A Ciência das Redes no combate ao crime e na proteção da infraestrutura crítica para a sociedade.

Gustavo Vasconcellos Cavalcante e Mamede Lima-Marques

***Resumo*— Se pudéssemos escolher uma palavra para resumir a sociedade do século XXI, esta palavra deveria ser "conectada". Nós crescemos sem perceber a imensa interligação de redes necessária para nosso moderno estilo de vida. As organizações criminosas se associam em redes sociais criminais e terroristas buscando falhas nas redes de infraestrutura, conseguindo assim causar danos inimagináveis, devido a propagação deste dano na rede. Para que o seu combate seja feita de forma eficiente é necessário a compreensão das principais propriedades da estrutura de rede. Durante a última década, diversas pesquisas foram feitas por pesquisadores de diversas áreas: Física, Ciência da Computação, Sociologia, Matemática, Ciência da Informação, etc. Na época da escrita deste artigo estamos participando do alvorecer de uma nova ciência - A "Ciência das Redes". Neste artigo apresentaremos algumas propriedades das redes, estudadas pela Ciência das Redes, que auxiliam o combate ao crime.**

***Termos de Indexação*—Ciência das Redes, Infraestrutura Crítica, Propriedades das Redes, Redes criminais.**

Abstract—If we could choose one word to summarize our society in beginning of the twenty-first century, this word should be "connected". We grew up without realizing the enormous interconnection of networks necessary for our modern lifestyle. Criminal organizations associate in criminal and terrorist social networks seeking weaknesses in infrastructure networks, thereby causing unimaginable damage. It is necessary to understanding the properties of the network to fight against the crime. During the last decade, several studies were made by researchers from several areas: Physics, Computer Science, Sociology, Mathematics, Information Science, etc. Nowadays, we are participating in the dawn of a new science - the "Network Science." This article discusses some properties of networks, studied by the Network Science which can help to combat crime.

Index Terms— Science of Networks, Critical Infrastructure, properties of networks, criminal networks.

Gustavo V. Cavalcante é doutorando em Ciência da Informação na Universidade de Brasília . (e-mail:gustavoc@ unb.br).

Mamede Lima-Marques é professor titular do departamento de Ciência da Informação da Universidade de Brasília (e-mail: mamede@unb.br).

I. INTRODUÇÃO

Se pudéssemos escolher uma palavra para resumir a sociedade do século XXI, esta palavra deveria ser "conectada". Nós crescemos sem perceber a imensa interligação de redes necessária para nosso moderno estilo de vida. Somente quando existem problemas no fornecimento de algumas destas facilidades é que começamos a perceber a existência de redes para: eletricidade, água, gás, TV a cabo, telefone, comunicação de dados, etc. Estas redes nos permitem contatar pessoas, objetos, produtos ou serviços em todo o planeta.

A transmissão de uma determinada doença está diretamente relacionada à constituição das redes de conexão entre as pessoas. Atualmente, assistimos, estupefatos, o espalhamento veloz da "gripe suína". Para compreendermos o mecanismo de alastramento desta doença é necessária a compreensão das propriedades das redes.

O termo "redes" pode ser utilizado em sentidos menos óbvios. Os terroristas formam redes entre si com o objetivo de organizar um determinado atentado. Autores de um determinado ramo da ciência citam uns aos outros formando uma rede de citações. Organizações humanas formam redes ente si, possíveis de serem visualizados em organogramas e outros gráficos organizacionais. Nosso cérebro é uma rede de alta complexidade constituída pela interligação de neurônios. Castells [1] caracteriza a nossa sociedade atual como "a sociedade em rede".

Atualmente os mais perigosos agressores, desde a Al-Qaeda, até as organizações criminosas como o Primeiro Comando da Capital (PCC), não são organizações militares com divisões pré-estabelecidas, são redes auto-organizadas do terror. Na ausência de sinais familiares de organização e ordem, são freqüentemente chamadas de "exércitos irregulares". Para que o seu combate seja feita de forma eficiente é necessário a compreensão das principais propriedades da estrutura de rede.

A nossa sociedade está imensamente dependente das redes. As organizações criminosas se associam em redes sociais criminais e terroristas buscando falhas nas redes de infraestrutura que fornecem serviços fundamentais a nossa

sociedade, tais como água, eletricidade, redes de computadores, dentre outras, conseguindo assim causar danos inimagináveis, devido à propagação deste dano na rede. Problemas causados em uma determinada localidade podem espalhar-se e causar danos a vários quilômetros de distância. Arquilla e Ronfeldt nos alertam no livro *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy* [2] para a ameaça destes grupos às redes de transporte e comunicação.

Durante a última década, diversas pesquisas foram feitas por cientistas de diversas áreas: Física, Ciência da Computação, Sociologia, Matemática, Ciência da Informação, etc. Na época da escrita deste documento estamos participando do alvorecer de uma nova ciência - A "Ciência das Redes". Esta ciência, que por sua própria natureza já nasce com característica transdisciplinar, vem procurar buscar respostas aos desafios do novo milênio. Neste artigo mostraremos fundamentos descobertos pela Ciência das Redes aplicáveis no combate ao crime e na proteção da infraestrutura crítica.

II. REDES

As redes são descritas como um conjunto de itens conectados entre si. Estes itens são chamados de vértices ou nós, e as conexões entre eles são chamadas de arestas. Na literatura matemática, redes também são chamadas de grafos. Na Figura 1 pode-se observar um exemplo de uma rede.

O conceito de redes permeia diversas áreas da ciência apresentando um vocabulário peculiar em cada uma destas. O que neste trabalho é chamado de nó, ou vértice também é conhecido como ator (Sociologia) e sítio (Física). O que aqui é chamado de ligação ou aresta, também é conhecido como laço (Sociologia), ligação (Física) e como *link* na Ciência da Computação [3].

Sistemas que tomam a forma de redes estão presentes de maneira abundante na natureza, desde o nível subatômico até as mais complicadas estruturas materiais e sociais concebidas pela humanidade. Como exemplo, é possível citar: a Internet, a *World Wide Web*, redes sociais e outras conexões entre indivíduos, redes organizacionais, redes neurais, redes metabólicas, cadeias alimentares, redes de citações e artigos científicos, etc. [4] . A imagem de redes permeia a cultura moderna.

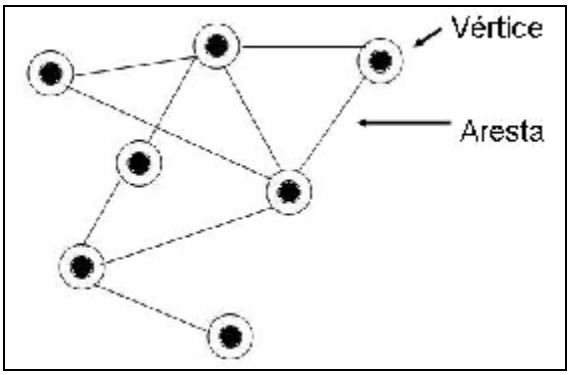

Figura 1 - Exemplo de uma rede pequena com 7 vértices e 9 arestas.

É possível observar que, em grande parte das vezes, o estudo dos elementos constituintes de uma rede é insuficiente para explicar o seu comportamento. Existem variáveis importantes às ligações e às formas de construção da rede. Propriedades fundamentais da rede estão presentes em sua própria topologia, na descrição física ou geométrica das mesmas. Estes elementos são perdidos quando o foco deixa de ser a rede e passa a incidir apenas nos itens. Examinar apenas um neurônio não é o suficiente para descrever o cérebro, da mesma forma que a análise de um indivíduo ou computador não é suficiente para permitir conclusões amplas a respeito, respectivamente, das sociedades e da Internet.

Cada vez mais, é possível perceber que nada acontece isoladamente. A maioria dos eventos e fenômenos está conectada, causados pela interconexão de imenso número de peças neste complexo quebra-cabeça universal. Atualmente, cientistas de várias áreas do conhecimento têm descoberto uma que a complexidade possui uma arquitetura peculiar. Está se descobrindo a importância das redes [5].

As redes têm a singularidade de atuarem como estruturas emergentes, ou seja, próprias de sistemas complexos e dinâmicos. Em outras palavras, as redes revelam estruturas sociais (padrões de interação) que podem evoluir de forma não-linear e, portanto, produzir conseqüências imprevistas sobre determinado contexto. O importante é que essa ação emergente tem implicações nas macro e micro-dimensões, e a compreensão desse processo crítico nos aproxima muito mais da realidade cotidiana.

Nos últimos anos, um grupo diverso de cientistas, incluindo físicos, biólogos, matemáticos, sociólogos, cientistas da computação, dentre outros, vêm construindo um novo campo de pesquisa conhecida como redes complexas, teoria das redes ou mais recentemente de “Ciência das Redes” [6], [7].

Trata-se de um tema multidisciplinar em que físicos, economistas, biólogos, sociólogos, engenheiros, cientistas de computação e psicólogos, dentre outros, têm se debruçado. A idéia principal por trás destes estudos refere-se ao fato de que

redes tanto naturais (por exemplo, rede de células) como artificiais (como redes de relacionamento entre pessoas) possuem uma série de características em comum.

Segundo Barabási e Albert [8], as redes complexas descrevem um grande número de sistemas na natureza e na sociedade e que está cada vez mais sendo reconhecido que a topologia e a evolução das redes reais são governadas por princípios robustos de organização.

Abre-se um campo de pesquisa empolgante e promissor em termos de aplicações nas mais diversas áreas.

III. Fenômeno do mundo pequeno

O "Fenômeno do mundo pequeno" (também conhecido como "Efeito do mundo pequeno") é a hipótese que cada pessoa possa está ligado a qualquer outra pessoa no mundo por uma cadeia curta de relações sociais. Este conceito nasceu a partir da experiência do mundo pequeno, realizada em 1967, pelo psico-sociólogo Staley Milgram.

A idéia do mundo pequeno já era popular na sociologia e na psicologia. O primeiro experimento científico nesta área foi realizado pelo psicólogo social Stanley Milgram. O professor Milgram também é bastante conhecido por seus experimentos polêmicos na psicologia experimental sobre os conflitos existentes entre obediência à autoridade e consciência pessoal [9].

Milgram publicou vários artigos sobre seus experimentos sobre seus experimentos sobre o mundo pequeno, sendo o primeiro e mais conhecido escrito para a revista *Psychology Today* [10]. Depois de realizar seus experimentos iniciais, Milgram começou um trabalho de cooperação com Jeffrey Travers e repetiu os experimentos de forma mais criteriosa.

O objetivo do experimento foi conhecer qual o número de pessoas que seria necessário para interligar quaisquer dois indivíduos escolhidos ao acaso nos Estados Unidos. Para realizar este experimento, Milgram utilizou o correio americano. Inicialmente foram selecionados os indivíduos-alvo e um grupo de pessoas que seriam o ponto de partida para o experimento. Em seguida, um pacote foi enviado a cada pessoa que seria o ponto de partida do experimento. Neste pacote havia um livreto em que cada participante responderia sobre algumas questões pessoais. O objetivo era que cada participante tentasse encaminhar o pacote ao destinatário final. Se este não fosse conhecido do remetente, o remetente enviaria a algum conhecido que ele achasse que pudesse entregar o pacote ao destinatário final.

Migram nunca utilizou a expressão "6 graus de separação". Esta expressão se tornou popular devido a peça teatral de John Guare com este título na década de 1990. Posteriormente esta peça foi transformada em um filme de sucesso, ajudando na popularização desta expressão.

É importante observar que o estudo de Milgram e Travers foi restrito aos Estados Unidos. Na peça é ampliado o escopo para todo o mundo. Mesmo assim, a idéia de um pequeno grupo de pessoas a nos conectar é uma idéia intrigante.

Existem numerosas críticas metodológicas ao experimento de Milgram. Como exemplo, é possível citar Kleinfeld [11], que argumenta que o trabalho de Milgram apresenta distorções devido à escolha dos participantes e a alta taxa de insucesso ao para atingir às pessoas-alvo. Outra crítica que é feita ao experimento está na incapacidade dos participantes de saberem realmente qual seria o menor caminho para atingir o alvo, tendo em vista a incapacidade de estes possuírem um mapa completo de todas as relações sociais entre os indivíduos.

Em 2001, Ducan J. Watts, um professor da Universidade de Columbia, tentou recriar o experimento de Milgram na Internet, usando agora mensagens de e-mail, como "pacote" a ser entregue. Este experimento, com 48000 remetentes e 19 pessoas-alvo (em 157 países). Surpreendentemente, Watts encontrou que o número médio de intermediários foi 6.

Atualmente, onde existem muitos sítios de relacionamento social é possível observar este fenômeno. Sítios como *Orkut*, *MySpace* e Facebook, dentre outros, nos mostram a rede de relacionamento entre pessoas e a quantas pessoas estamos ligados, devido aos nossos amigos e conhecidos. Vemos que as distâncias são pequenas entre os indivíduos.

A descoberta de Milgram é notável por duas grandes descobertas:

1. Cadeias curtas entre os nós são uma propriedade comum nas redes.
2. Os indivíduos são capazes de localizar estas cadeias.

IV. Concentradores (*hubs)*

No livro O Ponto de Desequilíbrio [12], o escritor Malcom Gladwell apresenta uma pesquisa destinada a medir, de uma maneira simples, o grau de sociabilidade de uma pessoa. Este teste foi realizado apresentando uma lista de 248 sobrenomes retirados de uma lista telefônica de Manhattan. As pessoas deveriam apontar quantas pessoas elas conheciam com aqueles sobrenomes.

O resultado interessante desta pesquisa foi à variação entre as pontuações máximas e mínimas. Mesmo em um grupo altamente homogêneo, com idade, educação e renda altamente semelhantes, a pontuação mínima foi de 16 e a mais alta de 108. Abaixo é possível observar o comentário de Gladwell sobre a descoberta dos conectores:

"No total fiz o teste com mais de quatrocentas pessoas. Dessas, duas dezenas ou mais tiveram pontuação abaixo de 20, oito acima de 90, e quatro ou mais acima de cem. A outra coisa surpreendente é que encontrei gente com pontuações altas em todos os grupos sociais que pesquisei... Pulverizado entre todas as camadas sociais, em outras palavras, existe um pequeno número de pessoas com um talento extraordinário para fazer amigos e conhecidos. São os Conectores." [12]

Os conectores, muitas vezes, conhecem pessoas que permeiam uma ampla faixa de classes sociais, culturais e geográficas. Os conectores são caracterizados por um pequeno número de pessoas socialmente prolíficas que mantém unida toda uma rede social. Fofocas, rumores, notícias sobre a abertura de novos empregos, e outras informações tendem a se espalhar em uma rede social por meio dos conectores.

Em várias outras redes do mundo real é possível observar estes nós com um alto grau de ligações, são os chamados *hubs* concentradores).

Figura 2 - Rotas aéreas domésticas brasileiras [13].

Hubs são pontos, nós ou entroncamentos, normalmente com grande número de ligações. Hubs são fenômenos característicos de um grande número de redes. A descoberta dos hubs colocou em cheque tudo o que se sabia anteriormente sobre redes, pois anteriormente se achava que na natureza a distribuição das ligações seguiria uma distribuição mais igualitária de ligações, como ocorre, por exemplo, em redes aleatórias.

Na Figura 2 é possível observarmos a formação de hubs nas rotas aéreas de uma companhia aérea brasileira. Cidades como São Paulo, Brasília, Rio de Janeiro e Salvador funcionam nesta rede como hubs. Os hubs são os responsáveis pela interligação do sistema e quaisquer falhas operacionais ocorridas nestes, podem apresentar uma séria repercussão em todo o sistema.

Os *hubs* determinam a estabilidade, comportamento dinâmico, robustez e tolerância a erros e ataques em uma rede do mundo real.

V. Redes Livres de Escala

Por mais de 40 anos a ciência lidou com todas as redes complexas como se elas fossem completamente randômicas. Neste paradigma randômico, mesmo com a distribuição aleatória de ligações entre os nós, o resultado final seria altamente democrático: a maioria dos nós teria aproximadamente o mesmo número de ligações.

Uma das descobertas mais importantes no estudo das redes complexas foi a descoberta que a estrutura, em diversas redes encontradas na natureza, são redes livres de escala. Em uma rede livre de escala, alguns nós se encontram altamente conectados, ou seja, possuem um grande número de ligações com outros nós, enquanto o grau de conexão de quase todos os outros nós é bastante baixo. Isso implica que certos nós possuem uma quantidade enorme de conexões com outros nós, enquanto a maioria dos nós tem poucas conexões. Os nós mais visitados, denominados pólos de irradiação e convergência, podem ter centenas, milhares ou mesmo milhões de ligações. Nesse sentido, a rede parece não ter uma escala. Estas redes são denominadas livres de escala, pois mostram uma distribuição heterogênea dos graus dos nós, ou seja, não apresentam um grau médio típico.

Nos últimos anos, os pesquisadores têm descoberto que inúmeras redes apresentam estas características de serem livres de escala:

- ambientes hipermídia, tais como a World Wide Web
- a Internet
- redes biológicas, tais como redes de interações entre proteínas no corpo humana
- redes sociais
- redes de citações científicas
- rede de relacionamento sexuais entre pessoas
- Redes de espalhamento de doenças

As redes livres de escala permitem compreender o funcionamento das redes que possuem um crescimento dinâmico como a Web. Estas são redes crescem a partir de pouco nós, e irão resultar em redes maiores com o acréscimo e a supressão de nós na rede

VI. Ciência das Redes no Combate ao Crime e na Proteção de Infraestrutura Crítica

O conceito de ataque a uma rede ao invés de um ataque a um determinado ativo não é novidade. Esta estratégia é a utilização da destruição de um componente que possibilite a destruição de todo um sistema. Por exemplo, na Segunda Guerra Mundial os aliados bombardearam a única fábrica que produzia rolamentos (rolimãs) na Alemanha. Este ataque paralisou a produção de numerosas máquinas de guerra, tais como: aviões, tanques de guerra, veículos para transporte de tropas, navios, etc. Neste caso, esta fábrica era um elemento essencial de um sistema maior e todo o sistema dependia apenas deste componente..

Um profundo entendimento do processo dinâmico das redes tem levado a um aumento da atenção dada a

estabilidade, otimização e a proteção das redes de infraestrutura crítica tais como: redes de computadores e de telecomunicações, redes de distribuição de energia elétrica e água, redes de distribuição de combustíveis, etc. Atualmente, esta é uma questão fundamental para a segurança nacional e para a avaliação da confiabilidade das redes de infraestrutura crítica necessárias ao nosso moderno estilo de vida.

Uma das primeiras abordagens feita pela Ciência das Redes foi analisar de forma empírica a robustez destas redes gigantes no caso de falhas. Este estudo foi realizado a partir da retirada de nós ou de ligações destas redes. As simulações realizadas em redes complexas livre de escala demonstraram que estas são muito robustas em relação à remoção aleatória de alguns dos seus nodos ou ligações. Pesquisas [14] [15] indicam que as redes livres de escala com a Internet são bem resistentes a falhas randômicas. Os cientistas chegaram, em simulação, a retirar 80% das ligações e as 20% restantes permaneceram conectadas. Por outro lado estas redes são extremamente frágeis ao ataque direto aos seus principais hubs. O entendimento das propriedades de tais redes nos leva ao entendimento que estas redes são altamente resistentes a falhas acidentais e muito vulneráveis a ataques intencionais e a sabotagem. Com este resultado observa-se a imensa fragilidade das redes para ataques dirigidos aos seus concentradores (*hub)* e a sua robustez para ataques aleatórios aos seus nós.

O conhecimento do chamado Fenômeno do Mundo Pequeno (também conhecido como Efeito do Mundo Pequeno) é de fundamental importância para o combate a epidemias tanto de pragas biológicas e cibernéticas. Essa característica, que está presente em muitas redes do mundo real, fragiliza a rede e dificulta o combate ao espalhamento de pragas.

Outro cuidado que devemos levar em consideração na proteção de infraestrutura crítica é o de sua proteção para falhas em cascata nas redes. Pequenas falhas locais podem se propagar pelas redes e grandes danos em uma larga dimensão geográfica. Terroristas podem utilizar esta vulnerabilidade para produzir enormes danos à população.

Estudo mais recente [16] demonstram que a infraestrutura de sistemas críticos pode ser protegida eficientemente por meio da proteção de apenas poucos nós e ligações.

VII. VISUALIZAÇÃO DAS REDES

A utilização de mecanismos de visualização de estruturas em rede não é novidade na Criminalística. Atualmente existem diversos programas de computador capazes de representar um problema complexo e possibilitar a visualização deste em uma rede possibilitando a obtenção de informações desconhecidas antes desta representação. Além disto, existe a possibilidade da realização de cruzamentos de dados para obtenção de informações previamente desconhecidas e a identificação dos *hubs*. A correta identificação destes elementos torna mais eficaz o combate ao crime.

Esta mesma abordagem pode ser utilizada no combate ao terrorismo e as organizações criminais. Estas organizações podem ser representadas como uma rede: os terroristas/criminosos são os nós de tais redes e as ligações representam os relacionamentos de interação-colaboração entre pares de terroristas/criminosos. Neste caso os nós críticos do sistema são os alvos que necessitam serem atingidos para causar o colapso desta rede.

VIII. CONCLUSÃO

A Ciência das Redes é uma ferramenta cujo conhecimento é indispensável para o combate ao crime no ambiente complexo em vivemos. Esta ciência traz ferramenta indispensável para o combate ao crime e a proteção a infraestrutura crítica no qual estamos cada vez mais dependentes.

REFERÊNCIAS

[1] M. Castells. *A sociedade em rede - A era da informação economia, sociedade e cultura*.[S.l.]: Ed. Paz e Terra, 2003

[2] J. Arquilla,e D.F. Ronfeldt. *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy*. [S.l.]: Rand Corporation, 2001

[3] J. A. Sanchez. *Dynamics and Toplogy in Complex Networks*. Tese (Doutorado). Departamento de Ciencias de la Naturaleza y Física Aplicada – Universidad Rey Juan Carlos, 2006.

[4] M.E.J. Newman. *The structure and function of complex networks*. SIAM Review, SIAM, v. 45, n. 2, p. 167256, 2003.

[5] AL. Barabasi,. *Linked : how everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life*. New York: Plume, 2003.

[6] AL. Barabasi, et al. *Evolution of the social network of scientic collaboration*s. Physica A:Statistical Mechanics and its Applications, Elsevier, v. 311, n. 3-4, p. 590-614, 2002.

[7] D. Watts. *Six degrees : the science of a connected age*. Primeira edição. Nova York:Norton, 2003.

[8] AL.Barabasi e R. Albert. Statistical *mechanics of complex networks*. Reviews Of Modern Physics, Volume 74, Janeiro 2002.

[9] S. Milgram. *Obedience to authority; an experimental view*. New York,: Harper & Row, 1974. p. 213-218.

[10] S. Milgram. *The small world problem*. Psychology Today, v. 2, p. 6067, 1967.

[11] J. Kleinfeld. *Six degrees: Urban myth?* Psychology Today Magazine, Março/Abril 2002.

[12] M. Gladwell. *O ponto de desequilíbrio (The tipping point)*. Rio de Janeiro: Rocco, 2002.

[13] TAM. Revista Tam Magazine. Novembro 2007. Acessado em Novembro de 2007. Disponível em: <http://www.megamidiagroup.com.br/tammagazine/index2.html>.

[14] R. Albert , H. Jeone e AL. Barabasi. *Error and attack tolerance of complex networks*. Nature, v. 406, n. 6794, p. 378-382, July 2000.

[15] R. Cohen1 , K. Erez1, D. ben-Avraham, e S. Havlin. *Resilience of the Internet to Random Breakdowns*. Phys. Rev. Lett. 85, 4626 – 4628, 2000.

[16] T. G. Lewis, *Critical infrastructure protection in homeland security. : defending a networked nation. John Wiley and Sons, 2006.*

Gustavo Vasconcellos Cavalcante – possui graduação em Ciência da

Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (1997) e mestrado em Ciência da Computação pela mesma universidade (1999). Atualmente é doutorando do Curso de Ciência da Informação da UNB e é Analista de Informática Legislativa – Câmara dos Deputados. Tem experiência na área de Ciência da Computação, Segurança da Informação, Redes de Computadores, Ciência das Redes, Redes Complexas e Arquitetura da Informação.

Mamede Lima-Marques - Possui graduação em Filosofia pela Pontificia Universidade Católica de Campinas (1984), DEA en Informatique - Universite de Toulouse III (Paul Sabatier) (1989), doutorado em Ciência da Computação - Universite de Toulouse III (Paul Sabatier) (1992) pós-doutorado em Lógica Aplicada a Computação - CLE/UNICAMP (1993). Atualmente é Professor Titular da Universidade de Brasília em Ciência da Informação e Diretor do Centro de Pesquisa em Arquitetura da Informação - CPAI (FACE/UnB). Atua no programa de pós-graduação em Ciência da Informação (mestrado e doutorado) na linha de Arquitetura da Informação. Pesquisa nos seguintes temas:arquitetura da informação, sistemas de informação, sistemas baseados em conhecimento e Ciência das Redes.