

**GUILHERME RODRIGUES E RODRIGUES**

# **SMARTPHONES E SUAS TECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Engenharia de São  
Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase  
em Eletrônica

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Ivan Nunes da Silva**

São Carlos

2009



## **Dedicatória**

À minha família, pelo incondicional carinho e incentivo mesmo nos piores momentos.

À meus amigos e irmãos que a vida me deu, pelo apoio e companheirismo.



## **Agradecimentos**

Ao Prof. Ivan Nunes da Silva, pela orientação, apoio e paciência.

Ao Prof. Jerson Barbosa de Vargas, pela amizade e orientação durante a graduação.

Aos funcionários desta Universidade, que tornaram possível a minha graduação



## Epígrafe

*“Sempre que você cria um dispositivo universal que faz todas as coisas para todas as pessoas, ele não faz bem nenhuma das coisas. Nosso futuro, acho, é um número de dispositivos especialistas que focam em uma coisa que melhorará as nossas vidas.”*

Martin Cooper,  
ex-engenheiro líder da equipe da Motorola que desenvolveu o primeiro telefone celular.

*"A afirmação de Martin Cooper vai ao contrário das tendências atuais, e não vejo nenhuma evidência particular para sugerir que a tendência de celulares mais 'universais' vai mudar de direção. Smartphones são muito mais do que os telefones simples - eles têm a capacidade e a flexibilidade de um computador. Desenvolvedores têm feito uso dessas capacidades, e continuarão a fazê-lo. O futuro das tecnologias está definitivamente nas mãos dos usuários - a grande maioria dos usuários tem sido historicamente relutante em aumentar o número muito pequeno de dispositivos que carregamos conosco".*

Dr. Jon Agar,  
professor de tecnologia na *University College of London*.





## Resumo

O avanço da ciência implicou profundas mudanças na vida do homem, cada vez mais dependente de dispositivos para o seu bem estar e entretenimento. E a grande quantidade de tecnologias gerou uma demanda pela convergência de todas em poucos aparelhos. Os *smartphones* consistem em uma solução para parte dessa demanda, com um único dispositivo que agrega funções de comunicação e processamento em geral.

Este trabalho apresenta uma introdução sobre os *smartphones* e suas principais funcionalidades através de uma visão geral do tema. A arquitetura dessa classe de celulares é comentada em tópicos que abordam elementos importantes relacionados ao seu funcionamento, aos seus dispositivos de comunicação e interface com o usuário. Outro tema abordado é a tecnologia do acesso móvel nos celulares e seus padrões de comunicação, cuja implementação permite que a web esteja presente com velocidade funcional e ampla abrangência. E todas essas funcionalidades são implementadas através do sistema operacional, também chamado de plataforma, que deve possuir forte relação com o hardware do aparelho.

Palavras chave: *Smartphone*, Celular, Processador, LCD, OLED, *Touchscreen*, *Bluetooth*, Wi-Fi, GPS, GSM, CDMA2000, UMTS, Sistema operacional.



## **Abstract**

Advances in science led to profound changes in human life, making humanity increasingly dependent on devices for comfort and entertainment. And this ammount of new technology created a demand for the convergence of all in a few devices. Smartphones consist of a solution to part of this demand, with a single device that combines communication and processing functions.

This paper presents an introduction to the smartphone and its main functionality through an overview of the topic. The architecture of this class of phones is commented on topics that address important elements related to its operation, communication devices and user interface. Another point is the access technology in mobile phones and communication standards, whose implementation allows the web to be accessible with functional speed and wide coverage. And all these features are implemented through the operating system, also called the platform, which should have a strong relationship with the device's hardware.

Keywords: Smartphone, Cellphone, Processor, LCD, OLED, Touchscreen, Bluetooth, Wi-Fi, GPS, GSM, CDMA2000, UMTS, Operating System.



## Lista de ilustrações

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Tecnologias atuais ARM e suas extensões (ARM).....  | 24 |
| Figura 2. Desempenho x densidade do código nos conjuntos de instrução ARM, <i>Thumb</i> e <i>Thumb-2</i> (ARM). ....  | 25 |
| Figura 3. Arquitetura do OMAP1710 (Texas Instrument). ....  | 26 |
| Figura 4. Arquitetura do Cortex-A9 MPCore (ARM). ....   | 27 |
| Figura 5. Relação entre consumo e desempenho do Cortex-A9 (ARM). ....   | 28 |
| Figura 6. Esquema do LCD (TEAC Australia). ....   | 29 |
| Figura 7. Funcionamento de um único <i>pixel</i> LCD TN-effect. Na esquerda ele está desligado permitindo a passagem da luz, enquanto que na direita, com uma tensão aplicada, ele bloqueia a luz (Takato, Hasegawa, Koden, Itoh, Hasegawa, & Sakamoto, 2005). .... | 30 |
| Figura 8. Estrutura do OLED (How Stuff Works). ....   | 31 |
| Figura 9. Estrutura do PMOLED (How Stuff Works). ....   | 32 |
| Figura 10. Estrutura do AMOLED (How Stuff Works). ....  | 32 |
| Figura 11. Estrutura e funcionamento de um <i>touchscreen</i> resistivo (ByREV Media). ..   | 33 |
| Figura 12. Estrutura e funcionamento do <i>touchscreen</i> capacitivo (Scientific American). ....   | 34 |
| Figura 13. Demonstração da funcionalidade do acelerômetro (Apple). ....   | 35 |
| Figura 14. Estrutura do acelerômetro (Scientific American). ....  | 35 |
| Figura 15. Estrutura de uma <i>piconet</i> (Labiod, Afifi, & Santis, 2007). ....  | 37 |
| Figura 16. Estrutura de uma <i>scatternet</i> (Labiod, Afifi, & Santis, 2007). ....   | 37 |
| Figura 17. Circuito de modulação GFSK (Labiod, Afifi, & Santis, 2007). ....   | 38 |
| Figura 18. <i>Hardware</i> e <i>software</i> do Bluetooth (Unicamp). ....   | 39 |
| Figura 19. Estados de um dispositivo na rede <i>Bluetooth</i> (Labiod, Afifi, & Santis, 2007). ....   | 41 |
| Figura 20. Selo de certificação Wi-Fi (Wi-Fi Alliance). ....  | 43 |
| Figura 21. Órbita dos satélites do GPS (Kaplan & Hegarty, 2006). ....   | 46 |
| Figura 22. Bases de monitoramento e antenas do GPS (Kaplan & Hegarty, 2006). ....   | 47 |
| Figura 23. Etapas para a trilateração do sinal GPS (Kaplan & Hegarty, 2006). ....   | 48 |
| Figura 24. Pacote de dados GPS e seus subpacotes e palavras (Kaplan & Hegarty, 2006). ....  | 49 |
| Figura 25. Esquemático da modulação do sinal GPS (Kaplan & Hegarty, 2006). ....   | 50 |
| Figura 26. Esquemático da demodulação do sinal GPS (Wikipedia). ....  | 50 |
| Figura 27. <i>Hardware</i> da câmera de um <i>smartphone</i> (Gadgetfolder). ....   | 52 |
| Figura 28. Sensor do tipo mosaico (Sigma Imaging). ....   | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 29. Sensor do tipo Foveon X3 (Sigma Imaging).....   | 53 |
| Figura 30. Foto do <i>flash</i> de xenônio em celulares (Explain That Stuff).....  | 53 |
| Figura 31. Comparação foto com <i>flash</i> LED (esquerda) e xenônio (direita) (ZOMG its CJ).....                              | 54 |
| Figura 32. Exemplo de teclado alfanumérico (Engadget).....   | 55 |
| Figura 33. Exemplo de teclado QWERTY (Engadget).....   | 55 |
| Figura 34. Exemplo de teclado <i>Suretype</i> (BlackBerry).....  | 55 |
| Figura 35. Gerações de celular e suas principais características (Kaarainen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005)..... | 57 |
| Figura 36. Tempo x frequência x intensidade do TDMA (Dolcera Wiki).....  | 58 |
| Figura 37. Estrutura do fluxo de dados TDMA (Wikipedia).....   | 58 |
| Figura 38. Tempo x frequência x intensidade do FDMA (Dolcera Wiki).....  | 59 |
| Figura 39. Frequências do GSM utilizadas ao redor do mundo (EbizFair). ....  | 61 |
| Figura 40. Tempo x frequência x intensidade do CDMA (Dolcera Wiki). ....   | 61 |
| Figura 41. Tempo x frequência do DS-CDMA (Kaarainen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005). ....                        | 63 |
| Figura 42. Interface gráfica do Symbian (Engadget). ....   | 66 |
| Figura 43. Interface gráfica do Windows Mobile (Engadget). ....  | 67 |
| Figura 44. Interface gráfica do iPhone OS (Engadget).....  | 68 |
| Figura 45. Interface gráfica do WebOS (Engadget). ....   | 69 |
| Figura 46. Interface gráfica do BlackBerry OS (Engadget).....  | 69 |
| Figura 47. Interface gráfica do Android (Gizmodo).....   | 70 |
| Figura 48. Interface gráfica do Maemo (Engadget). ....   | 71 |

## Lista de tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Famílias, arquiteturas e núcleo principais do ARM.....  | 23 |
| Tabela 2 - Classes do <i>Bluetooth</i> e suas características.....   | 36 |
| Tabela 3 - Modulações e taxa de dados do protocolo 802.11a. ....   | 43 |
| Tabela 4 - Modulações e taxa de dados do protocolo 802.11b. ....   | 44 |
| Tabela 5 - Modulações e taxa de dados do protocolo 802.11g. ....   | 44 |
| Tabela 6 - Número de conexões possíveis, modulações e taxa de dados do protocolo<br>802.11n.....   | 45 |
| Tabela 7 - Esquemas de codificação e velocidades de transmissão por slot do GPRS.<br>.....   | 59 |
| Tabela 8 - Esquemas de codificação e modulação e velocidades de transmissão por<br>slot do EDGE. ....  | 60 |
| Tabela 9- DRC, velocidade de transmissão total, modulação e revisão do EVDO. ....  | 62 |
| Tabela 10 - Vendas mundiais de <i>smartphones</i> no período do segundo quarto de 2008<br>e de 2009 e crescimento separado por sistema operacional. .... | 65 |





## Sumário

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Dedicatória .....            | iii  |
| Agradecimentos.....          | v    |
| Epígrafe.....                | vii  |
| Resumo .....                 | ix   |
| Abstract .....               | xi   |
| Lista de ilustrações .....   | xiii |
| Lista de tabelas.....        | xv   |
| Sumário .....                | xvii |
| 1 Introdução.....            | 19   |
| 2 Objetivo .....             | 21   |
| 3 Arquitetura .....          | 23   |
| 3.1 Processadores.....       | 23   |
| 3.2 Displays .....           | 28   |
| 3.2.1 LCD .....              | 28   |
| 3.2.2 OLED .....             | 31   |
| 3.2.3 Touchscreen.....       | 33   |
| 3.3 Acelerômetro .....       | 34   |
| 3.4 Bluetooth .....          | 35   |
| 3.5 Wi-Fi.....               | 42   |
| 3.6 GPS.....                 | 46   |
| 3.7 Câmeras.....             | 51   |
| 3.8 Métodos de escrita ..... | 54   |
| 4 Acesso Móvel .....         | 57   |
| 4.1 GSM .....                | 57   |
| 4.2 CDMA2000 .....           | 61   |
| 4.3 UMTS .....               | 62   |
| 5 Plataformas .....          | 65   |
| 5.1 Symbian .....            | 65   |
| 5.2 Windows Mobile .....     | 66   |
| 5.3 iPhone OS .....          | 67   |
| 5.4 WebOS.....               | 68   |
| 5.5 BlackBerry OS .....      | 69   |
| 5.6 Android .....            | 70   |
| 5.7 Maemo .....              | 71   |

|   |                   |    |
|---|-------------------|----|
| 6 | Conclusão.....    | 73 |
|   | Referências ..... | 75 |

## 1 Introdução

A definição da palavra *smartphone* é controversa, visto que os fabricantes de telefones não conseguem chegar a um consenso sobre o termo. A tradução literal, telefone inteligente, já não possui o mesmo significado de quando foi cunhado, separando celulares que no máximo possuíam uma limitada agenda telefônica de uma nova geração de aparelhos com diversas funcionalidades como calendários e jogos e também envio de mensagens.

Pelas funcionalidades disponíveis e diversas definições, podemos classificar os *smartphones* como dispositivos programáveis que convergem mobilidade e conectividade. De certo modo pode parecer vago, mas os constantes avanços tecnológicos impedem que seja possível a listagem de um conjunto único de características que definam o termo.

O texto segue uma estrutura que divide os *smartphones* em três elementos principais: arquitetura, tecnologias de acesso móvel e as plataformas utilizadas.



## 2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar uma visão introdutória sobre os *smartphones* e suas principais tecnologias. A motivação para este tema surgiu pelo interesse na convergência de tecnologias que o dispositivo apresenta, sendo muitas vezes um substituto para os aparelhos dedicados.

A separação adotada divide os *smartphones* em três principais grupos, e para atingir o objetivo os temas são abordados com uma visão mais direta, evitando a utilização de equacionamentos, para que a quantidade de assuntos abordados seja maior.

Espera-se que, ao final da leitura, seja possível uma compreensão geral sobre o tema e que instigue a procura por mais informações sobre os aspectos que mais interessem.



### 3 Arquitetura

#### 3.1 Processadores

Os *smartphones* demandam de alto desempenho e baixo consumo. Com raras exceções, os processadores utilizados nos celulares são *Advanced RISC Machine* (ARM), que utilizam arquitetura *Reduced Instruction Set Computer* (RISC) de 32 bits para garantir as características desejáveis. Desenvolvido por uma empresa britânica chamada *ARM Holdings*, o processador ARM não é fabricado por seu desenvolvedor, mas sim licenciado para diversas empresas, restando para a *ARM Holdings* a evolução da arquitetura com novas famílias de processadores, como a linha Cortex, utilizada em grande escala nos *smartphones* de última geração. Na Tabela 1 é possível ver algumas linhas mais atuais e ainda em aplicação (ARM).

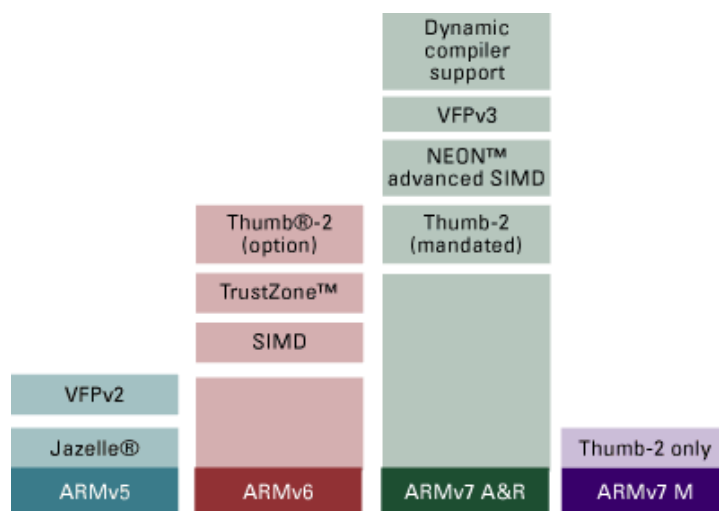
**Tabela 1 - Famílias, arquiteturas e núcleo principais do ARM.**

| Família  | Arquitetura | Núcleo            |
|----------|-------------|-------------------|
| ARM9TDMI | ARMv4T      | ARM9TDMI          |
|          |             | ARM920T           |
|          |             | ARM922T           |
|          |             | ARM940T           |
| ARM9E    | ARMv5TE     | ARM946E-S         |
|          |             | ARM966E-S         |
|          |             | ARM968E-S         |
|          | ARMv5TEJ    | ARM926EJ-S        |
| ARM10E   | ARMv5TE     | ARM996HS          |
|          | ARMv5TEJ    | ARM1020E          |
|          |             | ARM1022E          |
| ARM11    | ARMv6       | ARM1026EJ-S       |
|          | ARMv6T2     | ARM1136J(F)-S[17] |
|          | ARMv6KZ     | ARM1156T2(F)-S    |
|          | ARMv6K      | ARM1176JZ(F)-S    |
| Cortex   | ARMv7-A     | ARM11 MPCore      |
|          |             | Cortex-A5         |
|          |             | Cortex-A8         |
|          |             | Cortex-A9         |
|          |             | Cortex-A9 MPCore  |
|          | ARMv7-R     | Cortex-R4(F)      |
|          | ARMv7-M     | Cortex-M3         |
|          | ARMv6-M     | Cortex-M0         |
|          |             | Cortex-M1         |

(ARM)(Wikipedia)

Como já citado, os processadores ARM são RISC, uma arquitetura que apresenta conjunto reduzido de instruções que são mais simples e executadas em um tempo similar, quase sempre em um ciclo, já que possuem tamanhos fixos. Isso facilita a implementação do *pipeline*, onde simplificarmente significa a execução de diversas instruções ao mesmo tempo já que a CPU acessa instruções futuras da memória e copia para os registradores, sem necessidade de tantos acessos à memória. Todas essas instruções são processadas diretamente pelo hardware, não existindo microcódigo e agilizando a decodificação (Seal, 2001).

O conjunto de instruções ARM oferece suporte para arquiteturas de instruções 32 bits e 16 bits, além de suporte para Java e segurança utilizando de extensões que vem sendo adicionadas a cada nova arquitetura do processador, como mostrado na Figura 1 (ARM).

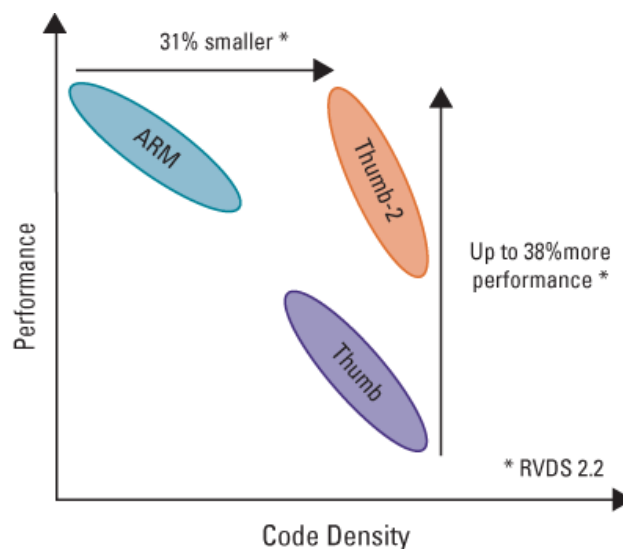


**Figura 1. Tecnologias atuais ARM e suas extensões (ARM).**

A extensão *Thumb* oferece as instruções mais utilizadas de 32 bits recodificadas para 16 bits visando implementações onde os barramentos de 16 bits são utilizados, oferecendo a utilização dos dois modelos de instruções simultaneamente. Já a versão *Thumb-2* aumentou a quantidade de instruções disponíveis e foi otimizada para aumentar a densidade do código ainda mais (ARM) (Seal, 2001).

Uma comparação entre os três conjuntos de instruções levando em consideração a relação entre o desempenho e a densidade do código pode ser vista na Figura 2.



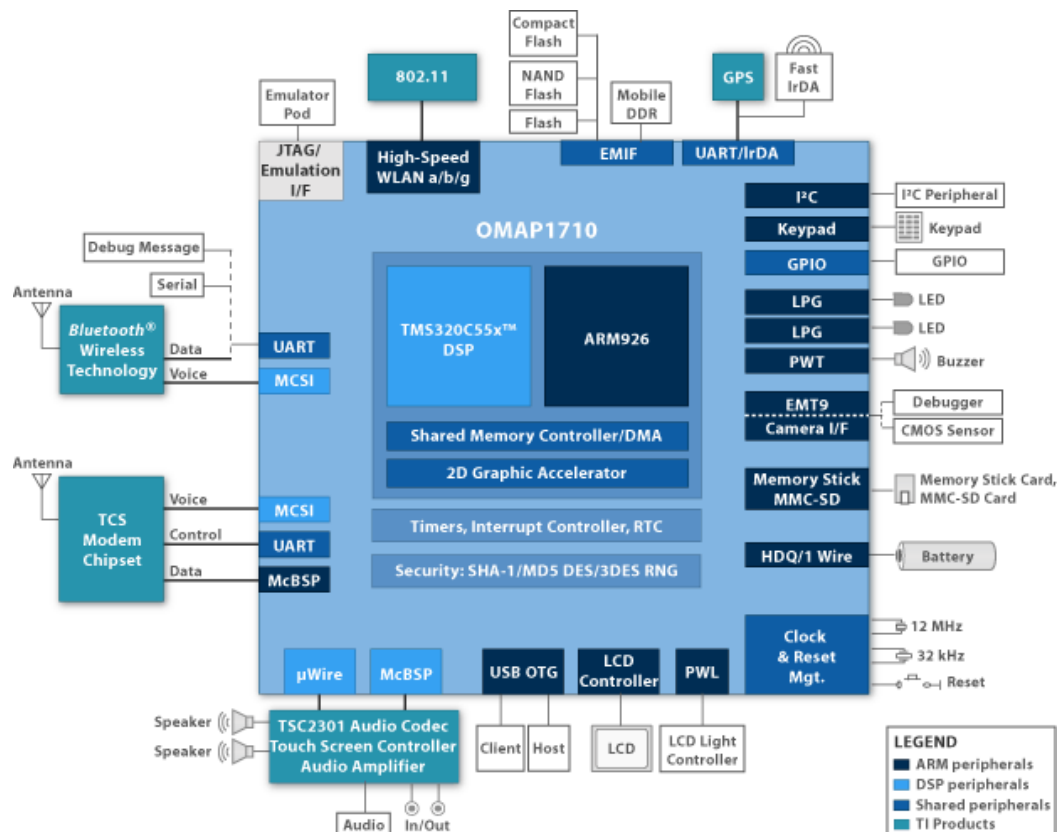


**Figura 2. Desempenho x densidade do código nos conjuntos de instrução ARM, Thumb e Thumb-2 (ARM).**

Jazelle é uma extensão voltada para o aumento do desempenho de aplicativos Java, que pode chegar a oito vezes maior se comparado com a execução somente por software. Já o *Vector Floating Point* (VFP) oferece um coprocessamento para cálculo de ponto flutuante de precisão simples ou dupla. O *TrustZone* é uma extensão de segurança que cria dois espaços de endereçamento separados impedindo que aplicações acessem a área de endereços marcada como segura. E a extensão NEON agiliza o processamento de conteúdo multimídia como decodificação de vídeos e gráficos 3D (ARM).

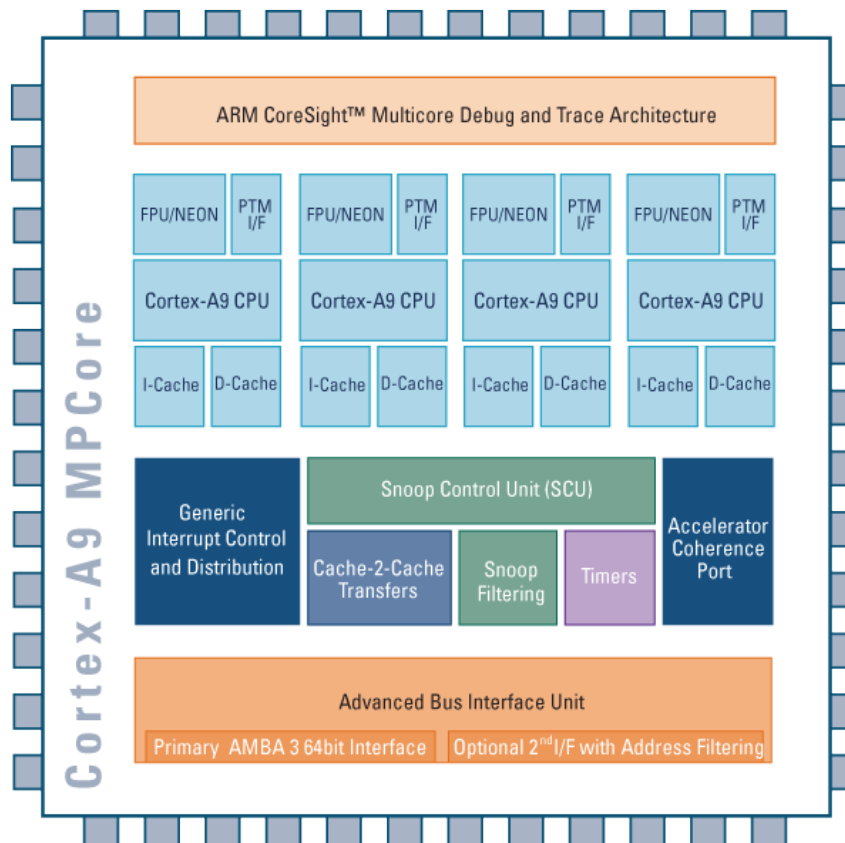
As limitações da velocidade dos processadores ARM, assim como qualquer outro, correspondem atualmente às questões de consumo e dissipação de calor, agravadas no caso dos *smartphones* por seu reduzido tamanho (Morimoto, 2009).

Inicialmente, a solução foi a implementação de um sistema semelhante a um coprocessador, chamado de dual CPU, onde o processador tem o auxílio de um chip para a realização de tarefas como o controle da rede 3G, que demanda um alto processamento para envio e recepção de dados (Morimoto, 2009), como no circuito integrado OMAP1710, fabricado pela *Texas Instrument* (TI) e que utiliza um núcleo TMS320C55xx DSP para coprocessamento. Sua arquitetura está na Figura 3.



**Figura 3. Arquitetura do OMAP1710 (Texas Instrument).**

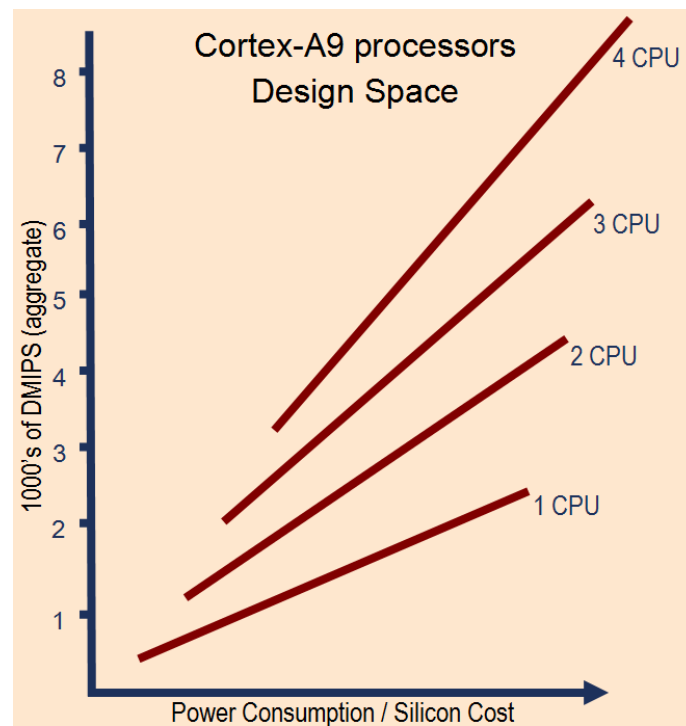
O próximo passo foi a implementação de um sistema multinúcleo, até agora representado pelo ARM Cortex-A9MPCore, onde o processador possui quatro núcleos com arquitetura ARMv7 cada. A arquitetura do sistema está na Figura 4. O controle da conexão, comunicação compartilhamento de memória *cache* e outros elementos referentes ao multinúcleo são responsabilidades da unidade *Snoop Control Unit* (SCU), desenvolvida para esse propósito, e isso reduz a complexidade dos sistemas operacionais para lidar com os diversos núcleos. A previsão é que os primeiros *smartphones* com processadores ARM Cortex-A9MPCore estejam no mercado em 2010 (ARM) (Morimoto, 2009).



**Figura 4. Arquitetura do Cortex-A9 MPCore (ARM).**

A grande vantagem do sistema multinúcleo é o fato que seu gerenciamento de energia é capaz de desativar os núcleos quando não necessários e a facilidade de alterar a frequência de operação dos mesmos, resultando em economia de energia e aumento de desempenho, visto que cada núcleo pode ficar encarregado de uma função, como executar músicas enquanto um outro executa o editor de texto.

A Figura 5 é um comparativo da relação entre performance e consumo de energia, sendo que a unidade *Dhrystone Microprocessor without Interlocked Pipeline* (DMIPS) é um *benchmark* sintético que determina o número de iterações de programa realizadas por segundo.



**Figura 5. Relação entre consumo e desempenho do Cortex-A9 (ARM).**

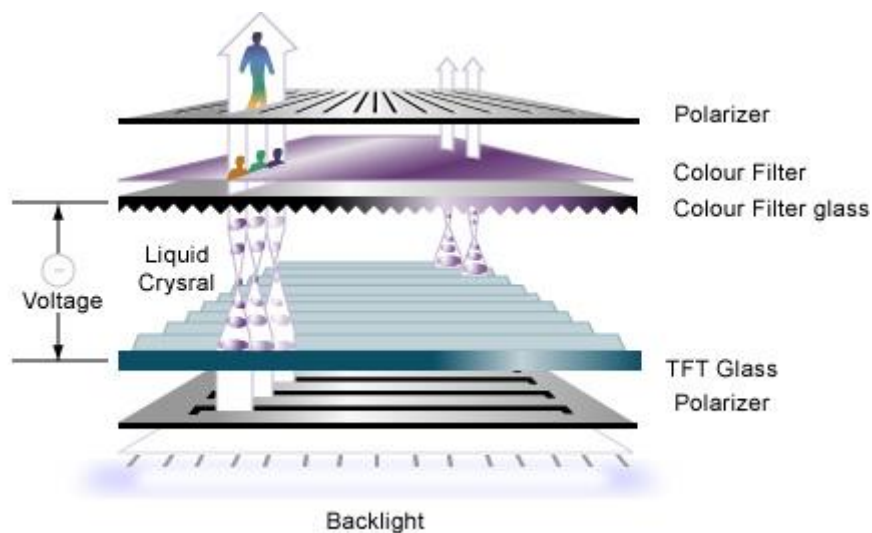
Em outra vertente está a Intel, que já trabalhou com processadores ARM anteriormente, mas decidiu desenvolver sua própria solução devido à alta competitividade e baixa lucratividade dos ARMs (Morimoto, 2009). Ao contrário do ARM, a Intel criou uma arquitetura com instruções completas de 32 bits, *Complex Instruction Set Computer* (CISC), a partir de sua linha *Atom*, voltada para *netbooks*. Mas a Intel enfrenta alguns problemas como o baixo desempenho de sua plataforma perante os ARMs e espera que com a tecnologia de fabricação de 32nm, no lugar dos 45nm do *Atom*, consiga uma boa relação de desempenho e baixo gasto de energia para competir efetivamente com o ARM (Morimoto, 2009). Outro trunfo é a compatibilidade da arquitetura escolhida com aplicações para computadores pessoais. A previsão é que em 2010 sejam lançados os primeiros celulares com a plataforma *Moorestown* de 32nm (Intel).

## 3.2 Displays

### 3.2.1 LCD

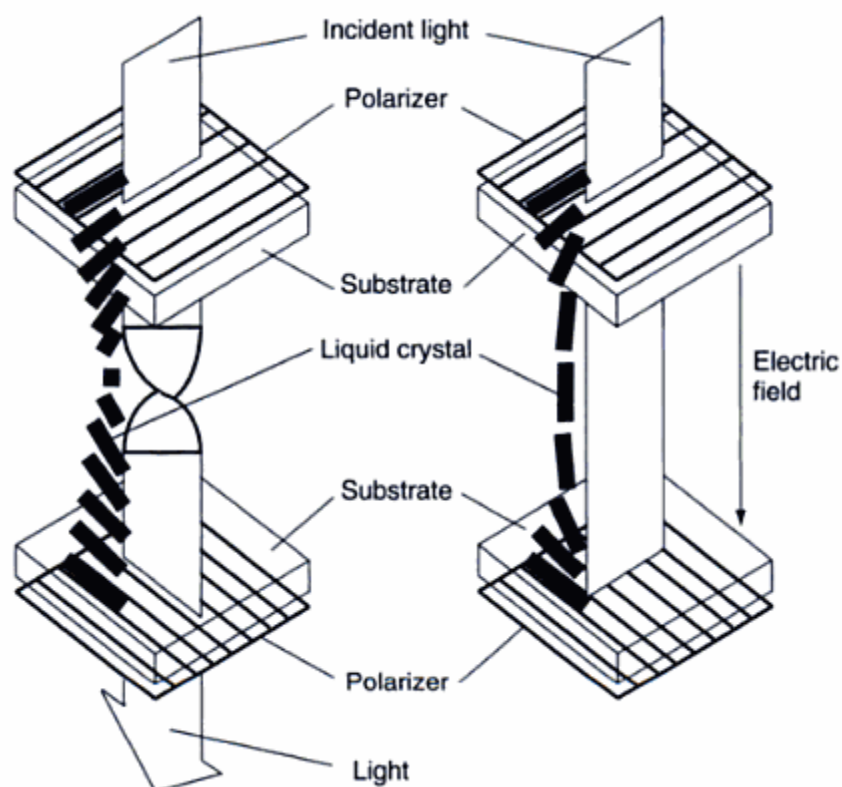
O *Liquid Crystal Display* (LCD), ou tela de cristal líquido, consiste em um líquido cuja característica é ser controlável eletricamente possibilitando a polarização da luz emitida através de uma fonte. Em suma, o LCD bloqueia determinados pontos de iluminação, permitindo que somente os *pixels* desejados sejam apresentados (Morimoto, 2009).

A constituição de um monitor LCD, ilustrada na Figura 6, utiliza dois materiais polarizadores com eixos perpendiculares (na disposição mais difundida), duas camadas de eletrodos cujo material, transparente, é o óxido de índio estanho que cercam o cristal líquido e uma fonte de luz chamada *backlight*, sendo que no caso dos *smartphones* é utilizado o *Light-Emitting Diode* (LED). Os LCDs coloridos possuem mais uma camada de filtros que criam *subpixels* com as três cores básicas: vermelho, verde e azul (Takato, Hasegawa, Koden, Itoh, Hasegawa, & Sakamoto, 2005) (Morimoto, 2009).



**Figura 6. Esquema do LCD (TEAC Australia).**

Para possibilitar o funcionamento do LCD é necessário que o estado natural do cristal líquido permita que a luz atravesse o sistema e isto ocorre devido ao *Twisted Nematics Effects* (TN-effect), onde as moléculas são alinhadas com um tipo de ranhura nos vidros dos polarizadores que seguem a direção da polarização, mas como as ranhuras são perpendiculares cria-se uma disposição helicoidal das moléculas de cristal líquido. Quando existe a necessidade de bloquear a luz em determinado *pixel* os eletrodos são energizados e o campo resultante causa o realinhamento dos cristais na direção dele, desmontando o helicóide e impedindo que as moléculas polarizem a luz, como ilustrado na Figura 7. A opacidade do *pixel* é proporcional à tensão aplicada pelos eletrodos e o consequente rearranjo do cristal líquido. E nos sistemas coloridos cada *subpixel* pode ser controlado individualmente (Takato, Hasegawa, Koden, Itoh, Hasegawa, & Sakamoto, 2005).



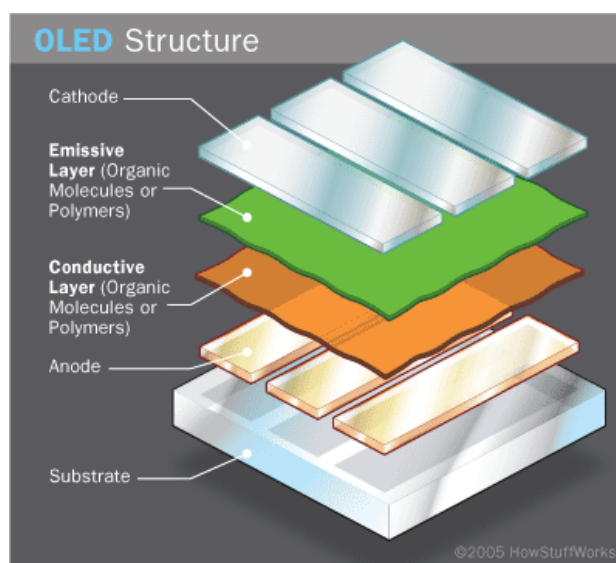
**Figura 7. Funcionamento de um único *pixel*/ LCD TN-effect. Na esquerda ele está desligado permitindo a passagem da luz, enquanto que na direita, com uma tensão aplicada, ele bloqueia a luz (Takato, Hasegawa, Koden, Itoh, Hasegawa, & Sakamoto, 2005).**

É possível dividir os LCDs em matriz passiva e ativa. Os de matriz passiva são mais utilizados em telas pequenas e monocromáticas e necessitam de um circuito externo para ativar cada pixel individualmente através da seleção da linha e coluna dele, sendo que a tensão é aplicada em toda a coluna e apenas o ponto desejado no circuito é fechado. Porém apresenta alguns problemas como baixa taxa de atualização e contraste e em LCDs com grande quantidade de pixels o acionamento de um ponto interfere na estrutura helicoidal dos *pixels* em volta. Já os LCDs de matriz ativa utilizam como base o *Thin-Film Transistor* (TFT), ou transistor de película fina, um transistor de efeito de campo cujas camadas semicondutora e dielétrica são colocadas sobre um vidro, e um capacitor que consegue manter a carga entre os ciclos de atualização. Cada *pixel* possui seu próprio transistor para acionamento e devido ao fato deste possuir baixa corrente de fuga os *pixels* da vizinhança não são afetados. Os LCDs de matriz ativa possuem algumas variações em relação à disposição das moléculas do cristal líquido, como o já citado TN-effect e o *In-Plane Switching* (IPS), onde as moléculas estão paralelas ao painel e não perpendiculares (Takato, Hasegawa, Koden, Itoh, Hasegawa, & Sakamoto, 2005).

### 3.2.2 OLED

O *Organic Light-Emitting Diode* (OLED), diodo orgânico emissor de luz, é utilizado para a construção de telas e monitores e consiste em um LED onde a camada responsável pela emissão da luz é composta por um polímero onde é possível o acúmulo de material orgânico (sendo que antigamente eram utilizadas pequenas moléculas orgânicas no lugar dos polímeros e uma variante híbrida das duas opções vem sendo estudada) (Shinar, 2004)

Um OLED é constituído por quatro partes principais: substrato (suporte para as outras camadas, plástico ou vidro na maioria das vezes), anodo (normalmente óxido de índio estanho), catodo (muitas vezes utilizando alumínio) e camadas orgânicas, subdivididas em condutora (por exemplo polianilina) e emissora (como o polifluoreno). Existem variações da disposição citada, utilizando uma ou três camadas orgânicas, mas a mais convencional é a com duas, como exemplificado na Figura 8 (Shinar, 2004).



**Figura 8. Estrutura do OLED (How Stuff Works).**

Seu funcionamento, devido à sua similaridade com o LED, ocorre pelo mesmo processo, eletrofluorescência, emissão de luz que se provoca num sólido através da conversão direta de energia elétrica em eletromagnética (Shinar, 2004).

Uma tensão é aplicada no sistema gerando uma corrente no sentido catodo para anodo, sendo que o cátodo fornece elétrons para a camada emissora enquanto a camada condutora perde elétrons para o anodo, polarizando o sistema diretamente. Ocorre então a recombinação dos pares elétrons-buracos em sua maioria



na camada emissora, e os elétrons e buracos se aniquilam, emitindo fótons com energia proporcional à diferença de energia dos dois níveis de energia (Shinar, 2004).

Assim como no LCD, o OLED é subdivido em dois tipo básicos, matriz passiva e ativa. Na matriz passiva, também conhecida por *Passive-Matrix* OLED (PMOLED) e ilustrada na Figura 9, o catodo e anodo são tiras disposta perpendicularmente e acionadas individualmente por um circuito externo, sendo a intersecção dessas tiras os pixels. Já o OLED de matriz ativa, *Active-Matrix* OLED (AMOLED) e ilustrado na Figura 10, utiliza uma matriz TFT, para seleccionar quais *pixels* serão acionados. A grande diferença nos dois diz respeito à eficiência e taxa de atualização, melhores no AMOLED (Held, 2009).

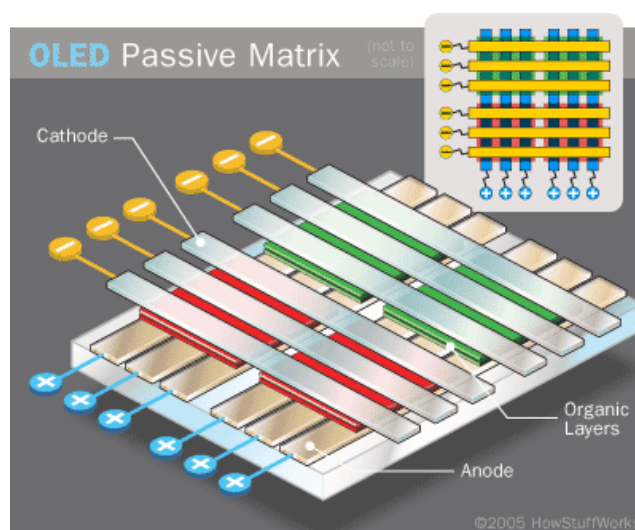


Figura 9. Estrutura do PMOLED (How Stuff Works).

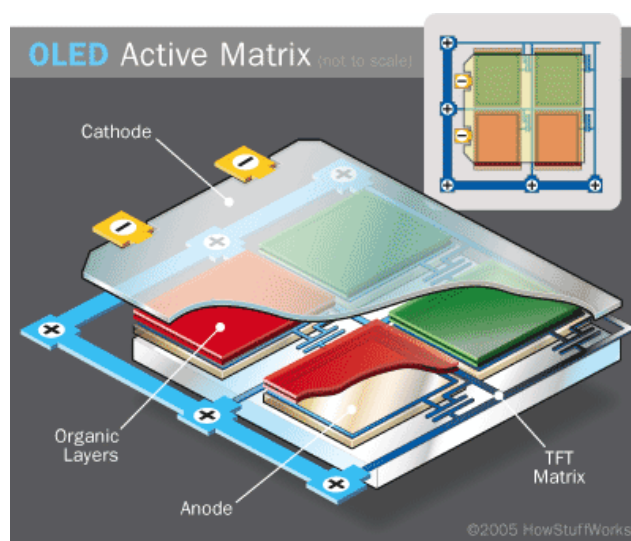


Figura 10. Estrutura do AMOLED (How Stuff Works).



Com a variação dos materiais dos componentes do OLED é possível gerar diferentes estruturas, como OLED transparente e dobrável (Held, 2009).

### 3.2.3 Touchscreen

A tecnologia *touchscreen* é utilizada para facilitar a interface homem-máquina, já que o display com essa tecnologia é sensível ao toque, que pode ser proveniente de um dedo ou de outros objetos, como a *stylus*, uma caneta própria e muito utilizada nos dispositivos chamados *Personal Digital Assistant* (PDA) (Morimoto, 2009).

Quando resistivo, um display *touchscreen* é composto de duas películas revestidas de material resistivo separadas por um pequeno espaço. Devido a presença dessas películas cerca de 25% da claridade é perdida. Um gradiente de tensão é aplicado na camada superior enquanto o display está em funcionamento e quando ocorre um toque as duas camadas entram em contato, iniciando o processo de reconhecimento da posição. Inicialmente a posição no eixo x é identificada através da tensão gerada na camada inferior e em sequência o eixo y é calculado da mesma forma, porém com a tensão gerada na camada superior, como na Figura 11 (Li, 2009).

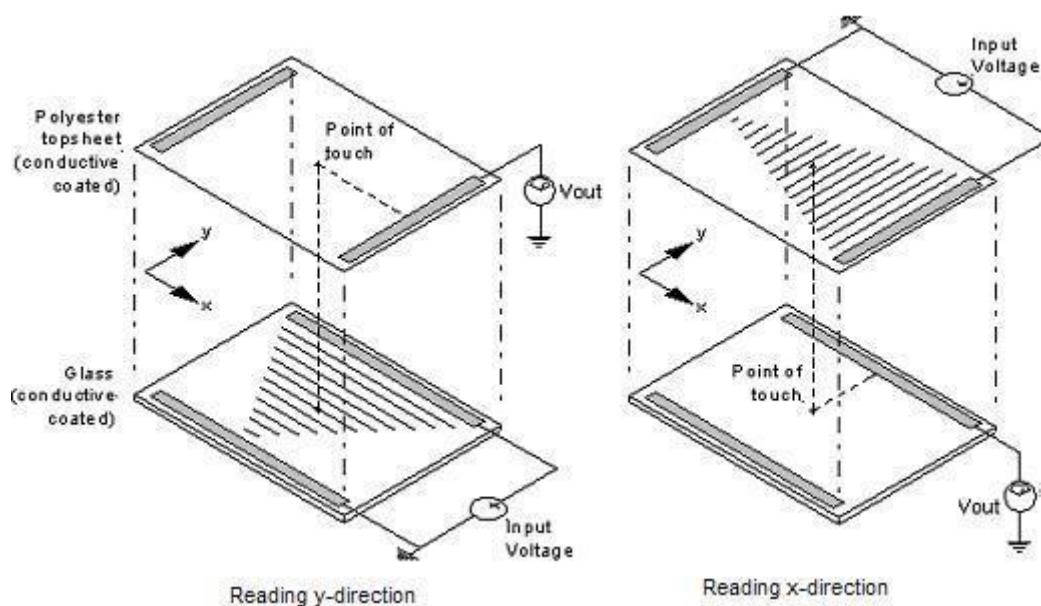
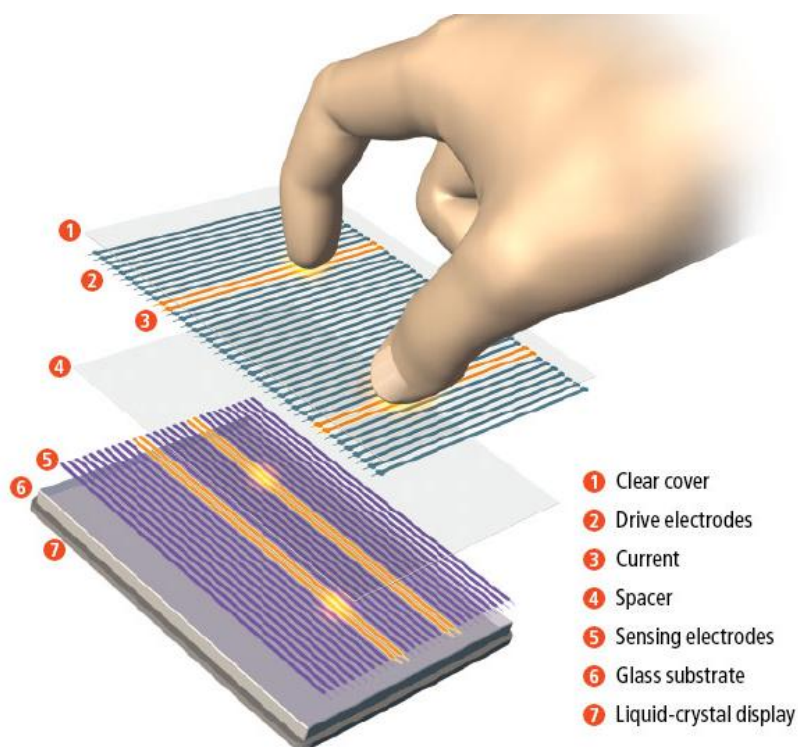


Figura 11. Estrutura e funcionamento de um *touchscreen* resistivo (ByREV Media).

Já os *displays* capacitivos utilizam mais de uma configuração, porém usam menos camadas oferecendo maior visibilidade (cerca de 90%). Na configuração mais eficiente e que suporta o *multitouch* (reconhecimento de diversos toques simultâneos) são dispostas duas camadas de materiais condutores e uma de material isolante, o

vidro, de forma que os eletrodos das duas camadas estão perpendiculares. Essa tecnologia não utiliza a pressão do toque, mas sim o fato que determinados materiais, como o corpo humano, são condutores e no momento do toque ocorre uma variação do campo eletrostático que pode ser medida pela mudança do valor da capacitância, fato ilustrado na Figura 12 (Li, 2009) (Ni & Zheng, 2006).



**Figura 12. Estrutura e funcionamento do *touchscreen* capacitivo (Scientific American).**

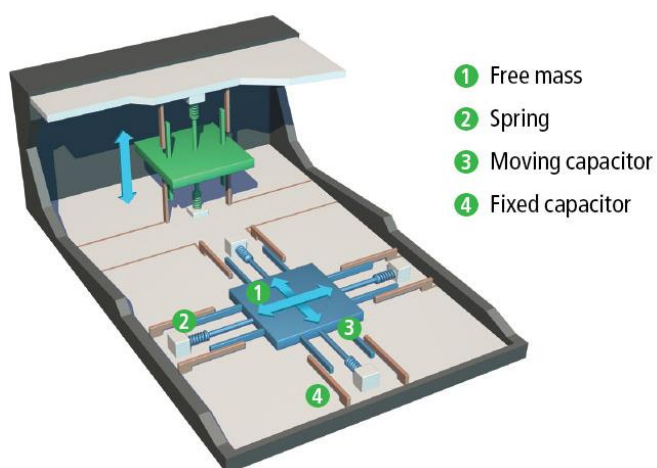
### 3.3 Acelerômetro

O acelerômetro consiste em um componente que vem sendo incluído nos smartphones com principal funcionalidade de mudança de orientação da tela, exemplificado na Figura 13, já que grande parte dos aparelhos possui visualização vertical de suas telas e para navegação ou multimídia a visualização horizontal é mais confortável. Também pode controlar outras funções do celular, como realização de chamadas ou até mesmo bloqueio do mesmo (Morimoto, 2009).



**Figura 13. Demonstração da funcionalidade do acelerômetro (Apple).**

A versão mais comum em *smartphones* é que utiliza aceleração referente a três eixos e com princípio capacitivo. Uma massa presa somente por pequenas molas possui placas capacitivas nos seus lados, assim como a base fixa do acelerômetro, como ilustrado na Figura 14. Quando em movimento, ocorre o desbalanceamento da semi-ponte capacitiva e o próprio circuito integrado processa o sinal dos capacitores (Scientific American). Também oferece uma interface para comunicação com microprocessadores.



**Figura 14. Estrutura do acelerômetro (Scientific American).**

### 3.4 Bluetooth

O *Bluetooth* oferece uma solução para conexões sem fio entre aparelhos à curta distância e como características principais possui baixo custo e baixo consumo de energia (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

Com nome inspirado em um rei dinamarquês que buscou uma unificação comercial na Europa no século X, o grupo que projetou a tecnologia, *Bluetooth Special Interest Group* (SIG), que contava com Ericsson, Intel, IBM, Nokia e Toshiba e posteriormente ganhou companhia de Motorola, Microsoft, 3Com e Lucent/Agere, almejava um modo de facilitar a comunicação entre diversos tipos de dispositivos, através principalmente da abertura da especificação desenvolvida, sendo a *Wireless Personal Area Network* (WPAN), proveniente do *Bluetooth* um padrão do *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), com o nome de 802.15.1 WPANs (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

O grupo SIG continua no desenvolvimento de novas versões das especificações *Bluetooth*, sendo a mais recente até então a versão 3.0. A cada revisão os padrões oferecem soluções para problemas e aumento da velocidade da transmissão e de segurança, como na versão 2.0 que triplicou a velocidade em relação à 1.0, de 1Mbit/s para 3Mbit/s (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

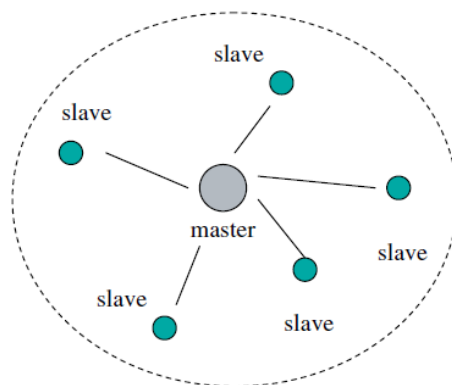
Dispositivos *Bluetooth* são divididos em três classes que dizem respeito à potência e ao alcance como indica a Tabela 2.

**Tabela 2 - Classes do *Bluetooth* e suas características.**

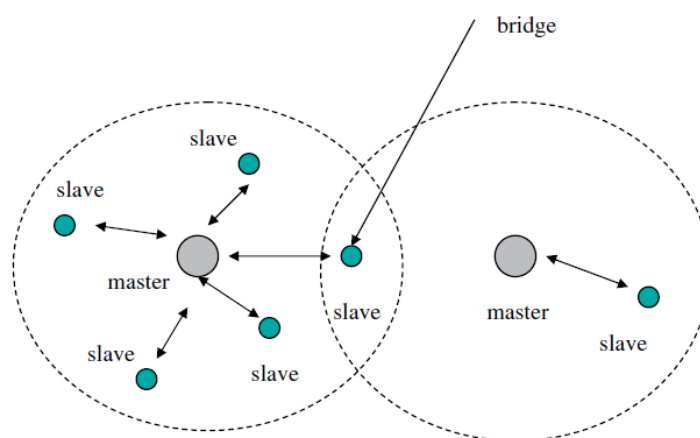
| <b>Classe</b> | <b>Potência máxima permitida (mW - dBm)</b> | <b>Alcance aproximado (m)</b> |
|---------------|---|-------------------------------|
| 1             | 100 - 20                                    | 100                           |
| 2             | 2,5 - 4                                     | 10                            |
| 3             | 1 - 0                                       | 1                             |

(Labiod, Afifi, & Santis, 2007)

A comunicação no protocolo é baseada no princípio do mestre-escravo, e cada núcleo com um mestre e até sete escravos é chamado de *piconet*. A junção de duas ou mais *piconets* através de um dispositivo comum recebe o nome de *scatternet*. Essa divisão é mostrada na Figura 15 e Figura 16 (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).



**Figura 15. Estrutura de uma *piconet* (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).**

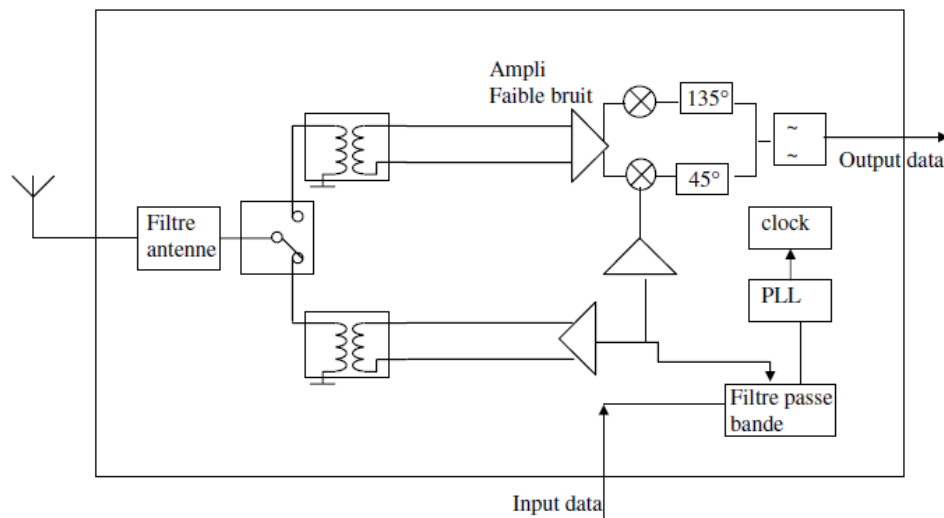


**Figura 16. Estrutura de uma *scatternet* (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).**

Seu funcionamento ocorre na faixa de frequência denominada *Industrial, Scientific and Medical* (ISM), não licenciada e reservada por acordos internacionais para o uso de equipamentos médicos, científicos e industriais, que abrange de 2,4GHz até 2,48GHz aproximadamente e para evitar interferência com estes dispositivos usa o salto de frequência de espalhamento espectral, ou *frequency hopping*, onde o sistema altera a frequência 1600 vezes por segundo (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

A taxa de transmissão, como já citado, varia de 1Mbit/s até 3Mbit/s, dependendo do tipo de modulação utilizada. Para 1Mbit/s a modulação é a *Gaussian Frequency-Shift Keying* (GFSK), cujo circuito é mostrado na Figura 17, onde o sinal é modulado por sua frequência e tem seu desvio atenuado por um filtro Gaussiano, sendo que um aumento na frequência é representado pelo binário 1 e a queda por 0. Para alcançar maiores velocidades foi criado o *Enhanced Data Rate* (EDR), que combina a modulação GFSK com a *Phase Shift Keying* (PSK), que modula a partir da fase do sinal. A taxa de transferência de 2Mbit/s é obtida com a variante  $\pi/4$  *Dual-polarization Quadrature Phase Shift Keying* (DQPSK), com modulação de fase de  $90^\circ$

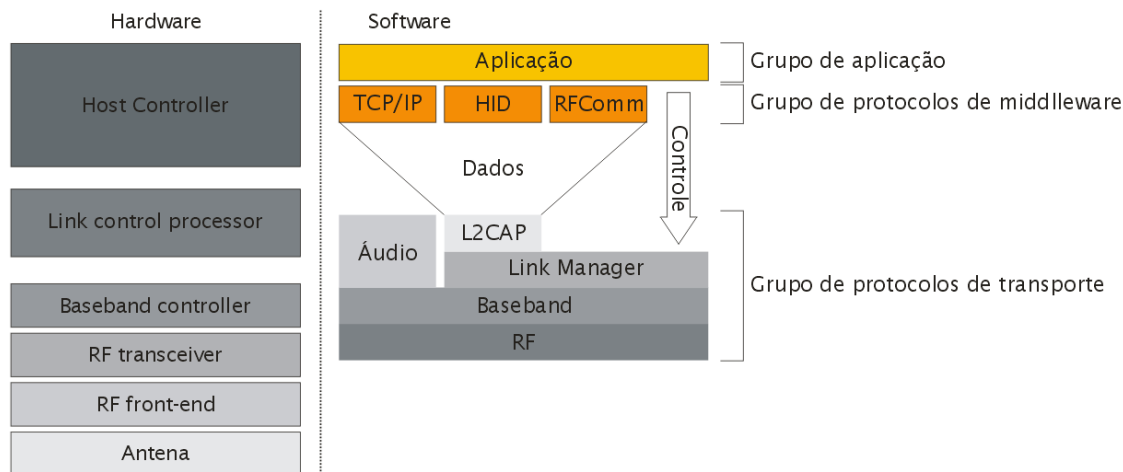
enquanto a taxa de 3Mbit/s é alcançada com a 8 PSK, que utiliza oito quadrantes na modulação (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).



**Figura 17. Circuito de modulação GFSK (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).**

Quando conectados, os dispositivos de uma *piconet* compartilham um mesmo canal físico de rádio, onde o mestre determina um *clock* e um padrão para a mudança de frequência, padrão esse que é gerado através de um algoritmo pseudo randômico (onde todos os cálculos são realizados sobre uma chave gerada aleatoriamente) que ordena 79 frequências possíveis com intervalos de 1MHz na faixa ISM, sendo que em alguns países só é liberado o uso de 23 canais (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

Para permitir a utilização do *Bluetooth*, é necessária a utilização de um *hardware* básico e de uma série de protocolos, demonstrados na Figura 18.



**Figura 18. Hardware e software do Bluetooth (Unicamp).**

Os protocolos podem ser separados em três grupos: aplicação, *middleware* e transporte. Aplicação representa os aplicativos que utilizam os serviços *Bluetooth*. Já o grupo *middleware* abrange protocolos de terceiros, industriais (PPP, IP, TCP, etc.) e desenvolvidos pelo SIG como o *Service Discover Protocol* (SDP), que permite a troca de informações entre dispositivos sobre os serviços disponíveis. E por último o grupo de protocolos de transporte que viabiliza a localização de dispositivos e comunicação com *links* físicos e lógicos para as outras camadas é constituído pela camada *Radio Frequency* (RF), *Baseband*, *Link Manager* e *Logical Link Control & Adapctation Protocol* (L2CAP) (Labiod, Afifi, & Santis, 2007) (Johnson, 2004).

A camada RF designa especificação do *transceiver*, dispositivo que transmite e recebe dados através de um único circuito, utilizado no *Bluetooth* (Johnson, 2004).

A responsabilidade de como encontrar e conectar dispositivos é da camada *Baseband*. Sendo assim ocorre a definição do mestre e do escravo e consequente salto de frequências a ser utilizada entre os 79 ou 23 canais. Cada salto de frequência ocorre dentro de intervalos de tempo de 625µs, também chamados de *slots*, sendo que cada pacote utiliza de um a cinco *slots*. O tipo de multiplexação utilizado é *Time Division Duplex* (TDD), onde o mestre e os escravos transmitem dados alternadamente, mestre nos *slots* pares e escravos nos ímpares. São possíveis dois tipos de *links* lógicos entre os dispositivos, o *Synchronous Connection-Oriented* (SCO) e *Assynchronous Connection-Less* (ACL). O *link* síncrono separa uma determinada quantidade de *slots* para cada dispositivo e possui prioridade, sendo a comunicação de voz nesta ligação. Já o assíncrono, mais utilizado para a descoberta

de novos dispositivos e transmissão de dados, possui pacotes com tamanhos variáveis (um, três ou cinco *slots*). A *Baseband* também define métodos de detecção de erros, criptografia e transmissão e retransmissão dos pacotes (Labioud, Afifi, & Santis, 2007) (Unicamp).

*Link Manager* corresponde à camada implementadora do *Link Manager Protocol* (LMP), cuja função é gerenciar o meio de transmissão entre os aparelhos, no caso o ar, e inclui a alocação de taxa de transferência de dados e de áudio, autenticação, níveis de confiança entre dispositivos, criptografia e controle do gasto de energia (Labioud, Afifi, & Santis, 2007) (Unicamp).

Já a camada L2CAP funciona como uma interface entre os protocolos da camada de transporte com as demais e também tem como função a fragmentação dos pacotes de dados e sua remontagem (Labioud, Afifi, & Santis, 2007) (Unicamp).

O hardware básico para a utilização do *Bluetooth* envolve seis componentes distintos: *Host Controller*, *Link Control Processor*, *Baseband Controller*, *Transceiver RF*, *RF Front-end* e a antena. O *Host Controller* processa o código de alto nível, tanto de aplicações relacionadas ao *Bluetooth* quanto de camadas inferiores dos protocolos, como *profiles*, L2CAP, *Radio Frequency Communications* (RFCOMM) e outros. Já o *Link Control Processor* consiste em um microprocessador cuja função é o processamento das camadas inferiores da pilha de protocolos como *Link Controller*. O *Baseband Controller* é um bloco lógico que controla o *transceiver* de rádio frequência (RF), que por sua vez engloba o sintetizador de RF, filtros Gaussianos, recuperação de *clock* e detecção de dados. *RF Front-End* contém o filtro de banda passante da antena, o seletor de estados transmissão/recepção e se necessário um amplificador de ruídos e de energia. O último componente é a antena, que pode ser interna ou externa e integrada em componentes de terceiros ou no PCB (Labioud, Afifi, & Santis, 2007) (Johnson, 2004).

A comunicação entre dispositivos ocorre através de pacotes, como citado, que variam de um a cinco *slots* de tempo e na camada de transporte, mais especificadamente na *baseband*, possui uma estrutura com um código de acesso (aproximadamente 72 bits com o endereço da *piconet* desejada), um cabeçalho (18 bits com o endereço do dispositivo da *piconet*) e o *payload* (até 2745 bits por onde trafegam os dados da aplicação). E os aparelhos *Bluetooth* apresentam estados conforme sua situação na rede mostrados na Figura 19. Quando em espera o dispositivo ainda não se juntou a uma *piconet* e quando inicia a busca por uma está em solicitação. Um mestre à procura de aparelhos adentra o modo página. Após o



primeiro contato, o dispositivo escravo recebe o status conectado e enquanto envia dados está em transmissão. Escuta e bloqueado são estados parecidos, onde o aparelho fica em *stand-by* por alguns *slots* de tempo, com a diferença que no primeiro caso ele ocasionalmente ainda envia dados. E quando o dispositivo não possui dados a receber ou enviar ele é colocado em espera e perde seu endereço temporariamente na *piconet*, no estado estacionado (Labiod, Afifi, & Santis, 2007) (Unicamp).

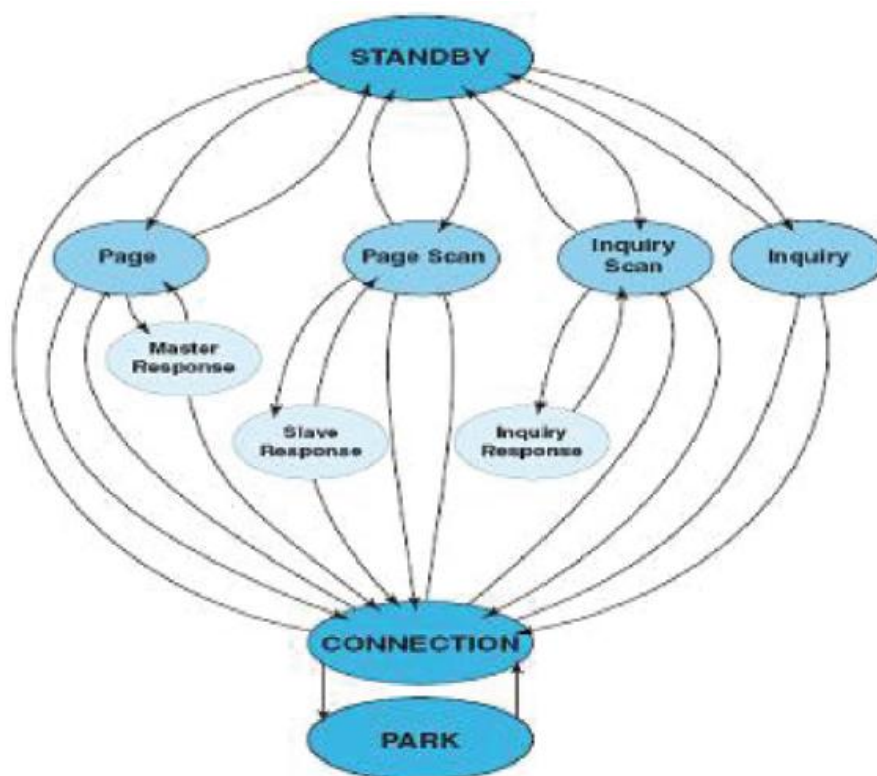


Figura 19. Estados de um dispositivo na rede *Bluetooth* (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

E ainda existem os *profiles*, que são especificações que determinam como e quais métodos estão disponíveis para a troca de pacotes entre os dispositivos *Bluetooth*.

*Advanced Audio Distribution Profile* (A2DP) para transmissão de música de alta qualidade de celulares para sons automotivos, por exemplo; *Audio/Video Remote Control Profile* (AVRCP) como interface para controle de equipamentos de áudio e vídeo como televisões; *Basic Imaging Profile* (BIP) para transferência de imagens com a possibilidade de conversões e edição para visualização em qualquer aparelho; *Basic Printing Profile* (BPP) corresponde aos protocolos que permitem impressão via *Bluetooth*; *Common ISDN Access Profile* (CIP) é referente aos serviços que as operadoras telefônicas oferecem; *Cordless Telephony Profile* (CTP) controla o uso de telefones sem fio que utilizam *Bluetooth*; *Device ID Profile* (DID) proporciona

identificação do dispositivo; *Dial-up Networking Profile* (DUN) permite o compartilhamento de uma conexão de acesso à internet com outros dispositivos; *Fax Profile* (FAX) para conexão com um aparelho de fax ou computador com software para tal; *File Transfer Profile* (FTP) permite a transferência de arquivos; *Generic Audio/Video Distribution Profile* (GAVDP) possui as funções básicas para protocolos de som e áudio; *Generic Object Exchange Profile* (GOEP) possui as funções básicas para protocolos de dados; *Generic Access Profile* (GAP) possui as funções básicas para demais protocolos; *Hands-Free Profile* (HFP) permite a utilização de equipamentos *hands-free*, ou seja, que mantenham as mãos dos usuários do *smartphone* livre, como no uso em carros; *Human Interface Device Profile* (HID) fornece protocolo para o uso de aparelhos de interface como teclados e joysticks; *Headset Profile* (HSP) realiza a conexão com fones de ouvido e microfones (*headsets*); *Intercom Profile* (ICP) permite a comunicação entre dois *headsets Bluetooth*; *LAN Access Profile* (LAP) possibilita o acesso de um *smartphone* em *Local Area Network* (LAN), WANs e internet via outro aparelho; *Object Push Profile* (OPP) possui o protocolo básico de envio de fotos e cartões virtuais; *Personal Area Networking Profile* (PAN) permite o envio de pacotes para o protocolo L2CAP; *Phone Book Access Profile* (PBAP, PBA) permite o compartilhamento de certos dados dos contatos do usuário, como com quem este está mantendo comunicação; *Serial Port Profile* (SPP) faz a emulação de uma conexão serial para aplicativos que necessitem de uma conexão física RS-232; *Service Discovery Application Profile* (SDAP) define como um aparelho deve procurar serviços disponíveis em outros dispositivos; *SIM Access Profile* (SAP, SIM) compartilha contatos telefônicos de um cartão SIM; *Synchronisation Profile* (SYNCH) permite a sincronização do aparelho com um computador ou outro celular; *Video Distribution Profile* (VDP) é o *profile* para transmissão de vídeo via *stream*; *Wireless Application Protocol Bearer* (WAPB) permite o uso de *Wireless Application Protocol* (WAP) via *Bluetooth* (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

### 3.5 Wi-Fi

Uma funcionalidade presente em diversos *smartphones* é o acesso a redes Wi-Fi, uma classe de *Wireless Local Area Network* (WLAN). O hardware específico é certificado pela *Wi-Fi Alliance* (WFA), uma organização independente que os testa segundo protocolos e padrões definidos pela IEEE 802.11 e seu selo de certificação é o da Figura 20 (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

Atualmente as especificações IEEE 802.11 possuem quatro protocolos em funcionamento, 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n (Wi-Fi Alliance).



**Figura 20. Selo de certificação Wi-Fi (Wi-Fi Alliance).**

Através do protocolo 802.11a é possível transmitir até a velocidade de 54 Mbit/s sendo possível redução de taxas se preciso, alterando a modulação utilizada, com indica a Tabela 3, sendo que a *Binary PSK* (BPSK) utiliza apenas duas fases, *Quadrature PSK* (QPSK) utiliza quatro pontos para modulação e a *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) realiza a modulação através da frequência com 16 pontos, 16-QAM, e 64, 64-QAM. Funciona na frequência de 5 GHz, que traz vantagens pois não enfrenta interferências de outros equipamentos ISM contudo seu sinal possui alcance menor se comparado com os outros protocolos (Labioud, Afifi, & Santis, 2007).

**Tabela 3 - Modulações e taxa de dados do protocolo 802.11a.**

| <b>Modulação</b> | <b>Taxa de dados (Mbit/s)</b> |
|------------------|-------------------------------|
| BPSK             | 6                             |
| BPSK             | 9                             |
| QPSK             | 12                            |
| QPSK             | 18                            |
| 16-QAM           | 24                            |
| 16-QAM           | 36                            |
| 64-QAM           | 48                            |
| 64-QAM           | 54                            |

(Labioud, Afifi, & Santis, 2007)

O 802.11b consegue atingir até 11 Mbit/s de velocidade de transmissão sendo que a qualidade do sinal permite que os *smartphones* se adaptem para diferentes taxas, 5,5 Mbit/s, 2 Mbit/s ou 1 Mbit/s, com indicado na Tabela 4. Opera na frequência de 2,4 GHz através da modulação *Complementary Code Keying* (CCK), que facilita a recuperação da informação em casos de ruído e atenuação do canal (Labioud, Afifi, & Santis, 2007).

**Tabela 4 - Modulações e taxa de dados do protocolo 802.11b.**

| <b>Modulação</b> | <b>Taxa de dados (Mbit/s)</b> |
|------------------|-------------------------------|
| CCK              | 1                             |
| CCK              | 2                             |
| CCK              | 5,5                           |
| CCK              | 11                            |

(Labiod, Afifi, &amp; Santis, 2007)

Já o protocolo 802.11g consegue utilizar a velocidade de transmissão em 54 Mbit/s, através do uso da modulação presente no 802.11a e o acréscimo de quatro taxas de transmissão com modulações diferentes, como mostra a Tabela 5. Possui compatibilidade com o 802.11b (Labiod, Afifi, & Santis, 2007) (Wi-Fi Alliance).

**Tabela 5 - Modulações e taxa de dados do protocolo 802.11g.**

| <b>Modulação</b> | <b>Taxa de dados (Mbit/s)</b> |
|------------------|-------------------------------|
| DBPSK            | 1                             |
| DBPSK            | 2                             |
| CCK              | 5,5                           |
| BPSK             | 6                             |
| BPSK             | 9                             |
| CCK              | 11                            |
| QPSK             | 12                            |
| QPSK             | 18                            |
| 16-QAM           | 24                            |
| 16-QAM           | 36                            |
| 64-QAM           | 48                            |
| 64-QAM           | 54                            |

(Labiod, Afifi, &amp; Santis, 2007)

E o protocolo mais recente, 802.11n, aumentou a velocidade de transmissão para até 600 Mbit/s através da implementação de um sistema *Multiple-Input-Multiple-Output* (MIMO), com múltiplos transmissores e receptores nos aparelhos, e com velocidade limitada na quantidade de antenas disponíveis e a capacidade do aparelho de criar conexões simultâneas, fato ilustrado na figura Tabela 6. A transmissão é possível de ser realizada em duas frequências, 2,4 GHz e 5 GHz, tornando-o compatível com todos os protocolos anteriores. Faz uso de canais de transmissão de 40 MHz e 20 MHz enquanto seus antecessores somente o fazem em 20 MHz (Labiod, Afifi, & Santis, 2007) (Wi-Fi Alliance).

**Tabela 6 - Número de conexões possíveis, modulações e taxa de dados do protocolo 802.11n.**

| Conexões possíveis | Modulação | Transmissão de dados (Mbit/s) |                 |
|--------------------|-----------|-------------------------------|-----------------|
|                    |           | Canal de 20 MHz               | Canal de 40 MHz |
| 1                  | BPSK      | 7,2                           | 15              |
| 1                  | QPSK      | 14,4                          | 30              |
| 1                  | QPSK      | 21,7                          | 45              |
| 1                  | 16-QAM    | 28,9                          | 60              |
| 1                  | 16-QAM    | 43,3                          | 90              |
| 1                  | 64-QAM    | 57,8                          | 120             |
| 1                  | 64-QAM    | 65                            | 135             |
| 1                  | 64-QAM    | 72,2                          | 150             |
| 2                  | BPSK      | 14,4                          | 30              |
| 2                  | QPSK      | 28,9                          | 60              |
| 2                  | QPSK      | 43,3                          | 90              |
| 2                  | 16-QAM    | 57,8                          | 120             |
| 2                  | 16-QAM    | 86,7                          | 180             |
| 2                  | 64-QAM    | 115,6                         | 240             |
| 2                  | 64-QAM    | 130                           | 170             |
| 2                  | 64-QAM    | 144,4                         | 300             |
| 3                  | BPSK      | 21,7                          | 45              |
| ...                | ...       | ...                           | ...             |
| 4                  | 64-QAM    | 288,9                         | 600             |

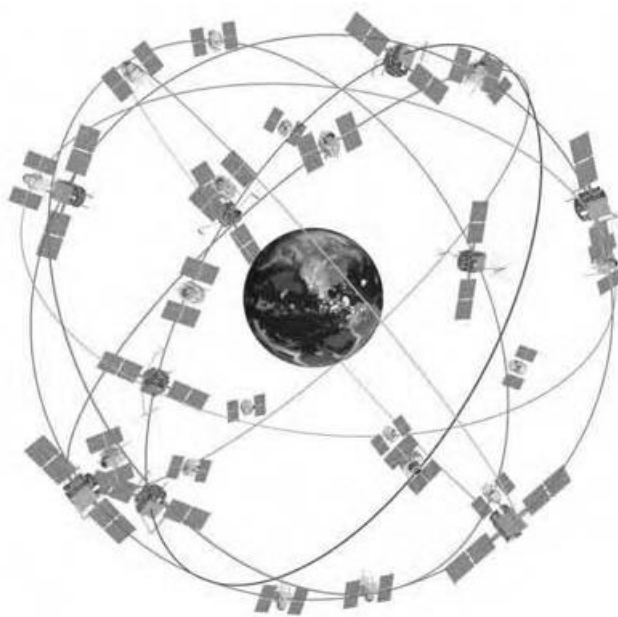
(Air Magnet)

Devido ao fato que as conexões conexão sem fio são mais suscetíveis a escutas do que conexões com fio o sistema de encriptação dos dados teve que ser aprimorado para garantir a segurança dos dados transmitidos. O protocolo de segurança *Wired Equivalent Privacy* (WEP), com chaves de 128 bits, foi o primeiro desenvolvido, porém se mostrou inseguro, visto a facilidade com que as senhas eram descobertas através de softwares, já que as chaves de encriptação eram apenas concatenadas com vetores de inicialização. Assim surgiu o *Wi-Fi Protected Access* (WPA), com chaves de 256 bits, que utiliza o protocolo de encriptação *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP) que ao invés de concatenar, mistura a senha com o vetor de inicialização e também um método para evitar ataques de força bruta evitando pacotes fora da ordem. Para atingir totalmente os padrões requeridos pela IEE 802.11 e o protocolo *Wi-Fi Protected Access 2* (WPA2) foi desenvolvido com um algoritmo de encriptação avançado de 128 bits até 256 bits, considerado totalmente seguro, o *Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol* (CCMP) (Labiod, Afifi, & Santis, 2007).

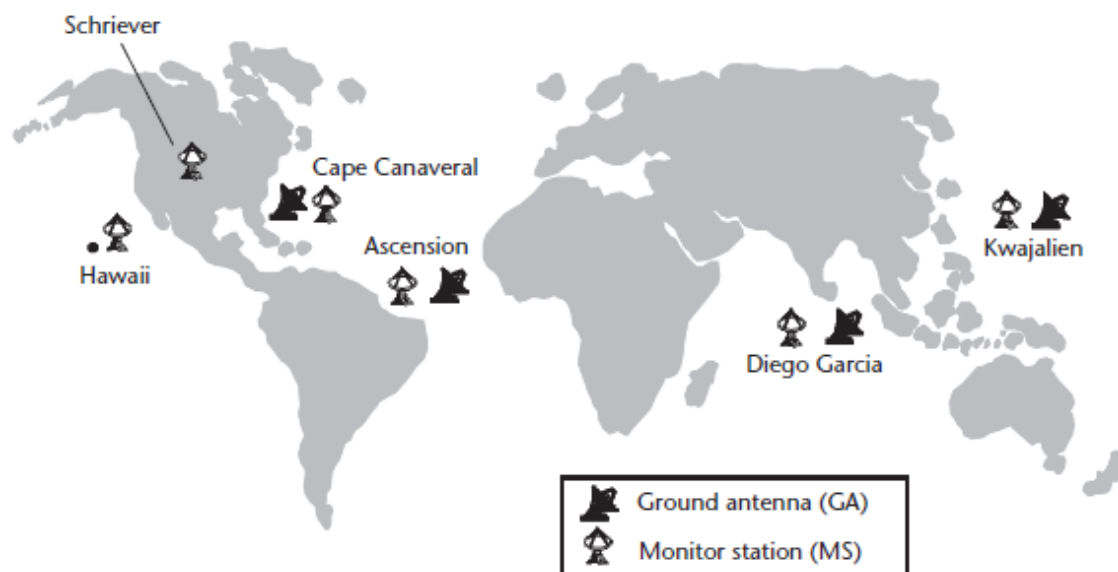
### 3.6 GPS

O *Global Positioning System* (GPS) é um sistema de navegação global via satélite, oferecendo com grande precisão para os receptores sua respectiva localização, direção, velocidade e tempo. Criado na década de 60 pelas forças armadas americanas para uso militar, o GPS passou a ter utilização pública na década de 80, mas com um erro proposital, que só foi retirado no ano de 2000 (Kaplan & Hegarty, 2006).

Quando criado, o GPS utilizava cinco satélites geoestacionários, mas atualmente são vinte e quatro, cujas órbitas foram calculadas para que de qualquer ponto da terra seja possível se comunicar com ao menos quatro satélites e ilustradas na Figura 21. O sistema também conta com bases de controle e monitoramento e antenas na Terra, como na Figura 22 e é completado com os receptores dos aparelhos (Kaplan & Hegarty, 2006).



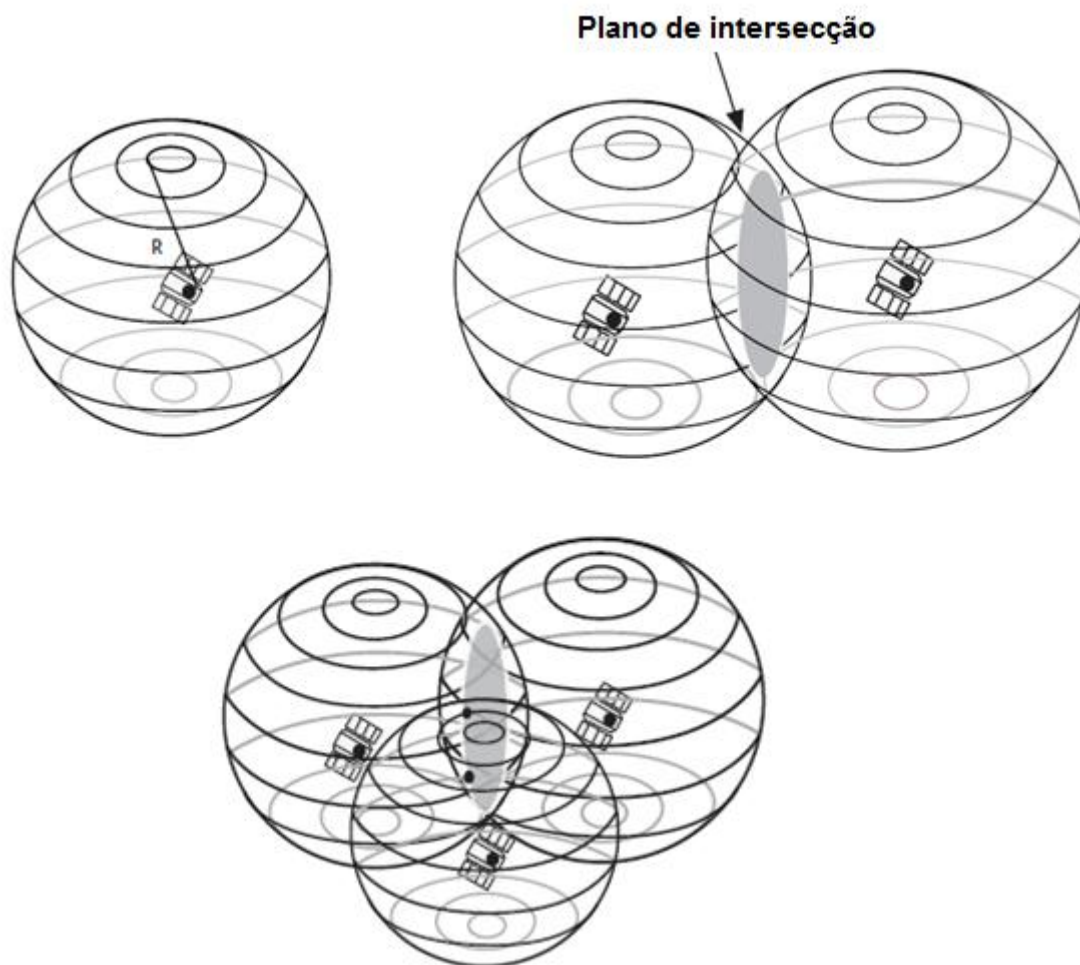
**Figura 21. Órbita dos satélites do GPS (Kaplan & Hegarty, 2006).**



**Figura 22. Bases de monitoramento e antenas do GPS (Kaplan & Hegarty, 2006).**

Os satélites, movidos por energia solar e auxiliados por baterias, enviam sinais, intermitentemente, que incluem o horário que o sinal foi enviado, informações sobre a órbita atual, também chamado de efeméride, e dados sobre o posicionamento de todos os satélites, chamado de almanaque. Para informar corretamente o horário de envio eles possuem um relógio atômico que, devido à lei da relatividade, são ajustados pelas estações terrestres, pois um erro, mesmo que pequeno, ocasiona diferenças na localização já que os dados viajam em uma velocidade muito próxima da velocidade da luz (Kaplan & Hegarty, 2006).

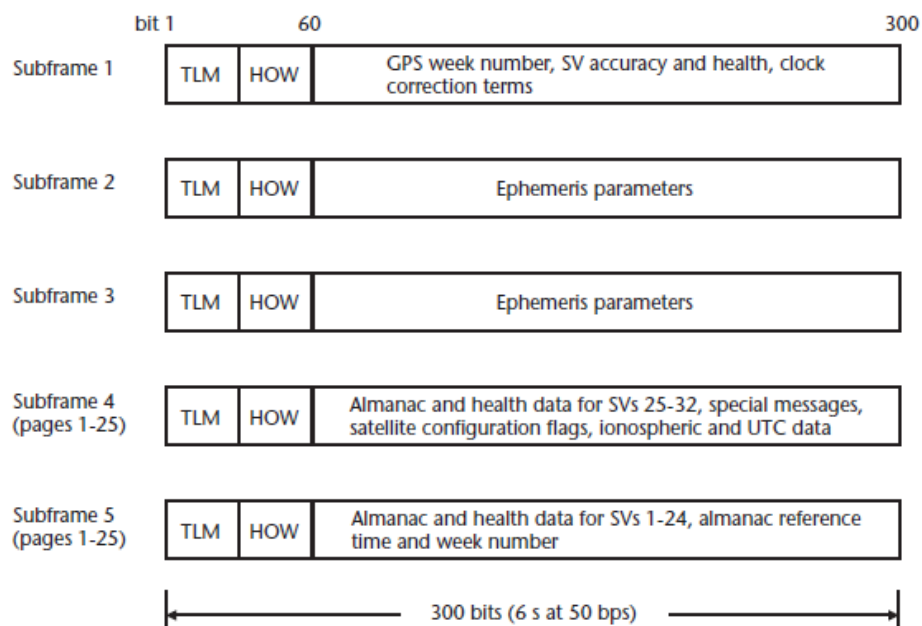
Para realizar o processo de localização, os receptores utilizam a diferença do horário de envio do sinal e do momento de recepção do mesmo, e já sabendo a velocidade é possível calcular a distância do satélite, com os devidos ajustes aos erros. É possível imaginar uma esfera com o raio correspondente à distância entre o receptor e o satélite e com essa informação proveniente de três satélites o processo de trilateração é utilizado e o ponto comum entre as três esferas é encontrado, assim como ilustrado na Figura 23. O quarto satélite tem como função encontrar a altitude e também corrigir o relógio do receptor (Xu, 2007).



**Figura 23. Etapas para a trilateração do sinal GPS (Kaplan & Hegarty, 2006).**

Os dados enviados pelos satélites vêm no formato de um pacote e subpacotes e esta estrutura é exemplificada na Figura 24. Cada pacote possui 1500 bits e são enviados a 50 bit/s, totalizando trinta segundos de envio. Por sua vez cada subpacote vem dividido em dez palavras, sendo a primeira e segunda comum a todos, com indicação de início de transmissão do subpacote e a hora prevista para o final do envio desse, respectivamente. O restante das palavras do subpacote um traz a informação sobre o horário exato do satélite através de um polinômio de segundo grau que é utilizado para calcular pequenos erros. Nos subpacotes dois e três as palavras de três a dez trazem a efeméride, informação sobre a órbita do satélite e nos subpacotes quatro e cinco temos o almanaque, sendo que na verdade são necessários vinte e cinco pacotes completos para obter todo o almanaque, dados sobre a órbita teórica de todos os satélites, sendo que não existe necessidade do almanaque para a localização, apesar de agilizar a mesma (Kaplan & Hegarty, 2006) (Xu, 2007).





**Figura 24. Pacote de dados GPS e seus subpacotes e palavras (Kaplan & Hegarty, 2006).**

Sinais são enviados em duas frequências, L1, 1575,42 MHz e L2, 1227,60 MHz, sendo que a primeira é modulada por dois códigos, *Coarse/Acquisition* (C/A) ou código *Gold*, disponível para receptores civis e *Precise Code* (P), disponível apenas para militares, e a segunda apenas pelo código P. Cada satélite codifica seus dados com uma sequência pseudo randômica, que possui determinados padrões iniciais, única e conhecida pelos receptores. Este processo ocorre em um circuito cujo esquemático está na Figura 25 (Kaplan & Hegarty, 2006).

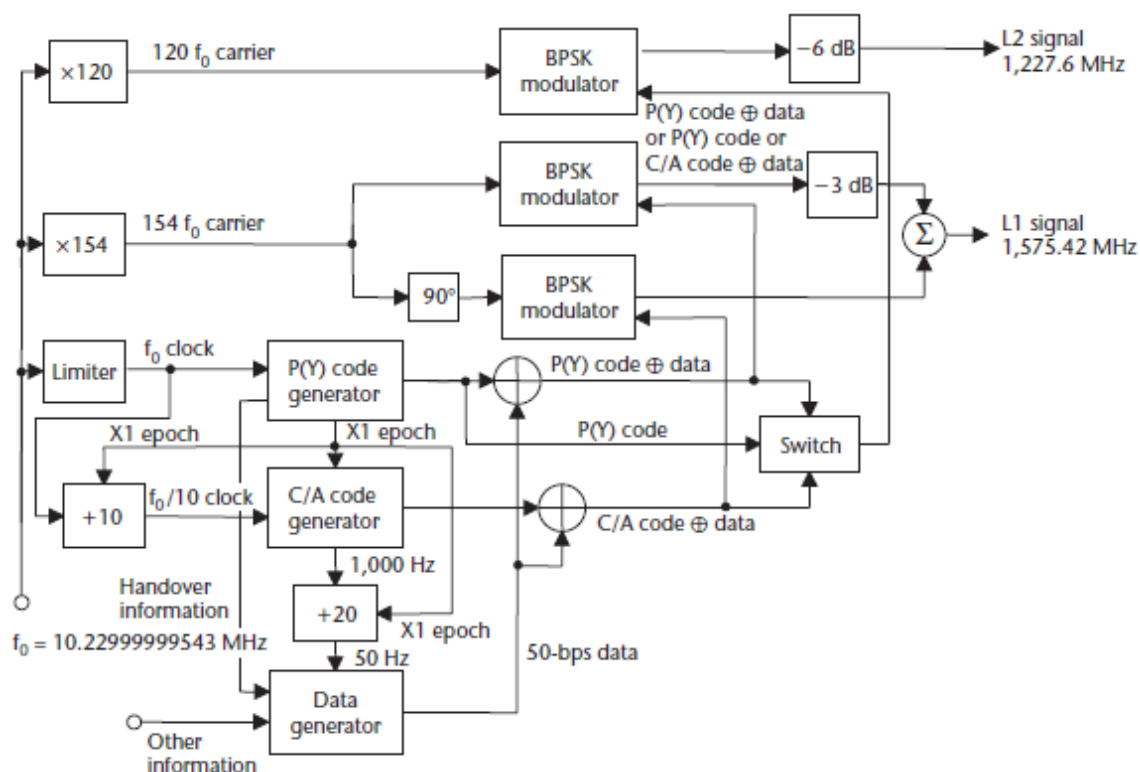


Figura 25. Esquemático da modulação do sinal GPS (Kaplan & Hegarty, 2006).

Como todos os satélites utilizam a mesma frequência para transmitir no momento da demodulação, ilustrado na Figura 26, no receptor existe a necessidade de separar os diferentes sinais. No processo o sinal é somado binariamente ao código C/A, que é único para cada satélite, e tem como resultado o sinal enviado (Kaplan & Hegarty, 2006) (Xu, 2007).

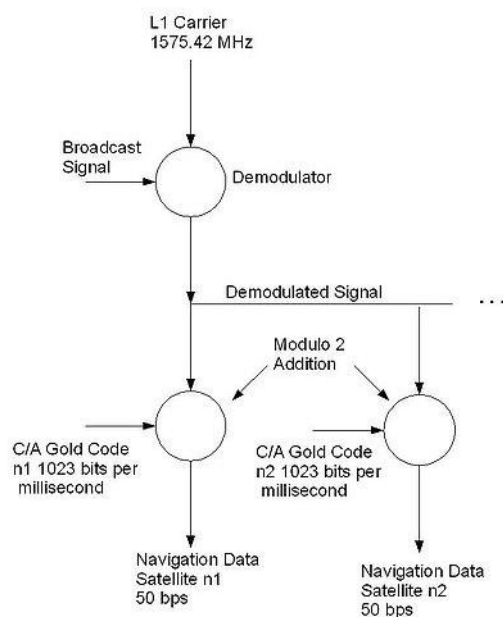


Figura 26. Esquemático da demodulação do sinal GPS (Wikipedia).

Alguns fatores podem resultar em erros de localização ou até mesmo a impossibilidade de comunicação. A atmosfera, principalmente a ionosfera, causa a diminuição da potência do sinal e de sua velocidade e apesar dos cálculos já considerarem este problema nem sempre contemplam a situação do momento. Outras causas de erro são as reflexões do sinal em prédios, que aumenta o tempo até a recepção, informações incorretas da efeméride, relógio do receptor desajustado e até mesmo a geometria dos satélites, que se estiverem alinhados em reta podem dificultar os cálculos (Kaplan & Hegarty, 2006).

Inicialmente os *smartphones* não vinham com GPS integrado devido ao seu alto custo, mas este item já está presente na grande maioria deles, sendo que a maior diferença entre os diversos modelos diz respeito à quantidade de satélites conectáveis simultaneamente (Morimoto, 2009). E muitos dos celulares possuem não só o receptor GPS, mas também um sistema de auxílio dependente da operadora telefônica, o *Assisted GPS* (A-GPS), que assiste a conexão através da comunicação via pacote de dados com antenas das operadoras. Assim é possível a transferência de dados como hora exata, posição dos satélites e condições ionosféricas, para ajustes de cálculos, com maior precisão e velocidade, facilitando a conexão com os satélites e também permite que os celulares sejam localizados pelas empresas telefônicas. Como outras vantagens, é possível citar a redução de processamento do celular, visto que muitas informações já vêm prontas, e a facilitação do acesso para aparelhos com dificuldade de comunicação com os satélites, devido a sinais atenuados por paredes e árvores, por exemplo (GPS World).

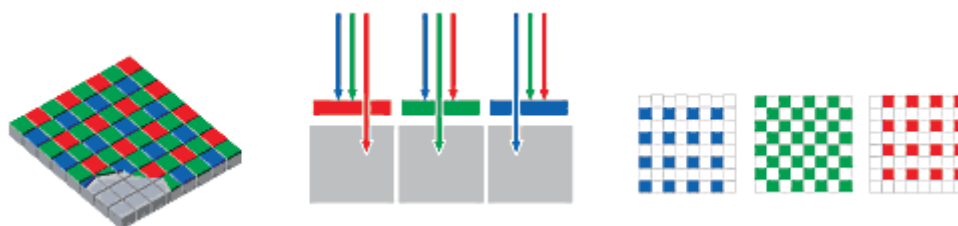
### **3.7 Câmeras**

As câmeras dos *smartphones* são compostas basicamente pelo conjunto dos sensores, lentes, circuitos auxiliares e em alguns casos um sistema de iluminação para fotos, composição ilustrada na Figura 27. A grande diferença das câmeras para celulares para as dedicadas consiste na necessidade de baixo custo e tamanho reduzido, sendo este o principal motivo da inferioridade das câmeras de celulares (Morimoto, 2009).



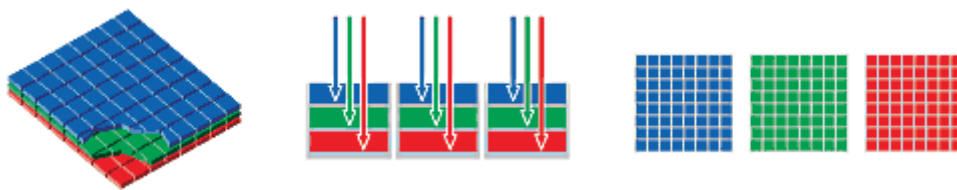
**Figura 27. Hardware da câmera de um *smartphone* (Gadgetfolder).**

Os sensores funcionam através de células monocromáticas receptoras, agrupadas, na disposição do tipo mosaico, Figura 28, quatro a quatro com filtros de cores na configuração filtro de *Bayer*, sendo 25% com a utilização de filtro vermelho, no caso um *pixel*, 25% com filtro amarelo e 50% verde (Brown, 2004). A quantidade de células receptoras, e consequentemente a de pixels, indica o tamanho máximo da fotografia, indicado pela unidade *megapixels*. Duas tecnologias são utilizadas nos sensores com esta disposição atualmente, *Charged Coupled Device* (CCD) e *Complimentary Metal-Oxide Semiconductor* (CMOS). No CCD o sensor possui uma matriz capacitiva, e como cada *pixel* recebe uma diferente intensidade de luz, resultando em diferentes cargas nos capacitores. Um circuito externo faz a leitura, amplificação e processamento da imagem, oferecendo baixo nível de ruído. Os sensores CMOS por sua vez possuem transistores em cada célula receptora que realizam a leitura e amplificação, mas a presença deles acarreta ruídos, já que a luz também os atinge (Ohta, 2008). Apesar do CCD apresentar fotos com melhor qualidade, o CMOS é um sistema mais barato e consome cerca de cem vezes menos energia (How Stuff Works).



**Figura 28. Sensor do tipo mosaico(Sigma Imaging).**

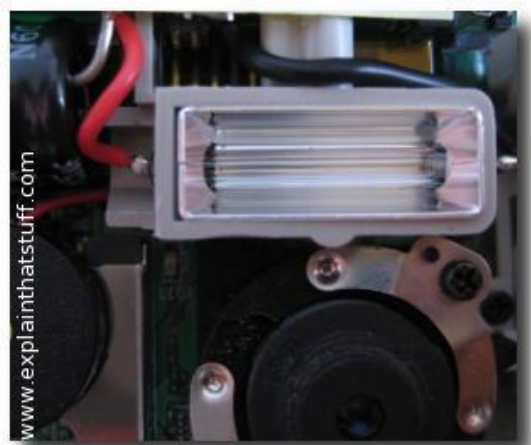
Outro tipo de sensor, da tecnologia Foveon X3, utiliza diferentemente da disposição tipo mosaico dos anteriores, três camadas de *pixels*, Figura 29 possibilitando uma captura com maior fidelidade das cores (Sigma Imaging).



**Figura 29. Sensor do tipo Foveon X3 (Sigma Imaging).**

Um sistema de iluminação para as fotos é o *flash* utilizando os LEDs convencionais, que apresentam baixo consumo e tamanho compatível com celulares. É possível obter grande intensidade de iluminação com a ajuda de um capacitor que é descarregado no momento do *flash*. Alguns *smartphones* possuem *dual-LED*, onde são utilizados dois LEDs com capacitores individuais, aumentando a intensidade da iluminação. Os *flashes* LED podem ser utilizados também para iluminação de vídeos, mas com baixa iluminação (Morimoto, 2009).

Outro sistema é o *flash* de xenônio, onde um tubo de gás xenônio é utilizado para a emissão de luz, oferecendo muito mais iluminação do que o flash de LED. Porém este sistema necessita de capacitores eletrolíticos para gerar um pulso de alta tensão, acarretando alto gasto de energia, e, somado ao tamanho do refletor, ocupa grande espaço nos celulares, como na Figura 30. Devido ao pulso de alta tensão este tipo de *flash* não pode ser usado para gravação de vídeos, sendo que muitos *smartphones* possuem um sistema híbrido com as duas tecnologias (Morimoto, 2009).



**Figura 30. Foto do *flash* de xenônio em celulares (Explain That Stuff).**

Uma comparação para ilustrar a diferença da luminosidade dos *flashes* de LED e xenônio segue na Figura 31.



Figura 31. Comparação foto com *flash* LED (esquerda) e xenônio (direita) (ZOMG its CJ).

### 3.8 Métodos de escrita

Grande parte das funções de um *smartphone* envolve a entrada de dados pelo usuário e existem diversas formas para possibilitar tal atividade. Basicamente podemos dividir em modelos de teclado e tecnologias de entrada de texto.

O modelo de teclado mais difundido é o alfanumérico, Figura 32, onde cada tecla é associada a três letras e um número, sendo algumas teclas reservadas para acentuação e símbolos. Já o modelo QWERTY, Figura 33, apresenta o mesmo número de teclas e mesma disposição dos teclados de computadores, facilitando a utilização, mas com necessidade de maior espaço físico para o teclado (Ni & Zheng, 2006). O uso de teclados externos QWERTY é possível através das conexões USB ou *Bluetooth*. Juntando os dois modelos citados, a RIM, fabricante dos *smartphones BlackBerry* colocou em alguns de seus celulares um teclado *SureType*, Figura 34, sendo vinte teclas associadas às letras do alfabeto com disposição QWERTY (BlackBerry). Os celulares com telas *touchscreen* oferecem diversas soluções para a entrada de dados, normalmente com um teclado QWERTY virtual e reconhecimento de escrita (Morimoto, 2009).



**Figura 32. Exemplo de teclado alfanumérico (Engadget).**



**Figura 33. Exemplo de teclado QWERTY (Engadget).**



**Figura 34. Exemplo de teclado *Suretype* (BlackBerry).**

Uma tecnologia é o sistema *multitap*, onde cada tecla deve ser pressionada por diversas vezes até obter a letra desejada. Porém este sistema, apesar de intuitivo, é lento, como por exemplo, na palavra “colocar”, onde é necessário pressionar teclas por dezenove vezes para escrever a palavra de apenas sete em um teclado alfanumérico. Já o *Texto on 9 Keys* (T9) consiste em uma previsão de texto que utiliza um dicionário, expansível através da digitação via *multitap*, para comparar a sequência de teclas digitadas com palavras já registradas e sua frequência de utilização. Caso o resultado não seja o esperado as palavras relacionadas com a

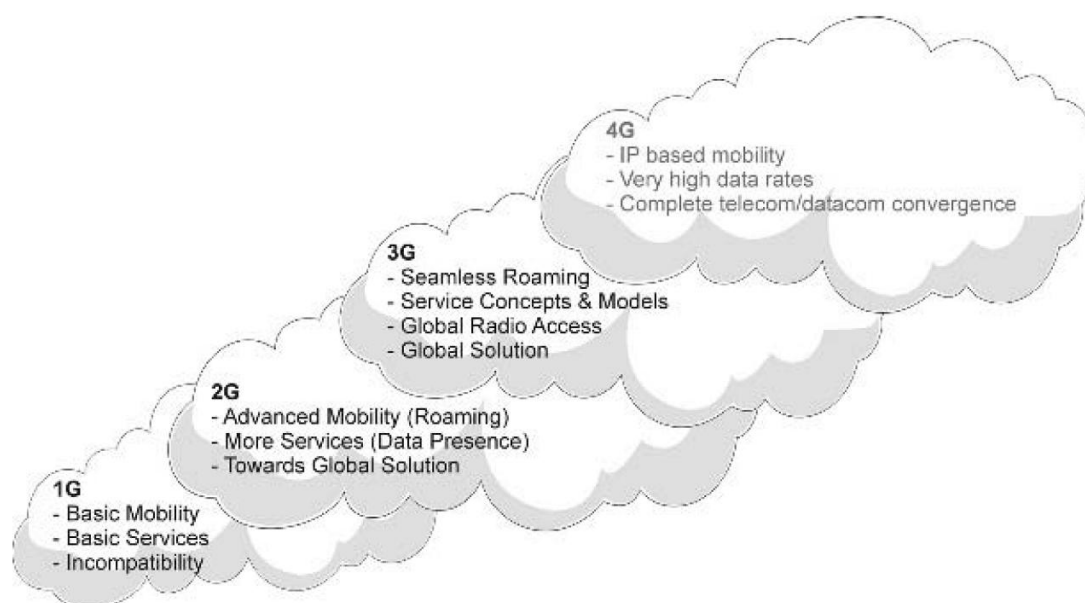
sequência digitada podem ser visualizadas e selecionadas facilmente, normalmente com apenas uma tecla (Morimoto, 2009).



## 4 Acesso Móvel

Grande parte das funcionalidades de um *smartphone* está ligada ao acesso a uma rede de dados ou internet e para isso existe a demanda por uma rede funcional e de alta velocidade, ao contrário dos primeiros *smartphones*, que só conseguiam acessar a web através de um modem discado, isto na primeira geração dos celulares, ainda analógicos, também conhecida como 1G (Morimoto, 2009).

As designações referentes à geração de cada padrão seguem (Morimoto, 2009) e suas principais características estão na Figura 35.



**Figura 35. Gerações de celular e suas principais características (Kaaranen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005).**

### 4.1 GSM

A tecnologia *Global System for Mobile Communication* (GSM) foi desenvolvida pela necessidade dos países europeus de criar um padrão único de telefonia móvel, já que os países estavam desenvolvendo padrões próprios. Assim seria possível a produção de aparelhos idênticos, diminuindo os custos e facilitando a disseminação da telefonia móvel. O grupo encarregado para essa padronização é o *Group Spécial Mobile*, que deu origem a sigla inicialmente (Eberspächer, Vögel, Bettstetter, & Hartmann, 2009).

Seu princípio de funcionamento é baseado no método *Time Division Multiple Access* (TDMA), com princípio básico ilustrado na Figura 36, que permite que uma mesma frequência seja utilizada por diversos emissores através da utilização de

slots de tempo para cada emissor, como indica a Figura 37. Utiliza também o *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), com princípio básico na Figura 38, combinado em algumas de suas variações e o salto de frequência de espalhamento espectral, ou *frequency hopping*. A modulação do sistema é a *Gaussian Minimum-Shift Keying* (GMSK), onde o sinal antes de ser modulado passa por um filtro Gaussiano para reduzir a interferência nos canais adjacentes, as vezes combinado com o PSK (Eberspächer, Vögel, Bettstetter, & Hartmann, 2009).

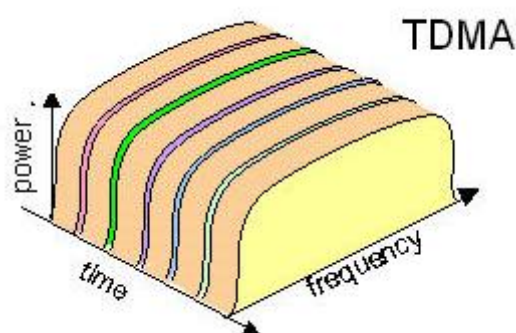


Figura 36. Tempo x frequência x intensidade do TDMA (Dolcera Wiki).

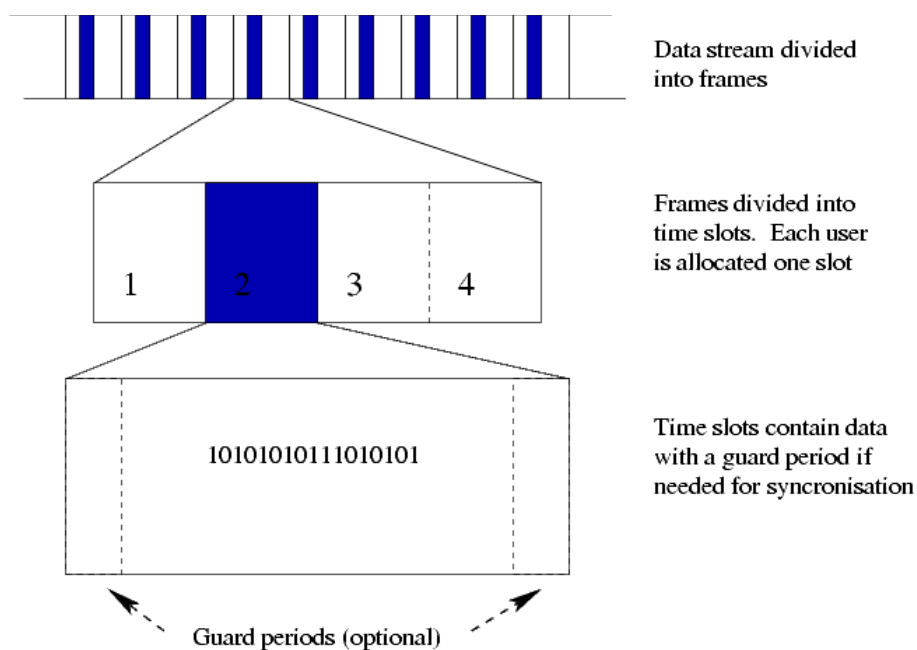
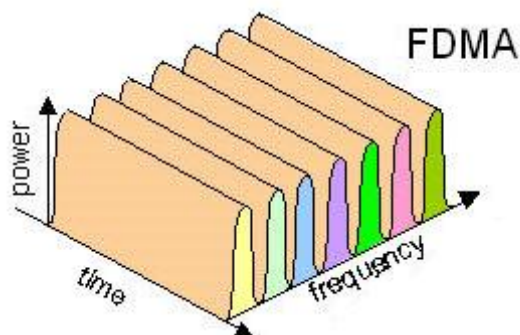


Figura 37. Estrutura do fluxo de dados TDMA (Wikipedia).



**Figura 38. Tempo x frequência x intensidade do FDMA (Dolcera Wiki).**

A primeira versão da tecnologia GSM que permitia conexão com a internet era a *Circuit Switched Data* (CSD), que utilizava apenas um slot de tempo e conseguia velocidade de 9,6 kbit/s, impraticável para navegação na web. Também existe uma evolução do CSD, *High-Speed Circuit Switched Data* (HSCSD), que alterou o método de correção de erros, que no CSD considera sempre o pior cenário, aumentando para 14,4 kbit/s a transmissão em um *slot* de tempo, sendo possível utilizar até oito *slots*. A tarifação de ambas é realizada pela quantidade de minutos utilizada e não pelo tráfego de dados. E através dessas tecnologias que os celulares passaram para a segunda geração, 2G (Eberspächer, Vögel, Bettstetter, & Hartmann, 2009).

Com o desenvolvimento do sistema *General Packet Radio Service* (GPRS), também conhecido como 2,5G, que o acesso móvel se tornou mais efetivo, sendo possível atingir velocidade de transmissão maior. Também oferece serviços que as tecnologias anteriores não ofereciam, como *Multimedia Messaging Service* (MMS) e *Push To Talk* (PTT). O GPRS utiliza quatro modelos diferentes de codificação, com velocidades de transmissão inversamente proporcionais à distância das antenas telefônicas, como indica a Tabela 7, processo também conhecido como *Adaptive Coding and Modulation* (ACM) e na configuração adotada pelas operadoras são cinco *slots* de transmissão, sendo quatro de *download* e um para *upload*. Essa diferenciação é conseguida pela diminuição da área de abrangência do sinal e também pela troca do método de correção de erro (Eberspächer, Vögel, Bettstetter, & Hartmann, 2009).

**Tabela 7 - Esquemas de codificação e velocidades de transmissão por slot do GPRS.**

| Esquema de codificação | Velocidade de transmissão por slot (kbit/s) |
|------------------------|---|
| CS-1                   | 8   |
| CS-2                   | 12  |
| CS-3                   | 14,4  |
| CS-4                   | 20,22                                       |

(Eberspächer, Vögel, Bettstetter, & Hartmann, 2009)(Wikipedia)

Apesar de a velocidade total ser equivalente a de uma conexão discada via modem, a latência era muito alta, ou seja, o tempo entre o envio do pacote de dados pela operadora e a recepção do celular (Morimoto, 2009).

A tributação ocorre sobre a quantidade de dados transmitidos, e não pelo tempo conectado, a partir do GPRS (Morimoto, 2009).

Outra tecnologia foi desenvolvida a partir do GPRS, com a mudança do sistema de modulação, em uma combinação de GMSK com 8 PSK, chamada *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE), considerada 2,75G. Também utiliza o conceito introduzido no GPRS que diferencia o tipo de codificação dependendo da qualidade do sinal e proximidade da antena transmissora, mas vai além, modificando o tipo de modulação, ilustrado na Tabela 8. Outro fato que permite o aumento da velocidade é a implementação da redundância incremental, onde não ocorre o reenvio de pacotes danificados, mas sim informação de redundância do pacote. A latência é menor que no GPRS, menos de 150ms (Eberspächer, Vögel, Bettstetter, & Hartmann, 2009).

**Tabela 8 - Esquemas de codificação e modulação e velocidades de transmissão por *slot* do EDGE.**

| <b>Esquema de codificação e modulação</b> | <b>Velocidade de transmissão por slot (kbit/s)</b> | <b>Modulação</b> |
|---|--|------------------|
| MCS-1                                     | 8,8  | GMSK             |
| MCS-2                                     | 11,2   | GMSK             |
| MCS-3                                     | 14,8   | GMSK             |
| MCS-4                                     | 17,6   | GMSK             |
| MCS-5                                     | 22,4   | 8-PSK            |
| MCS-6                                     | 29,6   | 8-PSK            |
| MCS-7                                     | 44,8   | 8-PSK            |
| MCS-8                                     | 54,4   | 8-PSK            |
| MCS-9                                     | 59,2   | 8-PSK            |

(Eberspächer, Vögel, Bettstetter, & Hartmann, 2009)(Wikipedia)

Ainda existe uma tecnologia em desenvolvimento, *Evolved EDGE*, que consegue chegar a velocidades de 1 Mbit/s (ABIResearch).

As frequências utilizadas ao redor do mundo para transmissão no sistema GSM estão ilustradas na Figura 39.



*switching*, onde um canal é criado entre os terminais de comunicação, ficando exclusivo até que a comunicação cesse (Schulze & Lüders, 2005).

Já o *Evolution-Data Only* (EVDO), considerado 3G, consegue atingir velocidade de transmissão de até 3,1 Mbit/s em sua revisão A. Diferentemente do 1xrtt o EVDO utiliza *packet switching*, que realiza a comunicação através do envio de pacotes para a rede, que são roteados conforme os endereços do receptor (Schulze & Lüders, 2005).

A modulação é escolhida pelo próprio aparelho após análise da qualidade da rede e do tráfego de dados e divide em canais de controle *Digital Rate Control* (DRC), como na Tabela 9, sendo que *smartphone* com DRC maior tem prioridade maior no agendamento de utilização dos *slots* (Schulze & Lüders, 2005).

**Tabela 9- DRC, velocidade de transmissão total, modulação e revisão do EVDO.**

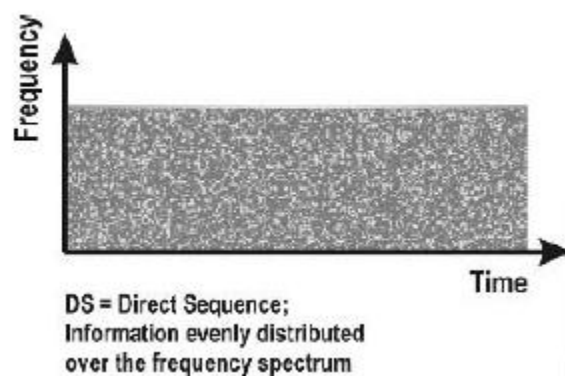
| DRC | Velocidade de transmissão total (kbit/s) | Modulação | Revisão |
|-----|--|-----------|---------|
| 1   | 38,4                                     | QPSK      | 0       |
| 2   | 76,8                                     | QPSK      | 0       |
| 3   | 153,6                                    | QPSK      | 0       |
| 4   | 307,2                                    | QPSK      | 0       |
| 5   | 307,2                                    | QPSK      | 0       |
| 6   | 614,4                                    | QPSK      | 0       |
| 7   | 614,4                                    | QPSK      | 0       |
| 8   | 921,6                                    | 8-PSK     | 0       |
| 9   | 1228,8                                   | QPSK      | 0       |
| 10  | 1228,8                                   | 16-QAM    | 0       |
| 11  | 1843,2                                   | 8-PSK     | 0       |
| 12  | 2457,6                                   | 16-QAM    | 0       |
| 13  | 1536                                     | 16-QAM    | A       |
| 14  | 3072                                     | 16-QAM    | A       |

(Schulze & Lüders, 2005)(Wikipedia)

### 4.3 UMTS

O *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) é uma tecnologia de comunicação móvel considerada da terceira geração. Apesar de ser um sistema novo e necessitar de antenas próprias, é um sistema compatível com a rede GSM, pois possui uma base muito parecida. Possui três modos de operação que possuem velocidades e características diferentes (Kaaranen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005).

Um modo é o *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA), que permite transmissão de dados na velocidade de 384 kbit/s e com baixa latência, e considerado 3G. Seu método de acesso aos canais é o *Direct-Sequence Code Division Multiple Access* (DS-CDMA), que é uma modulação onde o sinal de envio ocupa mais banda que a informação, normalmente ocupando todo o espectro de emissão possível do aparelho, como ilustrado na Figura 41, e utiliza também o *Time-Division Duplex* (TDD), que consegue emular uma conexão *full duplex* em um canal *half duplex* (Kaaranen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005).



**Figura 41. Tempo x frequência do DS-CDMA (Kaaranen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005).**

Outro modo é o *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA), que atinge velocidade teórica de até 14,4 Mbit/s, dependendo da implementação escolhida pela operadora de dados, enquanto o *upload* atinge 384 kbit/s, e é considerado 3,5G. A melhoria em relação ao WCDMA é obtida com a implementação do *Adaptive Coding and Modulation* (AMC), que permite a mudança do protocolo ou codificação de transmissão dependendo da qualidade do sinal, e do *Hybrid Automatic Repeat-Request* (HARQ), que utiliza redundância incremental, e de um sistema que administra o envio de dados e prioriza aparelhos que apresentam melhores sinais. Em condições normais é utilizado o QSPK (Quadrature Phase-Shift Keying), mas quando o sinal está muito bom utiliza 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) e 64QAM (Kaaranen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005).

Uma variante do HSDPA é o *High-Speed Uplink Packet Access* (HSUPA), que através da melhoria de alguns protocolos consegue aumentar a velocidade do upload, de 384 kbit/s para até 5,76 Mbit/s (Kaaranen, Ahtiainen, Laitinen, Naghian, & Niemi, 2005).

Na Europa a frequência utilizada para transmissão do UMTS é 900 MHz e 2100 MHz, enquanto que nos Estados Unidos é 850 MHz e 1900 MHz. Já as

operadoras brasileiras começaram utilizando 850 MHz e agora adotaram 2100 MHz (Morimoto, 2009).

A tecnologia do UMTS continua sendo desenvolvida e será a base para a quarta geração, atingindo velocidades próximas de 100 Mbit/s para *download* (3GPP).



## 5 Plataformas

Para a utilização de todo o potencial proporcionado pelos *smartphones* existe a necessidade de sistemas operacionais, que neste caso também são chamados de plataformas já que com raras exceções podem ser substituídos e são programados com adaptações específicas para cada modelo de celular (Morimoto, 2009). Na Tabela 10 pode ser analisada uma comparação do mercado de plataformas entre o segundo quarto do ano 2008 com o de 2009.

**Tabela 10 - Vendas mundiais de *smartphones* no período do segundo quarto de 2008 e de 2009 e crescimento separado por sistema operacional.**

| <b>Global smart phone market by OS</b>    |                             |         |                             |         |                       |
|---|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------|
| <b>Market shares Q2 2009, Q2 2008</b>     |                             |         |                             |         |                       |
| Vendor/OS                                 | Q2 2009<br>shipments<br>(m) | % share | Q2 2008<br>shipments<br>(m) | % share | Growth<br>Q2'09/Q2'08 |
| Total                                     | 38.1                        | 100.0%  | 33.6                        | 100.0%  | 13.4%                 |
| Symbian                                   | 19.2                        | 50.3%   | 19.6                        | 58.2%   | -2.1%                 |
| RIM                                       | 8.0                         | 20.9%   | 5.6                         | 16.7%   | 41.6%                 |
| Apple                                     | 5.2                         | 13.7%   | 0.7                         | 2.1%    | 626.9%                |
| Microsoft                                 | 3.4                         | 9.0%    | 4.8                         | 14.3%   | -28.7%                |
| Android                                   | 1.1                         | 2.8%    | -                           | 0.0%    | NA                    |
| Others                                    | 1.2                         | 3.3%    | 2.9                         | 8.6%    | -56.8%                |
| Source: Canalys estimates, © Canalys 2009 |                             |         |                             |         |                       |

(Canalysys)

### 5.1 Symbian

Consiste em um sistema operacional desenvolvido essencialmente para *smartphones* e aparelhos portáteis (como *netbooks*) com processadores ARM.

Sua origem remete a uma empresa inglesa chamada *Psion* que desenvolveu um sistema operacional que foi utilizado em alguns handhelds que ofereciam diversas funcionalidades como processadores de textos, planilhas, agendas e até mesmo um navegador. O sistema, EPOC, foi evoluindo e mudou o nome para Symbian, onde ganhou terreno ao ser utilizado como base (*drivers* e bibliotecas de funções) para as interfaces (aplicativos e bibliotecas de desenvolvimento) dos celulares da Nokia e Sony-Ericsson, respectivamente S60 e UIQ (Symbian).

No ano de 2008 a Nokia comprou a Symbian e juntamente com outras grandes empresas fundou a Symbian Foundation. A partir daí o sistema teve seu código fonte aberto, diminuindo os custos com desenvolvimento e atraindo maior quantidade de desenvolvedores (Symbian).

A interface UIQ foi descontinuada juntamente com a S90, uma tentativa da Nokia de uma interface *touchscreen* e a S60 vem ganhando constantes inovações em suas novas versões, provenientes essencialmente das interfaces descontinuadas como suporte a telas *touchscreen* e com maiores resoluções e sensores (Morimoto, 2009).

A interface gráfica do sistema é mostrada na Figura 42.



Figura 42. Interface gráfica do Symbian (Engadget).

## 5.2 Windows Mobile

O sistema operacional da Microsoft utilizado atualmente em diversos *smartphones* nasceu do Windows CE, criado para utilização em handhelds, que essencialmente consistiam em versões simplificadas e baratas dos notebooks (Morimoto, 2009).

Com o advento dos PDAs, organizadores pessoais precursores dos *smarthones*, a Microsoft realizou alterações em seu sistema e lançou o Pocket PC 2000 (basicamente o Windows CE modificado com a adição de *drivers* e aplicativos permitindo a execução em uma gama maior de aparelhos). E após alguns lançamentos o sistema foi renomeado para Windows Mobile (Morimoto, 2009).

E na sua versão mais recente, 6.5, existem duas vertentes, voltadas para uma divisão proposta pela Microsoft: Windows Mobile 6.5 *Standard*, para *smartphones*

sem *touchscreen*, e Windows Mobile 6.5 *Professional*, para *smartphones* com *touchscreen*, ainda chamados de Pocket PCs pela Microsoft. E a diferença vai além da presença da tela sensível ao toque, com a falta de componentes do sistema e de configuração na versão Standard (Microsoft).

O Windows Mobile sempre busca oferecer uma grande similaridade com a versão *desktop* do sistema, então é comum o lançamento de novas versões incorporando inovações da versão desktop como o *multi-touch*, encontrado no recente Windows 7 e esperado no Windows Mobile 7 (Gizmodo).

A interface gráfica do sistema é mostrada na Figura 43.



Figura 43. Interface gráfica do Windows Mobile (Engadget).

### 5.3 iPhone OS

Este sistema é utilizado apenas no celular fabricado pela Apple de mesmo nome foi desenvolvido baseado no sistema MacOS X, sendo a portabilidade facilitada pelo fato do OS X ser um sistema Unix, com um *Kernel* e um sistema altamente customizável de *drivers* e bibliotecas (Apple) (Morimoto, 2009).

Desde sua concepção, o iPhone OS focou oferecer uma experiência simples e intuitiva portanto toda sua manipulação é direta, com a utilização de gestos *multi-touch*, como pinçar e girar (Apple).

Constantemente a Apple lança novas versões de seu sistema operacional, oferecendo suporte às novas versões do iPhone e funcionalidades não presentes inicialmente, como a gravação de vídeos (Apple).

A interface gráfica do sistema é mostrada na Figura 44.



Figura 44. Interface gráfica do iPhone OS (Engadget).

## 5.4 WebOS

Sistema de código fonte aberto desenvolvido pela Palm para o lançamento de sua linha de *smartphones*, tem como núcleo o *Kernel* do Linux e diversos componentes escritos pela própria Palm (Palm Inc.).

Toda a interface do sistema foi criada para a utilização em telas *touchscreen* e partir do WebKit, uma *engine* gráfica que permite a exibição de páginas da internet em telas além de ferramentas para navegação, então o WebOS como o nome sugere possui uma grande integração e dependência com a web, sendo inclusive seus aplicativos desenvolvidos nas mesmas linguagens utilizadas nas páginas web (HTML, JavaScript e CSS) (Apple) (Palm Inc.) (Morimoto, 2009).

A interface gráfica do sistema é mostrada na Figura 45.



Figura 45. Interface gráfica do WebOS (Engadget).

## 5.5 BlackBerry OS

Este sistema da empresa RIM, é uma plataforma utilizada somente nos *smartphones* BlackBerry, voltados essencialmente para o mundo empresarial. Cada modelo ganha uma versão própria do sistema para tirar proveito de suas funcionalidades(BlackBerry).

O sistema operacional possui grande integração com ferramentas de sincronização em computadores pessoais e também com um servidor próprio, acessado pela rede telefônica, onde são armazenados contatos, e-mails entre outros (Morimoto, 2009).

A interface gráfica do sistema é mostrada na Figura 46.



Figura 46. Interface gráfica do BlackBerry OS (Engadget).

## 5.6 Android

O Android é um sistema operacional que roda sobre o *Kernel* do Linux e que suporta um grande leque de plataformas, sendo também utilizado em *netbooks* devido a sua alta flexibilidade e principalmente por ser um sistema de código fonte aberto e gratuito sob a licença Apache, sem necessidade da abertura dos códigos de complementos quando programados por terceiros (Open Handset Alliance).

Em meados de 2005 o Google comprou uma empresa que estava desenvolvendo um sistema para celulares e passou a desenvolvê-lo por conta. Já em 2007, juntamente com outras cinquenta empresas, entre elas TI, Intel e LG, fundou a *Open Headset Alliance* com o objetivo de produzir um sistema open source para celulares, o Android (Open Handset Alliance) (Morimoto, 2009).

O maior foco do Android é sua flexibilidade e juntamente com uma grande comunidade que se formou para o desenvolvimento de aplicações, grande parte devido aos diversos campeonatos de desenvolvimento organizados pela *Open Headset Alliance* e pela facilidade de programar para o Android, tem alcançando uma grande abrangência de tecnologias e dispositivos, como *multi-touch* e aceleradores gráficos 3D (Open Handset Alliance) (Morimoto, 2009).

A interface gráfica do sistema é mostrada na Figura 47.



Figura 47. Interface gráfica do Android (Gizmodo).



## 5.7 Maemo

A Nokia desenvolveu este sistema operacional, baseado no sistema Debian, com *Kernel* Linux e ferramentas GNU, inicialmente para utilização em *tablets*, dispositivos com funções multimídia e para acesso de internet (Maemo) (Morimoto, 2009).

O sistema se mostrou eficiente e a Nokia preparou uma nova versão que equipará seus celulares com mais alta tecnologia. Como consiste em uma variante do Debian para *desktops*, já possui uma grande quantidade de aplicativos e o fato de ser um sistema de código fonte aberto facilita o processo de desenvolvimento de soluções (Maemo) (Morimoto, 2009).

A interface gráfica do sistema é mostrada na Figura 48.



Figura 48. Interface gráfica do Maemo (Engadget).





## 6 Conclusão

O trabalho atingiu o objetivo principal de apresentar uma abordagem diferenciada sobre *smartphones* e as tecnologias incluídas neste, focando uma introdução sobre os diversos assuntos do tema.

Com a conclusão deste, há de se evidenciar o dinamismo do assunto, que leva a possível desatualização do conteúdo em pouco tempo, e que gerou um problema em relação às referências, sendo que, majoritariamente, as informações sobre as novas tecnologias não se encontram em livros, mas sim em artigos cujo acesso não é muito fácil.



## Referências

3GPP. (s.d.). Acesso em 7 de outubro de 2009, disponível em [www.3gpp.org/article/lte](http://www.3gpp.org/article/lte)

3M. (s.d.). Acesso em 30 de agosto de 2009, disponível em [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/Vikuiti1/BrandProducts/secondary/optics101/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Vikuiti1/BrandProducts/secondary/optics101/)

ABIResearch. (s.d.). Acesso em 16 de setembro de 2009, disponível em <http://www.abiresearch.com/research/1001781-Evolved+EDGE>

Air Magnet. (s.d.). Acesso em 10 de outubro de 2009, disponível em [www.airmagnet.com/assets/whitepaper/WP-802.11nPrimer.pdf](http://www.airmagnet.com/assets/whitepaper/WP-802.11nPrimer.pdf)

Apple. (s.d.). Acesso em 30 de setembro de 2009, disponível em [www.apple.com](http://www.apple.com)

ARM. (s.d.). Acesso em 30 de agosto de 2009, disponível em [www.arm.com](http://www.arm.com)

Bhowmik, A. K., Li, Z., & Bos, J. P. (2008). *Mobile Displays Technology and Applications*. Wiley.

BlackBerry. (s.d.). Acesso em 1 de novembro de 2009, disponível em [www.blackberry.com](http://www.blackberry.com)

Brown, M. (2004). *Advanced Digital Photography*. Media Publishing.

ByREV Media. (s.d.). Acesso em 1 de novembro de 2009, disponível em [blog.4rev.net/2009-08/4-wire-resistive-touchscreens-how-stuff-works/](http://blog.4rev.net/2009-08/4-wire-resistive-touchscreens-how-stuff-works/)

Canalisys. (s.d.). Acesso em 10 de outubro de 2009, disponível em Canalisys expert analysis for the high-tech industry: [www.canalys.com](http://www.canalys.com)

Dolcera Wiki. (s.d.). Acesso em 27 de outubro de 2009, disponível em [http://www.dolcera.com/wiki/index.php?title=CDMA\\_Basics](http://www.dolcera.com/wiki/index.php?title=CDMA_Basics)

Eberspächer, J., Vögel, H.-J., Bettstetter, C., & Hartmann, C. (2009). *GSM - Architecture, Protocols and Services 3rd ed.* John Wiley & Sons Ltd.

EbizFair. (s.d.). Acesso em 19 de setembro de 2009, disponível em [www.ebizfair.com](http://www.ebizfair.com)

Engadget. (s.d.). Acesso em 25 de outubro de 2009, disponível em [www.engadget.com](http://www.engadget.com)

Explain That Stuff. (s.d.). Acesso em 2 de novembro de 2009, disponível em [www.explainthatstuff.com](http://www.explainthatstuff.com)

Gadgetfolder. (s.d.). Acesso em 5 de novembro de 2009, disponível em [www.gadgetfolder.com](http://www.gadgetfolder.com)

Gizmodo. (s.d.). Acesso em 5 de novembro de 2009, disponível em [www.gizmodo.com](http://www.gizmodo.com)

- GPS World*. (s.d.). Acesso em 23 de outubro de 2009, disponível em [www.gpsworld.com](http://www.gpsworld.com)
- Heine, G. (1998). *GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation*. Norwood: Artech House, INC.
- Held, G. (2009). *Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications*. CRC Press.
- How Stuff Works*. (s.d.). Acesso em 10 de outubro de 2009, disponível em [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)
- Intel*. (s.d.). Acesso em 6 de novembro de 2009, disponível em [www.intel.com](http://www.intel.com)
- Johnson, D. (2004). Hardware and software implications of creating Bluetooth Scatternet devices. *Proceedings of the IEEE AFRICON*, 211-215.
- Kaaranen, H., Ahtiainen, A., Laitinen, L., Naghian, S., & Niemi, V. (2005). *UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services*. John Wiley & Sons, LTD.
- Kaplan, E. D., & Hegarty, J. C. (2006). *Understanding GPS Principles and Applications 2nd ed.* Norwood: Artech House.
- Labioud, H., Afifi, H., & Santis, C. D. (2007). *Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and Wimax*. Dordrecht: Springer.
- Li, S. Z. (2009). *Encyclopedia of Biometrics*. Springer.
- Maemo*. (s.d.). Acesso em 8 de outubro de 2009, disponível em [maemo.nokia.com](http://maemo.nokia.com) e [maemo.org](http://maemo.org)
- Microsoft*. (s.d.). Acesso em 5 de setembro de 2009, disponível em [www.microsoft.com/windowsmobile](http://www.microsoft.com/windowsmobile)
- Morimoto, C. E. (2009). *Smartphones Guia Prático*. GDH Press e Sul Editores.
- Ni, L., & Zheng, P. (2006). *Smart Phone & next generation mobile computing*. Morgan Kaufmann.
- Ohta, J. (2008). *Smart CMOS Image Sensors and Applications*. CRC Press.
- Open Handset Alliance*. (s.d.). Acesso em 11 de outubro de 2009, disponível em [www.openhandsetalliance.com/](http://www.openhandsetalliance.com/)
- Palm Inc.* (s.d.). Acesso em 19 de agosto de 2009, disponível em [www.palm.com](http://www.palm.com) e [developer.palm.com](http://developer.palm.com)
- Schulze, H., & Lüders, C. (2005). *Theory and Applications of OFDM and CDMA*. John Wiley & Sons.
- Scientific American*. (s.d.). Acesso em 3 de outubro de 2009, disponível em [www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com)
- Seal, D. (2001). *ARM Architecture Reference Manual 2nd ed.* Addison-Wesley.

Shinar, J. (2004). *Organic Light-Emitting Devices A Survey*. Springer.

*Sigma Imaging*. (s.d.). Acesso em 2 de novembro de 2009, disponível em <http://www.sigma-imaging-uk.com/cameras/sd14/foveon.htm>

*Symbian*. (s.d.). Acesso em 6 de setembro de 2009, disponível em [www.symbian.org](http://www.symbian.org)

Takato, K., Hasegawa, M., Kodan, M., Itoh, N., Hasegawa, R., & Sakamoto, M. (2005). *The liquid crystals book series Alignment technologies and applications of liquid crystal devices*. Taylor & Francis.

*TEAC Australia*. (s.d.). Acesso em 29 de setembro de 2009, disponível em [www.teac.com.au](http://www.teac.com.au)

*Texas Instrument*. (s.d.). Acesso em 1 de novembro de 2009, disponível em [www.ti.com](http://www.ti.com)

*Unicamp*. (s.d.). Acesso em 2 de novembro de 2009, disponível em <http://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2006/T2/057642-T.pdf>

*Wi-Fi Alliance*. (s.d.). Acesso em 15 de setembro de 2009, disponível em [www.wi-fi.org](http://www.wi-fi.org)

*Wikipedia*. (s.d.). Acesso em 26 de agosto de 2009, disponível em [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

Xu, G. (2007). *GPS Theory, Algorithms and Applications 2nd ed*. Springer.

*ZOMG its CJ*. (s.d.). Acesso em 2 de novembro de 2009, disponível em [zomgitscj.com/dual-led-flash-vs-xenon-flash/](http://zomgitscj.com/dual-led-flash-vs-xenon-flash/)