

Grandes Desafios de Pesquisa em Redes de
Computadores e Sistemas Distribuídos
2013 – 2023



Realização conjunta LARC e CE-RESD/SBC



Coordenação do Seminário

- Elias Procópio Duarte Jr. (LARC) – UFPR
- Ronaldo Alves Ferreira (CE-RES/D/SBC) – UFMS

Comissão de Organização

- Elias Procópio Duarte Jr. – UFPR
- Luciano Paschoal Gasparry – UFRGS
- José Augusto Suruagy Monteiro – UFPE
- Rossana Maria de Castro Andrade – UFC
- Ronaldo Alves Ferreira – UFMS

Comissão de Avaliação

- Bruno Richard Schulze – LNCC
- Edmundo Albuquerque de Souza e Silva – UFRJ
- Elias Procópio Duarte Jr. – UFPR
- Francisco Vilar Brasileiro – UFCG
- Joni da Silva Fraga – UFSC
- José Augusto Suruagy Monteiro – UFPE
- Lisandro Granville Zambenedetti – UFRGS e CTIC/MCTI
- Luciano Paschoal Gasparry – UFRGS
- Nelson Luis Saldanha da Fonseca – UNICAMP
- Ronaldo Alves Ferreira – UFMS
- Rossana Maria de Castro Andrade – UFC

Autores

- Alex Soares de Moura – RNP
- Andrey Elisio Monteiro Brito – UFCG
- Antonio Roberto Mury – LNCC
- Bruno Richard Schulze – LNCC
- Carina Teixeira de Oliveira – UFC
- Carlos Alberto Vieira Campos – UNIRIO
- Carlos André Guimarães Ferraz – UFPE
- Cesar Augusto Cavalheiro Marcondes – UFSCar
- Christian Esteve Rothenberg – CPqD
- Dorgival Olavo Guedes Neto – UFMG
- Edmundo Albuquerque de Souza e Silva – UFRJ
- Elias Procópio Duarte Jr. – UFPR
- Flavio de Oliveira Silva – UFU
- Francisco Vilar Brasileiro – UFCG
- Iara Machado – RNP
- Joberto Sérgio Barbosa Martins – UNIFACS
- José Augusto Suruagy Monteiro – UFPE
- Luciano Paschoal Gasparly – UFRGS
- Marcos Rogério Salvador – CPqD
- Marinho Pilla Barcellos – UFRGS
- Michael Anthony Stanton – RNP
- Nazareno Andrade – UFCG
- Noemi Rodriguez – PUC-RIO
- Paulo André da Silva Gonçalves – UFPE
- Ronaldo Alves Ferreira – UFMS
- Rossana Maria de Castro Andrade – UFC
- Sidney Cunha de Lucena – UNIRIO
- Valter Roesler – UFRGS

Prefácio

Este relatório sintetiza os resultados do Seminário “Grandes Desafios de Pesquisa em Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – GranD-ReSD”, realizado em Brasília no dia 5 de maio de 2013. O seminário, promovido pela Comissão Especial de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (CE-RES-D) da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e pelo Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC), reuniu 28 pesquisadores brasileiros e teve como objetivos discutir e identificar os principais desafios de pesquisa para os próximos 10 anos, nas áreas de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos.

O processo de identificação dos desafios foi realizado em três etapas: uma chamada pública de propostas de temas de desafios de pesquisa para toda a comunidade; um seminário presencial durante o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2013); e uma reunião da Comissão Organizadora para a edição deste documento. O programa do seminário presencial, por sua vez, foi dividido em quatro etapas. Inicialmente, os trabalhos selecionados foram apresentados oralmente. A seguir, houve uma discussão, conduzida pelos Coordenadores do seminário, para consolidação das propostas apresentadas e inclusão de temas ainda não cobertos. Após ampla discussão, chegou-se a cinco desafios consensuais apresentados neste documento. Em seguida, os participantes foram divididos em quatro grupos de trabalho, que resumiram as ideias principais e listaram tópicos de pesquisa em cada um desses desafios. Os participantes dos grupos de consolidação e os autores das propostas submetidas são os autores listados neste documento. Para finalizar, os desafios e seus tópicos foram apresentados para todos os participantes presentes.

A Comissão de Organização do Seminário agradece a todos os que enviaram suas propostas e, em particular, aos participantes, pelo trabalho realizado.

Abril de 2014

A Comissão de Organização

1. Introdução

A Comissão Especial de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (CE-RESD) da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)¹ e o Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC)² realizaram em 5 de maio de 2013, em Brasília, o Primeiro Seminário “Grandes Desafios de Pesquisa em Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – Grand-ReSD”. Este seminário foi realizado em conjunto com o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2013), evento nacional que congrega pesquisadores dessas áreas.

O objetivo desta iniciativa foi planejar e direcionar a pesquisa em Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos para um período de 10 anos (de 2013 a 2023), levando em consideração os desafios acadêmicos, alinhados com as necessidades do governo e da indústria. Mais especificamente, os objetivos do seminário foram:

- Apontar linhas gerais de uma agenda de pesquisa para as áreas de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, contemplando simultaneamente o avanço científico dessas áreas em âmbito e qualidade internacionais e a solução de problemas de relevância para o País.
- Gerar subsídios para o estabelecimento de políticas públicas e para a formulação de novas linhas de fomento em agências de financiamento de pesquisa no País.
- Promover a interação entre os grupos de pesquisa, o governo e a indústria, por meio de seminários multidisciplinares, que aprofundem os temas identificados e produzam soluções inovadoras.
- Colaborar com o governo federal para o alcance das metas da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI)³ e do Programa TI Maior⁴.

Esta iniciativa do LARC e da CE-RESD/SBC seguiu o modelo dos seminários já realizados pela SBC, que culminaram com o lançamento dos Grandes Desafios em Computação no Brasil em 2006⁵. Visando a tornar o processo participativo, a Comissão Organizadora do Seminário Grand-RESD lançou uma chamada pública nas principais listas de Computação do País para que pesquisadores das áreas de Redes e Sistemas Distribuídos propusessem os desafios. Além disso, o seminário foi aberto a todos os segmentos interessados: academia, governo e indústria.

Os seguintes trabalhos foram selecionados a partir das submissões à chamada pública:

- “Serviços e Infraestrutura de TIC que Tornem nossas Cidades Inteligentes, e portanto mais Sustentáveis, Inclusivas e Confortáveis”, Nazareno Andrade, Francisco Brasileiro e Andrey Brito;
- “Uma Nova Disciplina de Redes”, Marcos Rogério Salvador e Christian Esteve Rothenberg;
- “Arquiteturas de Rede para a Internet do Futuro (ARIF)”, Michael Anthony Stanton;

¹ <http://www.sbc.org.br/>

² <http://www.larc.org.br/>

³ <http://livroaberto.ibict.br/docs/218981.pdf>

⁴ <http://timaior.mcti.gov.br/>

⁵ http://www.sbc.org.br/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=195&task=view.download&catid=50&cid=11

- “Educação”, Edmundo Albuquerque de Souza e Silva;
- “Computação Científica na Nuvem”, Bruno Schulze e Antonio Roberto Mury.

Durante o Seminário houve uma discussão para a consolidação desses trabalhos e inclusão de temas que não estavam cobertos. Os cinco desafios propostos, descritos nas seções seguintes, foram:

1. Difusão e Acesso ao Conhecimento de Forma Eficiente, Robusta e Escalável;
2. Soluções de Fácil Acesso a Recursos e Serviços Computacionais Distribuídos em Larga Escala;
3. Redes e Serviços para Integrar Dispositivos Heterogêneos e Tornar o Ambiente Sustentável, Inclusivo e Confortável;
4. Internet 2020;
5. Defesa da Infraestrutura de Comunicação.

2. Difusão e Acesso ao Conhecimento de Forma Eficiente, Robusta e Escalável

Um dos grandes desafios para o País como um todo consiste na ampliação da capilaridade e da cobertura da Educação com qualidade. É um desafio levar conhecimento sólido e abrangente a curto prazo para um número de estudantes muito além da atual capacidade e do alcance das nossas instituições de ensino. Há uma crescente demanda por educadores para atender às necessidades da educação no Brasil no modelo atual de ensino presencial, considerando principalmente sua extensão geográfica e a distribuição de educadores pelo País.

Nos últimos anos, têm surgido iniciativas e consórcios universitários, criando cursos online para atender a um vasto número de alunos. Dentre estes, podemos citar como exemplos a Khan Academy⁶, o MIT OpenCourseWare⁷, o consórcio edX⁸, o consórcio CEDERJ⁹ e a Universidade Aberta do Brasil (UAB)¹⁰.

Para atender adequadamente a essa demanda é importante: (i) o desenvolvimento de material educacional multimídia de excelente qualidade; (ii) o acesso livre e aberto de aulas e palestras por meio de vídeos educativos; e (iii) o suporte de tutorias em tempo real para apoio ao processo educacional.

As áreas de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos têm um papel fundamental para dar o suporte tecnológico necessário às aplicações multimídia que fazem uso avançado da rede.

Os tópicos de pesquisa específicos deste desafio incluem:

- novas técnicas de transmissão de informação multimídia de forma confiável, eficiente e escalável, dado o aumento massivo de material multimídia nos últimos anos. Isso pode ser alcançado, por exemplo, por meio de novas arquiteturas de redes como as redes orientadas a conteúdo (*Content Centric Networks* – CCN).
- aplicações multimídia adequadas às novas demandas que surgirão; Por exemplo, permitir a transmissão em tempo real (comunicação síncrona) e gravação de vídeos (para comunicação assíncrona) de forma adaptável às diferentes condições da rede, dos dispositivos e de acordo com o contexto, contemplando ultra-alta, alta, média e baixa resoluções.
- novas técnicas que permitam a instrumentação adequada da infraestrutura e sistemas para entender as complexas interações dos usuários com as aplicações e estas com a base da rede, proporcionando o monitoramento e a análise de informações de interesse.

⁶ <https://www.khanacademy.org/>

⁷ <http://ocw.mit.edu/>

⁸ <https://www.edx.org/>

⁹ <http://cederj.edu.br/fundacao/>

¹⁰ <http://www.uab.capes.gov.br/>

3. Soluções de Fácil Acesso a Recursos e Serviços Computacionais Distribuídos em Larga Escala

Com a expansão dos recursos computacionais disponíveis em rede, como computadores com grande número de processadores e núcleos, além de agregados (*clusters*) e centros de dados (*datacenters*), é preciso garantir aos usuários formas eficientes e flexíveis de acesso a esses recursos. A abstração de *serviços* é uma alternativa promissora para que os usuários utilizem esses recursos computacionais e executem os mais diversos tipos de aplicação, inclusive aqueles com alta demanda computacional. Para isso, os provedores devem ser capazes de organizar grandes aglomerados de recursos computacionais de forma eficiente, o que certamente exigirá o desenvolvimento de soluções escaláveis e de fácil utilização e gerenciamento. As nuvens computacionais materializam essas ideias ao oferecerem diversos serviços, como infraestrutura, plataformas e aplicações. Aspectos como escalabilidade, elasticidade, segurança, privacidade, cumprimento de acordos de qualidade de serviço e flexibilidade de modelos que permitam incorporar os avanços tecnológicos da área são essenciais nesse contexto.

Os tópicos de pesquisa específicos deste desafio incluem:

- utilização de virtualização de máquinas e redes para atender a demandas de infraestrutura a partir de um parque computacional instalado;
- mecanismos de isolamento de recursos demandados por cada usuário de forma transparente como, por exemplo, o isolamento de tráfego de diferentes redes virtuais em um centro de dados;
- soluções de autenticação, controle de acesso, segurança e privacidade garantindo que apenas acessos autorizados sejam permitidos;
- protocolos de comunicação eficientes para o acesso e migração de grandes volumes de dados (*Big Data*), levando também em consideração a conveniência dos usuários;
- novas arquiteturas de rede que atendam às demandas de banda e latência das aplicações de processamento de dados massivos;
- soluções que reduzam o consumo de energia necessário para atender às necessidades dos usuários;
- arcabouços (*frameworks*) que ofereçam abstrações eficientes para o acesso e processamento de dados em ambientes distribuídos em larga escala;
- métodos de orquestração de acessos a recursos geograficamente distribuídos que considerem as demandas dos usuários, os dados necessários à execução de suas requisições, bem como a capacidade e a localização dos recursos computacionais a serem utilizados;
- técnicas de replicação e distribuição de tarefas e dados que considerem recursos disponíveis e solicitações, levando em conta a localização geográfica;
- desenvolvimento de técnicas de processamento de dados em larga escala que ofereçam um compromisso entre exatidão e velocidade de resposta, dado o volume de dados e o custo de uma solução exata em muitos casos;

- desenvolvimento de ambientes orientados a fluxos de dados contínuos (*data streams*), em que o processamento e o armazenamento devem lidar com a natureza dos dados.

No caso específico de uso de *nuvens científicas*, podem ser destacados alguns tópicos importantes como:

- mecanismos eficazes para garantir a qualidade dos serviços e recursos contratados e utilizados;
- técnicas eficientes para utilização de virtualização de recursos específicos (por exemplo, unidades de alto processamento e redes de alta velocidade);
- estratégias de elasticidade para permitir o uso eficiente de recursos compartilhados;
- interoperabilidade entre diferentes ambientes de nuvem, particularmente na interoperação de nuvens públicas e privadas;
- integração do processamento de grandes volumes de dados científicos;
- disponibilização de aplicações na forma de ferramentas (*appliances*).

4. Redes e Serviços para Integrar Dispositivos Heterogêneos e Tornar o Ambiente Sustentável, Inclusivo e Confortável

A “Internet das Coisas” vem se expandindo para conectar dispositivos dos mais diversos tipos. Há previsões de que até 2020 cerca de 26 bilhões de dispositivos estejam conectados¹¹. As aplicações variam desde controle de estoque até sistemas de monitoramento de grandes aglomerados urbanos. Parte das tecnologias usadas na infraestrutura da Internet das Coisas é a das redes de sensores, em que pequenos dispositivos de sensoriamento são conectados através de redes sem fio para finalidades diversas, como monitoramento de temperatura, som, pressão, entre outros. A ubiquidade também é um fator chave para a Internet das Coisas, em que as aplicações são capazes de monitorar os usuários e seus ambientes para prover serviços relevantes de uma maneira intuitiva e transparente, mudando o foco da tecnologia para os usuários e suas necessidades. Entre as diversas aplicações que possivelmente terão grande impacto no futuro estão incluídas as Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) e as Redes de Eletricidade Inteligentes (*Smart Grids*). O conceito de “Cidade Inteligente” foi introduzido como uma estratégia para englobar diversos fatores relacionados ao ambiente urbano e, em particular, destacar a importância de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nas últimas décadas a fim de melhorar o perfil competitivo de uma cidade. Importante ressaltar que as cidades devem enfrentar problemas cada vez mais críticos, desde aqueles relativos a transporte, mobilidade urbana/humana e monitoramento ambiental até distribuição de energia e segurança pública. As Redes de Eletricidade Inteligentes usam tecnologias de informação e comunicação para agregar e atuar em informações do sistema, tais como consumo e geração, com o objetivo de melhorar a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade da produção e distribuição de eletricidade.

Os tópicos de pesquisa específicos deste desafio incluem:

- mecanismos para acesso universal a informação e serviços por parte de pessoas e dispositivos;
- sistemas computacionais para o gerenciamento inteligente e eficiente de ambientes e infraestruturas;
- serviços e tecnologias para enfrentar os desafios do contexto brasileiro, incluindo ausência de infraestrutura básica em certas localidades;
- tecnologias para a construção e manutenção de infraestruturas e aplicações sustentáveis;
- soluções para o aumento da capilaridade das redes e serviços, especialmente considerando a miríade de dispositivos conectados na Internet do Futuro;
- soluções para distribuição de dados de contexto de forma efetiva e eficiente para prover aplicações sensíveis ao contexto em um ambiente inteligente;
- técnicas de aprendizado de máquina e mineração de dados para analisar dados espaciais e temporais, com o objetivo de modelar e inferir o comportamento de indivíduos e grupos de indivíduos;

¹¹ Gartner Incorporation (Novembro de 2013).

- modelos que descrevam a arquitetura de um sistema e políticas de adaptação, capazes de alterar o comportamento do sistema de forma autônoma, de acordo com mudanças no contexto físico (localização ou padrão de movimento) ou social (situação ou interação) dos usuários e sistemas;
- novas tecnologias baseadas em sensores para aplicações emergentes como sistemas de transporte, levando em consideração características como, por exemplo, conectividade intermitente;
- padronização de componentes e provimento de segurança de dados na comunicação Máquina a Máquina (M2M – *Machine to Machine*) em ambientes inteligentes.

5. Internet 2020

A arquitetura da Internet em uso atualmente foi concebida no início dos anos 1980 com base em um conjunto de premissas e requisitos bem diferentes da demanda atual das redes, como mobilidade, qualidade de serviço, *multi-homing* e segurança, entre diversos outros aspectos. A estratégia de reciclar e estender a arquitetura da Internet já não permite satisfazer novas necessidades devido principalmente ao engessamento (problema também referido como “ossificação”) e à interdependência das tecnologias de núcleo. Urge repensar a Internet a partir de um espaço mais aberto, que promova e viabilize a inovação da própria arquitetura da rede. Uma nova abordagem de investigação, em que se possa explorar novos modelos e arquiteturas de rede, constitui-se, nesse contexto, um desafio e uma oportunidade. Esse processo de criação precisa ser acompanhado pela disponibilização de condições de avaliar experimentalmente e em larga escala essas novas ideias. *Pari passu* com os desdobramentos e os avanços almejados para uma Internet 2020, é fundamental que o processo de formação de recursos humanos seja substancialmente revisado, a fim de que as próximas gerações estejam adequadamente preparadas e possam lidar com essa nova forma de pensar a rede. Ademais, é imperioso que a transição tecnológica representada por este passo rumo ao futuro da Internet seja aproveitada para alavancar a academia e indústria brasileiras, com propósito de assumirem posição de destaque nos seus respectivos contextos internacionais.

Os tópicos de pesquisa específicos deste desafio incluem:

- mecanismos que viabilizem a programação do comportamento esperado das redes (redes definidas por software), em que sua lógica de funcionamento possa ser determinada de forma algorítmica por meio de abstrações clássicas, como grafos e políticas, e sua implantação, conduzida de forma ágil;
- novas arquiteturas de redes, como as redes orientadas a conteúdo, em que se busca centrar a rede no conteúdo disponível e na busca do conteúdo desejado pelo seu nome, independente de onde esse esteja localizado na rede;
- soluções de gerenciamento (e operação) robustas e escaláveis que favoreçam a real incorporação à (e o emprego na) Internet, em massa, de tecnologias de redes de sensores e da própria Internet das Coisas;
- modelos amparados em teoria dos grafos, estatística, mineração de dados e visualização de informação para compreensão e predição de fenômenos em redes complexas como a Internet (*Network Science*);
- ambientes de experimentação de larga escala, que permitam avaliar novas arquiteturas, mecanismos e protocolos de rede em condições próximas das observadas na Internet;
- virtualização de funções e de redes como forma de simplificar e acelerar o processo de instanciação de infraestruturas de redes diversificadas em termos de funcionalidades (ex: suporte à mobilidade, multicast, QoS, controle de acesso, etc.) e que sejam capazes de coexistir em um mesmo ambiente físico;
- mecanismos que incorporem à Internet, especialmente em seu núcleo, formas de viabilizar sua evolução natural de forma gradual e incremental;

- soluções de redes alinhadas com princípios de sustentabilidade energética, lançando mão do projeto de dispositivos de rede ecologicamente corretos, bem como de estratégias inteligentes de comutação/roteamento e desligamento coordenado de dispositivos de rede;
- infraestruturas para experimentação em rede de forma a: (i) serem usadas na educação de novos pesquisadores na área; e (ii) permitirem a experimentação de novas arquiteturas e técnicas em redes.

6. Defesa da Infraestrutura de Comunicação

Uma nação é altamente dependente do funcionamento seguro de suas redes de computadores, tanto quanto de outras infraestruturas, como as redes de distribuição de água e de energia elétrica. Ataques à infraestrutura de rede são facilitados pela ampla conexão das redes, pela mobilidade dos usuários, pela eliminação de fronteiras, entre outras. Neste contexto, é preciso enfrentar desafios relacionados à soberania das redes e à defesa da infraestrutura eletrônica, promover a disponibilidade, bem como trabalhar em interfaces inovadoras de rede com infraestruturas críticas, como os serviços públicos essenciais.

Os tópicos de pesquisa específicos deste desafio incluem:

- novas arquiteturas robustas de rede que sejam capazes de autonomicamente evitar comprometimento por ações maliciosas como contaminação por vírus e/ou *malware*, ataques de negação de serviço e propagação de *spam*;
- mecanismos de tolerância a falhas e resiliência que assegurem disponibilidade 24x7 a recursos, serviços e aplicações essenciais;
- políticas e mecanismos que assegurem a soberania das redes (governança) dificultando (senão impedindo) o vazamento indevido de informações e coibindo ações coordenadas de escutas e espionagem;
- soluções de gerenciamento e operação de redes que ofereçam condições de, proativamente, avaliar a adequada implementação de serviços de segurança e de, reativamente, executar ações que permitam remediar ações maliciosas bem sucedidas conduzidas contra eles;
- mecanismos escaláveis para detecção e prevenção de anomalias e ataques em redes, que sejam capazes de operar eficientemente em redes de muito alta velocidade;
- soluções de defesa de infraestruturas de rede e de serviços críticos, em especial aqueles envolvendo transações financeiras;
- propostas de ações e medidas sistemáticas para conter em tempo hábil ações ligadas à guerra cibernética.

7. Conclusões

O LARC e a CE-RESA/SBC esperam que esta seja a primeira de uma série de iniciativas que venham a contribuir para uma maior aproximação entre a academia, o governo e a indústria que, trabalhando em sinergia, possam buscar soluções para os desafios elencados neste documento. Além disso, espera-se que esta iniciativa fomente uma agenda de pesquisa de longo prazo e forneça subsídios para políticas estruturantes e orquestradas para o desenvolvimento do País.