

# Seleção Dinâmica de Interfaces baseado em Análise de Contexto para Redes Sem fio Heterôgeneas

Alex Monteiro<sup>1</sup>, Eduardo Souto<sup>1</sup>, Richard Pazzi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

<sup>2</sup>Instituto de Tecnologia da Universidade de Ontario (UOIT) – Canadá

{alex.monteiro,esouto}@icomp.ufam.edu.br, richard.pazzi@uoit.ca

**Abstract.** *The Internet access has been increasingly common across different types of wireless technologies. However, this exploit multiple forms of access is not a simple task. Different parameters must be analyzed to deliver the best wireless network available to the end user. This paper proposes a new mechanism for selection of access networks, called CANS, which selects the best access interface based on user context analysis and device. The results show that the adoption of the proposed selection strategies enables the user to better exploit the advantages of wireless access technologies, achieving better rates of flow and availability of access.*

**Resumo.** *O acesso à Internet tem sido cada vez mais comum através de diferentes tipos de tecnologias sem fio. Contudo, explorar esta multiplicidade de formas de acesso não é uma tarefa simples. Diferentes parâmetros devem ser analisados para entregar a melhor rede sem fio disponível ao usuário final. Este trabalho propõe um novo mecanismo para seleção de redes de acesso, denominado CANS, que seleciona a melhor interface de acesso baseado na análise de contexto do usuário e do dispositivo. Os resultados mostram que a adoção das estratégias de seleção propostas possibilitam ao usuário explorar melhor as vantagens das tecnologias de acesso sem fio, obtendo melhores taxas de vazão e de disponibilidade de acesso.*

## 1. Introdução

O acesso à Internet tem sido cada vez mais comum através de diferentes tipos de tecnologias de comunicação sem fio, sendo uma consequência natural do crescimento da cobertura de serviços e da evolução dos dispositivos móveis, atualmente equipados com múltiplas interfaces de acesso. Em geral, a satisfação do usuário está vinculada em acessar redes que ofereçam melhores velocidades de acesso, porém existem outras questões o consumo de energia e custo financeiro que impactam fortemente na satisfação deste. Em síntese, o que o usuário almeja é acessar a Internet com melhor velocidade de acesso, por mais tempo com menor consumo de energia e com menor custo financeiro.

A fim de atender as necessidades do usuário, diferentes estratégias têm sido propostas na literatura para selecionar a melhor interface de acesso. Estas propostas envolvem algoritmos de decisão de *handoff* vertical (troca de redes de acesso com tecnologias diferentes) que consideram múltiplos parâmetros em conjunto com RSS (*Received Strength Signal*) tais como o SAW (*Simple Additive Weighting*) [Savitha and Chandrasekar 2011], TOPSIS [Tran and Boukhatem 2008] e o GRA (*Grey Relational*

*Analysis*). Esses métodos são simples e menos complexos de implementar, mas não são eficientes em aplicações de tempo real. Para tentar deixar as decisões mais eficientes e inteligentes, alguns trabalhos vêm sugerindo o emprego de estratégias de ciência do contexto para tentar sintetizar o conjunto de informações da rede e dos terminais como em [Kim et al. 2008][Saboji and Akki 2012][Li et al. 2013][Ward et al. 2014].

Devido a esta diversidade de fatores a serem analisados, ter a ciência do contexto em que o usuário está inserido é um ingrediente chave no processo de desenvolvimento de soluções que permitam que os dispositivos computacionais tomem as decisões adequadas e oportunas para os usuários [Kim et al. 2008] [Li et al. 2013]. O uso de informações contextuais é essencial na otimização do processo de gerenciamento de *handoff* vertical em ambientes formados por múltiplas redes sem fio. Tais sistemas devem se adaptar às mudanças e variações de contexto do usuário, tais como localização, capacidade do dispositivo, características das interfaces de acesso existentes nos dispositivos, níveis de conectividade de rede, requisitos da aplicação, entre outros.

Uma questão comum às soluções que lidam com múltiplas tecnologias de acesso sem fio existentes é que elas avaliam as diferentes redes de acesso como um todo, relacionando todas as interfaces em uma única metodologia de avaliação, sem efetivamente avaliar características intrínsecas de cada tecnologia de acesso individualmente. Tal abordagem faz com que elas se tornem mais engessadas, dificultando a adesão de novas tecnologias de comunicação de acesso sem fio.

Neste contexto, este trabalho propõe um novo mecanismo para seleção de redes de acesso baseado na análise de contexto do usuário e do dispositivo. Este mecanismo, denominado CANS (*Context-Awareness Network Selection*), é capaz de selecionar a melhor interface de comunicação com base na análise de informações coletadas a partir da utilização do dispositivo, velocidade de deslocamento do usuário, consumo de banda e de energia. O CANS é composto por módulos de gerenciamento especializado para interface de rede. Esta modularidade torna o mecanismo escalável permitindo que novas estratégias de gerenciamento de interface possam ser adicionadas por meio da inclusão de novos módulos (interfaces de rede) quando necessário. As principais contribuições deste trabalho são:

1. Três novas estratégias de seleção e gerenciamento de interfaces: *Bluetooth*, *Wi-Fi* e acesso móvel 4G.
2. Um novo algoritmo de seleção de interface baseado na análise de contexto do usuário e do dispositivo.
3. Uma nova API para desenvolvimento de estratégias de *handoff* vertical e horizontal. A API CANS visa auxiliar desenvolvedores e pesquisadores a desenvolver novas soluções e melhoramentos no procedimento de *handoff*.
4. Uma aplicação que implementa e avalia as estratégias de seleção e gerenciamento de interface no dispositivo do usuário, funcionando como uma extensão do gerenciador de rede do sistema operacional.

O restante deste artigo está organizado com segue: a Seção 2 apresenta alguns dos principais trabalhos relacionados à seleção de dinâmica de rede. A Seção 3 descreve o CANS, suas características, estratégias de seleção e gerenciamento das interfaces de acesso. A Seção 4 descreve a API desenvolvida e aplicação para prova de conceito da solução proposta. A Seção 5 descreve os experimentos e resultados obtidos e a Seção 6 encerra este trabalho com as considerações finais.

## 2. Trabalhos Relacionados

Diferentes estratégias de decisão têm sido propostas para indicar quando uma rede ou interface candidata (ou talvez múltiplas redes, no caso de dispositivos *multihoming*) é mais adequada para o usuário. Tais estratégias podem ser categorizadas em [Akhila et al. 2012; Kassar et al. 2008]: estratégias baseadas na métrica RSSI, estratégias baseadas em função de custo, estratégias centradas no usuário, estratégias de decisão baseada em múltiplos atributos, lógica Fuzzy e redes neurais, e estratégia com ciência de contexto.

[Balbi *et al.* 2016] apresenta uma estratégia de seleção de rede baseada em RSSI a fim de reduzir o efeito ping-pong [Mhatre and Papagiannaki 2006] nas estações móveis. Na solução apresentada os autores modificam a ferramenta *WPA Supplicant* [Malinen 2013], responsável por realizar a autenticação, varreduras e *handoffs* entre pontos de acesso de Wi-Fi. A modificação ocorre na forma como *WPA Supplicant* realiza a escolha da rede de destino, uma estratégia de suavização das leituras de RSSI pela utilização da técnica de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) é utilizada. Tal solução apresentou significativa melhora com a redução do efeito ping-pong.

[Queiroz et al. 2015] propõe uma solução de *handoff* vertical utilizando o protocolo IEEE 802.21 *Media Independent Handover* (MHI) entre redes de móveis UMTS e WiMax. Nesta proposta o MHI é utilizado para gerenciar e reportar os eventos de rede, adotando uma estratégia de seleção de rede baseada em parâmetros de QoS. O objetivo é garantir que os requisitos de QoS para diferentes classes de serviços, como streaming de voz e vídeo, sejam atendidos.

Em alguns trabalhos, a estratégia de decisão é baseada em uma função de custo que mede o benefício obtido pelo *handoff* para uma rede em particular [Devi and Agrawal 2007]. Em geral, neste tipo de estratégia, a avaliação da rede candidata é realizada por uma soma de funções ponderadas de parâmetros específicos. Por outro lado, as estratégias centradas no usuário propõem critérios e políticas de decisão de *handoff* voltadas à satisfação do usuário [Tran and Boukhatem 2009][Awad et al. 2016].

Alguns desses critérios são adotados pelas estratégias onde a tomada de decisão é realizada por múltiplos atributos (MADM – *Multiple Attribute Decision Making*) [Tran and Boukhatem 2008]. A estratégia MADM é uma abordagem que trata a seleção dinâmica de interfaces com múltiplas alternativas (interfaces) e atributos (características das interfaces, preferências do usuário). Os mais populares métodos MADM são: o SAW [Savitha and Chandrasekar 2011], TOPSIS [Tran and Boukhatem 2008], AHP [Radhika and Reddy 2011]. Para tentar deixar as decisões mais eficientes e inteligentes, alguns trabalhos vêm sugerindo o emprego de estratégias de ciência do contexto para tentar sintetizar o conjunto de informações da rede e dos terminais, como em [Kim et al. 2008][Saboji and Akki 2012][Li et al. 2013][Ward et al. 2014].

Diferentemente das abordagens citadas, este trabalho propõe uma solução modular que utiliza estratégias auxiliares que selecionam a melhor rede acesso levando em conta a características específicas de cada tecnologia de acesso sem fio e depois seleciona a melhor interface de acesso baseado no contexto do usuário. Nossa meta é oferecer a melhor interface de acesso no que se refere à velocidade de acesso, consumo de energia e custo financeiro.

### 3. Seleção de Rede baseada em Ciência de Contexto.

O CANS (*Context-Awareness Network Selection*) é um mecanismo para gerenciamento de interface e seleção de redes de acesso em ambientes sem fio heterogêneos. O mecanismo proposto atua como um agente de software (um serviço) no dispositivo de comunicação móvel organizando informações do dispositivo (nível de bateria), do usuário (velocidade de deslocamento e utilização do dispositivo) e da rede (largura de banda). A partir da identificação dos cenários definidos pelo usuário, o CANS é capaz de estabelecer uma ordem preferencial de utilização das interfaces. Além do processo de seleção de interfaces, o CANS emprega estratégias de gerenciamento pontuais para as interfaces Bluetooth, Wi-Fi e de acesso móvel 4G/LTE.

#### 3.1 Arquitetura

Na arquitetura do mecanismo proposto, ilustrada na Figura 1, o acesso e a gerência das interfaces de rede são realizados através das API's (*Application Programming Interface*) fornecidas pelo sistema operacional. O CANS trata o problema de seleção de redes em nível horizontal, quando ocorre a troca entre redes com mesma tecnologia de acesso (*handover* horizontal), e em nível vertical, quando ocorre a troca entre redes com diferentes tecnologias de acesso (*handover* vertical).

No nível vertical, a estratégia de seleção de interfaces é baseada em informações de contexto como velocidade de deslocamento do usuário, utilização do dispositivo pelo usuário a partir da identificação do estado do dispositivo (se o *display* está ligado/desligado), largura de banda em uso e nível de bateria do dispositivo. Tais informações são utilizadas para determinar a interface de acesso mais adequada ao usuário em um determinado momento.

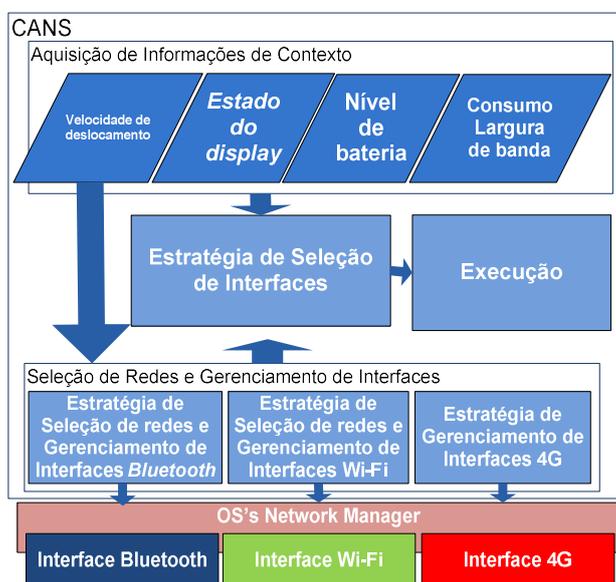


Figura 1. Arquitetura do CANS.

Por outro lado, no nível horizontal são aplicadas estratégias específicas para o gerenciamento da interface e seleção de rede para cada tecnologia de acesso, descritas na subseção 3.2. Tanto a estratégia de seleção de interface, quanto as estratégias aplicadas individualmente em cada interface possuem comunicação direta com o gerenciador de rede do sistema operacional do dispositivo.

Uma vez conhecida a melhor interface, o CANS executa a alteração do endereço IP do *gateway* e a interface padrão na tabela de roteamento do sistema operacional. As seções seguintes fornecem detalhes do funcionamento de cada estratégia utilizada pelo CANS.

### 3.2 Estratégias de Seleção e Gerenciamento de Interfaces

O CANS foi projetado para ser um mecanismo flexível e escalável, de modo que interfaces de acesso de outras tecnologias e novas estratégias de seleção e gerenciamento de interfaces possam facilmente ser adicionadas. Esta característica modular do CANS permite que cada estratégia trabalhe de forma pontual, de acordo com as particularidades de cada interface de acesso. O objetivo é entregar sempre à “Estratégia de Seleção de Interface” a interface já previamente conectada ao ponto de acesso e disponível (com acesso à Internet) para o processo de seleção.

#### 3.2.1. Estratégia de Seleção e Gerenciamento para a interface Bluetooth

Esta estratégia tem a finalidade de identificar a disponibilidade de redes e dispositivos com tecnologia *Bluetooth* que permitam conectividade a serviços de rede e Internet com baixo consumo de energia. Para alcançar este objetivo, a estratégia identifica se o usuário encontra-se parado e inicia um processo de varredura do espectro a procura de dispositivos que possuam perfil de acesso NAP (*Network Area Personal*) e tenta realizar o pareamento automaticamente, como ilustrado na Figura 2. Este perfil permite que a interface possa ser utilizada como se fosse uma interface de rede de acesso Ethernet, permitindo a utilização do protocolo IP.



**Figura 2. Etapas de funcionamento da estratégia de seleção e gerenciamento de interface Bluetooth.**

Apesar de tecnologia Bluetooth disponibilizar diferentes classes de dispositivos que oferecem áreas de coberturas de aproximadamente 1 m (Classe 3), 10 m (Classe 2) e 100 m (Classe 3), a maioria dos dispositivos disponíveis no mercado são de classe 2, proporcionando uma área de cobertura limitada a 10 m. Considerando a limitação de área de cobertura, a estratégia adota que somente será vantajoso utilizar esta interface de acesso quando o usuário estiver estacionado, ou seja, sua velocidade de deslocamento for nula (igual a zero) durante um intervalo de tempo de  $t$  minutos.

#### 3.2.2. Estratégia de Seleção e Gerenciamento para a interface Wi-Fi

A estratégia de gerenciamento de interface e seleção de redes Wi-Fi funciona de forma semelhante à estratégia para interface *Bluetooth*. Entretanto, em vez de entrar em

execução apenas quando o dispositivo está parado, o gerenciamento e a seleção dessa interface ocorre sempre que velocidade do deslocamento do usuário é menor ou igual a 5 Km/h ou 1,388 m/s, velocidade que corresponde a uma pessoa adulta caminhando [Mohler et al. 2007].

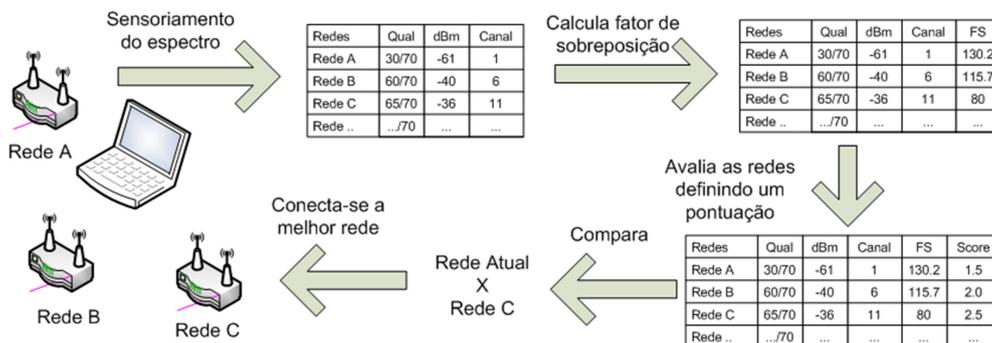
Conforme mostrado na Figura 3, para selecionar a rede Wi-Fi mais adequada, a estratégia realiza um sensoriamento do espectro coletando a força do sinal e o canal utilizado dos pontos de acesso adjacentes. Com base na força do sinal e dos canais utilizados, a estratégia calcula o fator de sobreposição de cada canal utilizado para descobrir a rede sem fio que possui o canal com menor interferência. Originalmente este fator de sobreposição é uma métrica comumente utilizada em vários algoritmos de seleção de canal para redes sem fio [Zhou and Liu 2012][Burton and Eng 2002] [Kalic et al. 2012][Monteiro et al. 2016]. Neste trabalho, o fator de sobreposição é utilizado sobre a perspectiva do nó cliente.

Uma vez que o fator de sobreposição é obtido, uma pontuação final da rede sem fio  $SR_n$  é estabelecida pela Equação 1,

$$S_{R_n} = \frac{Q_{Rn}}{Q_{max}} + \frac{RSSI - (-Sens)}{RSSI - Sens} + \frac{OF_{Max} - OF_{Rn}}{OF_{Max}} \quad (1)$$

onde  $Q_{Rn}$  é a qualidade da rede  $n$ ,  $RSSI$  é a força do sinal da rede  $n$ ,  $OF_{max}$  é o fator de sobreposição máximo encontrado entre os canais,  $OF_{Rn}$  é fator de sobreposição da rede  $n$ ,  $Sens$  é nível mínimo de sensibilidade da interface e  $Q_{max}$  é valor de qualidade máxima da interface dado pelo sistema operacional.

Após a atribuição da pontuação de todas as redes, caso o dispositivo não esteja conectado a nenhuma rede, a estratégia tenta estabelecer uma conexão com a rede com maior pontuação. Caso contrário, é realizada uma comparação entre a rede com maior pontuação com a rede em que o dispositivo está atualmente conectado. A estratégia se certifica que a troca de rede somente será realizada quando uma mesma rede for detectada com maior pontuação durante uma determinada quantidade de análises seguidas. O objetivo é evitar sucessivas trocas de redes ocasionando instabilidade ao mecanismo, também conhecido como efeito *ping-pong*. Por exemplo, para a implementação dessa estratégia neste trabalho foi adotado 4 (quatro) análises consecutivas com intervalo de 15 segundos, correspondendo ao tempo mínimo de um minuto para a troca da rede atual para uma rede com maior pontuação.



**Figura 3. Etapas de funcionamento da Estratégia de Seleção de rede e Gerenciamento de interfaces Wi-Fi.**

### **3.2.3. Estratégia de Gerenciamento para a interface de Acesso Móvel 4G**

Diferente das estratégias apresentadas anteriormente, a estratégia para interface móvel (interface 4G) trabalha apenas gerenciando a ativação e a desativação da interface. Isto ocorre porque o *handover* horizontal da rede de acesso móvel é realizado somente pela operadora do serviço, cabendo ao CANS somente decidir quando tornar ou não a interface de comunicação disponível.

Por ser a interface que oferece a pior relação custo benefício em relação à velocidade de acesso (vazão) e ao custo de acesso (MByte/R\$), a interface de acesso móvel é selecionada como último recurso para acesso na maioria dos contextos definidos nesta proposta. A estratégia entra em ação sempre que as demais interfaces não estão ativas ou quando não possuem conexão com a Internet. Em compensação, quando o usuário está em deslocamento de alta velocidade (por exemplo, a partir de um automóvel) a rede de acesso móvel 4G proporciona maior estabilidade do que as redes locais e pessoais sem fio devido a sua área de cobertura mais abrangente. Para identificar a necessidade da utilização da interface, a estratégia verifica o estado de ativação e conexão de serviço das outras interfaces.

### **3.3. Estratégia de Seleção de Rede**

Diferentes critérios podem ser levados em consideração para a etapa de decisão. Alguns desses critérios relacionados à rede, ao usuário, ao dispositivo e serviços em execução podem ser mais relevantes que outros dependendo do contexto. Antes da necessidade de realização de cálculos para quantificar as vantagens da utilização de determinada interface, a estratégia de seleção de rede verifica três parâmetros antes do processo de seleção, são eles: o estado da interface (ativo/inativo), o estado da conexão (conectado/desconectado ao ponto de acesso), e o estado do serviço (acesso à Internet disponível/indisponível).

O estado da interface permite identificar se a interface está ativada ou não para ser utilizada no processo de *handoff*. Caso não esteja, esta pode ser desconsiderada do processo de avaliação, ou seja, caso somente uma interface de acesso esteja ativada o processo de seleção nem chega a ser executado, a interface de acesso ativa já é selecionada imediatamente. O estado da conexão permite verificar se uma interface mesmo ativa possui uma conexão pré-estabelecida com algum ponto de acesso. Caso a interface não esteja vinculada a nenhum ponto de acesso, esta pode ser previamente descartada do processo de decisão. Por último, o estado do serviço permite identificar se algum serviço está disponível a uma determinada rede de acesso vinculada a uma determinada interface. Por exemplo, um dispositivo pode até estar conectado a um ponto de acesso (por exemplo, Wi-Fi), mas se o ponto de acesso não possuir o acesso ao serviço desejado pelo usuário, por exemplo a Internet (requisito comum na maioria dos casos), a interface também é descartada do processo de decisão.

Após a checagem destes três principais estados e a confirmação que de que pelos menos duas interfaces estão aptas para o processo de seleção, a estratégia inicia a identificação do contexto e a escolha da interface adequada. A estratégia observa o contexto do dispositivo, a fim de garantir que o usuário se mantenha conectado o maior tempo possível com o menor custo financeiro e consumo de energia. Cada contexto é identificado a partir da combinação de quatro principais parâmetros: i) velocidade deslocamento; ii) utilização do dispositivo por parte o usuário; iii) consumo de banda total utilizado pelos serviços ativos; e iv) carga atual de bateria. A estratégia de seleção

de interface proposta define três políticas de contexto (velocidade de acesso, economia de energia e cobertura) que define a ordem de preferência de utilização das interfaces.

A Tabela 1 apresenta os valores e as condições necessárias para a aplicação de cada uma dessas políticas. Nessa tabela,  $B_T$  (*bandwidth threshold*) é o valor referência que estabelece se o tráfego demandado pelo usuário é alto ( $\geq B_T$ ) ou baixo ( $< B_T$ ), e  $P_B$  (*percentage battery*) é o valor referência que estabelece o nível crítico de bateria para aplicação da política de economia de energia.

**Tabela 1. Políticas de contexto adotadas no CANS.**

| Fonte de energia conectada | Parâmetros                      |        |                  |                  | Política de Contexto |
|----------------------------|---------------------------------|--------|------------------|------------------|----------------------|
|                            | Velocidade de Deslocamento Km/h | Em Uso | Largura de Banda | Nível de bateria |                      |
| Sim                        | $< 5$                           | -      | -                | -                | Velocidade de Acesso |
|                            | $\geq 5$                        | -      | -                | -                | Cobertura            |
| Não                        | Parado<br>0                     | Sim    | $\geq B_T$       | $\geq P_B$       | Velocidade de Acesso |
|                            |                                 |        |                  | $< P_B$          | Economia de Energia  |
|                            |                                 | Não    | $< B_T$          | -                | Economia de Energia  |
|                            | Baixa velocidade<br>$0 < v < 5$ | Sim    | $\geq B_T$       | -                | Velocidade de Acesso |
|                            |                                 |        | $< B_T$          | $\geq P_B$       | Velocidade de Acesso |
|                            |                                 |        |                  | $< P_B$          | Cobertura            |
|                            |                                 | Não    | $\geq B_T$       | $\geq P_B$       | Velocidade de Acesso |
|                            |                                 |        |                  | $< P_B$          | Cobertura            |
|                            |                                 |        | $< B_T$          | -                | Cobertura            |
|                            | Alta velocidade<br>$> 5$        | -      | -                | -                | Cobertura            |

A política “velocidade de acesso” visa abordar cenários em que o usuário está utilizando o dispositivo, se ele está parado ou em deslocamento com velocidade inferior a 5 Km/h. Esta política define a ordem de prioridade das interfaces baseado na velocidade de acesso, oferecendo ao usuário a rede de acesso com melhor velocidade. A política supõe que serviços de transferência de dados em tempo real ou não podem ser executadas em curtos espaços de tempo ou até mesmo simultaneamente. Com base nesta suposição, interfaces com maiores velocidades de transferência e redes que oferecem larguras de banda maiores são mais adequadas para estes contextos.

A política “economia de energia” visa maximizar a economia de energia quando o dispositivo não está sendo utilizado pelo usuário, mas necessita manter o dispositivo conectado a algum ponto de acesso devido à utilização de serviços de mensagens instantâneas e de comunicação. Com este entendimento esta política visa auxiliar o dispositivo na economia de energia, priorizando interfaces e redes de acesso com baixo consumo, mantendo preferencialmente uma única interface de acesso com menor consumo de energia disponível.

A política “cobertura” aborda o cenário em que a velocidade de deslocamento do usuário é superior a 5 Km/h. Esta política define a ordem de prioridade das interfaces baseada nas redes com maiores áreas de cobertura. Deste modo, excessivas execuções de *handoff* podem ser evitadas, o que pode maximizar a disponibilidade de serviço e minimizar as interrupções da comunicação.

A Tabela 2 apresenta a ordem de prioridade de seleção de interface, conforme as políticas de contexto apresentadas.

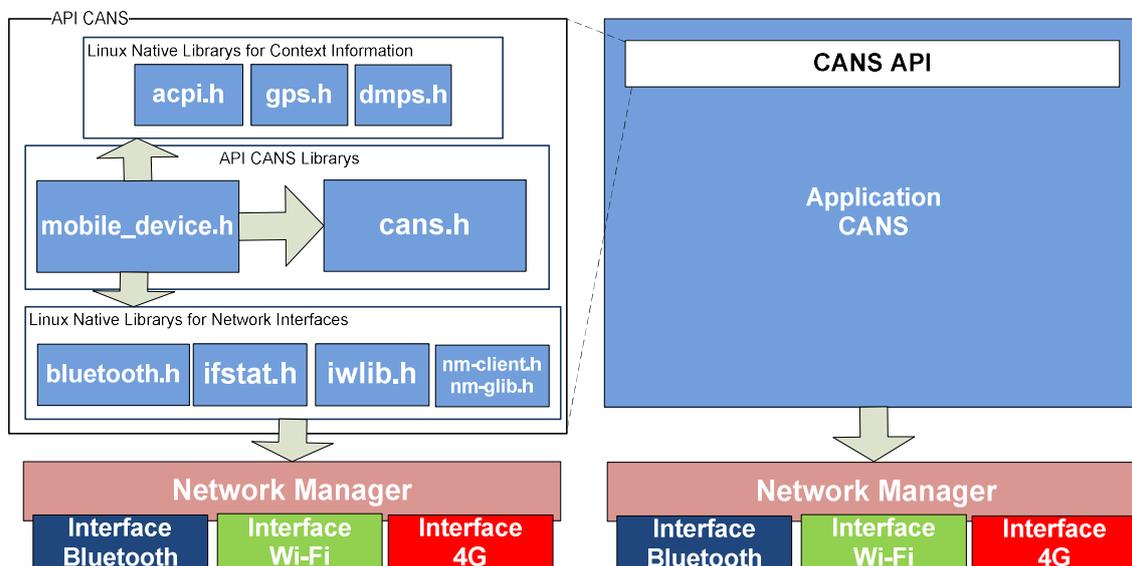
**Tabela 2. Seleção das interfaces de acordo com as políticas de contextos.**

| Ordem de Preferência | Velocidade de Acesso | Cobertura        | Economia de Energia |
|----------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| 1ª                   | Wi-Fi                | 4G               | Bluetooth           |
| 2ª                   | 4G                   | Wi-Fi            | Wi-Fi               |
| 3ª                   | <i>Bluetooth</i>     | <i>Bluetooth</i> | 4G                  |

#### 4. API e Protótipo CANS

O processo de *handoff* é um processo complexo tanto do ponto de vista de implementação como de execução, uma vez que vários parâmetros devem ser coletados e analisados até que a decisão sobre a interface e rede mais adequada possa ser executada. Desta forma, o objetivo da ferramenta desenvolvida é apoiar a aplicação e validação da metodologia proposta. A ideia é que o CANS possa ser usado como API pelos desenvolvedores de soluções *handoff*, por usuários finais por meio do protótipo apresentado a seguir, ou por pesquisadores como ferramenta de monitoramento do processo de troca de interfaces.

A arquitetura de implementação da API CANS, exibida na Figura 4, compreende em um conjunto de bibliotecas desenvolvidas para facilitar a coleta e análise de informações das interfaces através da disponibilização de estruturas e funções necessárias para o procedimento de *handoff*. Desta forma, um desenvolvedor pode utilizar a API CANS para desenvolver sua própria solução de *handoff* com base nos parâmetros utilizados neste trabalho.



**Figura 4. Componentes da API CANS.**

Por exemplo, usando a API CANS, este trabalho desenvolveu uma aplicação que permite dois modos diferentes de operação: o modo monitoramento, que atua apenas como ferramenta de coleta de informações de contexto; e modo *handoff*, que coleta, avalia e executa o procedimento de *handoff* (horizontal ou vertical).

A aplicação, denominada AppCANS, atua como um sistema de suporte ao gerenciamento de rede do sistema operacional. A aplicação foi desenvolvida para plataforma Linux Ubuntu, onde seu atual sistema de gerenciamento de interfaces e de conexões da distribuição é *Network Manager*. Como constatado em outros gerenciadores de rede de outros sistemas operacionais, as funcionalidades contempladas pelo sistema é apenas o registro e o armazenamento de informações das conexões e redes uma vez já conectadas pelo usuário. Outro aspecto importante, é que todo o processo de ativação/desativação de interfaces e conexão/desconexão de novas redes de acesso não ocorre de forma automática, exigindo que haja interação por parte do usuário para acesso a novas redes de acesso. Com objetivo de proporcionar maior automação a este processo, a análise e seleção inteligente das interfaces de rede, a AppCANS faz uso das APIs “*libnm-glib*” e “*libnm-client*” que permite o gerenciamento das interfaces pelo *Network Manager* de forma automática com base nos resultados adotados pelas estratégias.

## 5. Experimentos e Resultados

O ambiente de experimentação real foi composto pela infraestrutura um dispositivo móvel (notebook Acer Aspire 5250 2,3 GHz, 4 GB) usando sistema operacional Linux Ubuntu 12.04, bateria com autonomia de 3560mAh e com as seguintes interfaces: i) *Bluetooth: Broadcom BCM2046 2.1 EDR*; 2) *Wi-Fi: Atheros Wireless LAN 802.11n*; e 3) *4G: Modem Huawei E1553*.

A infraestrutura é composta pelas redes de acessos: i) *Wi-Fi* utilizando o roteador TPLink N600 a 300 Mbps, ii) *Bluetooth* utilizando o Agente Ecodroidlink para permitir a compartilhamento de acesso à Internet, instalados num Desktop com SO Ubuntu ; e iii) pela rede móvel 4G com velocidade de 1 Mbps.

### 5.1. Cenários de Teste

Os cenários de testes foram organizados de modo a observar e identificar os possíveis eventos que ocorrem no cotidiano dos usuários com seu dispositivo durante o deslocamento entre dois pontos.

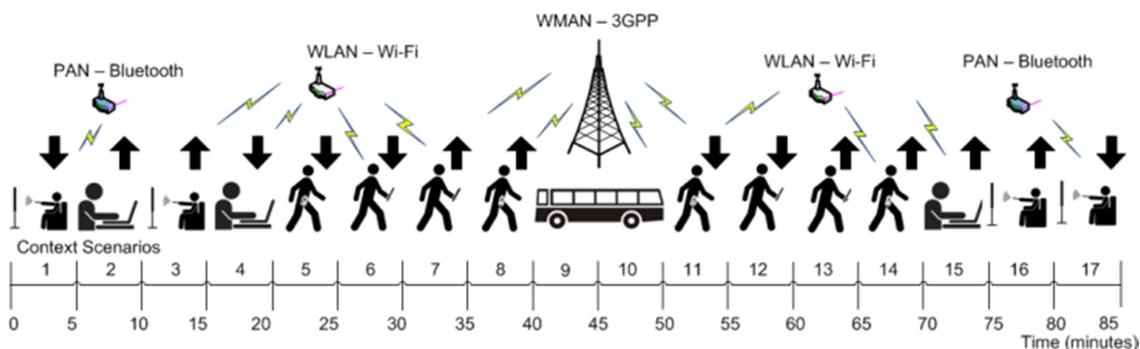


Figura 5. Cenários de Contexto utilizados nos experimentos.

O tempo de deslocamento total considerado foi de 1 hora e 25 minutos, dividido em 17 possíveis contextos com tempo de execução de 5 minutos, conforme exibido na Figura 5. Nesta figura, as setas direcionadas para baixo indicam baixo consumo de banda, ou seja, consumo inferior a um  $B_T = 1$  Mbps, enquanto as setas direcionadas para cima indicam o alto consumo de banda, com valores superiores a  $B_T$ .

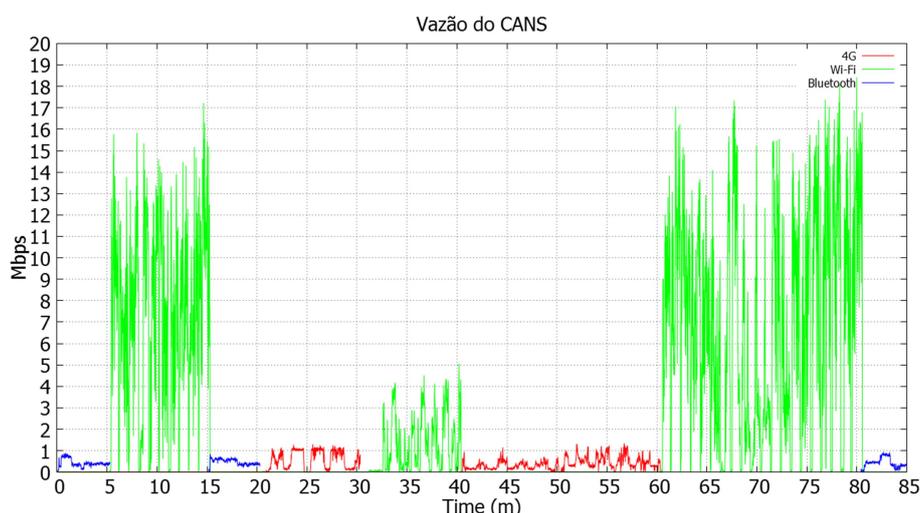
A Tabela 3 apresenta valores de velocidade, o estado de utilização do dispositivo e o consumo de banda para cada cenário de experimentação.

**Tabela 3. Descrição dos cenários de contexto.**

| Contexto | Velocidade Km/h | Uso do dispositivo | Largura de banda Consumo Mbps |
|----------|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| 1 e 17   | 0               | Não                | < 1                           |
| 2 e 15   |                 | Sim                | >= 1                          |
| 3 e 16   |                 | Não                | >= 1                          |
| 4        |                 | Sim                | < 1                           |
| 5 e 11   | 3,6             | Não                | < 1                           |
| 6 e 12   |                 | Sim                | < 1                           |
| 7 e 13   |                 | Sim                | >= 1                          |
| 8 e 14   |                 | Não                | >= 1                          |
| 9        | 50              | Sim                | -                             |
| 10       |                 | Não                |                               |

## 5.2. Resultados

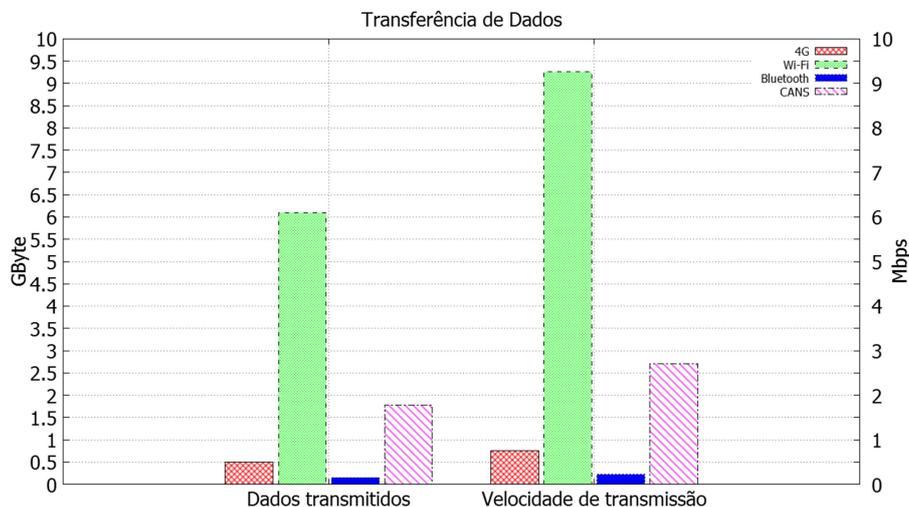
A vazão proporcionada pelo mecanismo CANS é apresentada na Figura 6. Os resultados mostram que a estratégia de seleção de interfaces proposta no CANS permite ao usuário a constante disponibilidade de acesso. A variação das taxas de vazão ocorreu em função das mudanças de interface de acesso ocasionadas pela variação da velocidade de deslocamento do usuário. Durante o período de realização do *handoff* horizontal nas redes de acesso Wi-Fi e *handoff* vertical, executado entre as interfaces de acesso, as taxas de vazão foram nulas. Outra importante observação é que o CANS proporcionou uma disponibilidade de vazão semelhante à interface 4G, contudo oferecendo maiores velocidades de acesso, com picos de velocidade de transferência compreendidos entre 15 a 19 Mbps quando conectado a redes de acesso Wi-Fi.



**Figura 6 – Vazão de dados obtida pelo mecanismo CANS observando diferentes contextos.**

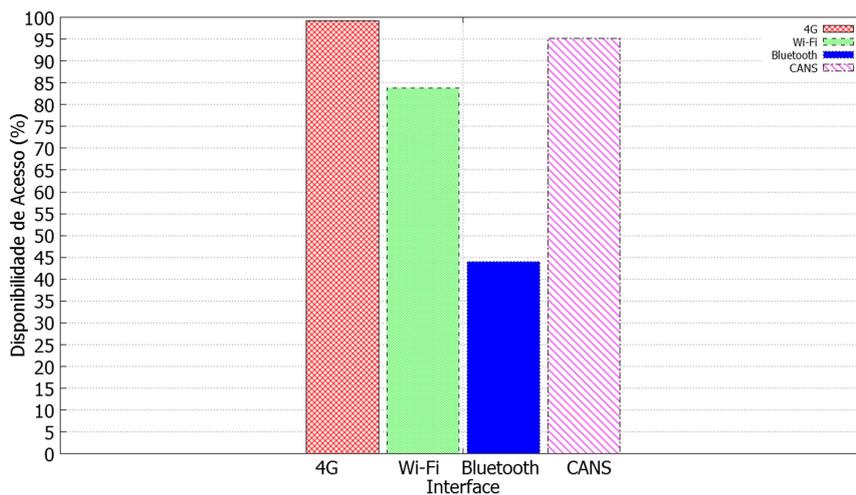
A Figura 7 apresenta a quantidade de dados transmitidos e velocidade de acesso proporcionada por cada interface e pela utilização do CANS. A quantidade de dados transferidos pela utilização do CANS foi de 1,8 GBytes, enquanto que o total de dados transferidos pela interface *Bluetooth* foi de 150 MBytes e da interface 4G foi de 515 MBytes. A quantidade de dados transferidos pela interface Wi-Fi foi de 6,1 GBytes,

sendo 3,3 vezes superior a taxa de vazão obtida pelo CANS. Isto ocorre porque a estratégia de seleção do CANS procurar identificar a melhor interface de acesso considerando não apenas a vazão de dados, mas outros fatores como economia de energia e custo financeiro.



**Figura 7. Comparação entre a Vazão obtida pela aplicação CANS e por outras interfaces de acesso.**

A Figura 8 apresenta o percentual de disponibilidade de conexão por interface (sem utilizar o CANS) e utilizando o CANS. Este percentual é obtido considerando o tempo de conexão disponível dividido pelo tempo total de cada experimento (1 h e 25 minutos). Os resultados mostram que a conectividade média proporcionada pelo CANS atinge até 95,13% de disponibilidade de conexão, sendo inferior somente a interface 4G com disponibilidade de 99,2 %. Este resultado ligeiramente inferior de 4% em relação a interface 4G corresponde justamente a indisponibilidade provocada pelo troca de interface durante o processo de *hard handoff*.



**Figura 8. Disponibilidade de Conexão usando APPCANS.**

## 6. Conclusões

Este trabalho apresentou o CANS, um mecanismo de seleção de interfaces baseado em análise de contexto a fim de proporcionar a rede e interface de acesso mais adequada ao

atual contexto do usuário. A partir da coleta informações de contexto do dispositivo, da rede e do usuário como velocidade de deslocamento do usuário, consumo de banda, nível de bateria do dispositivo e de utilização (estado do *display*), o CANS é capaz de aplicar estratégias de seleção e gerenciamento de interfaces para uma posterior execução de *handoff* vertical e horizontal.

Neste trabalho, a gerência de interfaces pode ser aplicada observando a velocidade de deslocamento do usuário. Dependendo das limitações da área de cobertura da tecnologia de comunicação empregada, uma interface pode ser ativada ou desativada de modo a otimizar a economia de energia do dispositivo e contribuir para a redução de determinados processos de relativos a etapa de decisão. Desta forma, os custos operacionais (processamento e tempo de execução) para os procedimentos de sensoriamento e de seleção de rede puderam ser reduzidos.

Os resultados demonstraram que a utilização das estratégias propostas possibilita o aumento de conectividade, oferecendo maior disponibilidade de serviço e maiores velocidades de acesso.

## 7. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Comissão Europeia e CNPQ através do projeto de pesquisa IMPRESS (FP7-ICT-2013-EU-Brazil, GA No. 614100), pela FAPEAM através do Projeto de Pesquisa PROTI Amazônia, e pelo Conselho de Pesquisa de Engenharia e Ciências Naturais do Canadá (NSERC) através do Programa NSERC Discovery Grant.

## Referências

Akhila, S., Murthy, J., Shankar, A. e Kumar, S. (2012). An Overview on Decision Techniques for Vertical Handoffs across Wireless Heterogeneous Networks. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, v. 3, n. 1, p. 1–6.

Awad, A., Mohamed, A. e Chiasserini, C. (2016). User-centric Network Selection in Multi-RAT Systems. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops*, n. MEIoT, p. 97–102.

Balbi, H. Passos, D. Carrano, R., Magalhães, L. Albuquerque. V. N. (2016). Análise e solução para o problema da instabilidade de associação em redes IEEE 802.11 densas. *34rd Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems*, p. 1–14.

Burton, M. e Eng, P. (2002). Channel Overlap Calculations for 802.11b Networks. *Cirond Technologies Inc.*,

Devi, M. K. S. e Agrawal, P. (2007). Dynamic Interface Selection in Portable Multi-Interface Terminals. *2007 IEEE International Conference on Portable Information Devices*, p. 1–5.

Kalic, G., Bojic, I. e Kusek, M. (2012). Energy Consumption in Android Phones when using Wireless Communication Technologies. *MIPRO, 2012 Proceedings of the 35th International Convention*, p. 754–759.

Kassar, M., Kervella, B. e Pujolle, G. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, v. 31, n. 10, p. 2607–2620.

- Kim, B., Hong, J. e Cho, Y. (2008). Automatic Multi-Interface Management Through Profile Handling. *Mobile Networks and Applications*, v. 14, n. 1, p. 4–17.
- Li, Q., Han, Q. e Sun, L. (2013). Context-aware handoff on smartphones. *Proceedings - IEEE 10th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems, MASS 2013*, p. 470–478.
- Malinen, J. (2013). WPA Supplicant. [https://w1.fi/wpa\\_supplicant/](https://w1.fi/wpa_supplicant/).
- Mhatre, V. e Papagiannaki, K. (2006). Using Smart Triggers for Improved User Performance in 802.11 Wireless Networks. *Proceedings of MobiSys*, p. 246–259.
- Mohler, B. J., Thompson, W. B., Creem-Regehr, S. H., Pick, H. L. e Warren, W. H. (2007). Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed. *Exp. Brain. Res.*, v. 181, n. 2, p. 221–228.
- Monteiro, A., Souto, E., Pazzi, R. e Kiljander, J. (2016). Atribuição dinâmica de canais em redes sem fio não coordenadas IEEE 802 . 11 , baseada em fatores de sobreposição e intensidade de sinal. *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, p. 704–717.
- Queiroz, M., Atourassap, F., Reis, S., et al. (2015). Analysis of the integration of WiMAX and cellular networks. *LANOMS 2015 - 8th Latin American Network and Operations Management Symposium*, p. 77–83.
- Radhika, K. e Reddy, A. (2011). AHP and Group Decision Making for Access Network Selection in Multi-Homed Mobile Terminals. *International Journal on Computer Science and Engineering*, v. 3, n. 10, p. 3412–3421.
- Saboji, S. e Akki, C. (2012). Congestion-aware Proactive Vertical Handoff Decision Using Coalition Game. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, n. 6, p. 91–97.
- Savitha, K. e Chandrasekar, D. C. (2011). Vertical Handover decision schemes using SAW and WPM for Network selection in Heterogeneous Wireless Networks. *Global Journal of Computer Science and Technology*, v. 11, n. 9, p. 7.
- Tran, P. N. e Boukhatem, N. (2008). Comparison of MADM Decision Algorithms for Interface Selection in Heterogeneous Wireless Networks. *16th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, p. 25–27.
- Tran, P. N. e Boukhatem, N. (2009). An utility-based interface selection scheme for multi-homed mobile terminals. *2009 IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, p. 767–772.
- Ward, P. a S., Naik, K. e Schmidtke, J. (2014). Efficient hashing for dynamic per-flow network-interface selection. *Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA*, p. 441–448.
- Zhou, H. e Liu, C. (2012). WLAN Channel Assignment Based on Channel Overlap Factor. *2012 Second International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control*, p. 249–251.