

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

# **Seleção de Interfaces de Acesso baseada em Análise de Contexto**

Alex Fernando Duarte Monteiro

Manaus - Amazonas

Fevereiro de 2015

Alex Fernando Duarte Monteiro

# **Seleção de Interfaces de Acesso baseada em Análise de Contexto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do grau de Mestre em Informática.  
Área de Concentração: Redes de Computadores.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo James Pereira Souto

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M775s Monteiro, Alex Fernando Duarte  
Seleção de Interfaces de Acesso baseada em Análise de Contexto / Alex Fernando Duarte Monteiro. 2015  
84 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Eduardo James Pereira Souto  
Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Vertical handoff. 2. Multiple-interface. 3. Context-awareness. 4. Interface selection. I. Souto, Eduardo James Pereira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



**PODER EXECUTIVO  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**



# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**"Seleção de Interfaces baseada em Análise de Contexto"**

**ALEX FERNANDO DUARTE MONTEIRO**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:

PROF. EDUARDO JAMES PEREIRA SOUTO – PRESIDENTE

PROF. HORÁCIO ANTONIO B. FERNANDES DE OLIVEIRA – MEMBRO

PROF. RICHARD WERNER NELEM PAZZI – MEMBRO

Manaus, 20 de fevereiro de 2015.

*“O temor do Senhor é o principio da sabedoria, mas os loucos  
desprezam o ensino e a instrução” Pv. 1:7*



# Agradecimentos

Obrigado Senhor Deus, pelo amor e misericórdia que me alcançou e que não me fizeram desistir, pelas palavras motivadoras, que a cada precisei para continuar e seguir em frente. Reconheço que não sou nada sem o teu amor, sem a tua presença na minha vida.

Obrigado Suelen Viana minha esposa, companheira e amiga e a meu filho Matheus Monteiro pela paciência, amor, carinho e paz que me fazem todos os dias renovado, e me sentir ansioso para chegar em casa e estar na companhia de vocês.

Obrigado ao Professor Eduardo Souto, pela paciência, disposição e ajuda. O Sr. acreditou no meu trabalho e em mim, e não existem palavras para expressar o quanto sou imensamente grato a você.

Obrigado aos meus antigos chefes da secretaria municipal de educação Rosalina Lobo e Heliandro Moraes que me permitiram estudar e me qualificar, a vocês meus sinceros agradecimentos, reconhecimento e apreço.

Obrigado aos meus colegas do laboratório de pesquisa pela companhia, convivência e pelas palavras de incentivo.

E por fim, o meu muito obrigado a todos que certa forma contribuiu diretamente ou indiretamente nesta árdua batalha, que chega ao fim. Que Deus abençoe a todos, realizando seus sonhos e projetos, lhes garantindo a saúde e a vida, cuidando de suas famílias e que vos faça próspero a cada dia como a vereda dos justos.

“Posso todas as coisas em Cristo que me fortalece”.

*Filipenses 4:13*



# Resumo

A demanda por diferentes aplicações e serviços na Internet tem crescido drasticamente nos últimos anos. Para atender esta demanda, diversas tecnologias de comunicação sem fio com diferentes características têm sido utilizadas para fornecer acesso estes serviços. Contudo, nem sempre a tecnologia de acesso sem fio utilizada é a mais adequada aos requisitos exigidos pelas aplicações e serviços ou mesmo a questões de interesse do usuário como velocidade de acesso, custo financeiro e consumo de energia. A questão principal é como identificar a melhor rede e interface de acesso que ofereça a melhor relação custo benefício, atendendo as expectativas do usuário e que opere de forma autônoma. Com o intuito de propor uma solução para tratar essa questão, este trabalho descreve um novo mecanismo de seleção de interfaces baseado em análise de informações contextuais obtidas a partir do usuário e do dispositivo. Este mecanismo, denominado CANS (*Context-Aware Network Selection*), é composto por um módulo de aquisição de informações de contexto e por estratégias de seleção e gerenciamento de interfaces específicas a cada tipo de tecnologia de acesso. O CANS é projetado para operar em computadores que suportem o sistema operacional Linux. A avaliação do mecanismo proposto é realizada em ambiente real. Os resultados mostram que a adoção das estratégias de seleção propostas possibilita ao usuário explorar melhor as vantagens das tecnologias de acesso em um ambiente, obtendo uma redução no consumo de energia do dispositivo e do custo financeiro.

Palavras-chave: *vertical handoff, multiple-interface, context-awareness, interface selection*

# Abstract

The demand for different applications and services on the Internet has grown dramatically in recent years. To meet this demand, various wireless communication technologies with different characteristics have been used to provide access these services. However, not always technology wireless access used is the most appropriate to the requirements of the applications and services or even the user's interest in issues such as access speed, financial cost and power consumption. The main issue is how to identify the best network and access interface that offers the best value for money, meeting user expectations and operating autonomously. In order to propose a solution to address this issue, this paper describes a new interface selection mechanism based on analysis of contextual information obtained from the user and the device. This mechanism, called CANS (Context-Aware Network Selection), is composed of an acquisition module of context information and selection strategies and management interfaces specific to each type of access technology. The CANS is designed to operate on computers that support the Linux operating system. The evaluation of the proposed mechanism is held in the real environment. The results show that the adoption of the proposed selection strategies enables the user to better exploit the advantages of access technologies in an environment, achieving a reduction in device power consumption and financial cost.

Keywords: vertical handoff, multiple-interface, context-awareness, interface selection.

# Sumário

AGRADECIMENTOS .....	V
RESUMO .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
SUMÁRIO.....	X
LISTA DE FIGURAS .....	XI
LISTA DE TABELAS .....	XII
CAPÍTULO 1.....	16
1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 MOTIVAÇÃO.....	18
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	19
1.3 CONTRIBUIÇÕES.....	20
1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....	21
CAPÍTULO 2.....	22
2 CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS .....	22
2.1 O PROCEDIMENTO DE HANDOFF .....	22
2.1.1 Tipos de Handoff.....	22
2.1.2 Etapas do Procedimento de Handoff .....	24
2.2 DECISÃO DE HANDOFF .....	25
2.2.1 Critérios de Decisão de Handoff .....	25
2.2.2 Estratégias de Decisão de Handoff .....	25
2.2.2.1 Estratégias de decisão baseadas em função de custo.....	26
2.2.2.2 Estratégias de seleção centradas no usuário .....	27
2.2.2.3 Estratégias de seleção baseada em análise de múltiplos atributos.....	28
2.2.3 Estratégias de seleção baseada em Lógica Fuzzy e Redes Neurais .....	30
2.2.4 Estratégias de seleção baseada em ciência de contexto .....	31
2.3 DISCUSSÃO .....	34
CAPÍTULO 3.....	37
3 SELEÇÃO DE INTERFACES BASEADA EM ANÁLISE DE CONTEXTO .....	37
3.1 CANS -CONTEXT -AWARE NETWORK SELECTION.....	37
3.2 ESTRATÉGIAS GERENCIAMENTO DAS INTERFACES DE ACESSO .....	39
3.2.1 Estratégia de Gerenciamento de Interface e Seleção de redes Bluetooth .....	40
3.2.2 Estratégia de Gerenciamento de Interface e Seleção Redes Wi-Fi .....	42
3.2.3 Estratégia de Gerenciamento de Interface 3G .....	48
3.3 ESTRATÉGIA SELEÇÃO DE INTERFACES BASEADA EM CONTEXTO .....	49
3.3.1 Entendendo o Contexto.....	49
3.3.2 Algoritmo de Seleção de Interface .....	52
3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE CANS .....	55
CAPÍTULO 4.....	56
4 PROTÓTIPO CANS .....	56
4.1 ARQUITETURA DE IMPLEMENTAÇÃO CANS .....	56
4.2 A API CANS .....	57
4.2.1 As Bibliotecas mobile_device.h e cans.h.....	58
4.3 APLICAÇÃO PROTÓTIPO.....	61
4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO.....	63
CAPÍTULO 5.....	66
5 EXPERIMENTOS E RESULTADOS .....	66
5.1 AMBIENTE DE EXPERIMENTAÇÃO.....	66
5.2 CENÁRIOS DE EXPERIMENTAÇÃO.....	67
5.3 MÉTRICAS .....	69
5.4 RESULTADOS.....	69
5.4.1 Vazão.....	69
5.4.2 Consumo de Energia.....	75
5.4.3 Custo Financeiro .....	77
CAPÍTULO 6.....	79
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	79
6.1 TRABALHOS FUTUROS.....	81
REFERÊNCIAS.....	83

# Lista de Figuras

FIGURA 1.1. CENÁRIO COMPOSTO POR REDES HETEROGÊNEAS. ....	17
FIGURA 2.1 – ETAPAS DO PROCESSO DE HANDOFF.....	24
FIGURA 3.1. VISÃO GERAL DO CANS.....	38
FIGURA 3.2. ARQUITETURA CANS. ....	39
FIGURA 3.3. IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE DESLOCAMENTO PARA INTERFACE BLUETOOTH.....	41
FIGURA 3.4. ETAPAS DE FUNCIONAMENTO DA ESTRATÉGIA DE GERENCIAMENTO DE INTERFACE E SELEÇÃO DE REDES BLUETOOTH. ....	41
FIGURA 3.5– IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE DESLOCAMENTO PARA INTERFACE WI-FI. ....	43
FIGURA 3.6. ETAPAS DE FUNCIONAMENTO DA ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO DE REDES WI-FI.....	43
FIGURA 3.7– CENÁRIO DE APLICAÇÃO .....	50
FIGURA 4.1. ARQUITETURA DE IMPLEMENTAÇÃO CANS .....	57
FIGURA 4.2. EXEMPLO DE EXECUÇÃO DE TROCA DE INTERFACES. ....	61
FIGURA 4.3 – NETWORK MANAGER DO SO UBUNTU .....	62
FIGURA 5.1– INFRAESTRUTURA UTILIZADA NOS EXPERIMENTOS. ....	66
FIGURA 5.2. CENÁRIOS DE TESTE .....	67
FIGURA 5.3 - PARÂMETROS DE VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO E DE UTILIZAÇÃO EMPREGADAS NO EXPERIMENTO.....	68
FIGURA 5.4 - VAZÃO DA INTERFACE BLUETOOTH SUBMETIDA AO CENÁRIO DE TESTE .....	70
FIGURA 5.5 VAZÃO DA INTERFACE WI-FI SUBMETIDA AO CENÁRIO DE TESTE .....	71
FIGURA 5.6 - VAZÃO DA INTERFACE 3G SUBMETIDA AO CENÁRIO DE TESTE .....	71
FIGURA 5.7 - VAZÃO PROPORCIONADA PELA UTILIZAÇÃO DO MECANISMO CANS .....	72
FIGURA 5.8 - MUDANÇA DE CONTEXTO E TROCA DE INTERFACE NO TEMPO.....	73
FIGURA 5.9 - QUANTIDADE DE DADOS TRANSMITIDOS E VELOCIDADE DE ACESSO POR INTERFACE E UTILIZANDO O CANS. .....	74
FIGURA 5.10 - DISPONIBILIDADE DE CONEXÃO OBTIDAS PELAS INTERFACES BLUETOOTH, WI-FI E 3G E COM A UTILIZAÇÃO DO CANS.....	74
FIGURA 5.11 - INTERRUPÇÕES GERADAS PELO HANDOFF VERTICAL: A) APRESENTA A TROCA DE INTERFACES OCORRIDA ENTRE AS INTERFACE BLUETOOTH E WI-FI B) TROCA DE INTERFACES OCORRIDA ENTRE AS INTERFACE BLUETOOTH E 3G C) TROCA DE INTERFACES OCORRIDA ENTRE AS INTERFACE WI-FI E 3G; D) TROCA DE INTERFACE OCORRIDA ENTRE AS INTERFACES 3G E WI-FI.....	75
FIGURA 5.12 - CONSUMO DE ENERGIA DO DISPOSITIVO UTILIZANDO DIFERENTES INTERFACES DE ACESSO.....	76
FIGURA 5.13 - CONSUMO MILIAMPERE HORA POR MBYTE TRAFEGADO. ....	77
FIGURA 5.14 - CUSTO FINANCEIRO DE ENERGIA E DE TRÁFEGO.....	78

# Lista de Tabelas

TABELA 2.1 - EXEMPLO GENÉRICO DE UMA MATRIZ MADM.....	29
TABELA 2.2 - MODELO DE CONTEXTO PARA ALGORITMO DE DECISÃO.....	33
TABELA 2.3 - DIVERSIDADE ENTRE AS TECNOLOGIAS SEM FIO EXISTENTES E EMERGENTES BASEADO EM [24] .....	34
TABELA 3.1. MATRIZ DE SOBREPOSIÇÃO DE CANAIS .....	44
TABELA 3.2 – PESOS DE UTILIZAÇÃO POR CANAL.....	45
TABELA 3.3 TABELA DE IDENTIFICAÇÃO DE CONTEXTO .....	52
TABELA 3.4. POLÍTICAS DE CONTEXTO.....	52
TABELA 4.1 - ESTADOS CONSIDERADOS PARA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO.....	58
TABELA 4.2 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO DO CANS .....	63
TABELA 5.1 - DESCRIÇÃO DOS CONTEXTOS EXPERIMENTADOS .....	68
TABELA 5.2 -TABELA COMPARATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA.....	76
TABELA 5.3 - CUSTOS FINANCEIROS DE ENERGIA E DE TRANSFÊNCIA DE DADOS.....	77

# Capítulo 1

## Introdução

A comunicação entre os indivíduos sempre foi, e com certeza continuará a ser, um dos motivos que contribuíram para o desenvolvimento da sociedade. Essa crescente necessidade de interação e compartilhamento de informações incentivou o desenvolvimento de diferentes tipos de tecnologias de comunicação, como o telégrafo, a telefonia fixa e móvel e as redes de computadores.

Dentre essas diferentes tecnologias, a rede de computadores mundial (Internet) tem se destacado pela sua variedade de oferta de serviços oferecidos como correio eletrônico, mensagens instantâneas, fóruns, redes sociais, comunicação de voz sobre IP, vídeo conferência, vídeos-aula, entre outros. O acesso a tais serviços tem sido cada vez mais comum através das tecnologias sem fio, principalmente pelas facilidades de acesso e custos menores.

O rápido desenvolvimento das tecnologias de redes sem fio como *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *3G*, entre outras, permitiram o surgimento de cenários compostos pela sobreposição de áreas de cobertura de diferentes redes sem fio, também denominados de cenários heterogêneos como mostrado na Figura 1.1.

Nestes cenários, redes pessoais (PANs – *Personal Area Networks*) podem ser usadas para interligar aparelhos em uma área pessoal fornecendo acesso a rede com baixa velocidade, redes locais (WLANs - *Wireless Local Area Networks*) podem fornecer acesso à Internet de alta velocidade limitada pela área de cobertura dos seus pontos de acesso, ao passo que as redes celulares podem oferecer acesso à rede universal, mas com taxas de acesso limitadas. A tendência natural é, portanto, que o usuário esteja conectado aos serviços de rede usando a tecnologia de acesso que seja mais adequada de acordo com algum critério estabelecido pelo usuário ou aplicação [1][2][3]. Gustafsson et al. [4] propõem o conceito de redes ABC (*Always Best Connected*) que oferece conectividade sobre múltiplas tecnologias de acesso para melhorar a experiência do usuário.

Contudo, explorar estas multiplicidades de formas de acesso e serviços não é uma tarefa trivial. Embora a maioria dos dispositivos móveis (por exemplo, *notebooks*, *tablets* e *smartphones*) seja equipada com múltiplas interfaces de acesso, o suporte para a troca

eficiente entre as diferentes interfaces de acesso sem fio ainda é um desafio. Este procedimento de troca de redes é conhecido como *roaming*<sup>1</sup> entre redes ou *handoff vertical*<sup>2</sup> [1][3].

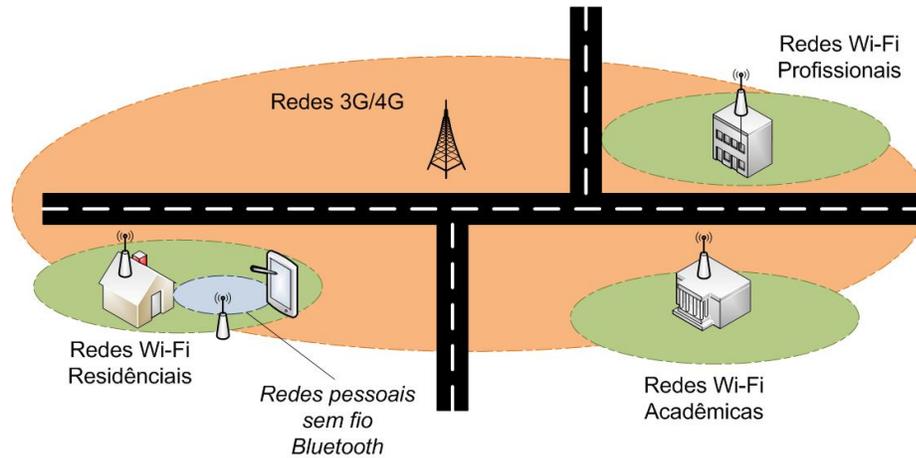


Figura 1.1. Cenário composto por redes heterogêneas.

Um das características desejadas para redes sem fio heterogêneas é que as diferentes tecnologias de acesso sem fio possam trabalhar em conjunto, de modo a oferecer uma experiência satisfatória ao usuário com velocidades maiores acesso, conectividade ininterrupta e mobilidade transparente. Para que isso ocorra, ter ciência do contexto (do inglês, *context-awareness*) em que o usuário está inserido é ingrediente chave no processo de desenvolvimento de soluções que permitam que os dispositivos computacionais tomem as decisões adequadas e oportunas para os usuários [5][6].

O uso da informação contextual é essencial na otimização dos sistemas móveis, auxiliando no processo de *roaming* globais 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.

<sup>1</sup>*Roaming* – termo empregado em telefonia móvel, mas também aplicável a outras tecnologias de rede sem fio. Designa a capacidade de um usuário de uma rede para obter conectividade em áreas fora da localidade geográfica onde está registrado, ou seja, obtendo conectividade através de outra rede onde é visitante.

<sup>2</sup>*Handoff vertical* – ocorre quando as conexões trocam de uma rede para outra (por exemplo, de WLAN para LTE)

Um dos aspectos importantes da gestão de mobilidade é a seleção dinâmica da melhor rede e interface de acesso para um dispositivo com múltiplas interfaces de acesso quando existe uma necessidade de executar uma troca de rede.

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*), visa selecionar a melhor interface de comunicação com base na análise de informações de contexto de utilização, velocidade de deslocamento, consumo de banda e de energia.

## 1.1 Motivação

A flexibilidade e a escalabilidade oferecida pelo protocolo IP a rede de computadores proporcionou o desenvolvimento de diversos tipos de tecnologias de acesso ao meio como: tecnologias de acesso com fio (óptica e par metálico) e sem fio (Bluetooth, Wi-Fi, Móvel Celular, Satélite). Em vista desta diversidade de formas de acesso, os dispositivos móveis também evoluíram, agregando principalmente diferentes interfaces de acesso sem fio em único *hardware*, a fim de proporcionar ao usuário disponibilidade de serviço independente da tecnologia de rede utilizada.

Esta variedade de formas de acesso a Internet fez com que a demanda por diferentes classes de serviço, como voz, dados e imagem, crescesse drasticamente nos últimos anos. Tal demanda aliada ao crescimento da infraestrutura de comunicação sem fio proporcionou o surgimento de ambientes heterogêneos que permitem garantir que usuário tenha acesso a estes serviços em qualquer hora e em qualquer lugar.

Contudo a entrega destes serviços ao usuário precisa estar adequada a determinados critérios que visem a satisfação do usuário, como a disponibilidade e velocidade de acesso, custo financeiro e consumo de energia. A questão principal é como identificar a melhor rede e interface de acesso que ofereça a melhor relação custo benefício e que opere de forma autônoma para o usuário.

Outra importante observação é que há uma tendência no desenvolvimento de ambientes e produtos que possam se adequar à realidade e a recursos disponíveis ao usuário, pensando de forma autônoma a fim de adequar-se ao contexto inserido e oferecendo uma experiência satisfatória ao usuário. Explorar múltiplas interfaces tem vários benefícios, entre eles estão:

- Aumento de conectividade pela sobreposição de várias áreas de cobertura, com isso, na possível perda de funcionamento de uma determinada interface, o

dispositivo adéqua-se automaticamente, comutando para outra interface disponível sem que haja perda de serviço.

- Melhora na conectividade através da escolha da melhor interface de acordo com o tipo de serviço e informação que se deseja utilizar.
- Aumento da vazão, possibilitando a distribuição do fluxo entre as diferentes interfaces, proporcionando agregação de largura de banda.
- Fornecimentos de serviços tolerantes a falha enviando dados redundantes sobre links independentes

Contudo, lidar com a heterogeneidade das tecnologias sem fio existentes ainda é uma questão em aberto devido à diversidade de abordagens e tecnologias existentes. Por exemplo, apesar de dispositivos como *tablets*, *smartphones* e *notebooks* (dispositivos com múltiplas interfaces) serem comumente utilizados no acesso a Internet, não existem mecanismos comerciais que garantam a troca de redes de forma transparente para o usuário e suas aplicações.

Atualmente, a maioria dos gerenciadores de redes e interfaces disponíveis nos atuais sistemas operacionais (Windows e Linux) opera de maneira estática, cabendo ao usuário efetuar (ou confirmar) a troca de rede. Tais sistemas operacionais não fornecem mecanismos que automatizem o processo de *handoff* vertical (troca de interfaces de acesso) e menos ainda, mecanismos que considerem informações relativas ao contexto do usuário e do dispositivo. Tais informações são essências no projeto de soluções de mobilidade que visem garantir a satisfação do usuário em questões como conectividade, economia de energia e financeira.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

O objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar um mecanismo de seleção de interfaces dinâmico para dispositivos com múltiplas interfaces de acesso através da análise de informações de contexto do usuário e do dispositivo, a fim de minimizar problemas de conectividade, consumo de energia e custo financeiro.

O mecanismo realiza a seleção da melhor interface para um determinado contexto do usuário, buscando adequar o tráfego demandado pelo usuário a interface correspondente melhorando a confiabilidade e o desempenho da comunicação.

Para atingir o objetivo acima, será necessário:

- Criar mecanismo para análise e sensoriamento do espectro de redes e dispositivos que utilizam tecnologias Wi-Fi, Bluetooth que permitam conectividade de acesso.

- Desenvolver um mecanismo para efetuar a análise das informações contextuais coletadas a partir do dispositivo e do usuário.
- Desenvolver um Algoritmo de Seleção de Interface baseado na análise de informações de contexto em dispositivos com múltiplos rádios.

### 1.3 Contribuições

A partir do desenvolvimento dos objetivos definidos neste trabalho foi possível realizar as seguintes contribuições:

1. Estratégias de seleção e gerenciamento de redes e interfaces – Este trabalho propôs três novas estratégias de seleção e gerenciamento de interfaces para lidar com a interfaces *Bluetooth* (Seção 3.2.1), Wi-Fi (Seção 3.2.2), e 3G (Seção 0). Tais estratégias visam a selecionar as redes mais adequadas a cada tecnologia de acesso e gerenciar a ativação e desativação da interface com base em informações de contexto.
2. Algoritmo de seleção de interfaces – Este trabalho propôs um novo algoritmo de seleção de interfaces (Seção 3.3.2) baseado em análise de informações de contexto do usuário e do dispositivo. O algoritmo identifica o contexto atual, selecionando a política mais adequada. Esta política define a ordem de prioridade da utilização da melhor interface.
3. API – Este trabalho apresenta uma API (Seção 4.2) para desenvolvimento de estratégias de *handoff* vertical e horizontal. A API visa auxiliar desenvolvedores e pesquisadores no desenvolvimento de novas soluções e melhorias para o procedimento de *handoff*. Tal contribuição é importante para que mais estratégias possam ser discutidas, implementadas e avaliadas em ambientes reais de experimentação.
4. Aplicação CANS – Este trabalho também apresenta uma aplicação (Seção 4.3) desenvolvida usando a API proposta. Tal aplicação tem por objetivo empregar e avaliar a estratégias de seleção e gerenciamento de redes e interfaces no dispositivo móvel do usuário, funcionando como uma extensão ao gerenciador de rede nativo do sistema operacional. Fornecendo ao dispositivo do usuário a inteligência e automação necessária para um procedimento de *handoff* que atenda questões de interesse do usuário, como economia de energia, custo financeiro e velocidade de acesso.

## 1.4 Organização do Documento

O restante desta dissertação está organizado como segue:

O Capítulo 2 apresenta os principais conceitos necessários para o entendimento deste trabalho. O capítulo descreve as principais características e etapas que compõem o procedimento de handoff. Além de apresentar os critérios e as principais estratégias de decisão de *handoff* propostas na literatura.

O Capítulo 3 detalha o mecanismo de gerenciamento de interface e seleção de redes proposto, detalhando as estratégias de seleção e gerenciamento propostas para as interfaces Bluetooth, Wi-Fi e 3G. Além disso, o capítulo também apresenta o algoritmo de seleção de interfaces proposto, descrevendo como ocorre a identificação do contexto e procedimento de seleção.

O Capítulo 4 apresenta detalhes da implementação do protótipo CANS usado para validar as estratégias propostas neste trabalho. O capítulo descreve uma API desenvolvida para coletar de informações de contexto que serão úteis no processo de decisão e seleção de interfaces. Além disso, são apresentadas as características e funcionalidades de uma aplicação protótipo CANS desenvolvida usando a API proposta.

O Capítulo 5 descreve o cenário experimental e os resultados obtidos, além da definição das métricas utilizadas para avaliação do mecanismo, analisando e discutindo os resultados através da sua utilização em um ambiente real.

Por último, no Capítulo 6 é apresentado um resumo dos resultados alcançados e as conclusões obtidas no emprego do novo mecanismo, além de algumas direções para futuras propostas.

# Capítulo 2

## Conceitos e Trabalhos Relacionados

Este Capítulo apresenta alguns conceitos que servirão de base para o entendimento do mecanismo proposto no Capítulo 3. A Seção 2.1 descreve as principais características e etapas que compõem o procedimento de *handoff*. A Seção 2.2 descreve os principais critérios adotados no processo de decisão de *handoff*. Além disso, esta seção apresenta as principais estratégias de decisão de *handoff* propostas na literatura. Por fim, a Seção 2.3 sumariza e discute as várias estratégias de seleção de rede apresentadas neste capítulo.

### 2.1 O Procedimento de *Handoff*

Os provedores de serviços sem fio estão procurando soluções que permitam a coexistência e convergência das redes sem fio heterogêneas, possibilitando aos seus usuários maior conectividade. O grande desafio é migrar o usuário de uma rede para outra de modo transparente. Este procedimento, conhecido como *Handoff*, frequentemente é iniciado pelo dispositivo móvel quando este atravessa um determinado limite de distância de seu atual ponto de acesso [7]. Em geral, heurísticas baseadas em métricas que avaliam a deterioração da qualidade do sinal da conexão são empregadas para determinar o momento em que o dispositivo inicia o processo de *handoff*. O *handoff* pode ser classificado de diferentes formas e possui diferentes etapas de execução descritas a seguir.

#### 2.1.1 Tipos de *Handoff*

O processo de *handoff* possui diferentes critérios de classificação que variam de acordo com a estratégia utilizada para sua execução. Estas classificações podem estar relacionadas quanto ao número de conexões simultâneas, ao local de controle do processo de *handoff* e aos tipos de redes envolvidas[1][2].

A categorização com base número de conexões simultâneas entre os pontos de acesso de origem e de destino no momento da troca classifica o procedimento de *handoff* em: *hard-handoff* e o *soft-handoff*. No *hard-handoffs*, também conhecido como “quebrar antes de conectar”, todas as conexões entre o dispositivo móvel e ponto de acesso de origem precisam ser fechadas antes que sejam estabelecidas novas conexões entre o dispositivo móvel e o novo

ponto de acesso. O *soft-handoff*, conhecido também com “conectar e depois quebrar”, estabelece conexões simultâneas entre os dois pontos de acesso (origem e novo destino) durante a troca de pontos de acesso. A probabilidade de perda em *hard-handoffs* é maior que em *soft-handoffs* devido à ausência temporária de conexão.

O processo de handoff também pode ser classificado com base na entidade em que a decisão de *handoff* é tomada[8]. A decisão de *handoff* frequentemente envolve processamento de informações sobre quando e onde executar o *handoff* a partir de uma entidade de rede ou do dispositivo (ou ambas). Esta classificação divide o *handoff* em quatro categorias: controlado pela rede, controlado pelo dispositivo móvel, móvel assistido e assistido por rede.

No *handoff* controlado pela rede, uma determinada entidade de rede (por exemplo, um gateway ou servidor) possui o controle primário sobre o *handoff*. No *handoff* controlado pelo dispositivo móvel, o processo de decisão de handoff leva em consideração somente informações coletadas pelo dispositivo. O *handoff* móvel-assistido ocorre quando as informações dos dispositivos são utilizadas pela entidade de rede na tomada de decisão, como ocorre na Tecnologia GSM. O *handoff* assistido por rede ocorre quando a rede coleta informações que podem ser utilizadas pelo dispositivo móvel no processo de decisão.

O processo de *handoff* também pode ser classificado de acordo com as tecnologias de redes usadas no ponto de acesso de origem e destino. *Handoffs* em que a mudança de ponto de acesso ocorre entre células de uma mesma tecnologia de acesso, por exemplo, troca entre pontos de acesso Wi-Fi, são denominados de *handoffs* horizontais. Por outro lado, quando este processo envolve tecnologias de acesso diferentes, por exemplo, entre pontos de acesso Wi-Fi e estações rádio base de acesso móvel celular, o *handoff* é dito vertical.

Em geral, as estratégias para lidar com *handoffs* horizontais são mais simples, pois a decisão é tomada com base na análise de poucos parâmetros (RSSI, qualidade do sinal, distância do ponto de acesso), sendo o mais comum a potência do sinal recebido (RSSI – *Received Signal Strength Indication*). O princípio básico do *handoff* horizontal é detectar os pontos de acesso com melhor RSSI, de acordo com um determinado limiar estabelecido, sinalizar a troca para estação escolhida e realizar a troca efetivamente.

No processo de *handoff* vertical esta tarefa se torna um pouco mais complexa devido às particularidades de cada tecnologia de acesso que devem ser levadas em consideração na decisão de *handoff* como vazão, custo financeiro por MB trafegado, consumo de energia exigido e limitações do dispositivo móvel. Além de observar todas estas características ainda é necessário verificar se a rede de acesso escolhida tem capacidade para atender

adequadamente todos os serviços demandados pelo usuário, observando também as capacidades do dispositivo móvel como quantidade de interfaces e autonomia de bateria.

### 2.1.2 Etapas do Procedimento de *Handoff*

Como citado anteriormente, o procedimento de *handoff* é o aspecto chave no desenvolvimento de soluções que dão suporte a cenários de mobilidade. Muitos trabalhos descrevem o processo de *handoff* em três fases[8][1][9]: aquisição de informações, decisão e execução de *handoff*, conforme Figura 2.1. A fase de aquisição coleta as informações necessárias para identificar a necessidade de mudança de interface de acesso. Esta fase também pode ser conhecida como fase inicial de *handoff* ou de descoberta das características de rádio. A fase de decisão determina quando e como deverá ser realizada a troca de ponto de acesso, selecionando a rede de acesso mais adequada, levando em consideração critérios como as preferências do usuário, capacidade do dispositivo e características do rádio (qualidade do link e RSSI). Na fase de execução, o procedimento de mudança de interface é realizado, mensagens de sinalização são trocadas entre os pontos de acesso e o dispositivo móvel para redirecionar a comunicação para a interface ou rede escolhida na fase de decisão.



Figura 2.1 – Etapas do Processo de *Handoff*.

Dentre as etapas do processo de *handoff*, uma das etapas com maior destaque é a etapa de decisão. A decisão de seleção de rede tem por objetivo escolher quais redes e interfaces candidatas oferecem a conectividade mais adequada aos serviços utilizados pelo usuário, sendo este o foco deste trabalho.

## 2.2 Decisão de *Handoff*

Diferentes estratégias de decisão têm sido propostas para indicar uma rede ou interface candidata (ou talvez múltiplas redes, no caso de dispositivos multi-homing) mais adequada para o usuário. A Seção 2.2.1 apresenta os principais critérios utilizados pelas estratégias de decisão e a Seção 2.2.2 apresenta as principais abordagens utilizadas pelas estratégias de decisão para a seleção de redes e interfaces.

### 2.2.1 Critérios de Decisão de *Handoff*

No modelo tradicional de *handoff*, a seleção de rede é baseada no nível de sinal recebido (RSSI) e em valores de histerese (faixa de intervalo entre o RSSI mínimo e máximo de transição) para reduzir o efeito *ping-pong*, ocasionado pela realização excessiva *handoffs* em áreas de transição. Estratégias atuais têm considerado além do RSSI outras características da rede, do dispositivo e o contexto do usuário, tornando o processo de seleção mais complexo. Bhuvaneswari et al [1] apresentam uma categorização para esses critérios:

- Relacionados à rede: cobertura, largura de banda, latência, qualidade do enlace (geralmente medida pela potência do sinal recebido), CIR (*Carrier to Interferences Ratio*), SIR (*Signal to Interferences Ratio*), BER (*Bit Error Rate*), custo monetário, nível de segurança, etc.
- Relacionados ao dispositivo: velocidade de deslocamento, nível de bateria, informação de localização, etc.
- Relacionados ao usuário: perfil e preferências do usuário.
- Relacionados ao serviço: características do serviço, QoS, etc.

Dependendo da frequência e da variação dos valores dos critérios, estes poderão ser classificados como estáticos (por exemplo, perfil do usuário e o custo financeiro de acesso) ou dinâmicos (por exemplo, velocidade de deslocamento e RSSI). Em geral, independente do objetivo da solução, as estratégias de seleção atuais são baseadas em múltiplos critérios de decisão.

### 2.2.2 Estratégias de Decisão de *Handoff*

Várias estratégias de decisão de *handoff* têm sido propostas na literatura [9] - [19]. Tais soluções podem ser categorizadas em [1][8]: estratégias baseadas em RSSI, estratégias

baseadas em função de custo, estratégias centradas no usuário, estratégias de decisão baseada em múltiplos atributos, lógica Fuzzy e redes neurais, e através de ciência de contexto.

### 2.2.2.1 Estratégias de decisão baseadas em função de custo

Em alguns trabalhos [5] [7] [13], a estratégia de decisão é baseada em uma função de custo que mede o benefício obtido pelo *handoff* para uma rede em particular. Em geral, este tipo de estratégia avalia cada rede que cobre a área de serviço do usuário e é estabelecido por uma soma de funções ponderadas de parâmetros específicos. Uma forma geral de uma função de custo  $f_n$  para redes sem fio é dada em [8]:

$$f_n = \sum_s \sum_i w_{s,i} * p^{n_{s,i}} \quad (\text{Equação 1})$$

onde  $p^{n_{s,i}}$  é o custo do parâmetro  $i$  do serviço  $s$  na rede  $n$ ;  $w_{s,i}$  é o peso (a importância) atribuída ao parâmetro  $i$  para executar o serviço (com  $\sum_i w_{s,i} = 1$ ).

Wang et al. [11] introduzem uma função de custo, para selecionar a melhor rede disponível no processo de decisão. Os parâmetros utilizados são largura de banda  $B_n$  que uma rede pode oferecer, o consumo de energia  $P_n$  demandado pelo dispositivo, custo monetário de utilização  $C_n$  e um peso  $w_n$  definido pelo usuário para cada parâmetro que é a importância definida pelo usuário de cada parâmetro. O custo de utilização de uma rede  $n$  em um determinado momento, com  $N(i)$  como uma função de normalização dos parâmetros  $i$  é definida como:

$$f_n = w_b * N\left(\frac{1}{B_n}\right) + w_p * N\left(\frac{1}{P_n}\right) + w_c * N\left(\frac{1}{C_n}\right) \quad (\text{Equação 2})$$

A rede que tiver o menor custo é escolhida como a rede de destino. A política baseada em função de custo considera as condições dinâmicas da rede e inclui um período de estabilidade (um período de espera antes do *handoff*) para garantir que o *handoff* seja vantajoso para o dispositivo móvel.

Chen et al. [13] propõem um esquema adaptativo baseado no processo de decisão de *handoff* descrito por Akhila [11]. Os autores propõem uma função de utilidade, baseada na largura de banda, velocidade de deslocamento e qualidade de serviço, para avaliar as redes sem fio acessíveis pelo dispositivo móvel. Para isso, são propostos dois métodos de decisão de *handoff* adaptativos, ajustados a um período de estabilidade. Tais métodos trabalham de acordo com os recursos de rede e dos aplicativos em execução nos dispositivos. O primeiro mede várias relações de utilidade das redes ( $U_{redealvo} / U_{redeatual}$ ) e o segundo se baseia na comparação de duas relações de utilidade medidas.

No esquema proposto, o método de decisão de *handoff* é precedido por um método de descoberta de sistema que utiliza um método de ativação de interface adaptativo que ajusta o intervalo de ativação da interface baseando-se na distância entre o dispositivo móvel e o ponto de acesso. Para isso, um conceito cobertura ideal (ou seja, a cobertura real de uma rede sem fio sobreposta) é introduzido, no qual a informação sobre a posição do dispositivo e um serviço de localização são utilizados para auxiliar o dispositivo na decisão sobre quando ativar as suas interfaces. Este método de descoberta de sistema pode balancear o consumo de energia e o tempo da descoberta do sistema.

### **2.2.2.2 Estratégias de seleção centradas no usuário**

Entre os diferentes critérios de decisão de *handoff* vertical que devem ser levados em consideração, as preferências do usuário, o custo e qualidade de serviço, são identificados como os parâmetros mais relevantes para uma estratégia centrada no usuário.

Calvagna e Di Modica [12] propõem um modelo de avaliação de decisão de *handoff* baseado no ponto de vista do usuário, selecionando a rede de acesso mais conveniente para suas necessidades específicas (custo e QoS). O esquema de decisão está integrado a um módulo de processo de seleção de rede. Este módulo é o responsável por recuperar periodicamente os dados do módulo de monitoramento de rede (ou seja, reais condições de disponibilidade de rede) e também por obter as preferências do usuário específicas através do módulo de gerenciamento de perfil de usuário. Os autores implementaram um modelo centrado no usuário integrado com o Mobile IP, um protocolo de mobilidade distribuído para apoiar a *roaming* de dispositivos móveis entre os domínios Wi-Fi e GPRS.

Os autores propõem duas políticas de decisão de *handoff* (fixando um valor limite) entre redes GPRS e Wi-Fi: A primeira considera que o dispositivo móvel nunca abandonará conexão GPRS sem que haja indisponibilidade de conexão e na segunda, o algoritmo de *handoff* procura por pontos de acesso Wi-Fi quando encontra indisponibilidade de conexão. A primeira visa satisfazer o usuário que está disposto a pagar para ter suas conexões garantidas quando possível. A segunda visa satisfazer o usuário do ponto de vista do custo conexão, mesmo que haja perdas de QoS. Com base nessas políticas, os resultados da simulação mostraram uma melhora no desempenho de alguns aplicativos em execução no terminal de usuário como FTP, HTTP e Telnet.

Ormond et al. [13] analisam apenas a satisfação do usuário, usando uma função de utilidade para serviços de dados (transferência de arquivos FTP). O algoritmo de decisão de

seleção de rede é projetado com base no valor excedente consumido (diferença entre o valor monetário dos dados transferidos e o preço real cobrado) e no tempo de conclusão de transferência. A função de utilidade proposta é baseada em três perfis de usuários: *i*) neutro – o usuário que prefere pagar proporcionalmente menos para ter acesso a redes com menor atraso; *ii*) Pesquisador - usuário prefere alternativas de redes de acesso com menor atraso assegurando economia financeira; *iii*) Econômico - usuário que prefere ter a certeza de pagar menos independente do atraso. Os resultados da simulação mostraram que os valores obtidos empregando a função de utilidade para uma determinada preferência do usuário, são altamente dependentes do tamanho do arquivo que o usuário deseja transferir.

As funções centradas no usuário descritas propõem critérios e políticas de decisão de *handoff* principalmente voltadas a satisfação do usuário e para aplicações que não sejam de tempo real. Contudo, mais critérios devem ser adquiridos a partir das diferentes redes disponíveis e técnicas mais avançadas devem ser consideradas para que a decisão sobre a qual rede é mais eficiente e apropriada para atender a satisfação do usuário seja tomada[8].

### **2.2.2.3 Estratégias de seleção baseada em análise de múltiplos atributos**

A tomada de decisão por múltiplos atributos (MADM – *Multiple Attribute Decision Making*) foi proposta para lidar com o problema de seleção de um número limitado de redes candidatas com diferentes provedores de serviço e tecnologias de acesso [14]. A estratégia MADM é uma abordagem que trata adequadamente a seleção dinâmica de interfaces com múltiplas alternativas (interfaces) e atributos (características das interfaces, preferências do usuário).

Um problema de MADM pode ser formulado por um conjunto finito de alternativas  $A = \{A_i, i = 1, 2 \dots n\}$ , que representam as interfaces disponíveis que um dispositivo móvel possui, e um conjunto  $C = \{C_j, j = 1, 2 \dots n\}$  que representa as características das interfaces, das aplicações ou preferências do usuário. Os valores de cada característica  $C_j$  relacionados a cada interface  $A_i$ , são representados por  $x_{ij}$  características. Um vetor de pesos  $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\}$  é usado para pontuar a importância relativa dessas características. Um problema MADM pode ser representado por uma matriz como apresentada na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Exemplo genérico de uma Matriz MADM

	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	.	.	C <sub>1</sub>
A <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	.	.	x <sub>1m</sub>
A <sub>2</sub>	x <sub>21</sub>	x <sub>22</sub>	.	.	x <sub>2m</sub>
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
A <sub>n</sub>	x <sub>1n</sub>	x <sub>2n</sub>	.	.	x <sub>nm</sub>

Os mais populares métodos MADM são: o SAW [15], TOPSIS[16], AHP [17]. Uma breve descrição do cálculo de pontuação das interfaces usado nesses métodos é apresentada a seguir.

No SAW (*Simple Additive Wighting*) a pontuação geral de uma rede de candidata é determinada pela soma ponderada de todos os valores de atributos (características). A pontuação de cada interface é obtida pela soma das contribuições normalizada de cada valor  $x_{ij}$  multiplicado pelo peso de importância  $w_j$ . A interface selecionada é dada por:

$$A_{SAW} = \max_i \sum_{j=1}^m x_{ij} * w_j \quad (\text{Equação 3})$$

No TOPSIS (*Technique of Order Preference by Similarity Ideal Solution*) a rede candidata escolhida é aquela que mais se aproxima da solução ideal e a mais distante da pior solução. Nesse método, os cálculos necessários para a seleção da melhor interface envolvem diferentes etapas. A primeira etapa corresponde a construção de uma matriz de decisão normalizada, onde cada elemento  $r_{ij}$  da matriz de decisão Euclidiana R por ser calculado da seguinte forma:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em seguida é construída uma matriz de decisão de pesos normalizada. A matriz V é calculada pela multiplicação de cada coluna da matriz R com os pesos  $w_i$  associados:

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{1n} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} * w_1 & \dots & r_{1m} * w_m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n} * w_1 & \dots & r_{mn} * w_m \end{bmatrix} \quad (\text{Equação 5})$$

Na terceira etapa é determinar a solução ideal ( $A^+$ ) e o pior caso ( $A^-$ ), onde:

$$A^+ = \max_j [v_{ij}] = [v_1^+, v_2^+, \dots, v_i^+, \dots, v_m^+] \quad (\text{Equação 6})$$

e

$$A^- = \min_j [v_{ij}] = [v_1^-, v_2^-, \dots, v_i^-, \dots, v_m^-] \quad (\text{Equação 7})$$

A quarta etapa é calcular a distancia entre as alternativas por meio da distância Euclidiana m-dimensional. A distância entre cada alternativa a solução ideal é:

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (\text{Equação 8})$$

e a distância entre cada alternativa e o pior caso é:

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (\text{Equação 9})$$

A proximidade relativa para a solução ideal é dada:

$$C_j = \frac{S_j^-}{S_j^- + S_j^+} \quad (\text{Equação 10})$$

Por último, uma classificação em ordem decrescente de  $C_j$  é estabelecido para definir a melhor solução.

O AHP [17] (*Analytic Hierarchy Process*) decompõe o problema de seleção de rede em vários subproblemas e atribui um valor de peso para cada subproblema. O AHP é amplamente utilizado por outros algoritmos para a tomada de decisão baseada em múltiplos critérios [5] [16][17]. O AHP constrói uma hierarquia de critérios de decisão que permite uma avaliação qualitativa e quantitativa. As seguintes ações podem ser realizadas:

1. Encontrar os pesos comparativos dos critérios de decisão.
2. Encontrar os rankings comparativos das alternativas.

A atribuição de pesos aos atributos começa com suposições razoáveis. Os atributos com maior prioridade, de acordo com as preferências do usuário e os requisitos das aplicações, terão maior peso sobre a escala pré-definida de pesos. A combinação da tomada de decisão por múltiplos atributos com estratégias mais avançadas como a lógica Fuzzy, redes neurais e reconhecimento de padrões, poderá oferecer melhores resultados em situações onde os parâmetros de análise avaliados são imprecisos.

A principal limitação de métodos baseados em múltiplos atributos é alto tempo necessário para a execução do procedimento de *handoff*, devido à complexidade computacional envolvida. Quanto maior o número de características gerenciadas no processo de *handoff* maior será a complexidade do método, conduzindo a elevados tempos de classificação para redes disponíveis.

### 2.2.3 Estratégias de seleção baseada em Lógica Fuzzy e Redes Neurais

Os conceitos de Lógica Fuzzy e Redes Neurais também têm sido utilizadas em estratégias de *handoff* [18][19].

Pahlavan et al. [20] propõem um algoritmo de *handoff* vertical baseado em redes neurais para satisfazer os requisitos de largura de banda do usuário. O algoritmo detecta a queda nível de sinal e executa a decisão de *handoff*. No caso de um *handoff* entre redes WLAN e GPRS baseado numa arquitetura Mobile IP, as amostras de nível de sinal de um ponto de acesso são as entrada do sistema. A saída é um sinal binário: onde 0 significa que o dispositivo móvel deve manter a conexão com o AP e 1 significa que o dispositivo deve fazer o *handoff* e se estabelecer uma conexão com um novo AP. Os autores demonstraram que a arquitetura baseada em redes neurais tem um desempenho melhor do que algoritmos de decisão de *handoff* tradicionais (baseados no nível de sinal ou à base de histerese) em termos de atrasos de transferência e o número de *handoff* desnecessários. No entanto, essa arquitetura exige conhecimento prévio do espectro e precisa de uma extensa configuração antes de sua execução.

Mäkela et al. [21] propõem uma arquitetura de sistema que integra recursos de geolocalização em redes WLAN para troca de dados de localização entre dispositivos IP e para os dispositivos móveis obterem informações que ele está se aproximando de ponto de acesso WLAN. Uma estratégia baseada em Redes Neurais executa o algoritmo de decisão de *handoff* para escolher apenas o momento adequado para realização do *handoff* (com base no RSSI). E outra estratégia baseada lógica Fuzzy executa um algoritmo de decisão de transferência para escolher o momento e a rede de acesso mais adequada de acordo com as preferências do usuário.

#### **2.2.4 Estratégias de seleção baseada em ciência de contexto**

O conceito de *handoff* com ciência de contexto é baseado no conhecimento de informações de contexto do dispositivo móvel e das redes a fim de alcançar escolhas melhores. Esta estratégia de decisão de seleção gerencia estas informações, avaliando as mudanças de contexto para tomar decisão sobre quando o *handoff* é necessário e sobre a qual é a melhor rede de acesso. Relevantes Informações de contexto, apresentadas na seção 2.1, são utilizadas como critérios de decisão, estas informações estão relacionadas com o dispositivo (seus recursos, localização, etc), o usuário (preferências do usuário), a rede (QoS, cobertura, etc.) e o serviço (requisitos de QoS, tipo de serviço, de tempo real, interativo ou de streaming etc.).

Balasubramaniam et al. [5] apresentam um framework com uma categorização analítica de contexto e um algoritmo de decisão de *handoff*. A solução consiste em dois componentes

principais: um repositório de contexto e o gerenciador de adaptabilidade. O repositório de contexto que adquire, gerencia e avalia as informações de contexto de diferentes partes da rede. O gerenciador de adaptabilidade decide sobre a adaptação será necessária para as mudanças de contexto e execução de *handoff*. É um processo baseado em regras que decide quando solicitar a operação de *handoff* (pela avaliação das mudanças de localização do dispositivo) e para qual rede de acesso (pela avaliação do QoS das redes atuais e alternativas).

A seleção de rede com foco em QoS é baseada no método AHP, aplicando parâmetros de QoS com na base na percepção do usuário. Esta visa satisfazer múltiplos objetivos: maximização das preferências do usuário e da aplicação da largura de banda; e minimização do jitter, atraso, perdas e flutuações da largura de banda. O protótipo usou diferentes tipos de rede de acesso (Ethernet, WLAN e GPRS), aplicações streaming e considerou diferentes cenários. Contudo a solução possui uma desvantagem: a aquisição de informação de contexto é realizada em um único ponto, isto é, no repositório de contexto. Isto pode formar um ponto de falha, exigindo uma demanda frequente de comunicação entre o dispositivo e a rede, resultando num acréscimo de *overhead* na conexão.

Wei et al. [6] propõem um gerenciamento de contexto avançado onde a informação de contexto é distribuída a mais de um repositório de contexto (um repositório de perfis do usuário, um servidor de informação de localização e um monitor de tráfego da rede). A proposta descreve um esquema de implantação flexível de software que minimiza o tempo de decisão de *handoff*. Isto é alcançado por agentes de software que são utilizados para a preparação dos dados de contexto coletados e pelo algoritmo necessário para o *handoff* no ponto de aquisição de contexto. O módulo de software que inclui estas informações é previamente instalado dispositivo móvel e executado no momento do *handoff*.

Para validar a solução os autores implementaram um protótipo reproduzindo um ambiente com sobreposição de redes UMTS e WLAN e utilizando diferentes cenários de teste (um cenário sem o serviço de *handoff* com ciência de contexto e outro com ele). As informações de contexto utilizadas dizem respeito às informações de contexto do usuário (localização, velocidade e trajetória) e QoS exigido pelas aplicações. Através da avaliação do protótipo, esta abordagem mostra que as transferências são mais eficientes quando as informações de contexto são consideradas. Além disso, a estratégia parece ser flexível, de maneira que assegura a possibilidade de utilizar diferentes protocolos na troca de diferentes tipos de informação de contexto e de utilizar diferentes algoritmos de decisão com ciência de contexto nos terminais móveis. Algoritmos de decisão específicos podem ser utilizados, a

avaliação da matriz de contexto como um cálculo linear simples ou um algoritmo lógico baseado em regras.

Ahmed et al. [22] propõem modelo de decisão utilizando ciência de contexto iniciada e controlada pelo dispositivo móvel. Uma vez que os objetivos primários são definidos, os contextos para o algoritmo de decisão são modelados em dois tipos: estático e dinâmico. A Tabela 2.2 descreve os modelos de contexto para o algoritmo de decisão. As preferências indicadas pelo usuário devem atender tanto as exigências da aplicação como também as capacidades dos terminais móveis. A arquitetura proposta contém cinco fases, duas das quais são etapas de pré-configuração e as três restantes são partes dos estágios de análise de tempo real.

Fase 1: Preferências do Usuário: O usuário deve inserir três categorias de informações: os objetivos primários, as propriedades do terminal móvel e as propriedades de aplicações.

Fase 2: Atribuição de valores de limite de parâmetros de QoS: Nesta fase, limites superiores e inferiores apropriados para os parâmetros de QoS são atribuídos com base nas preferências do usuário.

Fase 3: Estabelecimento de notas para as redes acessadas pelo usuário: Nesta fase pontuações apropriadas são atribuídas a todas as redes alcançáveis e usuário inscrito com base nos limites atribuídos aos parâmetros de QoS.

Estágio 4: Classificação das redes baseada no método AHP: a classificação de cada rede é calculada com base nas prioridades dos objetivos e pontuações atribuídas ao redes acessadas pelo usuário.

Etapa 5: Gerenciamento de sessão: esta etapa lida com o emprego de algoritmos de escalonamento de transferência de sessão para alterar a sessão dos aplicativos do dispositivo do usuário para a nova rede.

*Tabela 2.2 - Modelo de Contexto para Algoritmo de Decisão*

Tipo de Contexto	Do Dispositivo	Da rede
Estático	Tipos de serviço. Requisitos de QoS, preferências do usuário	Perfil dos Provedores
Dinâmico	Tipos de aplicações em execução, pontos de acesso acessíveis.	Parâmetros de QoS atual do pontos de acesso

### 2.3 Discussão

O estudo das várias estratégias de handoff verticais nos mostra que o projeto de um algoritmo eficiente handoff vertical, está sempre sujeito a satisfação do usuário. A eficiência deve ser alcançada como um termo relativo em relação às preferências do usuário. As preferências de usuário podem mudar de serviço para serviço ou de aplicação para aplicação. O objetivo de cada algoritmo de *handoff* vertical deve ser satisfazer prioritariamente as preferências dos usuários; assim a eficiência de um algoritmo pode ser definida.

Um dos principais desafios identificados para algoritmos de *handoff* verticais é sobre "como lidar com dados imprecisos". Olhando sobre esta perspectiva, as estratégias que utilizam lógica fuzzy parecem ser a escolha ideal entre as estratégias disponíveis para lidar com dados imprecisos. A utilização de Modelos MADM construídos com módulos de lógica Fuzzy pode levar a construção de algoritmos mais eficazes decisão para *handoff* verticais.

Outro parâmetro que afeta algoritmos de handoff verticais majoritariamente além de preferências do usuário é a informação contextual. É muito importante compreender a informação contextual das redes acessadas pelos usuários, do terminal móvel e das aplicações de modo a buscar eficientes decisões de *handoff* vertical. A observação do ambiente pode auxiliar na redução do *overhead* gerado na coleta e cálculos realizados para seleção da melhor interface.

Observando as estratégias decisão e os cenários de aplicação composto por redes heterogeneas, foi possível constatar que parte dos cálculos necessários podem ser minizados a partir da identificação de determinadas características do ambiente, das tecnologias de acesso, e do dispositivo (informações de contexto). A simples comparação entre essas características evidenciadas em pesquisas científica [23][24] e a partir de suas especificações técnicas das próprias tecnologias de acesso já nos permitem definir previamente as vantagens e desvantagens entre elas, conforme ilustra a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Diversidade entre as tecnologias sem fio existentes e emergentes baseado em [24]

Rede	Cobertura	Transferência	Mobilidade	Custo financeiro	Consumo energia
Satellite	Mundial	Max. 144 Kbps	Alta	Alto	Alto
GSM/GPRS	35 Km	9,6 – 144 Kbps	Alta	Alto	Alto
IEEE 802.16a	30 Km	Max 70 Mbps	Baixa / Média	Médio	Médio
UMTS	20 Km	2 Mbps	Alta	Alto	Alto
HIPERLAN 2	70 a 300 m	25 Mbps	Média / Alta	Médio / Alto	
IEEE.11a	50 a 300 m	54 Mbps	Média / Alta	Baixo	Médio
IEEE.11b	50 a 300 m	11 Mbps	Média / Alta	Baixo	Médio
IEEE.11g	50 a 300 m	54Mbps	Média / Alta	Baixo	Médio
IEEE.11n	50 a 300 m	300 Mbps	Média / Alta	Baixo	Médio
Bluetooth	10 m	2 Mbps	Muito Baixo	Baixo	Baixo

Com base nas características é possível estabelecer previamente políticas de preferência de utilização para determinado alcançar determinado objetivo, minimizando os cálculos necessários para obtenção de resultados semelhantes. Como por exemplo, uma política de economia de energia, como já demonstrado [18], poderia definir em ordem de prioridade as interfaces Bluetooth, Wi-Fi e 3G, respectivamente.

Antes da necessidade de realização de cálculos para quantificar as vantagens da utilização de determinada interface, três principais parâmetros deveriam ser observados, são eles: o estado da interface (ativo/inativo), o estado da conexão (conectado/desconectado), e o estado do serviço (disponível/indisponível).

O estado da interface permite identificar se a interface está ou não disponível para ser utilizada no processo de *handoff*, caso não esteja, esta pode ser desconsiderada do processo de avaliação, ou seja, se um dispositivo deseja avaliar qual a melhor interface de acesso, verificando apenas se existe mais de uma interface disponível todo o procedimento de cálculo matemático necessário pode ser evitado.

O estado da conexão permite verificar se uma interface mesmo ativa possui uma conexão pré-estabelecida a algum ponto de acesso, caso a interface não esteja vinculada a nenhum ponto de acesso, esta pode ser previamente descartada do processo de decisão. Este cenário é muito comum quando o usuário em áreas de cobertura de redes de acesso em que o usuário não possui as credenciais necessárias para conexão.

O estado do serviço permite identificar se um determinado tipo de serviço está disponível a uma determinada rede de acesso vinculada a uma determinada interface. Um determinado dispositivo pode até estar conectado a um determinado ponto de acesso (por exemplo, Wi-Fi), mas se o ponto de acesso não possuir o serviço de acesso a Internet (requisito comum na maioria dos casos), por exemplo, a interface também poderia ser descartada do processo de decisão.

Outra questão abordada é que a maioria das estratégias apresentadas não implementam um gerenciamento eficiente sobre o estado de ativação das interfaces de acesso, permitindo que interfaces possam ser ativadas e desativadas em momentos oportunos a fim de minimizar o consumo de energia.

Além disso, o processo de seleção torna-se extremamente complexo tendo em vista a necessidade de se comparar parâmetros semelhantes, mas com limites inferiores e superiores adequados diferentes para cada tecnologia de acesso. Exigindo quase que sempre a

necessidade da normalização desses parâmetros. Uma das soluções identificadas para minimizar a complexidade envolvida, poderia ser divisão do problema de decisão global, em subproblemas (assim como o que ocorre na utilização do método AHP) limitados a cada tecnologia de acesso, fazendo com que as comparações sejam realizadas somente entre as redes com mesma tecnologia. Os resultados dessas comparações podem resultar na melhor rede acesso para cada interface de acesso, cabendo a estratégias de decisão vertical unicamente a verificação dos estados de ativação, conexão e serviço para efetivação do *handoff*.

O Capítulo 3 apresenta o CANS, um mecanismo de seleção de interfaces que visa tratar o problema de seleção de interfaces pela utilização de políticas de contexto que prioriza a escolha de uma determinada interface com base na identificação do contexto do usuário e no conhecimento de suas características em relação às outras interfaces.

# Capítulo 3

## Seleção de Interfaces Baseada em Análise de Contexto

Este Capítulo apresenta um mecanismo para gerenciamento de interface e seleção de redes de acesso em ambientes sem fio heterogêneo, denominado CANS (*Context-Aware Network Selection*). A Seção 3.1 descreve o CANS, apresentando o seu funcionamento e sua arquitetura. A Seção 3.2 apresenta as estratégias de seleção e gerenciamento das interfaces de acesso propostas. A Seção 3.3 apresenta o algoritmo de decisão de *handoff* proposto, descrevendo como ocorre a identificação do contexto e procedimento de seleção. Por último, a Seção 3.3 discute as escolhas de projeto e apresenta considerações finais.

### 3.1 CANS -*Context -Aware Network Selection*

Esta seção apresenta o CANS (*Context-Aware Network Selection*), um mecanismo para gerenciamento de interface e seleção de redes de acesso em ambientes sem fio heterogêneos. O CANS tem como objetivo realizar a seleção dinâmica de redes de acesso em dispositivos com múltiplas interfaces de acesso (dispositivo *multihoming*) baseado na análise das características de rede, do dispositivo e do usuário.

Como ilustrado na Figura 3.1, o mecanismo proposto atua no dispositivo de comunicação móvel organizando informações do dispositivo (nível de bateria), do usuário (velocidade de deslocamento e utilização) e da rede (largura de banda) em cenários de contexto. A partir da identificação dos cenários de contexto, o CANS estabelece a ordem preferencial de utilização das interfaces de acordo com cada contexto identificado. Além do processo de seleção de interfaces, o CANS emprega estratégias de gerenciamento para interface *Bluetooth*, *Wi-Fi* e *3G*.

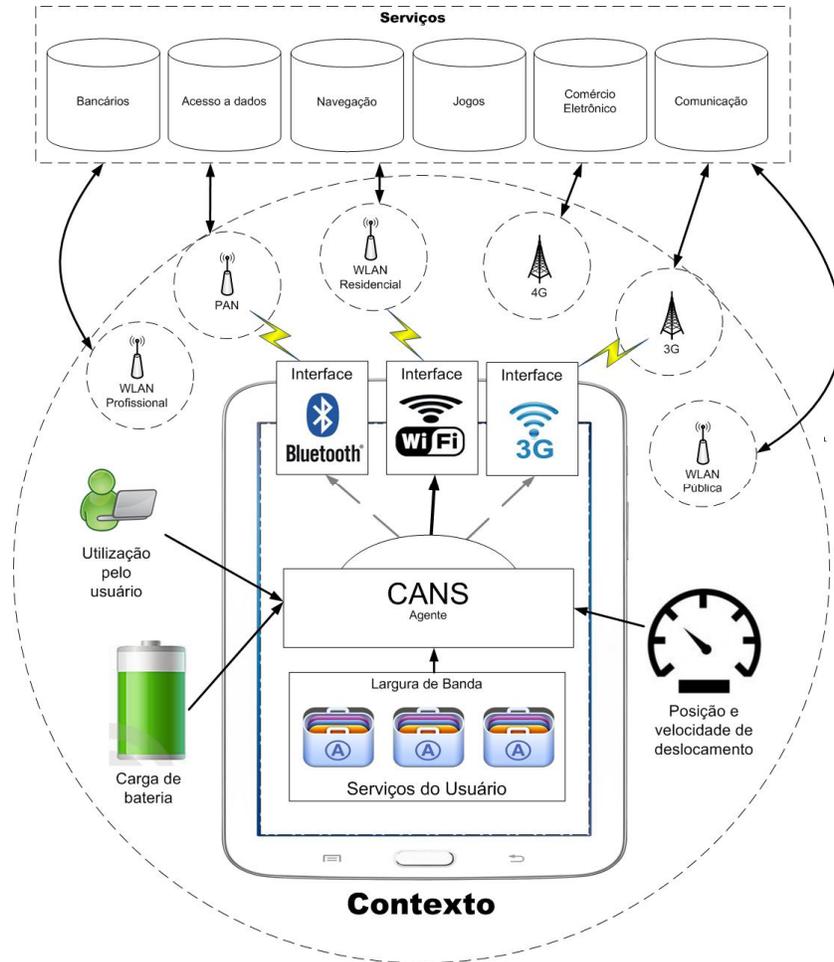


Figura 3.1. Visão Geral do CANS

Na arquitetura do mecanismo proposto, ilustrada na Figura 3.2, 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 níveis horizontal (utilizando a mesma tecnologia de acesso) e vertical (entre diferentes tecnologias de acesso). 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 *display* do dispositivo (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. Por outro lado, no nível horizontal são aplicadas as estratégias específicas, apresentadas nas Seções 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3, para o gerenciamento da interface de acesso de uma tecnologia.

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 etapa do CANS.



Figura 3.2. Arquitetura CANS.

### 3.2 Estratégias Gerenciamento das Interfaces de Acesso

Esta seção apresenta as estratégias que atuam paralelamente em cada interface de acesso. Cada estratégia atua de forma pontual de acordo com as características das interfaces e das redes de acesso disponíveis. Assim, o problema de seleção de interface é dividido em subproblemas menores de seleção referentes a cada tecnologia de acesso. O resultado do processamento de cada subproblema é a rede de acesso mais adequada por tecnologia de acesso. De posse dessa informação, um algoritmo seleciona a interface mais adequada para uso em um determinado momento, levando em consideração as informações de contexto. O algoritmo de seleção de interface e as informações de contexto são detalhados na seção 3.3.

### 3.2.1 Estratégia de Gerenciamento de Interface e Seleção de redes *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 inicia um processo de varredura do espectro a procura de dispositivos que possuam perfil de acesso NAP (*Network Area Personal*), como ilustrado na Figura 3.3. 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.

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 1), 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.

Para identificar se usuário está estacionado ou não, a estratégia adota a abordagem apresentada na Figura 3.3. A partir da leitura da velocidade de deslocamento do usuário (linha vermelha), a estratégia registra o tempo ( $T_1$ ) em que usuário parou, ou seja, velocidade nula. Se o dispositivo permanecer estacionado até um determinado tempo ( $T_2$ ) e o intervalo de tempo obtido a partir da subtração de  $T_2$  por  $T_1$  for igual ou maior ao tempo de ativação ( $T_A$ ) a interface é ativada. Quando o usuário inicia um novo deslocamento o processo inverso é executado, o tempo de início do deslocamento  $T_3$  é marcado, e se em determinado momento  $T_4$ , a subtração entre os intervalos de tempo  $T_4$  e  $T_3$  for superior ao tempo de desativação  $T_D$ , a interface é desativada.

Caso o usuário esteja estacionado, a interface é ativada e o procedimento de sensoriamento é iniciado verificando por meio do protocolo SDP (*Service Discovery Protocol*) os dispositivos *Bluetooth* próximos que permitem conectividade com perfil NAP com suporte ao protocolo BNEP (*Bluetooth Networking Encapsulation Protocol*). Uma vez identificado esses dispositivos, a estratégia tenta estabelecer uma conexão do dispositivo do usuário com o ponto de acesso *Bluetooth*.

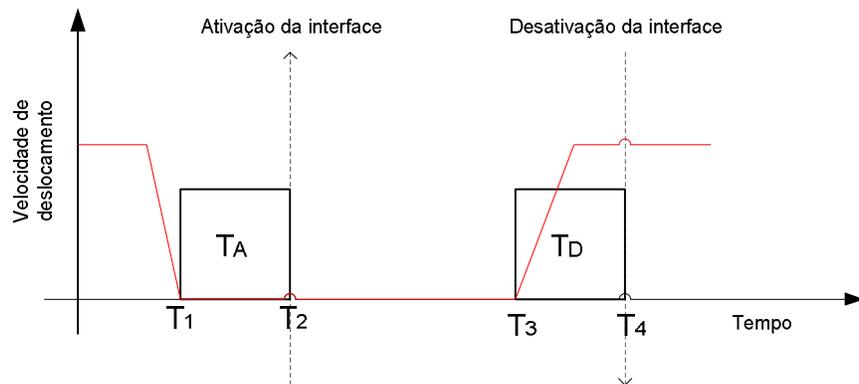


Figura 3.3. Identificação do estado de deslocamento para interface Bluetooth

O Algoritmo 3.1 apresenta um pseudocódigo da estratégia proposta. Primeiramente é realizada a leitura da velocidade de deslocamento do dispositivo (linha 7). Caso a velocidade de deslocamento do usuário seja nula (linha 8), a variável de tempo para ativação da interface é incrementada e a variável de tempo para desativação é zerada (linhas 9 e 10). Após ser inicializado o contador, a estratégia verifica se o tempo para ativação é maior ou igual a um valor de  $T_A$  (linha 12). Caso isso ocorra, um procedimento para ativar e conectar a interface é realizado (linhas 13 a 22).



Figura 3.4. Etapas de funcionamento da estratégia de gerenciamento de interface e seleção de redes Bluetooth.

Caso a velocidade de deslocamento do usuário seja diferente de zero, a variável de tempo para desativação é incrementada e variável de tempo para ativação é zerada (linhas 28 e 29). Se o tempo para desativação for superior a  $T_D$  (linha 31), a estratégia executa um procedimento para desabilitar a interface (linha 33).

Algoritmo 3.1. Gerenciamento de interface e seleção de redes Bluetooth

Linha	Algoritmo de Gerenciamento de Interface e Seleção de Redes Bluetooth
1	<b>list</b> <i>dev_blue</i> // Lista de dispositivos Bluetooth
2	<b>int</b> <i>time_for_enable</i> , <i>time_for_disable</i> // Tempo para ativação e desativação da interface em seg
3	<b>bool</b> <i>dev_connected</i> // Variável booleana que informa se a interface já está conectada
4	<b>loat</b> <i>speed_dev</i> ; // Velocidade atual de deslocamento do usuário
5	
6	<b>while</b> ( <i>device_is_on</i> ){
7	
8	<i>speed_dev</i> = <i>read_speed</i> ();
9	
10	<b>if</b> ( <i>speed_dev</i> = 0){ // Tratamento quando o usuário está estacionado
11	<i>time_for_enable</i> ++;
12	<i>time_for_disable</i> = 0;
13	
14	<b>if</b> ( <i>time_for_enable</i> >= <b>T<sub>A</sub></b> ){ //Procedimento de ativação e conexão da interface
15	<b>if</b> ( <b>not</b> <i>Bluetooth_enabled</i> ())
16	<i>enable_interface_Bluetooth</i> ()
17	}
18	<b>else</b>
19	{
20	<b>if</b> ( <b>not</b> <i>Bluetooth_connected</i> ()) {
21	// Realiza inquiry dispositivos com perfil NAP
22	<i>dispo_blue</i> ← <i>inquiry_Bluetooth</i> ("NAP");
23	// Conecta ao dispositivo encontrado
24	<i>connect</i> ( <i>dev_blue</i> );
25	}
26	}
27	}
28	}
29	<b>else</b> {// Bloco de tratamento quando o usuário encontra.se em deslocamento
30	<i>time_for_disable</i> ++;
31	<i>time_for_enable</i> = 0;
32	
33	<b>if</b> ( <i>time_for_disable</i> >= <b>T<sub>D</sub></b> ) //Procedimento de desativação da interface
34	<b>if</b> ( <i>Bluetooth_enabled</i> ()){
	<i>disable_interface_Bluetooth</i> ()
	}
35	}
36	}

### 3.2.2 Estratégia de Gerenciamento de Interface e Seleção Redes 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 ocorrem sempre que velocidade de deslocamento do usuário é menor ou igual a 5 Km/h ou 1,388 m/s (velocidade de uma pessoa adulta caminhando), conforme mostrado na Figura 3.5.

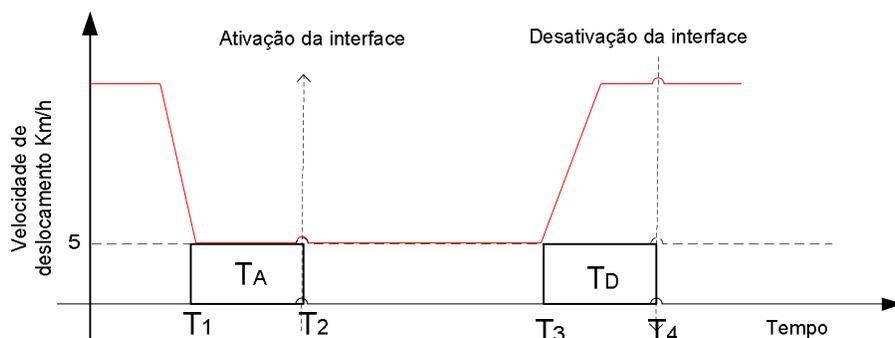


Figura 3.5– Identificação do Estado de deslocamento para interface Wi-Fi.

A Figura 3.6 apresenta as etapas de funcionamento da estratégia quando a interface está ativada. A estratégia inicia realizando o sensoriamento do espectro para coletar informações dos pontos de acesso disponíveis como ESSID (*Extended Service Set Identification*), nível de sinal, qualidade do sinal e canal utilizado. Com base nas informações coletadas, uma nova métrica para avaliação dos canais (proposta neste trabalho), denominada *fator de utilização de canal* ( $F_{UC}$ ), é calculada. Posteriormente uma pontuação é calculada para cada uma das redes detectadas, utilizando como entrada o  $F_{UC}$ , a qualidade e o nível sinal das redes. Por fim, uma comparação entre a pontuação da rede atual com a rede com maior pontuação é realizada.

A estratégia prevê 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. Por exemplo, a implementação dessa estratégia neste trabalho adota quatro análises consecutiva com intervalo de 15 segundos, correspondendo ao tempo mínimo de um minuto para a troca da rede atual para uma rede com maior pontuação.

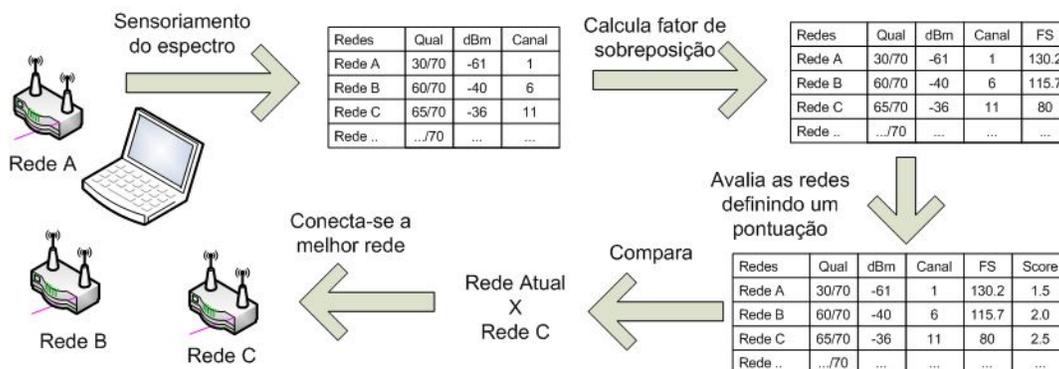


Figura 3.6. Etapas de funcionamento da estratégia de seleção de redes Wi-Fi.

O cálculo do fator de utilização de canal  $F_{UC}$  considera os seguintes parâmetros: a quantidade de redes que utiliza um determinado canal, a intensidade de sinal emitido pelos APs (diferença entre o nível de sinal detectado e o nível de sensibilidade da interface de rede) e a relação de sobreposição dos canais adjacentes.

O fator de sobreposição é uma métrica aplicada em algoritmos de seleção de canal para pontos de acesso e roteadores [25][26]. Neste trabalho, o fator sobreposição é adaptado e utilizado para selecionar a rede disponível com o melhor canal, ou seja, selecionar dentro das redes disponíveis a rede que utiliza o canal com menor fator de sobreposição.

O fator de sobreposição de canal de uma rede  $f_{S(i,j)}$  é obtido pela razão entre a faixa de interseção dos canais utilizados pelos APs  $i$  e  $j$  e a largura de banda do canal. Assim, o fator de sobreposição  $f_{S(i,j)}$  é dado por:

$$f_S(i, j) = \begin{cases} 1 - \frac{|F_i - F_j|}{w} & \text{se } f_S(i, j) \geq 0 \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde  $F_i$  é a frequência do canal atribuída ao AP  $i$ ,  $F_j$  é a frequência do canal atribuída ao AP  $j$  e  $w$  é largura do canal. Por exemplo, o fator de interseção  $f_S(i, j)$ , entre o canal 1 (2412 Mhz) e o canal 2 (2417 Mhz) operando com largura de canal de 22 MHz, é dado por:

$$f_S(1,2) = 1 - \frac{|2412 - 2417|}{22} = 0,772$$

Ao se realizar cálculo de sobreposição sobre todos os canais, uma matriz de sobreposição de canais  $M_{f_S}$  pode ser construída contendo a relação de cada canal com os demais, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Matriz de sobreposição de canais

Matriz de sobreposição														
Canal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.54	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0	0	0	0	0	0
4	0.31	0.54	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0	0	0	0	0
5	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0	0	0	0
6	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0	0	0
7	0	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0	0
8	0	0	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0	0
9	0	0	0	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.77	0.54	0.31	0.09	0
10	0	0	0	0	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.75	0.5	0.31	0
11	0	0	0	0	0	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.75	0.54	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.77	0.22
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0.31	0.54	0.77	1	0.45
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0.45	1

O nível de intensidade do sinal  $I_R$  é calculado pela subtração da intensidade do sinal pelo nível de menor sensibilidade de recepção. Este trabalho define o menor nível de sensibilidade como -100 dBm. A maioria das interfaces Wi-Fi existentes no mercado adota como valor limite para sensibilidade de recepção entre -90 a -100 dBm. Desta forma, se um determinado canal possui um nível de sinal de -35 dBm sua intensidade será:

$$I_R = -35 - (-100) \text{ dBm} = 65 \text{ dB}$$

Para pontuar o canal utilizado por uma determinada rede sem fio, a estratégia utiliza o fator de utilização do canal  $F_{UC}$  que corresponde ao somatório do produto da relação de sobreposição de canal com somatório da intensidade dos sinais dos canais, como mostrado na Equação 12.

$$F_{UC}(\text{canal}) = \sum_{i=1}^{14} (M_{fs}(\text{canal}, i) * (\sum_{rede=1}^n I_R(\text{rede}, i))) \quad (\text{Equação 12})$$

Por exemplo, considerando que a interface detectou três redes distintas A, B e C, respectivamente nos canais 1, 2 e 4, com os níveis de sinais -40 dBm, -50 dBm e -35 dBm. O cálculo do fator de sobreposição para cada canal será:

Para o canal 1

$$F_{UC}(1) = M_{fs}(1,1) * (-40 - (-100)) + M_{fs}(1,2) * (-50 - (-100)) + M_{fs}(1,4) * (-35 - (-100))$$

$$P_U(1) = 1 * 60 + 0,77 * 50 + 0,31 * 65 = 118,65$$

Para o canal 2

$$F_{UC}(2) = M_{fs}(2,1) * (-40 - (-100)) + M_{fs}(2,2) * (-50 - (-100)) + M_{fs}(2,4) * (-35 - (-100))$$

$$P_U(2) = 0,77 * 60 + 1 * 50 + 0,54 * 65 = 131,3$$

Para o canal 4

$$F_{UC}(4) = M_{fs}(4,1) * (-40 - (-100)) + M_{fs}(4,2) * (-50 - (-100)) + M_{fs}(4,4) * (-35 - (-100))$$

$$P_U(4) = 0,31 * 60 + 0,54 * 50 + 1 * 65 = 110,00$$

A Tabela 2 exhibe o cálculo do peso de utilização para os demais canais.

Tabela 3.2 – Pesos de utilização por canal

Canal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fator	118,65	131,3	120,95	110	70,95	39,6	15,5	5,85	0	0	0	0	0

 Canais disponíveis  
 Canais em utilização

A partir dos cálculos do exemplo acima, a rede com canal com menor sobreposição é a rede C, com fator de sobreposição 110 unidades no canal 4.

Após a aquisição do nível de sinal, da qualidade do sinal e do cálculo do fator de utilização dos canais, a estratégia define uma pontuação a cada rede detectada. O cálculo de

pontuação é definida pela Equação 13, onde a pontuação  $S_{R_n}$  de uma determinada rede  $n$ , é a soma entre a divisão da qualidade do sinal  $Q_{R_n}$  por 70 (valor máximo de qualidade definido pelo sistema operacional Linux), a divisão entre a subtração nível de sinal recebido (RSSI) e nível de sensibilidade da interface por 65 dB (diferença o valor máximo e mínimo de sensibilidade da interface), e a divisão entre subtração do valor do fator sobreposição máximo e o fator de sobreposição da rede  $n$  pelo fator sobreposição máximo encontrado.

$$S_{R_n} = \frac{Q_{R_n}}{70} + \frac{RSSI - (-100)}{65} + \frac{Fuc_{Max} - Fuc_{R_n}}{Fuc_{Max}} \quad (\text{Equação 13})$$

Com base no exemplo anterior a pontuação  $S_{R_n}$ , utilizando a Equação 3, para cada rede sem fio será:

Para Rede A

$$S_{R_A} = \frac{65}{70} + \frac{-40 - (-100)}{65} + \frac{131,3 - 118,65}{131,3} = 1,94$$

Para a Rede B

$$S_{R_B} = \frac{50}{70} + \frac{-50 - (-100)}{65} + \frac{131,3 - 131,3}{131,3} = 1,40$$

Para a Rede C

$$S_{R_C} = \frac{70}{70} + \frac{-35 - (-100)}{65} + \frac{131,3 - 110}{131,3} = 2,16$$

Observando os resultados obtidos, a rede C é escolhida como a rede de destino para o processo de *handoff* horizontal por ser a rede com maior pontuação.

O Algoritmo 3.2 apresenta um pseudocódigo da estratégia proposta para redes Wi-Fi. Enquanto o dispositivo estiver ligado, o algoritmo primeiramente verifica a velocidade de deslocamento atual do usuário (linha 7), caso a velocidade do dispositivo seja menor ou igual a velocidade de uma pessoa adulta caminhando (linha 8), a variável de tempo para ativação é incrementada e variável de tempo para desativação da interface é zerada (linhas 9 a 10). Após ser inicializado o contador, a estratégia verifica se o tempo para ativação é maior ou igual a um valor de  $T_A$  (linha 12). Caso isso ocorra, um procedimento para ativar e conectar a interface é realizado (linhas 13 a 22).

Este procedimento para ativação e conexão da interface compreende o ajuste do intervalo de análise (linhas 17 a 20) que adequa o intervalo de verificação seleção da rede com base em valor de RSSI limiar pré-definido. Esse ajuste é necessário para reduzir o tempo de análise quando os níveis de sinais estiverem baixos. Isto implica em varrer o espectro, calcular o fator de utilização e estabelecer a melhor rede de acesso (linhas 23 a 26). A comparação entre a rede a atual e a rede considerada como melhor é realizada na linha 30.

Algoritmo 3.2. Gerenciamento de interface e seleção de rede Wi-Fi

Linha	Algoritmo de Gerenciamento de Interface e Seleção de redes Wi-Fi
1	<b>list</b> <i>wifi_net</i> // Lista de redes de acesso Wi-Fi
2	<b>struct</b> <i>current_wifinet, best_wifinet</i> ; // redes atual e melhor rede de destino
3	<b>bool</b> <i>dev_connected</i> //variável booleana que informa se o dispositivo já está conectado
4	
5	<b>while</b> ( <i>device_is_on</i> ){
6	<i>speed_dev</i> = <i>read_speed</i> ();
7	<b>if</b> ( <i>speed_dev</i> <= <i>speedman</i> ){
8	<i>time_for_enable</i> ++;
9	<i>time_for_disable</i> = 0;
10	
11	<b>if</b> ( <i>time_for_enable</i> >= $T_A$ ){ // Procedimento de ativação, seleção e conexão de rede
12	<b>if</b> ( <b>not</b> <i>wifi_enabled</i> ())
13	<i>enable_interface_wifi</i> ()
14	<b>else</b> {
15	<b>if</b> ( <i>wifi_connected</i> ()) {
16	//Ajuste de intervalo de análise de acordo o RSSI limiar
17	<b>if</b> ( <i>current_wifinet.rssi</i> < <i>threshold_rssi</i> )
18	<i>interval</i> = $I_1$
19	<b>else</b>
20	<i>interval</i> = $I_2$
21	//Procedimento de avaliação e seleção de rede
22	<b>if</b> ( <i>time_elapsed mod interval</i> ){
23	<i>wifi_net</i> ← <i>scan_wifi</i> ();
24	<i>calc_utilization_factor</i> ( <i>wifi_net</i> );
25	<i>score_wifinet</i> ( <i>wifi_net</i> );
26	<i>best_wifinet</i> ← <i>select_bestnet</i> ( <i>wifi_net</i> );
27	}
28	
29	//Procedimento de comparação da rede atual com a rede destino
30	<b>if</b> ( <b>compare</b> ( <i>current_wifinet, best_wifinet</i> ))
31	<i>current_wifinet</i> ← <i>connect</i> ( <i>best_wifinet</i> );
32	} <b>else</b> //Procedimento de seleção de rede
33	{ <i>wifi_net</i> ← <i>scan_wifi</i> ();
34	<i>calc_overlap_factor</i> ( <i>wifi_net</i> );
35	<i>best_wifinet</i> ← <i>select_bestnet</i> ( <i>wifi_net</i> );
36	<i>current_wifinet</i> ← <i>connect</i> ( <i>best_wifinet</i> );
37	}
38	}
39	} <b>else</b>
40	{ <i>time_for_disable</i> ++;
41	<i>time_for_enable</i> = 0;
42	// Procedimento de desativação da interface
43	<b>if</b> ( <i>time_for_disable</i> >= $T_B$ ) {
44	<b>if</b> ( <i>wifi_enabled</i> ())
45	<i>disable_interface_wifi</i> ()
46	}
47	}
48	
49	<i>time_elapsed</i> ++;
50	<i>sleep</i> ( $T$ );
51	}

Se a velocidade de deslocamento for superior a 5 Km/h durante o intervalo de tempo  $T_D$  a aciona um procedimento para desativação da interface (linhas 40 a 47). Após a execução de todos os passos o algoritmo aguarda um determinado tempo  $T$  e o a execução é reiniciada (linhas 50).

### 3.2.3 Estratégia de Gerenciamento de Interface 3G

Diferente das estratégias apresentadas anteriormente, a estratégia para interfaces 3G trabalha apenas gerenciando a ativação e a desativação da interface. Isto ocorre porque o *handover horizontal* da rede de acesso móvel 3G é realizado pela operadora do serviço, cabendo ao somente decidir quando tornar ao 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 3G 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 um deslocamento de alta velocidade (por exemplo, a partir de automóvel) a rede de acesso móvel 3G proporciona maior estabilidade 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. O Algoritmo 3.3 apresenta o funcionamento do algoritmo de que implementa estratégia. Enquanto o dispositivo do usuário estiver ligado (linha 4), o algoritmo verifica se as outras interfaces de acesso (*Bluetooth e Wi-Fi*) estão ativas (linha 6). Caso seja verdadeiro, o procedimento de gerenciamento da interface é executado (linhas 8 a 17), caso contrário um procedimento para ativação da interface 3G é acionado (linhas 20 a 22).

O procedimento de gerenciamento de interface 3G (linhas 8 a 17) verifica se dentre as interfaces ativas, pelos menos uma delas está conectada (linha 8), ou seja, se pelos uma das interfaces possui acesso a Internet. Caso seja verdadeiro, a um procedimento para desativação da interface 3G é acionado (linhas 9 a 11), caso contrário o procedimento para ativação da interface é acionado (linhas 14 a 16).

### Algoritmo 3.3. Gerenciamento de Interface 3G

Linha	Algoritmo de Gerenciamento de Interface 3G
1	<b>bool</b> <i>state_bluetooth</i> , // Estado da interface <i>Bluetooth</i> ligada/desligada
2	<b>bool</b> <i>state_wifi</i> // Estado da interface Wi-Fi ligada/desligada
3	
4	<b>while</b> ( <i>device_is_on</i> ){
5	// Procedimento de gerenciamento da interface
6	<b>if</b> ( <i>state_bluetooth</i> = <b>active</b>    <i>state_wifi</i> = <b>active</b> ){
7	
8	<b>if</b> ( <i>bluetooth_connected</i> ()    <i>wifi_connected</i> ()){
9	<b>if</b> ( <i>3G_enabled</i> ()){
10	<i>disable_interface_3G</i> ()
11	}
12	}
13	<b>else</b> {
14	<b>if</b> ( <b>not</b> <i>3G_enabled</i> ()){
15	<i>enable_interface_3G</i> ()
16	}
17	}
18	} <b>else</b>
19	{
20	<b>if</b> ( <b>not</b> <i>3G_enabled</i> ()){
21	<i>enable_interface_3G</i> ()
22	}
23	}
24	<i>sleep</i> (T);
25	}

### 3.3 Estratégia Seleção de Interfaces baseada em Contexto

Esta seção descreve as variáveis de contexto utilizadas, os contextos compreendidos e identificados pela estratégia, e o algoritmo para seleção de interfaces baseada na análise do contexto.

#### 3.3.1 Entendendo o Contexto

Diferentes critérios podem ser levados em consideração para a etapa de decisão, conforme apresentado na Seção 2.2.1. Alguns desses critérios relacionados à rede, ao usuário, ao dispositivo e serviços em execução podem ser mais relevantes que outros dependendo do contexto.

Como apresentado no Capítulo 2, as estratégias de seleção de interface geralmente utilizam múltiplos atributos para estabelecer uma pontuação para as interfaces e redes disponíveis. Entretanto, estabelecer uma pontuação para cada rede individualmente pode não ser uma tarefa vantajosa, visto que em algumas ocasiões uma tecnologia de acesso pode não

ser a mais adequada ao contexto do usuário, o que poderia acarretar um custo maior de processamento, tempo e energia para o processo de *handoff* vertical.

Para um melhor entendimento, observe o cenário de aplicação apresentado na Figura 3.7. Um usuário encontra-se em deslocamento do ponto A para o ponto B com uma distância de 500 m, com um dispositivo com três tipos de interface de acesso, *Bluetooth*, Wi-Fi e 3G. Manter a conectividade do dispositivo com base nas interfaces disponíveis será desafiador e custoso dependendo da velocidade de deslocamento do usuário e da interface de acesso escolhida. Isto ocorre principalmente devido as limitações de cobertura de cada tecnologia de acesso e do custo de realização do processo de *handoff horizontal*.

No cenário apresentado, caso a interface Bluetooth (com alcance de 10 m) seja a interface padrão de acesso e processo de *handoff horizontal* tenha um determinado custo C, o custo de manutenção de conexão MC pode ser obtido pela  $(\text{distância}/\text{cobertura} - 1) * C$ . Assim, para o cenário apresentado  $MC = (500/10 - 1) * C$ , ou seja,  $MC = 49C$ . Na prática, a tecnologia Bluetooth não foi projetada para proporcionar conectividade quando o usuário encontra-se em deslocamento, mas é eficiente quanto ao consumo de energia, podendo ser uma interface de acesso adequada para casos em que o usuário está estacionado.

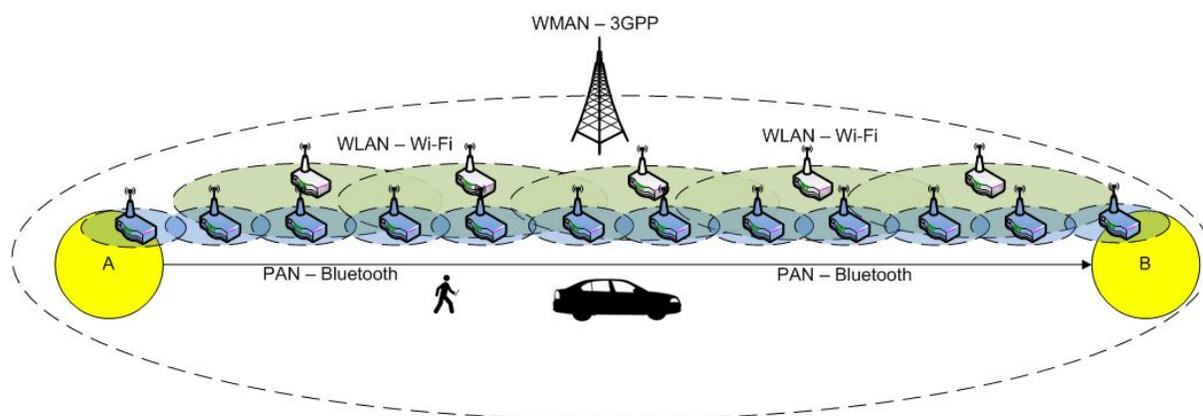


Figura 3.7– Cenário de aplicação

Caso a interface de acesso seja a Wi-Fi (com alcance de 100m), o custo de *handoff horizontal* total seria de 4C. Além de o custo ser inferior em relação à interface *Bluetooth*, esta interface também poderia oferecer maiores velocidade de acesso em relação às interfaces *Bluetooth* e 3G. Entretanto, caso o usuário apresente uma velocidade de deslocamento superior a 5 Km/h (velocidade média de uma pessoa adulta caminhando), o procedimento de *handoff horizontal* seria inviável, devido o deslocamento do usuário ser igual ou superior à área de cobertura do ponto de acesso e ao tempo de deslocamento ser inferior a de execução de *handoff*.

Caso a interface 3G (com alcance de até 20 Km) [2] seja definida como interface de acesso padrão, o custo de *handoff horizontal* seria igual a zero devido a inexistência da necessidade da troca de rede. Apesar da tecnologia 3G oferecer melhor conectividade com um menor custo de manutenção de *handoff* para velocidades de deslocamento superiores a 5 Km/h, o custo por MB trafegado, o consumo de energia e as baixas velocidades de acesso, fazem com que esta interface não seja adequada em todas as ocasiões.

Considerando que atualmente a maioria dos dispositivos móveis é equipada com GPS (*Global Position System*), a avaliação da velocidade de deslocamento do usuário é utilizada como informação decisiva para identificação do contexto. Tal informação é usada para reduzir os custos de aquisição de outras informações contexto, de sinalização nos processos de *handoff*, e do consumo de energia pelo gerenciamento eficiente das interfaces de acesso.

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. Tais políticas visam tratar os cenários descritos na Figura 3.7.

A Tabela 3.3 apresenta os valores e as condições necessárias para a aplicação de cada um dessas políticas. Onde  $B_T$  (*bandwith threshold*) é o valor referência que estabelece se o tráfego demandado pelo usuário é alto ( $> B_T$ ) 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.

A política “velocidade de acesso” visa abordar cenários em que o usuário está utilizando o dispositivo, e encontra-se parado ou em deslocamento com velocidade inferior a 5Km/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.

Tabela 3.3 Tabela de Identificação de Contexto

Conectado a fonte de energia	Parâmetros				Política de Contexto
	Tipo de deslocamento Velocidade Km/h	Utilização pelo usuário	Consumo de banda total	Carga de bateria	
Sim	< 5	-	-	-	Velocidade de Acesso
	>5	-	-	-	Cobertura
Não	Parado 0	Sim	> B <sub>T</sub>	> P <sub>B</sub>	Velocidade de Acesso
		Não	< B <sub>T</sub>	< P <sub>B</sub>	Economia de energia
	Baixa velocidade 0 < v < 5	Sim	> B <sub>T</sub>	-	Velocidade de Acesso
			< B <sub>T</sub>	> P <sub>B</sub>	Velocidade de Acesso
		Não	> B <sub>T</sub>	> P <sub>B</sub>	Velocidade de Acesso
			< B <sub>T</sub>	< P <sub>B</sub>	Cobertura
			> B <sub>T</sub>	< P <sub>B</sub>	Cobertura
			< B <sub>T</sub>	-	Cobertura
Alta velocidade > 5	-	-	-	Cobertura	

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 3.4 apresenta a ordem de prioridade de seleção de interface conforme as políticas de contexto apresentadas.

Tabela 3.4. Políticas de contexto

Ordem de preferência	Velocidade de acesso	Cobertura	Economia de energia
1ª	Wi-Fi	3G	Bluetooth
2ª	3G	Wi-Fi	Wi-Fi
3ª	Bluetooth	Bluetooth	3G

### 3.3.2 Algoritmo de Seleção de Interface

O Algoritmo 3.4 apresenta o algoritmo de seleção interfaces desenvolvido nesta proposta. O primeiro passo do algoritmo é identificar o contexto a partir das informações

extraídas dos cenários avaliados, conforme Tabela 3.4. Tais informações são usadas para definir a política de contexto mais adequada ao cenário. O processo é iniciado verificando se o dispositivo está ligado a uma fonte de energia. Caso esta afirmação seja verdadeira e sua velocidade seja inferior 5Km/h, a estratégia de seleção adota a política *velocidade de acesso* (linhas 3 a4). Em função do dispositivo está conectado a uma fonte de energia, não sendo necessário preocupa-se com a autonomia do dispositivo, esta política procura escolher a interface disponível com melhor largura de banda, conforme mostra a Tabela 3.4. Caso contrário, se dispositivo estiver em deslocamento superior a 5 Km/h (por exemplo, sendo carregado dentro de um veículo), a estratégia adota a política de cobertura (linha7) para evitar que o dispositivo fique sujeito a excessivos *handoffs* devido à dinamicidade do deslocamento.

Se o dispositivo não estiver conectado a uma fonte de energia, o nível de bateria é verificado e comparado a um valor de bateria mínimo  $P_B$ . Caso o nível de bateria seja inferior a  $P_B$  e sua velocidade for inferior a 5 Km/h, a política “economia de energia” é adotada pela estratégia (linhas 10 e 11).

Se a velocidade de deslocamento do dispositivo for nula, a estratégia de seleção de interfaces verifica se o dispositivo está ou não está sendo utilizado pelo usuário. Caso o dispositivo esteja em uso, a estratégia adota a política de “*velocidade de acesso*” (linhas 16 e 17) para oferecer sempre as maiores velocidades de conexão aos usuários. Caso o dispositivo não esteja sendo utilizado e o consumo de banda seja inferior a  $B_T = 1$  Mbps, a política adotada é a de “economia de energia” (linha 19 e 20), fazendo com que o tráfego seja direcionado a interface com menor consumo de energia. Caso contrário, a política de “*velocidade de acesso*” é utilizada considerando a possibilidade que o dispositivo do usuário pode estar sendo utilizado para *download* de informações (linha 22).

Se a velocidade de deslocamento do dispositivo for maior que zero e inferior a 5 Km/h, o algoritmo verifica se o dispositivo está sendo utilizado. Caso seja verdadeiro, a política de “*velocidade de acesso*” é adotada(linhas 27 e 28). Caso o dispositivo não esteja em uso, o consumo de banda é verificado, se o consumo for inferior a  $B_T$  a política de cobertura é adotada tendo em vista o baixo consumo de banda (linhas 30 e 31). Caso o consumo de banda seja superior a  $B_T$ , a preferência é dada a política de “*velocidade de acesso*” visando maior desempenho e economia financeira para o usuário (linhas 32 e 33).



Por fim, caso a velocidade deslocamento do usuário seja superior a 5 Km/h, a política de “cobertura” é adotada (linhas 36 e 37). A partir do contexto definido, o algoritmo verifica a política de contexto definida e configura a ordem de preferência das interfaces (linhas 41 a 63). Posteriormente a ordem de preferência é lida pela etapa de execução do *handoff* que verifica a disponibilidade da interface, caso a melhor esteja indisponível a próxima da lista é verificada até que se encontre uma interface disponível.

### **3.4 Considerações sobre CANS**

Observando a aplicação do método AHP que divide o problema global em subproblemas, foi possível observar que a complexidade envolvida na escolha da rede e interface pode ser minimizada quando as comparações são realizadas somente entre redes de uma mesma tecnologia de acesso. Dessa forma as estratégias de *handoff* horizontal podem funcionar entregando as estratégias de seleção vertical, as interfaces de acesso já previamente conectadas a melhor rede acesso identificada. Desta forma é possível ter estratégias de *handoff* horizontal sendo executadas de forma independente, mas que contribuem mutuamente a sempre entregar ao usuário a melhor conexão possível.

Uma importante observação identificada foi que 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 otimizar a economia de energia do dispositivo. Também baseado na velocidade de deslocamento do usuário foi possível constatar que determinados processos de sensoriamento, aquisição de informações e de tratamento, das interfaces envolvidas podem ser minimizados, reduzindo também o custo computacional.

# Capítulo 4

## Protótipo CANS

Este Capítulo apresenta detalhes da implementação do protótipo CANS usado para validar as estratégias apresentadas no Capítulo 3. A Seção 4.1 descreve a arquitetura de implementação do CANS. A Seção 4.2 apresenta as características da API desenvolvida para coleta, decisão e seleção de interfaces. A Seção 4.3 apresenta as características e funcionalidades da Aplicação CANS. Por fim, a Seção 4.4 apresenta as considerações finais desse capítulo.

### 4.1 Arquitetura de Implementação 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 no Capítulo 3. A ideia é que o CANS possa ser usado como API pelos desenvolvedores de soluções *handoff*, por usuários finais através da aplicação protótipo apresentada na Seção 4.3 ou por pesquisadores como ferramenta de monitoramento do processo de troca de interfaces.

O protótipo CANS automatiza todas as fases de *handoff* e realiza os cálculos matemáticos necessários para obter a melhor conexão de acesso. O resultado final é a definição de prioridade de utilização para cada interface com base na ponderação das informações de contexto analisadas.

A arquitetura de implementação da API CANS, exibida na Figura 4.1, 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. A Seção 4.3, por exemplo, apresenta uma aplicação protótipo desenvolvida utilizando a API proposta. Essa aplicação 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).

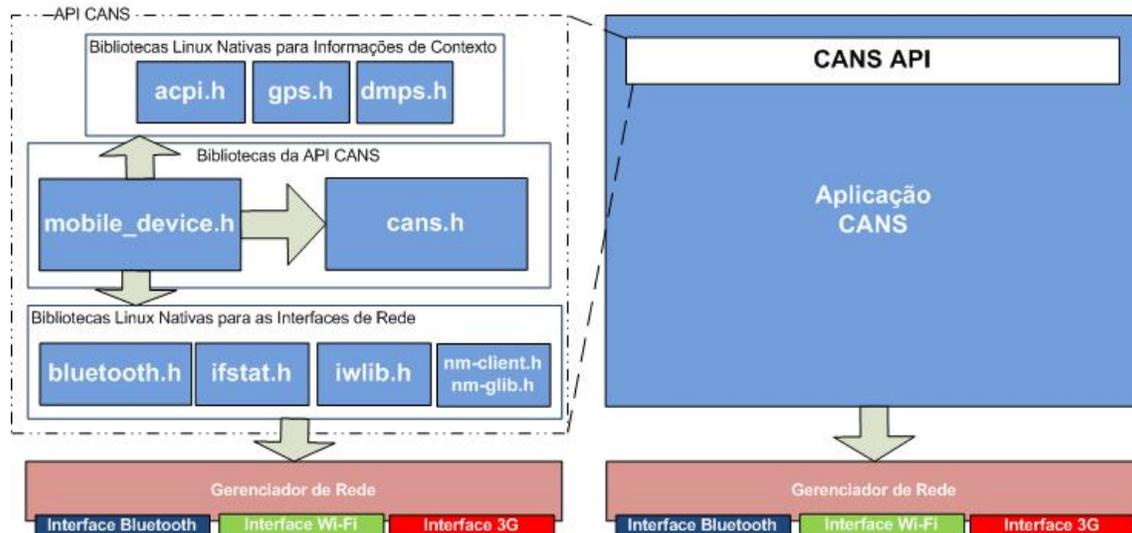


Figura 4.1. Arquitetura de implementação CANS

## 4.2 A API CANS

A API CANS foi desenvolvida em linguagem C e envolveu a utilização de outras bibliotecas para aquisição e o tratamento das informações de contexto de gerência das interfaces de acesso na plataforma Linux Ubuntu. Dentre as API's utilizadas estão:

- `gps.h`: (velocidade de deslocamento).
- `dmps.h` (verificação do estado de display).
- `acpi.h` (verificação do estado da bateria).
- `ifstat.h` (consumo de banda por interface).
- `hci.h` (informações da interface *Bluetooth*).
- `iwlib.h` (informações da interface e redes Wi-Fi).
- `nm-glib.h` e `nm-util.h` (aquisição de informações e troca de interface através de Network Manager).

A biblioteca “`acpi.h`” permite adquirir informações sobre a estado atual da bateria do dispositivo em percentagem . Esta informação pode ser usada para criar políticas de seleção para um determinado nível crítico. Neste trabalho, o nível crítico  $P_B$  definido é de 30%.

A biblioteca “`gps.h`” permite a aquisição de informação sobre a localização e velocidade de deslocamento do dispositivo. Neste trabalho, a velocidade de deslocamento é utilizada pelas estratégias de *handoff* horizontal considerando três possíveis estados, conforme

Tabela 4.1: *i)* se velocidade for nula, o dispositivo encontra-se parado; *ii)* caso a velocidade for maior que zero e inferior a 1,388 m/s (velocidade média de adulto caminhando), o dispositivo estará em deslocamento de baixa velocidade; e *iii)* Caso o deslocamento seja superior a 1,388 m/s, o dispositivo estará em deslocamento de alta velocidade, supondo que o usuário estará se deslocando com o auxílio de algum veículo.

Tabela 4.1 - Estados considerados para velocidade de deslocamento

Velocidade Deslocamento	Estado
0	Parado
0 < velocidade < 5 Km/h	baixa velocidade
velocidade > 5 Km/h	alta velocidade

A biblioteca “*ifstat.h*” permite a coleta de informações sobre o consumo de banda atual de cada interface disponível no dispositivo. Esta biblioteca é usada para verificar qual interface de acesso é mais adequada em função do consumo de banda atual. Na aplicação protótipo CANS, por exemplo, foi estabelecido que para tráfegos inferiores a um  $B_T = 1$  Mbps a interface preferencial será a interface *Bluetooth*.

A biblioteca “*dpms.h*” permite verificar se o usuário está ou não utilizando seu dispositivo. Esta informação é considerada importante para estabelecer políticas de economia de energia. Por exemplo, no protótipo implementado neste trabalho, quando um dispositivo não está sendo utilizado (display desligado) e o tráfego do dispositivo é inferior a  $B_T$ , o CANS estabelece que a interface preferencial de acesso é o *Bluetooth*.

As bibliotecas “*hci.h*” e “*iwlib.h*” são utilizadas no processo de sensoriamento do espectro para a identificação dos pontos de acesso Bluetooth e Wi-Fi, respectivamente. As bibliotecas “*nm-glib.h*” e “*nm-client.h*” são utilizadas para aquisição de outras informações como endereço IP dos dispositivos e endereços de *gateway* das interfaces. Além de serem usadas na execução dos procedimentos de trocas de redes e de ativação/desativação das interfaces.

#### 4.2.1 As Bibliotecas *mobile\_device.h* e *cans.h*

Além das bibliotecas descritas acima, a API CANS fornece duas bibliotecas que implementam as estratégias de *handoff* apresentadas no Capítulo 3 (biblioteca “*cans.h*”) e o módulo de aquisição de informações de contexto (biblioteca “*mobile\_device.h*”), conforme apresentado na Figura 4.2.

mobile_device.h	cans.h
<b>Dados</b>	<b>Dados</b>
mobile_device_tmd	...
<b>Funções</b>	<b>Funções</b>
gathering_infoctx(mobile_device_t md) ...	horizontal_handover_bluetooth(mobile_device_t md) horizontal_handover_wifi(mobile_device_t md) manager_iface3G(mobile_device_t md) execution(mobile_device_t md) ...

Figura 4.2 . As bibliotecas mobile\_device.h e cans.h.

A biblioteca *mobile\_device.h* reúne a principal estrutura de dados e função relevante para o processo de aquisição de informações e seleção de contexto. A Tabela 4.2 apresenta uma breve descrição da função.

Tabela 4.2. Bibliotecas da API CANs responsáveis pela coleta de informações de contexto e gerenciamento de handoff.

Biblioteca	Funções	Descrição
<i>mobile_device.h</i>	<i>gathering_infoctx(mobile_device_t)</i>	Função para aquisição das informações de contexto do dispositivo
<i>cans.h</i>	<i>horizontal_handoff_bluetooth(mobile_device_t)</i>	Função responsável pelo gerenciamento e seleção de pontos de acesso <i>Bluetooth</i>
	<i>horizontal_handoff_wifi(mobile_device_t)</i>	Função responsável pelo gerenciamento e seleção de pontos de acesso Wi-Fi
	<i>manager_iface3G(mobile_device_t)</i>	Função responsável pelo gerenciamento da interface de acesso móvel 3G
	<i>execution(mobile_device_t)</i>	Função responsável pela execução da seleção de interface

A estrutura de dados utilizada pelas funções apresentadas na Tabela 4.2 (*mobile\_device\_t*) é composta pelos seguintes dados:

1. *Idx*: índice de execução utilizado para registro e controle.
2. *Hostname*: nome de rede do dispositivo.
3. *Current\_context*: valor de inteiro do contexto atual do dispositivo.
4. *Best\_interface*: valor inteiro que identifica a melhor interface a ser utilizada.
5. *gpsdata*: estrutura que guarda valores de localização e velocidade de deslocamento do dispositivo.
6. *bw\_total*: consumo de banda total de todas as interfaces medida em Kbps.
7. *energy\_md*: estrutura com informações sobre a autonomia energética do dispositivo.

8. *wifine\_select*: estrutura em forma de lista encadeada com a redes de acesso selecionadas para acesso.
9. *best\_ap*: melhor rede Wi-Fi selecionada.
10. *cont\_best\_ap*: contador de número de vezes que a melhor rede foi selecionada.
11. *Wi-Fi*: estrutura com informações específicas da interface Wi-Fi
12. *Bluetooth*: estrutura com informações específicas da interface *Bluetooth*
13. *iface3g*: estrutura com informações específicas da interface 3G
14. *current\_wifinet*: estrutura de dados que contém informações sobre a redes atual de acesso Wi-Fi.
15. *current\_bluenet*: estrutura de dados que contém informações sobre a redes atual de acesso Bluetooth.
16. *host\_ifaces*: estrutura que contém informações sobre consumo de cada interface.
17. *order\_prefer*: estrutura de dados que contém a ordem de preferência de cada interface de acesso de acordo com o contexto.

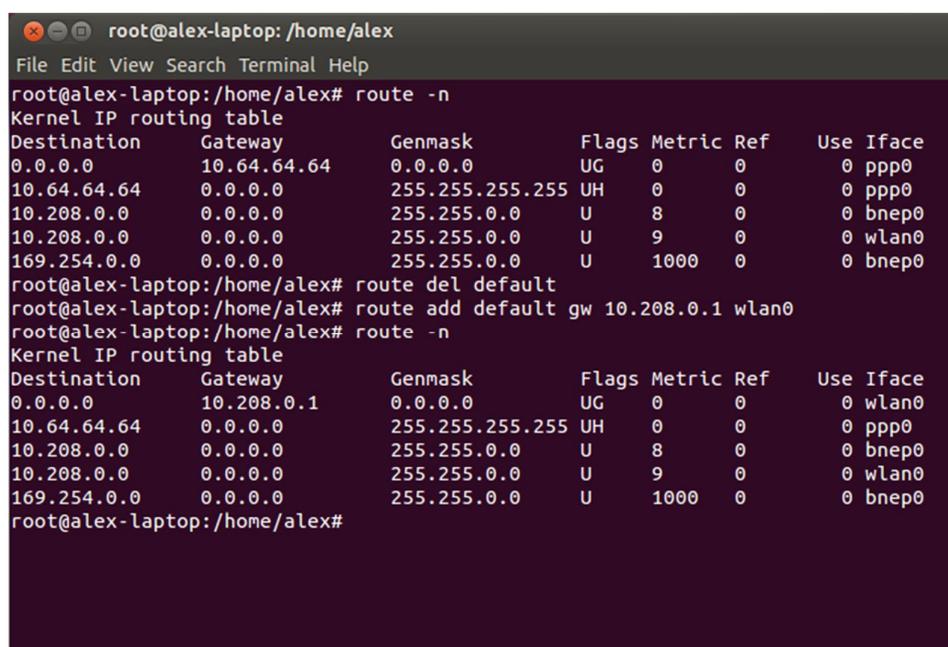
A biblioteca “*cans.h*” reúne todas as funções relevantes para a execução do processo de *handoff*. A Tabela 4.2 apresenta uma breve descrição dessas funções. A função *horizontal\_handoff\_Bluetooth* recebe como entrada a estrutura de dados *mobile\_device\_t* e decide sobre a necessidade de *handoff* horizontal sobre redes pessoais sem fio (WPAN) com base na estratégia descrita na Seção 3.2.1. Esta função é responsável por verificar o estado de deslocamento do dispositivo, ativando ou desativando a interface *Bluetooth* e pelo sensoriamento do espectro a procura de dispositivos *Bluetooth* que compartilhem serviços de rede a partir do perfil NAP.

A função *horizontal\_handoff\_wifi* decide sobre a necessidade de *handoff* horizontal sobre redes locais sem fio (WLAN) com base na estratégia descrita na Seção 3.2.2. Esta função é responsável por verificar o estado de deslocamento do dispositivo, ativando ou desativando a interface Wi-Fi e pelo sensoriamento do espectro a procura de pontos de acesso com melhor nível e qualidade de sinal e com menor interferência ( $F_{UC}$ ).

A função *manager\_iface3g* tem a finalidade de gerenciar a interface 3G de acordo as leituras do estado de ativação e conexão das interfaces Bluetooth e Wi-Fi. Quando pelo menos uma das interfaces estiver disponível e dependendo do contexto do deslocamento, a interface 3G é desabilitada. Caso nenhuma das interfaces esteja disponível, a interface 3G é ativada imediatamente.

Por fim, a função de *execution* tem a finalidade de executar a seleção da interface propriamente dita. Esta função atua na tabela de roteamento definindo a rota padrão de acesso a partir da interface e do endereço de *gateway* padrão da interface escolhida. Ao entrar em execução e selecionar a melhor interface, o mecanismo envia a resposta da interface escolhida para a função de execução.

A função de execução configura a interface escolhida na tabela de roteamento e remove a rota padrão de entrada. A Figura 4.2 exibe o processo de troca de interface realizada a partir de uma interface 3G para uma interface Wi-Fi, a rota padrão definida para a interface “ppp0” (interface 3G) é removida e é adicionada uma nova rota com o endereço IP do *gateway* da interface escolhida. Neste caso, interface wlan0 com endereço de *gateway* 10.208.0.1.



```
root@alex-laptop: /home/alex
File Edit View Search Terminal Help
root@alex-laptop:/home/alex# route -n
Kernel IP routing table
Destination    Gateway         Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
0.0.0.0        10.64.64.64    0.0.0.0         UG    0      0      0 ppp0
10.64.64.64    0.0.0.0        255.255.255.255 UH    0      0      0 ppp0
10.208.0.0     0.0.0.0        255.255.0.0     U     8      0      0 bnep0
10.208.0.0     0.0.0.0        255.255.0.0     U     9      0      0 wlan0
169.254.0.0    0.0.0.0        255.255.0.0     U    1000   0      0 bnep0
root@alex-laptop:/home/alex# route del default
root@alex-laptop:/home/alex# route add default gw 10.208.0.1 wlan0
root@alex-laptop:/home/alex# route -n
Kernel IP routing table
Destination    Gateway         Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
0.0.0.0        10.208.0.1     0.0.0.0         UG    0      0      0 wlan0
10.64.64.64    0.0.0.0        255.255.255.255 UH    0      0      0 ppp0
10.208.0.0     0.0.0.0        255.255.0.0     U     8      0      0 bnep0
10.208.0.0     0.0.0.0        255.255.0.0     U     9      0      0 wlan0
169.254.0.0    0.0.0.0        255.255.0.0     U    1000   0      0 bnep0
root@alex-laptop:/home/alex#
```

Figura 4.2.Exemplo de execução de troca de interfaces.

### 4.3 Aplicação Protótipo

Esta seção descreve o exemplo de uma aplicação construída utilizando a API CANS. A aplicação também é denominada CANS e 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, exibido na Figura 4.3. 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.

A fim de proporcionar maior automação a este processo, e proporcionar a análise e seleção inteligente das interfaces de rede, a Aplicação CANS 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.

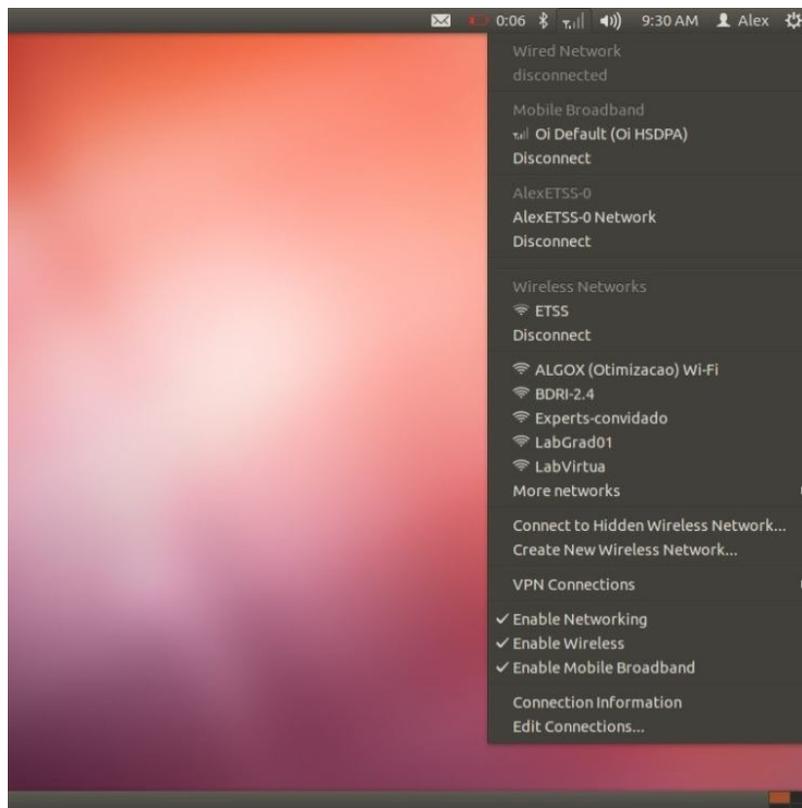


Figura 4.3 – Network Manager do SO Ubuntu

A Figura 4.5 apresenta o Menu de ajuda exibido pelo CANS quando o comando “**cans -h**” é executado. Como é possível observar, a aplicação possui diversos parâmetros de configuração e exibição, que podem ser configurados para a execução da ferramenta.

A Tabela 4.2 descreve de maneira clara a funcionalidade de cada um dos parâmetros para execução da ferramenta.

```

alex@alex-laptop: ~/workspace/mesiac_t/Debug
File Edit View Search Terminal Help
alex@alex-laptop:~/workspace/mesiac_t/Debug$ ./mesisc -h
MESISC - Mechanism Smart Interfaces Selection based in Context

smsic [OPTION] [ARGUMENT]
OPTIONS:
  -n [value]      : number of samples
  -i [time]       : interval between the samples in seconds
  -f              : save in txt file
  -m             : Execute in monitor mode (show only information about bandwidth and power consume)
  -p             : Print execution in monitor mode
  -d             : Execute as daemon
  1 or --vh      : Show Process Selection Interfaces
  2 or --hh_wifi : Show Horizontal Selection and handover for wifi networks
  3 or --hh_blue : Show Horizontal Selection and handover bluetooth networks
  3 or --mng3g   : Show Manager 3G interface for broadband networks
  -h            : Show this help menu

alex@alex-laptop:~/workspace/mesiac_t/Debug$

```

Figura 4.5. Menu de Ajuda no CANS

Um das características singulares da Aplicação CANS é suporte a análise de comportamento a partir do parâmetro “-m”. Com a utilização deste parâmetro a aplicação atua somente como uma ferramenta de coleta das informações de contexto do dispositivo. Tais informações podem se exibidas (-p) ou salvas (-f) em registros de log. Todos os registros de logs gerados pelo mecanismo a partir da utilização do parâmetro “-f” foram projetados em um formato adequado para ferramentas de plotagem gráfica como gnuplot, e para ferramentas de análise estatística como R ou Microsoft Office Excel, conforme exibido na Figura 4.6.

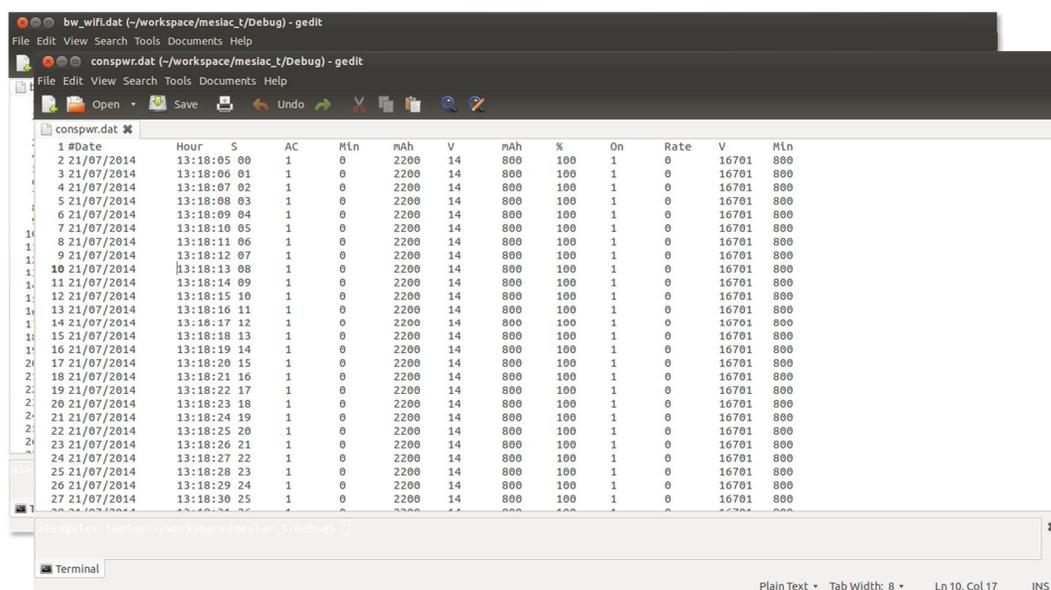
Tabela 4.2 - Parâmetros de configuração do CANS

Parâmetro	Descrição
-n #	Define o número de execuções da ferramenta, caso o valor seja -1 o mecanismo executa enquanto o dispositivo estiver ligado.
-i #	Define o intervalo em segundos de análise, o valor padrão é de 1 segundo.
-f	Gerar um arquivo de log das variáveis de entrada e saída.
-m	Apenas coleta a informações de contexto (modo ferramenta).
-p	Imprime na tela a informações de contexto coletadas.
-d	Executa o mecanismo em background.
--vh	Imprime na tela a informações de contexto, o contexto identificado e melhor interface.
--hh_wifi	Imprime na tela informações sobre ativação/desativação da interface, dados conexão atual e intervalo de análise Wi-Fi.
--hh_blue	Imprime na tela informações sobre ativação/desativação da interface Bluetooth.
--mng3g	Imprime na tela informações sobre ativação/desativação da interface 3G.

#### 4.4 Considerações sobre a Implementação

O desenvolvimento de estratégias de seleção de interfaces e redes de acesso não é uma tarefa trivial. A implementação da solução em ambiente real requer um grande esforço para o desenvolvimento de uma interface de *software* capaz de adquirir e reunir as informações de contexto necessárias para o processo de seleção de interface. Este esforço foi um fator motivador para o desenvolvimento da API CANS apresentada neste trabalho, permitindo a

outros pesquisadores concentrarem os seus esforços no desenvolvimento de novas estratégias de decisão, e não na simples coleta de informações de contexto.



#Date	Hour	S	AC	MIn	mAh	V	mAh	%	On	Rate	V	MIn	
2	21/07/2014	13:18:05	00	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
3	21/07/2014	13:18:06	01	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
4	21/07/2014	13:18:07	02	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
5	21/07/2014	13:18:08	03	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
6	21/07/2014	13:18:09	04	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
7	21/07/2014	13:18:10	05	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
8	21/07/2014	13:18:11	06	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
9	21/07/2014	13:18:12	07	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
10	21/07/2014	13:18:13	08	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
11	21/07/2014	13:18:14	09	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
12	21/07/2014	13:18:15	10	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
13	21/07/2014	13:18:16	11	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
14	21/07/2014	13:18:17	12	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
15	21/07/2014	13:18:18	13	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
16	21/07/2014	13:18:19	14	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
17	21/07/2014	13:18:20	15	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
18	21/07/2014	13:18:21	16	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
19	21/07/2014	13:18:22	17	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
20	21/07/2014	13:18:23	18	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
21	21/07/2014	13:18:24	19	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
22	21/07/2014	13:18:25	20	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
23	21/07/2014	13:18:26	21	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
24	21/07/2014	13:18:27	22	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
25	21/07/2014	13:18:28	23	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
26	21/07/2014	13:18:29	24	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800
27	21/07/2014	13:18:30	25	1	0	2200	14	800	100	1	0	16701	800

Figura 4.6. Exemplos de Logs gerados pelo CANS

A API CANS também tem a finalidade de disponibilizar as estratégias para que outros pesquisadores possam otimizar, avaliar e testar a solução proposta, tendo em vista que a maioria das soluções propostas no Capítulo 2 foi realizada em ambientes simulados.

A complexidade da implementação da API CANS foi minimizada pela utilização de APIs para acesso e gerenciamento das interfaces disponíveis pelos utilitários de gerenciamento de rede dos sistemas operacionais. Isto permitiu que as estratégias implementadas nesse trabalho funcionassem como um módulo de inteligência adicional ao gerenciador de rede existente no dispositivo, permitindo adequar de forma mais dinâmica e transparente as interfaces de acesso ao usuário.

Durante a implementação da estratégia de gerenciamento e seleção de interfaces Wi-Fi, foi possível constatar que a execução de excessivos sensoriamentos do espectro pode reduzir o desempenho do tráfego de informações na interface. Nos testes realizados durante o desenvolvimento foi identificado que em cada sensoriamento de espectro, uma interrupção da interface é gerada fazendo com que o tráfego seja interrompido. Para evitar que a solução a interfira no desempenho da interface, foi estipulado que cada interação do processo de *handoff horizontal* em interfaces Wi-Fi ocorra num intervalo de  $T$  de 15 segundos. Este intervalo é considerado para os casos onde o nível de sinal da rede atual seja inferior a *RSSI limiar* de -55 dBm. Caso o nível de sinal seja inferior ao *RSSI limiar*, este intervalo  $T$  é

reduzido para 5 segundos, supondo que o dispositivo pode se encontrar em uma área limite de cobertura do ponto de acesso atual e tendendo a estabelecer uma conexão com um novo ponto de acesso.

O Capítulo 5 apresenta os resultados experimentais obtidos a partir emprego do mecanismo proposto e das métricas coletadas. Neste são apresentadas discussões e os gráficos gerados através do comportamento da rede por meio da aplicação CANS explicada neste capítulo.

# Capítulo 5

## Experimentos e Resultados

Este Capítulo apresenta detalhes do ambiente de experimentação (Seção 5.1) e do cenário de experimentação (Seção 5.2). Também são detalhadas as métricas para avaliação (Seção 5.3) e os resultados obtidos (Seção 5.4) com o emprego das estratégias propostas neste trabalho.

### 5.1 Ambiente de Experimentação

O ambiente de experimentação foi composto pela infraestrutura apresentada na Figura 5.1. O dispositivo móvel utilizado foi um *notebook Acer Aspire 5250 2,3 GHz, 4 GB, Sistema operacional Linux Ubuntu 12.04*, bateria com autonomia de 3560mAh e com as seguintes interfaces:

- Bluetooth: *Broadcom BCM2046 2.1 EDR*
- Wi-Fi: *Atheros Wireless LAN 802.11n*
- 3GPP: *Modem 3G Huawei E1553*

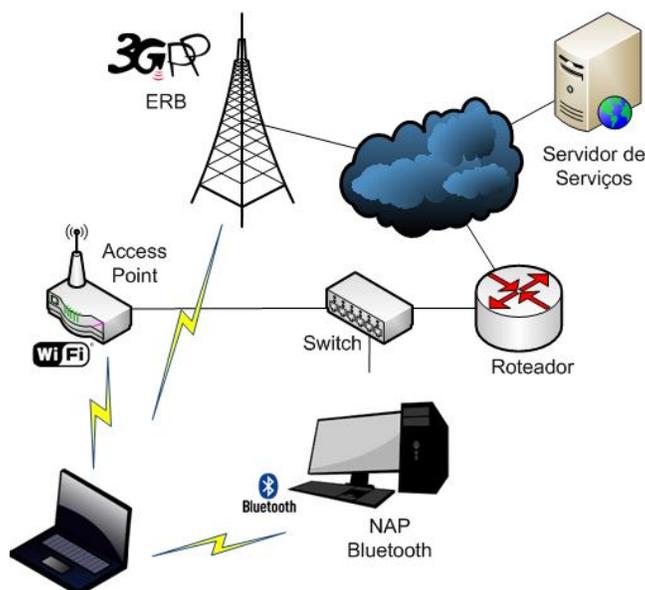


Figura 5.1– Infraestrutura utilizada nos experimentos.

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 a Internet, instalados num Desktop com SO Ubuntu ; e *iii*) pela rede móvel 3G da operadora Oi, utilizando um plano mensal de 2GBytes ao custo de R\$ 39,00 (trinta e nove reais) com velocidade de 1 Mbps. O custo de acesso a Internet utilizada pelas redes de acesso Wi-Fi e Bluetooth são baseados num plano mensal com franquia 70 GBytes ao custo de R\$ 69,90, valor praticado pela operadora de serviços de telecomunicações Oi no Estado do Amazonas.

O custo financeiro do kWh considerado é da concessionária de energia Amazonas Energia vigente no período de 19/04/2014 a 31/10/2015 no valor de R\$ 0.32081 [27].

## 5.2 Cenários de experimentação

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.

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 5.2. Na 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  $B_{T_2}$ .

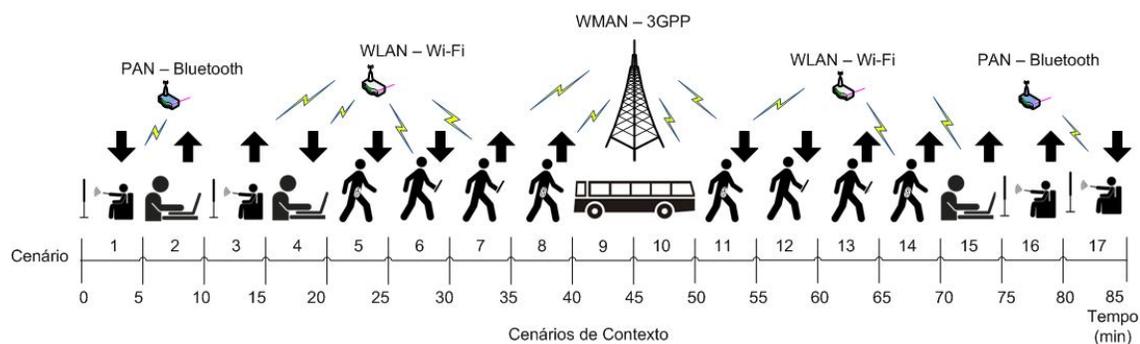


Figura 5.2. Cenários de Teste

A Tabela 5.1 apresenta valores de velocidade, o estado de utilização do dispositivo e o consumo de banda para cada cenário de experimentação e uma breve descrição de como a estratégia entende o contexto.

O tráfego avaliado é gerado a partir da aplicação **wget** do sistema Linux realizando *download* do repositório de imagens da distribuição Ubuntu disponível no endereço <http://repositorio.ufam.edu.br/ubuntu/>.

Tabela 5.1 - Descrição dos contextos experimentados

Contexto	Velocidade Km/h	Uso do dispositivo	Consumo de Banda Mbps	Descrição do contexto
1 e 17	0	Não	< 1	Usuário estacionado sem utilizar o dispositivo com tráfego inferior a 1 Mbps
2 e 15		Sim	> 1	Usuário estacionado, utilizando o dispositivo com tráfego maior que 1 Mbps
3 e 16		Não	> 1	Usuário estacionado sem utilizar o dispositivo com tráfego maior que 1 Mbps
4		Sim	< 1	Usuário estacionado, utilizando o dispositivo com tráfego inferior a 1 Mbps
5 e 11	3,6	Não	< 1	Usuário caminhando sem utilizar o dispositivo com tráfego inferior a 1 Mbps
6 e 12		Sim	< 1	Usuário caminhando, utilizando o dispositivo com tráfego inferior a 1 Mbps
7 e 13		Sim	>1	Usuário caminhando, utilizando o dispositivo com tráfego superior a 1 Mbps
8 e 14		Não	> 1	Usuário caminhando sem utilizar o dispositivo com tráfego superior a 1 Mbps
9	50	Sim	-	Usuário em deslocamento de alta velocidade utilizando o dispositivo
10		Não		Usuário em deslocamento de alta velocidade sem utilizar o dispositivo

Para simular o deslocamento do usuário e a utilização do dispositivo, com base no cenário proposto na Figura 5.2 foi desenvolvido um script que configurava uma variável de ambiente denominada \$MOV\_SPEEP (lida pelo CANS) e que ligava/desligava o display do dispositivo utilizando o comando “xset dpms force <on/off>” a cada cinco minutos, conforme o gráfico apresentado na Figura 5.3.

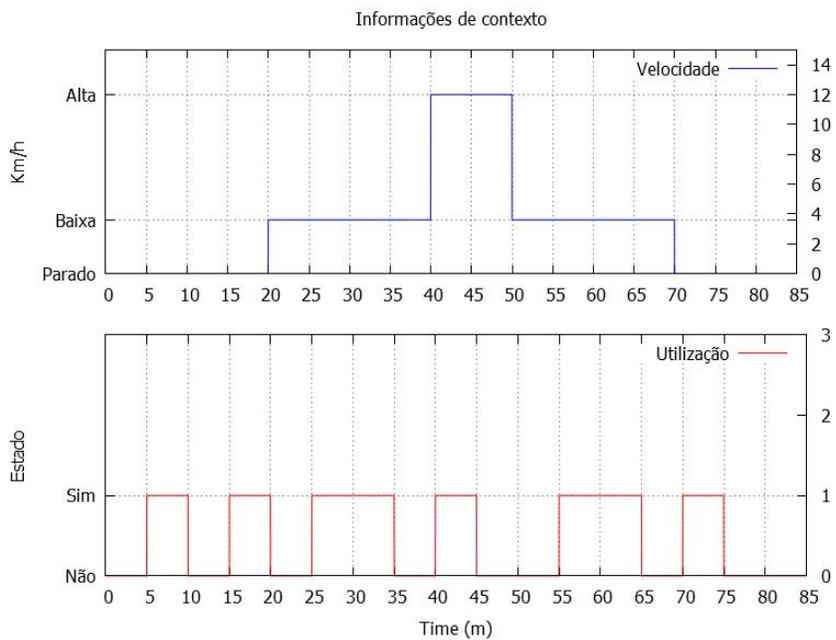


Figura 5.3 - Parâmetros de velocidade de deslocamento e de utilização empregadas no experimento

Para realização do controle de banda com o objetivo de simular o comportamento de alto e baixo consumo foi utilizada a ferramenta do Linux *wondershaper*, com a seguinte configuração: “*wondershaper <iface>“<down>”<up>*”, onde “*iface*” é a interface alvo que terá sua largura de banda limitada e “*down*” e “*up*” definidos com valor de 1024, definindo o controle de banda em 1Mbps.

Os experimentos são realizados em dois grupos: no primeiro são avaliados todos os tipos de interfaces individualmente. No segundo, o mecanismo CANS é avaliado considerando o cenário apresentado na Figura 5.2.

### 5.3 Métricas

As métricas vazão, consumo de energia e custo financeiro foram selecionadas para demonstrar a eficiência do mecanismo CANS em proporcionar melhorias da velocidade de acesso, no aumento do tempo de autonomia do dispositivo devido a redução do consumo de energia, e no custo financeiro pelo uso eficiente das interfaces de acesso.

A vazão de dados do dispositivo está diretamente relacionada com a disponibilidade das interfaces nos contextos apresentados no cenário avaliado (Figura 5.2).

A eficiência energética é medida pela relação miliampere/hora megabyte por MByte trafegado (mAh/MB). O experimento considerou a relação entre o tempo de duração e custo de carga de bateria.

O custo financeiro é medido pelos valores em REAL (R\$) do custo de energia mensal e custo por tráfego da rede de acesso.

## 5.4 Resultados

### 5.4.1 Vazão

Esta seção apresenta os resultados de vazão obtidos com base no cenário proposto na Figura 5.2 considerando um dispositivo móvel equipado com uma interface de acesso de cada vez (Bluetooth, Wi-Fi ou 3G) e com múltiplas interfaces de acesso usando a estratégia de seleção de interface proposta pelo CANS.

A Figura 5.4 apresenta a vazão utilizando apenas a interface *Bluetooth*. Como esperado, a interface permaneceu operante entre os intervalos de 0 a 20 minutos e de 70 a 85 minutos. Este período operacional compreende justamente o tempo em que dispositivo e o

usuário encontra-se com velocidade de deslocamento igual a zero, ou seja, estacionado. Apesar da especificação da interface *Bluetooth* informar um valor teórico de transferência de até 2 Mbps, os experimentos apresentaram valores de transferência inferiores a 1Mbps, enquadrando-se dentro do valor de referência  $B_T$  de 1Mbps adotado pelo CANS que faz a diferenciação do consumo de banda como alto ou baixo.

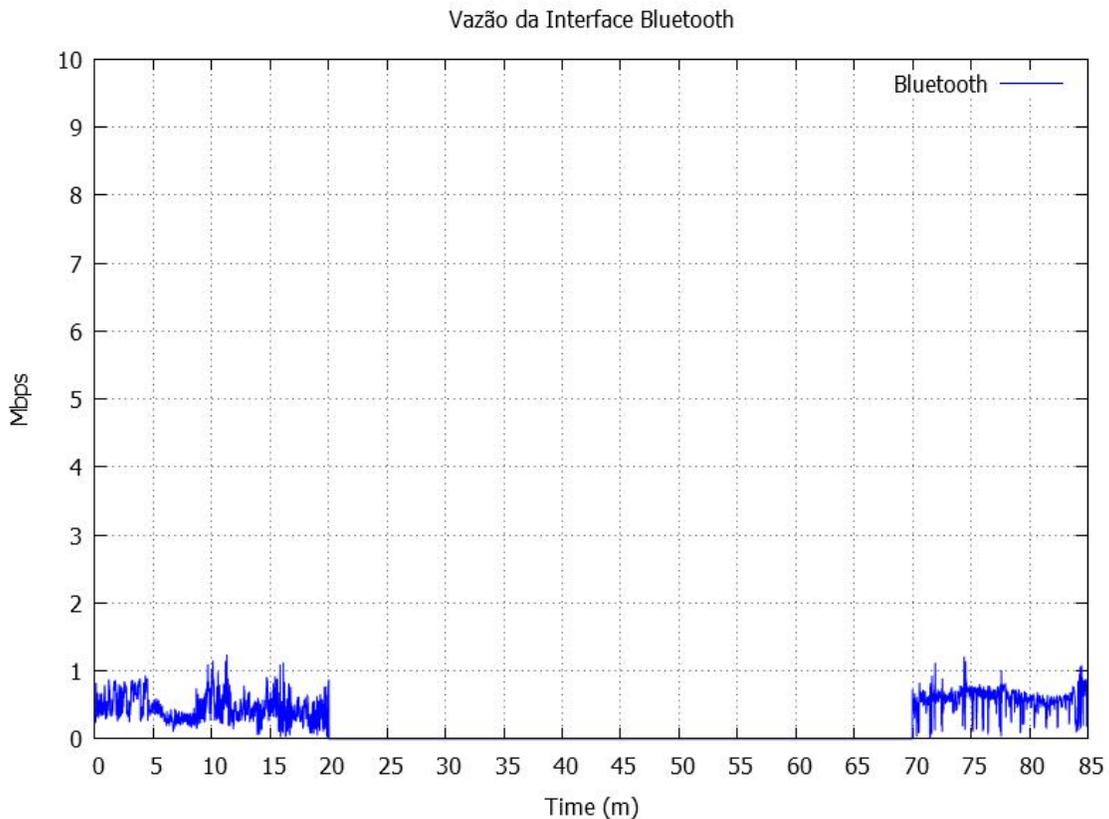


Figura 5.4 - Vazão da Interface Bluetooth submetida ao Cenário de Teste

A Figura 5.5 apresenta a vazão utilizando apenas a interface Wi-Fi, que também como esperado a interface permaneceu inoperante próximo ao intervalo de 40 a 50 minutos. Este período de inoperância compreende o tempo em que o usuário encontra-se com velocidade de deslocamento superior a 5 Km/h, ou seja, em deslocamento de alta velocidade. Os períodos entre 10 e 30, de 50 a 60, e de 80 a 85 minutos compreendem os intervalos em que o usuário está estacionado ou caminhando e utilizando o dispositivo com tráfego inferior a  $B_T$ , conforme os contextos 4, 5, 6 e 17 da Figura 5.2.

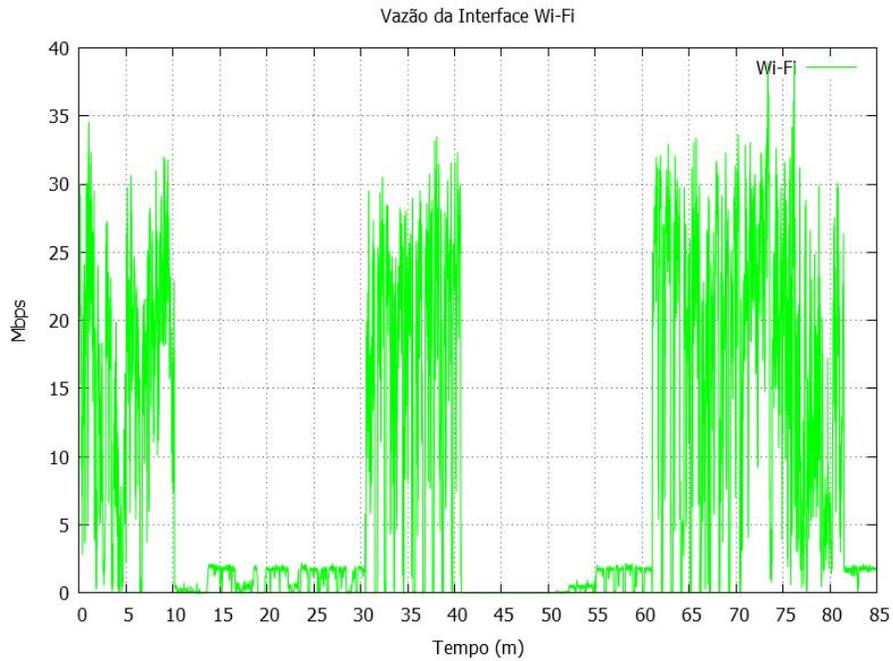


Figura 5.5 Vazão da Interface Wi-Fi submetida ao Cenário de Teste

A vazão da interface 3G apresentou o comportamento mais estável dentre as interfaces observadas, conforme Figura 5.6. Apesar da interface 3G não apresentar nenhum ponto de indisponibilidade por ocasião do deslocamento do usuário, sua velocidade de acesso fica limitada ao plano de acesso contratado junto a operadora, que neste caso é de 1 Mbps.

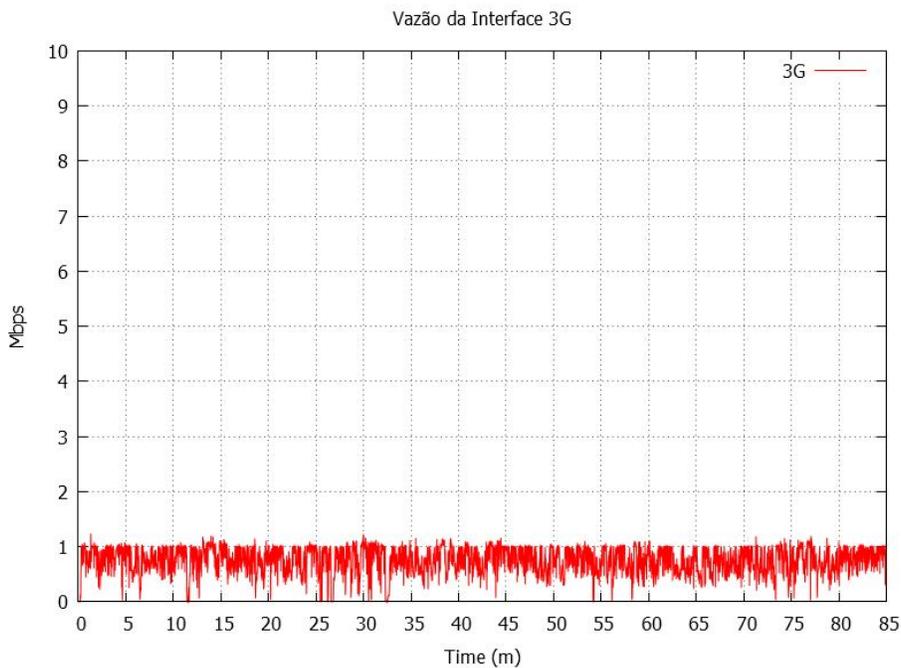


Figura 5.6 - Vazão da Interface 3G submetida ao Cenário de Teste

A vazão proporcionada pelo mecanismo CANS é apresentada na Figura 5.7. 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 3G, 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.

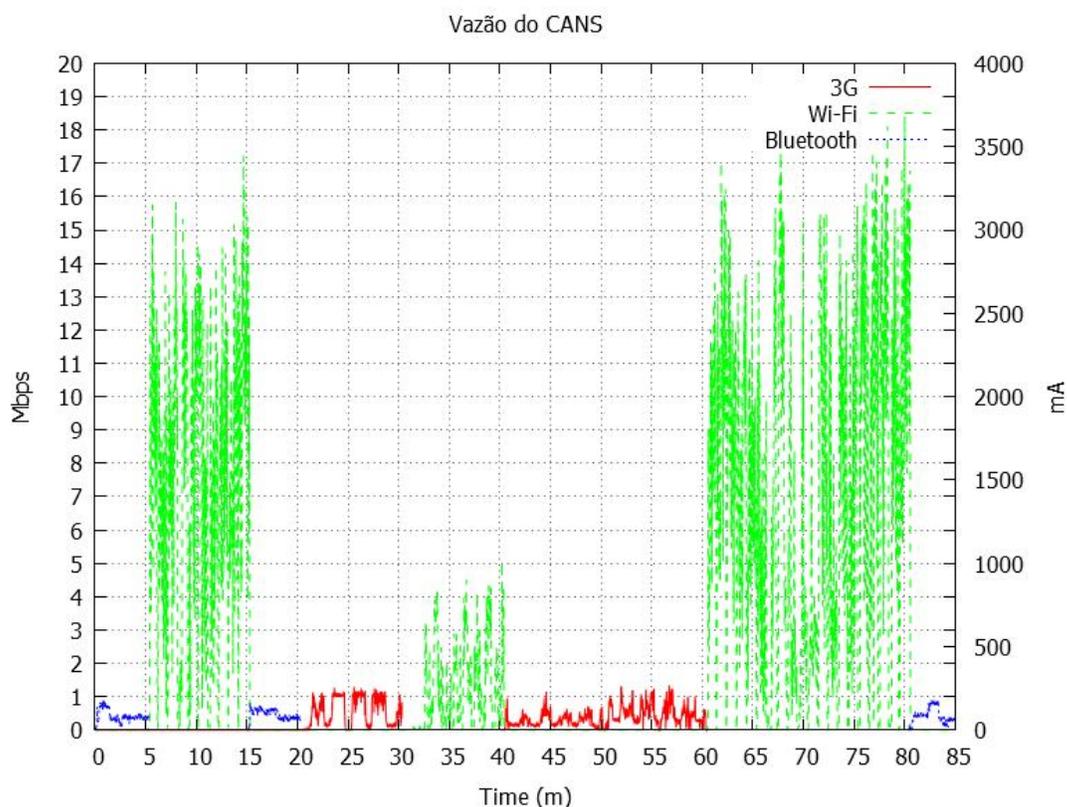


Figura 5.7 - Vazão proporcionada pela utilização do Mecanismo CANS

A Figura 5.8 apresenta as trocas de interfaces realizadas com base nas mudanças de contexto observadas pelo CANS. Na ilustração é observado que durante o primeiro (0 a 5 m) e o último contexto (80 a 85 m) a interface de acesso escolhida é a interface *Bluetooth*, nos contextos 3, 5, 8 e 11 a interface escolhida foi a Wi-Fi, e durante os contextos 6, 9, 12, 13 a interface escolhida foi a 3G, totalizando 7 execuções de *handoffs* verticais.

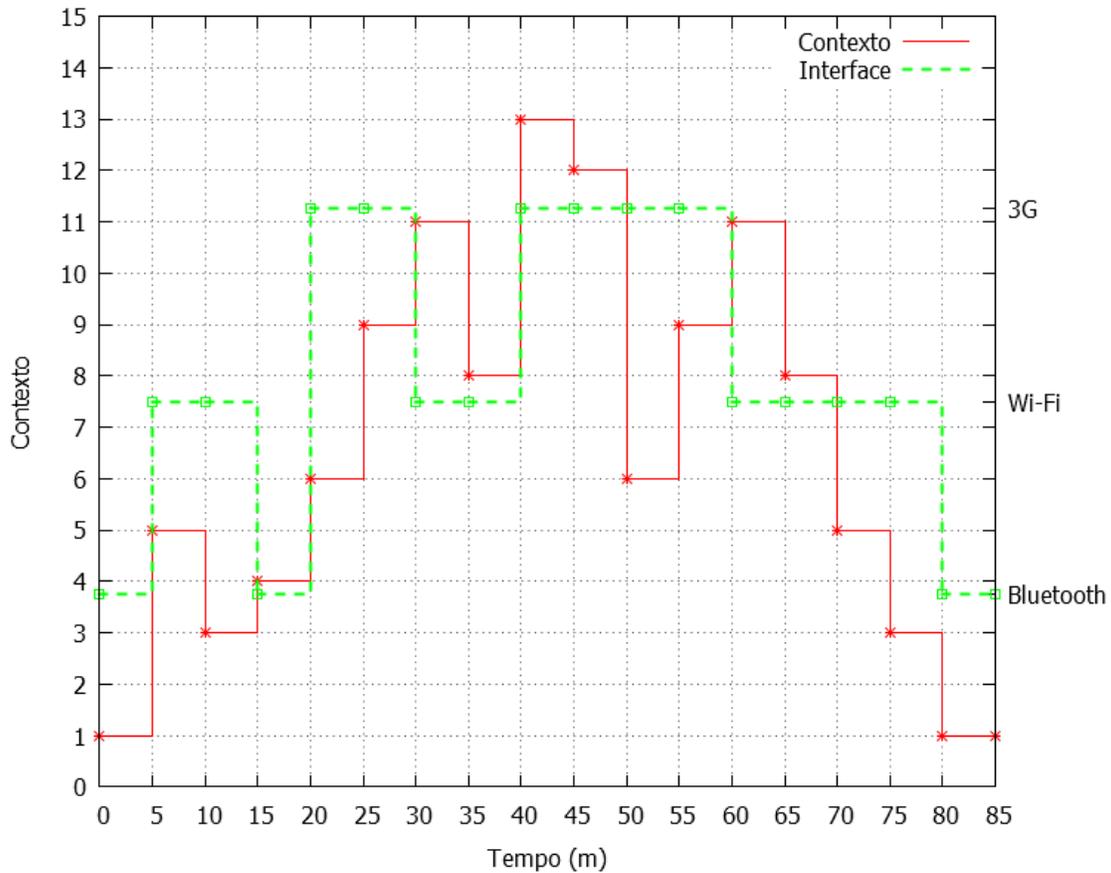


Figura 5.8 - Mudança de contexto e troca de interface no tempo

A Figura 5.9 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 3G 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.

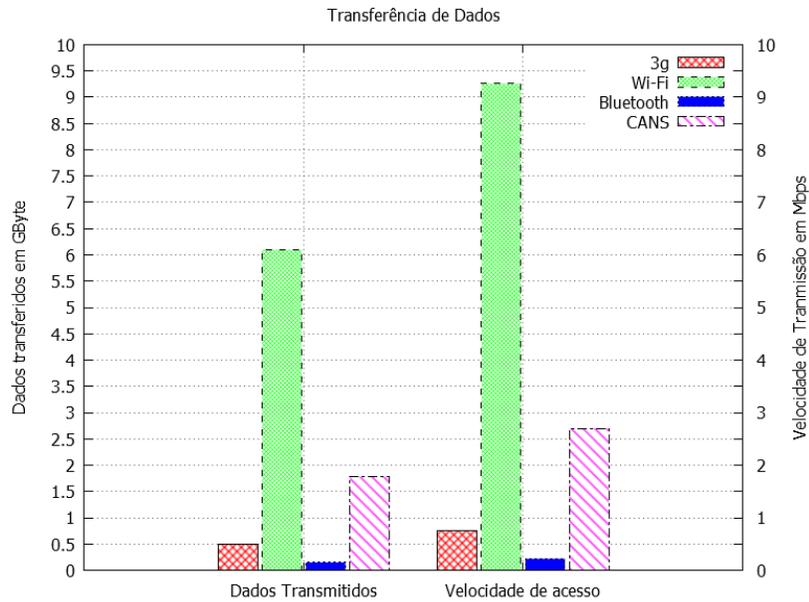


Figura 5.9 - Quantidade de dados transmitidos e velocidade de acesso por interface e utilizando o CANS.

A Figura 5.10 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 dos experimentos (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 3G com disponibilidade de 99,2 %.

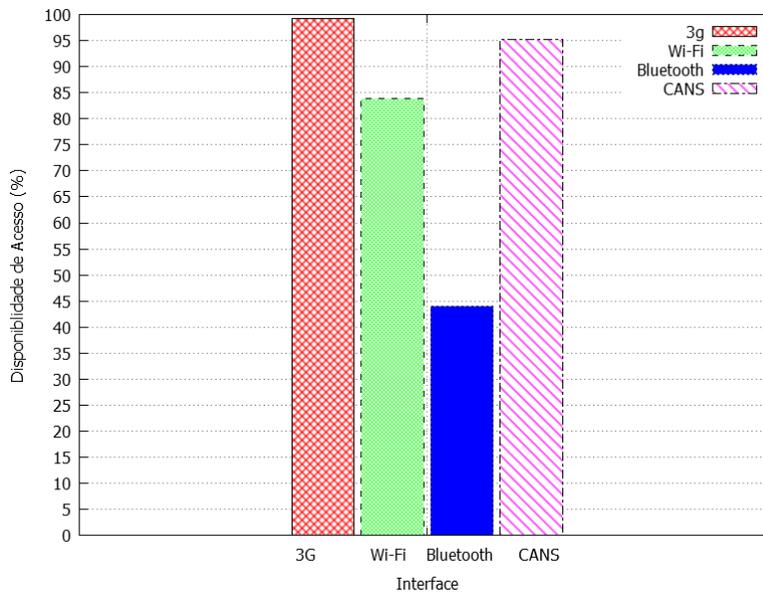


Figura 5.10 - Disponibilidade de conexão obtidas pelas interfaces Bluetooth, Wi-Fi e 3G e com a utilização do CANS.

Essa diferença é dada principalmente pelos procedimentos de *handoff* horizontal e vertical realizado pelo CANS decorrentes das mudanças de contexto estipuladas no cenário avaliado. A Figura 5.11 mostra as interrupções ocasionadas pelas trocas de interfaces.

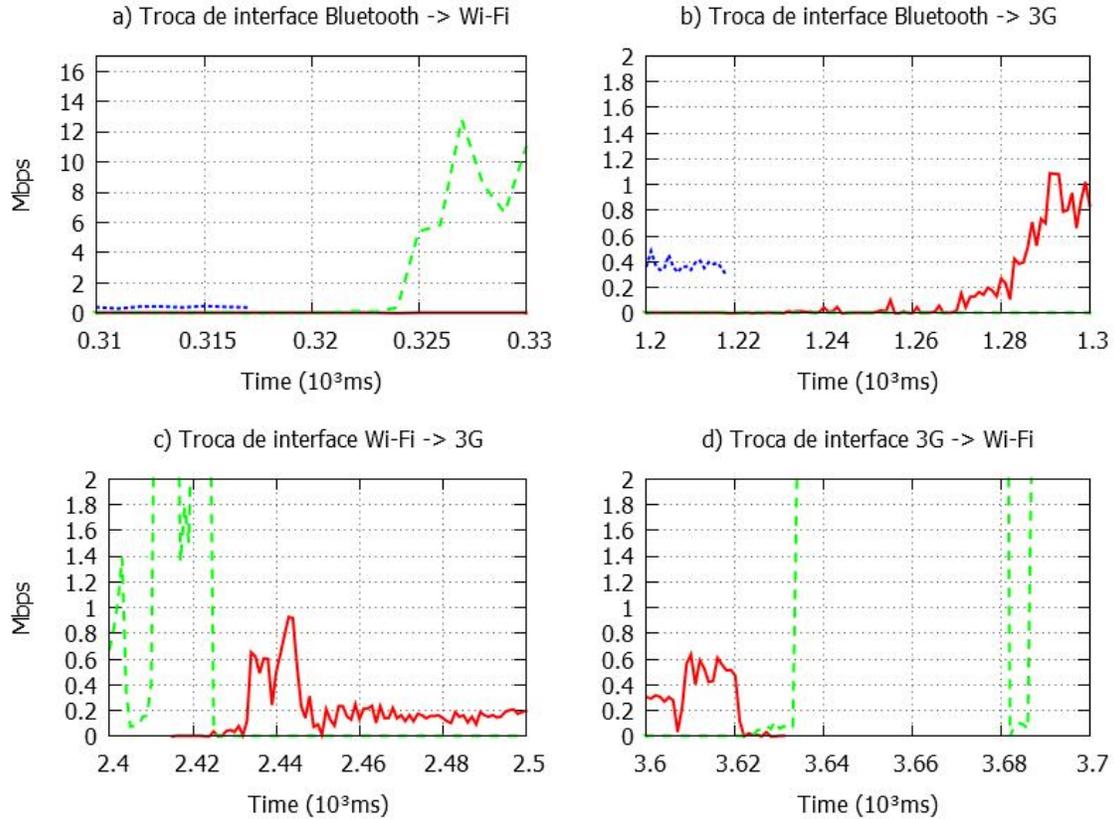


Figura 5.11 - Interrupções geradas pelo handoff vertical: a) apresenta a troca de interfaces ocorrida entre as interface Bluetooth e Wi-Fi b) troca de interfaces ocorrida entre as interface Bluetooth e 3G c) troca de interfaces ocorrida entre as interface Wi-Fi e 3G; d) troca de interface ocorrida entre as interfaces 3G e Wi-Fi

## 5.4.2 Consumo de Energia

Esta seção apresenta os resultados do consumo de energia considerando um dispositivo móvel utilizando uma interface de acesso de cada vez (Bluetooth, Wi-Fi ou 3G) e com múltiplas interfaces de acesso usando a estratégia de seleção de interface proposta pelo CANS.

A Figura 5.12 apresenta a energia média consumida pelo dispositivo durante os experimentos. O gráfico mostra que a curva de consumo de energia utilizando o CANS é inferior ao do dispositivo utilizando somente a interface Wi-Fi e superior aos do dispositivo utilizando as interfaces *Bluetooth* e *3G*. A Tabela 5.2 apresenta um comparativo do consumo de energia demandado pelas três interfaces individualmente e quando utilizando CANS.

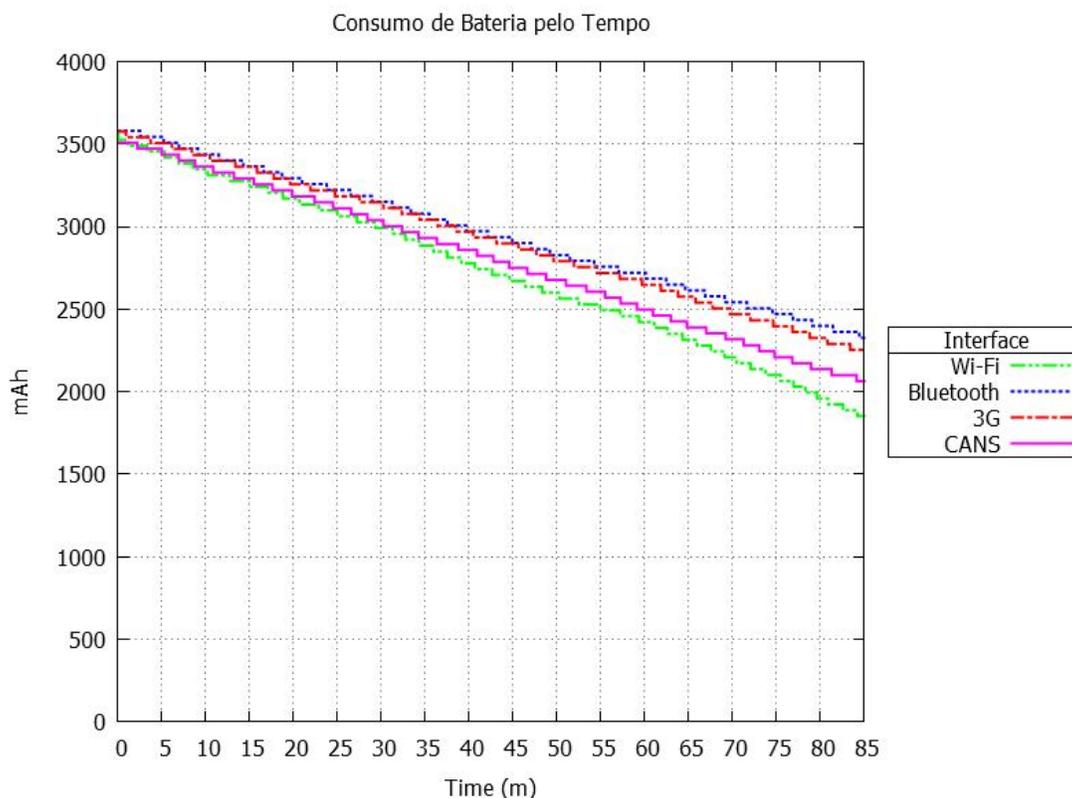


Figura 5.12 - Consumo de energia do dispositivo utilizando diferentes interfaces de acesso.

A tabela lista os valores de consumo total, a corrente média consumida e o custo de energia por MByte e a autonomia estimada. Os resultados mostram que a escolha adequada das interfaces de acessos em função do contexto do usuário proporcionada pela utilização do CANS, possibilitou uma maior economia de energia e aumento do tempo de autonomia da bateria. O CANS proporcionou um tempo de autonomia estimada de 20 minutos superior quando comparado com o cenário em que só a interface Wi-Fi.

Tabela 5.2 -Tabela comparativa de consumo de Energia

	Bluetooth	Wi-Fi	3G	CANS
Consumo Total (mAh)	1288.00	1708	1394	1515
Corrente Média (mA)	1038.71	1377.42	1124.19	1221.77
Custo por MB (mAh/MB)	8.52	0.27	2.70	0.83
Autonomia estimada (h)	3:25	2:34	3:10	2:54

A Figura 5.13 apresenta a relação de consumo de energia medido dê em miliampere hora por MByte trafegado. É possível notar que o consumo mAh/MB é inferior quando o

dispositivo utiliza a interface Wi-Fi e o CANS. A relação de consumo de energia por MB do Wi-Fi é justificada devido à largura de banda provida pela interface. No caso do CANS, a eficiência dessa relação é decorrente da estratégia de seleção que escolhe a interface em função da largura de banda exigida pelo usuário. A relação de consumo de energia por MB trafegado menos eficiente é atribuído ao *Bluetooth* devido à baixa largura de banda fornecida pela interface.

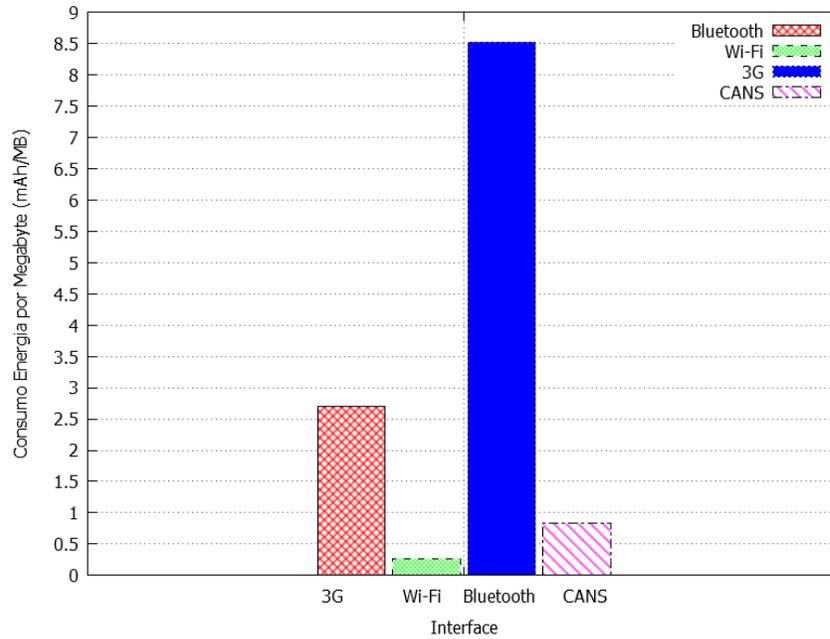


Figura 5.13 - Consumo miliampere hora por MByte trafegado.

### 5.4.3 Custo Financeiro

O custo financeiro é dado pelo custo de energia (energia utilizada para recarga do dispositivo) e pelo custo do tráfego demandado pelo usuário. Para quantificar o custo financeiro de energia, o custo por miliampere hora foi convertido em Watts hora e multiplicado pelo valor da tarifa vigente de R\$ 0,32081 por kWh da concessionária de energia elétrica Amazonas Energia [27]. O dispositivo móvel utiliza uma tensão média de 11,7 V. O consumo total em Wh é apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Custos financeiros de energia e de transferência de dados.

Tipo	Custo	Bluetooth	Wi-Fi	3G	CANS
Energia	Watts hora	15.07	19.98	16.31	17.73
	Financeiro	R\$ 4.83*10 <sup>-3</sup>	R\$ 6.41*10 <sup>-3</sup>	R\$ 5.23*10 <sup>-3</sup>	R\$ 5.68*10 <sup>-3</sup>
	Mensal	R\$ 2.81	R\$ 3.72	R\$ 3.04	R\$ 3.30
Tráfego	Megabyte	R\$ 9,98*10 <sup>-3</sup>	R\$ 9,98 * 10 <sup>-3</sup>	R\$ 0.02	R\$ 2.06*10 <sup>-3</sup>
	Tráfego	151.25 MB	6.25 GB	515.67 MB	1.823 GB
	Financeiro	R\$ 0.08	R\$ 6.24	R\$ 10.29	R\$ 3.77

Considerando a Tabela 5.3, é possível observar que o CANS proporcionou uma economia financeira mensal de 11.3 % (R\$ 0,42) em relação ao consumo de energia obtido utilizando a interface Wi-Fi. Outra importante melhoria foi a possibilidade de reduzir o custo financeiro relacionada tráfego, enquanto que a partir da utilização de interfaces 3G e Wi-Fi seriam respectivamente de R\$ 10.29 e R\$ 6.24, o custo proporcionado pelo CANS foi de R\$ 3.77, proporcionando um economia de 64% para interface 3G e de 39% para a interface Wi-Fi, conforme ilustra a Figura 5.14.

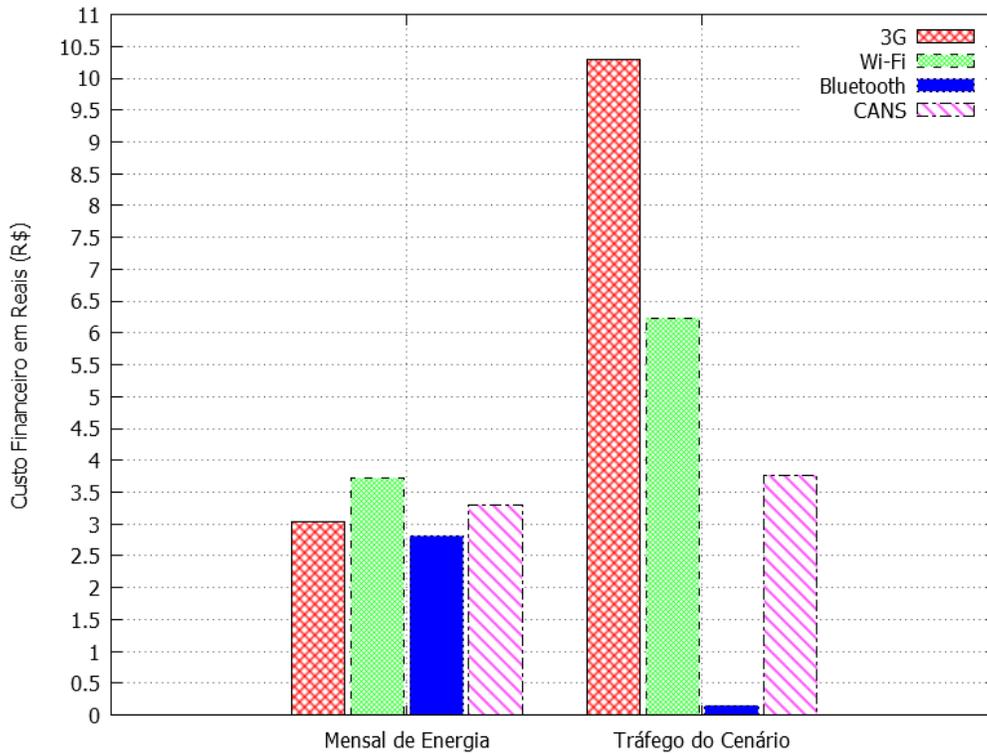


Figura 5.14 - Custo financeiro de energia e de tráfego

# Capítulo 6

## Conclusões e Trabalhos Futuros

Nos últimos anos estratégias com diferentes abordagens tem sido propostas para tratar a etapa de decisão no procedimento de *handoff*. Na grande maioria, estas estratégias envolvem extensas e complexas modelagens matemáticas, que tornam o processo de implementação prática muito mais oneroso, para o desenvolvedor em relação à complexidade envolvida e para o dispositivo, exigindo um maior consumo de processamento.

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.

O CANS trabalha de forma descentralizada, aplicando estratégias pontuais a cada de tipo interface de acordo com tecnologia de acesso utilizada. Como resultado, cada uma dessas estratégias pode entregar ao algoritmo de seleção de interfaces, a melhor rede de acesso correspondente a tecnologia.

Estas estratégias também observaram informações de contexto para saber o momento oportuno para entrarem em execução. As estratégias propostas para interfaces do tipo *Bluetooth* e *Wi-Fi* verificaram a velocidade de deslocamento do usuário. A estratégia para interface 3G verifica o estado de disponibilidade de serviço das interfaces *Bluetooth* e *Wi-Fi*.

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.

A modularização do CANS possibilita que outros pesquisadores possam adotar diferentes estratégias de seleção de rede para cada interface do dispositivo, desde que tais estratégias entreguem as interfaces previamente conectadas as melhores redes de acesso escolhida por elas ao algoritmo de seleção de interface proposto.

A estratégia de seleção de interfaces baseada nas informações do contexto do usuário demonstrou que é possível utilizar uma modelagem baseada em regras e na utilização de políticas de contexto que definem a ordem de prioridade de seleção das interfaces. Com esta modelagem é possível criar políticas de contexto com os mais variados tipos de finalidade, ordenando a prioridade utilização das interfaces com base no conhecimento prévio de suas características. Outra importante constatação é que processo de seleção de interfaces pode ser simplificado a partir da verificação de três importantes parâmetros, sendo eles: o estado de ativação, o estado de conexão e de disponibilidade de serviço das interfaces de acesso.

A implementação das estratégias propostas permitiu identificar os problemas práticos no desenvolvimento de soluções para etapa de decisão do procedimento de *handoff*. Apesar das inúmeras estratégias propostas na literatura, apenas uma pequena parcela apresenta uma implementação prática, e no geral, a grande maioria não disponibiliza uma solução para o usuário final.

Um dos principais problemas de implementação identificados foi o esforço demandado para a aquisição de informações de contexto (RSSI, velocidade de deslocamento, estados de ativação, conexão, disponibilidade) para a aplicação das estratégias. Este problema nos motivou o desenvolvimento de uma API para simplificar o processo de aquisição de informações de contexto do usuário, do dispositivo e da rede, que pudesse ser disponibilizada a outros desenvolvedores e pesquisadores. De modo a validar a eficiência da API proposta, este trabalho também apresentou uma aplicação que automatiza as etapas de coleta, de seleção e execução de *handoff*.

A aplicação que valida as estratégias propostas, trabalha auxiliando o gerenciador de redes e conexões nativo do próprio sistema operacional do dispositivo, evidenciando que tais estratégias podem ser utilizadas sem a necessidade de se desenvolver um novo gerenciador de rede específico para esta finalidade. Como resultado dos frutos deste trabalho, pretende-se em breve disponibilizar tal aplicação para o usuário final, permitindo que o público em geral possa usufruir dos benefícios alcançados pela utilização de estratégias de seleção dinâmica de redes e interfaces.

Os resultados demonstraram que a utilização das estratégias propostas possibilita não somente um aumento de conectividade como também uma redução no consumo de energia do dispositivo, culminando no aumento do tempo de autonomia da bateria de até 11,9% quando comparado à utilização estática da interface Wi-Fi. Além disso, o mecanismo conseguiu oferecer maior disponibilidade de serviço e com maior velocidade de acesso, reduzindo o custo financeiro, seja ele gerando pelo consumo de energia ou pelo custo do tráfego demandado pelo usuário.

Apesar dos ganhos apresentados a partir das estratégias propostas, outros pontos merecem ser observados no processo de seleção e outras melhorias precisam ser implementadas e avaliadas para que o processo *handoff* possa ser cada vez mais adequado as preferências do usuário.

## 6.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros pretendem-se:

- Testar e avaliar a estratégia de seleção de interfaces com a utilização de outras estratégias de seleção de rede sendo aplicadas pontualmente a tipo de tecnologia de acesso.
- Empregar o mecanismo proposto, utilizando na etapa de execução o Mobile IP. Isto permitirá que as sessões das aplicações estabelecidas possam ser mantidas durante as trocas de interfaces, oferecendo mobilidade transparente ao usuário e suas aplicações
- Empregar técnicas de aprendizagem de máquina e de reconhecimento de padrão nas estratégias de seleção. Isto permitirá reconhecer e aprender sobre a rotina diária e semanal do deslocamento do usuário e de conexões e desconexões das redes conhecidas.
- Acrescentar novas estratégias de seleção de redes e de gerenciamento de interface disponíveis na literatura na API desenvolvida neste trabalho, para fins de comparação e avaliação.
- Acrescentar novas informações de contexto a API CANS que podem ser utilizadas para o desenvolvimento de novas estratégias de seleção de rede.

- Desenvolver uma interface gráfica para aplicação CANS, de modo a facilitar a entrada de informações que identifiquem as preferências do usuário e a escolha das estratégias mais adequadas as suas necessidades.
- Integrar a utilização da aplicação CANS com o um servidor remoto de decisão, que permitindo a decisão apesar de já ser conhecida pelo dispositivo seja validada por uma entidade remota.
- Desenvolver um sistema que facilite a criação de regras de seleção pelo usuário final, para aplicação de determinadas políticas de prioridade para utilização das redes e das interfaces, sem a necessidade de desenvolver uma nova aplicação.

# Referências

- [1] a. Bhuvaneswari and E. George Dharma Prakash Raj, “An Overview of Vertical Handoff Decision Making Algorithms,” *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur.*, vol. 4, no. 9, pp. 55–62, Aug. 2012.
- [2] D. Cheelu, M. Babu, and P. Krishna, “A Study of Vertical Handoff Decision Strategies in Heterogeneous Wireless Networks,” *Int. J. Eng. ...*, vol. 5, no. 3, pp. 2541–2554, 2013.
- [3] X. Yan, Y. Ahmet Şekercioğlu, and S. Narayanan, “A survey of vertical handover decision algorithms in Fourth Generation heterogeneous wireless networks,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 11, pp. 1848–1863, Aug. 2010.
- [4] E. Gustafsson and A. Jonsson, “Always best connected,” *Wirel. Commun. IEEE*, no. February, pp. 49–55, 2003.
- [5] S. Balasubramaniam and J. Indulska, “Vertical handover supporting pervasive computing in future wireless networks,” *Comput. Commun.*, vol. 27, no. 8, pp. 708–719, May 2004.
- [6] Q. Wei, K. Farkas, C. Prehofer, P. Mendes, and B. Plattner, “Context-aware Handover Using Active Network Technology.”
- [7] O. Ormond, G. Muntean, and J. Murphy, “Dynamic Network Selection in Wireless LAN/MAN Heterogeneous Networks,” *Mob. WiMAX Towar. ...*, pp. 1–60, 2007.
- [8] M. Kassar, B. Kervella, and G. Pujolle, “An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks,” *Comput. Commun.*, vol. 31, no. 10, pp. 2607–2620, Jun. 2008.
- [9] Stevens-Navarro and V. W. Wong, “Comparison between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Network,” ... *Technol. (ICCT), 2010 ...*, vol. 00, no. c, 2010.
- [10] D. Xenakis and N. Passas, “A context-aware vertical handover framework towards energy-efficiency,” *IEEE 73rd Veh. Technol. Conf.*, pp. 1 – 5, 2011.
- [11] H. Wang, R. Katz, and J. Giese, “Policy-enabled handoffs across heterogeneous wireless networks,” *Mob. Comput. Syst. ...*, 1999.
- [12] A. Calvagna and G. Di Modica, “A user-centric analysis of vertical handovers,” *Proc. 2nd ACM Int. Work. Wirel. Mob. Appl. Serv. WLAN hotspots - WMASH '04*, p. 137, 2004.
- [13] O. Ormond, J. Murphy, and G. Muntean, “Utility-based intelligent network selection in beyond 3G systems,” *Commun. 2006. ICC' ...*, vol. 00, no. c, pp. 1831–1836, 2006.
- [14] P. N. Tran and N. Boukhatem, “Comparison of MADM Decision Algorithms for Interface Selection in Heterogeneous Wireless Networks,” *16th Int. Conf. Software, Telecommun. Comput. Networks*, pp. 25 – 27, 2008.
- [15] K. Savitha and C. Chandrasekar, “Vertical Handover decision schemes using SAW and WPM for Network selection in Heterogeneous Wireless Networks,” *arXiv Prepr. arXiv1109.4490*, vol. 11, no. 9, 2011.
- [16] L. Sheng-mei, P. Su, and X. Ming-hai, “An improved TOPSIS vertical handoff algorithm for heterogeneous wireless networks,” ... *Technol. (ICCT), 2010 ...*, pp. 750–754, 2010.
- [17] K. Radhika and A. Reddy, “AHP and Group Decision Making for Access Network Selection in Multi-Homed Mobile Terminals,” *Int. J. Comput. ...*, vol. 3, no. 10, pp. 3412–3421, 2011.
- [18] P. M. L. Chan, Y. F. Hu, and R. E. Sheriff, “Implementation of Fuzzy Multiple Objective Decision Making Algorithm in a Heterogeneous Mobile Environment,” *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. 2002. WCNC2002.*, vol. 00, no. c, pp. 332–336, 2002.
- [19] K. Radhika and A. Reddy, “Network selection in heterogeneous wireless networks based on fuzzy multiple criteria decision making,” *Electron. Comput. Technol. ( ...)*, vol. 22, no. 1, pp. 7–10, 2011.

- [20] K. Pahlavan and P. Krishnamurthy, "Handoff in hybrid mobile data networks," *Pers. ...*, 2000.
- [21] J. Makela, "Handoff decision in multi-service networks," *Pers. Indoor ...*, pp. 655–659, 2000.
- [22] T. Ahmed, K. Kyamakya, and M. Ludwig, "A context-aware vertical handover decision algorithm for multimode mobile terminals and its performance," 2006.
- [23] G. Kalic, I. Bojic, and M. Kusek, "Energy Consumption in Android Phones when using Wireless Communication Technologies."
- [24] A. Singhrova and N. Prakash, "A review of vertical handoff decision algorithm in heterogeneous networks," ... *4th Int. Conf. Mob. ...*, pp. 68–71, 2007.
- [25] M. Burton and P. Eng, "Ciron Technologies Inc.," 2002.
- [26] H. Zhou and C. Liu, "WLAN Channel Assignment Based on Channel Overlap Factor," *2012 Second Int. Conf. Instrumentation, Meas. Comput. Commun. Control*, pp. 249–251, Dec. 2012.
- [27] "ANEEL." [Online]. Available: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>. [Accessed: 23-Jan-2014].