

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIENCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E SISTEMAS

MICHEL WAGNER FERREIRA

**LEVANTAMENTO DE ABORDAGENS PARA A ANÁLISE DE CONSUMO DE  
ENERGIA DE APLICAÇÕES MÓVEIS: UM ESTUDO DE CASO DO  
LABORATÓRIO IMOBILIS**

João Monlevade

2017

MICHEL WAGNER FERREIRA

**LEVANTAMENTO DE ABORDAGENS PARA A ANÁLISE DE CONSUMO DE  
ENERGIA DE APLICAÇÕES MÓVEIS: UM ESTUDO DE CASO DO  
LABORATÓRIO IMOBILIS**

Monografia apresentada ao curso Sistemas de Informação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Orientador: Me. Euler Horta Marinho

Coorientador: Me. Igor Muzetti Pereira

João Monlevade

2017

F3831 Ferreira, Michel Wagner.  
Levantamento de abordagens para a análise de consumo de energia de aplicações móveis: um estudo de caso do laboratório iMobilis [manuscrito] / Michel Wagner Ferreira. - 2017.

60f. : il. : color, grafs; tabs.

Orientador: Prof. Me. Euler Horta Marinho.

Coorientador: Prof. Me. Igor Muzetti Pereira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Computação e Sistemas de Informação.

1. Engenharia de software. 2. Teste de software. 3. Software de aplicação. 4. Aplicativos móveis. 5. Eficiência energética. I. Marinho, Euler Horta. II. Pereira, Igor Muzetti. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)

CDU: 004.41



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

#### ATA DE DEFESA

Aos 17 dias do mês de agosto de 2017, às 17 horas e 30 minutos, na sala C304 do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, foi realizada a defesa de Monografia pelo aluno **Michel Wagner Ferreira**, sendo a Comissão Examinadora constituída pelos professores: Prof. Me. Euler Horta Marinho, Prof. Me. Igor Muzetti Pereira, Prof. Dr. Fernando Bernardes de Oliveira e Prof. Dr. Diego Zuquim Guimarães Garcia.

O candidato apresentou a monografia intitulada: "LEVANTAMENTO DE ABORDAGENS PARA A ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA DE APLICAÇÕES MÓVEIS: UM ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO IMOBILIS". A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do candidato, com nota 9,0 (Nove Virgula Zero), concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporação das alterações sugeridas ao texto final.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo graduando.

João Monlevade, 17 de Agosto de 2017.

Prof. Me. Euler Horta Marinho  
Professor Orientador/Presidente

Prof. Me. Igor Muzetti Pereira  
Professor Coorientador

Prof. Dr. Fernando Bernardes de Oliveira  
Professor Convidado

Prof. Dr. Diego Zuquim Guimarães Garcia  
Professor Convidado

Michel Wagner Ferreira  
Graduando



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Curso de Sistemas de Informação

FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

LEVANTAMENTO DE ABORDAGENS PARA A ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA  
DE APLICAÇÕES MÓVEIS: UM ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO IMOBILIS

Michel Wagner Ferreira

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial da disciplina CSI499 – Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação e aprovada pela Banca Examinadora abaixo assinada:

Prof. Me. Euler Horta Marinho  
DECSI - UFOP

Prof. Me. Igor Muzetti Pereira  
DECSI - UFOP

Prof. Dr. Fernando Bernardes de Oliveira  
DECSI - UFOP

Prof. Dr. Diego Zuquim Guimarães Garcia  
DECSI - UFOP

João Monlevade, 17 de Agosto de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

**ANEXO III – Termo de Responsabilidade**

**TERMO DE RESPONSABILIDADE**

Eu, Michel Wagner Ferreira,  
declaro que o texto do trabalho de conclusão de curso intitulado  
“Levantamento de Algoritmos para a Análise de Consumo de Energia  
de Aplicações Móveis: Um Estudo de Caso do Laboratório iMobilis” é de  
minha inteira responsabilidade e que não há utilização de texto, material fotográfico, código  
fonte de programa ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem as devidas  
referências ou consentimento dos respectivos autores.

João Monlevade, 17 de Agosto de 2017

Michel Wagner Ferreira  
Assinatura do aluno

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, irmã, namorada e amigos que, com amor, carinho e paciência contribuíram para que eu alcançasse essa etapa tão desejada e sonhada em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me abençoado, por ter guiado meu caminho e pela perseverança para chegar até aqui.

Aos meu pais, José Geraldo e Irene, minha irmã, Jéssica, pelo carinho, amor, paciência e pelo incentivo em sempre buscar o melhor para mim. Todos de certa forma ajudaram com o melhor que puderam, sempre presentes em minha vida, sempre incentivando a continuar rumo ao sucesso. Amo todos vocês!

A minha namorada, Fernanda, por todo amor, carinho, paciência, incentivo, força, torcida em todos os anos presentes em minha graduação. Você foi essencial desde o primeiro dia até o momento final da minha graduação, e sou muito grato por tudo que fez por mim. Te amo muito!

Aos amigos do DAE, por sempre estarem presentes, me incentivando e apoiando em todos os dias em que estive com vocês. Obrigado por toda ajuda oferecida e por acreditarem na minha capacidade!

Ao amigo de infância, Paulo Henrique, que sempre torceu por mim na minha caminhada e por todos os conselhos dados para alcançar meus objetivos. Muito obrigado meu amigo!

Aos amigos da graduação, em especial a Adriana, Bárbara, Danielle, Deivisson, Kelly e Manoel, pelo carinho, pela perseverança, e por sempre estarem presentes durante todos esses anos juntos, superando todas as dificuldades. Levarei todos comigo para sempre!

Ao meu professor e orientador Euler, por toda paciência, pelo incentivo, por todos conhecimentos transmitidos e por guiar meu caminho ao sucesso. Obrigado por tudo e por sua amizade!

Ao meu professor e coorientador Igor, pelos conhecimentos proporcionados e pela paciência ao longo do caminho.

Aos membros do laboratório iMobilis, por toda contribuição oferecida para o trabalho.

E por fim, a todos que de certa forma contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho. Desejo-lhes meu muito obrigado!



*“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho. ”*

**(Dalai Lama)**

## RESUMO

Os aplicativos móveis estão cada vez mais complexos e com mais recursos para os usuários e, nesse ritmo acelerado, os dispositivos móveis estão potencialmente mais sofisticados. Em decorrência disso, surge um requisito não funcional difícil de ser tratado e não muito compreendido pelos desenvolvedores, a eficiência energética. Dessa forma, pretende-se apresentar os problemas enfrentados pelos desenvolvedores em relação à eficiência energética de suas aplicações, como estão atualmente preparados para lidar com esse requisito não funcional, quais ferramentas estão disponíveis para apoiar suas atividades e quais as boas práticas de desenvolvimento utilizadas. Sendo assim, foi realizado um estudo de caso no laboratório iMobilis, para entender como o laboratório está preparado em relação a tema. Com base nos resultados obtidos, foi possível entender que muitos desenvolvedores não têm conhecimento sobre a importância da eficiência energética, a não disponibilidade de ferramentas/métodos de apoio para tratar esse problema, além de não serem realizados testes dessa natureza hoje no laboratório iMobilis. Por fim, espera-se que o estudo demonstre o quão é importante a eficiência energética no desenvolvimento de *software* para dispositivos móveis.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Aplicações Móveis. Teste de *Software*. Engenharia de *Software*. iMobilis.

## ABSTRACT

Mobile applications are becoming more complex and resourceful for users, and at this fast pace, mobile devices are potentially more sophisticated. As a result, a non-functional requirement that is difficult to deal with and not understood by developers, energy efficiency, arises. In this way, we intend to present the problems faced by the developers regarding the energy efficiency of their applications, how they are currently prepared to deal with this non-functional requirement, what tools are available to support their activities and what good development practices are used. Thus, a case study was carried out in the iMobilis laboratory to understand how the laboratory is prepared in relation to the topic. Based on the results obtained, it was possible to understand that many developers are not aware of the importance of energy efficiency, the non-availability of tools/methods of support to treat this problem, besides not being carried out tests of this nature in the iMobilis laboratory today. Finally, the study is expected to demonstrate how important energy efficiency in mobile software development is.

**Keywords:** Energy Efficiency. Mobile Applications. Software Testing. Software Engineering. iMobilis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Análise feita pela ferramenta <i>GreenDroid</i> .....	30
Figura 2 – Relatório final do aplicativo <i>GPSLogger-new</i> .....	31
Figura 3 – Análise feita pelo aplicativo <i>Trepp Profiler</i> .....	32
Figura 4 – Interface do aplicativo <i>Trepp Manager</i> .....	33
Figura 5 – Interface do <i>plugin</i> AEON .....	34
Figura 6 – Perfil Energético do Aplicativo <i>File Manager PRO</i> .....	35
Figura 7 – Interface da ferramenta <i>JouleUnit</i> .....	36
Figura 8 – Interface do plugin <i>ECODroid</i> .....	37
Figura 9 – Processo de Desenvolvimento <i>Mobile</i> BOPE.....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pergunta 1, referente ao conhecimento em relação à eficiência energética .....	42
Gráfico 2 - Pergunta 3, referente à disponibilidade de ferramentas e/ou métodos de apoio .....	45
Gráfico 3 – Pergunta 6, referente à realização de testes de consumo energético .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos aproveitados na 1ª extração de dados no <i>Google Acadêmico</i> .....	23
Tabela 2 – Artigos aproveitados nas extrações de dados nas bases selecionadas .....	24
Tabela 3 – Categorização dos artigos aproveitados por base de dados .....	25
Tabela 4 - Pergunta 2, referente a <i>bugs</i> que já geraram problemas em suas aplicações.....	43
Tabela 5 – Listagem de Artigos Selecionados Classificados como Ferramentas .....	54
Tabela 6 – Listagem de Artigos Selecionados Classificados como Métodos.....	55
Tabela 7 – Listagem de Artigos Selecionados Classificados como Outros .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS

API	–	<i>Application Programming Interface</i>
CPU	–	<i>Central Processing Unit</i>
GPS	–	<i>Global Positioning System</i>
GPU	–	<i>Graphics Processing Unit</i>
ICEA	–	Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
IDE	–	<i>Integrated Development Environment</i>
JPF	–	<i>Java PathFinder</i>
PC	–	<i>Personal Computer</i>
PMBOK	–	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
RUP	–	<i>Rational Unified Process</i>
UFOP	–	Universidade Federal de Ouro Preto
USB	–	<i>Universal Serial Bus</i>
XP	–	<i>Extreme Programming</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1 PROBLEMA .....	19
1.2 OBJETIVOS .....	20
1.2.1 Objetivo geral .....	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 JUSTIFICATIVA .....	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
2.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	27
<b>3 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE ENERGIA</b> .....	<b>29</b>
3.1 <i>GREENDROID</i> .....	29
3.2 AEON .....	31
3.3. OUTRAS FERRAMENTAS .....	36
3.3.1 <i>JouleUnit</i> .....	36
3.3.2 <i>ECODroid</i> .....	37
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	37
<b>4 ESTUDO DE CASO DO IMOBILIS</b> .....	<b>38</b>
4.1 O LABORATÓRIO IMOBILIS .....	38
4.2 METODOLOGIA.....	41
<b>5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>42</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE APLICATIVOS MÓVEIS</b> .....	<b>52</b>



<b>APÊNDICE B – LISTAGEM DE ARTIGOS SELECIONADOS CLASSIFICADOS COMO FERRAMENTAS .....</b>	<b>54</b>
<b>APÊNDICE C - LISTAGEM DE ARTIGOS SELECIONADOS CLASSIFICADOS COMO MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE D - LISTAGEM DE ARTIGOS SELECIONADOS CLASSIFICADOS COMO OUTROS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A bateria dos *smartphones* é hoje um dos maiores gargalos da tecnologia (MACMAGAZINE, 2017). Nas últimas décadas, a Lei de Moore tem surtido grandes efeitos, a qual diz que a quantidade de transistores em um *chip* dobra a cada 18 meses. Isso resultou numa expansão gigantesca da capacidade de processamento dos computadores. A cada lançamento de dispositivos, são acrescentadas novas tecnologias que tornam os aparelhos cada vez mais robustos.

Com isso, a tecnologia das baterias atuais não consegue acompanhar o ritmo acelerado atual do desenvolvimento dos *smartphones*, principalmente devido à autonomia. Segundo a MacMagazine (2017), estimativas dizem que o crescimento da autonomia é da ordem de 5% ao ano, ou seja, um valor pífio perto do crescimento de outros componentes de *hardware*. Como, então, é possível que não tenha surgido nenhuma tecnologia revolucionária nos últimos anos que pudesse acelerar o desenvolvimento da bateria? O que fazem os engenheiros ou equipe de pesquisa e desenvolvimento das organizações, por exemplo, que não conseguem melhorar significativamente esse aspecto?

Desenvolver uma nova bateria não é como redigir um código. Anos e anos de pesquisa e testes para colocar qualquer coisa no mercado é mais do que necessário. Se levarmos em consideração que baterias utilizadas nos *smartphones* são instáveis dependendo do contexto, qualquer cálculo errado pode resultar em uma catástrofe. Vide o caso da *Samsung* com seu *Galaxy Note 7*<sup>1</sup>, em que suas baterias estavam apresentando problemas, fazendo com que entrassem em combustão espontânea por conta de sua estrutura interna. Falhas no planejamento e testes do produto podem marcar negativamente uma marca à frente dos consumidores.

Outra questão também é o custo. Como mercado de *smartphones* é bastante sensível aos preços, as fabricantes lutam para reduzir custos em outros componentes. A bateria por si só já é bem cara. Qualquer aumento significativo no preço resultaria diretamente na margem de lucro das empresas, ou então no preço final pago pelos consumidores.

Este trabalho tem como finalidade apresentar os problemas enfrentados pelos desenvolvedores em relação à eficiência energética de suas aplicações, como estão atualmente preparados para lidar com isso e quais ferramentas estão disponíveis para apoiar suas atividades. Portanto, a aplicação deste trabalho visa mostrar a relevância da eficiência energética das aplicações móveis no desenvolvimento de *software* para dispositivos móveis.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://goo.gl/bWwY45>>. Acesso em: 29 Jul 2017.

## 1.1 Problema

Os dispositivos móveis estão cada vez mais presentes. Diferentes ferramentas, linguagens de programação e API's são utilizadas para o desenvolvimento de diferentes tipos de aplicações. Contudo, apesar da evolução da computação móvel na última década, a tecnologia das baterias desses dispositivos não evoluiu na mesma velocidade (NETO, 2015). Com o lançamento de dispositivos com processadores multinúcleos, crescem as restrições na potência e a ocorrência de superaquecimento (CARVALHO, 2015). Sendo, portanto, o curto tempo de vida das baterias uma das maiores preocupações entre os fabricantes de *hardware* e *software* para dispositivos móveis (NETO, 2015).

Os desenvolvedores tendem a se preocupar mais em atender os requisitos funcionais que seus usuários estipulam e, às vezes, se esquecem de levar em consideração os requisitos não funcionais. Como exemplo, no domínio das aplicações móveis, o gasto de energia é um requisito não funcional muito crítico, pois os dispositivos podem ficar sem energia se a aplicação desenvolvida não levar em consideração as restrições de gasto energético.

Hindle (2010) enfatiza que os usuários de *software* se deparam frequentemente com a falta de informações sobre o *software*. Quando um consumidor compra uma geladeira, esta é classificada por sua eficiência energética. E se o mesmo *ranking* existisse para o *software*? Existem três principais desafios que a classificação de *software* por eficiência energética enfrenta, sendo eles: *software* que executa mais de uma tarefa; *benchmarks* justos para múltiplos produtos; eficiência por plataforma (*Software/Hardware*). Atualmente, este campo está muito imaturo. Existe uma falta de: ferramentas comuns; conjuntos de dados compartilhados; *benchmarks* de conjuntos de dados; acordo sobre metodologia; coerência na comunidade; discussão metodológica sobre a abordagem das ameaças; falta de acordo sobre ameaças metodológicas.

Pang *et al.* (2016) citam que uma parte do problema também se dá pelo fato de que as instituições de ensino não possuem em seus currículos disciplinas que enfatizem a eficiência energética no desenvolvimento de aplicações móveis. Isso faz com que os desenvolvedores não sejam devidamente capacitados para desenvolver suas aplicações da maneira mais eficiente possível, do ponto de vista do consumo energético. Outro fato que podemos citar é que, frequentemente, os desenvolvedores têm a consciência da eficiência energética, mas não conhecem meios ou ferramentas de apoio para tratar esses aspectos, ou também que os usuários não se preocupam muito com isso.

## 1.2 Objetivos

Esta seção descreve o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo levantar abordagens para a análise do consumo de energia de aplicações móveis aplicáveis ao contexto do Laboratório iMobilis, utilizando como referência artigos da literatura e a pesquisa de demais documentos relacionados.

Como resultado, espera-se que esse estudo demonstre o quão importante é a avaliação da eficiência energética no desenvolvimento das aplicações móveis e forneça conhecimento sobre esse assunto aos desenvolvedores.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

1. Revisar a literatura sobre os documentos de análise de consumo de energia em aplicações móveis.
2. Estudar o processo de *software* utilizado no iMobilis, normas de qualidade de *software* e demais conteúdos pertinentes.
3. Definir um método para a avaliação do consumo de energia aplicável ao processo de *software* utilizado no iMobilis.
4. Avaliar a adequação do método proposto, por meio do estudo de caso no laboratório.
5. Analisar e discutir os resultados com os desenvolvedores, caso se aplique.

## 1.3 Justificativa

A eficiência energética das aplicações móveis é de suma importância nos dias atuais, visto que os recursos de energia são escassos. Para garantir que isso ocorra, é necessário que os desenvolvedores tenham o conhecimento de como a eficiência energética pode afetar suas aplicações móveis, além disso, conhecer ferramentas e/ou métodos para tratar desse problema.

Portanto, este trabalho justifica-se, pela necessidade constante da busca pela maior eficiência das aplicações móveis, seguindo para tal, orientações de principais artigos de referência no auxílio da difusão desse conhecimento entre os desenvolvedores.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

O restante deste trabalho é organizado como segue. O Capítulo 2 contém a revisão sistemática da literatura para a identificação dos trabalhos relacionados. No Capítulo 3 são apresentadas as ferramentas encontradas para tratar o problema da eficiência energética em aplicações móveis. Já no Capítulo 4 é apresentado de modo geral o iMobilis, local escolhido para a realização do estudo de caso deste trabalho. Por sua vez, o Capítulo 5 mostra os resultados encontrados provenientes do estudo de caso realizado no laboratório. Por fim, o Capítulo 6 serão apresentadas as considerações finais acerca do trabalho apresentado.

## 2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Neste trabalho foi utilizada a revisão sistemática de literatura para o levantamento da bibliografia relacionada. As revisões sistemáticas da literatura (WOHLIN *et al.*, 2012) são realizadas para “identificar, analisar e interpretar todas as evidências disponíveis relacionadas a uma questão de pesquisa específica”. Esse tipo de método de revisão visa dar uma imagem completa, abrangente e válida da evidência existente, contudo, tanto a identificação, análise e interpretação deve ser conduzida de uma forma científica e rigorosa.

O primeiro passo realizado foi a criação das *strings* de busca para realizar a busca dos artigos relevantes. As *strings* de busca foram definidas utilizando operadores lógicos. As bases de dados que foram escolhidas para a pesquisa de artigos permitem que operadores lógicos como “AND” ou “OR” sejam utilizados para construir *strings* de busca, por meio de concatenação de vários termos. Para a extração de dados, as seguintes bases de dados foram escolhidas:

- *Google Acadêmico.*
- *ACM Digital Library.*
- *IEEE Xplore Digital Library.*

Ao total, foram realizadas 3 tentativas de extração de artigos nas bases de dados escolhidas, a fim de realizar possíveis refinamentos nos conjuntos de *strings* de busca, caso ocorram resultados que não estejam de acordo com a área de interesse do estudo. Foi estabelecido em no máximo 10 páginas de resultados para cada busca, pois a partir desse ponto começou a surgir artigos não relacionados ao tema de interesse. O período para a busca foi definido de 2007 até o ano atual, visto que, a partir desse ano houve um interesse nessa área de pesquisa.

Na primeira tentativa de extração de dados foi utilizada a base de dados *Google Acadêmico*. A partir dos artigos localizados pelos 4 conjuntos de *strings* de busca, foram selecionados 22 artigos de um total de 62700 resultados. A seguir, na Tabela 1, serão apresentados a quantidade de artigos selecionados por cada conjunto de *strings* de busca e o total de resultados encontrados, respectivamente.

Tabela 1 – Artigos aproveitados na 1ª extração de dados no *Google Acadêmico*

Conjuntos de <i>Strings</i> de Busca	1ª Extração de Dados – <i>Google Acadêmico</i>	Total de Resultados Encontrados
<i>(“mobile application” OR “mobile applications”) AND measuring energy consumption</i>	6	16800
<i>(“smartphone apps” OR “smartphone app”) AND energy efficiency</i>	3	15400
<i>energy efficiency AND measuring energy consumption AND (“smartphone app” OR “mobile app”)</i>	7	16600
<i>(smartphone OR smartphones) AND energy efficiency AND energy consumption analysis AND  (“mobile application” OR “mobile applications”)</i>	6	16600
<b>Total</b>	22	62700

Fonte: Elaborado pelo autor

Na segunda tentativa de extração de dados foi utilizada novamente a base de dados *Google Acadêmico*, mas com as *strings* refinadas para melhorar os resultados encontrados. O refino das *strings* de busca é necessário para restringir ainda mais a área de interesse do estudo nos possíveis resultados. De todos resultados encontrados nos 4 conjuntos de *strings* de busca, foram selecionados 21 artigos de um total de 565 resultados. Na terceira e última tentativa de extração de dados, foram utilizadas as bases de dados *ACM Digital Library* e *IEEE Xplore Digital Library*, com o mesmo conjunto de *strings* de busca anterior. De todos resultados encontrados nos 4 conjuntos de *strings* de busca, foram selecionados 20 artigos de um total de 13475 resultados e 7 artigos de um total de 4640 resultados, respectivamente. A seguir, na Tabela 2, serão apresentados a quantidade de artigos selecionados por cada conjunto de *strings* de busca e o total de resultados encontrados em cada base de dados, respectivamente.

Tabela 2 – Artigos aproveitados nas extrações de dados nas bases selecionadas

<b>Conjuntos de <i>Strings</i> de Busca</b>	<b>2ª Extração de Dados – Google Acadêmico</b>	<b>3ª Extração de Dados – ACM Digital Library</b>	<b>3ª Extração de Dados – IEEE Xplore Digital Library</b>
<i>("mobile application" OR "mobile applications") AND ("measuring energy consumption" OR "energy consumption analysis") AND ("energy efficiency" OR "energy inefficiency")</i>	9	7	3
<i>("smartphone applications" OR "smartphone application" OR "smartphone apps" OR "smartphone app") AND ("energy efficiency" OR "energy inefficiency") AND "automated diagnosis"</i>	6	3	1
<i>("measuring energy consumption" OR "energy consumption analysis" OR "diagnosis of energy inefficiency") AND ("smartphone application" OR "smartphone applications" OR "smartphone apps" OR "smartphone app")</i>	5	4	3
<i>("android application" OR "android applications" OR "android app" OR "android apps") AND ("energy efficiency" OR "energy inefficiency") AND ("measuring energy consumption" OR "energy efficiency analysis" OR "automated diagnosis")</i>	1	6	0
<b>Total de Resultados Encontrados</b>	565	13475	4640

Fonte: Elaborado pelo autor



Ao total, foram aproveitados 70 artigos. Para melhor organização dos artigos selecionados, os mesmos foram categorizados por temas, como ferramentas, métodos ou outros. A seguir, na Tabela 3, serão apresentados os artigos categorizados por temas em cada base de dados.

Tabela 3 – Categorização dos artigos aproveitados por base de dados

<b>Base de Dados</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Métodos</b>	<b>Outros</b>
<i>Google Acadêmico</i>	6	14	23
<i>ACM Digital Library</i>	0	12	8
<i>IEEE Xplore Digital Library</i>	2	3	2
<b>Total</b>	8	29	33

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados dos artigos selecionados foram organizados em tabelas, contendo o título do artigo, o ano de publicação e o *link* disponível para *download*. Os artigos selecionados classificados como ferramentas encontram-se no Apêndice B. Já os artigos selecionados classificados como métodos encontram-se no Apêndice C. E por fim, os artigos selecionados classificados como outros encontram-se no Apêndice D. A seguir, serão apresentados pequenos resumos de alguns artigos escolhidos aleatoriamente nos temas categorizados, dentre todos os aproveitados nas extrações de dados.

O *ECODroid* é uma ferramenta para análise e visualização do consumo de energia em aplicativos *Android* que ajuda na identificação de trechos de código que possuem problemas relacionados ao consumo anormal de energia (MAGALHÃES, 2015). O *ECODroid* foi implementado como um *plugin* para o *Android Studio*<sup>2</sup> e, a partir da utilização de um modelo analítico de consumo energético, identifica as áreas do código-fonte do aplicativo que apresentam níveis anormais de consumo de energia. Embora o *ECODroid* ajude a localizar os trechos de código-fonte problemáticos, ela não oferece suporte à resolução dos problemas de consumo de energia identificados, o que segundo os autores, será tema de trabalhos futuros.

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://goo.gl/na27aA>>. Acesso em: 21 Jul 2017.

Ding *et al.* (2011) desenvolveram um sistema inteligente de monitoramento de energia chamado SEMO para *smartphones* usando o sistema operacional *Android*. Essa ferramenta realiza o *profiling* de aplicativos móveis com informações de uso de bateria, o que é vital para desenvolvedores e usuários. Primeiro, ele é usado para verificar o status da bateria, como a energia restante e a temperatura da bateria. Em segundo lugar, coleta os dados de consumo de energia dos dispositivos móveis, e depois analisa o consumo de energia das aplicações em dispositivos móveis de acordo com os dados coletados. Os dados coletados incluem o tempo, o tempo de bateria restante e os nomes das aplicações que estão sendo executadas no momento. Em terceiro lugar, sua análise de dados e algoritmos correspondentes podem encontrar a taxa de consumo de energia das aplicações.

O *CyanDroid* (Li *et al.*, 2016) foi desenvolvido como um aprimoramento da ferramenta *GreenDroid* (LIU *et al.*, 2014). Foi observado que a geração de dados sensoriais do *GreenDroid* é aleatória e isso pode afetar negativamente sua estabilidade e eficácia, fazendo com que tenha erros energéticos que exigem dados sensoriais específicos para se manifestarem. Para resolver este problema, os autores propuseram uma nova abordagem para gerar sistematicamente dados sensoriais multidimensionais. Um protótipo do *CyanDroid* foi implementado e foram avaliados 4 aplicativos *Android* do mundo real e centenas de seus mutantes.

De acordo com Li *et al.* (2013), sua abordagem é capaz de calcular a informação do consumo de energia no nível da linha de origem. São combinadas medições de potência baseadas em *hardware* com análise de programa e modelagem estatística. Em alto nível, a intuição básica é a seguinte: Ao medir o consumo de energia de um *smartphone*, a abordagem usa um perfil de caminho eficiente para identificar quais partes do aplicativo estão executando e correlaciona esses caminhos com a energia medida. Então, a abordagem analisa estaticamente os caminhos para identificar e ajustar eventos de alta energia, como a troca de *threads*, antes de aplicar uma análise de regressão robusta para calcular o consumo de energia de cada fonte. No final, a abordagem apresenta aos desenvolvedores uma representação gráfica do consumo de energia ao sobrepor a energia calculada com o código fonte da aplicação.

Wang *et al.* (2012) propuseram uma abordagem leve para encontrar possíveis códigos com desperdício de energia envolvendo Entrada/Saída (E/S) em aplicativos *Android* através de técnicas de análise estática de programa. A abordagem pode ajudar os desenvolvedores a localizar o padrão de desperdício de energia e, conseqüentemente, otimizar seus aplicativos. Os principais passos que detectam o padrão de perda de energia no aplicativo móvel incluem: rotinas de localização que implementam a operação de E/S de acordo com a lista de operações de E/S que foram coletadas; obter o fluxo de controle reverso

das rotinas de E/S por meio da análise estática do programa, para confirmar se existem operações de E/S adjacentes e contínuas; analisar declarações entre operações de E/S adjacentes através de análise de fluxo de dados.

Wang *et al.* (2013) propuseram um novo método para estimar o consumo de energia de aplicações móveis com base em perfis de traços de bateria. Os traços de bateria podem ser facilmente coletados por meio de um aplicativo de nível de usuário em qualquer dispositivo. Embora seja difícil obter resultados precisos para apenas alguns usuários, é esperado que o método atinja uma estimativa precisa quando o número de traços da bateria atinge uma certa escala. É utilizado um método estatístico para estimar o consumo de energia com traços de bateria em larga escala para reduzir o erro de cálculo direto. Com as informações de comutação do aplicativo e o nível da bateria, foi possível calcular uma taxa de consumo de energia média combinada para cada aplicativo móvel com base em traços coletados de milhares de usuários.

Ljung (2011) investigou abordagens básicas para poupar energia e aumentar a duração da bateria em dispositivos móveis: mais energia armazenada, melhores baterias; desativar mais eficientemente a hibernação e as notificações; minimizar a luz de fundo de exibição, as animações e as cores; minimizar a energia de comunicação; minimizar a escala de processo de energia computacional, microarquitetura, o *hardware* específico da aplicação e *offloading*. Com isso, ele define também áreas para aplicar economia de energia, incluindo energia estática, exibição, comunicação e computação.

Wilke *et al.* (2013) estudaram um grande conjunto de aplicativos e comentários de usuários extraídos da *Google Play Store* para avaliar o significado dos problemas de eficiência energética para aplicativos móveis. Mais de 18% de todos os aplicativos *Android* incluem reclamações sobre a eficiência energética. Atividades em segundo plano, o uso do GPS e o uso da CPU são as causas mais comuns para o consumo de energia desnecessário. Os problemas de eficiência energética influenciam as classificações de usuários para aplicativos móveis. Os problemas de eficiência energética introduzidos em aplicativos móveis aparecem durante a evolução e manutenção do *software* e mostraram que, em geral, os aplicativos pagos não contêm menos problemas de eficiência energética do que aplicativos disponíveis gratuitamente.

## 2.1 Considerações finais

Este capítulo apresentou a revisão sistemática de literatura, método de revisão definido para a extração de referencial teórico para a condução do presente trabalho. A revisão sistemática da literatura é, sem dúvida, um método muito eficiente para o mapeamento

de artigos, pois restringe a um contexto definido de acordo com o tema proposto de pesquisa. A maioria dos artigos encontrados tratam de problemas de eficiência energética no ecossistema *Android*, o que não quer dizer que os outros sistemas operacionais disponíveis no mercado também não possuam problemas dessa natureza, mas que não foram evidenciados em muitos artigos encontrados.

### 3 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE ENERGIA

Este capítulo apresenta as ferramentas mapeadas por meio da revisão sistemática da literatura e por buscas simples no *Google* para a utilização no estudo, e está estruturado conforme descrito a seguir. A Seção 3.1 descreve a ferramenta *GreenDroid* e a Seção 3.2 descreve a ferramenta AEON. A Seção 3.3 descreve outras ferramentas encontradas.

#### 3.1 *GreenDroid*

*GreenDroid* (LIU *et al.*, 2014) é uma ferramenta que analisa de forma estática o código de aplicativos *Android* em busca de *bugs* de energia, relacionados ao uso de dados de sensores, desativação de sensores e desativação de aplicações. Esses problemas se não tratados corretamente, podem acarretar em consumo elevado de bateria nos dispositivos móveis.

A ferramenta trabalha com uma extensão do *framework* JPF<sup>3</sup>, que é a base de seu funcionamento. Essa ferramenta funciona via *prompt* de comando no *Windows*, sendo o único sistema operacional suportado. Não é preciso instalar nenhuma IDE de desenvolvimento, como o *Android Studio*, pois a ferramenta trabalha de modo totalmente independente. O único requisito necessário para o uso da ferramenta é ter instalado o *Java* no PC, já que o *GreenDroid* é um programa *Java*. O autor da ferramenta recomenda que a mesma esteja localizada no diretório C do *Windows*, para evitar perdas de processamento e/ou desempenho no uso da ferramenta.

Aberto o *prompt* de comando do *Windows*, para inicializar a ferramenta basta executar o seguinte comando informando os seguintes parâmetros: <jpf-core-dir>/bin/jpf <test-subject-property-file>.jpf. O primeiro parâmetro refere-se ao diretório *jpf-core*, que contém o *framework* JPF, a estrutura que o *GreenDroid* desenvolve. O segundo parâmetro refere-se ao diretório *testSubjects*, que contém o código-fonte das aplicações a serem analisadas pelo *GreenDroid*. No exemplo a ser apresentado a seguir, foi escolhido o aplicativo *GPSLogger-new*, um dos aplicativos disponíveis para teste. Assim, foi utilizado o seguinte comando para iniciar a análise: C:\E-GreenDroid\jpf-core\bin>jpf C:\E-GreenDroid\property\GPSLogger\_new.jpf.

Logo após isso, por padrão, o *GreenDroid* oferece as seguintes opções abaixo de aplicativos a serem testados:

- 0: *GPSLogger-new*.

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://goo.gl/26h8VD>>. Acesso em: 29 Jul 2017.

- 1: *Andtweet*.
- 2: *GPSLogger*.
- 3: *Babblesink*.
- 4: *cwac-wakeful*.
- 5: *OsmDroid-r750*.
- 6: *OmniDroid-r863*.

Caso o aplicativo não seja um dos citados anteriormente, é possível inserir manualmente um arquivo *path*, contendo os caminhos e as classes do aplicativo a ser analisado. Nesse caso, basta inserir -1 para passar um arquivo denominado *Example-path.txt*, contendo os parâmetros necessários para a execução. Então, o *GreenDroid* começa a sua execução, e dependendo do tamanho do aplicativo em análise, pode ser que o tempo de execução seja mais rápido ou mais demorado. A Figura 1 mostra a execução da análise do aplicativo *GPSLogger-new*.

Figura 1 – Análise feita pela ferramenta *GreenDroid*

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\E-GreenDroid>REM
C:\E-GreenDroid>REM overly simplified batch file to start JPF from a command prompt
C:\E-GreenDroid>REM
Plz enter a number of test subjects, -1 to manually enter path
-1
Plz enter file of path
Example-path.txt
[Preprocessing] parsing C:/E-GreenDroid/testSubjects/GPSLogger_new/app/src/main/res/values/strings.xml
[Preprocessing] parsing C:/E-GreenDroid/testSubjects/GPSLogger_new/app/src/main/res/layout/activity_gpslogger.xml
[Preprocessing] parsing C:/E-GreenDroid/testSubjects/GPSLogger_new/app/src/main/res/layout/fragment_gpslogger.xml
[Preprocessing] parsing C:/E-GreenDroid/testSubjects/GPSLogger_new/app/src/main/AndroidManifest.xml
Location usage listeners functioned
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3II3III)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3SI3SII)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3CI3CII)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3ZI3ZII)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3FI3FII)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3JI3JII)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3DI3DII)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopyCheckBounds(IIIII)V
[WARNING] orphan NativePeer method: java.lang.System.arraycopy(3BI3BII)V
JavaPathfinder core system v8.0 (rev 28+) - (C) 2005-2014 United States Government. All rights reserved.
===== system under test
edu.nju.Alex.GreenDroid.Main.main()

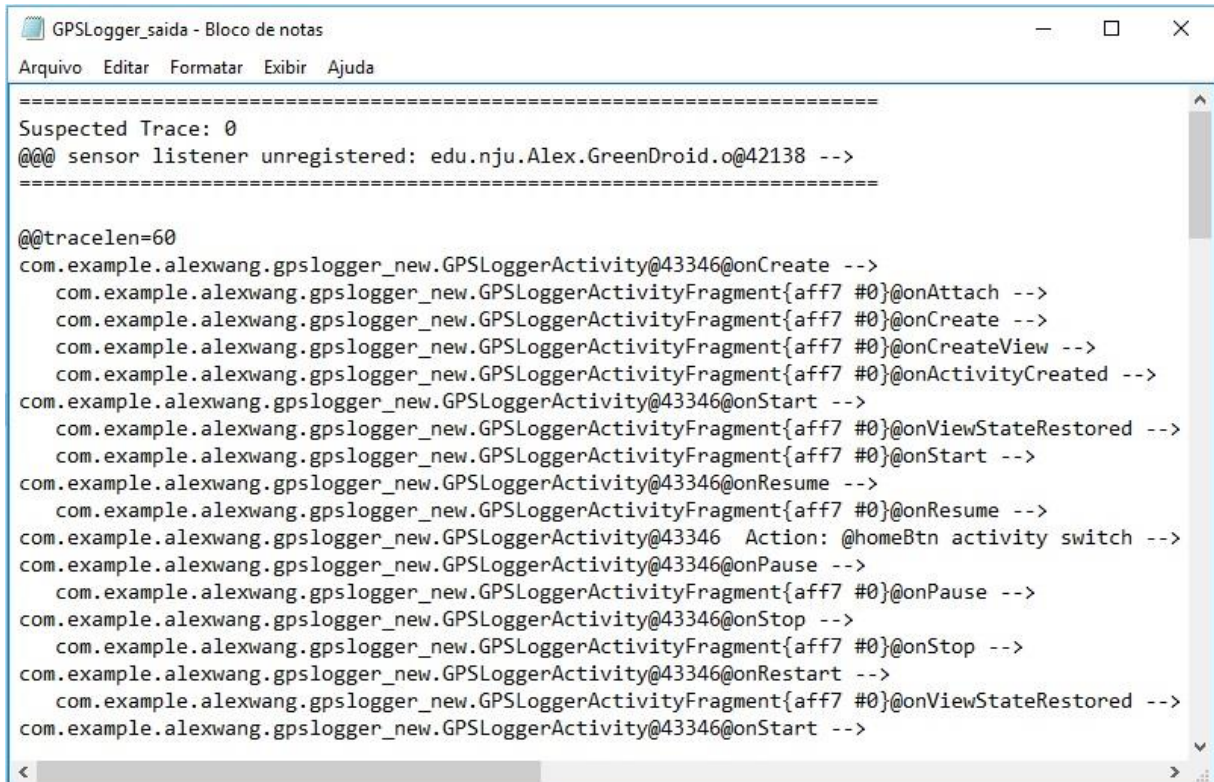
```

Fonte: Própria do autor

Terminada a execução do *GreenDroid*, os resultados da análise serão armazenados em arquivo de saída, em que qualquer *bug* encontrado é detalhado. Os dados contidos nesse pequeno relatório não estão bem organizados, precisando de processamento adicional. Sendo assim, o autor da ferramenta disponibiliza outro programa *Java*, o *ReportGenerator*. Esse programa processa os dados para dar uma melhor organização dos dados e facilitar sua compreensão pelo testador. Para fazer o refinamento da análise do

aplicativo *GPSLogger-new*, basta inserir o seguinte comando no *prompt*: `C:\E-GreenDroid>java -jar ReportGenerater.jar C:/E-GreenDroid/output/GPSLogger_new.txt GPSLogger_saida.txt`. Note que ele requer dois argumentos, o caminho onde se encontra o programa *ReportGenerater* e o caminho do arquivo de resultado da análise, respectivamente. A Figura 2 mostra o relatório final da análise do aplicativo *GPSLogger-new*.

Figura 2 – Relatório final do aplicativo *GPSLogger-new*



```

=====
Suspected Trace: 0
@@@ sensor listener unregistered: edu.nju.Alex.GreenDroid.o@42138 -->
=====

@@@tracelen=60
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346@onCreate -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onAttach -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onCreate -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onCreateView -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onActivityCreated -->
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346@onStart -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onViewStateRestored -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onStart -->
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346@onResume -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onResume -->
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346 Action: @homeBtn activity switch -->
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346@onPause -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onPause -->
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346@onStop -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onStop -->
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346@onRestart -->
  com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivityFragment{aff7 #0}@onViewStateRestored -->
com.example.alexwang.gpslogger_new.GPSLoggerActivity@43346@onStart -->

```

Fonte: Própria do autor

### 3.2 AEON

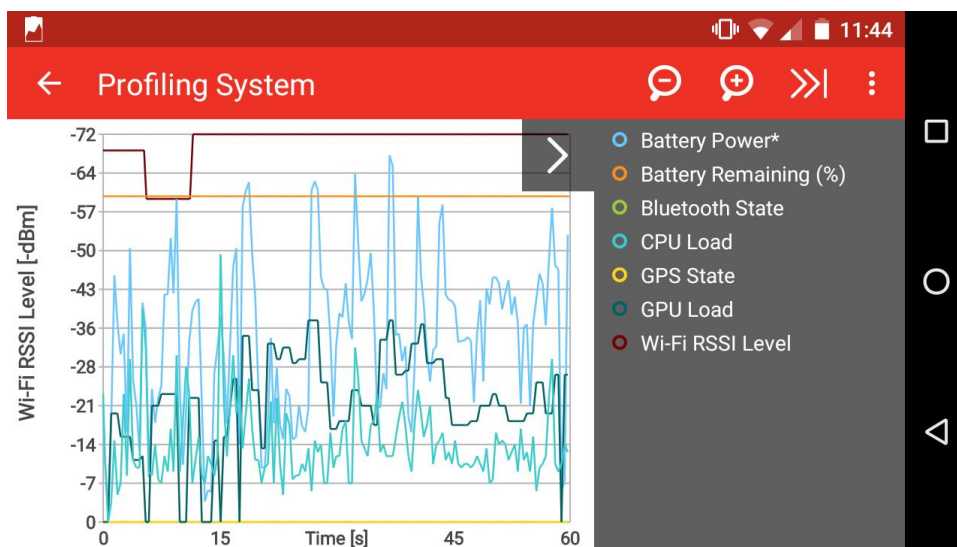
A ferramenta AEON - *Automated Android Energy-Efficiency InspectiON* (SAMUDIO, 2016) fornece aos desenvolvedores uma metodologia útil para automatizar a análise e visualização de preocupações energéticas, oferecendo um ambiente de desenvolvimento consciente de energia para a plataforma *Android*.

AEON é um *plugin* disponível para a IDE *Android Studio*, que faz estimativas de consumo de energia por método, com base no seu consumo de energia quando fazem chamadas de sistema. O *plugin* funciona em conjunto com outros dois aplicativos,

denominados *Trepn Manager* e *Trepn Profiler*<sup>4</sup>, que são instalados no dispositivo funcionando como ponte de comunicação.

O aplicativo *Trepn Profiler* oferece um diagnóstico que permite traçar o perfil de desempenho e consumo de energia de aplicativos *Android* executados em dispositivos que utilizam processadores *Qualcomm Snapdragon* (QUALCOMM, 2017). O aplicativo está disponível atualmente na *Google Play Store*, permitindo a análise de consumo de energia. Antes da criação de um perfil de consumo, o aplicativo permite escolher qual componente do dispositivo será ou não analisado. A Figura 3 mostra uma análise que o aplicativo realiza no dispositivo selecionado em *stand by*, indicando o estado de cada componente definido para ser analisado.

Figura 3 – Análise feita pelo aplicativo *Trepn Profiler*



Fonte: Magalhães (2015)

De acordo com Magalhães (2015), o *Trepn Profiler* usa uma abordagem baseada na diferença entre o consumo de energia inicial e o atual para obter a demanda energética. Com isso, o aplicativo cria uma linha padrão de energia através de medições iniciais de consumo para cada componente definido. Assim, o aplicativo calcula a diferença entre as medições atuais e a linha padrão, tendo como resultado a estimativa da demanda de energia do dispositivo analisado.

O aplicativo *Trepn Manager* tem a função de automatizar a geração de perfis de consumo energético do aplicativo *Trepn Profiler* com base na conexão/desconexão do cabo

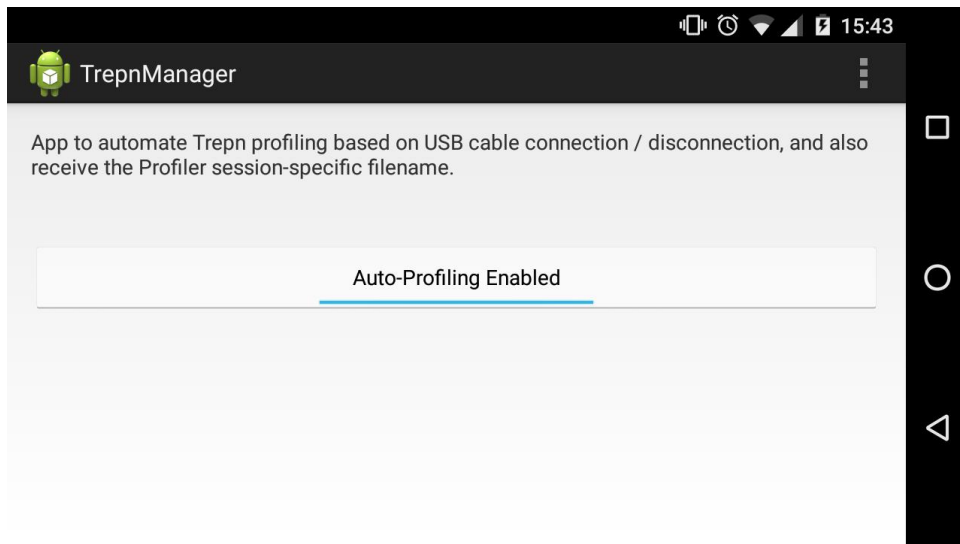
<sup>4</sup> Disponível em: <<https://goo.gl/Tvh5jN>>. Acesso em: 10 Jan 2017.



USB e também receber o nome do arquivo específico da sessão do aplicativo *Trepro Profiler*.  
A

Figura 4 mostra a interface do aplicativo, na qual contém somente o botão de ligar/desligar a função de automatização.

Figura 4 – Interface do aplicativo *Trepro Manager*



Fonte: Samudio (2016)

Para utilizar o AEON, é necessário também um dispositivo *Android* com processador *Qualcomm Snapdragon*. Para a bateria de testes do *plugin* AEON, foi utilizado *smartphone* e notebook, com as seguintes especificações:

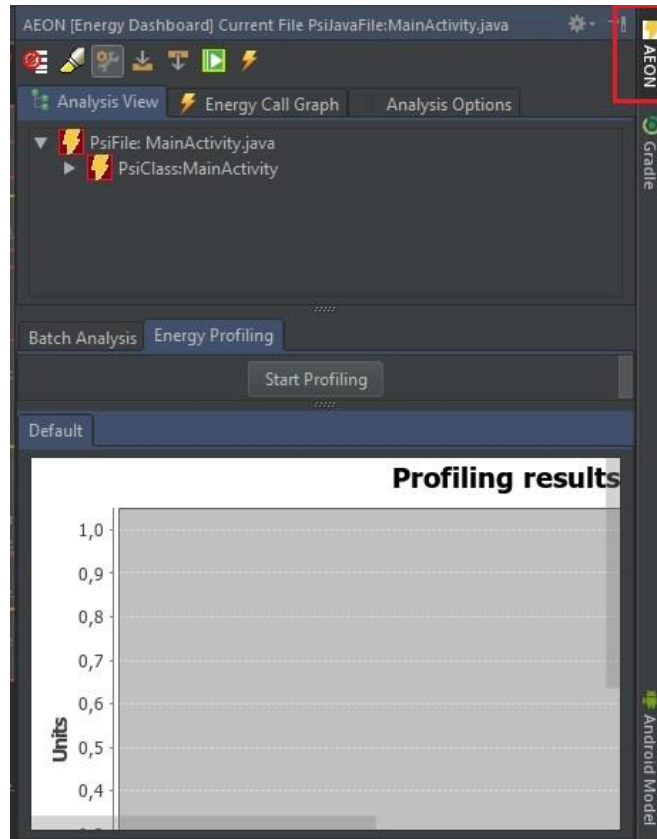
- *Motorola Moto G3*, com processador *Qualcomm Snapdragon 410* com quatro núcleos operando a uma frequência de 1,4 GHz, 1 GB de memória RAM e 16 GB de armazenamento interno, com o *Android 6.0 Marshmallow*.
- *Acer Aspire*, com processador *Intel Core i7 6500U* com 2 núcleos e 4 *threads* operando a uma frequência de 2,5 GHz com modo *Turbo Boost* até 3,1 GHz, 8 GB de memória RAM e 1 TB de HD, com o *Windows 10 Pro*.

A aplicação escolhida para teste de consumo energético foi o *File Manager PRO*. Essa aplicação consiste em um simples gerenciador de arquivos para *smartphones Android*, em que é possível gerenciar arquivos na memória interna e externa do aparelho. É uma aplicação de código aberto e está disponível no site *F-Droid*<sup>5</sup>, um repositório que contém várias outras aplicações de código aberto para o ecossistema *Android*.

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://f-droid.org/>>. Acesso em: 10 Jan 2017.

O primeiro passo é baixar o *plugin* AEON em seu site oficial, entrar nas configurações do *Android Studio* e adicionar manualmente o *plugin* em sua interface. Após isso, deve-se conectar o *smartphone* ao PC por meio da conexão USB para que seja possível realizar testes em algum aplicativo. A Figura 5 mostra a interface inicial do *plugin* AEON.

Figura 5 – Interface do *plugin* AEON



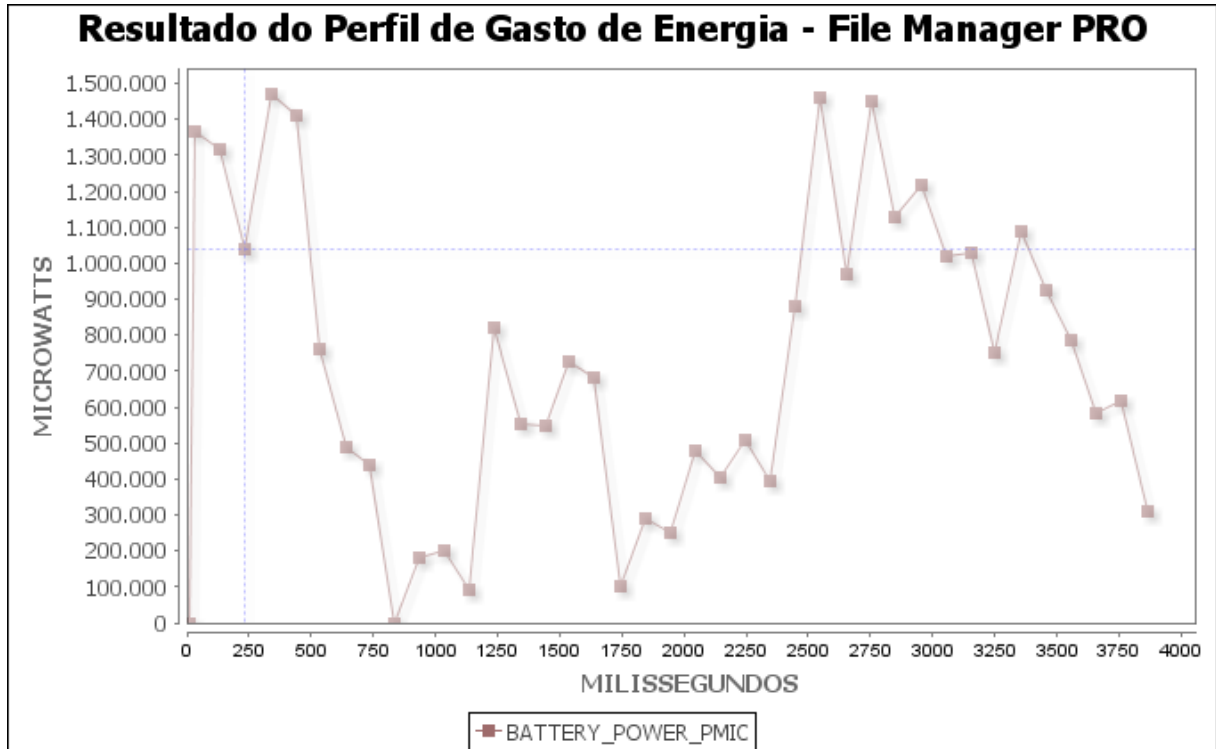
Fonte: Samudio (2016)

Para iniciar os testes de consumo energético no aparelho, deve-se selecionar o botão *Start Profiling* e escolher o dispositivo conectado ao PC. Feito isso, o aplicativo *File Manager PRO* será compilado pelo *Android Studio* e instalado no dispositivo selecionado. Assim que a aplicação iniciar no dispositivo, o *Treppn Manager* iniciará automaticamente uma gravação de um perfil de consumo do aplicativo *Treppn Profiler*, e com isso, deve-se desconectar o dispositivo do PC e fazer a utilização do aplicativo de testes por um tempo a ser definido pelo testador.

Assim que o teste do aplicativo estiver finalizado, é preciso reconectar o dispositivo no PC para que o *plugin* AEON finalize a sessão de teste. Com isso, o *plugin* gerará um gráfico ao final contendo o gasto energético do aplicativo no período que foi utilizado. O gráfico resultante do processo possui dois eixos, sendo o eixo X representando o tempo em milissegundos que o aplicativo foi utilizado no dispositivo, e o eixo Y representando o gasto

de energia dispendido pelo aplicativo testado. A Figura 6 mostra um gráfico resultante da análise de consumo energético do aplicativo *File Manager PRO*.

Figura 6 – Perfil Energético do Aplicativo *File Manager PRO*



Fonte: Samudio (2016)

Esses dados apresentados no gráfico mostram que a aplicação com o passar do tempo pode demandar quantias distintas de energia da bateria, e assim, ajudam a entender o quanto de energia a aplicação testada pode demandar. A limitação do *plugin* é não ser capaz de indicar onde o aplicativo gastou mais do que o necessário. Não há um valor padrão para fazer comparações de gasto padrão de energia, e não há menção nenhuma dessa questão na documentação do AEON. Até o andamento do trabalho, o autor da ferramenta publicará um artigo sobre a ferramenta, possivelmente com maiores detalhes do funcionamento, mas esse artigo não foi disponibilizado para consulta por estar em processo de aceitação para publicação.

A ferramenta funcionou muito bem em conjunto com o *Windows 7*, o que não aconteceu com a versão mais atual do *Windows*. Foram vários erros apresentados, como mal funcionamento do *Android Studio*, aplicativos corrompidos nos dispositivos, instabilidades, entre outros. Até foi disponibilizada uma nova versão do AEON, a 1.14.2, mas ainda assim os problemas continuaram. A versão mais atual do *Android Studio* também apresentou os mesmos problemas de incompatibilidade citados anteriormente, sendo necessária a utilização

de uma versão de dezembro de 2015 e em conjunto com a versão do AEON correspondente do mesmo período.

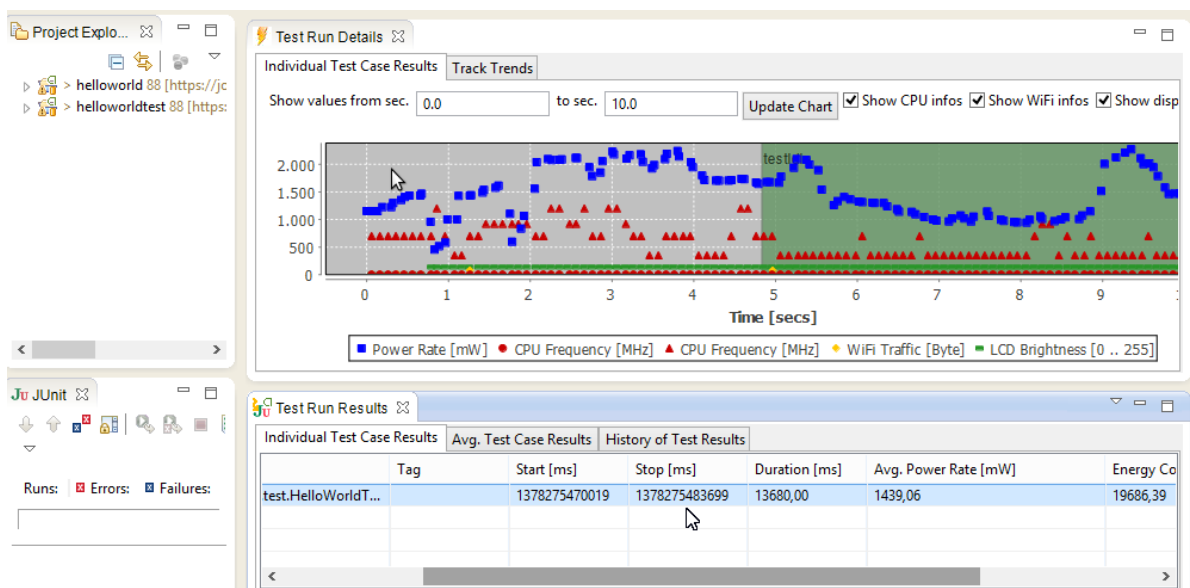
### 3.3. Outras ferramentas

Além das ferramentas descritas nas subseções anteriores, outras ferramentas também foram mapeadas pela revisão sistemática e por buscas simples no *Google*. As ferramentas são o *JouleUnit* e o *ECODroid*, e serão descritas brevemente nas Subseções 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente.

#### 3.3.1 *JouleUnit*

O *JouleUnit* (KNOTT, 2013) é uma ferramenta que gera perfis de consumo energético, que pode ser usado para aplicativos *Android*, para encontrar o uso desnecessário da bateria do aplicativo durante o tempo de execução. O *JouleUnit* usa o *framework* de instrumentação do *Android* para testar o aplicativo. Além do perfil do uso da bateria, pode ser monitorada a CPU do dispositivo, *WiFi* ou o brilho da tela. Para utilizar o *JouleUnit*, é necessária integração da ferramenta a IDE Eclipse, sendo a única IDE compatível com a ferramenta. Ao final de sua execução, é gerado um gráfico para ver o consumo de bateria do aplicativo. Não foi possível sua utilização devido a indisponibilidade de vários complementos necessários para a execução da ferramenta. A Figura 7 mostra a interface inicial da ferramenta *JouleUnit*.

Figura 7 – Interface da ferramenta *JouleUnit*

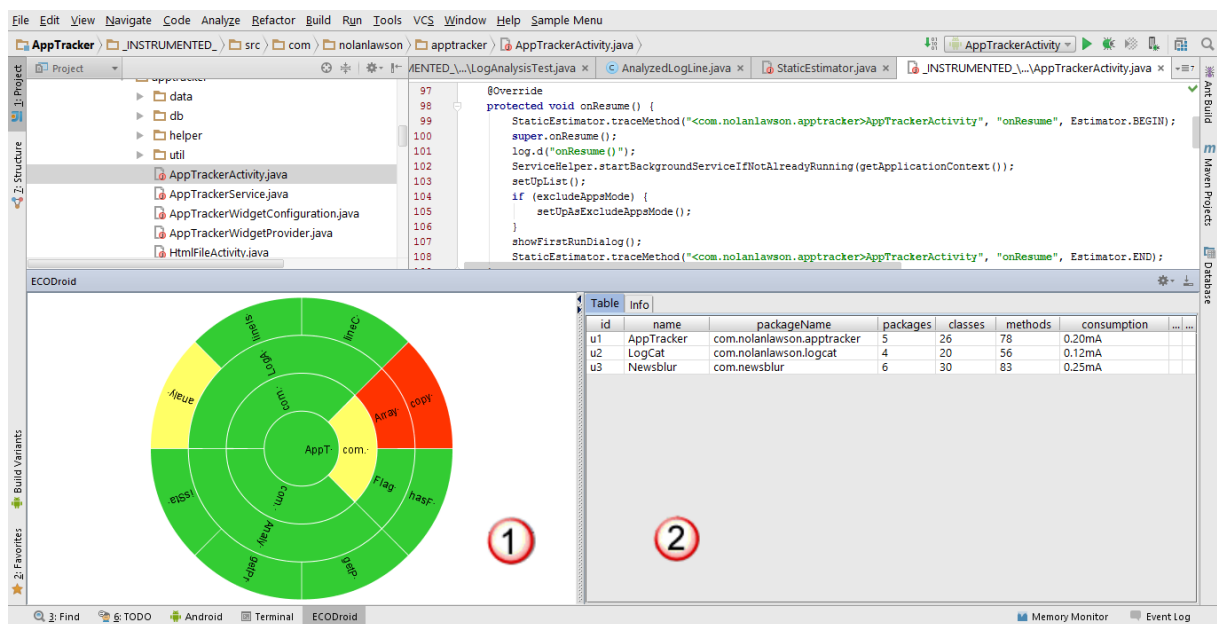


Fonte: Knott (2013)

### 3.3.2 ECODroid

Como descrito na Seção 2, o *ECODroid* (MAGALHÃES, 2015) é uma ferramenta para análise e visualização do consumo de energia em aplicativos *Android* que ajuda na identificação de trechos de código que possuem problemas relacionados ao consumo anormal de energia. Foi idealizada como *plugin* do *Android Studio*. Mesmo após o contato com os autores, a ferramenta não foi disponibilizada para a utilização no estudo. Somente a monografia sobre a ferramenta foi disponibilizada para a consulta, com mais detalhes do seu funcionamento. A Figura 8 mostra a interface inicial do plugin *ECODroid*.

Figura 8 – Interface do plugin *ECODroid*



Fonte: Magalhães (2015)

### 3.4 Considerações finais

A escolha na adoção das ferramentas *GreenDroid* e *AEON* se deve ao fato da disponibilidade de *download* para a utilização no estudo. O *JouleUnit* e o *ECODroid* também são opções interessantes de ferramentas para a análise do consumo de energia, mas devido a indisponibilidade das ferramentas e/ou componentes adicionais necessários, não foi possível utilizá-las. A escassez de ferramentas gera uma grande limitação no leque de possibilidades de ferramentas de apoio para análise do consumo de energia de aplicações móveis. Assim, também é possível entender na prática o quanto é difícil para os desenvolvedores atacarem esse problema.

## 4 ESTUDO DE CASO DO IMOBILIS

Este capítulo está estruturado conforme descrito a seguir. A Seção 4.1 descreve o contexto organizacional, processo de desenvolvimento e teste de *software* do laboratório iMobilis e a Seção 4.2 descreve a metodologia do estudo de caso, com a descrição dos respectivos métodos utilizados para a sua condução.

### 4.1 O laboratório iMobilis

O iMobilis, situado no campus ICEA/UFOP de João Monlevade, é um laboratório de computação móvel e sistemas embarcados que possui uma parceria com o laboratório iMobilis de Ouro Preto. O laboratório iMobilis desenvolve sistemas para dispositivos móveis, embarcados e *web* por meio de práticas da Engenharia de *Software*. De acordo com Pereira (2014), o processo de *software* denominado BOPE, adota mecanismos baseados nos processos de *software* como o *Scrum*, XP, RUP e as orientações do guia de melhores práticas de gerenciamento de projetos denominado PMBOK.

O processo BOPE possui atividades organizadas em ciclos de desenvolvimento que permitem a equipe corrigir suas ações com eficiência (COTA, 2016). Os *sprints* são ciclos de desenvolvimento de quatro ou cinco semanas, em que ocorre a entrega de um incremento funcional de *software*. Os projetos desenvolvidos no laboratório têm a duração de quatro *sprints*, o que corresponde ao período do semestre letivo dos estudantes.

Os papéis para cada integrante no iMobilis são definidos como:

- **Analista de negócios (ou *Product Owner*):** É um professor, que é o responsável por definir os projetos a serem desenvolvidos em conjunto com cada aluno e os requisitos a serem cumpridos.
- **Líder da equipe:** É um aluno, desenvolvedor experiente, onde sua principal tarefa é ajudar os desenvolvedores a realizarem suas atividades.
- **Gerente de projetos:** Controla todos os projetos, coletando dados e avaliando o andamento das atividades, o desempenho das equipes e os artefatos produzidos, resolvendo os riscos dos projetos.
- Os outros papéis são: **Engenheiro de *Software*, Engenheiro de Teste e Analista de Sistemas**. Estes papéis são atribuídos segundo o perfil e experiência dos estudantes.

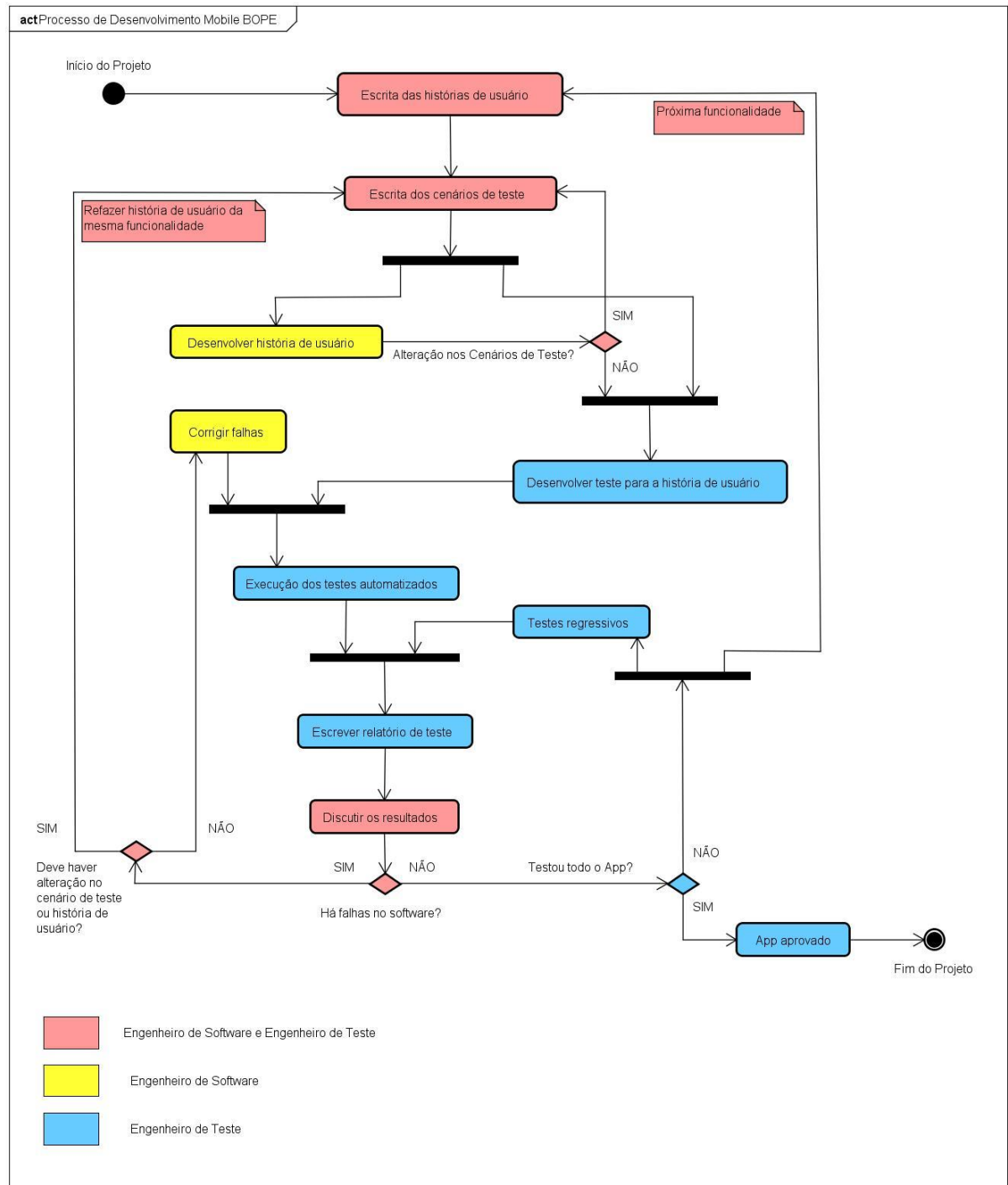
Os projetos são iniciados com a reunião de “planejamento”, para a definição do escopo geral do projeto, do *Product Backlog*, e das histórias de usuário do mesmo. Dentro desse contexto, poderá ser desenvolvido um novo *software* ou sistema, monografia, entre

outros. As equipes responsáveis pelos projetos a serem desenvolvidos são definidas. É definido um cronograma a longo prazo para todo o projeto correspondente ao tempo estimado para sua realização por completo.

A cada semana, ocorre uma reunião “técnica” com o analista de negócios para monitorar as atividades desenvolvidas. Cada integrante pode tirar dúvidas referentes ao desenvolvimento das atividades, concepção e realização de testes. São atualizados os entregáveis, à medida que as histórias de usuário são validadas. Elas devem ser aprovadas pelo analista de negócios.

No final das iterações, são feitas as reuniões “semanais”, com a participação de todas as equipes do laboratório, e preferencialmente com todos ao mesmo tempo. Nessa reunião, é relatado tudo o que foi realizado, se ocorre algum problema no andamento das atividades e o que será desenvolvido na próxima semana. Também nesta reunião, o gerente de projeto divulga os resultados das métricas coletadas referente ao tempo de dedicação de cada colaborador e às métricas de desempenho quanto ao cumprimento das atividades realizadas. Todos os envolvidos podem promover a discussão dos resultados apresentados e sugerir melhorias no processo.

O desenvolvimento de um projeto se inicia com as histórias de usuário e cenários de teste, enquanto o engenheiro de *software* implementa a história de usuário e o testador desenvolve os testes para as histórias do usuário. Há uma comunicação constante entre os envolvidos, analisando os relatórios de teste, discutindo os resultados e implementando melhorias. A Figura 9, a seguir, demonstra o processo de desenvolvimento que reúne práticas de projeto, codificação e testes intercaladas. Existem estudos em andamento para identificar melhorias no processo de teste atual do laboratório, integrando métodos ágeis em sua composição.

Figura 9 – Processo de Desenvolvimento *Mobile* BOPE

Fonte: Adaptado de Laboratório iMobilis (2017)

Com a conclusão das histórias de usuário, o projeto está pronto para ser encerrado. Se isso não ocorrer, uma nova *sprint* será iniciada em uma reunião de planejamento (PEREIRA, 2014).



## 4.2 Metodologia

Inicialmente, o estudo de caso planejado envolvia a aplicação das ferramentas encontradas, descritas na Seção 3, no processo de desenvolvimento de *software* do laboratório. Seria uma excelente abordagem para se buscar um melhor entendimento das dificuldades concretas enfrentadas pelos desenvolvedores no tratamento da eficiência energética das aplicações desenvolvidas no iMobilis. Por outro lado, seriam compreendidas as barreiras para o uso das ferramentas identificadas, possibilitando a visualização de caminhos futuros de melhoria. Infelizmente, foi necessária a mudança do estudo de caso inicial, visto que não foi permitida a utilização das aplicações móveis desenvolvidas pelo laboratório.

Com isso, para dar prosseguimento ao estudo de caso, foi utilizada a metodologia de pesquisa por meio de entrevistas. Segundo Wohlin *et al.* (2012), as pesquisas têm a capacidade de fornecer um grande número de variáveis para avaliar, mas é necessário procurar obter a maior quantidade de compreensão a partir do menor número de variáveis, uma vez que esta redução também facilita o trabalho de coleta e análise de dados. O caráter da pesquisa é exploratório, para ser feito um pré-estudo para uma investigação mais completa ao final.

Para a coleta de dados foi concebido um questionário, conforme pode ser visto no Apêndice A. O questionário engloba questões referentes aos conhecimentos, ferramentas e/ou métodos utilizados, experiências vividas, execução de testes, em relação à eficiência energética. As informações coletadas foram organizadas para serem tratadas de forma qualitativa. Os questionários foram fornecidos em papel e entregue a 6 desenvolvedores do laboratório. Ressalta-se que todas as questões levantadas no questionário tinham por principal objetivo averiguar como a eficiência energética é tratada pelos desenvolvedores em suas aplicações.

Foram selecionados alguns projetos do laboratório iMobilis para o estudo, sendo todos envolvendo o desenvolvimento de aplicativos móveis. O escopo dos projetos selecionados faz parte do contexto de Cidades Inteligentes e Indústria 4.0. O conceito de Cidades Inteligentes, se define pelo uso da tecnologia para melhorar a infraestrutura urbana e tornar os centros urbanos mais eficientes e melhores de se viver. A Indústria 4.0 é um conceito de indústria que engloba as principais inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. A partir de Sistemas Cyber-Físicos, Internet das Coisas e Internet dos Serviços, os processos de produção tendem a se tornar cada vez mais eficientes, autônomos e customizáveis.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por meio do questionário utilizado na entrevista de cada desenvolvedor, foram levantadas informações que, de modo direto, identificavam como o laboratório iMobilis está envolvido com a eficiência energética. A partir das respostas recebidas em cada pergunta do questionário, serão mostrados gráficos com os resultados encontrados ao longo da apresentação dos resultados.

O Gráfico 1, a seguir, é referente à pergunta 1 do questionário. O propósito era identificar se os desenvolvedores já tiveram contato com o tema eficiência energética de aplicativos móveis. Somente 33% do total de desenvolvedores entrevistados responderam “sim”, o que sugere que o tema não é muito difundido entre os desenvolvedores no iMobilis. Para ajudar nesse problema, treinamentos sobre o tema podem ser ministrados aos desenvolvedores, ressaltando a importância da busca pela maior eficiência no desenvolvimento de suas aplicações.

Gráfico 1 - Pergunta 1, referente ao conhecimento em relação à eficiência energética



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4, a seguir, refere-se à pergunta 2 do questionário. Uma lista de *bugs* relacionados ao consumo energético mais comuns foi construída, a partir de diversas referências utilizadas no trabalho em questão. Os desenvolvedores então deveriam escolher quais desses *bugs* já geraram problemas nas aplicações que desenvolvem. Pode-se inferir que o *bug* mais comum entre os desenvolvedores é o item D, o alto uso de CPU. Logo em seguida, o item V, drenagem anormal de bateria, foi o outro *bug* mais respondido.

Tabela 4 - Pergunta 2, referente a *bugs* que já geraram problemas em suas aplicações

Item	Descrição do <i>Bug</i>	Número de Ocorrências
A	Subutilização de dados sensoriais	1
B	Utilização de recursos desnecessários	2
C	Alto uso de GPU	0
D	Alto uso de CPU	5
E	Sincronização excessiva	1
F	GPS defeituoso	1
G	Alto uso de memória	1
H	Tráfego WiFi ou dados móveis	2
I	Atividade desnecessária em segundo plano	2
J	Leitura/Escrita em SD	0
K	Anúncios	0
L	Tráfego em redes móveis (3G/4G)	1
M	Tráfego <i>Bluetooth</i>	1

N	<i>Wakelocks</i>	1
O	Sensores ausentes	1
P	<i>Display</i> bloqueado ou atividade do <i>display</i> desnecessária	1
Q	Problemas em sincronização	1
R	Vibração desnecessária	0
S	Uso da câmera	1
T	Uso do <i>flash</i> da câmera	0
U	Erros na desativação de sensores	1
V	Drenagem anormal da bateria	3
W	Programação pesada de computação	2
X	Iniciar/Reiniciar automaticamente em segundo plano	0

---

Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 2 a seguir refere-se à pergunta 3 do questionário. O intuito dessa pergunta é descobrir se há ferramentas e/ou métodos de apoio para tratamento da eficiência energética de aplicativos móveis para os desenvolvedores. 67% dos respondentes disseram que não possuem ferramentas e/ou métodos para tratar esse requisito não funcional em suas aplicações. Os que responderam “sim”, deveriam ainda responder qual era o apoio oferecido, o que não ficou muito claro nas respostas encontradas.

Gráfico 2 - Pergunta 3, referente à disponibilidade de ferramentas e/ou métodos de apoio



Fonte: Elaborado pelo autor

A pergunta 4 do questionário tem o propósito de descobrir se algum *bug* relacionado à eficiência energética foi encontrado alguma vez pelos usuários/clientes de seu(s) aplicativo(s). Todos os desenvolvedores responderam “não”, ou seja, por mais que esses *bugs* se manifestem no desenvolvimento, de alguma forma são tratados pelos desenvolvedores.

A pergunta 5 do questionário tem por objetivo descobrir se os desenvolvedores já tiveram prejuízos de qualquer natureza decorrente de *bugs* de energia não tratados no desenvolvimento e/ou teste de seu(s) aplicativo(s). Todos os desenvolvedores responderam “não”. Essa pergunta está intimamente ligada à pergunta anterior, pois *bugs* encontrados pelos usuários/clientes podem gerar retrabalho para resolução, além de gerar uma certa desconfiança em relação à qualidade do aplicativo.

O Gráfico 3, a seguir, refere-se à pergunta 6 do questionário. O intuito dessa pergunta é saber se, atualmente, são realizados testes de consumo energético nas aplicações desenvolvidas no laboratório. 83% dos respondentes disseram não haver nenhum tipo de teste dessa natureza no seu dia a dia.

Gráfico 3 – Pergunta 6, referente à realização de testes de consumo energético



Fonte: Elaborado pelo autor

E por último, a pergunta 7 do questionário é opcional. Caso acontecesse de algum ponto adicional não tratado nas questões anteriores que foram apresentadas, o desenvolvedor estaria livre para fazer qualquer tipo de comentário adicional pertinente ao contexto. Somente 1 dos 6 entrevistados fez um comentário adicional, referindo-se aos testes oferecidos pelo *Android Device Monitor*<sup>6</sup> e *profiling*<sup>7</sup>, ressaltando sua utilidade nos testes dos seus aplicativos. Essas alternativas citadas pelo respondente estão disponíveis na documentação do site *Android Developers*<sup>8</sup>, que pode se tornar mais uma opção de utilização além das ferramentas encontradas no trabalho, para auxiliar os desenvolvedores do laboratório iMobilis no tratamento da eficiência energética de aplicativos móveis.

As ferramentas encontradas no estudo, descritas na Seção 3, podem ser utilizadas também como ferramentas de apoio no desenvolvimento de aplicações móveis no laboratório iMobilis. Como o processo BOPE tem características de metodologias ágeis, em cada *sprint* poderá ser adaptado o uso dessas ferramentas para ajudar os desenvolvedores a tratar desse problema. As ferramentas podem ser aplicadas simultaneamente ou separadamente.

A ferramenta *GreenDroid*, por exemplo, pode ser utilizada para encontrar os *bugs* energéticos que são difíceis de serem percebidos em técnicas de testes mais comuns. Como a cada *sprint* são acrescentadas novas funcionalidades, a ferramenta AEON poderá também ser útil. Novas funcionalidades podem acarretar em gastos adicionais de energia, já que mais

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://goo.gl/Rt7p8d>>. Acesso em: 20 Jul 2017.

<sup>7</sup> Disponível em: <<https://goo.gl/uEMgY3>>. Acesso em: 20 Jul 2017.

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://goo.gl/ZLBe9w>>. Acesso em: 27 Jul 2017.

energia será demandada para o código adicional inserido no incremento da aplicação que foi gerado na *sprint* anterior. O novo código da aplicação pode ser analisado pela ferramenta AEON e caso os resultados dos gastos de energia sejam maiores que o código gerado na *sprint* anterior, pode ser um indicativo de problemas de consumo de energia decorrente de funcionalidades acrescentadas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi realizado um levantamento de abordagens para o tratamento do consumo energético de aplicações móveis. A eficiência energética é, sem dúvida, um dos requisitos não funcionais mais importantes ao se levar em consideração o domínio dos aplicativos móveis. Por muitas vezes, ele não é tratado corretamente, pois a localização de problemas de consumo anormal de energia em aplicativos móveis não é uma tarefa fácil, necessitando de apoio ferramental adequado.

A maior dificuldade encontrada foi a falta de ferramentas disponíveis para o uso no estudo. Muitos dos artigos encontrados não disponibilizavam *links* para o *download* de seus métodos ou ferramentas, mesmo após contato com alguns autores. Isso limitaria ainda mais o leque de possibilidades de ferramentas de apoio para serem utilizadas no estudo.

Como limitação do trabalho, não foi disponibilizado nenhum aplicativo para avaliar a aplicabilidade das ferramentas ao contexto hoje inserido no laboratório iMobilis, que era o objetivo inicial do presente trabalho. Então, foi necessária a mudança na condução da metodologia inicial do estudo de caso proposto. Por meio de observações exploratórias no laboratório iMobilis foi possível entender o quanto está difundido o tema com os desenvolvedores inseridos em seu contexto.

A falta de conhecimento desse tema entre os desenvolvedores no iMobilis contribui, de certa forma, para o tratamento inadequado da eficiência energética no desenvolvimento das aplicações. Outro problema identificado no iMobilis, foi a não realização de testes de consumo energético de suas aplicações, o que pode contribuir em problemas posteriormente. Ficou claro que ainda é necessário mais esforço para que essa prática seja melhor difundida no laboratório.

Portanto, o objetivo geral do trabalho, que é o levantamento de abordagens para a análise do consumo de energia de aplicações móveis aplicáveis ao contexto do Laboratório iMobilis, foi alcançado.

No entanto, como observado, o trabalho possui algumas limitações que retardam a aplicabilidade das ferramentas propostas. Como não houve a realização de um estudo de caso envolvendo a utilização das ferramentas, não foi possível inferir se de fato as mesmas podem ser eficazes no tratamento da eficiência energética das aplicações desenvolvidas no iMobilis. Ademais, a proposta de um método e sua subsequente avaliação, conforme os objetivos específicos iniciais (Seção 1.2.2), ficaram restritos à uma discussão em alto nível, conforme os últimos parágrafos do Capítulo 5.

Para possíveis trabalhos futuros, podem haver estudos para a possível utilização das ferramentas em algum outro contexto. Como relatado por muitos dos entrevistados do



iMobilis, não são conhecidas ferramentas de apoio para tratar da eficiência energética de suas aplicações. Além disso, o estudo pode ser estendido para outros laboratórios acadêmicos e empresas reais, visto que esse problema poderá ser comum em outros contextos.

Como extensão do estudo inicial, a discussão da análise de consumo de energia em relação ao tempo de vida das baterias dos dispositivos poderá ser válida. Todas as referências encontradas levam em consideração condições ideais de funcionamento das baterias, e pode ser que isso também poderá influenciar na eficiência energética das aplicações móveis.

Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir para uma melhor reflexão sobre a importância da eficiência energética no desenvolvimento de aplicações móveis, além de demonstrar para os desenvolvedores a existência de ferramentas gratuitas que podem auxiliar na detecção de consumo anormal de bateria.

## Referências

- CARVALHO, S. A. L. **MDEM: Um ambiente para avaliação do consumo de energia em multidispositivos baseado na web.** Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- COTA, M. A. **Gamificando um processo de software em um laboratório de pesquisa e desenvolvimento.** Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA), Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2016.
- DING, F., XIA, F., ZHANG, W., ZHAO, X. and MA, C. **Monitoring Energy Consumption of Smartphones.** 2011 International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing.
- HINDLE, A. **Green software engineering: The curse of methodology.** IEEE 23rd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering, 2016.
- KNOTT, D. How to test energy consumption on Android devices. Disponível em: <<https://goo.gl/1xqd7E>>. Acesso em: 22 Ago 2017.
- LI, D., HAO, S., HALFOND, W. G. J. and GOVINDAN, R. **Calculating Source Line Level Energy Information for Android Applications.** The 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications (GreenCom 2013), IEEE Computer Society, 2013, pages 134-141.
- LI, Q., XU, C., LIU, Y., CAO, C., MA, X. and LU, J. **CyanDroid: Stable and Effective Energy Inefficiency Diagnosis for Android Apps.** Science China Press and Springer-Verlag, Berlin, 2016.
- LIU, Y., XU, C., CHEUNG, S. C., and LÜ, J. **GreenDroid: Automated diagnosis of energy inefficiency for smartphone applications.** IEEE Transactions on Software Engineering, 2014.
- LJUNG, P. **Opportunities for Energy Savings in Mobile Devices.** 2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications.
- MACMAGAZINE. Por que diabos ninguém resolve o problema de bateria nos smartphones? Disponível em: <<https://goo.gl/E9HG7j>>. Acesso em: 18 Fev 2017.
- MAGALHÃES, F. H. S. **ECODroid: Uma ferramenta para monitoramento de consumo de energia em aplicativos Android.** Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PEREIRA, I. M. **Desenvolvendo software inovador em universidades públicas: Adaptando processos ágeis para a realidade de laboratórios de pesquisa e desenvolvimento.** 63 f. Mestrado (Ciência da Computação) – Programa de Pós Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2014.

NETO, J. R. M. **Modelagem e análise de desempenho e consumo de energia em aplicações móveis.** Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

PANG, C., HINDLE, A., ADAMS, B., and HASSAN, A. E. **What do programmers about software energy consumption?** IEEE Software, 2016, pages 83–89.

QUALCOMM (2017). Trepan Power Profiler. Disponível em: <<https://goo.gl/6QKeHZr>>. Acesso em: 5 Jun 2017

SAMUDIO, D. G. AEON - Automated Android Energy-Efficiency InspectiON. Disponível em:<<https://goo.gl/5Ud9jR>>. Acesso em: 10 Jan 2017.

WANG, C., YAN, F., GUO, Y. and CHEN, X. **Power Estimation for Mobile Applications with Profile-Driven Battery Traces.** 2013 International Symposium on Low Power Electronics and Design, pages 120-125.

WANG, J., WU, G., WU, X. and WEI, J. **Detect and optimize the energy consumption of mobile app through static analysis: an initial research.** Fourth Asia-Pacific Symposium on Internetware, Article No. 22, 2012.

WILKE, C., RICHLY, S., GÖTZ, S., PIECHNICK, C. and ARMANN, U. **Energy Consumption and Efficiency in Mobile Applications: A User Feedback Study.** The 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications (GreenCom 2013), IEEE Computer Society, 2013, pages 134-141.

WOHLIN, C., RUNESON, P. HÖST, M., OHLSSON, M. C., REGNELL, B., and WESSLÉN, A. **Experimentation in Software Engineering.** Berlin: Springer-Verlag, 2012.

## APÊNDICE A – Questionário sobre Eficiência Energética de Aplicativos Móveis

1. A eficiência energética é um tema muito relevante ultimamente, visto que os aplicativos móveis estão cada vez mais demandando mais energia para funcionarem, e com isso as baterias atuais estão limitadas. Você já teve conhecimento desse tema alguma vez? Se sim, diga quais foram as suas fontes de informação.

a) ( ) Não.

b) ( ) Sim. R.:

---



---



---



---

2. Dentre entre os *bugs* relacionados ao consumo energético mais comuns listados abaixo, provenientes de artigos da literatura, marque os *bugs* que já geraram problemas em suas aplicações:

a) ( ) Subutilização de dados sensoriais.

n) ( ) *Wakelocks*.

b) ( ) Utilização de recursos desnecessários.

o) ( ) Sensores ausentes.

c) ( ) Alto uso de GPU.

p) ( ) *Display* bloqueado ou atividade do *display* desnecessária.

d) ( ) Alto uso de CPU.

q) ( ) Problemas em sincronização.

e) ( ) Sincronização excessiva.

r) ( ) Vibração desnecessária.

f) ( ) GPS defeituoso.

s) ( ) Uso da câmera.

g) ( ) Alto uso de memória.

t) ( ) Uso do *flash* da câmera.

h) ( ) Tráfego Wi-Fi ou dados móveis.

u) ( ) Erros na desativação de sensores.

i) ( ) Atividade desnecessária em segundo plano.

v) ( ) Drenagem anormal da bateria.

j) ( ) Leitura/Escrita em SD.

w) ( ) Programação pesada de computação.

k) ( ) Anúncios.

x) ( ) Iniciar/Reiniciar automaticamente em segundo plano.

l) ( ) Tráfego em redes móveis (3G/4G).

m) ( ) Tráfego *Bluetooth*.

3. A sua equipe conta com ferramentas e/ou métodos de apoio? Se sim, quais?

a) ( ) Não.

b) ( ) Sim. R.:

---

---

---

---

---

**4. Já aconteceu de algum *bug* relacionado à energia ser encontrado pelos usuários/clientes de seu(s) aplicativo(s)? Se sim, quantas vezes?**

- a) (  ) Sim. R.: \_\_\_\_\_ vezes.
- b) (  ) Não.

**5. Houve algum prejuízo de qualquer natureza decorrente de *bugs* de energia não tratados no desenvolvimento e/ou teste?**

- a) (  ) Sim.
- b) (  ) Não.

**6. São feitos testes de consumo energético hoje das aplicações desenvolvidas no laboratório? Se sim, explique brevemente como são realizados.**

- a) (  ) Não.
- b) (  ) Sim. R.:

---

---

---

---

---

**7. Se há algum ponto adicional que não foi tratado nas questões anteriores, sinta-se livre para realizar comentários adicionais:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## APÊNDICE B – Listagem de Artigos Selecionados Classificados como Ferramentas

Tabela 5 – Listagem de Artigos Selecionados Classificados como Ferramentas

Nome do Artigo	Ano de Publicação	Link do Artigo
<i>CyanDroid: Stable and Effective Energy Inefficiency Diagnosis for Android Apps</i>	2016	<a href="https://goo.gl/fFNcND">https://goo.gl/fFNcND</a>
<i>E-GreenDroid: Effective Energy Inefficiency Analysis for Android Applications</i>	2016	<a href="https://goo.gl/JyCVA5">https://goo.gl/JyCVA5</a>
<i>ECODroid: Uma ferramenta para monitoramento de consumo de energia em aplicativos Android</i>	2015	<a href="https://goo.gl/fdKJmQ">https://goo.gl/fdKJmQ</a>
<i>GreenDroid: A Tool for Analysing Power Consumption in the Android Ecosystem</i>	2015	<a href="https://goo.gl/J52yUX">https://goo.gl/J52yUX</a>
<i>ZigBee-Assisted Power Saving Management for Mobile Devices</i>	2014	<a href="https://goo.gl/JQ3ckB">https://goo.gl/JQ3ckB</a>
<i>ADEL: An Automatic Detector of Energy Leaks for Smartphone Applications</i>	2012	<a href="https://goo.gl/Q7Yntm">https://goo.gl/Q7Yntm</a>
<i>Estimating Android Applications' CPU Energy Usage via Bytecode Profiling</i>	2012	<a href="https://goo.gl/oB3RHS">https://goo.gl/oB3RHS</a>
<i>Monitoring Energy Consumption of Smartphones</i>	2011	<a href="https://goo.gl/BYd5RQ">https://goo.gl/BYd5RQ</a>

Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE C - Listagem de Artigos Seleccionados Classificados como Métodos

Tabela 6 – Listagem de Artigos Seleccionados Classificados como Métodos

Nome do Artigo	Ano de Publicação	Link do Artigo
<i>Automated Re-factoring of Android Apps to Enhance Energy-efficiency</i>	2016	<a href="https://goo.gl/5vUm3o">https://goo.gl/5vUm3o</a>
<i>Battery-Aware Transformations in Mobile Applications</i>	2016	<a href="https://goo.gl/3kvBQg">https://goo.gl/3kvBQg</a>
<i>Debugging Energy-efficiency Related Field Failures in Mobile Apps</i>	2016	<a href="https://goo.gl/vxocwU">https://goo.gl/vxocwU</a>
<i>Lightweight Method-level Energy Consumption Estimation for Android Applications</i>	2016	<a href="https://goo.gl/k2ur9i">https://goo.gl/k2ur9i</a>
<i>A Computing Profiling Procedure for Mobile Developers to Estimate Energy Cost</i>	2015	<a href="https://goo.gl/AJLemw">https://goo.gl/AJLemw</a>
<i>A Framework for Detecting Energy Bugs in Smartphones</i>	2015	<a href="https://goo.gl/Lm3iTh">https://goo.gl/Lm3iTh</a>
<i>Energy-Efficiency Comparison of Mobile Platforms and Applications: A Quantitative Approach</i>	2015	<a href="https://goo.gl/so24Fn">https://goo.gl/so24Fn</a>
<i>Fixing Sensor-Related Energy Bugs through Automated Sensing Policy Instrumentation</i>	2015	<a href="https://goo.gl/PpH2QJ">https://goo.gl/PpH2QJ</a>
<i>Modeling, Profiling, and Debugging the Energy Consumption of Mobile Devices</i>	2015	<a href="https://goo.gl/kcNBGV">https://goo.gl/kcNBGV</a>
<i>Refactoring for Energy Efficiency: A Reflection on the State of the Art</i>	2015	<a href="https://goo.gl/bppMj9">https://goo.gl/bppMj9</a>

<i>The Missing Numerator: Toward a Value Measure for Smartphone Apps</i>	2015	<a href="https://goo.gl/Dnyv2b">https://goo.gl/Dnyv2b</a>
<i>A Power Consumption Benchmark for Reasoners on Mobile Devices</i>	2014	<a href="https://goo.gl/vF8rnD">https://goo.gl/vF8rnD</a>
<i>APE: An Annotation Language and Middleware for Energy-Efficient Mobile Application Development</i>	2014	<a href="https://goo.gl/dzhzNm">https://goo.gl/dzhzNm</a>
<i>Detecting Energy Bugs and Hotspots in Mobile Apps</i>	2014	<a href="https://goo.gl/4Va9L4">https://goo.gl/4Va9L4</a>
<i>Mining Energy Traces to Aid in Software Development: An Empirical Case Study</i>	2014	<a href="https://goo.gl/JuU95a">https://goo.gl/JuU95a</a>
<i>Reducing Energy Consumption of Smartphones Using User-Perceived Response Time Analysis</i>	2014	<a href="https://goo.gl/U17n4f">https://goo.gl/U17n4f</a>
<i>A Method for Characterizing Energy Consumption in Android Smartphones</i>	2013	<a href="https://goo.gl/3mHPFd">https://goo.gl/3mHPFd</a>
<i>An Environment for Automated Power Measurements on Mobile Computing Platforms</i>	2013	<a href="https://goo.gl/k8BHxE">https://goo.gl/k8BHxE</a>
<i>Calculating Source Line Level Energy Information for Android Applications</i>	2013	<a href="https://goo.gl/35pE61">https://goo.gl/35pE61</a>
<i>Estimating Mobile Application Energy Consumption using Program Analysis</i>	2013	<a href="https://goo.gl/jrM35U">https://goo.gl/jrM35U</a>
<i>Estimation of Energy Consumption for Mobile Software using UML State Machine Diagram</i>	2013	<a href="https://goo.gl/RmRPe6">https://goo.gl/RmRPe6</a>
<i>Methods For Measurement Of Energy Consumption In Mobile Devices</i>	2013	<a href="https://goo.gl/bohaxM">https://goo.gl/bohaxM</a>
<i>Power Estimation for Mobile Applications with Profile-Driven Battery Traces</i>	2013	<a href="https://goo.gl/xg83LA">https://goo.gl/xg83LA</a>



<i>A Methodology for Energy Performance Testing of Smartphone Applications</i>	2012	<a href="https://goo.gl/BKS5Ae">https://goo.gl/BKS5Ae</a>
<i>Detect and optimize the energy consumption of mobile app through static analysis: an initial research</i>	2012	<a href="https://goo.gl/Z9z5XP">https://goo.gl/Z9z5XP</a>
<i>Efficient Energy Consumption's Measurement on Android Devices</i>	2012	<a href="https://goo.gl/6VWRQJ">https://goo.gl/6VWRQJ</a>
<i>A Methodology for Selecting Experiments to Measure Energy Costs in Smartphones</i>	2011	<a href="https://goo.gl/t6mHJh">https://goo.gl/t6mHJh</a>
<i>Energy Consumption Analysis and Adaptive Energy Saving Solutions for Mobile Device Applications</i>	2011	<a href="https://goo.gl/nvKqEQ">https://goo.gl/nvKqEQ</a>
<i>Selection and Execution of User Level Test Cases for Energy Cost Evaluation of Smartphones</i>	2011	<a href="https://goo.gl/zzNxTL">https://goo.gl/zzNxTL</a>

---

Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE D - Listagem de Artigos Seleccionados Classificados como Outros

Tabela 7 – Listagem de Artigos Seleccionados Classificados como Outros

Nome do Artigo	Ano de Publicação	Link do Artigo
<i>Automated Interpretation for Smartphone Applications</i>	2016	<a href="https://goo.gl/eitboU">https://goo.gl/eitboU</a>
<i>Automated Test Generation for Detection of Leaks in Android Applications</i>	2016	<a href="https://goo.gl/cyBv5B">https://goo.gl/cyBv5B</a>
<i>Static Detection of Energy Defect Patterns in Android Applications</i>	2016	<a href="https://goo.gl/ssgAkY">https://goo.gl/ssgAkY</a>
<i>Assessing Performance and Energy Consumption in Mobile Applications</i>	2015	<a href="https://goo.gl/m8mUki">https://goo.gl/m8mUki</a>
<i>Automated Energy Problem Diagnosis In Android Applications</i>	2015	<a href="https://goo.gl/xCF7yw">https://goo.gl/xCF7yw</a>
<i>Improving Energy Consumption in Android Apps</i>	2015	<a href="https://goo.gl/bBpNSo">https://goo.gl/bBpNSo</a>
<i>Optimization in Power Usage of Smartphones</i>	2015	<a href="https://goo.gl/cochq7">https://goo.gl/cochq7</a>
<i>Optimizing Energy Consumption of GUIs in Android Apps: A Multi-objective Approach</i>	2015	<a href="https://goo.gl/6feGUW">https://goo.gl/6feGUW</a>
<i>Runtime verification of expected Energy Consumption in smartphones</i>	2015	<a href="https://goo.gl/Cix2s4">https://goo.gl/Cix2s4</a>
<i>Toward using Software Metrics as Indicator to Measure Power Consumption of Mobile Application: A Case Study</i>	2015	<a href="https://goo.gl/t5hAFv">https://goo.gl/t5hAFv</a>
<i>An Empirical Study of the Energy Consumption of Android Applications</i>	2014	<a href="https://goo.gl/3dvJKP">https://goo.gl/3dvJKP</a>

<i>An Investigation into Energy-Saving Programming Practices for Android Smartphone App Development</i>	2014	<a href="https://goo.gl/oxQzHD">https://goo.gl/oxQzHD</a>
<i>Can Execution Time Describe Accurately the Energy Consumption of Mobile Apps? An Experiment in Android</i>	2014	<a href="https://goo.gl/f8vrXp">https://goo.gl/f8vrXp</a>
<i>Energy Optimization in Android Applications through Wakelock Placement</i>	2014	<a href="https://goo.gl/T2avzr">https://goo.gl/T2avzr</a>
<i>How Do Code Refactorings Affect Energy Usage?</i>	2014	<a href="https://goo.gl/6neSYw">https://goo.gl/6neSYw</a>
<i>Mining Energy-Greedy API Usage Patterns in Android Apps: An Empirical Study</i>	2014	<a href="https://goo.gl/mNxxwSZ">https://goo.gl/mNxxwSZ</a>
<i>Model-based Energy Consumption Prediction for Mobile Applications</i>	2014	<a href="https://goo.gl/xgttck">https://goo.gl/xgttck</a>
<i>Understanding energy consumption</i>	2014	<a href="https://goo.gl/xwimxj">https://goo.gl/xwimxj</a>
<i>Energy Consumption and Efficiency in Mobile Applications: A User Feedback Study</i>	2013	<a href="https://goo.gl/AWWXSG">https://goo.gl/AWWXSG</a>
<i>Framework for Automated Power Estimation of Android Applications</i>	2013	<a href="https://goo.gl/x4WBW5">https://goo.gl/x4WBW5</a>
<i>Reducing the Energy Consumption of Mobile Applications Behind the Scenes</i>	2013	<a href="https://goo.gl/T9Q4pY">https://goo.gl/T9Q4pY</a>
<i>Where Has My Battery Gone? Finding Sensor Related Energy Black Holes in Smartphone Applications</i>	2013	<a href="https://goo.gl/5xu3Hb">https://goo.gl/5xu3Hb</a>
<i>Why Application Errors Drain Battery Easily? A Study of Memory Leaks in Smartphone Apps</i>	2013	<a href="https://goo.gl/Gmek6a">https://goo.gl/Gmek6a</a>
<i>A Measurement study for Transmission Energy on Mobile Device</i>	2012	<a href="https://goo.gl/FTFMxu">https://goo.gl/FTFMxu</a>

<i>An Empirical Approach to Smartphone Energy Level Prediction</i>	2011	<a href="https://goo.gl/ED4KeW">https://goo.gl/ED4KeW</a>
<i>Empowering Developers to Estimate App Energy Consumption</i>	2012	<a href="https://goo.gl/hvwTxR">https://goo.gl/hvwTxR</a>
<i>Energy Types</i>	2012	<a href="https://goo.gl/8axUTK">https://goo.gl/8axUTK</a>
<i>Greening Software with Continuous Energy Efficiency Measurement</i>	2012	<a href="https://goo.gl/jAuF9y">https://goo.gl/jAuF9y</a>
<i>Mobile Application and Device Power Usage Measurements</i>	2012	<a href="https://goo.gl/7gj8RN">https://goo.gl/7gj8RN</a>
<i>Opportunities for Energy Savings in Mobile Devices</i>	2011	<a href="https://goo.gl/et7CS1">https://goo.gl/et7CS1</a>
<i>The Software Perspective for Energy-Efficient Mobile Applications Development</i>	2012	<a href="https://goo.gl/4GxAzJ">https://goo.gl/4GxAzJ</a>
<i>What is keeping my phone awake? Characterizing and Detecting No-Sleep Energy Bugs in Smartphone Apps</i>	2012	<a href="https://goo.gl/SGGbrC">https://goo.gl/SGGbrC</a>
<i>Where is the energy spent inside my app? Fine Grained Energy Accounting on Smartphones with Eprof</i>	2012	<a href="https://goo.gl/FbsXVt">https://goo.gl/FbsXVt</a>

---

Fonte: Elaborado pelo autor