Extensão do Plano de Controle Sem Fio para Ambientes Experimentais Outdoor.

Alexsander Núñez, Vagner Nascimento, Billy Anderson, Antônio Abelém e Renato Francês.

***Resumo*—O uso de ambientes experimentais sem fio é uma poderosa ferramenta para validação de pesquisas em Internet do Futuro e testes de produtos e serviços. Estados Unidos, Europa, Japão, Brasil, entre outros, através de iniciativas como FIRE, GENI, AKARI e FIBRE, já disponibilizam tais ambientes para os pesquisadores. No entanto, a topologia desses ambientes, no contexto sem fio e *outdoor*, ainda é muito limitada em função da necessidade de infraestrutura cabeada para o controle dos dispositivos. Desta forma, este artigo apresenta uma proposta de plano de controle sem fio para esses ambientes experimentais *outdoor*, permitindo a independência de infraestrutura cabeada.**

Palavras-Chave—Plano de Controle Sem Fio, Ambientes Experimentais, Outdoor.

***Abstract*—The use of experimental environments wireless is key for research validation Future Internet and product testing and services. USA, Europe, Japan, Brazil, among others, through initiatives such as FIRE, GENI, and AKARI FIBRE, already provide an environment for researchers. However, the topology of these environments, the wireless and outdoor context, is still very limited due to the need for wired infrastructure to control the devices. Thus, this paper presents a wireless control plan proposal for these experimental outdoor environments without the need of wired infrastructure.**

Keywords—Plano de Controle Sem Fio, Ambientes Experimentais, Outdoor.

I. INTRODUÇÃO

A implantação de ambientes experimentais sem fio possui muitos desafios técnicos, em geral são desafios de *hardware* e *software*, como ligações físicas e lógicas. Além desses, existem ainda questões como: desenvolver e aprovar projeto de arquitetura e topologia, projeto elétrico e lógico, ajustes de antenas, licenças para operar em determinadas frequências, entre outros.

No caso do ambiente experimental brasileiro, FIBRE (*Future Internet between Brazil-Europe*) [1], todas as instituições envolvidas visualizadas na Fig. 1 tiveram dificuldades para criar topologia sem fio para ambientes externos. Isto ocorre devido o ambiente experimental sem fio ter sido definido topologicamente de acordo com as limitações de alcance da infraestrutura cabeada e não pelo alcance da cobertura sem fio dos equipamentos.

A implantação dos nodos sem fio do FIBRE, chamado Icarus [2] em ambientes *outdoor* requer um alto custo de infraestrutura cabeada no ambiente, mesmo ele sendo projetado para operar e um ambiente sem fio. O Icarus contêm o Ubuntu 14.04 como sistema operacional e o OMF (*cOntrol Management Framework*) [3] versão 5.4 instalado, a versão atual 6.0 ainda encontra-se instável. Utiliza também uma interface *wireless* e uma interface *ethernet* para comunicação no plano de dados, além de um arduino embarcado com uma interface *ethernet* e mais uma interface *ethernet* para comunicação no plano de controle. Ou seja, a infraestrutura do Icarus possibilita a comunicação sem fio somente no plano de dados, necessitando do plano de controle totalmente cabeado para diversas operações, como a manipulação de controle e interação com o plano de gerência.

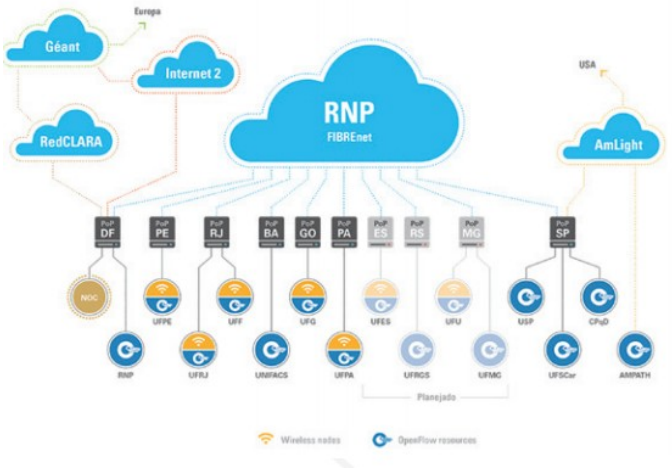

Fig. 1. *Arquitetura Geral (FIBRE) [4]*

Este artigo propõe uma extensão do plano de controle sem fio para ambientes *outdoor*, garantindo maior flexibilidade na topologia de rede do ambiente experimental e em seu funcionamento. Para isto, um nodo com processamento é adicionado na infraestrutura, relacionado ao plano de controle e separado do nodo experimental do plano de dados. A fim de possibilitar inteligência computacional e tratamento nos comandos, este nodo possui um *middleware* com arquitetura baseada no conceito apresentado no Abaré [5]. Para realizar a manipulação e processamento dos dados do nodo de experimentação é adicionada uma interface sem fio para manter a comunicação no plano de controle e possibilitar sua utilização em ambientes *outdoor*. Diferentemente do que há na literatura e do que é possível encontrar nas ilhas atualmente, é adicionado um nodo de controle para cada nodo experimental, além da funcionalidade que possibilita a instalação de um *firmware* através de rede sem fio.

Além desta seção introdutória, este artigo contém três seções adicionais. A Seção II apresenta os requisitos da proposta. A Seção III descreve a extensão do plano de controle sem fio para ambientes experimentais *outdoor*. A Seção IV apresenta as conclusões gerais e sugere possíveis trabalhos futuros.

II. Requisitos de Extensão da Proposta

A proposta apresenta requisitos para a implementação de um plano de controle sem fio em ambiente *outdoor*. Como requisito básico de extensão é preciso que o OMF não perca suas características já em funcionamento, detalhado por Silvestre, B., Cardoso, K., e Sand, C em [6], mas que também agregue novas possibilidades de utilização do ambiente experimental. Com isso a proposta tem como objetivo manter as divisões de planos lógicos do ambiente e funcionalidades para seus respectivos usuários, além de prover um método para a comunicação sem fio do plano de controle, a fim de possibilitar o uso em ambientes *outdoor* com resiliência, levando em conta que a substituição da tecnologia cabeada pela tecnologia sem fio torna a comunicação menos confiável, com isso é aconselhável que a topologia de rede sem fio provenha de redundância a fim de dar confiabilidade.

No artigo "*Challenges in Deploying Steerable Wireless Testbeds*" desenvolvido por Anderson, E. [7] juntamente com a Universidade do Colorado é apresentado uma plataforma chamada *Wide-Area Radio Testbed* (WART) para estudos de antenas em redes sem fio, como direcionais, adaptativas, inteligentes entre outros. A validação da proposta apresenta uma infraestrutura física e funcionalidades de controle de energia do nodo experimental, ou seja, ligar, desligar e saber o *status* através de rede sem fio, além de propor um método de resiliência do plano de controle.

A adição de um nodo de controle separado do nodo experimental, com funcionalidade de controle de energia através da rede sem fio também é encontrado no WISHFUL (*Wireless Software and Hardware platforms for Flexible and Unified radio and network controL*) [8]. O nodo de controle atua como *backbone* e não tem relação de "um para um" com o nodo experimental, o que ainda mostra a necessidade de uma topologia infraestruturada. Sendo que o usuário experimentador no momento da alocação do nodo experimental, tem a visibilidade do nodo de controle a fim de saber a disponibilidade do mesmo.

A. *Requisito de Divisão dos Planos*

O artigo desenvolvido por Rakotoarivelo [9] diz que o OMF possui a separação do plano de dados do plano de controle, como em SDN (*Software Defined-Network*), independentemente da tecnologia sem fio. Porém, o plano de controle do FIBRE utiliza somente o nodo Icarus para operar no plano de dados e no plano de controle, o que pode ocasionar indisponibilidade no plano de controle do nodo Icarus, já que o usuário através do plano de dados pode realizar modificações de *firmware*, entre outras configurações. Para resolver este problema é preciso que o nodo do plano de dados seja separado do nodo do plano de controle, como demonstrado na Fig. 2.

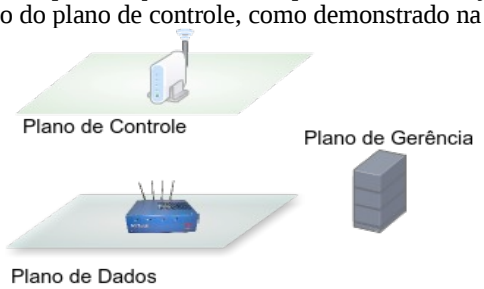

Fig. 2. Separação de Planos com adição do Nodo Sem Fio

B. *Requisito de Funcionamento*

Visando garantir o funcionamento do OMF é necessário manter os conjuntos de módulos e ferramentas já existentes na arquitetura OMF, apresentado na Fig. 3. Segundo Bouckaert [10], os módulos e ferramentas do OMF são capazes de controlar de forma eficiente alguns dos recursos do ambiente experimental, por exemplo, alocar recursos, resetar os nodos, reportar seus *status*, instalar um novo *firmware*; além de descrever, instrumentar, executar e coletar dados de experimentos. Porém, além de manter os módulos e ferramentas, existe a necessidade de agregar módulos de controle que operem no plano de controle sem fio.

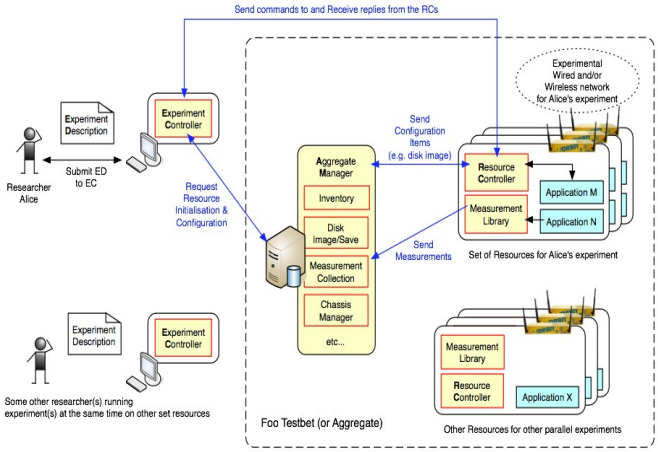

Fig. 3. Arquitetura do Sistema OMF [11].

C. *Requisito para Utilização Sem Fio.*

O nodo de controle deve possuir interface sem fio para comunicação no plano de controle. Independentemente da tecnologia de rede sem fio utilizada no plano de controle, esta deve possibilitar o remanejamento do ambiente experimental, como a utilização em ambientes *outdoor*, possibilitando autonomia quanto a infraestrutura cabeada no momento da implantação do ambiente. Com o uso de redes sem fio é possível também obter redundância de acesso ao nodo, como visto na Fig. 4, visando confiabilidade na comunicação sem fio. Tal característica habilita resiliência, reduzindo a possibilidade de falhas, como apresentado em Vasconcelo, F. M. e Salles M [12].

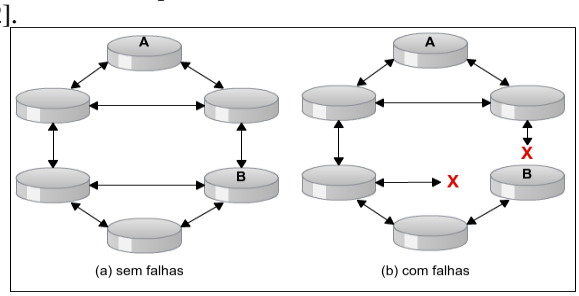

Fig. 4. Redundância (tolerância à falhas).

O artigo publicado por Anderson [7] apresenta resiliência sem fio em ambientes experimentais *outdoor*, porém não garante a inteligência computacional necessária para atender todas as funcionalidades do plano de controle utilizando o nodo Icarus, limitando-se ao controle de energia, como ligar ou desligar um nodo experimental.

III. EXTENSÃO DO PLANO DE CONTROLE SEM FIO PARA AMBIENTES EXPERIMENTAIS OUTDOOR.

A proposta deste artigo pode ser dividida em dois aspectos: prover um plano de controle sem fio para ambiente experimental OMF e estender suas funcionalidades através de um componente sem fio controlável. Onde será demonstrado a implantação de um ambiente *outdoor* utilizando o *testbed* FIBRE/OMF [13] estendendo a infraestrutura presente no plano de controle do ambiente experimental OMF.

Na extensão vista na Fig. 5, é adicionado um nodo com interface sem fio, separado fisicamente do nodo experimental presente no plano de dados e interligados através de uma conexão cabeada. Reduzindo assim a grande infraestrutura cabeada e flexibilizando a utilização do ambiente experimental em topologias *outdoor*.

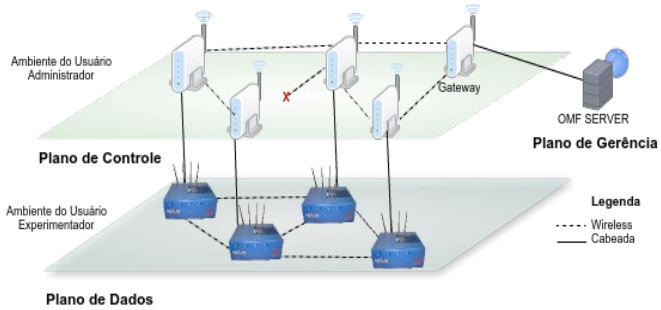

Fig. 5. Proposta de Extensão do Plano de Controle para Infraestutura OMF.

Com um nodo sem fio no plano de controle, os métodos das funcionalidades podem sofrer alterações. Desta forma, para manter os conceitos e funcionalidades já existentes na arquitetura do ambiente experimental OMF, é necessário que este nodo de controle não apenas suporte a comunicação sem fio, mas que mantenha as funcionalidades de controle sobre o plano de dados e consiga ser manipulado através do plano de gerência. Para isso são adicionados módulos no plano de controle e no plano de gerência, encontrados na imagem da arquitetura dos planos lógicos, Fig. 6.

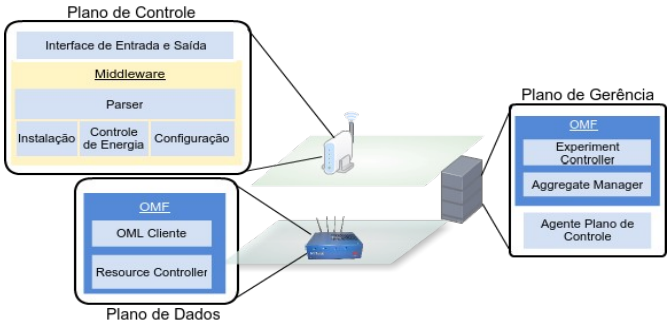

Fig. 6. Arquitetura dos Planos Lógicos do Ambiente Experimental.

A arquitetura de cada plano lógico do ambiente experimental possui um conjunto de módulos para atender os requisitos da proposta, em especial os módulos agregados ao nodo do plano de controle. Esses módulos visto na Fig. 6 são apresentados a seguir:

A. *Plano de Gerência*

Neste plano é demonstrado a arquitetura simplificada do OMF com os módulos já consolidados, como *Experiment Controller* e *Aggregate Manager*, que contém o *Chassi Manager*, *Image Disk*, *Inventor*, *OML Collection Server*, entre outros. Além de ser adicionado um módulo para manipulação do plano de controle, chamado Agente Plano de Controle.

Agente Plano de Controle: Este agente é responsável por administrar e gerenciar o nodo do plano de controle, assim como tarefas básicas de rede, como: verificar a disponibilidade do nodo, o *status* de conectividade entre o nodo de controle e o nodo experimental, o *status* da resiliência e entre outros. Ou seja, garante o bom funcionamento e a interação do usuário com o plano de controle, onde sua interação é de total transparência somente para o usuário experimentador.

B. *Plano de Dados*

A arquitetura do plano de dados permanece inalterada, possuindo os módulos consolidados do OMF, como o OML *Client* e *Resource Controller* para execução e manipulação de experimentos.

C. *Plano de Controle*

O plano de controle possui em sua arquitetura um *middleware* que contêm os componentes para manipular o plano de controle e o plano de dados. Além de possuir um módulo que viabiliza o tráfego de informações do plano de controle entre o plano de gerência e o plano de dados, chamado Interface de Entrada e Saída.

Middleware: Este é o elemento que troca informações com o módulo Interface de Entrada e Saída, gerando e enviando comandos no formato shell. O *Middleware* é quem aceita os comandos do plano de gerência para então agir como um *proxy* de forma inteligente e independente do nodo experimental. Este é dividido em quatro componentes, que representam suas principais funcionalidades como Parse, Configurações, Controle de Energia e Instalação. Estas funcionalidades são descritas a seguir:

- Parse (comandos): Responsável por gerar *script* a cada informação recebida, identificar o tipo de comando que está sendo requisitado, caso a requisição seja um comando de instalar, esta é encaminhada para o componente Instalação, caso seja um comando de controle, ele é enviado ao Controle de Energia e caso seja de gerenciamento ou monitoramento do plano de controle, este é encaminhado ao componente Configurações. Além disso, consegue identificar a compatibilidade da requisição do usuário com o tipo de nodo experimental utilizado.
- Configurações: Este componente possui um conjunto de ferramentas e métodos, capazes de monitorar, configurar e gerenciar o nodo de controle, intermediando a interação do mesmo com o usuário através do módulo Agente Plano de Controle.
- Controle de Energia: É capaz de requisitar o *status*, ligar e desligar os nodos experimentais. Essas requisições são realizadas através da comunicação direta com *hardware* especifico do nodo experimental, variando entre USB (*Universal Serial Bus*), comunicação serial, *Ethernet*, etc.
- Instalação: Responsável por aceitar o comando de instalação, realizar o *download* e armazenamento do

firmware, e instalar o *firmware* no nodo experimental.

- Base de Dados: Este elemento compõe a Instalação, onde permite o armazenamento de *firmware*, seja em cache ou até mesmo banco de dados.

Interface de Entrada e Saída: Responsável por fazer a comunicação entre os nodos do plano de controle e pela comunicação com os demais planos. Para tornar isto possível este módulo possui dois tipos de interface:

- Interface *Wireless*: Usada para a comunicação do *middleware* com o plano de gerência. O mesmo tem como característica operar em redes de longo alcance, como WiMAX, Mesh, LTE (*Long Term Evolution*), entre outros. Facilitando o uso do ambiente experimental em topologia *outdoor*.
- Interface Cabeada: Esta interface faz a comunicação lógica e física direta entre o *middleware* do nodo de controle e o nodo experimental. Ela é necessária pois não é possível realizar certas ações pela Interface *Wireless*, como a execução de comandos de instalação e controle de energia, sem perder seu provisionamento. Esta comunicação cabeada pode ser serial, USB, *Ethernet*, entre outros.

D. Caso de Uso

A utilização do ambiente experimental ocorre no arcabouço OMF que disponibiliza métodos para interação com o usuário, permitindo o acesso e manipulação dos recursos. O usuário administrador tem total transparência da infraestrutura do ambiente experimental e seus respectivos planos, para realizar a manipulação. Por sua vez, o usuário experimentador tem algumas funções limitadas, como a visão e interação direta do plano de controle com o plano de gerência.

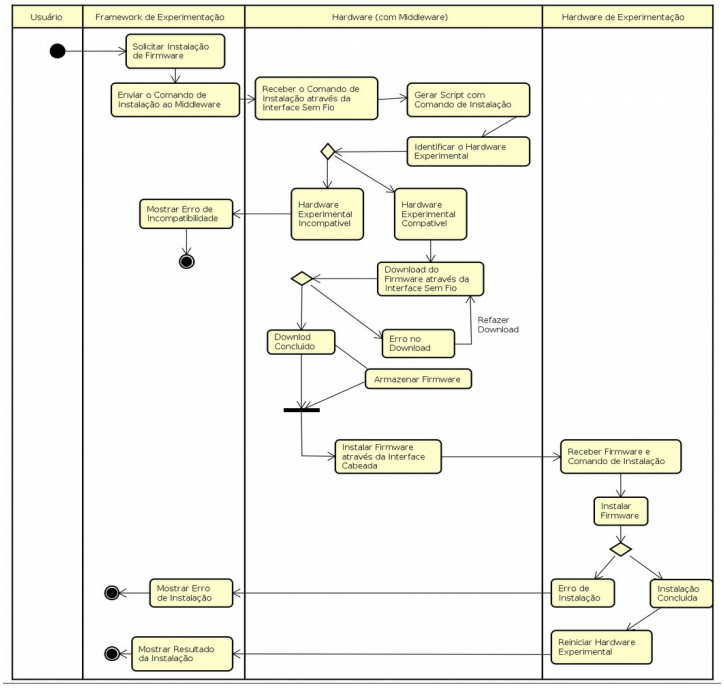

Fig. 7. Diagrama de Atividade – Instalação de Firmware.

A Fig. 7 apresenta um diagrama de atividade, demonstrando a ação de cada componente atuante no processo de instalação de *firmware*, partindo do ponto em que um usuário experimentador já tem total disponibilidade do nodo experimental alocado. O usuário através da interface FIBRE/OMF [13] solicita a instalação de *firmware* no nodo experimental, então é enviado uma solicitação em forma de comando para o *middleware*, que por sua vez trata o comando recebido pela Interface Wireless, identificando a compatibilidade entre o *firmware* à ser instalado com o nodo experimental. Com isso, é realizado o *download* e o armazenamento no nodo de controle, seguido da instalação do *firmware*, onde após a sua conclusão o nodo experimental é reiniciado já com o novo *firmware*. Em operação conjunta com os módulos da arquitetura OMF, apenas algumas das visualizações são transparentes para o usuário experimentador, como o resultado da etapa de download e instalação.

IV. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou uma proposta de plano de controle sem fio para ambientes experimentais. Propondo a adição de um nodo com tecnologia de rede sem fio no plano de controle para a utilização em topologia *outdoor*, visto que as ilhas do FIBRE encontraram dificuldade de implementar um ambiente *outdoor* devido a demanda infraestruturada do plano de controle. Também é apresentado um *middleware* para realizar as mais variadas funcionalidades de controle.

Com a extensão apresentada, a arquitetura mantém toda a integração dos Icarus com o *framework* OMF, possibilitando o uso do ambiente experimental para outros tipos de experimentos sem fio com diferentes tecnologias, como experimentos para SmartCity, WiMAX, Múltiplos Saltos Sem Fio, OpenFlow Wireless, entre outros.

Como trabalhos futuros pretende-se utilizar um nodo computacional aberto e sem fio no plano de dados, diminuindo o custo de implantação e possibilitando maior flexibilidade da manipulação do equipamento. Além de habilitar QoE (*Quality of Experience*) no plano de controle e gerência, implementando modificações na arquitetura dos planos e facilitando assim a utilização no ambiente experimental sem fio OMF.

Referências

[1] "FIBRE - Future Internet Brazilian Environment for Experimentation", http://fibre.org.br/. [Último acesso: 21/12/2015].

[2] "Icarus Node - NITlab - Network Implementation Testbed laboratory", http://nitlab.inf.uth.gr/NITlab/index.php/hardware/wireless-nodes/icarus-nodes.html. [Último acesso: 07/02/2016].

[3] "OMF Main Page - OMF - OMF Developer Portal", http://omf.mytestbed.net/projects/omf/wiki/OMF_Main_Page. [Último aceso: 13/09/2015].

[4] Arquitetura Geral. http://fibre.org.br/infrastructure/resources/. [Último acesso: 07/04/2016].

[5] Pinheiro, B., de Brito Nascimento, V., Cerqueira, E., Abelém, A., e Neto, A. Abaré: Um framework para implantação, monitoramento e gerenciamento coordenado e autônomo para redes em malha sem fio. In XV Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços-SBRC, Gramado, RS, Brasil, 2010.

[6] Silvestre, B., Cardoso, K., e Sand, C. "Controle e Monitoramento de Experimentos para a Internet do Futuro usando OMF". In Simposio Brasileiro de Redes de Computadores, 2012.

[7] Anderson, Eric et al. Challenges in deploying steerable wireless testbeds. In: International Conference on Testbeds and Research Infrastructures. Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 231-240.

[8] Fortuna, Carolina et al. Wireless software and hardware platforms for flexible and unified radio and network control. In: European Conference on Networks and Communications (Eu-CNC). 2015.

[9] Rakotoarivelo, T., Ott, M., Jourjon, G., and Seskar, I. "OMF: A Control and Management Framework for Networking Testbeds". SIGOPS per. Syst. Rev., 43(4):54–59, 2010.

[10] Bouckaert, S., Becue, P., Vermeulen, B., Jooris, B., Moerman, I., and Demeester, P. "Federating Wired and Wireless Test Facilities through Emulab and OMF: The iLab.t Use Case". In Testbeds and Research Infrastructure. Development of Networks and Communities: 8th International ICST Conference, TridentCom 2012, Thessanoliki, Greece, June 11-13, 2012, Revised Selected Papers, pages 305–320. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.

[11] Arquitetura do Sistema OMF. https://mytestbed.net/projects/omf/wiki/An_Introduction_to_OMF. [Último acesso: 07/04/2016].

[12] Vasconcelo, F. M. e Salles M., R. Emprego de Resiliencia na Gerência de Redes de Computadores. In XXX Simposio Brasileiro de Redes de Computadores, 2012.

[13] "FIBRE/OMF - OMF Testbed UFPA" https://portal.ufpa.fibre.org.br/. [Último acesso: 11/04/2016].

Alexsander Núñez e Renato Francês, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, E-mails: alexsander.nunez@gmail.com, rfrances@ufpa.br.

Vagner Nascimento e Billy Anderson, Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia, Belém-PA, Brasil, E-mails: vagner@ufpa.br, billy@ufpa.br.

Antônio Abelém, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Computação, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, E-mail: abelem@ufpa.br.