

Introdução a Redes Autônomicas (Novembro 2007)

Paulo Renato Silva de Rezende

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, novas tecnologias, produtos, serviços e hardwares têm sido projetados, satisfazendo as crescentes demandas por sistemas mais rápidos, potentes e com maior capacidade de armazenamento e comunicação. Embora traga benefícios importantes e compensadores, o aumento acelerado de capacidade e das dimensões desses sistemas possui obstáculos: complexidade, heterogeneidade e falta de mão-de-obra qualificada. Estes fatores podem ser considerados como as principais motivações para o desenvolvimento de uma nova proposta de gerenciamento de sistemas.

Nos próximos anos, lidar com sistemas complexos será um dos maiores desafios e obstáculos da indústria de TI. A complexidade é um subproduto inevitável da evolução da automação de processos e seu crescimento desgovernado pode inclusive se sobrepor aos benefícios que a tecnologia da informação deseja prover. A demanda pelo desenvolvimento de novas técnicas de programação e armazenamento de dados, algoritmos, paradigmas de comunicação, além de hardwares especializados, é cada vez maior e mais importante, no sentido de tornar os sistemas computacionais mais eficientes, ágeis, completos, robustos e inteligentes. Os sistemas do futuro devem possuir essas características para que possam efetivamente auxiliar o ser humano em tarefas importantes, delicadas e que exigem alto nível de perfeição, como a utilização de braços mecânicos ou robôs em cirurgias e a automação de processos de indústrias siderúrgicas, farmacêuticas e aeronáuticas, por exemplo. É interessante no entanto, notar o nível de complexidade envolvido com o desenvolvimento dessas tecnologias. Equipamentos e softwares extremamente especializados e complexos, necessários para a evolução dos sistemas, apresentam a inconveniência da dificuldade de gerenciamento. A identificação e correção de problemas, instalação de atualizações, configuração, dentre outros aspectos dificilmente serão realizados de forma rápida, transparente e efetiva (com pouco ou nenhum erro) por técnicos e operadores humanos.

Nos cenários atuais, as taxas de expansão da complexidade estão além da habilidade humana de gerenciá-las. Em pouco tempo, não haverá um número suficiente de profissionais capacitados para manter os sistemas computacionais funcionando corretamente. A medida que a computação evolui, a sobreposição de conexões, dependências e interações

entre aplicações necessitará que decisões sejam tomadas e respostas sejam dadas em uma velocidade acima da capacidade humana. Neste caso, as decisões humanas ficam cada vez mais propensas a erros, que podem levar a situações problemáticas e inaceitáveis, de acordo com o tipo de sistema envolvido. Resolver os problemas e dificuldades geradas por esse cenário é um grande desafio, que somente será alcançado quando forem projetados e construídos sistemas computacionais capazes de se ajustar a situações variáveis, preparando seus recursos e tratando de forma eficiente sua carga de trabalho.

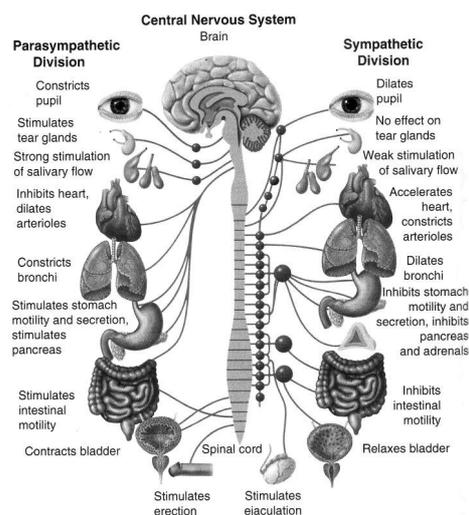


Fig. 1. Sistema nervoso autônomico.

II. COMPUTAÇÃO AUTÔNOMICA

A inspiração para o termo “computação autônoma” veio do sistema nervoso autônomico humano (Fig. 1), o qual é capaz de manter o estado interno do corpo constante, prepará-lo para as atividades do momento, cuidar de todas as funções vitais, dentre outras tarefas, sem qualquer iniciativa ou esforço consciente do organismo. A atuação deste sistema pode ser percebida no corpo humano, por exemplo, quando uma pessoa se encontra em uma situação de perigo. Neste caso, os batimentos cardíacos são acelerados, as pupilas dilatadas, a oxigenação do cérebro aumentada e uma descarga de hormônios, como a adrenalina, é lançada na corrente sanguínea. Essa combinação de fatores, desencadeados pelo sistema autônomico sem nenhuma participação consciente do

ser humano, faz com o corpo fique pronto para agir com rapidez, força e determinação.

De forma similar ao que ocorre no corpo humano, a computação autônoma define um novo paradigma de controle e supervisão para sistemas computacionais, no qual os mesmos são capazes de gerenciar a si próprios, dados os objetivos de alto-nível definidos por seus administradores. O auto-gerenciamento é a essência da computação autônoma, e seu intuito principal é o de liberar os administradores de sistemas dos detalhes de operação e manutenção e prover aos usuários máquinas capazes de trabalhar com alto desempenho 7 dias da semana, 24 horas por dia. A arquitetura de um sistema autônomo deve implementar quatro propriedades (serviços) básicas (Fig. 2): auto-configuração, auto-otimização, auto-cura e auto-proteção. A combinação dessas propriedades poderá permitir o desenvolvimento de outras funcionalidades importantes, tais como auto-conhecimento, auto-consciência e auto-diagnóstico.



Fig. 2. Propriedades básicas de um sistema autônomo.

III. SISTEMAS AUTÔNOMOS

A estrutura computacional de um ambiente empresarial pode ser comparada ao corpo humano. Muitos sistemas diferentes e complementares (como os sistemas respiratório, circulatório, digestivo, dentre outros), compostos por equipamentos diversos com importantes funções (como os órgãos), estão interconectados, e devem funcionar em harmonia para que a estrutura como um todo exerça com precisão seu papel. À medida que esta estrutura evolui, se tornando mais complexa e heterogênea, se torna cada vez mais complicado para seus usuários gerenciá-la de forma a garantir sua produtividade. Neste caso, seria interessante que ela gerenciasse a si própria, ou seja, a seus sistemas e equipamentos, e a conexão entre eles, de forma contínua, transparente, eficiente e otimizada. A estrutura possuiria assim um sistema autônomo próprio, responsável por gerenciá-la constantemente, sem conhecimento e intervenção direta de seus usuários. Uma empresa de telecomunicações é o exemplo de uma indústria que possui uma estrutura computacional cada vez mais difícil de se gerenciar, e que poderia obter grandes benefícios tanto para a própria empresa, quanto para seus clientes (usuários dessa estrutura), se utilizasse uma solução de gerenciamento autônoma.

IV. REDES AUTÔNOMICAS

A implementação dos conceitos ligados à computação autônoma em redes de computadores leva a criação de um novo conceito: as redes autônomas. Esse tipo de rede é capaz de realizar auto-gerenciamento de seus elementos e das conexões entre eles. Os serviços e funções de gerenciamento da rede são executados sem envolvimento de um gerente humano e de forma transparente para o usuário da mesma. Além disso, a rede é capaz de aprender com as ações praticadas por seus elementos e análise dos resultados obtidos. A execução automática de tarefas e a possibilidade de aprendizado caracterizam o aspecto autônomo deste tipo de rede.

O desenvolvimento cada vez maior e mais acelerado de novas tecnologias no contexto das redes de computadores têm tornado esses ambientes computacionais bastante complexos e heterogêneos. Atualmente, além das redes tradicionais com fios, observamos o crescimento da disponibilização de outros tipos de redes, como as sem fio e ad hoc por exemplo. Observa-se inclusive a tendência em se unificar várias tecnologias (redes em malha) e disponibilizar conectividade e serviços para os usuários a todo tempo e em todo lugar (redes ubíquas). Imaginando os novos tipos de redes e serviços que são ou serão disponibilizados para usuários em um futuro próximo, fica clara a necessidade do uso de técnicas de gerenciamento avançadas. Esse cenário de expansão tecnológica e aumento de complexidade, heterogeneidade, ubiquidade, conectividade e integração é um dos motivos que leva à necessidade de desenvolvimento de redes autônomas, as quais devem utilizar novas funcionalidades, serviços e paradigmas de gerenciamento.

Paul Horn [1] descreve oito elementos chave indispensáveis para qualquer sistema verdadeiramente autônomo. Esses elementos descrevem características particulares que sistemas desse tipo devem implementar, de forma a serem capazes de realizar auto-gerenciamento, cumprindo com as tarefas fundamentais de auto-proteção, auto-configuração, auto-cura e autootimização. No contexto das redes autônomas, a aplicação desses elementos chave é igualmente importante e ainda mais complexa, visto que os mesmos devem ser aplicados não só aos componentes das redes, mas também aos enlaces entre eles.

- 1) Para ser autônomo, um sistema precisa se conhecer e ser formado por componentes que também possuem uma identidade no sistema;
- 2) Uma rede autônoma deve se configurar e reconfigurar sobre condições variáveis e imprevisíveis;
- 3) As redes autônomas devem sempre procurar maneiras de otimizar seus trabalhos;
- 4) Uma rede autônoma deve executar algo similar a uma cura: ela deve ser capaz de superar eventos extraordinários que possam causar mal funcionamento de algumas de suas partes;
- 5) Uma rede autônoma deve ser especialista em auto-proteção;
- 6) Redes autônomas devem conhecer seus ambientes e o contexto que cerca suas atividades, agindo de acordo com

este;

- 7) Uma rede autônoma não pode existir em um ambiente isolado;
- 8) Uma rede autônoma deve antecipar os recursos para otimização necessários, enquanto mantém sua complexidade escondida.

Muitos são os desafios de pesquisa envolvidos na área de redes autônomas. Uma vez que este é um tema inovador, o qual começou a ser pesquisado e explorado recentemente, serão necessários avanços em diversas áreas do saber, para que ele possa ser efetivamente implementado e utilizado.

A evolução das redes autônomas deverá ser realizada de forma gradativa. Os desafios de pesquisa envolvidos com esse paradigma são muitos, e todos eles devem ser superados antes que uma solução puramente autônoma seja desenvolvida. Desta forma, é esperado que as redes passem por diferentes níveis, os quais indicam o quão autônoma é a solução de gerenciamento utilizada. Existem cinco níveis definidos para a classificação de redes autônomas: Básico, Gerenciado, Preditivo, Adaptativo e Autônomo.

V. ELEMENTOS AUTÔNOMICOS

Elementos Autônomos (EAs) são a menor parte de um sistema autônomo e podem ser vistos como sistemas individuais que contêm recursos e provêm serviços para humanos e/ou outros EAs. É possível ter EAs embutidos em diferentes tipos de elementos gerenciados, como dispositivos de hardware (discos e CPUs por exemplo), unidades de software e até mesmo em coleções de componentes, como um computador pessoal. Um EA contém um único gerente que representa e monitora o(s) elemento(s) gerenciado(s). O projeto de EAs particulares para cada dispositivo ou coleção de componentes pode ser considerado um dos principais desafios de pesquisa da computação autônoma. Cada componente de uma rede autônoma é capaz de se monitorar e controlar, possuindo um Elemento Autônomo (EA) embutido responsável por implementar serviços e funções de gerenciamento. Vale lembrar que hardwares e/ou softwares de um componente da rede podem ser sistemas autônomos independentes, possuindo capacidade de auto-gerenciamento. Cada EA atua como um gerente, responsável por promover a produtividade dos recursos e a qualidade dos serviços providos pelo componente da rede no qual está instalado. O gerente executa um laço de controle contínuo que realiza monitoração e análise de dados internos e externos ao elemento gerenciado, e também planejamento e execução de ações corretivas ou que otimizem o funcionamento deste elemento. Além disso, o EA possui um módulo que é uma base de conhecimento onde armazena dados, regras, limites, dentre outros valores. Essa definição de um EA descrita acima é um modelo genérico proposto em [2]. As funções que compõem cada um dos serviços do laço de controle contínuo de um EA, sua base de conhecimento, as etapas presentes em seu ciclo de vida e a forma como elas são executadas, bem como o modelo de relacionamentos entre EAs de uma rede autônoma, devem ser definidos de forma específica e particular para cada tecnologia e tipo de rede de computadores.

Os EAs possuem um ciclo de vida bem definido composto por etapas de projeto, teste e verificação, instalação e configuração, monitoração, determinação e cura de problemas, otimização e atualização, e desinstalação ou substituição. Além disso os EAs em uma rede autônoma são capazes de se relacionar, de forma a proverem e/ou receberem serviços e recursos entre si. Neste caso, as regras de provisionamento e recebimento devem ser claras e justas, sendo que um EA só proverá serviços/recursos para outro, depois de passar por uma etapa de negociação na qual será avaliado o custo-benefício da operação.

De acordo com o formato de um EA genérico proposto em [2] (Fig. 3), um elemento autônomo é constituído de cinco partes: monitoração, análise, planejamento, execução e uma Base de Conhecimento (BC). No modelo de um EA, as primeiras quatro partes podem ser vistas como serviços de gerenciamento, executados de forma autônoma através de um conjunto de funções. A BC pode apresentar diferentes componentes, dentre eles uma base de informações de gerenciamento (MIB) local e uma máquina de políticas. Os serviços são conectados através de um laço autônomo de execução infinito.

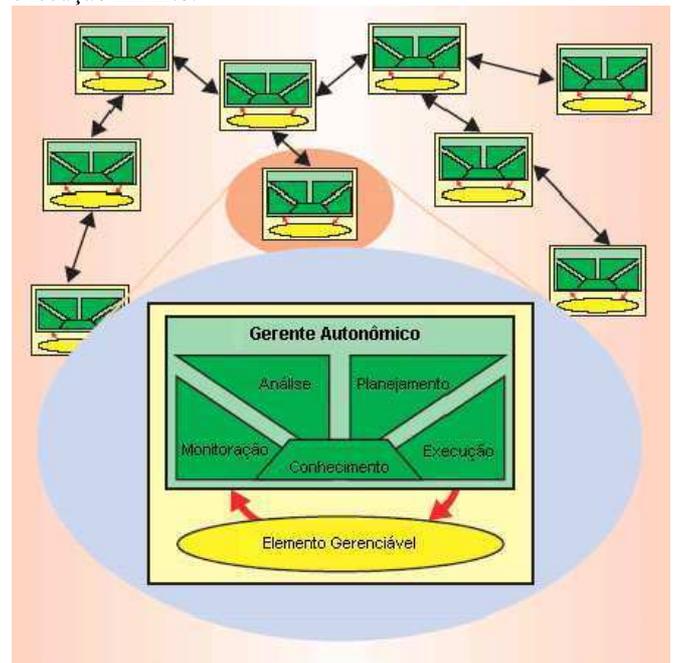


Fig. 3. Estrutura Interna de um Elemento Autônomo [2].

VI. CICLO DE VIDA DE UM EA

A inserção de um EA em componentes de uma rede é pré-requisito para que a mesma possua aspectos autônomos. Para tanto, uma série de etapas devem ser seguidas pelo próprio EA, e em alguns momentos pelo administrador da rede, para se criar, embutir e atualizar estes elementos. Essas tarefas podem ser executadas em momentos distintos, tais como antes, durante e após a criação do EA e em conjunto defenem um ciclo de vida, percorrido periodicamente, até que se atinja uma situação de esgotamento, deficiência ou inadequação, e neste caso, a tarefa final de desinstalação e configuração é

acionada. Vale ressaltar o desafio relacionado ao compromisso entre a execução das tarefas do ciclo de vida e consumo de recursos da rede e seus elementos, tais como largura de banda, capacidade de processamento, dentre outras [2].

VII. CICLO DE RELACIONAMENTO ENTRE EAS

Normalmente, em qualquer situação e tipo de sistema em que esteja instalado, um EA não existirá isoladamente. Em particular, em um contexto de redes autônomicas, os EAs de cada elemento de rede devem se relacionar uns com os outros de forma intensa, de modo a controlar principalmente os enlaces que os ligam. Além disso, a interação entre EAs é fundamental para realização de compartilhamento de recursos e serviços necessários para se manter a produtividade e qualidade dos serviços de auto-gerenciamento providos. Assim como as tarefas de se criar, embutir e monitorar um EA podem ser modelada como um ciclo de vida, as atividades e etapas ligadas ao estabelecimento, manutenção e término de um relacionamento entre EAs também pode ser visto como um ciclo de relacionamento. Cada estágio deste ciclo possui seu próprio conjunto de desafios e requisitos de padronização [2].

Exemplos de estágios: especificação de serviços ofertados e requisitados; localização de serviços e clientes; negociação do relacionamento entre EAs; provisionamento de recursos e serviços; operação; terminação.

VIII. GERÊNCIA EM REDES AUTONÔMICAS

As redes autônomicas devem implementar uma série de serviços de auto-gerenciamento para assegurar que suas tarefas serão realizadas de acordo com os objetivos de uma rede desse tipo, ou seja, de forma transparente, otimizada, contínua e contando com pouca ou nenhuma intervenção humana. Além disso, estes serviços devem permitir que tais redes realizem aprendizado de acordo com as experiências obtidas e resultados encontrados. Existem quatro serviços básicos que todo sistema autônomico deve implementar: auto-configuração, auto-otimização, auto-cura e auto-proteção.

- 1) Auto-configuração: uma rede ou sistema distribuído mal configurado não é capaz de realizar com precisão suas tarefas;
- 2) Auto-otimização: vários parâmetros ligados ao desempenho e qualidade de serviço devem ser ajustados periodicamente e de forma correta para que elas operem de forma otimizada;
- 3) Auto-cura: as redes autônomicas serão capazes de detectar, diagnosticar e consertar problemas localizados resultantes de defeitos ou falhas de software ou hardware. Assim, pode-se dizer que a auto-cura é formada por dois outros serviços: auto-diagnóstico e auto-recuperação;
- 4) Auto-proteção: as redes autônomicas se defenderão em dois sentidos: (i) defesa do sistema como um todo contra problemas de larga escala e correlacionados, causados por ataques maliciosos e (ii) falhas em cascata que permanecem incorretas por medidas de auto-cura. Também será necessário que estas redes antecipem

problemas baseados em relatórios anteriores e tomem as medidas para evitá-los ou minimizá-los.

IX. GERÊNCIA BASEADA EM POLÍTICAS (PBNM)

O gerenciamento baseado em políticas (PBNM) é uma abordagem utilizada para a automatização de tarefas ligadas à gerência de redes, que tem crescido e se popularizado nos últimos anos. Os principais componentes desta abordagem são as políticas, que podem ser vistas como planos construídos para alcançar objetivos, guiar o comportamento de uma rede ou sistema e controlar acesso aos recursos. Uma política também pode ser considerada uma especificação persistente de um conjunto de ações a serem executadas no futuro ou mesmo uma atividade regular em andamento. A aplicação de políticas no contexto de redes com o objetivo de se obter gerenciamento, operação e controle do sistema automatizados caracteriza o PBNM. Políticas podem ser projetadas e aplicadas para grupos específicos de elementos de rede, recursos, serviços e usuários e podem estar relacionadas às diversas áreas funcionais (configuração, segurança, falhas, desempenho e contabilização) e níveis de gerenciamento (elemento de rede, gerência de elemento de rede, gerência de rede, gerência de serviço e gerência de negócio) [3].

O provisionamento de qualidade de serviço e a realização de engenharia de tráfego são duas importantes áreas de utilização do gerenciamento baseado em políticas. Para realização de um uso mais efetivo e abrangente desta abordagem, torna-se necessário a definição e padronização de arcabouços e modelos conceituais, funcionais e de informação. Vários grupos de pesquisa acadêmicos e empresariais têm trabalhado na construção de um padrão que permita a melhoria da escalabilidade do gerenciamento de redes e facilidade na distribuição de políticas, inclusive em aplicações que utilizem redes compostas por equipamentos e soluções desenvolvidas por diferentes fabricantes. O uso do PBNM já possui grande importância no gerenciamento de redes atualmente, principalmente em contextos de grandes escalas e diferentes níveis de complexidade e qualidade de serviço. Ele permite a automatização de tarefas trabalhosas e repetitivas. Com a evolução destes sistemas de gerenciamento, as políticas utilizadas se tornaram cada vez mais sutis e de alto-nível, independentes das tecnologias e algoritmos utilizados pela rede. A realização das tarefas passará então de automática para autônomicas, e os administradores terão papel colaborativo na administração dos elementos da rede.

As políticas podem ser, em geral, separadas em dois grandes grupos: políticas de obrigação e políticas de autorização. No primeiro grupo, as políticas são regras com um formato condição-ação, engatilhadas por um evento, e podem ser utilizadas para se definir condições para reserva de recursos da rede, mudança de estratégias de enfileiramento, carregamento de código em roteadores ou reconfiguração de dispositivos programáveis. Já no segundo grupo as políticas são usadas para se definir quais serviços ou recursos um elemento da rede (físico ou lógico) pode acessar [4].

Atualmente, uma das mais importantes arquiteturas de gerenciamento baseado em políticas é a desenvolvida pela

Engineering Task Force (IETF) / Distributed Management Task Force (DMTF). O arcabouço de políticas proposto por este grupo é composto por quatro elementos:

- 1) Ferramenta de Gerenciamento (MT): permite que administradores definam as políticas a serem utilizadas dentro da rede;
- 2) Repositório de políticas (PR): utilizado para armazenar políticas geradas pelas ferramentas de gerenciamento. A forma de armazenamento deve seguir algum padrão definido pelo Policy Framework Working Group por questões de compatibilidade e interoperabilidade entre produtos de diferentes fabricantes;
- 3) Policy Decision Point (PDP): ponto intermediário que se comunica com o repositório, recupera e interpreta as políticas armazenadas e toma decisões baseadas nestas. Além disso, detecta conflitos entre as políticas, recebe requisições por decisões, determina quais políticas são relevantes, aplicando-as e retornando resultados. Envia políticas para o PEP.
- 4) Policy Enforcement Point (PEP): dispositivo capaz de aplicar e executar diferentes políticas, recebidas através de comunicação com PDP. Executa ações baseadas nas condições atuais da rede.

Considerando o contexto das redes autônomas, cercado pela complexidade e heterogeneidade de diversos componentes construídos por diferentes fabricantes se comunicando, seria interessante utilizar PBNM para alcançar o objetivo de controlar e supervisionar a rede com o mínimo de intervenção humana. Neste caso, os recursos computacionais podem ser guiados para seguirem certas regras e dinamicamente configurados para que possam alcançar certos objetivos e reagir mais apropriadamente de acordo com o ambiente que os cercam. A necessidade de construção das redes autônomas levou as comunidades científicas e empresariais a buscar arcabouços de gerenciamento que vão além da manipulação direta de dispositivos e sistemas de rede. Uma das abordagens capaz de suprir esta necessidade é exatamente o gerenciamento baseado em políticas. As políticas utilizadas em uma rede autônoma são diferentes daquelas tradicionais, uma vez que devem definir apenas o que deve ser realizado e nunca como realizar as ações envolvidas. Esse tipo de política é chamada “Política de Negócio”, e provê aos administradores da rede autônoma, uma grande independência em relação às tecnologias, recursos físicos e algoritmos utilizados. Os EAs instalados nos elementos de rede possuem uma máquina de política, responsável por armazenar as políticas de negócio e transformá-las em um conjunto de ações diretamente aplicáveis (políticas tradicionais) sempre que necessário.

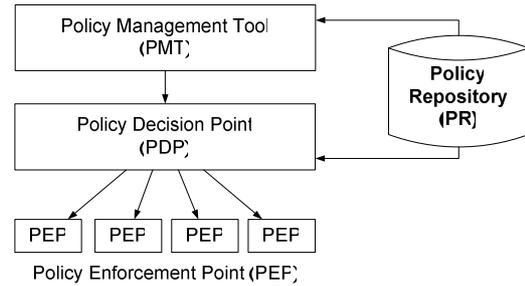


Fig. 4. Visão geral arquitetura IETF/DMTF.

X. CONCLUSÃO

A computação autônoma define elementos capazes de gerenciar a si próprios com pouca ou nenhuma intervenção humana, implementando para tal uma série de serviços autônomos tais como auto-configuração, auto-otimização, auto-proteção e auto-cura. O uso da computação autônoma em diversos tipos de sistemas, redes, equipamentos e até mesmo softwares é motivado principalmente pelo aumento da complexidade neste ambientes e conseqüente necessidade em se realizar um controle desta. Além disso, a abrangência e conectividade dos sistemas computacionais atuais têm aumentado significativamente, levando a um cenário de crescente heterogeneidade, com sistemas formados por soluções de hardware e software produzidas por diferentes fabricantes e que devem trabalhar de forma integrada, transparente e contínua. O controle da complexidade e heterogeneidade é um tarefa de difícil realização mesmo para uma equipe de profissionais experientes e especializados. Além disso, formar uma equipe deste tipo, mantendo-a atualizada, motivada e trabalhando com baixos níveis de erros é em si uma tarefa difícil. Neste caso, estamos chegando cada vez mais próximos de uma situação em que será virtualmente impossível que o ser humano gerencie os sistemas computacionais sem que os mesmos forneçam auxílio ou intervenção. Será necessário delegar a tarefa de controle e supervisão para as próprias máquinas, no intuito de liberar o ser humano da posição de controlador e colocá-lo como supervisor.

REFERÊNCIAS

- [1] Horn, P. (2001). IBM autonomic computing manifesto. Available at www.ibm.com/autonomic.
- [2] Kephart, J. O. and Chess, D. M. (2003). The vision of autonomic computing. *IEEE Computer*, 36(1):41-50.
- [3] Chadha, R., Lapiotis, G., and Wright, S. (2002). Policy-based networking. *IEEE Network*, 16(2):8-9. (Guest Editorial).
- [4] Damianou, N., Bandara, A. K., Sloman, M., and Lupu, E. (2002). A survey of policy specification approaches. <http://www.doc.ic.ac.uk/~mss/MSSPubs.html>. Department of Computing, Imperial College of Science Technology and Medicine.
- [5] Braga, T. R. M., Silva, F. A., Ruiz, L. B., Assunção H. P. (2006). SBRC 2006, Capítulo 4: Redes Autônomas.

QUESTÃO

Quais seriam os benefícios de se utilizar uma rede autônoma? Por que as operadoras e grandes empresas estão buscando soluções utilizando este novo paradigma?