabelece, a nível teórico, a relação entre modelos convencionais e neurais de computação, por exemplo um estudo do relacionamento entre autômatos e RNSP pode ser encontrado em [Ludermir & de Oliveira 1993b]. E também permite a possibilidade de usar RNA em tarefas cognitivas de alto nível tais como o processamento de linguagem natural e raciocínio lógico ou de senso comum, tarefas que tradicionalmente têm sido relacionadas com representação simbólica e técnicas de Inteligência Artificial.

Trabalhamos na análise da computabilidade e complexidade de redes neurais. Com o estudo da computabilidade mostramos a equivalência entre autômatos probablísticos e RNSP [Ludermir 1992]. Já com o estudo da complexidade caracterizamos tipos de classes de arquitetura que podem ser ensinadas em tempo polinomial e em tempo exponencial [Souto et.al. 1995], [Souto & de Oliveira 1995].

Em suma os parceiros do DI-UFPE têm nos últimos três anos contribuído nas áreas de computabilidade de RNAs [Ludermir 1993], implementação/extração de regras gramaticais de RNAs [Ludermir 1991] e complexidade de aprendizado em RNAs [Souto et.al. 1995], tendo gerado dissertações de mestrado [Souto 1995], [Silva 1995] e trabalhos de iniciação científica [Ferreira & Ludermir 1994], [Garcia & Ludermir 1994], [Medeiros & Ludermir 1994], [Santos & Ludermir 1994], [Medeiros & T. B. Ludermir 1995]. No que concerne ao questionamento teórico/fundamental do projeto não há dúvidas quanto a competência do grupo que se caracteriza como um grupo fortemente teórico.

Os trabalhos referenciados acima justificam que os parceiros do DI-UFPE têm qualificações e experiências apropriadas para a parte do projeto que lhes concerne.

O DI-UFES como grupo Emergente

O Departamento de Informática da UFES é o principal pólo de pesquisa e ensino em Informática do Estado do Espírito Santo, sendo responsável por um curso de Mestrado em Informática, dois cursos de graduação em Informática - Engenharia de Computação e Ciência da Computação - e colaborando no curso de mestrado em Automação da UFES. Os cursos de graduação em Engenharia de Computação e Ciência da Computação contam com 150 e 165, respectivamente. O curso de Mestrado em Informática conta com 30 alunos atualmente. O Departamento de Informática da UFES possui 30 professores, sendo 6 doutores, 8 em doutoramento (3 no exterior), 13 mestres e 3 graduados. Todos os professores do Departamento estão em regime de dedicação exclusiva, exceto os 3 graduados que são professores com jornada de 20 hs semanais.

Estão sendo desenvolvidas pelo Departamento, atualmente, pesquisas em 6 áreas da Ciência da Computação: Arquitetura de Computadores, Otimização, Inteligência Artificial, Redes de Computadores, Redes Neurais e Multimídia. O grupo de Redes Neurais e Arquitetura de Computadores conta com dois membros, atuando nas áreas de redes neurais artificiais, modelagem matemática de neurônios biológicos, arquiteturas de processadores paralelos, arquiteturas paralelas MIMD com memória distribuída e máquinas VLIW.

O professor Alberto Ferreira de Souza faz parte do grupo de Redes Neurais e Arquitetura de Computadores do DI-UFES onde leciona os cursos de Estudo Dirigido em Redes Neurais, Processamento Paralelo, Arquitetura de Computadores e Tópicos Especiais em Arquitetura de Computadores. Concluiu o mestrado em 1993, tendo desenvolvido uma tese onde foram investigados quais são os parâmetros ideais de uma máquina VLIW (número de ALUs, multiplicadores de ponto flutuante, somadores de ponto flutuante, barramentos de leitura em banco de registradores, etc). Recentemente obteve artigos aceitos para publicação no EUROMICRO Journal na área de arquiteturas paralelas e um outro artigo em um congresso do IASTED (The International Association of Science and Technology for Development) na área de algoritmos paralelos.

10. Relevância Industrial e/ou teórico-científico

A relevância da parceria para as instituições envolvidas no ICOM é baseada no fato de que congrega uma parte significativa da pesquisa de ponta e desenvolvimento em Inteligência Computacional no Brasil. Permite assim, juntar esforços para obtenção de resultados inovadores (de pesquisa e desenvolvimento) e contribuir para desenvolvimento de produtos de software em áreas estratégicas.

O cenário mundial aponta, cada vez mais, para o emprego de sistemas computacionais inteligentes (Redes Neurais, Algoritmos Genéticos, Lógica Nebulosa e Sistemas Especialistas) na indústria e no comércio. Companhias que estão sob intensa pressão internacional, procurando por maior competitividade através de um aumento na eficiência de seus negócios, estão utilizando cada vez mais sistemas inteligentes.

O desenvolvimento de know-how nesta área depende não só da pesquisa e da formação de recursos humanos, mas também de uma interação efetiva com o setor produtivo para a identificação dos problemas que podem ser solucionados por sistemas inteligentes.

Sistemas Inteligentes de previsão, suporte a decisão, controle, otimização, classificação e reconhecimento de padrões em geral, são aplicáveis em praticamente todas as áreas do setor produtivo (industrial, comercial e financeiro), além de áreas dos setores sócio-políticos.

A relevância industrial e científica deste projeto pode ser demonstrada através dos seguintes benefícios pretendidos com este projeto:

- formar novos especialistas nas técnicas computacionais inteligentes;
- contribuir com *novos produtos* e *processos industriais* mais competitivos;
- formar *novas parcerias* com a indústria e com outras instituições de pesquisa;
- *promover a colaboração* com outras instituições de pesquisa no Brasil e no exterior;
- *difundir os sistemas inteligentes*, teoria e aplicação, na indústria, comércio e finanças;
- identificar e propor *soluções inteligentes para problemas reais* do setor produtivo;

Podemos destacar a relevância tanto do ponto de vista industrial como científico do NICE. O NICE representa uma ferramenta essencial para tratar o volume crescente de dados disponibilizado pelos equipamentos de sensoriamneto remoto. Para enfatizar quão avassalador é esse volume basta citar, como exemplo, o programa EOS ("Earth Observation System") da NASA que prevê um conjunto de instrumentos a bordo de satélites gerando 2 Tb/dia de dados sobre o planeta. Para tratar volumes dessa ordem é imprescindível contar com ferramentas automáticas avançadas de interpretação, contexto no qual o NICE se insere oferecendo em um ambiente poderoso e flexível de geração de mapas temáticos a partir de imagens de satélite, capazes de alimentar os Sistemas Geográficos de Informações mais conhecidos no Brasil.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas ecológicos, agrícolas, urbanos e ambientais, é absolutamente estratégico o aproveitamento das informações tornadas disponíveis pelos modernos meios de sensorimaneto remoto (inclusive pelo programa de satélites brasileiros com lançamentos previstos ate o final dessa decada), tarefa na qual acreditamos o NICE em conjugacao com sistemas de geoprocessamento tem um papel fundamental a desempenhar.

Para realizar plenamente o potencial de beneficios do NICE é recomendável aumentar a velocidade de execucao de alguns de seus processos, o que pode ser conseguido com a paralelização de parte de seu código.

Identificamos os seguintes processos nos quais a paralelização poderia trazer grandes vantagens:

- Treinamento das redes neurais

Essa tarefa costuma consumir um esforço computacional de grande monta devido, não apenas a complexidade inerente a tarefa de interpretação de imagens, como também ao grande volume de dados de treinamento. O esforço computacional é da ordem de semanas ou Mêses em uma estação de trabalho, o que justifica plenamente a paralelização.

Vale salientar a paralelização permitirá aprofundar mais o treinamento das redes, propiciando além de ganhos de tempo, também ganhos em desempenho do sistema.

- Segmentação das imagens

Essa tarefa afeta a rotina de produção do sistema pois todas imagens tem de passar necessariamente pela segmentação, que pode apresentar duração na faixa de minutos a horas dependendo do tamanho e das características da imagem, o que para certas aplicações pode representar um fator de estrangulamento.

A paralelização do código do segmentador bem como a pesquisa de algoritmos mais eficientes justifica-se por essa razão.

- Classificação dos segmentos da imagem

Essa tarefa envolve o cálculo de atributos dos segmentos da imagem e a sua classificação pelas redes neurais. É tarefa menos crítica do ponto de vista de tempo, se comparada com a segmentação. Porém, dado que vamos fazer a paralelização do segmentador, torna-se recomendável paralelizar essa tarefa.

A paralelização do código do NICE encontrará usuários mesmo dentro do contexto do projeto **ICOM**, através da sua utilização em umas das aplicações ambidentais. É fundamental o desenvolvimento de procedimentos de mapeamentos de qualidades da terra de uma determinada região (drenagem , fertilidade , potencial de risco a erosão) e de aptidão dos solos, adequados as observações descritivas e quantitativas em solos. Estes novos procedimentos de mapeamento melhorarão, quando implementados , a qualidade dos mapas gerados pelo CNPS e fornecerão uma melhor informação ao produtor.

As primeiras aplicações de Inteligência Artificial no setor elétrico brasileiro foram propostas em meados da década de 80 e utilizavam sistemas especialistas. A partir de levantamento bibliográfico em anais de congressos brasileiros associados ao setor elétrico (ERLAC, SENDI, SIMPASE, SNPTEE e STPC) e a aplicações de Inteligência Artificial (CBRN, SBIA e SBRN), verificou-se que a maioria dos trabalhos publicados estão associados as áreas de controle de usinas e subestações, diagnóstico de faltas, processamento de alarmes e recomposição como nos mostra a tabela abaixo.

Técnicas de IA **Áreas de** **Sistemas de Potência**	**Sistemas Especialistas**	**Redes Neurais**	**Lógica Difusa**	**Sistemas Híbridos**

Análise de Contingência		1		
Análise de Distúrbio	1			
Controle de Usinas e Subestações	5			
Despacho	2	1		
Diagnóstico de Faltas	3	2		
Identificação de Estado	1			
Manutenção	1			
Planejamento	1			
Previsão de Carga			1	1
Previsão Hidrológica		1		
Processamento de AlarMês	1	2		1
Proteção	1			
Recomposição	4			
Total de Trabalhos	**20**	**7**	**1**	**2**

Tabela: Aplicacões de Inteligência Artificial no setor elétrico brasileiro

Nesta pesquisa, notou-se que a área de Sistemas Inteligentes passou a despertar um maior interesse do setor elétrico a partir da década de 90 e a técnica que apresenta o maior número de aplicações é a de sistemas especialistas. Entretanto, verificou-se um crescimento significativo do número de trabalhos utilizando Redes Neurais nos últimos anos. Este levantamento mostra a preocupação do setor com a aplicação dessa nova tecnologia.

O projeto tem relevância para o trabalho que vem sendo desenvolvido na EMBRAPA, na medida que a utilização da krigagem possibilita um controle do erro de previsão e da qualidade do mapeamento obtido e a utilização da logica fuzzy produz classificações que otimizam o uso do solo. Assim estes novos procedimentos de mapeamento melhorariam, quando implementados, a qualidade dos mapas gerados pelo CNPS- EMBRAPA e forneceriam uma melhor informação ao produtor.

11. Impacto econômico/social e riscos tecnológicos

Ambientes de visão computacional, como por exemplo o NICE, em desenvolvimento pelo CCR-IBM, representam uma ferramenta essencial para tratar o volume crescente de dados disponibilizado pelos modernos meios de sensoriamento remoto. Para enfatizar quão avassalador é esse volume basta citar, como exemplo, o programa EOS ("Earth Observation System") da NASA que prevê um conjunto de instrumentos a bordo de satélites gerando 2 Tb/dia de dados sobre o planeta. Para tratar voluMês dessa magnitude é imprescindível contar com ferramentas automáticas avançadas de interpretação, contexto no qual o NICE se insere oferecendo em um ambiente poderoso e flexível de geração automática de mapas temáticos a partir de imagens de satélite, capaz de alimentar os Sistemas Geográficos de Informações mais conhecidos.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas ecológicos, agrícolas, urbanos e ambientais, é absolutamente estratégico o aproveitamento das informações tornadas disponíveis pelos modernos meios de sensorimaneto remoto (inclusive pelo programa de satélites brasileiros com lançamentos previstos até o final dessa década), tarefa na qual acreditamos o NICE em conjugação com sistemas de geoprocessamento tenham um papel fundamental a desempenhar.

A paralelização de partes mais críticas do código do NICE, bem como a pesquisa de algoritmos mais eficientes de segmentação de imagens amplia o potencial de realização de benefícios advindos do aproveitamento dos dados de sensoriamneto remoto hoje e no futuro.

A sistemática automação do processo de produção de energia elétrica pode ser considerado a única maneira de viabilizar o próprio processo tendo em vista os altos níveis de competitividade apresentados pela economia globalizada. A aplicação de sistemas computacionais inteligentes pode ser considerada uma automação de segunda ordem.

Embora atualmente o setor elétrico possua sistemas digitalizados de supervisão e controle (SDSC), estes em geral somente substituem ou complementam os sistemas convencionais. Todo o conhecimento sobre o planejamento e a operação do sistema continua sendo privilégio de alguns especialistas. O número de situações de emergência enfrentadas por operadores de usinas e subestações tem diminuído significativamente enquanto que, com a expansão das redes de energia elétrica, mais operações complexas têm-se tornado necessárias. Assim, a quantidade de potência sob responsabilidade de cada operador tem aumentado a cada ano. Existe, portanto, uma necessidade de fornecer subsídios para que estes especialistas consigam lidar com situações que nunca viveram. Este problema torna-se ainda mais crítico ao considerar-se que o número de operadores experientes tem diminuído cada vez mais ao longo dos anos. Com a aposentadoria dos operadores mais experientes teme-se perder o conhecimento por eles armazenado.

Em resumo, embora o sucesso desta tecnologia implique em uma diminuição dos postos de trabalho, sob a ótica da economia globalizada, este tipo de automação permitirá que não seja sucateado próprio processo de produção.

12. Gerenciamento do Projeto

O gerenciamento do ICOM se fará no nível de projeto pela Comissão de Gerenciamento e a nível local pelos Coordenadores Locais de cada instituição participante.

COPPE: Coordenador Geral do ICOM: Gerson Zaverucha

Coordenador Adjunto do ICOM: Valmir C. Barbosa

PUC: Coordenador Local: Marley Velasco

UFPe: Coordenador Local: Teresa B. Ludermir

UFC: Coordenador Local: Mario Fialho

UFES: Coordenador Local: Alberto F. de Souza

IBM: Coordenador Local: Ricardo Machado

CEPEL: Coordenador Local: Homero Gonçalves

EMBRAPA: Coordenador Local: Suzana Druck Fuks

A Comissão de Gerenciamento será constituída pelos Coordenadores do ICOM e Coordenadores Locais da PUC, IBM, EMBRAPA e CEPEL. Esta comissão leva em conta o fato de todas as linhas do projeto estarem representadas e por serem de uma mesma localidade geográfica, facilitando assim a reunião dos seus componentes.

O acompanhamento do projeto será realizado por: reuniões da Comissão, reuniões de Revisão dos Coordenadores Locais e workshops.

As reuniões da Comissão serão realizadas trimestralmente. As reuniões de Revisão serão anuais, em conjunto com os workshops. Os workshops contarão com a participação de todos os membros do projeto. Além disso, poderão ser efetuados contatos informais entre parceiros sempre que seja necessário para troca de resultados e intercâmbio de idéias através de reuniões informais e seminários.

Finalmente, será criada lista eletrônica envolvendo todos os participantes do projeto, gerenciada a patir da COPPE, para divulgação de idéias e discussões técnicas.

13. Plano de Trabalho

13.1 Recursos

Os recursos necessários à realização do projeto em várias atividades são resumidos a seguir em função de cada participante:

IBM: utilizará seus próprios laboratórios e outras facilidades de infraestrutura que já dispõe, mas solicitam auxílio para deslocamento nacional e internacional;

EMBRAPA: utilizarão os laboratórios e infraestrutura existentes, mas solicitam bolsas DTI para auxílio às atividades a serem desenvolvidas;

CEPEL: utilizarão os laboratórios e infraestrutura existentes, mas terão necessidade de recursos computacionais adicionais, incluindo software, assim como solicitam auxílio para deslocamento internacional.

Outros parceiros: utilizarão os laboratórios e infraestrutura existentes, mas terão necessidade de recursos computacionais adicionais, incluindo software, assim como solicitam bolsas DTI e ITI para auxílio às atividades a serem desenvolvidas como também auxílio para deslocamento nacional e internacional.

As viagens solicitadas pelo projeto se referem às atividades de treinamento e intercâmbio além de permitir a participação de alguns membros do projeto nas reuniões de trabalho previstas.

13.2 Detalhamento das Atividades

1. Desenvolver um sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais fortemente acoplado;
2. Aperfeiçoar modelos de redes neurais fuzzy, como o CNM [Machado, Rocha 91] e pesquisar algoritmos de aprendizado para este tipo de rede - IBM, COPPE e EMBRAPA;
3. Desenvolver algoritmos paralelos e distribuídos para a implementação eficiente de diversos modelos de Inteligência Computacional - COPPE, UFC, UFES e PUC;
4. Desenvolver a paralelização de funções de treinamento das redes neurais, da segmentação e da interpretação de imagens de satélite do NICE ("Neural Image Classification Environment") - COPPE e IBM;
5. Desenvolver aplicações de Inteligência Computacional em problemas ambientais e em sistemas elétricos de potência - COPPE, CEPEL, IBM, PUC, UFC, EMBRAPA.

A seguir apresentamos um detalhamento das tarefas a serem desenvolvidas no projeto (descritas acima):

Tarefa 1:

1.1. Análise comparativa do estado da arte de sistemas conexionistas simbólicos.

Descrição: Levantamento e análise dos trabalhos atuais mais relevantes sobre sistemas híbridos maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais a partir de [Garcez et al 95], principalmente em relação a extração de regras e a análise dos aprendizados simbólico e conexionista de forma direta.

Período: Mês 1 a 2.

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,5 HM (UFPE)

1.2. Projeto do Protótipo

Descrição: Elaboração de propostas de aperfeiçoamento dos trabalhos estudados e Projeto do sistema híbrido proposto, com mudanças e contribuições novas.

Período: Mês 3 a 6

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,5 HM (UFPE)

1.3. Implementação do Protótipo

Descrição: Implementação das propostas elaboradas no item anterior. É fundamental para esta tarefa, e as subsequentes, a utilização de recursos computacionais como uma estação RISC com múltiplos processadores (SPARC 20 com 4 processadores).

Período: Mês 7 a 11

Esforço: 1,25 HM (COPPE) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,5 HM (UFPE)

1.4. Validação do Protótipo

Descrição: Testes e experimentos do sistema híbrido em uma aplicação real, possivelmente o item 5.2.1 - Sistema Inteligente de Diagnose para Usina / Subestação.

Período: Mês 12 a 17

Esforço: 1,25 HM (COPPE) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,5 HM (UFPE)

1.5 Otimização do Sistema

Descrição: Crítica dos resultados esperados e obtidos e Otimização do sistema.

Período: Mês 18 a 22

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,5 HM (UFPE)

1.6. Documentação e divulgação

Descrição: Elaboração de relatórios técnicos e submissão de artigos.

Período: Mês 23 a 24

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,5 HM (UFPE)

Tarefa 2:

2.1. Estudo de redes neurais fuzzy e análise da versão corrente do modelo CNM

Descricão: Sera realizado um levantamento sobre o estado da arte em redes neurais nebulosas e analisado em profundidade o modelo CNM [Machado e Rocha, 1991], com vistas a sua expansao para trabalhar com atributos numericos de entrada.

Período: Mês 1 a 3

Esforço: 1,5 HM (IBM) + 0,5 HM (COPPE) + 1,5 HM (EMBRAPA)

2.2. Elaboração de propostas de alteracao do CNM

Descricão: Serão elaboradas propostas de mudanças na estrutura da rede neural do CNM visando expandi-lo para trabalhar com atributos numéricos de entrada. Essa expansão da capacidade do modelo necesserariamente envolverá a fuzzificação dos atributos numéricos de entrada, o que introduz uma dimensão adicional de aprndizado no sistema. Além do aprendizado dos pesos das conexões da rede (através de um mecanismo de punições e recompensas) e da topologia da rede (através de um algoritmo genético), teremos de realizar o particionamento nebulosos dos atributos numéricos de entrada, o que pode ser realizado automaticamente [Machado e Neves 95]. Nessa fase também serao proostas modificações nos algoritmos de aprendizado apresentados para a versão anterior do CNM e estudada a incorporação e aperfeicòamento do algoritmo de geração autom`tica de funções de pertinência de Machado e Neves.

Período: Mês 4 a 8

Esforço: 1,5 HM (IBM) + 1 HM (COPPE) + 1,5 HM (EMBRAPA)

2.3. Implementação do modelo CNM modificado

Descrição: Nesta fase serao implementadas as modificações propostas para o modelo CNM e para os algoritmos de aprendizado de pesos das conexões , da topologia da rede e das funções de pertinência para o particionamento fuzzy dos atributos numéricos de entrada.

Período: Mês 9 a 15

Esforço: 1.5 HM (IBM) + .5 HM (COPPE) + 5 HM (EMBRAPA)

2.4. Treinamento e teste do CNM modificado

Descrição: Serão usados dados de um problema real ligado à área de sensoriamento remoto para a avaliação das propostas de modificação implementadas no CNM . O treinamento envolverà primeiramente a determinação das funcões de pertinência para o particinamento fuzzy dos atributos numéricos de entrada, seguida da determinacào dos pesos e da topologia da rede, que podmser vistas como tarefas entrelaçdas.

O desempenho do modelo será confrontado com o desempenho de um perceptron de múltiplas camadas treinado usando "backpropagation" atuando sobre o mesmo conjunto de dados.

Essa tarefa permitirá a avliação integrada dos algoritmos de aprendizado propostos para as três dimensoes de aprendizado do sistema.

Período: Mês 16 a 21

Esforço: 1 HM (IBM) + .5 HM (COPPE) + 3 HM (EMBRAPA)

2.5. Documentação e divulgação

Descrição: Elaboração de relatórios técnicos e submissão de artigos.

Período: Mês 22 a 24

Esforço: 1,5 HM (IBM) + 1 HM (COPPE) + 1,5 HM (EMBRAPA)

Tarefa 3:

3.1. Estudo do Espaço-de-Estados de Sistemas Discretos sob ERA

Descrição: desenvolvimento de um sistema de exploração visual do conjunto de trajetórias de um sistema arbitrário sob escalonamento por reversão de arestas (ERA). ERA é um mecanismo distribuído formalizado por Barbosa [Barbosa and Gafni 89a] [Barbosa 93] que se mostrou extremamente útil na implementação de alguns mecanismos básicos que a Inteligência Computacional faz uso, tais como redes neurais de Hopfield [Barbosa and Lima 90] [França 92] [Domingues e França 95], redes neurais sem peso [França 93] e simulated annealing [Barbosa and Gafni 89b].

Período: Mês 1 a 12

Esforço: 0,5 H-M (COPPE)

3.2. Concepção de algoritmos distribuídos básicos para sincronização e concorrência

Descrição: desenvolvimento de algoritmos paralelos distribuídos visando o controle da comunicação em um sistema híbrido composto por diversos componentes baseados nos modelos de inteligência computacional a serem integrados.

Período: Mês 1 a 12

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 1,0 HM (IBM) + 1,0 HM (PUC) + 0,5 HM (CEPEL) + 0,25 HM (UFES) + 0,25 HM (UFC)

3.3. Implementação do conjunto de algoritmos distribuídos básicos para sincronização e concorrência

Descrição: os algoritmos serão desenvolvidos com orientação para o modelo de troca de mensagens e versões probabilísticas destes mesmos algoritmos também serão investigadas visando aumentos de performance.

Período: Mês 10 a 17

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,5 HM (IBM) + 1,0 HM (PUC) + 0,5 HM (CEPEL) + 0,25 HM (UFES) + 0,25 HM (UFC)

3.4. Desenvolvimento de modelos paralelos e distribuídos redes neurais artificiais com e sem pesos.

Descrição: investigar e implementar diversos modelos de redes neurais artificais usando-se sempre que possível os mecanismos básicos desenvolvidos nas fases anteriores. Os algoritmos gerados nesta fase também integrarão a biblioteca de modelos de Inteligência Computacional disponível para a contrução de sistemas híbridos genéricos.

Período: Mês 10 a 17

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,5 HM (IBM) + 1,0 HM (PUC) + + 0,25 HM (UFES)

3.5. Documentação dos programas desenvolvidos

Descrição: embora o processo de documentação de todo desenvolvimento de software paralelo deva acontecer concorrentemente à sua implementação, nesta fase está prevista uma unificação de todos esses esforços na forma de um conjunto de referências técnicas consistente.

Período: Mês 17 a 20

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,5 HM (IBM) + 1,0 HM (PUC) + 0,5 HM (UFES) + 0,5 HM (UFC) + 0,25 HM (EMBRAPA) + 0,25 HM (CEPEL)

3.6. Divulgação dos resultados

Descrição: trabalharemos sempre que possível no sentido de termos nossos resultados divulgados nos diversos meios de publicação científica através de artigos em revistas e conferências, palestras e relatórios técnicos.

Período: Mês 21 a 24

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,5 HM (IBM) + 1,0 HM (PUC) + 0,5 HM (UFES) + 0,5 HM (UFC) + 0,25 HM (EMBRAPA) + 0,25 HM (CEPEL)

Tarefa 4:

4.1. Identificação das tarefas do NICE a serem paralelizadas

Descrição: investigação sobre os mecanismos do sistema NICE computacionalmente mais custosos como forma de se definir um conjunto necessário e suficiente de algoritmos distribuídos básicos. A priori sabemos que o treinamento das redes neurais, a segmentação e a interpretação de imagens de satélite são problemas alvo.

Período: Mês 1 a 3

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,5 HM (IBM)

4.2. Concepção do conjunto de algoritmos paralelos para o NICE

Descrição: explorar as oportunidades existentes de paralelismo funcional e de dados identificados na fase anterior. Os algoritmos serão desenvolvidos com orientação para o modelo de troca de mensagens visando uma máquina IBM SP-2.

Período: Mês 4 a 9

Esforço: 2,0 HM (COPPE) + 1,0 HM (IBM)

4.3. Implementação do conjunto de algoritmos distribuídos

Descrição: o desenvolvimento dos algoritmos distribuídos deverá ser realizado em uma máquina IBM SP-2 incluindo-se testes com dados de um problema real de sensoreamento remoto.

Período: Mês 10 a 15

Esforço: 2,0 HM (COPPE) + 0,25 HM (IBM)

4.4. Avaliação dos fatores de speed-up

Descrição: uma comparação quantitativa dos fatores de speed-up dados os comportamentos do sistema NICE em uma máquina IBM RS/6000 e em um sistema IBM SP-2 em diversas configurações de multiprocessamento será realizada.

Período: Mês 16

Esforço: 1,5 HM (COPPE) + 0,1 HM (IBM)

4.5. Documentação dos programas desenvolvidos

Descrição: embora o processo de documentação de todo desenvolvimento de software paralelo deva acontecer concorrentemente à sua implementação, nesta fase está prevista uma unificação de todos esses esforços na forma de um conjunto de referências técnicas consistente.

Período: Mês 17 a 20

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,1 HM (IBM)

4.6. Divulgação dos resultados

Descrição: trabalharemos sempre que possível no sentido de termos nossos resultados divulgados nos diversos meios de publicação científica através de artigos em revistas e conferências, palestras e relatórios técnicos.

Período: Mês 21 a 24

Esforço: 1,0 HM (COPPE) + 0,5 HM (IBM)

Tarefa 5:

5.1 Problemas ambientais:

5.1.1. Seleção de uma aplicação ambiental a ser desenvolvida com base em sistemas hibridos inteligentes.

Exemplos de possíveis aplicações são:

- Análise de cobertura vegetal com base em imagens do satélite Landsat V.
- Monitoramento do desflorestamento na região amazônica usando imagens de sensoriamento remoto.

Zoneamento ecológico-econômico na região amazônica.

O plano subsequente assume que uma das duas primeiras opções venha a ser selecionada. Caso a terceira opção seja selecionada, o plano terá de ser ajustado.

5.1.1.1 - Especificação da aplicação

Período: Mês 1 a 4

Esforço: 0,5 HM (IBM) + 0,5 HM (EMBRAPA)

5.1.1.2 - Especificação do domínio da aplicação selecionada

Período: Mês 5 a 7

Esforço: 0,5 HM (IBM) + 0,5 HM (EMBRAPA)

5.1.1.3. Aquisição de imagens significativas geo-referenciadas da área piloto

Período: Mês 8 a 9

Esforço: 0,1 HM (IBM) + 0,1 HM (EMBRAPA)

5.1.1.3. Segmentação das imagens

Período: Mês 10

Esforço: 0,1 HM (IBM) + 0,25 HM (EMBRAPA)

5.1.1.4. Interpretação das imagen por foto-intérprete(s)

Período: Mês 11 a 13

Esforço: 0,1 HM (IBM) + 1 HM (EMBRAPA)

5.1.1.5. Projeto da rede neural, treinamento e seleção de descritores

Período: Mês 14 a 19

Esforço: 0,5 HM (IBM) + 1 HM (EMBRAPA)

5.1.1.6. Avaliação da rede neural / foto-interpreters

Período: Mês 20

Esforço: 0,5 HM (IBM) + 1 HM (EMBRAPA)

5.1.1.7. Operacionalização do classificador

Período: Mês 21 a 24

Esforço: 1 HM (IBM) + 1 HM (EMBRAPA)

5.1.1.8. Elaboração de um relatório técnico, manual de usuáario e submissão de artigo

Período: Mês 22 a 24

Esforço: 1 HM (IBM) + 1 HM (EMBRAPA)

5.1.2. Aplicação Ambiental de Dados de Solos , utilizando Krigagem e Lógica Fuzzy

5.1.2.1. Coleta de Dados

Especificação das áreas de trabalho para realização dos mapas de drenagem do solo , fertilidade do solo e aotidão agrícola dirigida a produtos desenvolvidos pela EMBRAPA.

Período: mês 1 a 4

Esforço: 3,2 HM (EMBRAPA)

5.1.2.2 Definição do modelo de mapeamento

Concepção teórica : modelos de krigagem , estimadores , a serem utilizados na parte inferencial e construção das funções "fuzzy"a serem utilizadas.

Período: mês 5 a 7

Esforço: 3,2 HM (EMBRAPA) + 0,5 HM (IBM)

5.1.2.3 Estudo Exploratório das Propriedades de solo

Determinação da distribuição das propriedades de solos consideradas nos mapeamentos através de estudo estatístico exploratório e correção das assimetrias e discrepâncias que ocorrem nos procedimentos de amostragem.

Período: mês 8 a 10

Esforço: 3,2 HM (EMBRAPA)

5.1.2.4 Procedimentos Inferenciais

Construção de mapas de isolinhas das propriedades consideradas em cada mapeamento e validação do procedimento atraves dos mapas de erros inferenciais.

Período: mês 11 a 18

Esforço: 3,2 HM (EMBRAPA) Esforço : 3,2 HM (EMBRAPA)

5.1.2.5 Utilização de Classificação Contínua

Definição de parâmetros e implementação de funções Fuzzy.

Período: mês 19 a 21

Esforço: 3,2 HM (EMBRAPA)+ 0,5 HM (IBM)

5.1.2.6 Implementação dos mapas

Junção dos diversos planos de informação (PI), que compõem cada mapa, por lógica fuzzy. Cada PI é relativo a uma propriedade de solo, considerada nos mapeamentos, nas quais se utilizaram as etapas anteriores de krigagem e lógica fuzzy (Classificação).

Período: mês 22 a 24

Esforço: 3,2 HM (EMBRAPA)+ 0,5 HM (IBM)

5.2 Sistemas elétricos de potência:

5.2.1 Sistema Híbrido de Diagnose de Falhas em Sistema de Proteção e Supervisão de uma Subestação/Usina

Descrição: objetivo principal desta atividade é a obtenção de um sistema capaz de realizar diagnósticos a partir dos dados disponíveis do sistema de supervisão, controle e proteção em tempo real.

As subatividades 1 a 9 deste sub-item, correspondem a uma etapa inicial onde se analisa a aplicação de técnicas de IA para uma versão simplificada do problema de processamento de alarmes e diagnóstico de falhas do sistema elétrico alvo.

As demais subatividades consistem em dar um alcance mais amplo aos resultados obtidos, produzindo um módulo que possa efetivamente ser integrado ao sistema de supervisão, controle e proteção e que sirva para apoio à tomada de decisão pelos operadores da Subestação/Usina.

5.2.1.1. Avaliação do Sistema de Proteção e Supervisão de uma Subestação/Usina

Descrição: Nesta atividade, será selecionada uma subestação/usina e a partir de seus dados de supervisão e proteção obter a descrição de todas as faltas que podem ocorrer.

Nesta fase, deve-se destacar que é de vital importância a participação de um engenheiro de conhecimento (especialista da usina/subestação) para interagir com a equipe técnica do CEPEL e fazer um levantamento de todos os casos reais de falta do sistema elétrico alvo. Sem a participação deste especialista todas as demais atividades estariam comprometidas.

Período: Mês 11 e 12

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (PUC) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.2. Seleção das técnicas e Ferramentas

Descrição: definição e implementação das técnicas de Inteligência Artificial mais adequadas à solução da Subestação/Usina escolhida para desenvolvimento do protótipo para Diagnose do Sistema de Proteção e Supervisão.

Período: Mês 13 e 14

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (PUC) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.3 Análise Preliminar do Funcionemento

Descrição: Análise de desempenho do protótipo e apresentação de relatório de funcionamento.

Período: Mês 15

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (PUC) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.4 Módulo de Integração

Descrição: Especificação e desenvolvimento do módulo (Sistema Inteligente de Diagnose) a ser integrado ao Sistema de Supervisão, Controle e Proteção da Subestação/Usina escolhida (e futuramente ao SAGE).

Período: Mês 16 e 17

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (PUC) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.5 Integração ao Sistema de Supervisão

Descrição: Integração com Sistema de Supervisão, Controle e Proteção da Subestação/Usina escolhida e futuramente com o SAGE.

Período: Mês 18 e 19

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (PUC) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.6 Aplicação de Arquiteturas NOWs em Diagnose

Descrição: Estudo da aplicação de arquiteturas paralelas tipo Network of Workstations para processamento de sistemas híbridos. Durante esta atividade está previsto um estágio para acompanhamento de projeto NOW.

Período: Mês 3 a 8

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.7 Seleção de Função de Diagnose

Descrição: Adaptação de uma função do sistema de diagnose para processamento paralelo.

Período: Mês 8 a 11

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.8 Protótipo do Sistema Paralelo

Descrição: Desenvolvimento de um prototipo baseado em Estações de Trabalho/PCs e switches ATM para processamento paralelo. Para esta atividade deverão ser adquiridas duas switches ATM.

Período: Mês 11 a 19

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.1.9 Análise de Desempenho

Descrição: Análise de desempenho e comparação com maquinas tipo SP2. Elaboração de um relatório final.

Período: Mês 19 a 24

Esforço: 0,5 HM (CEPEL) + 0,5 HM (COPPE)

5.2.2 Sistema inteligente de previsão de demanda de carga a curto, médio e longo prazo.

5.2.2.1 - Coleta de Dados

Esta etapa consiste da coleta dos dados históricos de carga, junto às concessiona'rias, e de outros dados relativos às outras variáveis que possam influenciar no sistema de previsão de carga. Os principais dados a serem coletados são:

- dados historicos horários e mensais de energia, demanda na ponta e demanda fora da ponta.

- séries históricas de dados que influenciam o consumo de energia a curto, médio e longo prazo: temperatura, preço da tarifa, índices de crescimento econômico etc.

Período: Mês 1 a 3

Esforço: 1 HM (ICA/PUC-Rio) + 0,2 HM (CEPEL)

5.2.2.2 - Estudo dos Métodos adequados para cada horizonte de previsão.

No caso de previsão a curto prazo, utilização de Redes Neurais Artificiais e Lógica Fuzzy. As Redes Neurais extraem características do comportamento das séries históricas de energia. A Lógica Fuzzy permite a manipulação de dados de temperatura. No caso de previsões de médio e longo prazo, a lógica Fuzzy permite a manipulação de índices de crescimento econômico e de tarifação de energia.

Período: Mês 4 a 7

Esforço: 1,5 HM (ICA/PUC-Rio) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,25 HM (UFC)

5.2.2.3 - Desenvolvimento do Sistema de Previsão

Desenvolvimento de um software completo de simulação das técnicas de Redes Neurais e Lógica Fuzzy, adaptado para o problema da previsão de carga. Os principais pontos do desenvolvimento são a obtenção de um software portátil e de fácil manipulação por usuários do setor elétrico. O software deve ser genérico, isto é, efetuar diversos tipos de previsão (horária, mensal, anual, etc). Um aspecto fundamental deste sistema será a sua capacidade de fornecer o intervalo de confiança dos valores previstos pela rede neural. Para isto, será desenvolvido um sistema híbrido, composto de redes neurais, lógica nebulosa e a técnica estatística denominada "bootstrap".

Período: Mês 8 a 15

Esforço: 2,0 HM (ICA/PUC-Rio) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,25 HM (UFC)

5.2.2.4 - Paralelização dos algoritmos computacionais

Estudo e desenvolvimento da paralelização do algoritmo de aprendizado da rede neural. Os algoritmos de aprendizado apresentam paralelismo explícito e a sua execução em um ambiente paralelo aumenta significativamente o desempenho dos sistemas inteligentes. Nesta etapa, os algoritmos serão paralelizados para a execução em dois tipos de ambientes: estação RISC com múltiplos processadores (SPARC 20 com 4 processadores) e rede Unix de estações RISC.

Período: Mês 13 a 17

Esforço: 0,5 HM (ICA/PUC-Rio) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,25 HM (UFC)

5.2.2.5 - Testes e Avaliação do Sistema de Previsão

Através de uma sequência de testes utilizando dados reais do sistema elétrico brasileiro, o software deve ser calibrado para a obtenção de previsoe~s precisas. A calibração do software consiste no ajuste off-line dos para^metros dos sub-sistemas de Redes Neurais e Lógica Fuzzy. A comparação com resultados obtidos por técnicas estatísticas é um bom método de avaliação do desempenho do sistema inteligente de previsão.

Período: Mês 15 a 20

Esforço: 1,5 HM (ICA/PUC-Rio) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,25 HM (UFC)

5.2.2.6 - Ajustes do Sistema Inteligente de Previsão

A partir dos resultados obtidos na fase de avaliação, realizar ajustes finais no software de previsão.

Período: Mês 20 a 24

Esforço: 1,5 HM (ICA/PUC-Rio) + 0,2 HM (CEPEL) + 0,25 HM (UFC)

Recursos para a execução das tarefas (5.2.2):

- 1 bolsista DTI;
- 1 estação de trabalho SPARC 20 com 4 processadores;
- 4 visitas à UFC de pesquisadores da PUC-Rio, por ano, para a discussão sobre o desenvolvimento do sistema de previsão e da paralelização dos algoritmos;
- 2 viagens internacionais por ano para participação em eventos internacionais na área;
- material bibliográfico (assinatura de periódicos, anais de congressos, etc).

5.2.3. Sistema inteligente para alocação ótima de capacitores em sistemas elétricos de potência.

5.2.3.1 - Estudo preliminar do problema de Alocação Ótima de Capacitores

Esta etapa consiste basicamente da avaliação do problema de alocação de capacitores, quanto a abrangência de sua aplicação nos diversos tamanhos de instalações elétricas analisando a sua influência na economia de energia.

Período: Mês 1 a 4

Esforço: 1 H-M (ICA/PUC-Rio) + 0,2 H-M (CEPEL) + 0,25 H-M (UFC)

5.2.3.2 - Desenvolvimento do Sistema

Esta etapa consiste da especificação técnica do projeto e do desenvolvimento do sistema híbrido (algoritmos genéticos e redes neurais) de alocação de capacitores para sistemas elétricos. Mais especificamente, deverão ser analisados, entre outros, os seguintes aspectos:

- estudo da representação para manipulação por algoritmos genéticos determinação da função objetivo para a avaliação das soluções; estudo preliminar de sensibilidade das diversas barras do sistema elétrico;

- integração do sistema para cáculo de fluxo de carga no ambiente do algoritmo genético; especificação da rede neural para o controle adaptativo da alocação dinâmica de capacitores de acordo com o fluxo de varga.

Período: Mês 5 a 13

Esforço: 2 H-M (ICA/PUC-Rio) + 0,2 H-M (CEPEL) + 0,25 H-M (UFC)

5.2.3.3 - Paralelização dos algoritmos computacionais

Estudo e desenvolvimento da paralelização da execução dos algoritmos computacionais utilizados neste projeto: redes neurais e algoritmos genéticos. Estes algoritmos apresentam paralelismo explícito e a sua execução em um ambiente paralelo aumenta significativamente o desempenho dos sistemas inteligentes. Nesta etapa, os algoritmos serão paralelizados para a execução em dois tipos de ambientes: estação RISC com múltiplos processadores (SPARC 20 com 4 processadores) e rede Unix de estações RISC.

Período: Mês 10 a 15

Esforço: .5 H-M (ICA/PUC-Rio) + 0,2 H-M (CEPEL) + 0,25 H-M (UFC)

5.2.3.4 - Testes e Avaliação do Sistema

Nesta etapa serão feitos os testes do sistema, avaliando a sua correção e o seu desempenho, tanto na determinação da localização dos capacitores quanto no controle dos bancos de capacitores pela rede neural. A avaliação final do sistema será efetuada através da comparação dos resultados obtidos com os sistemas de alocação de capacitores baseados em métodos convencionais.

Período: Mês 14 a 18

Esforço: 1.5 H-M (ICA/PUC-Rio) + 0,2 H-M (CEPEL) + 0,25 H-M (UFC)

Recursos para a execução das tarefas (5.2.3):

- 1 bolsista DTI;
- 1 estação de trabalho SPARC 20 com 4 processadores;
- 4 visitas a` UFC de pesquisadores da PUC-Rio, por ano, para a discussão sobre o desenvolvimento do sistema híbrido de alocação de capacitores;
- 2 viagens internacionais por ano para participação em eventos internacionais na a'rea;
- material bibliogra'fico (assinatura de periódicos, anais de congressos, etc).

14. Cronograma:

O cronograma e as interligações entre os parceiros foi dividido em duas partes, para facilitar o entendimento. Na primeira parte é mostrada a integração vertical entre os cinco objetivos do ICOM, permitindo ver quais os parceiros atuam em uma determinada camada.

Na segunda parte, são detalhadas as tarefas dentro de cada objetivo. Ressalte-se que haverão dois workshops e reuniões trimestrais da Comissão de Gerenciamento. Nesses pontos será feita a avaliação do projeto, com revisão de metas e produção de relatórios. Por razões de espaço e clareza gráfica, esses pontos não puderam ser incluïdos no diagrama.

Atividades:

1. Desenvolver um sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais;

2. Aperfeiçoar modelos de redes neurais fuzzy, como o CNM [Machado, Rocha 91] e pesquisar algoritmos de aprendizado para este tipo de rede;

3. Desenvolver algoritmos paralelos e distribuídos para a implementação eficiente de diversos modelos de Inteligência Computacional ;

4. Desenvolver a paralelização de funções de treinamento das redes neurais, da segmentação e da interpretação de imagens de satélite do NICE ("Neural Image Classification Environment");

5. Desenvolver aplicações de Inteligência Computacional em problemas ambientais e em sistemas elétricos de potência.

A participação e a interação entre os parceiros para atingir estas metas pode ser vista na tabela a seguir:

Atividades / Parceiros	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
CEPEL	**x**		**x**		**x**
COPPE	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**
EMBRAPA		**x**			**x**
IBM		**x**	**x**	**x**	**x**
PUC			**x**		**x**
UFPe	**x**		**x**		
UFES			**x**		
UFC			**x**		**x**

Nas tabela a seguir são detalhadas as tarefas dentro de cada objetivo.:

Mês / Atividade 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1.1	x	x																						
1.2			x	x	x	x																		
1.3							x	x	x	x	x													
1.4												x	x	x	x	x	x							
1.5																		x	x	x	x	x		
1.6																							x	x

Mês / Atividade 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2.1	x	x	x																					
2.2				x	x	x	x	x																
2.3									x	x	x	x	x	x	x									
2.4																x	x	x	x	x	x			
2.5																						x	x	x

Mês / Atividade 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
3.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x												
3.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x												
3.3										x	x	x	x	x	x	x	x							
3.4										x	x	x	x	x	x	x	x							
3.5																	x	x	x	x				
3.5																					x	x	x	x

Mês / Atividade 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4.1	x	x	x																					
4.2				x	x	x	x	x	x															
4.3										x	x	x	x	x	x									
4.4																x								
4.5																	x	x	x	x				
4.6																					x	x	x	x

Mês / Atividade 5.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5.1.1.1	x	x	x	x																				
5.1.1.2					x	x	x																	
5.1.1.3								x	x															
5.1.1.4										x														
5.1.1.5											x	x	x											
5.1.1.6														x	x	x	x	x	x					
5.1.1.7																				x				
5.1.1.8																					x	x	x	x
5.1.1.9																						x	x	x

Mês / Atividade 5.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5.1.1.1	x	x	x	x																				
5.1.1.2					x	x	x																	
5.1.1.3								x	x	x														
5.1.1.4											x	x	x	x	x	x	x	x						
5.1.1.5																			x	x	x			
5.1.1.6																						x	x	x

Mês Atividade 5.2.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5.2.1.1											x	x												
5.2.1.2													x	x										
5.2.1.3															x									
5.2.1.4																x	x							
5.2.1.5																		x	x					
5.2.1.6			x	x	x	x	x	x																
5.2.1.7								x	x	x	x													
5.2.1.8											x	x	x	x	x	x	x	x	x					
5.2.1.9																			x	x	x	x	x	x

Mês Atividade 5.2.2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5.2.2.1	x	x	x																					
5.2.2.2				x	x	x	x																	
5.2.2.3								x	x	x	x	x	x	x	x									
5.2.2.4													x	x	x	x	x							
5.2.2.5															x	x	x	x	x	x				
5.2.2.6			x	x	x	x	x	x												x	x	x	x	x

Mês Atividade 5.2.3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5.2.3.1	x	x	x	x																				
5.2.3.2					x	x	x	x	x	x	x	x	x											
5.2.3.3										x	x	x	x	x	x									
5.2.3.4														x	x	x	x	x						

15. Resultados Esperados:

Os resultados esperados são descritos abaixo:

- um protótipo do sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais de forma fortemente acoplada;
- um estudo das potencialidades e viabilidades de extração de regras de redes em redes neurais booleanas;
- algoritmos e protótipo da versão expandida do modelo CNM;
- ferramenta para realização do particionamento fuzzy de atributos numéricos com vistas a problemas classificatórios;
- mapeamento do espaço-de-estados de sistemas discretos sob Escalonamento por Reversões de Arestas (ERA);
- paralelização de funções de treinamento das redes neurais, da segmentação e da interpretação de imagens de satélite do NICE;
- utilização do NICE em uma aplicação ambiental a ser desenvolvida dentre os temas: análise de cobertura vegetal com base em imagens do satélite Landsat V, monitoramento do desflorestamento na região amazônica usando imagens de sensoriamento remoto e zoneamento ecológico-econômico na região amazônica;
- um sistema de diagnóstico de falhas e sua integração no sistema de supervisão e controle do CEPEL;
- desenvolvimento de metodologias de mapeamento em temas como áreas aptas em drenagem de solos, aptidão para culturas, isto é, em produtos desenvolvidos pela EMBRAPA, para regiões específicas como Milho no Cerrado;
- um sistema de previsão de carga elétrica a ser oferecido pelo CEPEL para as concessionárias de energia elétrica do Brasil, que incluirá previsões de curto, médio e longo prazo, e poderá ser customizado para cada empresa específica, de acordo com suas peculiaridades;
- um sistema para análise de redes de distribuição e determinação de bancos de capacitores para minimização das perdas de energia elétrica;
- artigos em revistas e congressos, nacionais e internacionais.

Além desses resultados, as instituições envolvidas, através de seus membros participantes neste projeto, contribuirão no desenvolvimento de capacitação em áreas estratégicas. Além disso, formará recursos humanos através das bolsas e dos trabalhos dos pesquisadores.Também gerar-se-á conhecimento que estará disponível não apenas aos parceiros do projeto mas a toda comunidade científica através dos relatórios e artigos produzidos na execução deste projeto.

O projeto contribuirá para a formação de pessoal em em áreas estratégicas, que resultará em maior independência tecnológica, permitirá o intercâmbio e a complementação do conhecimento científico e tecnológico entre centros de pesquisa e o setor produtivo e tornará possível o desenvolvimento de produtos utilizando pesquisa de ponta.

Finalmente as participações do DI-UFES e DEE-UFC no projeto aumentará a interação desses centros emergentes com outras instituições de ensino, pesquisa e indústrias, nacionais e internacionais.

16. Aproveitamento dos Resultados

O projeto contribuirá para a formação de pessoal em em áreas estratégicas, que resultará em maior independência tecnológica, permitirá o intercâmbio e a complementação do conhecimento científico e tecnológico entre centros de pesquisa e o setor produtivo e tornará possível o desenvolvimento de produtos utilizando pesquisa de ponta.

O código paralelizado do NICE no que se refere as funções de treinamento de redes neurais usando o algoritmo de retropropagação de erros ("Backpropagation"), de segmentação e de interpretação de imagens de sensoriamento remoto será uma ferramenta extremamente valiosa para os usuários desse software. Permitirá desenvolver aplicações em tempos substancialmente menores, aprofundar o treinamento das redes neurais, permitindo obter classificadores mais poderosos. Permitirá tambem acelerar a produção do sistema, o que é importante quando aplicamos o sistema a grandes áreas geográficas, tais como a ánalise de desflorestamento da Amazônia (de interesse por exemplo para o IBAMA, SIVAM).

O protótipo da aplicação ambiental a ser escolhida trará resultados dependentes dessa escolha. Assim por exemplo, a análise de desflorestamento constitui-se numa ferramenta importante para o controle ambiental; a aplicação de análise de cobertura vegetal fornece subsídios variados que vão desde suporte ao estudo de solos e inventário de recursos naturais até a previsao de safras agrícolas. A aplicação de zoneamento ecológico-economico fornece subsídios importantes para o planejamento permitindo conciliar de forma racional o desenvolvimento economico com a preservação de recursos naturais.

Os novos procedimentos de mapeamento melhorarão, quando implementados, a qualidade dos mapas gerados pelo CNPS-EMBRAPA e fornecerão uma melhor informação ao produtor.

O sistema de diagnóstico de falhas será integrado no sistema digital de supervisão e controle do CEPEL; o sistema de previsão de carga elétrica será oferecido pelo CEPEL para as concessionárias de energia elétrica do Brasil e o sistema adaptativo de determinação da configuração ótima de capacitores às indústrias com grande consumo de energia elétrica.

O desenvolvimento de um protótipo de um sistema híbrido maciçamente paralelo integrando inferência lógica com redes neurais de forma fortemente acoplada perimitirá uma forma unificada de Representação do Conhecimento, além do tratamento integrado da informação estruturada e não-estruturada. Com este tipo de unificação será possível a comparação dos aprendizados simbólicos e conexionista diretamente, ao invés da forma empírica que tem sido usada até o presente.

Como foi dito, o CNM (Combinatorial Neural Model) é um bloco de construção poderoso para o desenvolvimento de sistemas híbridos inteligentes. A sua expansão para trabalhar com atributos numéricos de entrada amplia largamente a sua aplicabilidade em problemas tais como interpretação, diagnóstico, prescrição e previsão. A ferramenta de geração automática de funções de pertinência é um componente importante para a expansão do CNM.

O projeto contribuirá para a formação de pessoal em em áreas estratégicas, que resultará em maior independência tecnológica, permitirá o intercâmbio e a complementação do conhecimento científico e tecnológico entre centros de pesquisa e o setor produtivo e tornará possível o desenvolvimento de produtos utilizando pesquisa de ponta.

Finalmente as participações do DI-UFES e DEE-UFC no projeto aumentará a interação desses centros emergentes com outras instituições de ensino, pesquisa e indústrias, nacionais e internacionais.

17. Atividades de Treinamento e Intercâmbio:

As atividades de treinamento serão realizadas nas instituições participantes tanto nacionais quanto estrangeiras. Podemos identificar tal treinamento como de duas naturezas: acadêmica e tecnológica.

Como treinamento acadêmico podemos citar os trabalhos realizados por bolsistas de iniciação científica, alunos de mestrado e doutorado a partir dos temas ligados ao projeto. Tal treinamento se beneficiará ainda do valioso intercâmbio com os colaboradores estrangeiros.

Por sua vez o treinamento de natureza tecnológica estará vinculado diretamente às atividades de desenvolvimento das aplicações com os parceiros industriais e com os institutos de pesquisa.

A consolidação de tal atividades se dará através dos workshops e dos relatórios de pesquisa gerados.

18. Detalhamento dos Custos

Esta seção apresenta detalhamento dos recursos a serem pedidos ao CNPq, que totalizam cerca de R$640.560,00 em dois anos, com a contrapartida da indústria num volume de US$220.000.

Esse valor corresponde a aproximadamente 6,41% das verbas disponíveis para o ProTeM, orçadas em US$10.000.000 para 1996-1997. Esta percentagem é compatível com a importância do tema abordado para o país e com a envergadura do projeto, que envolve alguns dos principais centros de ensino e de pesquisa em Ciência da Computação do Brasil.

A verba orçada para o ICOM está dividida em Bolsas (54 %), Custeio (18 %) e Capital (26 %). Os equipamentos estão sendo solicitados para o primeiro ano do projeto, tendo em vista que os objetivos e resultados só poderão ser alcançados se houver disponibilidade de uma plataforma computacional adequada.

18.1 Bolsas

A maior parte do custo de bolsas corresponde a bolsas ASP, ao todo 22, devido as características e porte do projeto que requer uma forte interação com instituições internacionais.

O restante das bolsas está dividido em bolsas ITI (2), DTI-F (9), DTI-G (6) e DTI-D (1), devido as necessidades de pessoas experientes em tempo integral, e bolsas AEP (32), para atividades de intercâmbio e treinamento nacionais.

TOTAL = R$343.432,00

18.2 Custeio

A maior parte das verbas de custeio referem-se a:

1. realização de dois workshops nacionais contando com todos os participantes do projeto (32 pesquisadores) e mais três colaboradores internacionais, perfazendo um total de R$ 38.650 (incluído na COPPE/UFRJ).

2. os custeios específicos a cada instituição participante, num total de R$ 50.440.

3. o custo de coordenação que envolve serviços relativos a parte administrativa, por exemplo cópia e envio de relatórios intermediários de projeto ao CNPq e entre as instituições que participam do projeto, e organização e suporte aos workshops e algumas reuniões da coordenação técnica R$ 18.000.

TOTAL = R$118.010

18.3 Capital

1 estação RISC SPARC 20, com 4 processadores, 32 M bytes de memória (R$ 26.000,00 cada);

2 estações IBM 42T com PowerPC 604 a 120MHz com CD-ROM 4X, 10Gbytes HD, etc (R$ 34000,00 cada).

2 estações RISC SPARC 5, com 5Gbytes (R$ 10.500,00 cada).

2 switches ATM de 250 MPPS para barramento PCI a serem utilizadas na arquitetura paralela (US$10.000)

1 software para lógica fuzzy da Togaya (US$10.000)

TOTAL = R$163.000,00

19. Outras fontes de financiamento

Não foi feita nenhuma outra solicitação para financiamento no âmbito do projeto ICOM, embora existam financiamentos de forma local pelos participantes conforme descritos na seção de Trabalhos Correlatos.

Ressalte-se, entretanto, a contrapartida financeira oferecida `a COPPE pela IBM no valor de US$220.000,00, no período de dois anos.

20. Bibliografia

[Aleksander & Morton 1990] I. Aleksander and H. Morton, An Introduction to Neural Computing, Chapman and Hall, 1990

[Andrews et.al. 1995] Andrews, R Diederich, J and Tickle, A.B.: A survey and critique of techniques for extracting rules from trained artificial neural networks. To appear: Knowledge-Based Systems, 1995 (ftp:fit.qut.edu.au//pub/NRC/ps/QUTNRC-95-01-02.ps.Z)

[Barbosa 93] V. C. Barbosa; “Massively Parallel Models of Computation”; Ellis Horwood Series in Artificial Intelligence; 1993.

[Barbosa 94] V. C. Barbosa, R. J. Machado e F. S. Liporace, "A Neural System for Deforestation Monitoring on Landsat Images of the Amazon Region", International Journal of Approximate Reasoning, vol 11, n. 4, pp. 321-359, November 1994.

[Bibel 87] W. Bibel “Automated Theorem Proving”; Vieweg Verlag, 2nd ed.; 1987.

[Casanova et al 87] M.A.Casanova, F.A.C. Giorno e A.L. Furtado, “Programação em Lógica e a Linguagem PROLOG”, Edgard Blucher, 1987.

[Craven & Shavlik 1994] Craven, M W and Shavlik , J W `Using sampling and queries to extract rules from trained neural networks' Machine Learning: Proceedings of the Eleventh International Conference (San Francisco CA) (1994) (in print)

[de Oliveira & Ludermir 1992] W. R. de Oliveira and T. B. LudermirTuring Machine Simulation by Logical Neural Networks Artificial Neural Networks II, Eds: I. Aleksander and J. Taylor, pp. 663--668, 1992

[Diederich 1992] Diederich, J `Explanation and artificial neural networks' International Journal of Man-Machine Studies Vol 37 (1992) pp 335-357

[Dutra 95] “Distributing And-Work and Or-Work in Parallel Logic Programming Systems”, Ph.D. Thesis, University of Bristol, Department of Computer Science, Fev 1995

[Ferreira & Ludermir 1994] Ana Catarina Dias Ferreira e Teresa Bernarda Ludermir Estudo Comparativo das Ferramentas de Simulac~ao para Redes Neurais Artificiais II Congresso de Iniciacao Cientifica - UFPE, 1994

[Fu 1994a] Fu, L M `Neural networks in computer intelligence' McGraw Hill (New York) (1994)

[Gallant 1988] Gallant, S `Connectionist expert systems' Communications of the ACM Vol 31 No 2 (February 1988) pp 152-169

[Garcez et al. 95] A. S. d’A. Garcez, G. Zaverucha e L. A. V. Carvalho; “Inferência Lógica e Aprendizado Automático em Redes Neurais: Uma Representação Integrada do Conhecimento”; II Congresso Brasileiro de Redes Neurais (CBRN’95); 1995.

[Garcia & Ludermir 1994] Luiz Alberto Crispiniano Garcia e Teresa Bernarda Ludermir Reconhecimento de Padr~oes Temporais usando Redes Neurais Sequenciais II Congresso de Iniciacao Cientifica - UFPE, 1994

[Gelfond, Lifschitz 88] M. Gelfond and V. Lifschitz; “The Stable Model Semantics for Logic Programming”; 5th Logic Programming Symposium, MIT Press; 1988.

[Gelfond, Lifschitz 91] M. Gelfond and V. Lifschitz; “Classical Negation in Logic Programs and Disjunctive Databases”; New Generation Computing, Vol. 9, Springer-Verlag; 1991.

[Giles & Omlin 1993b] Giles, C L and Omlin C W `Extraction, insertion, and refinement of symbolic rules in dynamically driven recurrent networks' Connection Science Vol 5 Nos 3 and 4 (1993) pp 307-328

[Giles et.al. 1992] Giles, C L, Miller, C B, Chen, D, Chen, H, Sun, G Z and Lee, Y C `Learning and extracting finite state automata with second-order recurrent neural networks' Neural Computation Vol 4 (1992) pp 393-405

[Hayward et.al. 1995] Hayward, R.; Pop, E.; Diederich, J.: Extracting Rules for Grammar Recognition from Cascade-2 Networks. Proceeding, IJCAI-95 Workshop on Machine Learning and Natural Language Processing.

[Holland 75] J. Holland; “Adaptation in Natural and Artificial Systems”; Technical Report, Michigan University, 1975.

[Holldobler 93] S. Holldobler; “Automated Inferencing and Connectionist Models”; Postdoctoral Thesis, Intellektik, Informatik, TH Darmstadt; 1993.

[Holldobler, Kalinke 94] S. Holldobler and Y. Kalinke; “Toward a New Massively Parallel Computational Model for Logic Programming”; Workshop on Combining Symbolic and Connectionist Processing, ECAI 94; 1994.

[Hopfield 82] J. J. Hopfield; “Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities”; Proceedings of the National Academy of Science, USA; 1982.

[Kandel, Langholz 92] A. Kandel and G. Langholz; "Hybrid Architectures for Intelligent Systems"; CRC Press Inc, 1992.

[Kautz et al. 95] H. Kautz, M. Kearns and B. Selman; “Horn Approximations of Empirical Data”; Artificial Intelligence nº 74; 1995.

[Ludermir 1990a] T. B. Ludermir A Feedback Network for Temporal Pattern Recognition Parallel Processing in Neural Systems and Computers. Ed. R. Eckmiller, 1990, pp. 395-98

[Ludermir 1990b] T. B. Ludermir `Automata Theoretic Aspects of Temporal Behavior and Computability in Logical Neural Networks` Tese de Doutoramento, Imperial College, 1990.

[Ludermir 1991] T. B. Ludermir 'Logical Neural Nets and Distributed Implementations of Weighted Regular Languages' Proceedings (IEE 349) of the Second International Conference on Artificial Neural Networks, Bournemouth, 1991, pp. 158-162.
[Ludermir 1992] T. B. Ludermir Computability of Logical Neural Networks Journal of Intelligent Systems 1992, vol 2, pp.261-290
[Ludermir 1993] T. B. Ludermir Learnability and Computability in Artificial Neural Networks 1o Simp'osio Brasileiro de Automac~ao Inteligente. Rio Claro - Sao Paulo, 1993, pp. 1-9
[Ludermir & de Oliveira 1993a] T. B. Ludermir and W. R. de Oliveira Training Strategies for Weightless Neural Networks Proceedings of IJCNN93, Nagoya, Japao, pp.2731-34
[Ludermir & de Oliveira 1994] T. B. Ludermir and W. R. de Oliveira Weightless Neural Models Computer Standards & Interfaces 1994, vol16, pp. 253-263.
[Ludermir et.al. 1995] T.B. Ludermir, F.G. Franca, A.P. Braga, W.R. de Oliveira, E.S. Fernandes, P.V. Lima `NEUROCOM - Integrando Computac~ao Computac~aoConvencional com Neurocomputac~ao' ProTeM-CC, Fase II, Projeto em andamento.
[Lavrac, Dzeroski 94] N. Lavrac and S. Dzeroski; “Inductive Logic Programming: Techniques and Applications”; Ellis Horwood Series in Artificial Intelligence; 1994.
[Lima 92] Logical Abduction and Prediction of Unit Clauses in Symmetric Hopfield Networks, Artificial Neural Networks 2, Elsevier Science Publishers, 2, 1992.
[Lima 95] P. M. V. Lima; “Logical Inference as Energy Minimization: A Voiding Cyclic Dependencies”; II Congresso Brasileiro de Redes Neurais; 1995.
[Liporace 94] F. S. Liporace, R. J. Machado, V. C. Barbosa, "Equalization of the Training Set for Backpropagation Networks Applied to Classification Systems", I Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Itajuba, October 1994
[Machado, Rocha 91] R. J. Machado and A. F. Rocha; "The Combinatorial Neural Network: A Connectionist Model for Knowledge Based Systems"; "Uncertainty in Knowledge Bases" of the series Lecture Notes in Computer Science, dedicated to selected papers from the conference IPMU, editors: B. Bouchon-Meunier, R.R. Yager, L.A. Zadeh, Springer Verlag, pp 578-587 1991.
[Machado, Rocha 92] R. J. Machado and A. F. Rocha; "Evolutive Fuzzy Neural Networks"; in the proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, San Diego, U.S.A.; 1992
[Machado 94] R. J. Machado, Rocha, A.F., "Integrating Symbolic and Neural Methods for Building Intelligent Systems", in the Proceedings of ISIKNH'94 - International Symposium on Integrating Knowledge and Neural Heuristics, Pensacola, USA, May 9-10, 1994.
[Machado 95] Machado, R.J., Neves, P., "Automatic Design of Membership Functions for Pattern Classification Systems", in the Proceedings of the VI International Fuzzy Systems Association World Congress, held at São Paulo, July 22-28, 1995.
[Mass 1994] W. Maass `Perspective of current research about the complexity of learning on neural nets' Theoretical Adavnces in Neural Computation and Learning. Eds: V.P. Roychowdhury, K.Y. Siu and A. Orlitsky, 1994, pp. 295-336
[Medsker 94] L. Medsker; “Neural Networks Connections to Expert Systems”; Proceedings of the World Congress on Neural Networks; 1994.
[McCulloch, Pitts 43] W. S. McCulloch and W. Pitts; “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Neural Nets”; Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 5; 1943.
[McMillan 1992] McMillan, C, Mozer, M C and Smolensky, P `The connectionist scientist game: rule extraction and refinement in a neural network' Proc. of the Thirteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society (Hillsdale NJ) 1991
[Medeiros & Ludermir 1994] Cristiane Almeida de Medeiros e Teresa Bernarda Ludermir Reconhecimento de Padr~oes usando Redes Neurais CUT-POINT II Congresso de Iniciacao Cientifica - UFPE, 1994
[Medeiros & T. B. Ludermir 1995] C.A. de Medeiros and T. B. Ludermir Avaliacao do Aprendizado de Redes Neurais sem Pesos II Simp'osio Brasileiro de Redes Neurais" S~ao Carlos - S~ao Paulo, 1995
[Muggleton, Raedt 94] S. Muggleton and L. Raedt; “Inductive Logic Programming: Theory and Methods”; The Journal of Logic Programming; 1994.
[Omlin et.al. 1992] Omlin, C W, Giles, C L and Miller, C B `Heuristics for the extraction of rules from discrete time recurrent neural networks' Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'92) (Baltimore MD) Vol 1 (1992) pp 33
[Paterson, Wegman 78] S. Paterson and M. N. Wegman; “Linear Unification”; Journal of Computer and System Sciences; 1978.
[Pinkas 92] G. Pinkas; “Logical Inference in Symmetric Connectionist Networks”; Doctoral Thesis, Sever Institute of Technology, Washington University; 1992.
[Pop et.al. 1994] Pop, E, Hayward, R, and Diederich, J `RULENEG: extracting rules from a trained ANN by stepwise negation' QUT NRC (December 1994)

[Rosenblatt 62] F. Rosenblatt; “Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms”; Washington DC, Spartan Books; 1962.
[Rumelhart et al. 86] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton and R. J. Williams; “Learning Internal Representations by Error Propagation”; Parallel Distributed Processing, Vol. 1, D. E. Rumelhart, J. L. McClelland and the PDP Research Group (ed.), MIT Press; 1986.
[Santos & Ludermir 1994] Andr'ea Queiroz Santos e Teresa Bernarda Ludermir De Gram'aticas `a Redes Neurais sem Pesos II Congresso de Iniciacao Cientifica - UFPE, 1994
[Sestito & Dillon 1992] Sestito, S and Dillon, T `Automated knowledge acquisition of rules with continuously valued attributes' Proc. 12th International Conference on Expert Systems and their Applications (AVIGNON'92) (Avignon France) (May 1992) pp 645-656.
[Sestito & Dillon 1994] Sestito, S and Dillon, T `Automated knowledge acquisition' Prentice Hall (Australia) (1994)
[Shastri, Ajjanagadde 90] L. Shastri and V. Ajjanagadde; “From Simple Associations to Semantic Reasoning: A Connectionist Representation of Rules, Variables and Dynamic Binding”; Technical Report, University of Pennsylvania; 1990.
[Silva et al. 94] V. N. da Silva, L. A. Carvalho and G. Zaverucha; “Artificial Neural Networks for Power Systems Diagnosis”; IEEE - World Congress on Computational Intelligence / International Conference on Neural Networks (ICNN-94), Vol 6, pp. 3738 - 3743, Orlando, Florida, USA; 1994.
[Silva et al. 95a] V. N. da Silva, G.N.F. de Souza and G. Zaverucha; “An Integration of Neural Netwoks and Nonmonotonic Reasoning For Power System Diagnosis ”; IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN-95), Perth, Australia; 1995.
[Silva et al. 95b] V. N. da Silva, G.N.F. de Souza and G. Zaverucha; “Sistema Híbrido de Processamento de AlarMês para Diagnose”; VI Encontro Regional Latino-Americano da CIGRE - (ERLAC), Paraná, Brasil; 1995.
[Silva et al. 95c] V. N. da Silva, G.N.F. de Souza and G. Zaverucha; “Diagnose em Sistema de Potência utilizando Sistemas Especialistas”; V Seminário Técnico de Proteção e Controle (STPC), Paraná, Brasil; 1995.
[Silva 1995] S. L. de S. L. Fountora Silva Uma Nova Rede RAM-based Recorrente para Reconhecimento de Sentencas de Linguagens Regulares Tese de Mestrado, Departamento de Informatica, Setembro 1995
[Silva & Ludermir 1995a] S. L. de S. L. Fountora Silva and T. B. Ludermir Regular language recognition by recurrent ram-based networks Fifth Irish Neural Neural Networks Conference, Ireland - U.K., 1995
[Silva & Ludermir 1995b] S. L. de S. L. Fountora Silva and T. B. Ludermir Implementing finite state automata from recurrent ram-based networks International Conference on Artificial Neural Networks, 1995 Paris - France
[Silva & Ludermir 1995c] S. L. de S. L. Fountora Silva and T. B. Ludermir Adequabilidade de uma Nova Rede RAM-based Recorrente para Reconhecimento de Sentencas de Linguagens Regulares II Simp'osio Brasileiro de Redes Neurais" S~ao Carlos - S~ao Paulo, 1995
[Souto 1995] M.C.P. Souto Computational Complexity of Learning in Weightless Neural Networks Tese de Mestrado, Departamento de Informatica, Marco 1995
[Souto & de Oliveira 1995] M.C.P. Souto and W.R. de Oliveira Computational Complexity and Design of Artificial Neural Networks II Simp'osio Brasileiro de Redes Neurais" S~ao Carlos - S~ao Paulo, 1995
[Souto et.al. 1995] M.C.P. Souto and K.S. Guimaraes and T. B. Ludermir `On the Intractability of Loading Pyramidal Arquitectures`. Proceedings of the Internacional Conference on Artifical Neural Networks - IEE. Cambridge. Junho 1995.
[Sun, Bookman 93] R. Sun and L. Bookman; “How do Symbols and Networks Fit Together”; AI Magazine, Vol.14, nº 2; 1993.
[Thrun 1994] Thrun, S B `Extracting Provably Correct Rules From Artificial Neural Networks' Technical Report IAI-TR-93-5 Institut fur Informatik III Universitat Bonn (1994)
[Tickle et.al. 1994] Tickle, A B, Orlowski, M, and Diederich, J `DEDEC: decision detection by rule extraction from neural networks' QUT NRC (September 1994)
[Towell & Shavlik 1993]Towell, G and Shavlik, J `The Extraction of Refined Rules Tresp, V, Hollatz, J and Ahmad, S `Network Structuring and Training Using Rule-based Knowledge' Advances In Neural Information Processing Vol 5 (1993) pp871-878
[Towell 92] G. G. Towell; “Symbolic Knowledge and Neural Networks: Insertion, Refinament and Extraction”; Doctoral Thesis, Computer Science Department, University of Wisconsin, Madison; 1992.
[Towell, Shavlik 94] G. G. Towell and J. W. Shavlik; “Knowledge-Based Artificial Neural Networks”; Artificial Intelligence, nº 70; 1994.
[Vingralek 94] R. Vingralek; “Connectionist Approach to Finding Stable Models and Other Structures in Nonmonotonic Reasoning”; Technical Report, Computer Science Department, University of Kentucky, 1994.
[Zaverucha 94] A Prioritized Contextual Default Logic: Curing Anomalous Extensions with a simple Abnormality Default Theory, LNAI 861, pp. 260-271, Springer Verlag, 1994.
[Zaverucha 92] Logical Foundations of a Modal Defeasible Relevant Logic of Belief, ECAI 92, pp. 615-619, John Wiley & Sons