



**GRUPO IX
GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS (GOP)**

A ESTRUTURA DA PRÓXIMA GERAÇÃO DE CENTROS DE CONTROLE DE ENERGIA ELÉTRICA

Gilberto Pires de Azevedo*
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Bruno Feijó - Mônica Costa
Departamento de Informática da PUC-Rio

RESUMO

A estrutura dos Centros de Controle de Energia Elétrica é influenciada por dois fatores principais: o cenário do setor elétrico e a evolução do mercado de informática. A combinação destes fatores permite classificar os centros de controle atuais em duas gerações, assim como prever a estrutura da próxima.

A próxima geração de centros de controle precisará atuar em um ambiente incerto e com um grau de abertura muito maior que o das gerações anteriores. Neste trabalho são discutidas soluções para capacitar os centros a atuar em ambientes complexos como os que se delineiam, com ênfase na Tecnologia de Agentes.

PALAVRAS-CHAVE

Centros de Controle, EMS, SCADA, Tecnologia de Agentes, Inteligência Artificial Distribuída.

1.0 – INTRODUÇÃO

A importância do papel desempenhado pelos centros de controle de energia elétrica na operação dos sistemas elétricos vem crescendo continuamente. O aperfeiçoamento dos centros aumenta a segurança do sistema, permitindo a operação mais próxima aos limites. Isto viabiliza a redução da capacidade ociosa e conseqüentemente possibilita a otimização dos investimentos e o aumento da lucratividade.

A informatização dos centros de controle começou tão logo a relação custo-benefício tornou-se aceitável. Atualmente a informatização abrange centros de controle de todos os níveis e portes. A evolução dos

centros é influenciada pela transformação do cenário do setor elétrico e do mercado de informática.

Dentro do cenário tradicional do setor elétrico foram desenvolvidas duas gerações similares do ponto de vista funcional, mas muito diferentes quanto à arquitetura computacional. A próxima geração, cuja consolidação deve levar ainda uma década, vai ser influenciada pelas drásticas transformações em curso no setor elétrico e pela evolução das tecnologias de processamento distribuído. O objetivo deste trabalho é, a partir da análise da evolução dos centros de controle informatizados, discutir a estrutura da próxima geração de centros.

A evolução das duas primeiras gerações de centros de controle informatizados é descrita na Seção 2. Na Seção 3, é avaliado o impacto na arquitetura da próxima geração de centros das transformações em curso no setor elétrico. A possível contribuição das tecnologias de processamento distribuído, em especial a Tecnologia de Agentes, é apresentada na Seção 4.

**2.0 – A EVOLUÇÃO DOS CENTROS DE
CONTROLE DE ENERGIA ELÉTRICA**

A arquitetura dos Centros de Controle de Energia Elétrica é influenciada por dois fatores principais: o cenário do setor elétrico e a evolução das indústrias de hardware e software. O cenário do setor elétrico permaneceu estável por décadas, em praticamente todo o mundo. É interessante notar que a organização tradicional do setor elétrico, monopolista e fechada à competição, refletiu-se na estrutura interna das primeiras gerações de centros de controle informatizados. Os centros concebidos nesta estrutura tradicional são essencialmente autônomos. A integração com outras empresas, ou mesmo com outros

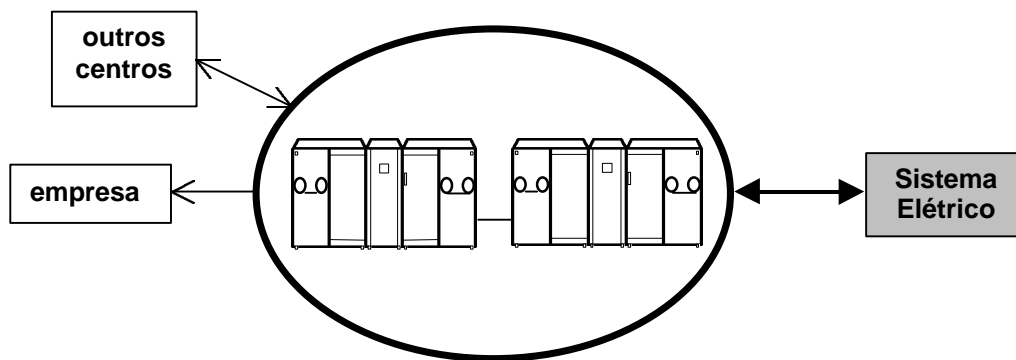


FIGURA 1 - centro de controle da 1ª geração: baseado em mainframes, autônomo, com fraca ligação com outros parceiros

setores da mesma empresa, é incipiente e desempenha um papel relativamente marginal na operação.

Enquanto o setor elétrico permanecia estável, as indústrias de hardware e software experimentavam uma evolução rápida, intensa e contínua. Tal evolução foi suficiente para caracterizar a existência de duas gerações bastante distintas de centros de controle, definidas pelas grandes diferenças de arquitetura computacional.

2.1 – A Primeira Geração de Centros de Controle Informatizados

A primeira geração surgiu quando a utilização de computadores nos centros de controle atingiu uma relação custo-benefício aceitável, ainda na década de 70. A arquitetura computacional dos centros, naturalmente, baseava-se nos recursos disponíveis na época. Eram utilizados *mainframes* redundantes (Figura 1), de alto custo de aquisição e manutenção, mas que, para os padrões atuais, apresentavam capacidade de processamento muito pequena. O alto custo restringia a informatização apenas aos centros mais importantes.

A limitação da capacidade de processamento tornava necessário o desenvolvimento de código altamente otimizado, utilizando a fundo as características particulares de cada equipamento e sistema operacional. Isto abrangia as bases de dados, as interfaces gráficas e até mesmo os programas aplicativos avançados, cujo código precisava ser muito otimizado para ser executado em computadores com, por exemplo, 64 kbytes de memória ou pouco mais. Isto foi feito com sucesso, apesar de implicar em custos de desenvolvimento e manutenção relativamente altos.

Em resumo, a primeira geração de centros de controle informatizados caracterizou-se pela profunda interligação entre o hardware, o sistema operacional, os programas aplicativos, as interfaces e as bases de dados.

Ela obteve sucesso e permitiu avanços expressivos na qualidade da supervisão e controle.

Mas a rápida evolução da indústria de informática trouxe problemas graves para os centros dessa geração. Em poucos anos os equipamentos computacionais e o software básico tornaram-se obsoletos e foram descontinuados. A própria dinâmica do mercado eliminou, por diversos meios, grande parte dos fornecedores dos sistemas e equipamentos utilizados nesses centros. Por outro lado, a profunda interligação entre os componentes de hardware e software dificultava ou mesmo impedia a sua substituição ou evolução. Como consequência, as empresas viram-se às voltas com centros de controle com equipamentos obsoletos, com dificuldades para obtenção de peças de reposição, de baixo desempenho, com custo de manutenção elevado e sempre crescente, de confiabilidade cada vez menor e incapazes de acompanhar a evolução dos requisitos das próprias empresas.

2.2 – A Segunda Geração de Centros de Controle Informatizados

Ao longo da década de 80 a indústria de informática enfrentou transformações importantes. O surgimento de equipamentos computacionais de baixo custo e bom desempenho, associado à evolução das redes, permitiu a adoção a baixo custo do processamento distribuído. Os *mainframes* foram substituídos por redes de microcomputadores e estações de trabalho. A descentralização do processamento gerou um forte movimento em busca da padronização em várias frentes, por ser este um requisito essencial para a interligação de equipamentos e sistemas de diferentes portes e fornecedores. Isto levou à adoção generalizada de padrões de fato no mercado: a linguagem C, o sistema operacional Unix, o sistema gráfico X-Window e o conjunto de protocolos TCP-IP, por exemplo.

Estas transformações deram origem à segunda geração de centros de controle informatizados, que surgiu no

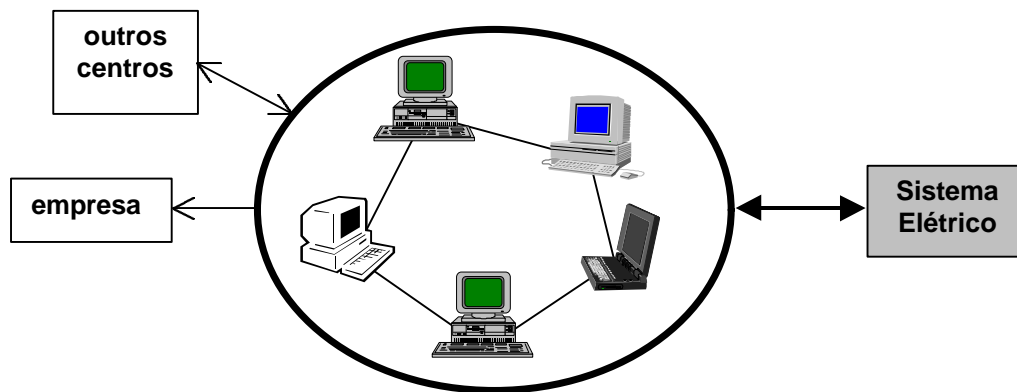


FIGURA 2 - centro de controle da 2ª geração: sistema distribuído e heterogêneo, autônomo, com fraca ligação com outros parceiros

início dos anos 90 e está atualmente consolidada no mercado. Os centros de controle desta geração caracterizam-se pelo processamento descentralizado, com redes de computadores heterogêneos (Figura 2), e pela obediência rígida aos padrões do mercado.

O objetivo a ser atingido por esta geração de centros são os *sistemas abertos*, em que equipamentos de diferentes fornecedores podem trabalhar em conjunto, e com grande capacidade de crescimento incremental. Equipamentos obsoletos podem ser substituídos sem grandes dificuldades por outros com maior poder de processamento, novas funcionalidades podem ser agregadas facilmente e o sistema pode crescer junto com as necessidades da empresa. Estas características eliminam os problemas da geração anterior de centros de controle e possibilitam uma grande redução dos custos globais do sistema, incluindo a aquisição, manutenção e expansão. Por sua vez, a redução de custos permite a informatização generalizada de centros de controle de todos os níveis e portes, com impacto positivo sobre a qualidade da operação.

Estes objetivos foram atingidos em diferentes graus pelos fornecedores de sistemas para centros de controle. Provavelmente o sistema que mais se aproxima destas metas é o SAGE – Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia [1,2,3] –, desenvolvido pelo CEPTEL, que beneficiou-se por já ter sido concebido inteiramente dentro da filosofia de sistemas abertos.

2.3 – As Características Similares

Como foi ressaltado no início desta seção, as duas primeiras gerações de centros de controle informatizados distinguem-se principalmente pela arquitetura computacional. Do ponto de vista funcional, porém, são bastante similares. Em ambos os casos o processamento é realizado quase inteiramente dentro do ambiente dos centros, que são quase autônomos. A inter-

ligação com outras empresas existe, mas geralmente limita-se à troca de algumas poucas informações. A ligação com outros setores da mesma empresa é pequena, não indo muito além do envio de informações do centro de controle para a rede corporativa.

Apesar da nomenclatura “sistemas abertos” aplicada à geração mais nova, quando vistos deste ângulo estes sistemas são bastante fechados. Estas características refletem a estrutura tradicional do setor elétrico, e precisarão sofrer transformações profundas para acompanhar as drásticas mudanças em curso neste mercado.

3.0 – A PRÓXIMA GERAÇÃO DE CENTROS DE CONTROLE DE ENERGIA ELÉTRICA

Enquanto a evolução do mercado de informática delimitou o surgimento e a evolução das primeiras gerações de centros de controle informatizados, a estrutura da próxima geração vai ser definida principalmente pelas transformações em curso no setor elétrico.

Isto não significa que a evolução do mercado de informática será pouco importante; na realidade, alguns fatos previsíveis – como redes de telecomunicação confiáveis e de alta velocidade, e a evolução da distribuição do processamento e das tecnologias associadas, como a Inteligência Artificial Distribuída – serão pré-requisitos para as mudanças.

3.1 – As Transformações no Setor Elétrico

Transformações profundas na estrutura do setor elétrico estão em andamento em todo o mundo. A intensidade das mudanças varia entre os diferentes países, mas em síntese o setor busca a desregulamentação, a abertura e a competição. Isto implicará na inclusão de novos participantes no cenário: agências reguladoras,

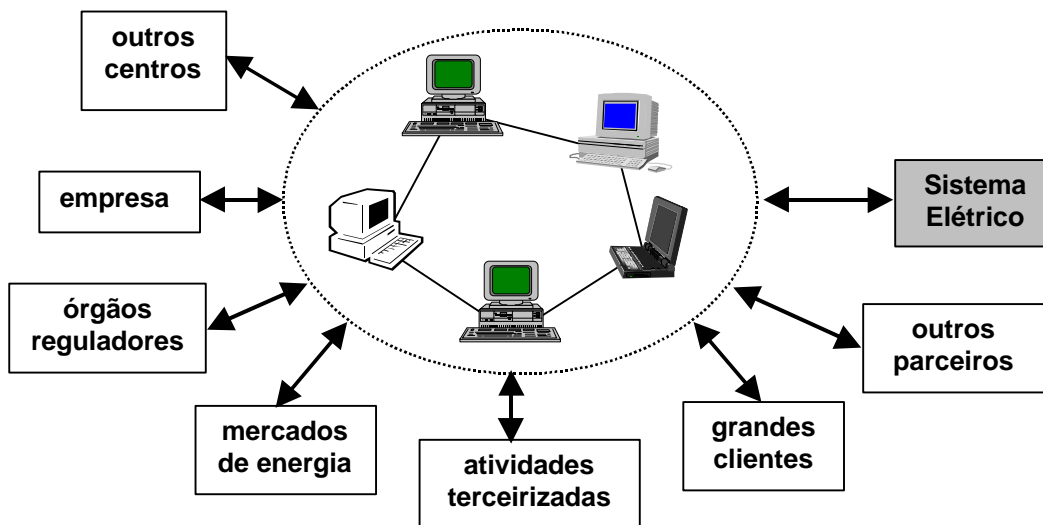


FIGURA 3 - a próxima geração: sistema distribuído e heterogêneo, com forte ligação com outros parceiros e limites difusos

operadores, mercados de energia, produtores independentes, prestadores de serviços, grandes consumidores etc.

Tais mudanças terão impacto na estratégia de atuação dos centros. A interligação com outros participantes do cenário passará a ser essencial. Da mesma forma, o fortalecimento da integração dos centros com outros setores da empresa será vital, pois a operação do sistema elétrico não poderá mais ser tratada de forma isolada dos demais interesses da empresa.

3.2 – O Impacto nos Centros de Controle

A necessidade de integração com um grande número de outros participantes fará com que uma parte importante da geração das informações necessárias à operação ocorra *fora* do ambiente dos centros de controle. É previsível, inclusive, uma gradual terceirização das atividades típicas dos centros, como a contratação *on-line* de estudos ou o aluguel temporário de capacidade de processamento, dentre outras possibilidades. A conexão com outros tipos de centros de controle ou de estudos, pertencentes a empresas prestadoras de serviços – para atividades de manutenção de emergência, previsão de tempo, segurança, suporte de telecomunicações, atendimento a clientes, por exemplo – pode vir a ser necessária.

Em síntese, os limites dos centros, hoje claramente definidos, passarão a ser difusos. Os centros de controle deixarão de ser entidades autônomas e auto-suficientes (Figura 3). A *geração* de informação sobre o sistema elétrico para a operação, que é hoje o principal papel dos centros, perderá importância relativa para a *negociação* de informações produzidas externamente. A dependência de parceiros externos introduzirá um elemento atualmente quase inexistente na arquitetura

dos centros de controle: a *incerteza*. De fato, como o centro de controle não terá controle sobre os parceiros, estes em geral poderão entrar ou sair da rede de acordo com seus próprios interesses ou mesmo recusar-se a atender às solicitações. Alguns parceiros poderão ter menor liberdade por força de regras estabelecidas, mas é previsível que o número e a importância dos que atuarão livremente aumentará gradativamente. Finalmente, um outro fator que precisará ser considerado é a *confiabilidade* das informações recebidas. Em ambientes competitivos, a possibilidade de manipulação maliciosa de informações não poderá ser descartada.

Este cenário contrasta fortemente com a situação atual dos centros de controle, onde há controle praticamente total sobre a produção de informações e o acesso a elas. A arquitetura dos centros precisará evoluir para capacitá-los a atuar com eficácia neste novo e complexo cenário.

3.3 – A Influência na Arquitetura Computacional

A expressão “sistemas abertos”, usada originalmente para identificar sistemas computacionais distribuídos, heterogêneos e obedientes a padrões, precisa ser redefinida para designar ambientes como os descritos na seção anterior: abertos à entrada e saída de participantes, incertos e sem controle central nem completo sobre os participantes, que atuam segundo seus próprios interesses. Note-se que a adoção dos sistemas abertos não é uma particularidade do novo modelo do setor elétrico, mas uma tendência dos sistemas de informação em geral. A Internet é o exemplo mais conhecido de sistema aberto. Pode-se mesmo considerar que, até certo ponto, a perspectiva de desenvolvimento das tecnologias associadas aos

sistemas abertos foi um pré-requisito implícito para a reestruturação do setor elétrico segundo os rumos atuais.

A nova definição de sistemas abertos obviamente traz grandes desafios para o desenvolvimento da próxima geração de centros de controle de energia elétrica. A arquitetura dos centros precisa ser adaptada a estes novos requisitos; assim como nas gerações anteriores, ela tenderá gradualmente a refletir a filosofia da operação do sistema elétrico.

Em primeiro lugar, haverá a necessidade de *negociação* com parceiros externos e em geral não subordinados ao centro de controle. Os componentes de software responsáveis pela negociação precisarão ser capazes de lidar com as incertezas inerentes aos sistemas abertos: indisponibilidade de parceiros, negociação do custo da informação, dúvidas quanto à sua confiabilidade, prazos incertos para a obtenção da informação etc. Os parceiros precisarão comunicar-se por meio de uma linguagem comum e dotada de estruturas adequadas à negociação.

A competitividade e a incerteza do ambiente tornarão necessária a sua permanente monitoração por parte do software do centro de controle. Isto possibilitará a atuação oportunística quando forem detectadas circunstâncias favoráveis. Por exemplo, o sistema pode aguardar os momentos de custo mais baixo para a contratação de um serviço.

A incerteza do ambiente refletir-se-á também na possibilidade de existência de múltiplas e distintas soluções para um mesmo problema, levantadas por diferentes participantes do sistema. Por exemplo, a solicitação de um certo estudo ou previsão, efetuada simultaneamente a duas ou mais empresas prestadoras de serviços, pode resultar em soluções muito diferentes.

Os componentes de software do centro de controle deverão estar aptos a avaliar e comparar as soluções, possivelmente levando em conta experiências anteriores. Para a acumulação de experiência, poderão ser feitas consultas exploratórias [4], cujo resultado “correto” é conhecido previamente pelo solicitante. A comparação com os resultados fornecidos pelos prestadores de serviços poderá fornecer subsídios para futuras escolhas. A viabilidade técnica de tais procedimentos não é imediata, mas pode ser atingida pela aplicação de técnicas de Inteligência Artificial.

Em síntese, os componentes de software da arquitetura computacional da próxima geração de centros de controle devem contemplar os seguintes requisitos:

- *Heterogeneidade*: componentes de software em computadores de diferentes plataformas, com diferentes sistemas operacionais, devem ser capazes de interagir.
- *Distribuição*: os componentes que interagem podem estar dispersos geograficamente.
- *Abertura*: os componentes podem entrar ou sair do sistema segundo seus próprios interesses.
- *Dinamismo*: o ambiente onde os componentes atuam está em permanente mudança.

4.0 – A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Os requisitos mencionados anteriormente coincidem com os sinalizados pela evolução dos sistemas de informação em geral, ou seja, uma evolução contínua em direção ao aumento da descentralização do processamento. Por este motivo, os problemas associados a este cenário descentralizado têm sido objeto de pesquisa intensa em diferentes áreas da Informática, como Orientação a Objetos e Inteligência Artificial, por exemplo.

A abordagem mais comum é o abandono das tentativas de modelagem completa de uma empresa, sistema ou processo em favor do desenvolvimento de componentes de software menores, flexíveis, autônomos e com grande capacidade de interagir com outros componentes dispersos geograficamente.

Os autores acreditam que a Tecnologia de Agentes, proposta no contexto da Inteligência Artificial Distribuída, é uma abordagem muito promissora para aplicação a longo prazo nos centros de controle de energia elétrica [5,14].

4.1 – A Tecnologia de Agentes

Apesar do número crescente de pesquisadores dedicados a diferentes aspectos da Tecnologia de Agentes desde a década de 80, o conceito de agentes ainda carece de uma definição formal aceita universalmente [6,7,9]. Isto não impediu o surgimento de uma tendência a reorganizar a área de Inteligência Artificial em torno do conceito de agentes [8].

Generalizando, agentes são entidades de software que possuem as seguintes características principais [10]:

- *Autonomia*: os agentes atuam sem necessidade de intervenção externa e têm algum tipo de controle sobre suas ações e seu estado interno.
- *Sociabilidade*: os agentes interagem com outros agentes através de uma linguagem de comunicação apropriada.

- *Reatividade*: os agentes são capazes de perceber mudanças nos ambientes em que estão inseridos e respondem a essas mudanças quando necessário.
- *Pró-Atividade*: os agentes possuem suas próprias metas; suas ações não são apenas reações a mudanças no ambiente mas visam também alcançar essas metas.

Há diversas abordagens diferentes para a construção de sistemas multi-agentes. Para os objetivos deste trabalho, é útil distinguir entre duas abordagens para a arquitetura geral de sistemas multi-agentes: a *bottom-up* e a *top-down*.

Na abordagem *top-down*, o sistema de agentes possui uma organização pré-estabelecida e os agentes cooperam para atingir um objetivo comum também pré-definido. Na abordagem *bottom-up*, por outro lado, não há nenhuma organização pré-estabelecida nem um objetivo global. Os agentes possuem seus objetivos individuais e procuram atendê-los [13], o que em geral requer a interação com outros agentes.

Considerando que o novo cenário do setor elétrico será caracterizado por ambientes abertos, nos quais os parceiros poderão até certo ponto entrar e sair segundo seus próprios interesses, a abordagem *bottom-up* parece ser a mais apropriada para a arquitetura da próxima geração de centros de controle.

4.2 – As Perspectivas da Tecnologia de Agentes

A Tecnologia de Agentes vem ganhando rapidamente importância com o desenvolvimento dos sistemas abertos. É interessante assinalar uma significativa mudança do perfil médio dos trabalhos publicados a partir de meados da década de 90. Enquanto os trabalhos anteriores eram geralmente de cunho teórico e acadêmico, os trabalhos mais recentes descrevem um grande número de aplicações industriais. A necessidade de adaptação aos novos ambientes abertos e incertos explica o interesse pelo tema.

5.0 – CONCLUSÃO

A próxima geração de centros de controle precisará evoluir significativamente para atender aos requisitos do novo cenário do setor elétrico. Alguns aspectos importantes a prazo relativamente curto, como o desenvolvimento de novas aplicações computacionais para tratar os aspectos econômicos da operação dos sistemas elétricos e para o aumento da segurança operativa, assim como a urgente necessidade de aperfeiçoamento da interação homem-computador, foram propositalmente omitidos neste trabalho [11,12].

O objetivo deste trabalho é, a partir da análise da evolução dos centros de controle informatizados, antecipar a estrutura genérica da próxima geração de centros. Tal estrutura vai ser determinada pelas transformações em curso no setor elétrico em conjunto com a evolução do suporte de telecomunicações e das tecnologias de processamento distribuído.

A consolidação da nova estrutura dos centros ainda deve demorar cerca de uma década. Isto ocorre porque o principal fator condicionante – a reformulação do setor elétrico – ainda está em plena transformação. Somente após a estabilização do novo cenário começarão a ser definidas clara e precisamente as novas necessidades dos centros de controle. Isto deverá coincidir com a maturidade das novas tecnologias de processamento inteligente distribuído, como a Tecnologia de Agentes, que ao que tudo indica estarão aptas a responder aos desafios do novo cenário em que os centros de controle precisarão atuar.

6.0 – BIBLIOGRAFIA

- (1) LIMA, L. C.; MACHADO, P. A.; OLIVEIRA FILHO, A. L.; PEREIRA, L. A. C.; AZEVEDO, G. P. – Design and Development of an Open EMS – IEEE Athens Power Tech'93 – 1993.
- (2) SILVA, A. J. S.; OLIVEIRA FILHO, A. L.; PEREIRA, L. A. C.; LIMA, L. C.; LAMBERT, N.; AMORIM, M. F. P.; AZEVEDO, G. P. – SAGE Architecture for Power System Competitive Environments – VI SEPOPE (Salvador-BA) – Maio de 1998.
- (3) MACHADO, P. A.; LIMA, L. C.; PEREIRA, L. A. C.; AZEVEDO, G. P.; AMORIM, M. F. P. – Desenvolvimento de uma Nova Geração de Centros de Controle – XII SNPTEE – 1993.
- (4) LASHKARI, Y.; METRAL, M.; MAES, P. – Collaborative Interface Agents - Proceedings of 12th Conference on Artificial Intelligence, vol. 1 – AAAI – 1994.
- (5) AZEVEDO, G. P. – Agentes Reativos para Centros de Controle de Energia Elétrica – Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Informática da PUC-Rio – Agosto de 1998.
- (6) FRANKLIN, S.; GRAESSER, A. – Is It an Agent, or Just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents – ECAI'96 Workshop (in Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures and Languages, eds. Jörg P. Müller, Michael J. Wooldridge, Nicholas Jennings) – Agosto de 1996.
- (7) PETRIE, C. – What is an Agent? – ECAI'96 Workshop (in Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures and Languages, eds. Jörg P. Müller, Michael J. Wooldridge, Nicholas Jennings) – Agosto de 1996.
- (8) RUSSEL, S.; NORVIG, P. – Artificial Intelligence: A Modern Approach – Prentice Hall Series in Artificial Intelligence – 1995.
- (9) TALUDKAR, S.; RAMESH, V. C.; QUADREL, R.; CHRISTIE, R. – Multiagent Organizations for Real-Time Operations – Proceedings of the IEEE vol. 80. n.5 – Maio de 1992.

- (10) WOOLDRIDGE, M. J.; JENNINGS, N. R. – Intelligent Agents: Theory and Practice – Knowledge Engineering Review – 1995: 10(2).
- (11) AZEVEDO, G. P.; SOUZA, C. S.; FEIJÓ, B. - Enhancing the Human-Computer Interface of Power System Applications – IEEE Transactions on Power Systems Vol. 11 n. 2 – Maio de 1996.
- (12) JAMNICKSKY, L. – EMS Network Security Applications of the Future – IEEE Computer Applications in Power - Abril de 1996.
- (13) SICHMAN, J. S., E DEMAZEAU, Y. – Using the Active Object Model to Implement Multi-Agent Systems – Proc. of the 5th. IEEE Int. Conf. on Tools with Artificial Intelligence – Boston, EUA, 1993.
- (14) AZEVEDO, G. P.; FEIJÓ, B.; COSTA, M. – An Agent-Based Approach to EMS in Open Environments – IEEE Budapest Power Tech'99 – Agosto de 1999.