

Modelo de Gestão para Redes Wireless Banda Larga

Nuno Salvador 1,2, António Pereira 1,2,

¹*INOV INESC Inovação delegação na ESTG-Leiria Morro do Lena – Alto do Vieiro, 2411-901 Leiria*

²*Centro de Investigação em Informática e Comunicações do Instituto Politécnico de Leiria, Morro do Lena – Alto do Vieiro, 2411-901 Leiria*

Abstract— Actualmente, devido a questões de índole financeiras, as operadoras de acesso à Internet, não investem em zonas rurais porque não existe compensação financeira adequada ao investimento nem uma solução tecnicamente válida. Este facto origina cada vez mais o aparecimento das designadas redes WBL (Wireless Banda Larga), que permitem fornecer acesso à Internet às populações discriminadas por esta circunstância. Os aspectos relacionados com a gestão destas redes são normalmente esquecidos e actualmente existe uma carência de soluções economicamente e tecnicamente viáveis que possam auxiliar com eficiência esta função.

Após uma pesquisa intensiva de soluções comerciais e open-source, de gestão de redes wireless, verificou-se a inexistência de uma solução economicamente viável assim como a ausência de um modelo de gestão para os cenários de implementações de redes WBL. Este trabalho contribui para a definição de um modelo de gestão assim como para parte da sua implementação.

A proposta do modelo assenta numa solução centralizada, que congrega vários módulos de software open-source, capazes de responder ao conjunto de funcionalidades identificadas no modelo.

Os testes efectuados mostram que o modelo apresentado representa uma solução completa, capaz de abranger as várias áreas do processo de gestão de redes WBL.

I. INTRODUÇÃO

As tecnologias de Banda Larga, também designadas por *wireless broadband*, incluem todas as tecnologias que permitem transferência de dados multimédia e informação com elevadas larguras de banda. A Banda Larga pode ser definida como: o conjunto de serviços de alta velocidade quer seja voz, dados ou vídeo, assim como a infra-estrutura subjacente, clientes e tecnologias que permitam estes serviços. Especificamente o conteúdo da banda larga é digital e a taxa de transmissão é de pelo menos 384Kbps [1].

Como em ambientes rurais a banda larga através do cabo nem sempre chega, a WBL assume-se como a melhor definição, para a tecnologia que fornece o acesso à internet a estas zonas.

A proposta de um modelo de gestão contribui para uma clara definição do que deve ser uma solução eficaz e

económica, uma vez que nesta área os grandes fabricantes de equipamentos oferecem já soluções de elevada maturidade. No entanto, a proliferação das redes rurais é um facto consumado, pelo que se manifesta essencial este contributo.

São vários os desafios que se colocam à gestão de redes WBL, pois as arquitecturas evoluíram no sentido da centralização e da unificação. Hoje em dia a função de gestão de redes, tem tendência a não distinguir a tecnologia em uso. O mesmo equipamento terá capacidade para suportar os dois tipos de redes, logo a gestão da rede, quer wireless quer LAN será facilitada porque a questão da centralização será cada vez mais abrangente [2].

A proposta do modelo apresentado, neste artigo, converge para este interesse, na medida em que soluciona e simplifica de uma forma económica e técnica, a complexidade da gestão de redes WBL. Contribui ainda para a identificação de uma panóplia de funcionalidades que uma solução deste tipo deverá contemplar.

Para chegar à definição do modelo, foram realizadas as seguintes acções: análise da evolução da gestão de redes wireless em função das arquitecturas, identificação de algumas soluções comerciais existentes no mercado e identificação de soluções open-source de gestão de redes. Após este levantamento foram identificadas algumas ferramentas open-source, capazes de responder às funcionalidades levantadas no modelo.

II. ESTADO DA ARTE

Estudar a evolução da gestão das redes wireless, ajuda a compreender e a definir o modelo.

A gestão das redes wireless sofreu várias evoluções ao longo dos tempos, que não poderá ser dissociada da evolução das arquitecturas. Nas primeiras redes wireless a gestão não era um aspecto crítico porque a arquitectura dominante era a “point-to-point”, o que originava uma gestão simples para um número de dispositivos reduzido [3]. A evolução continuou com a arquitectura “point-to-Multipoint” onde apareceram as

primeiras implementações da arquitectura “WLAN Gateways”, que proporcionavam já uma forma de gestão centralizada, pelo menos obrigando a que todo o tráfego passasse num ponto único. A arquitectura seguinte evoluiu para os controladores WLAN, onde surgiu o conceito thin-AP, ou seja, AP’s que não continham qualquer processamento, apenas distribuíam o sinal. As arquitecturas distribuídas ou mesh, surgiram com o objectivo de descentralizar o processamento e aumentar a cobertura, criando para isso malhas de APs, onde a comunicação poderia ser efectuada quer por wireless quer por LAN. Para implementações de elevada escala, a função de gestão era distribuída por vários equipamentos da rede.

Actualmente encontramos-nos num estado em que a gestão de redes abrange quer as redes wireless quer a rede LAN, designada por arquitectura unificada. Esta arquitectura, não faz distinção entre redes wireless e LAN. O mesmo equipamento (switch) terá capacidade para suportar os dois tipos de redes.

III. SOLUÇÕES DE GESTÃO WBL

Para evidenciar a não existência de um sistema de gestão para as redes WBL, em muito contribuiu a pesquisa das soluções já existentes nos principais fabricantes de equipamentos wireless, assim como uma pesquisa de soluções opensource com funcionalidades de gestão de rede.

A. Soluções comerciais

No mercado existem várias soluções de gestão de redes wireless, normalmente mais direccionadas para as redes indoor. O objectivo no estudo destas soluções, prendeu-se com o facto de entender a diferença entre estas e as soluções opensource, nomeadamente no que concerne a funcionalidades.

Foram escolhidas para a amostragem, as seguintes soluções: AirWave Wireless Management Suite [4], Colubris Network Management System [5], AirMagnet Enterprise [6], Avalanche MC [7], Cisco Wireless Control System [8], WifiManager [9] e ProCurve Manager Plus [10]. Estas soluções encontram-se num estado de maturidade bastante razoável, apresentando funcionalidades muito avançadas para a gestão de redes wireless.

Foram analisadas questões relativas à forma como estas soluções cumpriam a função configuração dos equipamentos, como inventariavam a rede, como efectuavam a monitorização dos equipamentos, como geriam a segurança da rede, como efectuavam diagnósticos e ainda como reportavam esta quantidade de informação.

As ferramentas comerciais conseguem hoje monitorizar o estado da rede, com um elevado nível de detalhe de todos os equipamentos existentes. Um dos maiores desafios da gestão de redes wireless, continuam a ser os aspectos relativos à gestão da rádio-frequência, nomeadamente em colocar em ferramentas gráficas a cobertura do sinal, a qualidade do sinal, a localização dos utilizadores, entre outros. No entanto, nesta área as soluções comerciais já apresentam um elevado nível de

desenvolvimento.

A segurança é outro dos aspectos não deixados ao acaso nestas soluções, sendo possível gerir a integridade da rede de forma eficaz e centralizada, através da informação que se consegue obter.

Outros aspectos identificados como inovadores foram as funcionalidades de diagnóstico, existindo a possibilidade de correlacionar erros, suscitando soluções para a correcção dos problemas existentes na rede.

Apesar destes aspectos, as grandes limitações das soluções comerciais para as redes WBL são duas: o elevado custo de aquisição e a compatibilidade para gerir equipamentos de outros fabricantes.

B. Soluções Opensource

Após o levantamento de várias soluções opensource, identificou-se a inexistência de uma que abrangesse todas as funcionalidades desejáveis na gestão de redes wireless. No entanto foi possível apurar várias ferramentas que cumprem funções específicas. Para detalhar cada função, foram identificadas as seguintes categorias de ferramentas: sistemas operativos embebidos (firmware’s wireless) [11]; portais captativos (hotspot gateway); segurança; diagnóstico, monitorização e inventário; serviços de localização; Live CD’s.

Existem um número razoável de firmware’s wireless baseados em Linux disponíveis para download na internet, a saber: Sveasoft [12], OpenWrt [13], DD-Wrt [14], entre outros. Estes firmware’s são desenvolvidos e distribuídos sob a licença GNU GPL, e podem ser instalados em alguns APs existentes no mercado, sendo o modelo Linksys WRT54G o mais comum. As funcionalidades existentes neste tipo de solução dão suporte a serviços de rede (DHCP, DNS, Proxy, gestão de utilizadores, etc...), a questões de segurança (VPN, firewall, WEP, WPA, EAP, IpSec), e ainda contemplam funcionalidades de gestão (SNMP), entre outros.

Os portais captativos também proliferam na internet para download, por exemplo: Chillispot [15], Nocat [16], Coova [17], entre outros. A gestão de acesso e validação dos utilizadores, o controlo de largura de banda, a limitação do tempo de acesso, billing, e outros, podem ser resolvidos com este tipo de software. São muito utilizados para hotspot’s públicos.

Existem uma panóplia de ferramentas de segurança opensource, que podem ser utilizadas para ajudar a tornar as redes wireless mais seguras, quer na implementação dos protocolos, quer na auditoria da rede. Relativamente a ferramentas de diagnóstico, inventário e monitorização, a lista de soluções é interminável, permitindo fornecer informações muito úteis para gestão de redes wireless, inventariando os equipamentos disponíveis quer manualmente quer através da descoberta automática. Permitem monitorizar as normas utilizadas na rede, o tipo de tráfego, diagnosticar problemas, entre outros.

Com o software de serviços de localização consegue-se obter através da informação da rede, informação gráfica

(mapas), assim como vários tipos de informação: qualidade do sinal, níveis de ruído, localização dos equipamentos, interferências de canais, entre outros. A localização dos utilizadores é ainda uma carência neste tipo de soluções, até porque não foram encontradas soluções que pudessem simplificar esta função.

Existem ainda alguns projectos opensource que disponibilizam pacotes de ferramentas para fornecer serviços wireless, na figura de Live CD's, como por exemplo: Linux LiveCD Router, Public IP Zone CD e Zeroshell. Este tipo de software, apesar de cumprir várias funcionalidades na gestão das redes wireless, não permite muita flexibilidade para novas exigências.

Apesar das desvantagens enunciadas, as soluções opensource são as que garantem mais compatibilidade entre equipamentos, ou seja, podem ser utilizadas independentemente da marca e do modelo. O opensource, representa ainda uma mais-valia por permitir o reaproveitamento de trabalho já realizado, na prossecução da concretização de soluções mais completas e modulares. Acredita-se portanto que para as redes WBL, o melhor caminho para concretizar uma boa solução, seja o opensource.

Contudo, apesar de todas as funcionalidades enumeradas permitidas pela panóplia de soluções opensource, estas apresentam-se desgarradas, sem que constituam uma solução de gestão que concentre e optimize a informação. Confirma-se portanto a inexistência de uma solução de gestão de redes WBL centralizada, pelo que se propõe abrir o caminho para esta materialização.

Do levantamento dos dois grandes grupos de soluções, opensource e comerciais, resultou um extenso quadro comparativo sobre as funcionalidades que ambos os grupos suportam. A Figura 1 e a Figura 2 resumem as conclusões extraídas desse quadro comparativo. A Figura 1 mostra a distribuição de funcionalidades que são garantidas só por soluções comerciais, só por soluções opensource, ou então pelos dois grupos de soluções.

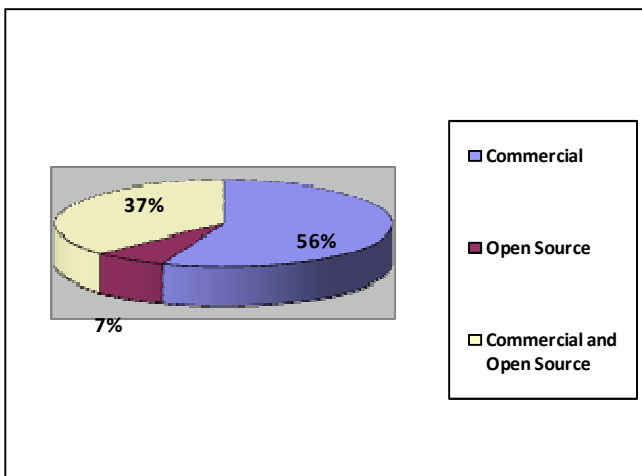


Fig. 1. Distribuição de funcionalidades por grupos de soluções

Neste gráfico pode-se concluir que 56% das funcionalidades

estudadas são garantidas apenas por soluções comerciais, enquanto que 37% são garantidas por ambos os grupos de soluções. Apenas 7% são garantidas por soluções opensource.

A Figura 2 detalha algumas das soluções estudadas (comerciais e opensource), enumerando a quantidade de funcionalidades que cada uma garante.

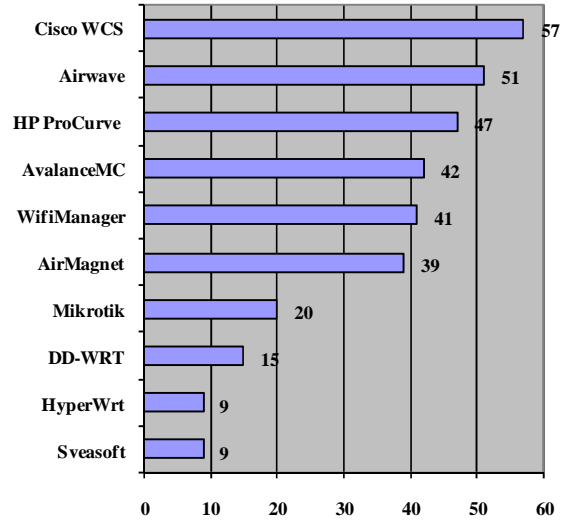


Fig. 2. Número de funcionalidades por solução

Daqui se conclui que as primeiras seis posições, são ocupadas por soluções comerciais, logo se deduz que estas são mais completas que as soluções opensource.

IV. MODELO DE GESTÃO WBL

A análise das soluções efectuada no ponto anterior, permitiu desenhar um modelo que se considera indicado para a gestão completa de redes WBL.

Após os estudos efectuados, identificaram-se três grandes categorias em que se podem dividir a gestão de redes WBL: Infra-estrutura, Segurança e Monitorização. Na Figura 3 podem ser observados a arquitectura do modelo de alto nível.



Fig. 3. Modelo de gestão de redes WBL (alto nível)

Cada uma das categorias subdivide-se em módulos que se identificam na Figura 4, que por sua vez serão detalhados nos pontos seguintes.

A. Características globais

O modelo deverá compreender um conjunto de características que são independentes das categorias. O primeiro aspecto prende-se com a Gestão Centralizada, pois a existência de um ponto único de controlo é a escolha mais acertada. Segundo [18], esta é uma das principais razões em utilizar a aproximação centralizada, em detrimento da aproximação distribuída. As arquitecturas de redes cuja gestão é centralizada, permitem simplificar dramaticamente a tarefa de gerir centenas de AP's individuais [19]. A solução deverá possibilitar uma gestão híbrida, integrando a gestão de todos os elementos da rede. A solução deverá garantir o histórico de todas as actividades na rede.



Fig. 4. Módulos da arquitectura proposta para a gestão de redes WBL

B. Função infra-estrutura

A função infra-estrutura divide-se nos seguintes módulos: Inventário, Configuração, Serviços de rede e controlo de acessos, Serviços de localização e Planeamento. O módulo de Inventário terá a responsabilidade de gerir quer os equipamentos da rede quer os seus utilizadores. Deverá ser possível por exemplo, descobrir automaticamente todos os equipamentos da rede, obter informação das frequências e tecnologias utilizadas, entre outros. O módulo de Configuração deverá permitir a gestão de toda a configuração dos equipamentos da rede de forma centralizada. O módulo de Serviços de rede e controlo de acessos, possibilitarão o fornecimento aos utilizadores da rede, todos os serviços necessários para operar na mesma (DHCP, DNS, entre outros). O módulo de Serviços de localização deverá fornecer aos administradores ferramentas visuais do que está a acontecer na rede, incluindo a localização dos clientes. O sucesso de qualquer implementação está na capacidade para efectuar um bom Planeamento. Um bom planeamento evitará surpresas

desagradáveis, pois contemplará efectuar site *surveys* (testes de RF) gerando relatórios e posterior análise; identificar as normas IEEE 802 que mais se adequam ao cenário de implementação, possibilitar a realização de testes de carga (por exemplo: previsão de distribuição de utilizadores por AP? Quantos APs são necessários para a cobertura pretendida?), identificar a melhor infra-estrutura para as aplicações (voz e vídeo), medir interferências, obstáculos e ruídos, demonstrar resultados em mapas (cobertura, qualidade de sinal, zonas de sombra).

C. Função segurança

A função segurança constitui-se através dos seguintes módulos: Definição e atribuição de políticas, auditoria à rede e detecção de AP's não autorizados. O módulo de definição e atribuição de políticas de segurança da rede deverá permitir gerir todos os protocolos de segurança que se desejem utilizar na rede, as políticas de segurança e a sua aplicabilidade. O módulo de Auditoria terá a responsabilidade de informar sobre o estado da rede, com o objectivo de garantir a detecção de falhas ao nível de segurança e corrigi-las. O módulo de detecção de APs não autorizados terá a função de garantir a inexistência de AP's que não pertençam à solução implementada.

D. Função monitorização

A função monitorização deverá fornecer informações sobre o estado da rede e compõe-se pelos seguintes módulos: monitorização em tempo real, helpdesk e diagnóstico, implementação de QoS e ainda reporting. O módulo de Monitorização em tempo real deverá fornecer ao administrador da rede uma fotografia do que está a acontecer na rede em tempo real. Será o ponto que reunirá o maior número de informações, de forma centralizada colocando-as com uma leitura mais simples (criação de Dashboards). Deverá fornecer estatísticas de parâmetros técnicos e responder às seguintes questões: Quem está a causar picos de utilização? Que aplicações estão a exigir mais da rede? Em que momento ocorrem os picos? Onde se localizam geograficamente as utilização das aplicações? As soluções de gestão devem fornecer algoritmos de optimização automática para controlar as configurações da rádio-frequência, por forma a eliminar a necessidade de repetir alterações manuais. Este módulo deve monitorizar a qualidade de sinal do utilizador e a performance da rede, com o intuito de ajudar a equipa de helpdesk a diagnosticar interferências rádio quando estas ocorrem. O protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) assumirá aqui contornos de elevada importância, na facilitação de obtenção desta informação, enquanto não são ratificadas as normas CAPWAP (Control Provisioning of Wireless Access Points) [20], IEEE 802.11v e IEEE 802.11k. O módulo de Helpdesk e Troubleshooting deverá ajudar a equipa de suporte a prestar Helpdesk aos utilizadores, fornecendo ferramentas para resolução de problemas. O módulo de QoS deverá garantir a implementação de mecanismos de qualidade de serviço na rede, para as aplicações definidas como prioritárias,

como a voz e o vídeo. O módulo de Reporting deverá fornecer a informação mais variada sobre a rede, ou seja, listar todos os aspectos referidos em todos os módulos apresentados.

V. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

O ambiente experimental do modelo consistiu na implementação dos módulos de serviços de rede e inventário, contemplando ainda a característica global identificada de garantir uma gestão centralizada.

A. Gestão centralizada

As abordagens possíveis para a consecução de uma gestão de Redes Wireless Centralizada são duas: desenvolvimento de uma plataforma de gestão ou implementação de soluções em plataformas existentes. Seguir a primeira opção, para o cenário em questão, não se afigurou praticável, uma vez que o esforço do desenvolvimento seria elevado. Logo, decidiu-se seguir o caminho que o segundo ponto refere, ou seja, tentou-se concentrar as funcionalidades numa plataforma que centralizasse toda a função de gestão de Redes WBL.

O opensource foi a opção tomada devido a limitações financeiras e à sua flexibilidade. As funcionalidades que se perderam com esta opção em detrimento das soluções comerciais, foram essencialmente duas: centralização da gestão e funcionalidades de serviços de localização de equipamentos e utilizadores dos dispositivos móveis.

Optou-se por utilizar o Webmin [21] como aglutinador de todos os módulos necessários para a solução. Objectivamente o que se pretendeu implementar consistiu na concentração de todos os módulos, centralizando o seu acesso através do Webmin. O Webmin irá integrar num interface único as diversas ferramentas opensource que implementam partes do modelo. O trabalho de desenvolvimento é maioritariamente composto pela integração num interface único de várias ferramentas já existentes.

A arquitectura implementada, consistiu na concentração de todo o tráfego pelo servidor onde foi instalado a solução de gestão, constituída por um servidor com o Linux Ubuntu Server 8.04, com vários módulos instalados e geridos através do Webmin. O cenário de implementação dos testes está demonstrado na Figura 5.

Os testes foram realizados conforme demonstra na Figura 5, utilizando-se quatro clientes, em dois APs ligados a um switch, que por sua vez ligou ao servidor que contem a solução de gestão implementada. Os clientes podem aceder à rede wireless através do seu portátil via hotspot público, ou então na sua residência através do *link* que será instalado na mesma. Não foram efectuados testes de carga neste cenário, ou seja a solução para um número elevado de utilizadores, poderá ter necessidade de maior capacidade de processamento e armazenamento.

No modelo apresentado, propomos a localização da estação de gestão no ponto de concentração de todo o tráfego (Figura 5). Não significa que tenha de estar obrigatoriamente neste ponto, contudo a sua escolha justifica-se por ser um ponto por

onde passa todo o tráfego e também porque para além da gestão, a solução também fornecerá serviços de rede e poderá actuar como Firewall. Esta opção implicará a necessidade de alta disponibilidade neste ponto, nomeadamente nos tempos de resposta reduzidos.

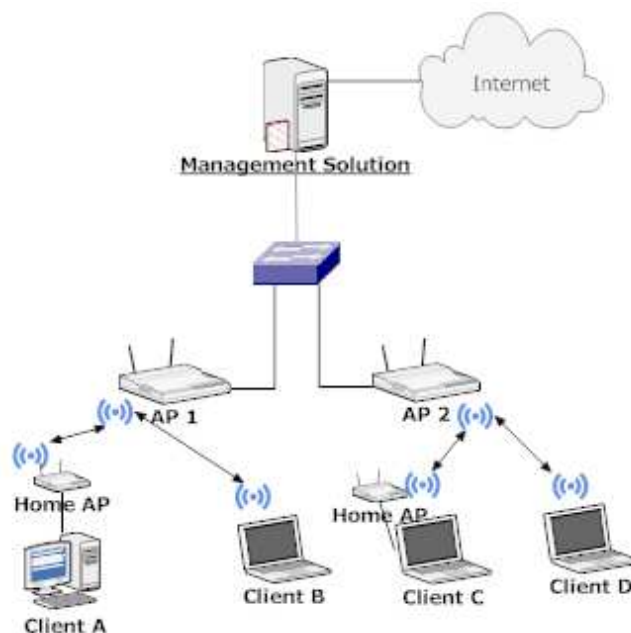


Fig. 5. Arquitectura experimental

B. Serviços de rede

Na implementação dos serviços de rede, pretendeu-se demonstrar como permitir o acesso à rede e efectuar algum controlo na utilização da mesma. Para tal, utilizou-se o software Freeradius [22], com uma base de dados MySQL [23], para gerir e controlar os utilizadores. Através do Freeradius foi possível limitar a largura de banda por utilizador, assim como definir o tempo de sessão. Foi ainda utilizado o serviço proxy Squid [24], para redireccionar os utilizadores com o perfil de guest, ou seja, os utilizadores que acederem à rede através dos hotspot's, uma vez que nestes casos, o acesso à rede será garantido através de um mecanismo de Web based login.

Esta implementação demonstrou ser eficaz para suprir esta função.

C. Inventário e Monitorização

Relativamente ao módulo de inventário e monitorização, a ferramenta opensource escolhida para demonstrar o modelo foi o Groundwork [25]. Apesar de ser uma ferramenta com uma componente empresarial, disponibiliza uma parte em opensource que permite efectuar o inventário de todos os equipamentos da rede, utilizando o Nagios como módulo para executar esta tarefa. Esta tarefa que pode ser realizada de forma automática ou manual, permite depois monitorizar o estado dos equipamentos da rede, quer via protocolo ICMP, vulgo comando ping, quer via protocolo SNMP. O Groundwork permite ainda definir alertas de vários tipos e

definir scripts para monitorizar vários aspectos relacionados com a rede wireless.

O Groundwork mostrou ser uma ferramenta com um grande potencial para a gestão das redes WBL, pois permite integrar outras ferramentas de monitorização opensource.

VI. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O modelo apresentado pode ser uma base para se conseguir atingir uma boa solução de gestão de redes WBL. Para organizações com limitações de orçamento, este modelo representa uma solução completa, capaz de abranger as várias áreas do processo de gestão de redes WBL, na medida em que clarifica e define essas áreas. Demonstrou através dos exemplos de implementação aqui referidas, que o modelo resulta e é viável. Relativamente a trabalhos futuros, seria interessante e desejável, desenvolver os outros módulos do modelo, implementando-os sempre numa abordagem centralizada. Estas implementações poderão ter a ajuda do levantamento efectuado neste trabalho, onde se mostra que soluções opensource existem, de forma a responder às funcionalidades identificadas no modelo.

REFERÊNCIAS

- [1] Zizi Papacharissi and Anna Zaks, "Is broadband the future? An analysis of broadband technology potential and diffusion", Science Direct, 2006.
- [2] Synergy research group, "NextHop: The Next Step in Enterprise Wireless LANs", December 2006.
- [3] Craig J. Mathias, "Which WLAN architecture wins?", Farpoint Group, July 2006
- [4] AirWave Wireless Management Suite [Online]. Disponível em: <http://www.airwave.com/products/>
- [5] Colubris Network Management System [Online]. Disponível em: <http://www.colubris.com/global-wireless-network-management/network-management-system.asp>
- [6] AirMagnet Enterprise [Online]. Disponível em: <http://www.airmagnet.com/products/enterprise/>
- [7] Avalanche MC [Online]. Disponível em: <http://www.wavelink.com/products/avmc.aspx>
- [8] Cisco Wireless Control System [Online]. Disponível em: <http://www.cisco.com/en/US/products/ps6305/index.htm> 1
- [9] WifiManager [Online]. Disponível em: <http://manageengine.adventnet.com/products/wifi-manager/index.html>
- [10] ProCurve Manager Plus [Online]. Disponível em: http://www.hp.com/rnd/products/management/ProCurve_Manager_Plus/overview.htm
- [11] Sanjaya Kumar, James H. Aylor, Barry W. Johnson, Wm.A. Wulf, "The Codesign of Embedded Systems: A Unified Hardware/software Representation", Kluwer Academic Publishers, 1996
- [12] Sveasoft [Online]. Disponível em: <http://www.sveasoft.com/>
- [13] Openwrt,2008 [Online]. Disponível em: <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtOverview>
- [14] DD-wrt [Online]. Disponível em: http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/What_is_DD-WRT%3F
- [15] Chillispot [Online]. Disponível em: <http://www.chillispot.info>
- [16] NoCat [Online]. Disponível em: <http://nocat.net>
- [17] Coova [Online]. Disponível em: <http://coova.org>
- [18] Weishuai Yang Shanping Li Yuming Yao, "Hybrid network management paradigm", Dept. of Comput. Sci. & Eng., Zhejiang Univ., Hangzhou, 2001.
- [19] Paul DeBeasi, "Wireless LAN Systems: Ready for the Future?", Buron Group WhitePaper, April 2007
- [20] CAPWAP, IETF group [Online]. Disponível em: <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-capwap-protocol-specification-10.txt>
- [21] Webmin [Online]. Disponível em: <http://www.webmin.com>
- [22] FreeRadius [Online]. Disponível em: <http://www.freeradius.org/>
- [23] Mysql [Online]. Disponível em: <http://www.mysql.org/>
- [24] Squid, [Online]. Disponível em: <http://www.squid-cache.org>
- [25] Groundwork [Online]. Disponível em: <http://www.groundworkopensource.com>