



## **Proposta de Piloto**

**Grupo de Trabalho – Segunda Fase**

**GT-Tel: Testbed para Espaços Inteligentes**

Coordenadora: Silvana Rossetto (UFRJ)

Coordenador-Adjunto: Bruno Oliveira Silvestre (UFG)

Coordenadora-Adjunto: Noemi Rodriguez (PUC-Rio)

4 de setembro de 2014

## 1. Concepção

### 1.1. Resumo

[ Resumo dos objetivos alcançados pelo projeto na primeira fase e da proposta da continuidade do trabalho – máximo de 20 linhas nesta formatação]

Na primeira fase de trabalho, desenvolvemos o portal web que propusemos e o implantamos, juntamente com uma infraestrutura de testbed em plataformas de sensores. O portal incorporou todas as funcionalidades previstas na proposta, como agendamento de experimentos, armazenamento das configurações e programas usados em um experimento, automação da carga de programas nos nós do testbed, disponibilização de logs de execução e integração via IP para experimentos com aplicações híbridas, isto é, aplicações envolvendo nós da Internet convencional e nós do testbed, com comunicação via IP. Para avaliar a qualidade das ferramentas oferecidas, desenvolvemos duas aplicações híbridas, demonstradas no WRNP. Além disso, para ter uma visão externa ao grupo e para avaliarmos o potencial educacional do testbed, realizamos um experimento com uma turma de alunos de disciplina de sistemas distribuídos. O resultado foi bastante positivo, tanto pelo contato dos alunos com falhas e questões diferentes das previstas como pelo entusiasmo desses estudantes com o ambiente oferecido. Ambas as avaliações também apontaram extensões necessárias para chegarmos a um ambiente sólido de experimentação de aplicações distribuídas híbridas. Essas extensões estão relacionadas a três linhas de atuação.

Em uma primeira linha, gostaríamos de facilitar a reprodução de experimentos conduzidos anteriormente pelo próprio pesquisador ou por outro. Como pesquisadores, nós mesmos vimos sentindo a dificuldade que se tem atualmente para comparar resultados obtidos por diferentes grupos e relatados em diferentes publicações. Acreditamos que um testbed de experimentação pode contribuir para a solução dessa questão. Em segundo lugar, pelo interesse percebido no testbed como ferramenta de aprendizado, gostaríamos de criar alguns mecanismos a mais para o apoio a essa atividade. Percebemos que o testbed pode apoiar o contato *hands-on* tanto em novas áreas como Internet das Coisas como também o estudo de protocolos e aplicações mais convencionais.

Para enfatizar o apoio a essas duas atividades, de experimentação e de ensino, prevemos um conjunto de extensões, como por exemplo a transformação do conceito de experimento em algo que possa ser manipulado interativamente ou programaticamente e melhorias no sistema de monitoramento e log. Pretendemos interagir com diferentes grupos de usuários na definição e teste dessas extensões.

Uma terceira linha de atuação que consideramos importante, relacionada tanto ao apoio ao experimentador como ao ensino, é a integração do testbed de plataformas de sensores com testbeds de Internet do Futuro. Essa é uma combinação natural quando se fala em aplicações híbridas, mas exige uma integração de protocolos de controle e das linguagens de descrição de experimentos que ainda precisamos compreender melhor. Pretendemos estudar o problema e propor uma solução de integração.

### 1.2. Abstract

[ Resumo em inglês dos objetivos alcançados pelo projeto na primeira fase e da proposta da continuidade do trabalho – máximo de 20 linhas nesta formatação]

In the first year of work, we developed a web portal and sensor-network testbed infrastructure with all the features that were foreseen in our initial proposal. These include a calendar for scheduling experiments, storage and retrieval of experiment descriptions, automated uploading of code to the testbed nodes, logging and monitoring of experiments, and support for hybrid applications, that is, applications that run partly on nodes in the conventional Internet and partly on the testbed nodes, communicating with IP. To evaluate these tools, we developed two hybrid applications, demonstrated at the WRNP workshop. We also conducted an experiment with students in a Distributed Systems course at PUC-Rio to evaluate the environment from an external point of view. Results were very positive, not only because of the opportunity for students to interact with failures and other unforeseen issues, but also because they were highly motivated by the environment. These two evaluations also provided feedback on extensions that are necessary for this infrastructure we developed to become a solid and consistent service. The motivations for these extensions are threefold.

In the first place, we would like to facilitate the reproducibility of experiments. As researchers, we ourselves feel the difficulties in comparing proposed techniques to those proposed by different groups. We believe testbeds can contribute to solve this problem. A second goal for our extensions is to better support students in networking and distributed systems courses. Given our experience with the testbed as a teaching tool and the well-known impact of hands-on environments, we believe testbeds have an important role in teaching new technologies, such as Internet of Things, as well as more conventional ones, such as routing or broadcasting in the presence of failures.

In order to support both reproducible experiments and learning, we plan a number of extensions, like transforming experiments into first-class entities that can be manipulated either interactively or programmatically, and also enhancing the mechanisms for monitoring and logging experiments. We intend to interact with different user groups in the specification and evaluation of these extensions.

A third direction for future work, related to both experimenting and learning, is the integration of the sensor-platform testbed with Future Internet testbeds. This is a natural combination when we consider hybrid applications, but requires bridges or unification between control protocols and experiment description languages. We must still study further the issues and alternatives involved in combining the two types of testbeds in order to propose a solution for this integration.

### **1.3. Descrição do produto/serviço**

[Descrever o produto/serviço que está sendo proposto pelo GT para a RNP oferecer aos seus usuários, identificando sua utilidade, sua importância e as possíveis repercussões na comunidade de usuários.]

O GT-Tel propõe duas alternativas de produto/serviço para a RNP oferecer aos seus usuários, as quais podem coexistir. A primeira alternativa --- na forma de serviço --- seria manter um laboratório para abrigar o testbed físico (conjunto de plataformas de sensores) e disponibilizar acesso remoto para os seus usuários. A segunda alternativa --- na forma de produto --- seria oferecer um pacote de soluções de software que cada organização que dispõe de um conjunto de plataformas de sensores poderia instalar para disponibilizar o acesso remoto a esses dispositivos para outras organizações.

Em ambos os casos, a utilidade do testbed físico será prover um ambiente de experimentação mais próximo do mundo real o qual permitirá a avaliação de novos protocolos, algoritmos e aplicações que requerem o acesso a plataformas de sensores, como é o caso de aplicações nas áreas mais específicas de redes de sensores sem fio, WoT (*Web of Things*) e IoT (*Internet of Things*), e nas áreas mais gerais como Redes de Computadores, Sistemas Distribuídos e outras.

A tarefa de desenvolver soluções de software de uso prático que integram o acesso a plataformas de sensores é ainda um desafio. Um sistema de controle de irrigação é um exemplo de aplicação com esse tipo de requisito: parte da aplicação executa em nós sensores que capturam e pre-processam dados de temperatura e umidade do solo, as informações coletadas são enviadas para uma máquina convencional que pode usar outras fontes de informações, como previsões meteorológicas, para tomar a decisão sobre como os dispositivos de controle do sistema de irrigação deverão atuar. O desenvolvimento e avaliação dessas aplicações requer um número extensivo de testes com diferentes configurações de nós, e em muitos casos os estudantes e pesquisadores não têm o equipamento e infraestrutura necessários ao seu dispor. Isso os leva a utilizarem simulações, mas o uso isolado dessa técnica de testes muitas vezes não é suficiente.

Existem vários testbeds específicos para redes de sensores sem fio. A maior parte deles provê suporte para aplicações completamente contidas em uma rede de sensores (coordenada por um computador mestre que coleta e processa informações da rede). Com o crescente interesse no tema “Internet das Coisas”, e com a percepção de que muitas aplicações distribuídas devem incluir acesso a microcontroladores capazes de realizar sensoreamento e controle, tornou-se importante que estudantes e pesquisadores tenham acesso a ambientes híbridos, isto é, ambientes que combinam máquinas convencionais com dispositivos embutidos e de monitoramento, como nós de redes de sensores sem fio. No testbed que estamos construindo, a interação entre diferentes dispositivos (plataformas de sensores e computadores convencionais), localizados possivelmente em posições geográficas distintas, poderá ser feita usando protocolos padrões da Internet (IPv6), o que permite experimentar, em particular, soluções voltadas para IoT.

Esse ambiente permitirá a realização e repetição de experimentos que não seriam possíveis pela ausência de plataformas de sensores em muitas organizações; com maior agilidade e transparência do que nos casos em que, mesmo dispondo dos dispositivos localmente, faz-se necessário organizá-los em um local apropriado sempre que novos experimentos precisam ser realizados.

#### **1.4. Identificação do público alvo**

[O produto/serviço pode abranger potencialmente todos os usuários da RNP, ou ser específico para uma determinada classe de usuários ou área do conhecimento. Pode também ser para uso interno da própria RNP, ou ainda ser um serviço de apoio a outro serviço já existente na RNP. Esta seção deve identificar o público alvo do produto/serviço.]

O público-alvo do ambiente de experimentação proposto são: pesquisadores em áreas como sistemas distribuídos, redes de computadores, banco de dados e middleware, e estudantes de graduação e pós-graduação.

## 2. Definição do piloto

### 2.1. Arquitetura do piloto

[Esta seção deve apresentar a arquitetura proposta para o piloto, descrevendo atividades que o compõem. Deve também identificar os módulos de software que serão utilizados, tanto os desenvolvidos pelo GT quanto os de terceiros, e especificar os equipamentos que deverão ser instalados na RNP e nas instituições participantes do piloto.]

#### 2.1.1 Visão geral da arquitetura do testbed (ambiente de experimentação físico)

O testbed proposto no escopo deste projeto é voltado para ambientes fechados, sendo constituído por nós sensores independentes e de tipos diferentes, dispostos em uma topologia que pode requerer comunicação multi-saltos, acoplados a um *board* para carga de código e transferência de dados de execução, com fonte de energia constante. A Figura 1 apresenta uma visão geral da arquitetura do testbed, destacando seus elementos principais: kit Nó e kit Servidor.

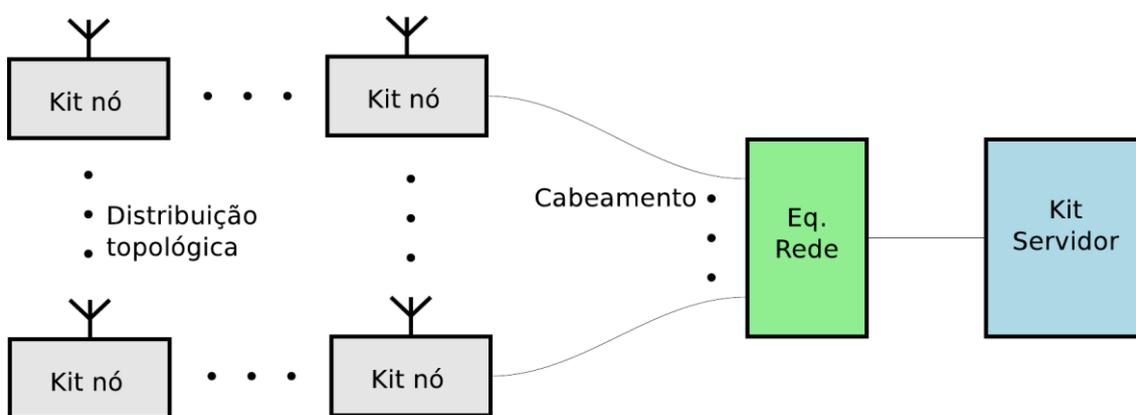


Figura 1: Arquitetura geral do testbed.

A arquitetura funcional do testbed divide-se em duas partes principais: (i) a parte de interface com o usuário, para configuração e monitoração dos testes, é atendida por uma solução de portal Web; (ii) a parte responsável pela execução dos testes é atendida por um processo contínuo que monitora quando é necessário executar um teste configurado e dispara as ações necessárias para a rede de sensores física do testbed. Essas duas partes são integradas via um banco de dados que armazena as configurações dos testes dos usuários. A Figura 2 apresenta a arquitetura funcional do testbed.

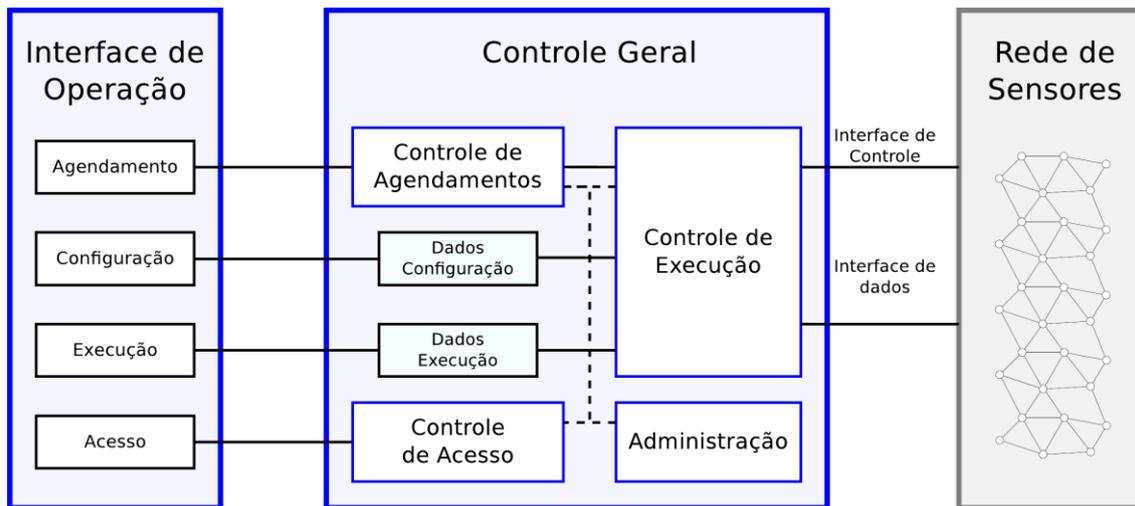


Figura 2: Arquitetura funcional do testbed.

O testbed é formado basicamente por três partes: a rede de sensores sem fio; o controle geral; e a interface de operação. A **rede de sensores sem fio** é formada pelo conjunto de dispositivos distribuídos fisicamente por uma área que forma o testbed. A comunicação entre os nós é feita via rádio e o alcance entre cada par de nós da rede depende da distância entre eles e da potência do sinal de rádio. No caso específico do nosso testbed, todos os nós da rede estão acoplados fisicamente a um dispositivo conectado a uma rede cabeada. Essa conexão serve tanto para o controle da carga de código executável nos nós sensores, quanto para o envio de mensagens de dados pelo canal serial de cada nó. O **controle geral** é composto por módulos básicos que controlam a execução dos testes no testbed. As principais funcionalidades são o Controle de Execução, o Controle de Agendamentos das janelas de execução e o Controle de Acesso. A **interface de operação** é composta por quatro funcionalidades: Agendamento, Configuração, Execução e Controle de Acesso. A Interface de Agendamento permite ao usuário consultar, reservar e cancelar as janelas de execução no testbed. Na Interface de Configuração o usuário pode configurar a topologia da rede com a ativação e desativação de determinados nós, armazenar o seu código executável para posterior execução na rede de sensores e definir condições de execução específicas para o seu teste. A Interface de Execução permite ao usuário controlar e monitorar o andamento dos testes. A Interface de Acesso controla o acesso do usuário aos recursos do testbed.

### 2.1.2 Arquitetura proposta para o piloto

Para a construção do piloto em uma segunda fase do projeto, reutilizaremos a arquitetura atual do testbed (descrita na subseção anterior e implementada na fase 1 do projeto) incorporando melhorias já previstas. As instituições usuárias que participarão da implantação do piloto utilizarão o testbed remotamente, via portal Web, sem a necessidade de instalação de nenhum software ou hardware especial. A Figura 3 ilustra essa arquitetura. Vários usuários poderão acessar o portal Web ao mesmo tempo para agendar seus experimentos, mas apenas um usuário poderá usar a rede de sensores para executar o seu experimento em um determinado intervalo de tempo (respeitando a agenda programada via portal).

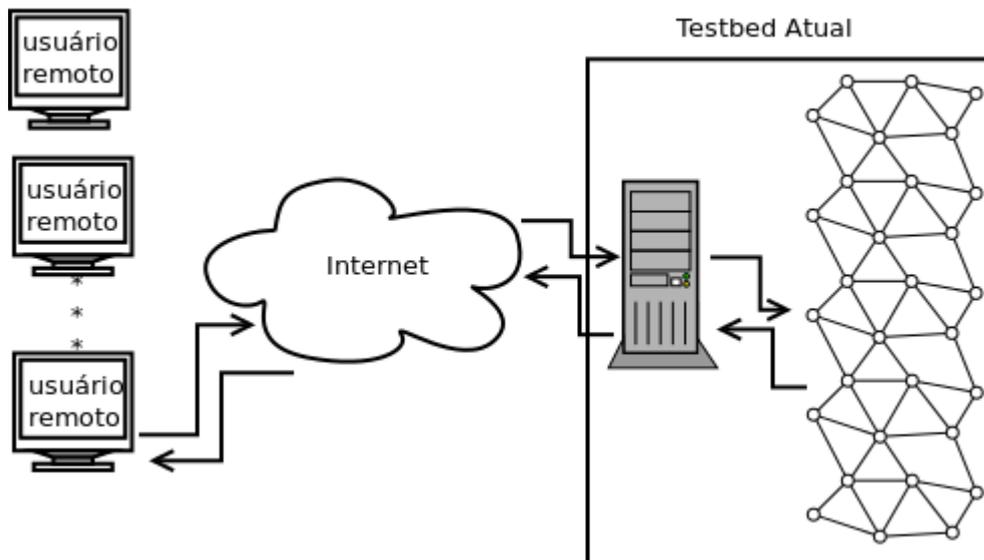


Figura 3: Arquitetura geral do piloto.

A aplicação do usuário poderá ser desenvolvida usando ambientes de programação de sua preferência. Essas aplicações poderão ser híbridas, i.e., aplicações que executarão em parte no testbed e em parte em outros dispositivos conectados via protocolos IP. As instituições participantes receberão instruções e material de apoio (manuais de uso, códigos com exemplos de aplicações, etc.) para que possam explorar todas as funcionalidades oferecidas pelo testbed e avaliar essa experiência de uso para que o testbed possa ser aprimorado.

A arquitetura atual do testbed será estendida incluindo-se novas plataformas de sensores sendo: 5 (cinco) exemplares da plataforma Arduino, 7 (sete) Raspberry PI, 1 (um) kit VirtualSense e 1 (um) kit Waspmote. O objetivo é aumentar a heterogeneidade de plataformas do testbed, permitindo a realização de experimentos mais diversificados, e explorar o uso de dispositivos com maior capacidade de memória e de processamento que poderão assumir papéis especiais na rede, como por exemplo roteadores. As atividades para inclusão de dispositivos das plataformas Arduino e Raspberry PI foram iniciadas nessa primeira fase do projeto, mas ainda não foram concluídas. Todos esses dispositivos já foram adquiridos na primeira fase do projeto.

Outras extensões que deverão ser incorporadas à arquitetura atual do testbed incluem: (i) a construção de módulos para gerar dados sintéticos com leituras dos sensores; (ii) a integração de nós virtuais ao testbed físico; (iii) a ampliação do testbed para dar suporte a experimentos simultâneos em partes distintas do testbed; e (iv) o refinamento do modelo de autorização para uso do testbed.

A geração de dados sintéticos com leituras dos sensores permitirá lidar com uma limitação típica de testbeds implantados em ambientes fechados (como é o nosso caso) onde a variação das leituras dos sensores é muito restrita. A ideia consiste em usar modelos matemáticos que representem variações de grandezas físicas ao longo do tempo (por exemplo, a variação de luminosidade que um sensor poderia captar se estivesse em um ambiente aberto). A integração de nós virtuais ao testbed físico tem como objetivo principal permitir a execução de experimentos que requerem uma quantidade de nós maior para testes de escalabilidade de algoritmos e protocolos. A ampliação do testbed para permitir testes simultâneos requer o particionamento físico dos nós da rede de modo para que não ocorra qualquer interferência da comunicação via rádio durante a execução dos experimentos. Por fim, com relação ao refinamento

do modelo de autorização para uso do testbed, pretendemos avaliar políticas de acesso ao testbed (por exemplo, distinguindo os papéis “professor” e “estudante”) e como enviar e tratar pedidos de autorização de uso.

A implantação do piloto, juntamente com a implementação das extensões principais previstas para o testbed atual, demandarão a realização das seguintes atividades:

1. preparação de material de apoio (manuais, roteiros, exemplos de código, etc. ) para as instituições participantes;
2. projeto e desenvolvimento de módulos de software para inclusão de novos dispositivos no testbed;
3. construção de modelos matemáticos para gerar dados sintéticos com leituras dos sensores e integração desses modelos às aplicações que executam no testbed;
4. estudo de alternativas e projeto de uma solução para integração de nós virtuais ao testbed físico.
5. estudo de alternativas e alteração da arquitetura do portal de acesso para permitir o particionamento do testbed em partes isoladas, e implantação de um protótipo.
6. estudo de alternativas para refinamento do modelo de autorização de uso do testbed e implementação de um caso de teste.

### **2.1.3 Módulos de software e equipamentos**

Os seguintes softwares necessitam ser utilizados para implantação do testbed:

- Sistemas Operacionais: Ubuntu 12.04 LTS 32 bits e Windows 7 (como máquina virtual).
- Softwares: Java 1.7.0\_45, VirtualBox 4.3.2, PostgreSQL 9.1.10, Pgadmin 1.14.0, Apache Tomcat 8, Python 2.7.7, Pyserial, Uisp Tools, Cygwin.

O kit disponibilizado para instalação do testbed possui os seguintes arquivos:

- PortalTB.war: pacote de instalação do portal Web, contém toda implementação do portal e as páginas e servlets utilizados para o sistema;
- TBControl\_cygwin: pacote de instalação do sistema de controle na plataforma Windows;
- TBControl\_linux: pacote de instalação do sistema de controle na plataforma Linux, contém os módulos responsáveis pelo controle e execução dos testes.;
- BDPortal\_backup.tar: backup do banco de dados do testbed.

Nenhum equipamento precisará ser instalado na RNP e nas instituições participantes. Para o desenvolvimento das aplicações que serão experimentadas no testbed, as instituições participantes poderão usar softwares e ferramentas de domínio público.

Para as expansões previstas para o testbed, será necessário a aquisição de uma máquina do tipo servidor para abrigar o novo portal de acesso ao testbed.

## 2.2. Instituições participantes

[O GT, em sua segunda fase, tem como objetivo implantar o piloto proposto, dentro de um escopo limitado de instituições usuárias. Esta seção deve identificar as instituições participantes e seus respectivos contatos.]

Participação da segunda fase do GT-Tel as seguintes instituições:

1) Instituições envolvidas no desenvolvimento das soluções propostas:

- Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ): contato profa. Silvana Rossetto.
- Universidade Federal de Goiás (UFG): contato prof. Bruno Silvestre.
- Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio): contato profa. Noemi Rodriguez.

2) Instituições participantes/usuárias:

- Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet-MG): contato profa. Silvia de Albuquerque.
- Universidade Federal do Espírito Santo (UFES): contato prof. José Gonçalves.

Cada uma das instituições participantes apresenta estados diferentes de experiência de pesquisa e desenvolvimento de aplicações envolvendo plataformas de sensores para determinar se o testbed atende a esses diferentes perfis.

O Cefet-MG deverá usar remotamente o testbed disponível na UFRJ. Já a UFES, que adquiriu recentemente novas plataformas de sensores, deverá usar o pacote de soluções de software para implantar um testbed dentro da própria instituição e, possivelmente, disponibilizá-lo também para acesso remoto por outras instituições. Dessa forma, conseguiremos experimentar as duas alternativas elencadas na seção 1.3 para o produto/serviço que está sendo proposto pelo GT-Tel para a RNP oferecer aos seus usuários.

## 2.3. Refinamento do protótipo

[O protótipo desenvolvido na primeira fase do GT poderá necessitar de um refinamento para que esteja adequado a um produto/serviço em operação. Esse refinamento deverá torná-lo, entre outras coisas, seguro, robusto, confiável, escalável, com bom desempenho e amigável para os usuários e administradores. Esta seção deve enumerar e descrever os desenvolvimentos necessários para o refinamento do protótipo, de modo a torná-lo um produto a ser oferecido ou a ser utilizado para a prestação do serviço.]

O protótipo do testbed desenvolvido na primeira fase do GT precisará dos seguintes refinamentos antes da implantação do piloto:

1. Implantar nova versão do portal de acesso ao testbed. Várias melhorias foram elencadas ao longo da primeira fase do projeto, parte delas já estão sendo implementadas.
2. Estender a linguagem de descrição dos experimentos. A linguagem atual é bastante simplificada, permitindo apenas definir quando os nós da rede serão ativados ou desativados. O objetivo é estender essa linguagem para permitir que o usuário possa descrever o experimento por completo por meio dela,

definindo, entre outras coisas, a topologia da rede para o experimento e o código executável em cada nó. Dessa forma, um experimento poderá ser mais facilmente repetido pelo próprio usuário ou por outros usuários.

3. Criar alternativas para geração de logs estruturados. Na versão atual do testbed, os logs gerados via portal são apresentados como uma sequência de números hexadecimais que o usuário precisa traduzir de acordo com a estrutura lógica da sua aplicação. O objetivo é permitir que o usuário indique qual é a estrutura de dados que sua aplicação está usando para representar os dados gerados e então exibir as informações de log com base nessa estrutura.
4. Encontrar uma solução para garantir acesso seguro às portas de log gerados por cada nó da rede de sensores. Na versão atual do testbed, enquanto um experimento está em execução, um conjunto de portas na máquina do portal são ativadas para receber o log da execução de cada nó da rede. Uma aplicação externa pode se conectar a essas portas e receber esses dados, o que é desejável/usual por parte de quem está executando o experimento. O problema é que outros usuários (alheios ao experimento) também podem se conectar a essas portas e receber os dados gerados. Precisamos encontrar uma alternativa para impedir esse acesso por terceiros.
5. Avaliar os requisitos da máquina que executa o portal. O objetivo dessa atividade é avaliar a carga de trabalho que deverá ser recebida pela máquina do portal após a implantação do piloto e os requisitos de capacidade de processamento, armazenamento e comunicação para atender a essa carga de trabalho.

#### **2.4. Ferramentas de suporte à operação (para propostas de serviço)**

[Para que a RNP possa operar, administrar e gerenciar o serviço proposto, são necessárias ferramentas de software para suporte a essas atividades. Essas ferramentas incluem cadastro de usuários e grupos, configuração dos parâmetros do serviço, geração de estatísticas de uso, monitoração dos servidores e processos, etc. Esta seção deve enumerar e descrever as ferramentas propostas, identificando as que já foram desenvolvidas na primeira fase do GT e as que ainda deverão ser desenvolvidas ou aprimoradas nesta segunda fase.]

As ferramentas de software para operar, administrar e gerenciar o testbed incluem:

- Controle de acesso e de autorização de uso do testbed federado (usando a Federação CAFe). A solução para controle de acesso federado está sendo implementada e testada na primeira fase do projeto, usando provedor de identidade e de serviço locais. Para a operação do serviço em escala nacional será necessário integrá-lo a CAFe.
- Geração de estatísticas de uso do serviço. Para a segunda fase do projeto será necessário construir/usar ferramentas para gerar estatísticas de uso do testbed e, a partir das informações coletadas, dimensionar o serviço.

### **3. Cronograma**

[Apresentar o cronograma de desenvolvimento, implantação e testes do piloto.]

O seguinte cronograma geral deverá ser seguido para o desenvolvimento, implantação e testes do piloto:

- Refinamentos do testbed antes da implantação do piloto (seção 2.3): novembro de 2014 a janeiro de 2015 (3 meses).
- Geração de documentos e manuais para as instituições participantes e preparação para implantação do piloto (Atividade 1 da seção 2.1.2): fevereiro de 2015 (1 mês).
- Implantação do piloto e primeira avaliação de uso das instituições participantes: março e abril de 2015 (2 meses).
- Preparação e participação no WRNP de 2015: abril e maio de 2015 (2 meses).
- Implementação das extensões previstas para o testbed (Atividades 2 a 6 da seção 2.1.2): junho a agosto de 2015 (3 meses).
- Workshop de disseminação, implantação das extensões do testbed e novos testes com as instituições participantes: agosto a outubro de 2015 (3 meses).
- Refinamentos no piloto, transferência de tecnologia e avaliação final: outubro a dezembro de 2015 (3 meses).