

Um estudo sobre o consumo de energia dos
sensores nos dispositivos móveis

Trabalho de Graduação

Vítor Arrais de Sá

Orientador: Carlos André Guimarães Ferraz

Recife, 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE INFORMÁTICA

Um Estudo sobre o consumo de energia dos sensores nos dispositivos móveis

Trabalho de Graduação

Vítor Arrais de Sá

Projeto de Graduação apresentado no Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco por Vítor Arrais de Sá, orientado pelo PhD. Carlos André Guimarães Ferraz, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Carlos André Guimarães Ferraz

Recife, 2014

A Rebeca, Adolfo e Márcia.

Agradecimentos

Primeiro agradeço a Rebeca, minha namorada, amiga, companheira, por ter suportado todos os estresses e dificuldades que o curso causou, além de ter entendido quando precisei passar diversos finais de semana no CIn. Fica aqui meu agradecimento por todo o incentivo e força nos momentos difíceis.

Agradeço à minha família, meus pais, Márcia e Adolfo pelo apoio, respeito e suporte que sempre deram, desde o primeiro dia de minha vida e passando pela Universidade. Agradeço por terem me proporcionado diversas oportunidades na minha vida para que hoje eu chegasse aqui.

Agradeço ao Projeto Samsung CIn/UFPE, a Fernando por ter me dado a oportunidade de crescer profissionalmente em conjunto com os meus estudos, aprendendo tecnologia de ponta e de imersão mundial. Agradeço também aos colegas do Projeto que contribuíram para o meu desenvolvimento.

Agradeço ao meu orientador Carlos Ferraz, por ter aceitado fazer este trabalho junto comigo e ter se disposto a ajudar mesmo diante de tantos compromissos, sempre atendendo quando solicitado e procurando me dar apoio durante a minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos e colegas, só tenho a agradecer por estarem presentes na minha vida, me ajudando a crescer e a conquistar meus objetivos.

Obrigado a todos!

*"We can only see a short distance ahead,
but we can see plenty there that
needs to be done"*
Alan Turing

Resumo

Nos últimos anos, houve um significativo aumento no número de *smartphones* pelo mundo. Ao final de 2013, contabilizavam-se 1,4 bilhões de usuários desses dispositivos, com previsão de que supere a quantidade de *PCs* ainda em 2014. Nesse cenário, tem-se o *Android* como o sistema operacional dominante entre os *smartphones*, representando 81% deles e aumentando a cada ano sua supremacia. Entre as tecnologias presentes nos telefones, uma das mais importantes é a que se refere à bateria, que pouco evoluiu nos últimos anos, não acompanhando o ritmo de crescimento dos outros componentes. Assim, vê-se uma oportunidade para estudar mecanismos que possibilitem um avanço no consumo energético dos *smartphones*, de modo a torná-los mais ubíquos e com maior autonomia. Este trabalho teve por objetivo estudar a otimização energética e realizar experimentos com o propósito de ressaltar os pontos que podem e devem ser melhorados a fim de que haja um aumento da eficiência energética e, conseqüentemente, uma maior autonomia desses dispositivos.

Palavras-chave: Consumo de energia, Computação Ubíqua, Smartphones, Otimização.

Abstract

In the last few years, there has been a significant increase in the number of smartphones around the world. At the end of 2013, 1.4 billion smartphones's users were accounted, with predictions indicating that it will exceed the amount of personal computers still in 2014. In this scenario, Android is the most dominant Operating System at the smartphone's market, representing 81% of them and growing every year its supremacy. Among the technologies present in mobile devices, the battery consists in one of the most important parts, lately having been the least evolved segment, not keeping up with the evolution of other components. On the whole, the opportunity presents itself to study ways of improving the energy consumption and the efficiency of smartphones, in a way of making them more ubiquitous and more independent. This work had the objective to study energy optimization and to do some experiments as to show and highlight what can be improved to accomplish growth in energy efficiency and, thereafter, more autonomy in mobile devices.

Key-words: Energy Consumption, Ubiquitous Computing, Smartphones, Optimization

Lista de Siglas e Símbolos

GSMA	Groupe Speciale Mobile Association
<i>Ubicomp</i>	<i>Computação Ubíqua</i>
3G	Rede de dados móvel
GSM	Global system for mobile communications
GPS	Global position system
GWh	Giga Whatts
Wi-Fi	Protocolo de Comunicação sem fio
CPU	Unidade Central de Processamento
RCC	Controle de Recurso de Rádio
LCD	Display de Cristal Líquido
DVFS	Dynamic Frequency Scaling

Lista de Tabelas e Figuras

Figura 1	2
Figura 2	6
Figura 3	17
Figura 4	17
Figura 5	18
Tabela 1	10
Tabela 2	10
Tabela 3	20
Tabela 4	21
Tabela 5	23
Tabela 6	23
Tabela 7	25
Tabela 8	25
Tabela 9	27
Tabela 10	28
Tabela 11	29
Tabela 12	30

Sumário

Agradecimentos	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de Siglas e Símbolos	viii
Lista de Tabelas e Figuras	ix
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Motivação	3
1.3 Estrutura do Trabalho	3
2. Conceitos Gerais	4
2.1 Computação Móvel.....	5
2.2 Sistema Operacional Android	5
2.3 Consumo de Energia	7
3. Gerenciamento de Energia em Dispositivos Móveis	8
3.1 Perspectivas sobre o Consumo de Energia.....	8
3.2 Gerenciamento de Energia.....	11
4. Economia de Energia no Android	12
4.1 Melhorias de Energia ao Longo da História do Android	12
4.2 Otimização do Consumo e o DVFS	14
5. Experimentação e Resultados	16
5.1 Preparação do Ambiente Experimental	18
5.2 Cenários de Medição.....	19
6. Conclusões.....	32
6.1 Contribuições e Limitações	32
6.2 Trabalhos Futuros	33
7. Referências Bibliográficas	34

1. Introdução

De acordo com o instituto Gartner, a projeção para vendas de dispositivos (*PCs, tablets, ultramobiles e mobile phones*) está delineada para atingir 2,5 bilhões de unidades no ano de 2014, um crescimento percentual de mais de 7% em relação ao ano de 2013. Ainda segundo este instituto, no mercado de sistemas operacionais, o uso do Android™ ultrapassará 1 bilhão de usuários e, em 2017, 75% dos dispositivos usarão o sistema da Google[5]. Ainda segundo esse relatório, 40% das pessoas usam seus *smartphones* todos os dias e 73% não saem de casa sem seus celulares.

No Brasil, a tendência é a mesma, espera-se um crescimento de 36% em relação a 2013, segundo o relatório *Mobile Economy Latin America 2013* da GSMA, nesse relatório há a previsão que em 2017 serão mais de 70 milhões de usuários de *Smartphones* no Brasil.

Através de estudos foi constatado que as baterias de lítio não evoluíram ao mesmo passo que os dispositivos que alimentam, pois, segundo estimativas, em 2020, o mercado demandará 195 GWh de energia, enquanto que, as baterias atuais só poderão fornecer 50 GWh de energia [6].

A partir dos dados acima apresentados, é plausível a discussão em torno de consumo de energia em *Smartphones*. Se as baterias não conseguirem evoluir à ponto de suprir essa necessidade energética, fica a dúvida do que irá ocorrer.

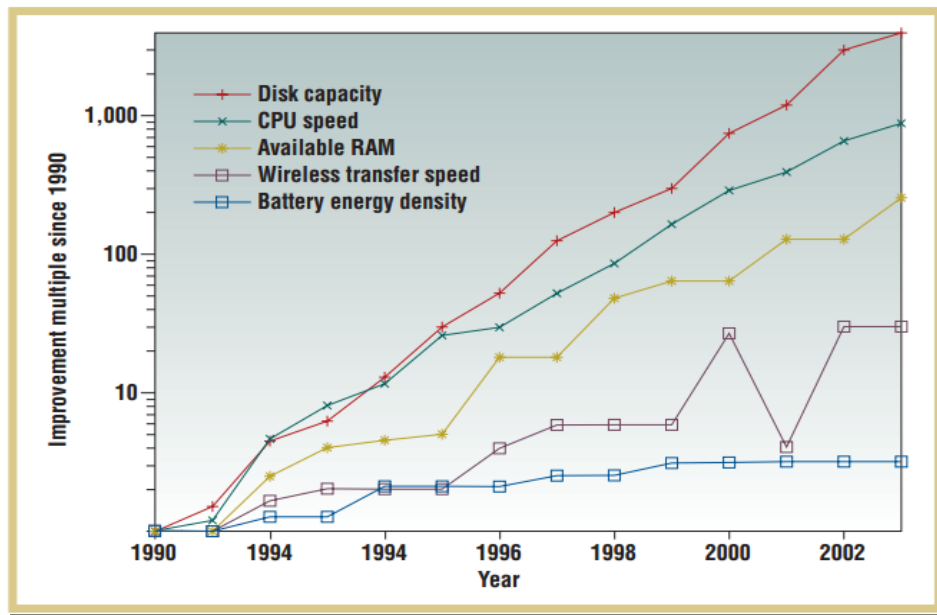


Figura 1: Evolução das tecnologias nos dispositivos presentes nos *smartphones*

Na figura 1 [10] já era clara, desde os anos 90 e 2000, a defasagem entre a evolução das baterias e a evolução da velocidade do processador, que apresentou uma evolução na ordem de 100 vezes, essa tendência não apresentou alteração nos últimos anos.

1.1 Objetivos

Visto, então, o grande uso de dispositivos móveis atualmente, na realização das mais diversas atividades, e o potencial crescimento do ponto de vista mercadológico da plataforma Android, este trabalho tem por objeto estabelecer uma análise do consumo energético de alguns componentes – sensores - dessa plataforma. Mostrando que o Android faz algumas otimizações para a diminuição do consumo de energia, sem que o usuário perceba diminuição do desempenho. Nesse trabalho acadêmico, foram estabelecidos os seguintes objetivos gerais:

1. Construir uma aplicação para fazer análise do consumo energético em relação ao uso dos principais sensores nos dispositivos móveis;
2. Analisar os dados coletados;
3. Apresentar conclusões acerca do que foi coletado

1.2 Motivação

Atualmente, com a alta demanda por Smartphones e a utilização desenfreada das mais diversas aplicações, fica latente a baixa autonomia dos aparelhos em relação a uma fonte de energia confiável e duradoura. Pensando nisso, diversas pesquisas e melhorias estão sendo implementadas nessa área, parte delas será mostrada nesse trabalho de forma a difundir o conhecimento.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por 6 capítulos. No Capítulo 2, são abordados conceitos importantes sobre computação Ubíqua e computação Móvel, trazendo uma visão geral sobre o Sistema Operacional Android e o problema do consumo de energia.

Após essa Visão Geral, no Capítulo 3 vai ser consolidado o tópico de gerenciamento de Energia em dispositivos móveis, servindo de base para o capítulo 4 que vai elencar as principais alterações acerca de consumo de energia na história do Android.

No capítulo 5, são feitos os experimentos e a análise dos mesmos, trazendo à tona questões práticas acerca do tema do trabalho.

Por último, são feitas as considerações finais acerca do trabalho.

2. Conceitos Gerais

O conceito de existir um tipo de computação que fosse invisível e reconhecesse as vontades do usuário à medida que ele interagisse com o ambiente quase sempre esteve ligado à ficção científica, mas a partir dos anos 1980 surgiu a noção de computação Ubíqua, que está trazendo novas experiências que permite o usuário interagir de forma constante com os mais diversos dispositivos.

Computação Ubíqua é o termo dado à terceira era da computação moderna. A primeira era foi marcada pelo computador em mainframe – um único computador grande controlando por uma organização e usado concorrentemente por diversas pessoas. A segunda era – a era do Computador Pessoal (PC) – ficou caracterizado pelo uso do computador pessoal e que era dedicado à uma pessoa. A terceira era está sendo representada pelos *Smartphones*, *Tablets*, Computadores Portáteis e os computadores embarcados nos mais diversos dispositivos que todos possuem, resultando em um mundo que as pessoas possuem e usam vários computadores.

Cada era fez com que o número de computadores e a imersão deles aumentassem na vida do usuário comum.

A criação do termo Computação Ubíqua é creditada a Mark Weiser, Chefe de Tecnologia na Xerox Palo Alto Research Center (PARC) em 1988 e considerado o pai dessa Computação. Durante este período, Weiser escreveu diversos artigos sobre o tema. Dentre eles, “O computador para o século XXI”, que apresenta os principais conceitos da *Ubicomp* [1].

A partir de 2000, os *smartphones* e os *tablets* tomaram o centro desse tipo de computação, trazendo processamento, comunicação e capacidade a um patamar superior e fazendo a computação Ubíqua estar cada vez mais imersa na vida das pessoas.

Hoje, a Computação Ubíqua é uma área de pesquisa e de desenvolvimento interdisciplinar que utiliza e integra tecnologias pervasivas, sem-fio, embarcadas,

vestíveis (*wearable*) e/ou móveis com o intuito de conectar os espaços entre os mundos físico e digital [3].

2.1 Computação Móvel

A Computação móvel, é formada por dispositivos de pequeno porte, é capaz de mover-se junto com o usuário e é capaz de realizar tarefas computacionais independentemente ou em conjunto a outros dispositivos, se conectando através de redes sem fio.

Os dispositivos móveis permitem que o usuário usufrua dos serviços computacionais sem depender de sua localização. Os principais representantes desta categoria atualmente são os *Smartphones* e *Tablets*, e encontram-se numa modalidade de interseção entre as computações tradicional e móvel. Seus principais destaques são o grande poder de mobilidade e conexão, mas a falta de percepção na mudança de contexto acaba sendo um ponto fraco do modelo.

O principal problema encontrado na computação móvel é a duração das baterias. Esse consumo de bateria normalmente se deve ao fato dos fabricantes adicionarem múltiplas funcionalidades e componentes de hardware que para serem mantidos ativos demandam um considerável consumo de energia. Esses componentes de hardware são os sensores (sensor de retina, antenas, sensor de *touch*, sensor de áudio, entre outros).

2.2 Sistema Operacional Android

Um sistema embarcado é um sistema de propósito específico, projetado para realizar um ou poucas funções dedicadas, envolvendo operações em tempo real. Normalmente é embarcado com uma parte de um dispositivo completo com todas as partes mecânicas e eletrônicas já montadas. A parte mais importante desses

sistemas é Sistema Operacional (S.O.) que é a interface entre o usuário e o hardware – é o componente crítico responsável pelo gerenciamento e coordenação das atividades e o compartilhamento de recursos do dispositivo.

O Google desenvolveu um sistema operacional de código aberto para dispositivos móveis que também pode ser usados em netbooks [2]. Como está representado na figura 2, o Android funciona em uma Máquina Virtual Java em cima de um kernel Linux, isso permite que desenvolvedores façam aplicações para Android escritas em Java utilizando as bibliotecas do Google.

Apesar de o Android ser executado em cima de um kernel Linux, ele não é Linux. Dito isso, algumas funcionalidades que são padrão no Linux não aparecem no Android, no entanto algumas melhorias foram feitas: Driver de Gerenciamento de Energia, *Debugger* para o Kernel, Driver de memória compartilhada para dar suporte a dispositivos de baixa memória, entre outras melhorias.

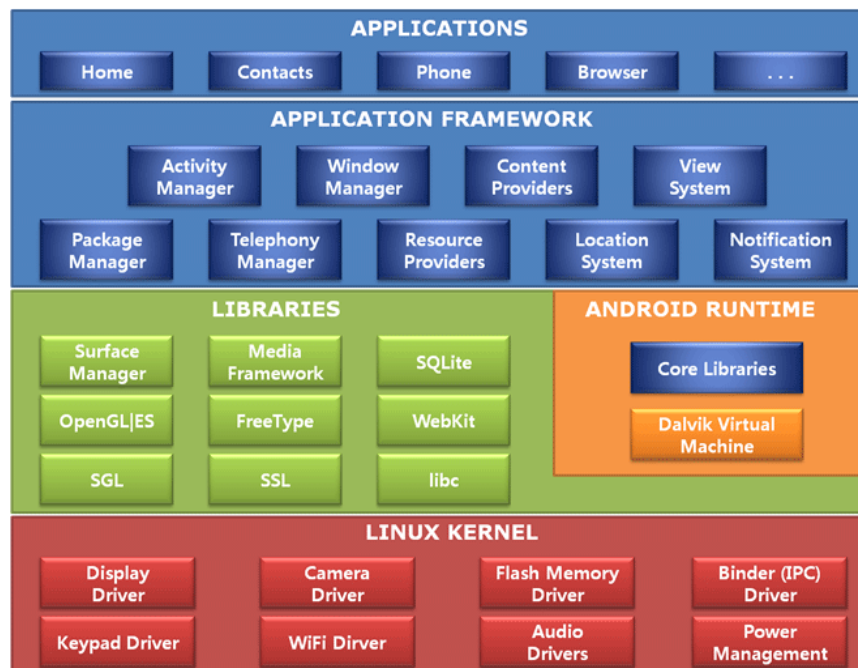


Figura 2. Estrutura do Android. Disponível em:

<http://www.cubrid.org/blog/dev-platform/android-at-a-glance/> [acesso em Jul 2014]

No Android, as aplicações e serviços precisam requisitar os recursos de CPU com travas do tipo *wake locks*, através do framework de Aplicação Android e

bibliotecas nativas do Linux para que o sistema se mantenha ativo. Cada aplicação informa ao framework de gerenciamento de energia os seus requisitos de energia, que podem ser vistos como requisitos para suspender alguns componentes. Se por acaso não tiver *wake locks* ativas, então o Android vai suspender a atividade da CPU e de outros componentes.

2.3 Consumo de Energia

A necessidade de se economizar energia em dispositivos móveis se dá principalmente, pois diversos serviços são consumidos pelos usuários de *Smartphones*. Esses serviços vão desde aplicações que proveem Comunicação através de Vídeo, passando por aplicações bancárias, mídias sociais e até mesmo jogos com alto poder computacional.

Apesar de todas essas aplicações estarem disponíveis, muitas delas não podem ser aproveitadas por um longo período de tempo devido à baixa autonomia das baterias atualmente utilizadas. Além disso, devido ao tamanho dos dispositivos móveis é impraticável o uso de uma bateria com um tamanho maior para prover energia por mais tempo. Apesar da tecnologia de baterias ter evoluído bastante nos últimos anos, ainda não conseguiu atender às demandas exigidas pelas plataformas sem-fio [9].

Todos esses aspectos motivaram a realização de pesquisas relacionadas à medição do consumo de energia em diferentes cenários, para que os principais problemas de consumo de energia fossem mapeados e soluções para esses cenários fossem desenvolvidas.

3. Gerenciamento de Energia em Dispositivos Móveis

Atualmente, os dispositivos móveis são ubíquos – estima-se que existem mais de quatro bilhões desses dispositivos – e boa parte deles está conectado há mais de um meio de transferência de dados (GSM, 3G e Wi-Fi). Em alguns países o número de assinaturas de pacotes 3G chega a 70% dos celulares.

Além dessa comunicação dos dispositivos móveis com redes diversas, os sensores que neles existem (Sensor de movimento, acelerômetro, GPS, etc) também são bastante utilizados pelas pessoas e representam boa parte do consumo de energia.

Algumas perguntas são feitas em relação aos dispositivos móveis, as redes à que estão conectados e aos sensores que utiliza:

- Como pode ser comparado o que cada sensor consome?
- Como pode ser reduzido o consumo de energia das aplicações que usam essas tecnologias e esses sensores?

3.1 Perspectivas sobre o Consumo de Energia

O estudo acerca do consumo de energia em dispositivos móveis pode ser feito de diferentes perspectivas:

i. Nível de Instrução

Uma abordagem utilizada para se medir o consumo de um dispositivo móvel é pela perspectiva das instruções que são executadas pela CPU. A energia que é consumida pela CPU ocorre devido à execução das instruções e à busca de código

nas memórias ou cachês. Quanto menor a quantidade código que o sistema precisa buscar, menor o consumo. [11]

ii. Nível de Rede

O consumo de energia não depende somente do próprio dispositivo, mas também da configuração especificada para as Operadoras de Rede. Destarte [13], dois fatores determinam o consumo de energia, devido à atividade de Rede, em um dispositivo móvel. Primeiro, a transmissão de energia é proporcional ao comprimento da transmissão e da sua potência. Segundo, o protocolo RRC que faz a alocação de canais e ajuste da potência que é consumida pela antena, é baseado em períodos de inatividade.

Mesmo utilizando o mesmo protocolo, o consumo também depende de que tecnologia as operadoras estão utilizando.

iii. Nível de Sistema

Esse método é bastante importante para que se possa ter um conhecimento geral do sistema e qual a participação dos componentes e módulos do sistema no consumo geral de energia. Essas medições são importantes, pois se consegue isolar o que deve ser otimizado e como essas medidas podem ser tomadas.

Em [12] é feita uma proposta de classificação para os módulos de um dispositivo móvel e quanto cada um dele consome.

Módulos de Aplicações	Distribuição da Energia	Módulo	Distribuição de Energia entre os módulos
Transporte de A/V	4,40%	Multimídia	39,50%
Video encode	9,90%		
Áudio	15,50%		
Modem Multimídia	9,80%		
Modem	8,30%	Comunicação	21,50%
Receptor	5%		
Transmissor	8,20%		
Memória	19,40%	Memória	19,40%
Controle do LCD	3,70%	LCD	17,60%
Driver LCD	13,90%		
Outros	2%	Outros	2%

Tabela 1. Módulos de Consumo de Energia

iv. Nível de Aplicações

Outro método para analisar o consumo de um dispositivo móvel é pela perspectiva de aplicações. Esse método faz medições dos sensores utilizados nos dispositivos móveis enquanto eles estão transferindo dados e/ou sendo utilizados por aplicações.

O experimento abaixo foi feito, para mostrar o consumo do Bluetooth 2.0 em diferentes cenários. [14]

Estado do Bluetooth	Consumo
Dispositivo com Bluetooth desligado	10,4 mW
Dispositivo com Bluetooth ligado	12,52 mW
Dispositivo com Bluetooth conectado (idle)	62,44 mW
Dispositivo realizando busca	220,19 mW
Dispositivo recebendo dados através do Bluetooth	415,98 mW

Tabela 2. Consumo médio da tecnologia Bluetooth

3.2 Gerenciamento de Energia

O consumo de energia em dispositivos móveis pode ser investigado sobre diferentes perspectivas, como foi bem detalhado acima, e todas essas perspectivas são importantes porque a partir delas são enxergadas oportunidades de melhoria na eficiência energética desses dispositivos e permitindo a criação de sistemas mais econômicos.

Nesse contexto é importante que alguns pontos sejam bem observados ao serem criadas aplicações ou funcionalidades sejam adicionadas aos sistemas operacionais que vão diminuir o consumo desses dispositivos.

- Aplicações móveis devem operar em redes que ofereçam o melhor custo-benefício. Sem que haja uma constante mudança de redes – operação bastante custosa, relacionada ao processo de handover;
- A entrada de dados deve ser acompanhada por processos que diminuam ou eliminam o uso do LCD;
- Aplicações que enviam dados (ex: Whatsapp), considerar a alternativa de aguardar enquanto uma quantidade maior de dados precisar ser enviada para que sejam enviadas em conjunto;
- As aplicações devem explorar o uso de conexões paralelas.

A partir desses pontos observados, os fabricantes de aparelhos e as empresas criadoras de Sistemas Operacionais móveis, podem fazer as otimizações necessárias para que o consumo seja cada vez menor, aumentando a autonomia dos dispositivos e a consequente satisfação do usuário.

4. Economia de Energia no Android

Para a pesquisa feita nesse trabalho foi utilizada a plataforma Android, já que o autor tem facilidade para trabalhar com a plataforma, além de ter disponível uma grande quantidade de bibliografia por ser um sistema operacional *open source*.

Nesse capítulo, vão ser abordados os pontos que a plataforma Android mais se preocupa em relação ao consumo de energia e mostrar os benefícios de usar o Android em dispositivos de baixa capacidade energética e computacional.

4.1 Melhorias de Energia ao Longo da História do Android

Ao longo da existência do Android, diversas otimizações foram feitas em relação à economia de energia e tentativas de melhorar o gerenciamento das aplicações de forma a melhorar a eficiência e autonomia. Abaixo, vai ser feita uma análise dessas melhorias para cada versão do Android – a partir da versão 2.3.3, Android Gingerbread [7].

i. Gingerbread

Nessa versão do Android houve uma reformulação da interface gráfica (GUI), tornando-a mais “limpa” (menos componentes visuais que exigiam grande processamento gráfico), rápida e dessa forma mais eficiente do ponto de vista energético.

O Android passou a ter um papel mais ativo no gerenciamento das aplicações que estão mantendo o dispositivo “acordado” por muito tempo e consumindo muita CPU quando estão sendo executados em *background*. Ao gerenciar melhor esses recursos, o a vida da bateria aumenta e há um aumento no desempenho geral do sistema.

Também foi criada uma opção no menu de configurações que dá ao usuário o poder de identificar as aplicações que estão sendo executadas e ele mesmo encerrá-las se não estiver usando-as.

ii. Honeycomb

Nessa versão foi introduzida uma funcionalidade que permite que as aplicações enxerguem o nível de bateria do dispositivo e a partir disso limitar o uso de certas funcionalidades (ex: Flash da Câmera não funciona abaixo de 15% de bateria) visando um menor consumo.

iii. Ice Cream Sandwich

Melhorias relacionadas à eficiência dos sensores de Wi-Fi e Bluetooth, melhorando a performance usando algoritmos mais otimizados, diminuindo assim o consumo de energia.

iv. Jelly Bean

Melhorias feitas em relação ao Google *Play Services* – conjunto de APIs disponibilizado pela Google para facilitar algumas funcionalidades bastante usadas em dispositivos móveis (GPS, armazenamento na Nuvem, Análise de Aplicações, entre outros serviços).

No Android 4.3, ocorreram otimizações dessas APIs para que os novos aparelhos possam aproveitar o potencial do seu hardware e minimizar o uso da bateria.

As otimizações ocorreram no:

- Serviço de GPS que faz a localização inicial, transferindo a computação para o hardware – tornando-a bem mais performática e eficiente.

O consumo de bateria vai ser bem menor principalmente para quando o dispositivo estiver em movimento – operação bastante custosa.

- Modo de busca do Wi-Fi permite que se identifiquem os roteadores da região e através do seu endereço MAC saber uma localização aproximada, passando para o serviço de GPS diminuindo o raio de busca do satélite.

v. KitKat

Nessa versão foi feita a melhoria em relação ao tunelamento de áudio com decodificação no chipset do dispositivo, com isso o áudio passa a ser renderizado no DSP (Processador de Sinal Digital) e evitando acordar o processador menos vezes, usando assim mesmo bateria. Em casos que se está ouvindo música com a tela ligada autonomia da bateria tende a aumentar em 50% em relação ao áudio sem tunelamento.

Toda essa melhoria é feita de forma transparente aos desenvolvedores de aplicações de mídia, ficando à cargo somente do sistema operacional.

No entanto, a melhoria mais importante dessa versão foi *Hardware Sensor Batching*. Com o *sensor batching*, o Android trabalha com o hardware do dispositivo para coletar e disparar eventos em lote, ao invés de mandá-los individualmente à medida que acontecem, permitindo ao processador se manter em estado suspenso - *idle* - até que os lotes sejam disparados. Essa melhoria é bastante importante nos mais diversos sensores que existem nos dispositivos úteis, economizando uma grande carga de processamento e consequentemente diminuindo o consumo.

4.2 Otimização do Consumo e o DVFS

O principal foco deste trabalho é buscar entender as otimizações energéticas em dispositivos móveis que utilizam o sistema operacional Android. Ao longo do estudo

de artigos e pesquisas percebeu-se que uma das técnicas mais recorrentes para se realizarem otimizações é a de escalonamento de frequência (DVFS).

O mecanismo DVFS possibilita o chaveamento de frequência que permite mudar a velocidade do *clock* da CPU em tempo real. Por meio desse mecanismo, o projetista do sistema pode ajustar a velocidade do processador de uma forma que consuma menos energia e não tenha a performance degradada.

O DVFS foi implementado desde o *Kernel* Linux 2.6 e herdado pelo Android, por ele ser baseado nessa versão do *Kernel*. A implementação desse mecanismo foi feita através de um módulo chamado CPUFreq. Esse módulo é responsável por medir a escala de frequência e fornecer uma padronização para os *drivers*, que são os elementos de software que interagem com o hardware para o chaveamento de frequência.

5. Experimentação e Resultados

Como foi mencionado na seção 1.1, este trabalho tem por objetivo fazer uma análise do consumo de energia de um dispositivo móvel e apresentar conclusões acerca dessas medições. Visando um resultado mais prático e parecido com o dia-a-dia dos usuários de dispositivos móveis, foi feita a medição das principais funcionalidades de um dispositivo: transferência de dados via rede (Wi-Fi e dados móveis), localização (GPS) e streaming de vídeo/áudio.

Para chegar-se a esses resultados propostos, foram utilizados aplicativos mais comumente usados na realização das atividades acima mencionadas. Segundo pesquisas [15], os aplicativos abaixo estão entre os mais usados no Android:

- Whatsapp: aplicativo de mensagem instantânea;
- Facebook: aplicativo de mídia social;
- Google Maps: aplicativo de localização global;
- Adobe Reader: aplicativo para leitura de PDF mais utilizado

Todos os testes foram realizados no aparelho Samsung GALAXY S4 mini, GT-I9192, que tem a versão 4.3 Jelly Bean do Android. O sistema operacional escolhido ter sido o Android foi porque esse S.O. é o que está presente na maior quantidade de dispositivos móveis (figura 3) e pela facilidade de desenvolvimento de aplicações para ele, utiliza linguagem Java e tem metodologia Open Source ou de código aberto. A escolha do dispositivo se deu por três motivos: a Samsung é a líder do mercado de Smartphones (figura 4), o autor possui o aparelho citado e também faz Estágio no Projeto Samsung CIn/UFPE dessa forma tem contato com tecnologias e trabalhos da empresa mencionada.

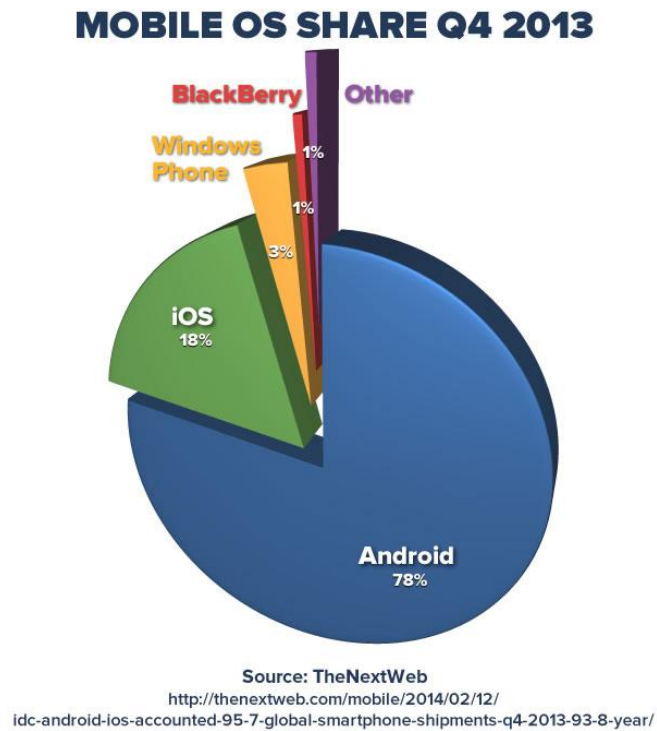


Figura 3. Divisão do mercado de Smartphone. Disponível em:
<http://bgr.com/2014/01/30/blackberry-us-market-share/> [acesso em Jul 2014]

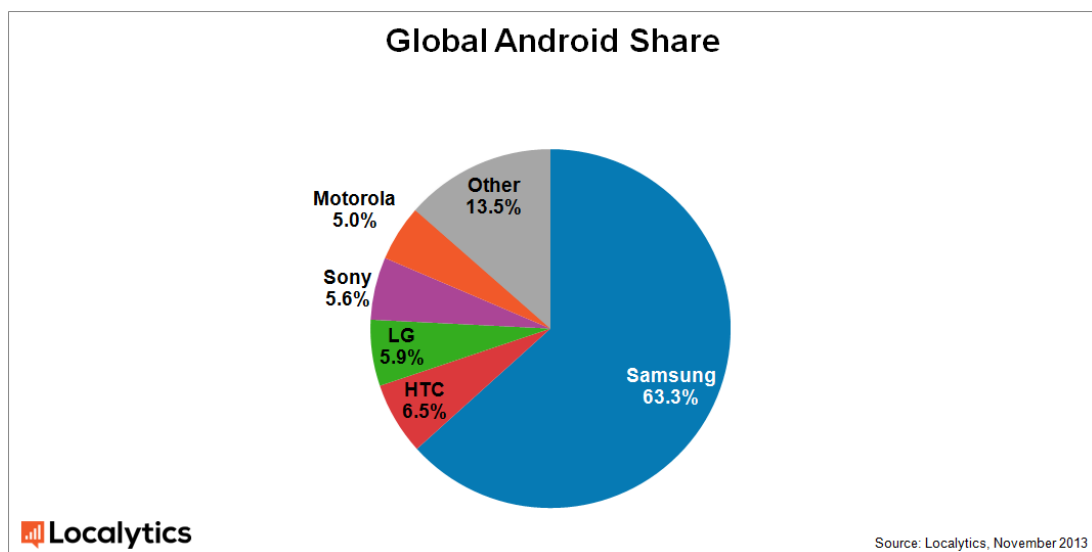


Figura 4. Divisão do mercado do Android. Disponível em:
<http://cdn.bgr.com/2013/11/global-android-share.png> [acesso em Jul 2014]

Para cada cenário proposto, vão ser explicados na seção 5.2, foram feitas cinco medições e para cada medição foram definidos cinco marcos (4, 8, 12, 16 e 20 minutos) para medição do nível da bateria e da temperatura.

Antes de começar a execução dos testes, houve uma preparação para que cada teste começasse com o dispositivo no mesmo estado.

5.1 Preparação do Ambiente Experimental

Para fazer as medições citadas nesse capítulo foi criada uma aplicação, *BatteryMeasurer* (figura 5) , que irá calcular a temperatura e nível da bateria em alguns momentos durante o teste. Antes de começar as medições, alguns pontos devem ser atendidos:

- A bateria deve estar 100% carregada;
- A memória RAM do aparelho deve ser limpa de aplicações não-nativas;
- Brilho do dispositivo deve ser máximo;
- Estar no mesmo ambiente com temperatura parecida

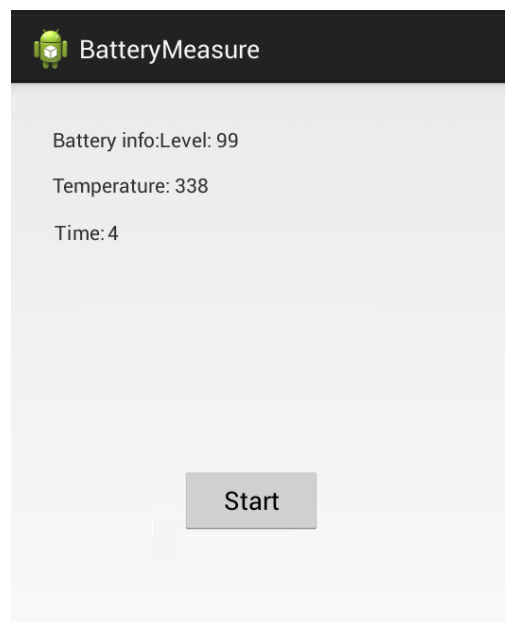


Figura 5. Screenshot da Tela da Aplicação de Medição.

Após o clique no botão “*Start*” a aplicação vai fazer medições a cada 4 minutos em um espaço de 20 minutos. Essas medições vão ser repetidas 5 vezes e após essa rodada de testes, a média (fórmula 1) do nível de bateria vai ser calculada e o desvio padrão (fórmula 2) desse nível para cada marco desse. A temperatura também é um fator importante no contexto da experimentação, pois influencia diretamente a velocidade do consumo.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Fórmula 1. Média aritmética de um série de n valores

$$\sigma = \sqrt{\sum((X - \sum(X))^2)} = \sqrt{\sum(X^2) - (\sum(X))^2}$$

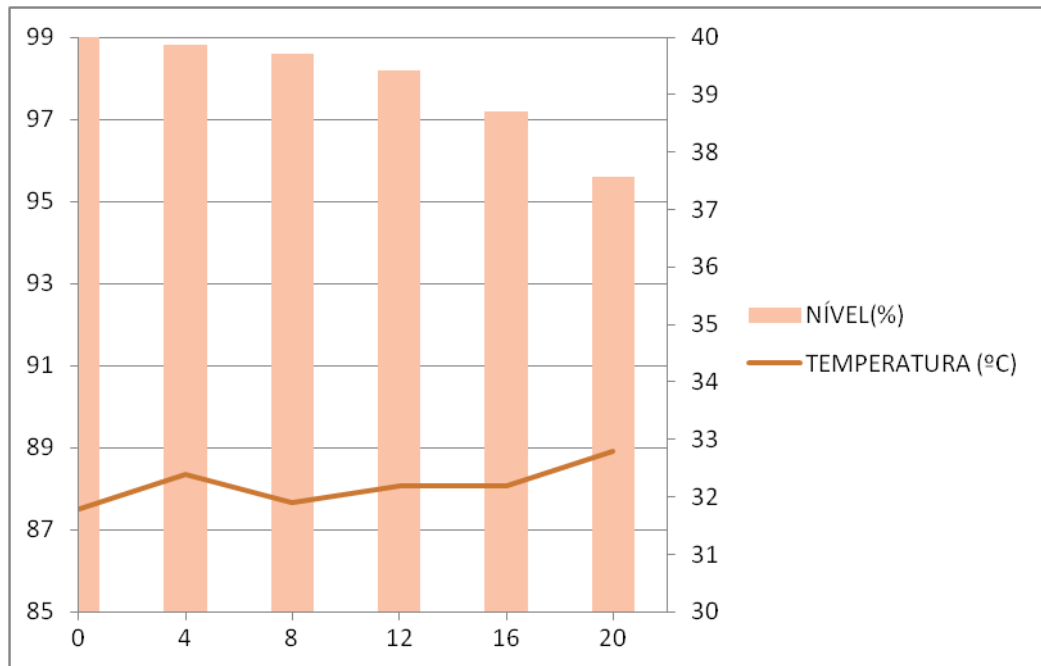
Fórmula 2. Desvio padrão para variável aleatória X

5.2 Cenários de Medição

A. Cenário 1 – Dispositivo sem Sensores ativos

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	31,8	0
4	98,8	32,4	0,219
8	98,6	31,9	0,219
12	98,2	32,2	0,3033
16	97,2	32,2	0,5477
20	95,6	32,8	0,7563

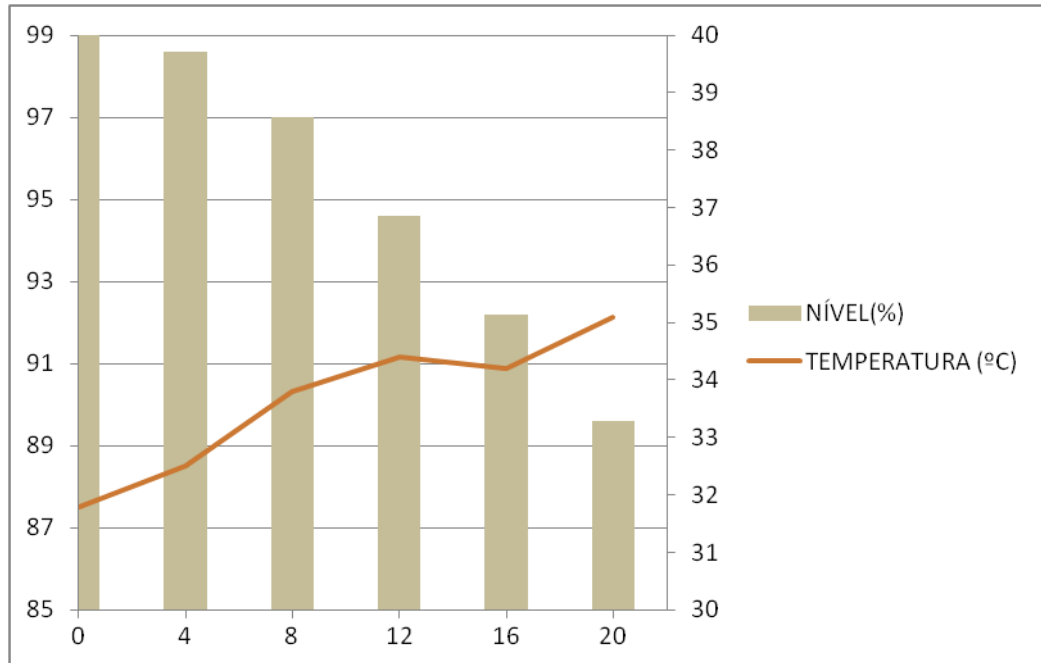
Tabela 3. Consumo do cenário 1



Cenário 2 – Dispositivo sem sensores ativos executando as aplicações Whatsapp e Facebook

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	31,8	0
4	98,6	32,5	0,3033
8	97	33,8	0,7563
12	94,6	34,4	1,1009
16	92,2	34,2	1,1009
20	89,6	35,1	1,1882

Tabela 4. Consumo do cenário 2



O objetivo dessas medições era ter um *baseline*, parâmetro inicial, de qual seria o consumo do dispositivo sem ter aplicações sendo executadas e nem haver nenhuma das funcionalidades pré-definidas (WiFi, 3G, GPS, SmartStay) ativas e depois executar as aplicações Whatsapp e Facebook (são aplicações que fazem processamento em *background*).

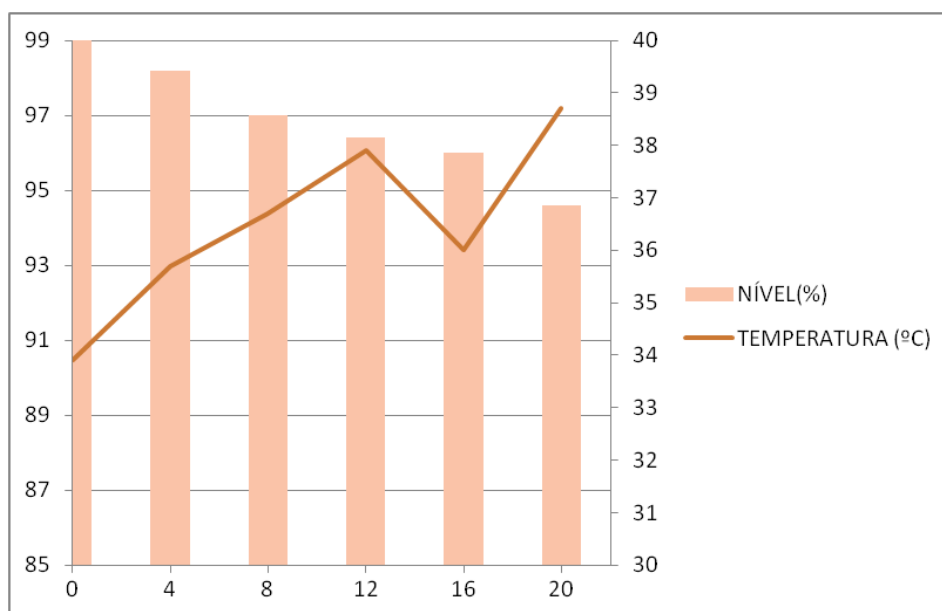
No cenário 1, percebe-se um aumento do consumo médio a partir do minuto 12, podendo ser um indício de que a bateria ao longo do tempo tende a consumir mais energia, a temperatura se manteve praticamente estável durante a experimentação.

No cenário 2, fica claro que o Facebook e Whatsapp trazem um impacto grande ao dispositivo, aumentando a sua temperatura em $0,16^{\circ}\text{C}/\text{min}$ enquanto no cenário 1 essa taxa foi de $0,05^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e consumindo 6% a mais de bateria.

B. Cenário 3 – Dispositivo com o 3G ativo

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	33,9	0
4	98,2	35,7	0,3435
8	97	36,7	0,57271
12	96,4	37,9	0,3633
16	96	36	0,3033
20	94,6	38,7	0,6723

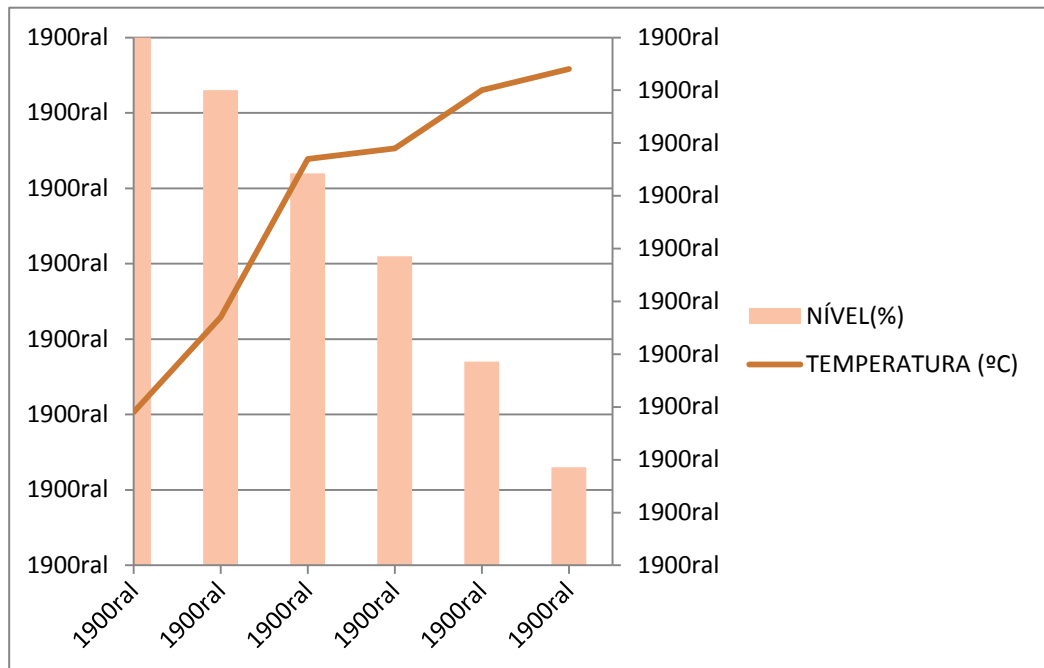
Tabela 5. Consumo do cenário 3



Cenário 4 – Dispositivo com o 3G ativo executando as aplicações Whatsapp e Facebook

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	32,9	0
4	97,6	34,7	0,86717
8	95,4	37,7	1,004
12	93,2	37,9	1,0526
16	90,4	39	1,268
20	87,6	39,4	1,3069

Tabela 6. Consumo do cenário 4



Um fato bastante importante analisado no cenário 3 é que houve uma similaridade entre esse teste e o teste do cenário 1, mostrando que o Android faz otimizações para quando os sensores estão ligados mas há pouca ou nenhuma utilização do mesmo.

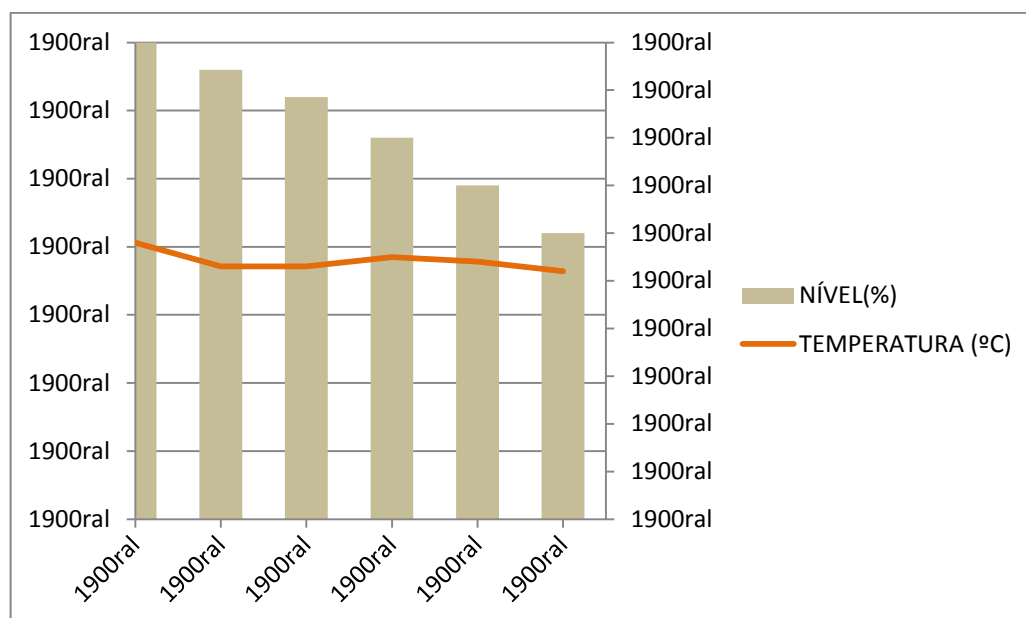
Apesar do consumo ter sido parecido entre o cenário 1 e 3, ficou em evidência o aumento da temperatura, provavelmente causado por mais um componente de hardware ter sido ativado.

No cenário 4, a temperatura apresentou uma taxa média de crescimento de $0,325^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e um alto consumo de bateria, estimulado pela alta taxa de utilização de banda consumida pelo Whatsapp e Facebook (em 20 min juntos consumiram 9 mb de dados).

C. Cenário 5 – Dispositivo com o GPS ativo

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	35,8	0
4	98,2	35,3	0,3435
8	97,4	35,3	0,3435
12	96,2	35,5	0,57271
16	94,8	35,4	0,6723
20	93,4	35,2	0,86717

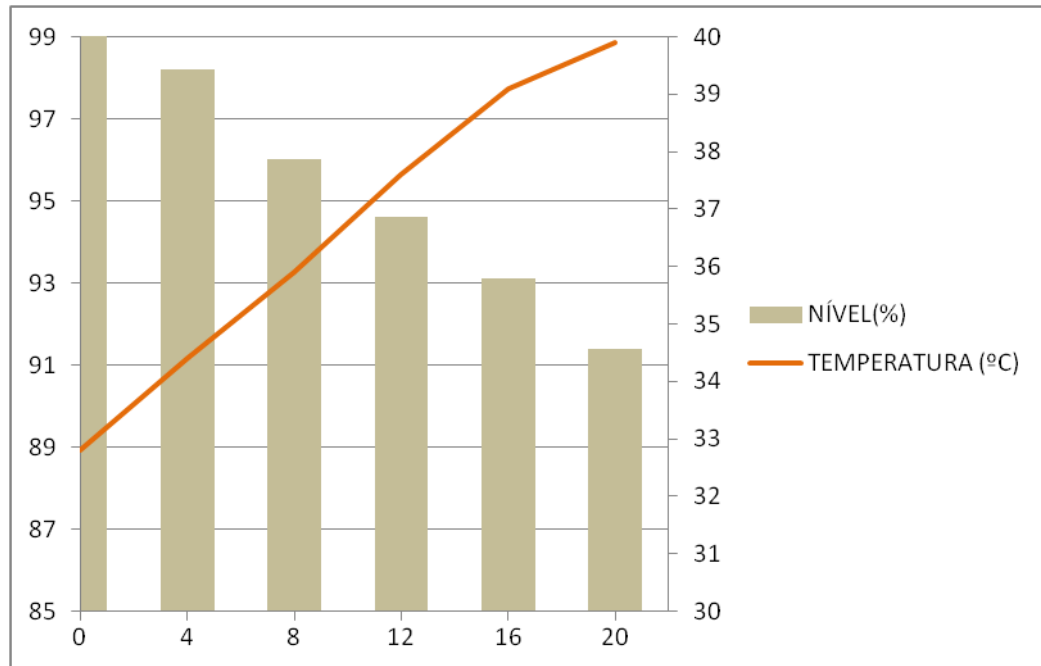
Tabela 7. Consumo do cenário 5



Cenário 6 – Dispositivo com o GPS ativo executando a aplicação Google Maps no modo de Navegação

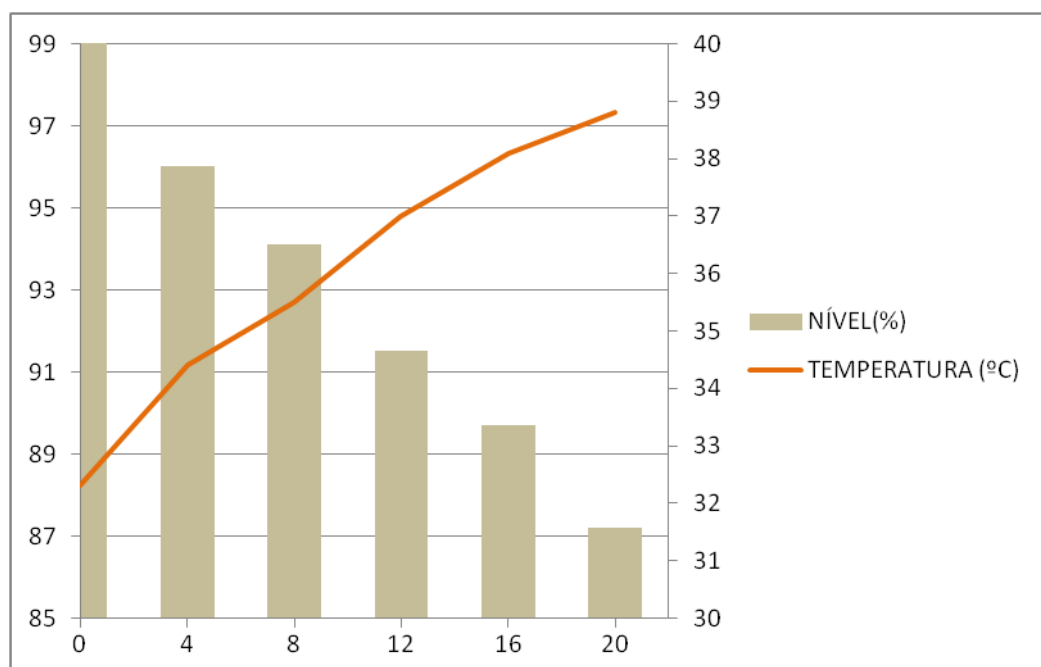
TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	32,8	0
4	98,2	34,4	0,3435
8	96	35,9	0,9486
12	94,6	37,6	0,5176
16	93,1	39,1	0,7563
20	91,4	39,9	1,004

Tabela 8. Consumo do cenário 6



Nos cenários envolvendo o GPS ficou claro que a otimização mostrada na seção 4.1 em relação ao Android 4.3 foi bem efetiva, diminuindo bastante o consumo de bateria, por economizar no processamento central e fazer boa parte da computação em um chipset específico para renderização de mapas. Percebe-se também que entre todas as medições foi a que ocasionou na maior temperatura.

Para se ter um efeito de comparação, foi feito um teste em um GALAXY S4 mini com Android 4.2.2 e saber quão grande foi a diferença dessa otimização:

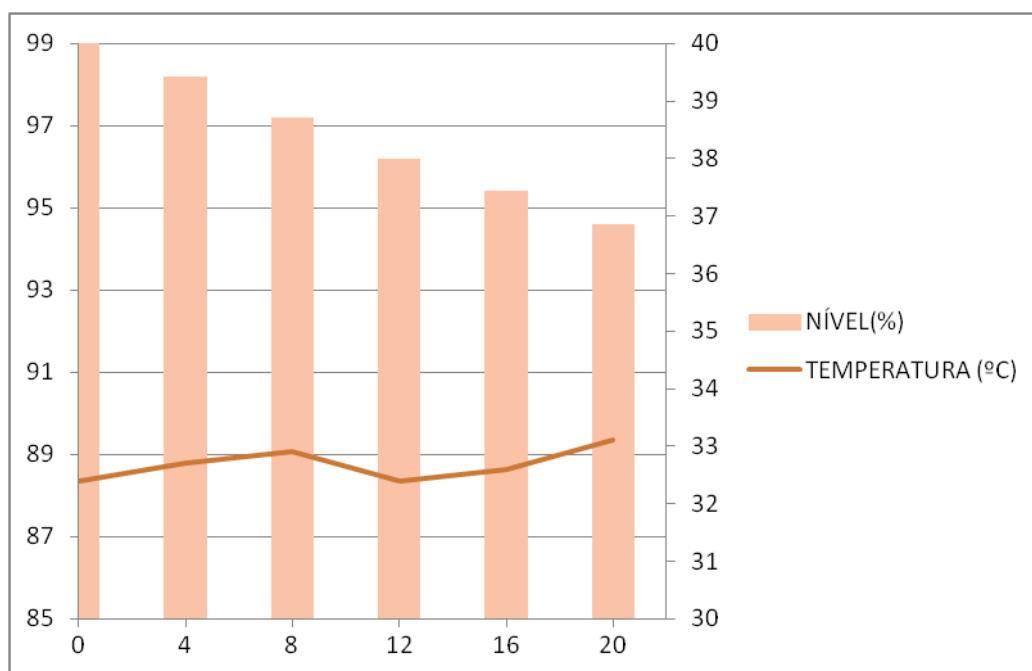


Através do gráfico acima, fica bem evidente a grande diferença que fez essa otimização. O consumo no Android 4.2.2 apresentou uma taxa de 0,59%/min e no 4.3 essa taxa foi de 0,38%/min.

D. Cenário 7 – Dispositivo com o Wi-Fi ativo

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	32,4	0
4	98,2	32,7	0,3435
8	97,2	32,9	0,4472
12	96,2	32,4	0,4472
16	95,4	32,6	0,3435
20	94,6	33,1	0,5176

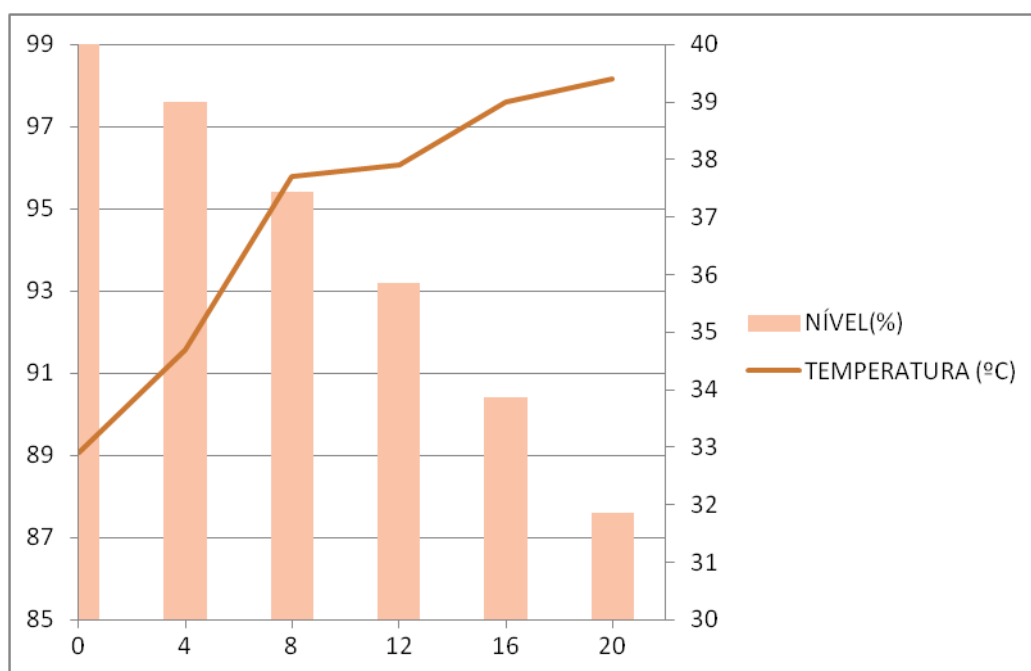
Tabela 9. Consumo do Cenário 7



Cenário 8 – Dispositivo com o Wi-Fi ativo executando as aplicações Whatsapp e Facebook

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	32,9	0
4	97,6	34,7	0,86717
8	95,4	37,7	1,004
12	93,2	37,9	1,0526
16	90,4	39	1,268
20	87,6	39,4	1,3069

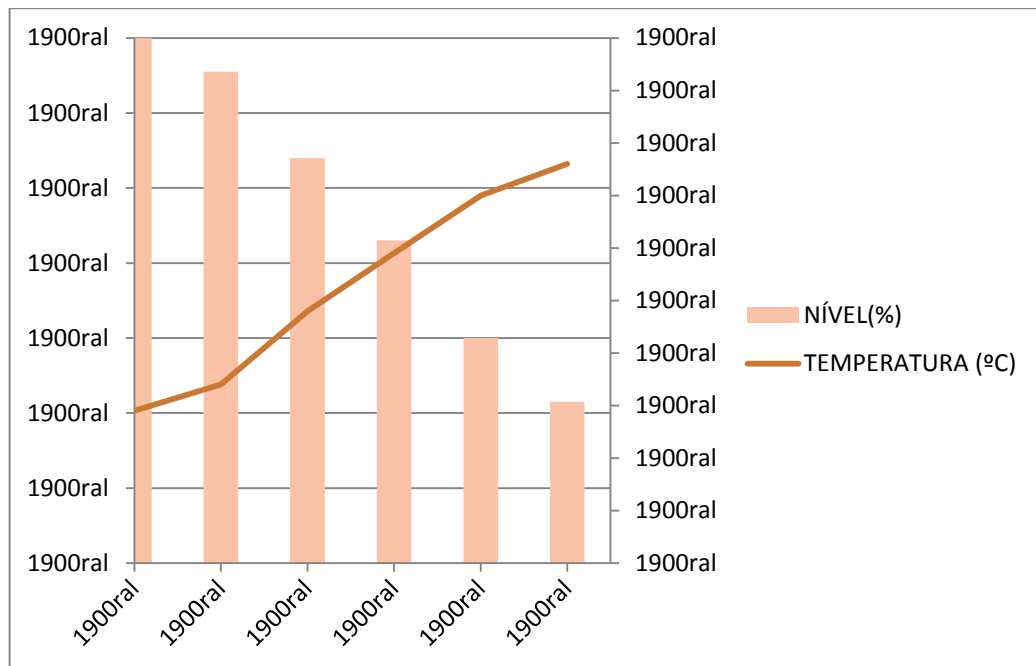
Tabela 10. Consumo do Cenário 8



Nos cenários acima ficou constatada uma grande diferença entre eles, com a variável temperatura apresentando uma diferença muito grande para quando aplicações estavam sendo executadas. Provavelmente essa diferença tanto no consumo quanto na temperatura tenha sido apresentada especialmente pela distância e potência do sinal Wi-Fi – o teste foi efetuado com o aparelho a 10m de um roteador mas com diversas paredes no meio do caminho e com potência de

signal de 17% - forçando o sensor, antena, Wi-Fi a amplificar a sua potência para ter maior qualidade do sinal.

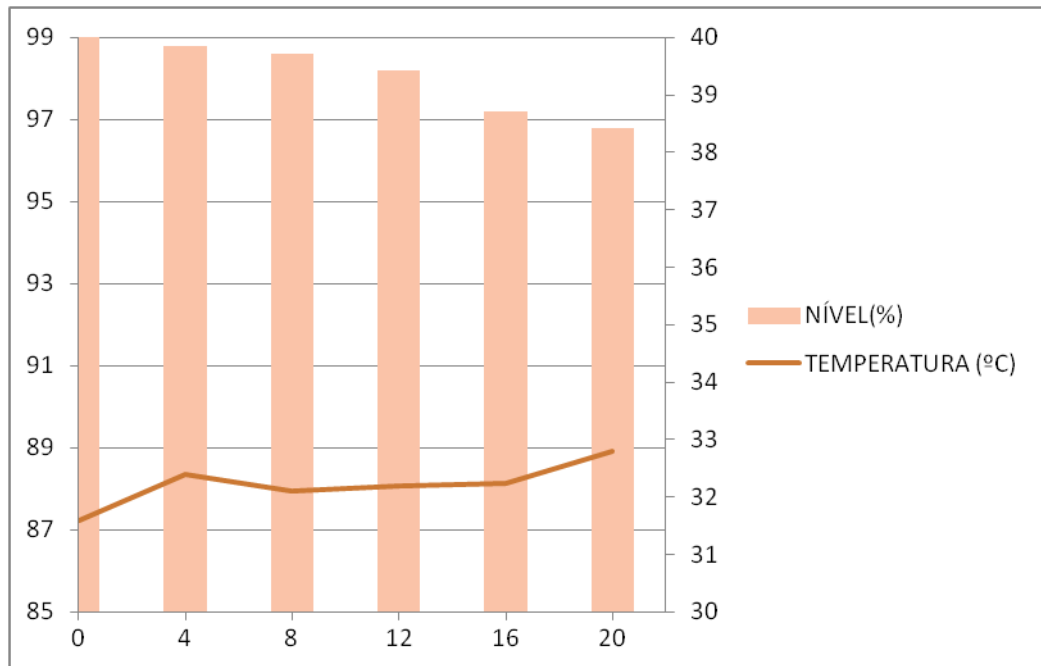
Outro teste foi realizado com o dispositivo ao lado do roteador, apresentando potência de sinal de 94%. No teste abaixo fica clara a diferença causada pela distância entre o dispositivo e roteador.



E. Cenário 9 – Dispositivo com o SmartStay ativo

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	31,6	0
4	98,8	32,4	0,219
8	98,6	32,1	0,219
12	98,2	32,2	0,3033
16	97,2	32,24	0,5477
20	96,8	32,8	0,3033

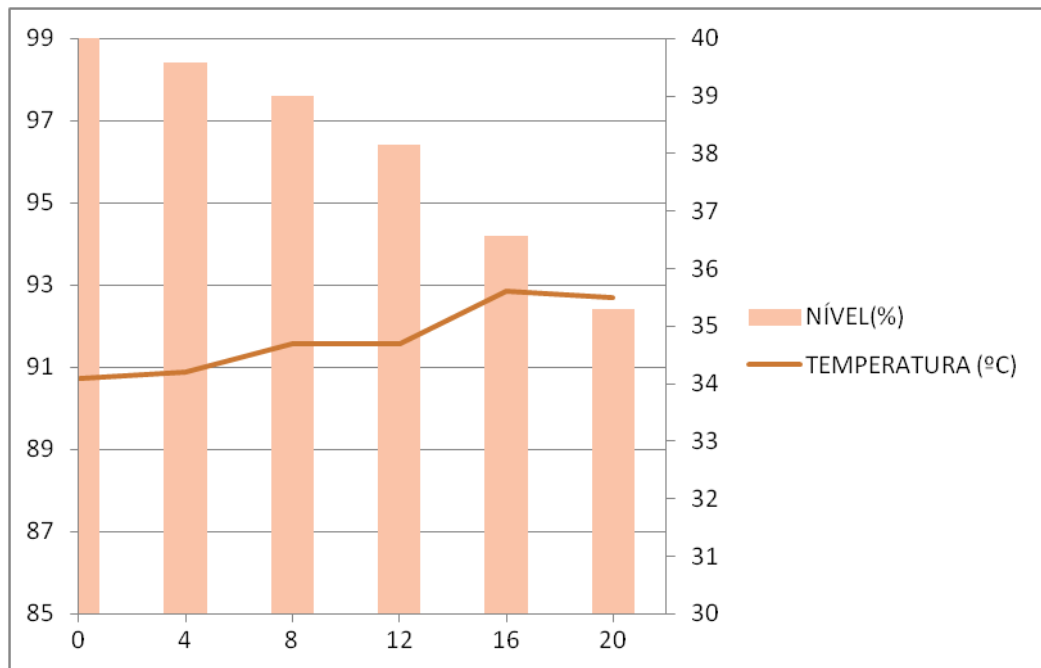
Tabela 11. Consumo do Cenário 9



Cenário 10 – Dispositivo com o SmartStay ativo executando a aplicação Adobe Reader

TEMPO (min)	NÍVEL(%)	TEMPERATURA (°C)	DESVIO PADRÃO
0	99	34,1	0
4	98,4	34,2	0,3633
8	97,6	34,7	0,4098
12	96,4	34,7	0,5727
16	94,2	35,6	1,0039
20	92,4	35,5	0,8294

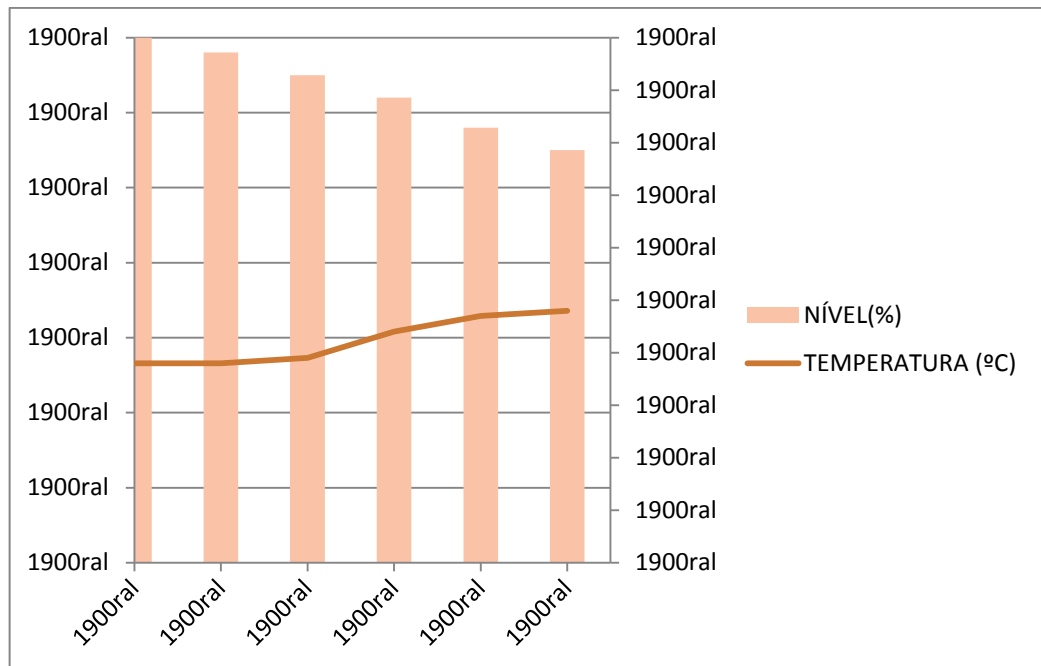
Tabela 12. Consumo do Cenário 10



O SmartStay é um recurso dos aparelhos Samsung que permite que um sensor na parte frontal do aparelho reconheça os olhos do usuário e mantenha a tela ligada enquanto ele estiver usando o dispositivo.

O cenário 9 teve um desempenho até mesmo melhor que o cenário 1 mas levando em consideração o desvio padrão e outros fatores, pode-se dizer que foram equivalentes.

No cenário 10 foi utilizado o Adobe Reader e feita a medição do consumo, para se ter um comparativo foi feito um teste somente com o Adobe aberto e viu-se que o utilizando o SmartStay o consumo foi de 0,33%/min e com o SmartStay ativado foi de 0,15%/min.



6. Conclusões

O problema do consumo de energia ficou bastante evidente nesse trabalho, onde foram abordadas as principais técnicas de otimização, o que já foi feito no Android e o que pode ser melhorado. Após isso foi feita toda uma experimentação que gerou resultados importantes para a compreensão desse problema.

Este capítulo apresenta essas contribuições, bem como as limitações identificadas e trabalhos futuros.

6.1 Contribuições e Limitações

Através do trabalho foram identificados diversos pontos de melhoria em relação ao Android e os seus sensores, além de trabalhos diversos terem sido compilados e analisados, concentrando assim uma quantidade grande de informação que podia estar dispersa.

Através da análise dos resultados foi possível ver que a Samsung está independente do Google fazendo otimizações em uma funcionalidade própria – SmartStay – e através do histórico ficou claro que o Google está bastante preocupado com a questão do consumo, pois não há nenhuma tecnologia de bateria que esteja sendo estudada e que possa ser aplicada nos próximos meses e que revolucione o problema energético que envolve os dispositivos móveis.

Durante o desenvolvimento do trabalho, ficou claro que o melhor modo de se fazer medições de energia seria utilizando um circuito de medição (microcontrolador de medição, circuito de monitoramento de corrente e conversor usb em serial). A quantidade de bibliografia que traga abordagens ao problema de energia especificamente para o Android é bem reduzida, pois parte dela é confidencial e está na mão das fabricantes dos dispositivos que utilizam o sistema operacional.

6.2 Trabalhos Futuros

Após a conclusão desse trabalho o próximo passo é desenvolver soluções que vão resolver alguns dos problemas listados. Esses problemas podem ser resolvidos com melhorias nas aplicações ou com a criação de alguma aplicação ou framework que atue em cima do Sistema Operacional, fazendo um melhor gerenciamento dos recursos, diminuindo assim o consumo.

7. Referências Bibliográficas

1. HANSMANN, U.; MERK, L.; NICKLOUS, M.S.; STÖBER, T. *Pervasive Computing Handbook*, Ed. Springer. 2001
2. 13th ACM International Conference on Ubiquitous Computing [Internet]. Pequim, China; [acesso em Mar 2014]. Disponível em: <http://www.ubicomp.org/ubicomp2011/>.
3. MARTIN, T; SIEWIOREK, D, “A power metric for mobile systems,”in *Proc. Int. Symp. Low Power Electronics and Design*, 1996, pag. 37–42.
4. MAYO, R.N.; RANGANATHAN, P., “Energy consumption in mobile devices: Why Future Systems need Requirements – Aware energy Scale-Down”. Hewlett Packard Labs, California. 2003
5. BESSA, I. (2012). Relatório google sobre o uso de smartphones no brasil. [acesso em Jul 2014] Disponível em: <http://www.slideshare.net/ivilabessa/relatrio-google-sobre-uso-de-smartphoneno-brasil-maio2012>
6. [acesso em Jul 2014] Kernel.org (2013). Documentação acerca do CPUFreq. Disponível em: <https://www.kernel.org/doc/Documentation/cpu-freq/>.
7. [acesso em Jul 2014] “Low Power Android Netbook” Disponível em: <http://eeepc.net/asus-previews-google-android-netbook-at-computex-2009/>
8. [acesso em Ago 14] Android Developer. Disponível em: <http://developer.android.com/>

9. SKLAVOS, N. e TOULIOU, K. 2007. A System-Level Analysis of Power Consumption & Optimizations in 3G Mobile Devices, Invited Paper, *1ª Conferência Internacional de Novas Tecnologias, Mobilidade e Segurança (NTMS'07)*. França.

10. PARADISO, J. A. and STARNER, T. Energy scavenging for mobile and wireless electronics. *IEEE Pervasive Computing*, 2005, 4(1), pag. 18–27.

11. HAVINGA, P. e SMIT, G. “Low Power Systems Design Techniques for Mobile Computers”, Centro de Tecnologia da Informação, Universidade de Twente. 1997

12. BALASUBRAMANIAN, A.; LEVINE, B. e VENKATARAMANI, A. “Enabling Interactive Applications in Hybrid Networks”. ACM 2008 Mobicom.

13. KUNDU, T. K. e PAUL, K.. “Improvind Android Performance and energy efficiency”. 24ª Conferência Annual em VLSI Design. 2011

14. BALANI, R. “Energy Consumption for Bluetooth, WiFi and Cellular Networks.” Universidade da California, Los Angeles, Estados Unidos. 2007

15. [acesso em Agosto de 2014]
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_most_downloaded_Android_applications

16. CONGRESS, G. C. (2010). [acesso em Jul 2014] “PRTM Analysis Finds Li-Ion Battery Overcapacity Estimates Largely Unfounded, with Potential Shortfalls Looming; Total Market Demand in 2020 Will Require 4x Capacity Announced to Date” Disponível em: <http://www.greencarcongress.com/2010/03/prtm-20100322.html>