



AVALIAÇÃO DE TELEFONES CELULARES DO TIPO *SMARTPHONE*  
UTILIZANDO A METODOLOGIA DEA

Musbah Koleilat Câmara

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadores: Prof. Marcos Pereira Estellita Lins  
Prof. Lino Guimarães Marujo

Rio de Janeiro  
Maio de 2014

AVALIAÇÃO DE TELEFONES CELULARES DO TIPO *SMARTPHONE*  
UTILIZANDO A METODOLOGIA DEA

Musbah Koleilat Câmara

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

---

Prof. Marcos Pereira Estellita Lins, Ph.D.

---

Prof. Lino Guimarães Marujo, Ph.D.

---

Prof. Samuel Jurkewics, Ph.D.

---

Prof. Ericksson Rocha e Almendra, D Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Maio de 2014

Câmara, Musbah Koleilat

Avaliação de telefones celulares do tipo *smartphone* utilizando a metodologia DEA/ Musbah Koleilat Câmara. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

IX, 115 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcos Pereira Estellita Lins

Lino Guimarães Marujo

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 99-104.

1. Avaliação Smartphones. 2. Modelo de Aceitação de Tecnologia. 3. Análise DEA. I. Lins, Marcos Pereira Estellita. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DE TELEFONES CELULARES DO TIPO *SMARTPHONE*  
UTILIZANDO A METODOLOGIA DEA

Musbah Koleilat Câmara

Maio/2014

Orientadores: Marcos Pereira Estellita Lins

Lino Guimarães Marujo

Programa: Engenharia de Produção

Lançamentos recentes de telefones celulares, anunciados pela mídia como “smartphones”, possuem cada vez mais alta tecnologia embutida, e são verdadeiros computadores portáteis, onde as características de processamento de informações, memória física e virtual possuem suas capacidades incrementadas a cada novo lançamento. É notório também, que outros aspectos objetivos e subjetivos críticos para a plena satisfação do usuário, ainda continuam presentes ao se tomar a decisão de adquirir ou não um desses aparelhos. Apresentamos, portanto, utilizando a abordagem de Análise Envoltória de Dados (DEA), um estudo exploratório considerando os principais requisitos ao examinar diferentes alternativas de smartphones com relação às características relacionadas ao usuário e ao produto.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## SMARTPHONES EVALUATION USING DEA METHODOLOGY

Musbah Koleilat Câmara

May/2014

Advisors: Marcos Pereira Estellita Lins

Lino Guimarães Marujo

Department: Production Engineering

The recent releases of mobile phones, which has been announced by the media as "smartphones" are increasingly embracing the last advances of technology and are true handheld computers, where the characteristics of information processing, physical and virtual memory capabilities have incremented with each new release. It is also remarkable that other objective and subjective critical aspects to the total satisfaction of the user, still present when making the decision to buy or not one of these devices. Therefore, we present, using the approach of data envelopment analysis (DEA), more specifically the formulation known as Slacks-Based Measure of Efficiency (SBM), a model that can meet the major requirements above, to analytically examine and evaluate different smartphones alternatives with respect to characteristics related to the user and the product.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Impacto dos Smartphones .....	1
1.1.1	Aspectos Pessoais .....	1
1.1.2	Aspectos Profissionais .....	3
1.1.3	Aplicações na Educação .....	4
1.1.4	Aspectos Econômicos .....	6
1.1.5	Aplicações na Saúde .....	7
1.1.6	Aspectos Socioambientais .....	9
1.2	Histórico dos smartphones .....	12
1.2.1	1800-1899: Desenvolvimentos Iniciais.....	13
1.2.2	1900-1949: Período de Guerras Mundiais .....	14
1.2.3	1950-1969: Corrida Espacial .....	15
1.2.4	1970-1989: Desenvolvimento das Redes Celulares e PC's .....	15
1.2.5	1990-2009: Convergência Tecnológica .....	18
1.2.6	2010-2013: Integração de Conceitos?.....	20
1.3	Definições .....	21
1.3.1	Telefones Celulares Convencionais.....	21
1.3.2	Smartphones.....	21
1.3.3	Tablets.....	22
1.3.4	Foblets.....	22
1.4	Descrição do problema .....	23
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	25
2.1	Modelos Considerando Medidas Subjetivas.....	25

2.1.1	Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM).....	26
2.1.2	Modelo Correlato Aplicado a Smartphones.....	28
2.1.3	Modelo Correlato Aplicado a Dispositivos “Inteligentes” .....	30
2.1.4	Análise das Medidas Subjetivas .....	32
2.2	Modelos Considerando Medidas Objetivas .....	35
2.2.1	Modelo Aplicado a Tecnologia de Primeira Geração (1G) .....	35
2.2.2	Modelo Aplicado a Tecnologia de Segunda Geração (2G) .....	36
2.2.3	Modelo Aplicado a Tecnologia de Terceira Geração (3G).....	37
2.2.4	Modelo Aplicado a Tecnologia da Geração 3.5G.....	38
2.2.5	Análise das Medidas Objetivas .....	39
3	METODOLOGIA DA PESQUISA .....	41
3.1	Premissas e Requisitos Básicos .....	41
3.2	Análise dos Sistemas de Recomendação Online .....	42
3.3	Definição das Variáveis utilizadas no Estudo.....	44
3.4	Coleta de Dados .....	47
3.4.1	Variáveis de especificação (objetivas).....	47
3.4.2	Variáveis de benchmark computacional (objetivas).....	47
3.4.3	Variáveis de Avaliação Geral e Especifica dos Smartphones (subjetivas)	48
3.4.4	Variáveis sócio-ambientais (subjetivas) .....	48
3.5	Modelos Matemáticos.....	50
3.5.1	Aplicação da Análise das Componentes Principais .....	51
3.5.2	Aplicação da Análise de Agrupamentos .....	63
3.5.3	Aplicação da Técnica da Análise Envoltória de Dados .....	67
4	RESULTADOS .....	73
4.1	Resultados da Análise das Componentes Principais.....	73
4.2	Resultados da Análise de Agrupamentos.....	83

4.3	Resultados da Análise Envoltória de Dados .....	90
5	DISCUSSÃO.....	96
6	CONCLUSÕES.....	97
7	RECOMENDAÇÕES .....	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
	APÊNDICES .....	65
	Apêndice 1:.....	65
	Apêndice 2:.....	66
	Apêndice 3:.....	69
	Apêndice 4:.....	69
	Apêndice 5:.....	70
	Apêndice 6:.....	66
	Apêndice 7:.....	67
	Apêndice 8:.....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Uso do smartphone – Fonte: IBOPE (2013).....	2
Figura 2 - Convergência PC's, smartphones e tablets - Fonte: Evans (2013).....	2
Figura 3 - Modelo TAM (adaptado de Davis, Bagozzi e Warshaw (1989)) .....	26
Figura 4 - Modelo TRA (adaptado de Davis, Bagozzi e Warshaw (1989)) .....	27
Figura 5 - Modelo de Park e Chen (adaptado de Park e Chen (2007)).....	29
Figura 6 - Modelo de Taylor e Todd (adaptado de Taylor e Todd (1995)).....	31
Figura 7 - Modelo de Zhang et al.(adaptado de Zhang et al. (2013)).....	32
Figura 8 - Fronteiras CRS e VRS para o caso output-input únicos. ....	70
Figura 9 – Gráfico de Dispersão das Duas Componentes Principais .....	77
Figura 10 – Gráfico tridimensional das três primeiras componentes principais	78
Figura 11 – Mapa Fatorial dos Pontos Objetos e Componentes Principais.....	79
Figura 12 – Mapa fatorial tridimensional das três primeiras componentes principais .....	80
Figura 13 - Gráfico em três dimensões utilizando a abordagem da inspeção visual.....	84
Figura 14 – Gráfico em três dimensões utilizando a abordagem do afastamento dos pontos. ....	85
Figura 15 – Gráfico tridimensional com grupamentos finais.....	87
Figura 16 - Mapa conceitual das variáveis objetivas e subjetivas.....	65
Figura 17 – Matriz de covariância dos conjunto de dados dos smartphones ....	69
Figura 18 – Matriz diagonal dos desvios.....	69
Figura 19 – Matriz de correlação <b>R</b> .....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Agrupamento e Descrição dos Conceitos.....	34
Tabela 2 - Categorização das variáveis após revisão .....	35
Tabela 3 - Modelo de Han et al. (2004).....	36
Tabela 4 - Modelo de Işıklar e Büyüközkan (2007).....	37
Tabela 5 - Modelo de Chen et al. (2010).....	38
Tabela 6 - Modelo de Akyene (2012).....	39
Tabela 7 - Variáveis Objetivas e sua Categorização .....	40
Tabela 8 - Estrutura de variáveis utilizadas no modelo.....	44
Tabela 9 - Dados de resumo das variáveis .....	46
Tabela 10 - Componentes principais para os dados dos smartphones.....	74
Tabela 11 - Autovalores da matriz de correlação .....	75
Tabela 12 – Coeficientes das Comp. Principais .....	76
Tabela 13 – Matriz de correlação das variáveis .....	81
Tabela 14 - Resumo grupamentos e SEQ obtidos por inspeção visual .....	85
Tabela 15 – Resumo grupamentos e SEQ obtidos por afastamento dos pontos. 85	
Tabela 16 - Resumo com clusters finais usando técnica afastamento dos pontos .....	86
Tabela 17 – Resumo com valores médios por grupo (1ª comp. principal).....	88
Tabela 18 - Resumo com valores médios por grupo (2ª e 3ª comp. principal) ..	88
Tabela 19 - Eficiências e pesos virtuais das DMU's.....	93
Tabela 20 - Tabela de resumo com os perfis e suas características.....	94
Tabela 21 - Resultado resumido dos modelos. ....	95
Tabela 22 - Tabela de Dados dos Smartphones - 1/3 (Continua).....	66
Tabela 23 - Tabela de Dados dos Smartphones - 2/3 (Continua).....	67
Tabela 24 - Tabela de Dados dos Smartphones - 3/3 (Final) .....	68
Tabela 25 - Qualidade de Representação dos Pontos relativos aos Smartphones .....	66
Tabela 26 – Coordenadas da Projeção dos Pontos - 1/2 (Continua) .....	67
Tabela 27– Coordenadas da Projeção dos Pontos - 2/2 (Final).....	68
Tabela 28 – Smartphones contidos em cada agrupamento.....	69

# 1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento do telefone celular em meados da década de 70, e a sua disseminação a partir da década de 90 (FERGUSON, 2007), esses dispositivos tornaram-se parte integrante em muitos aspectos da vida cotidiana das pessoas, e a sua ausência parece quase inimaginável nos dias atuais (PLANT, 2001).

Temos vivido um desenvolvimento tecnológico sem precedentes em termos de redução de tamanho e aumento de capacidade dos dispositivos que foram originalmente empregados na composição de computadores pessoais (BROOKSHEAR, 2012).

Isso se refletiu na evolução dos telefones celulares, que antes serviam apenas ao propósito de fazerem chamadas telefônicas e, que após algumas adequações, se transformaram em computadores portáteis de uso geral que são denominados *smartphones*. Essas adequações foram fundamentais, para a disseminação do conceito de *smartphone* que conhecemos hoje, e para que esses dispositivos atingissem o sucesso comercial.

Observamos que esse “fenômeno” de disseminação dos *smartphones*, assim como aconteceu com os celulares tradicionais, está impactando cada vez mais na sociedade, principalmente com relação a aspectos pessoais, profissionais, educacionais, econômicos, de saúde e socioambiental. Estaremos descrevendo esses impactos mais detalhadamente nas seções a seguir.

## 1.1 Impacto dos Smartphones

### 1.1.1 Aspectos Pessoais

Para se ter uma ideia, em 2012, atividades como navegar na internet, acessar e-mail's pessoais, buscar notícias e informações, já podiam ser feitas por 18% da população brasileira, utilizando *smartphones*. Esse percentual é o dobro do ano de 2011 (IBOPE, 2013). Adicionalmente, de acordo com a pesquisa divulgada por Google e Ipsos (2012), considerando os participantes entrevistados, que constituíam uma amostra de mil pessoas, que utilizavam *smartphones* para acessar a internet, 92% deles utilizavam o *smartphone* para entretenimento (i.e. navegação na web, música, vídeos, jogos, etc.), 86% deles para comunicação (i.e. rede social, e-mail, etc.) e 61% deles para acessarem notícias (i.e. jornais e revistas online, websites, blogs, fóruns, etc.).

Esse uso da internet se dá, segundo pesquisa publicada pelo IBOPE (2013), nas seguintes situações, conforme figura 1:

Enquanto espero (trânsito, filas etc)	60%
Antes de dormir	45%
Assim que acordo	29%
Enquanto assisto TV	23%
No banheiro	18%

Figura 1 - Uso do smartphone – Fonte: IBOPE (2013)

Entretanto, a realização dessas atividades utilizando smartphones não é sempre a melhor opção, visto que ler notícias locais, localizar e preencher formulários, realizar compras são terríveis quando realizadas por esses dispositivos. Enquanto que, por outro lado, procurar por um bom restaurante em uma área desconhecida, buscar orientações de trânsito no calor do momento, inteirar-se sobre o que está acontecendo em seu círculo social ou na mídia nacional de forma instantânea, são feitos de forma singularmente eficiente, pelos *smartphones* (YELTON, 2012).

Não se pode deixar de comentar também uma tendência, conforme ilustrado por Meeker (2012), de transformação cultural ou mudança de paradigma, cujos computadores pessoais e notebooks estão sendo alcançados em termos numéricos por smartphones e tablets. Esta percepção, também compartilhada por Standage (2012) e Evans (2013), pode ser traduzida em números, conforme mostra a Figura 2. Assim como aconteceu com os telefones fixos, que no ano de 2002 foram superados em números de linhas pelos telefones celulares, tornando o telefone uma tecnologia predominantemente móvel. Isso não quer dizer que os dispositivos móveis irão substituir os PC's completamente. A ascensão dos telefones celulares, afinal, não significou que os telefones fixos deixaram de funcionar, mesmo que o seu número agora esteja em declínio (STANDAGE, 2012).

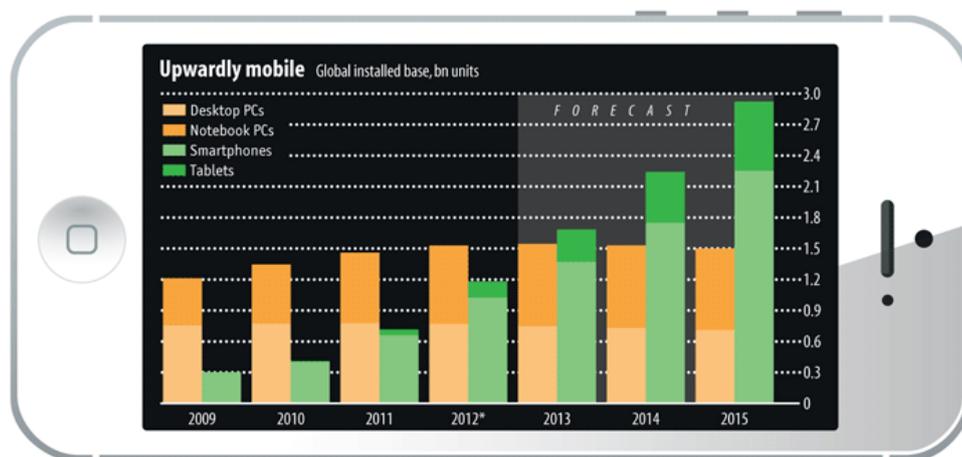


Figura 2 - Convergência PC's, smartphones e tablets - Fonte: Evans (2013)

### ***1.1.2 Aspectos Profissionais***

Saindo do contexto de utilização dos smartphones em atividades pessoais e entrando no ambiente corporativo, percebe-se que as duas maiores empresas do segmento de smartphones atualmente já possuem ganhos significativos neste setor. Este setor antes dominado pelos BlackBerry's da Canadense RIM, provavelmente passará a conhecer outros líderes após 2012, conforme a preferência entre os smartphones iPhone e Android, se consolida entre os trabalhadores. Hamblen (2012) constata que as empresas estão comprando iPhones 'em massa', embora dispositivos *top* de linha baseados em Android estão na lista dos smartphones mais comprados diretamente pelos trabalhadores.

Está previsto para 2013 que essas empresas irão comercializar juntas mais de 46 milhões de aparelhos com corporações (WILLIAMS, 2013). Baseado nesses números já se torna importante o fornecimento de sistemas de segurança e integração próprios para se adaptarem aos sistemas corporativos, atendendo aos requisitos desse mercado.

Essas iniciativas convergem na direção da tendência BYOD, que em inglês significa "traga seu próprio dispositivo" (bring your own device), na qual as empresas estão permitindo a seus funcionários e parceiros de negócio a execução de aplicações e acesso a dados mantidos por sistemas empresariais por dispositivos móveis, que são selecionados e adquiridos por seus colaboradores. Esta tendência traz alguns benefícios para os funcionários, pois evita a perda de informações pessoais registradas nos aparelhos caso sejam desligados das empresas. Em alguns casos as empresas concedem auxílio financeiro com planos de telefonia. Para as companhias os benefícios são o aumento da satisfação dos funcionários e redução de custos ao não precisar investir na compra desses dispositivos (GARTNER, 2013).

Deve-se ressaltar, entretanto, que a empresa precisará contornar alguns problemas de segurança de informação que podem surgir com a integração desses dispositivos, podendo incorrer em um maior investimento em segurança na área de TI corporativo. Por parte do funcionário, surge a responsabilidade de seleção desses smartphones que devem atender aos requisitos de compatibilidade existentes, segundo orientação do TI corporativo, para se integrarem com o sistema de informação da respectiva companhia. Deverão também ser capazes de desempenhar as tarefas do seu dia-a-dia, onde os aplicativos mais usados, segundo Nathan (2013) são: web browser (72%), e-mail (58%), contatos (56%) e calendário (55%).

Embora a Samsung seja líder no segmento no fornecimento de smartphones para consumidores não-empresariais, ela fica atrás da Apple no setor corporativo devido ao sistema operacional Android possuir mais risco em termos de segurança do que muitas organizações estão confortáveis em se sujeitar (WILLIAMS, 2013). E neste sentido, a Samsung acaba de dar o primeiro passo para competir com força nesse mercado, ao expor no International Consumer Electronics Show (CES 2013) sua plataforma “Samsung for Enterprise” (SAFE), que é um *software* de segurança, monitoramento e gerenciamento de dispositivos móveis (KASS, 2013), visando eliminar essa carência em termos de segurança.

### **1.1.3 Aplicações na Educação**

Conforme barreiras técnicas (econômicas, de capacitação para o uso, de desenvolvimento de aplicações) desaparecem, um fator fundamental no aproveitamento desta força em expansão (ferramentas baseadas em computador) torna-se a nossa habilidade de criar aplicações **que** as pessoas **estejam** dispostas a utilizar (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989).

Admitindo-se que o modo dominante de acesso à internet será através de dispositivos sem fio, e-learning simplesmente se torna m-learning, sem grandes alterações de conteúdo (NYIRI, 2002). No entanto, no tradicional e-learning o requisito mínimo de hardware ainda é um computador pessoal (PC), e em consequência uma independência absoluta ainda não é obtida. Estas independências ainda não são conquistadas, com o uso de um notebook, porque a independência real, em tempo e em local, significa conhecer onde e quando uma pessoa quer ter acesso ao material de aprendizagem. Aprendizagem móvel (m-Learning) é a próxima geração de e-Learning e é baseada em dispositivos móveis (HOLZINGER; NISCHELWITZER; MEISENBERGER, 2005).

Já existem alguns programas em curso utilizando tecnologias móveis aplicadas a educação. Embora esses projetos, em sua maior parte, se encontrem ainda em estágios iniciais de desenvolvimento, alguns deles já estão em execução e se mostram promissores para as áreas no qual estão atuando.

Portanto, visando ilustrar esse conceito de tecnologia móvel (especificamente smartphones) aplicada à educação, descrevemos três desses programas, que estão em fase final de desenvolvimento ou já estão em andamento em países da América do Sul (LUGO; SCHURMANN, 2012).

Na Colômbia, existe uma taxa de analfabetismo representativa na parcela de adultos da população que pode chegar a 7%. Para contornar esta situação, o governo colombiano através do Programa Nacional de Alfabetización estará distribuindo 250 mil dispositivos móveis para populações de baixa-renda até 2012, onde cada aparelho terá armazenado em sua memória seis módulos de conteúdo educacional interativo e autodidata visando melhorar o analfabetismo e conhecimentos básicos das pessoas.

Já no Chile, os dispositivos móveis estão sendo utilizado quase como um complemento a um programa de sucesso, apoiado pelo governo, que se destina a fornecer a estudantes do ensino médio aptos a prestarem o vestibular, conteúdo didático, exercícios práticos e testes de avaliação via web.

Esse web site, maior portal educacional em língua espanhola do mundo e sétimo mais visitado no Chile, disponibiliza uma versão móvel que pode ser baixada gratuitamente para os smartphones, contém pacotes de exercícios, jogos, *podcast's* e outros conteúdos, além de fornecer informações sobre universidades, cursos, carreira, calendário com datas importantes para os vestibulandos.

Contudo, não é apenas para disponibilizar conteúdos que os smartphones são usados. Temos algumas iniciativas também na área de gerenciamento de escolas e sistemas de educação. Por exemplo, a província argentina de Mendoza fez progressos significativos ao disponibilizar para os supervisores encarregados de avaliarem o desempenho acadêmico, recursos humanos e necessidades de infraestrutura, um sistema de informação baseado nesses dispositivos que pode ser acessado de qualquer lugar onde exista rede de telefonia móvel.

Para entendermos o problema, aproximadamente metade das escolas públicas argentinas ficam localizadas em áreas rurais, dificultando o acesso a internet ou sistemas computacionais. Neste sentido os smartphones estão sendo utilizados permitindo que os aparelhos se conectem na internet através da rede de telefonia 3G e possam transmitir as informações através de aplicativo especialmente criado para o sistema de gerenciamento escolar, facilitando a avaliação e reduzindo a quantidade de dados desatualizados no sistema.

O Brasil também está caminhando nesta direção, pois através do programa ProInfo criado em abril de 1997, que tem por objetivo a promoção do uso pedagógico das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nas redes públicas de educação básica (FNDE, 2012), está avançando com iniciativas que utilizam tecnologias móveis.

Através desse programa, está previsto para 2013, a entrega de dispositivos móveis, mais especificamente *tablets* (que podem ser considerados, como veremos adiante, uma variação dos smartphones) para professores de escolas do ensino médio visando melhorar a preparação de aulas e transmissão dos conteúdos para os alunos, que pode ser feito através do uso de projetores interativos, televisores e monitores.

Esse projeto já está em estágio avançado, onde no mês de novembro de 2012 foram disponibilizados 5.000 *tablets* para coordenadores e representantes universitários responsáveis pela formação de facilitadores que capacitarão os professores em seus estados. O projeto total está estimado em 117 milhões de reais, e prevê a compra de 382.317 *tablets* que serão destinados as escolas públicas dos estados (FNDE, 2012).

#### **1.1.4 Aspectos Econômicos**

Para se ter uma ideia da representatividade dos smartphones no mercado de telefonia móvel mundial, já em 2013 é esperado que as vendas de smartphones superem as de telefones celulares convencionais no mundo. Esta previsão já se confirmou no primeiro trimestre deste ano na Ásia ( Pacífico ) e Estados Unidos, pois os fabricantes já colocaram no mercado cerca de 216,2 milhões de smartphones para serem comercializados, o que representa 51,3 % do total de telefones celulares expedidos (FRAMINGHAM, 2013). A previsão é que até o final do ano sejam vendidos em torno de 918,6 milhões de smartphones em 2013. No Brasil, tivemos no 4º trimestre de 2012 um total de 55 milhões de usuários de smartphone, com taxa de crescimento de 35% em comparação com o ano anterior. Isto significa que no final de 2012, um em cada cinco usuários de telefone celular a possuía um smartphone (MEEKER, 2012). Para Eduardo Henrique, chefe de operações da Movable, em 2013 atingiremos a marca de 75 milhões de usuários de smartphones no Brasil, o que representa uma parcela representativa da população ativa estipulada em torno de 196 milhões de pessoas (SAVITZ, 2012).

Em termos econômicos, a empresa que mais faturou com a venda de smartphones no primeiro trimestre de 2012, foi a californiana Apple, com receita de 22,7 bilhões de dólares, que está na frente da sua concorrente direta, a coreana Samsung, em termos de faturamento com smartphones, mas que é superada pela última com relação ao número de unidades fabricadas, que são 35,1 milhões de unidades comercializadas pela Apple, contra 46,9 milhões de unidades fornecidas pela Samsung. Ambas as companhias foram responsáveis pela fabricação de 60% de todos smartphones fornecidos nesse período, o que demonstra que o mercado está se

tornando, cada vez mais, uma corrida entre dois cavalos (ASHDOWN, 2012). No ano de 2012, a Apple faturou 85 bilhões de dólares, apenas com a venda de iPhones. Esse maior ganho de receita da Apple, se comparado a outras companhias, se deve principalmente ao valor unitário médio mais elevado que gira em torno de 629 dólares por telefone, se comparado aos 250 dólares obtidos por smartphones de outros fabricantes (aqueles que utilizam sistema operacional Android) (EVANS, 2013). Isso se confirma ao analisarmos novamente o faturamento das duas empresas onde a venda de smartphones pela Apple (\$ 22,7 bilhões) faturou mais do que a divisão de telefonia móvel inteira da Samsung (\$ 17 bilhões) (ASHDOWN, 2012). Tendo em vista essas cifras, mesmo que o custo de aquisição de um smartphone, que no Brasil ainda é muito elevado para o ambiente socioeconômico em que vivemos, isto não chega a ser um impeditivo para que a classe média emergente no país esteja se tornando um cada vez mais ávido consumidor de smartphones (“Mobile Market - Overview, Statistics and Forecasts,” 2013).

O mercado brasileiro, quarto maior em número de smartphones no mundo, tem previsão para alcançar a marca de 75 milhões de unidades em vendas, para 2013, podendo inclusive superar o Japão, que atualmente ocupa a terceira posição e ficar atrás apenas da China e Estados Unidos (SAVITZ, 2012).

Para tal, o Ministério das Comunicações já executou ações para atingir esses números, através do decreto nº 7.981, de 9 de abril de 2013, que aplica desoneração fiscal para que as empresas reduzam os preços dos smartphones no Brasil (OLIVEIRA, 2013). Esse decreto elimina a cobrança do PIS/PASEP e da Cofins, que juntas podem corresponder a 9,25% do preço do aparelho, além da redução de 25% da IPI, que já beneficiava os fabricantes de smartphones há mais tempo (EXAME, 2013). Essa desoneração, no entanto, não é válida para smartphones importados. Portanto, essas medidas visam também incentivar a produção de smartphones no próprio país.

### ***1.1.5 Aplicações na Saúde***

Os profissionais da área médica, principalmente médicos e enfermeiros trabalham em um ambiente que requer alta mobilidade. Suas atividades são exercidas frequentemente dentro de locais como enfermarias, ambulatórios, serviços de diagnóstico, terapêuticos e salas de operação. Embora muitas vezes possuam consultórios clínicos fixos, seus locais de trabalho nem sempre coincidem com esses endereços. Para prestar um atendimento adequado, profissionais dessa área possuem

grande demanda por informações, e, além disso, para se capacitarem (profissionais e estudantes) precisam de instrumentos de apoio ao ensino que atendam a suas necessidades nas condições dos locais em que se encontram (HOLZINGER; NISCHELWITZER; MEISENBERGER, 2005).

Não é apenas no apoio a informações e educação médica que os smartphones podem ser relevantes ao tratarmos de assuntos relacionados a área de saúde.

A disponibilidade de aplicativos que podem ser adquiridos sob demanda tornam os smartphones uma abordagem para a saúde e atividade física do século 21 (CUMMISKEY, 2011). Por outro lado, os smartphones são utilizados primariamente para atividades sedentárias, que não melhoram a saúde, como por exemplo, jogos, redes sociais, buscas pela internet e músicas. Entretanto cabe aos educadores e profissionais das áreas de saúde e educação física promover aplicativos, que existem aos milhares, que tragam benefícios a jovens e pacientes, e que se utilizados fora das escolas ou consultórios, podem ter um efeito imenso. Para ilustrar esta questão, apresentamos duas questões a serem colocadas, e os respectivos aplicativos sugeridos.

A primeira questão é com relação à aspectos de uma boa alimentação e controle de peso, que onde o paciente após consulta com especialista da área, no caso nutricionista, pode precisar de auxílio para o planejamento e controle das refeições. Utilizando aplicativos como Lose It ou FatSecret, respectivamente para iOS e Android, este paciente terá uma tabela de calorias para grande quantidade de alimentos, poderá montar uma dieta sugerida pelo especialista, e acompanhar o quanto de calorias estão sendo ingeridas na medida em que realiza suas refeições diárias.

A segunda questão é com relação ao controle de atividades físicas regulares como corridas, por exemplo. Está disponível também para iOS e Android o aplicativo Runstatic, que possui como principais funcionalidades a possibilidade de mapear o caminho percorrido, verificar a frequência cardíaca (caso o usuário possuía acessório compatível), contabilizar as calorias queimadas, compartilhar resultado em rede social e registrar essas informações no próprio aparelho ou em servidores on-line. Esse aplicativo pode ser utilizada por professores de educação física, por exemplo, para estimular a pratica de atividade física dentro e fora das escolas. Ao se envolver cedo e encarar a questão de forma positiva, profissionais de educação física podem realmente fazer a diferença na vida dos alunos, agora e no seu futuro.

Assim como os smartphones podem fazer a diferença positivamente, eles também trazem sérias preocupações relativas ao seu mau uso. De acordo com pesquisa realizada por McCartney e Schwebel (2011) com 93 estudantes da Universidade do Alabama em Birmingham, foi identificado que mais de um terço dos estudantes dirigem seus carros enquanto utilizam seus smartphones. Entre os respondentes dessa pesquisa, um em cada dez disse que “frequentemente”, “quase sempre” ou “sempre” utiliza aplicativos móveis enquanto dirige, enquanto 35% deles às vezes utilizam. A culpa em acidentes foi encontrada significativamente associada ao uso de telefones celulares por motoristas, aumentando a chance de um acidente em 70% em comparação com motoristas que não usam telefones celulares (ASBRIDGE; BRUBACHER; CHAN, 2013).

Para Dirceu Rodrigues Alves Jr., o uso do smartphone é ainda mais perigoso que o do celular, pois desvia a visão do motorista para a tela do aparelho. “O risco é muito maior porque tirando a visão da frente do veículo, o motorista perde três, quatro ou cinco segundos. Se ele estiver a 100 quilômetros por hora, terá andado cerca de 120 metros sem a visão frontal, o que é um absurdo” (CRAIDE, 2011).

Não é apenas ao utilizar o smartphone ao volante que o usuário pode se arriscar. Em outro estudo realizado por Byinton e Schwebel (2013), verificou-se em um ambiente virtual das ruas, que o comportamento dos pedestres é grandemente alterado e geralmente mais arriscado quando distraídos pelo uso da internet. Esta constatação reforça a necessidade de maior conscientização sobre os riscos associados ao comportamento distraído por parte dos pedestres.

#### ***1.1.6 Aspectos Socioambientais***

Ao se pensar no conceito de smartphones, nós imediatamente os associamos aos últimos avanços tecnológicos na área de microeletrônica e desenvolvimento de programas, com seus respectivos ganhos de desempenho e funcionalidade, que faz com que fiquemos ansiosos por experimentar e consumir esses bens em um curto espaço de tempo. Essa impaciência por adquirir esses novos aparelhos impacta diretamente no tempo de uso do produto, que no caso dos smartphones varia entre um ano e um ano e meio (ONGONDO; WILLIAMS, 2011). Esse descarte prematuro de aparelhos, além de produzir uma quantidade considerável de resíduos que nem sempre são destinados corretamente, exige que sejam adquiridos em curto intervalo de tempo uma grande quantidade e variedade de materiais. Atualmente existem mais de 6 bilhões de

assinaturas de telefones celulares no mundo (COLDEWEY, 2012). Cada telefone celular contém centenas de componentes, e mais de 40 tipos diferentes de elementos químicos, como o cobre para fios, estanho para a solda, o ouro nas placas de circuito, índio para as telas, o neodímio nos alto-falantes e microfones, dentre outros (FRIENDS OF THE EARTH, 2012).

Dos materiais utilizados, os que causam mais danos ao meio-ambiente, são os componentes minerais, porque precisam ser explorados em minas terrestres ou remoções subaquáticas, provocando impactos significativos em seu ecossistema, impactos esses que normalmente são difíceis de serem reparados.

Na extração do estanho, por exemplo, onde cada aparelho utiliza em média 2 gramas em sua composição, os fabricantes de eletrônicos já capturam cerca de 44% da produção desse material, que vem na sua maior parte da Indonésia e China que são os dois maiores produtores desse material, representando 70% da produção mundial. Sua extração apresenta sérios impactos socioambientais, particularmente na Sumatra Oriental, estado que compõe a Indonésia (SIMPSON, 2012).

Listamos abaixo os principais passivos socioambientais associados com a extração de estanho na Indonésia conforme relatado em Friends of the Earth (2012):

- Mineração Terrestre
  - Poluição da água potável.
  - Lesões e acidentes fatais de trabalhadores formais e informais devido ao colapso de minas.
  - Perda de fertilidade do solo, dificultando cultivo.
  - Mudança drástica da paisagem para sempre.
  - Pouca ou nenhuma restauração, uma vez que a área foi explorada.
- Mineração sobre o Leito Marinho
  - Lama e sedimentos matando corais, algas marinhas e manguezais.
  - Tartarugas marinhas ameaçadas de extinção devido à perda de seus pontos de desova nas praias e fontes de alimentação como algas marinhas.
  - Escassez de peixe, principalmente na costa, forçando pescas mais afastadas, e ainda sim, menores quantidades de peixes capturados por pescador.
  - Pesca de caranguejos e camarões em declínio.
  - O Peixe Napoleão, ameaçado de extinção, está desaparecendo das áreas de mineração.

- Ostras gigantes, ameaçadas de extinção, mortas por depósitos de sedimentos.

Para minimizar esses danos, algumas medidas podem ser tomadas. A primeira delas é a reciclagem, que pode ajudar a eliminar o passivo já existente no descarte de telefones celulares antigos que estão guardados em locais em nossas residências, como gavetas por exemplo, esperando apenas o momento certo de serem descartados, que representam passivo de 85 milhões de aparelhos. O valor apenas dos metais preciosos contidos nesse passivo está avaliado em 150 milhões de libras. Só para exemplificar, a quantidade de ouro contida em uma tonelada de telefones celulares é equivalente a quantidade de ouro contida em uma tonelada de rocha a ser explorada em uma mina de ouro. Adicionalmente, essa quantidade de ouro é mais fácil de ser obtida pelo processo de reciclagem (FRIENDS OF THE EARTH, 2012).

As medidas a serem conduzidas a seguir são quanto a geração de resíduos futuros, e segundo o Friends of the Earth (2012), temos algumas ações que podem ser implementadas visando tornar os produtos que utilizamos sustentáveis, que são:

1. **Promover longevidade:** Segundo Emmenegger et al.(2004) se a utilização dos celulares aumentar de um para quatro anos, os impactos ambientais podem ser reduzidos em 40%.
2. **Escolher melhor os materiais:** substituir os materiais plásticos a base de combustíveis fósseis por plástico reciclado, plástico ácido polilático (PLA) que é derivado de amido de milho ou glicose, etc.
3. **Realizar projetos visando facilidade de reparo e upgrades:** já existem alguns conceitos de smartphones modulares como o Sony XTRUD.
4. **Aparelhos que utilizem menos energia e baterias biodegradáveis:** Como aplicativos que controlem eficientemente o consumo de energia e baterias que não utilizam materiais pesados como a Bateria Radical Orgânica (ORB).
5. **Repensar os acessórios:** Embalagem, manual, carregadores e outros acessórios podem ser repensados. Por exemplo, fornecer um novo carregador para cada telefone vendido é um desperdício, já que 70% das pessoas já possuem carregadores compatíveis quando adquirem novos telefones.
6. **Novas estratégias de negócios:** As empresas precisam de meios de geração de receitas que não a venda de novos produtos. Temos como possibilidades, *leasing* e remodelação para revenda, e elevar a qualidade e o perfil dos serviços de pós-venda.

7. ***Aumentar as taxas de recuperação:*** Ellen MacArthur Foundation (2012) sugere que o custo de remanufatura telefones celulares (preferível à reciclagem) poderia ser reduzido pela metade por dispositivo, se a indústria fizesse alterações, tais como fabricação de telefones mais fáceis de desmontar e oferecendo incentivos para retorno dos aparelhos.
8. ***Aumentar a reciclagem:*** o projeto poderia ter um papel a parte nesse caso. Todos os telefones móveis devem, no futuro, ser feitos de materiais recicláveis. O “Nokia 5 Years Phone” foi feito de 85 por cento de componentes recicláveis, utilizando uma única cor para o plástico para que fosse mais fácil de identificar e reciclar.
9. ***Mais abertura sobre a forma como os produtos são feitos:*** Precisamos que as empresas estejam mais abertas sobre os materiais que são utilizados, e o quão fácil é ao se consertar, atualizar e reciclar um telefone. Mais informações ambientais devem estar disponíveis para o público.

Caso essas iniciativas já estivessem sendo executadas, seriam de grande valia, pois a cada hora mais de 1.000 telefones celulares/smartphones são substituídos (FRIENDS OF THE EARTH, 2012).

## **1.2 Histórico dos smartphones**

Visto a importância dos telefones, computadores, telefones celulares e mais recentemente dos smartphones nas nossas vidas e sociedades, questiona-se como esses dois últimos se diferenciam? Quais funcionalidades os smartphones possuem que os tornam “inteligentes”, se comparados aos celulares convencionais?

Para responder a essas perguntas é interessante considerar resumidamente uma linha do tempo com evolução histórica desses aparelhos, desde o surgimento dos telefones móveis iniciais, passando pelos telefones celulares convencionais e chegando aos smartphones. Seguindo adiante, nossa trajetória continua até posicionarmos mais recentemente o surgimento de tablets e outros conceitos baseados em smartphones.

Após esta contextualização histórica, são fornecidas algumas definições desses dispositivos, a fim de elucidar as que se adequam melhor ao trabalho proposto.

“Desde a adoção do relógio de bolso nenhuma tecnologia foi tão rapidamente difundida em seu uso como o telefone celular” (AGAR, 2003, p. 3-5 apud MERCER, 2006, p. 105, tradução nossa). Estaremos percebendo conforme traçamos o perfil histórico dos smartphones, que ele se trata de uma convergência de tecnologias em um

único produto, cujas tecnologias principais que formam sua base são a tecnologia de telefonia, da computação e de sensores táteis. Certamente ele inclui ainda tecnologias adicionais embutidas, que funcionam de forma auxiliar como sistema fotográfico, sistema de posicionamento geográfico, dentre outros, mas estaremos nos concentrando a seguir nas tecnologias citadas inicialmente.

### ***1.2.1 1800-1899: Desenvolvimentos Iniciais***

Baseado em alguns trabalhos experimentais de Pascal e Leibnitz, na década de 1820, Charles Babbage se interessou pelo projeto de máquinas de calcular, pois considerava que existia alta incidência de erro humano na utilização de tabelas com cálculos matemáticos existentes na época. Em 1821, ele projeta a “Difference Engine Nº 1”, que era essencialmente uma calculadora mecânica, e em 1834 realiza o projeto do primeiro computador mecânico do mundo, chamado de “Analytic Engine”, que incluía processador, memória, e uma forma de inserir informações e obter resultados (O’REGAN, 2008, p. 36-44).

Em 1854, Boole publica o livro “Uma Investigação das Leis do Pensamento”, que possuía os conceitos do que ficou conhecido mais tarde como Álgebra Booleana. Álgebra esta que foi fundamental para a computação moderna. Consequentemente, Boole juntamente com Babbage são considerados os pais da computação (O’REGAN, 2008, 29-35).

Com relação à telefonia, foi em Julho de 1875, que Alexander Graham Bell, auxiliado por Thomas A. Watson, iniciaram os experimentos utilizando várias membranas transmissoras e receptoras que melhorariam o volume dos sons das vozes humanas. Confiante de que poderia fazer progressos adicionais, em 1876, Bell decide solicitar as patentes sobre as “Melhorias do Telegrafo” e o do “Telefone Magneto-Elétrico” (MERCER, 2006, p. 33).

O precursor do telefone celular, o radiotelégrafo, foi desenvolvido por Guglielmo Marconi em 1896 e era utilizado inicialmente para demandas de comunicação marítima. A constante miniaturização de componentes elétricos durante o século XX e as melhorias lentas, mas constantes na compreensão de antenas e teorias do eletromagnetismo permitiram a convergência do telefone e rádio, que se tornou uma tecnologia possível (AGAR, 2003, p. 11-12 apud MERCER, 2006, p. 106-107, tradução nossa).

### ***1.2.2 1900-1949: Período de Guerras Mundiais***

O trabalho de Boole ficou esquecido por bastante tempo até que Claude Shannon, através de uma pesquisa no MIT em 1930, mostrou que a álgebra Booleana poderia ser empregada em comutadores para roteamento telefônico e que, além disso, esses circuitos poderiam ser usados para resolver problemas de álgebra Booleana.

Em 1936, a empresa emergente Galvin Manufacturing Corporation (que mudaria seu nome anos depois para Motorola) entrou no campo da comunicação móvel via rádio com o desenvolvimento do receptor móvel *Motorola Police Cruiser*, e em 1940 desenvolveu um sistema de rádio bidirecional relativamente leve que foi utilizado para comunicação durante a Segunda Guerra Mundial (O'REGAN, 2008, p. 221).

Em 1946, já estava operando o ENIAC, o primeiro computador eletrônico do mundo (BERGIN, 2000, p. 2). O ENIAC, proposto por John W. Mauchly e J. Presper Eckert, Jr., que foi desenvolvido com o objetivo de que fosse utilizado pelo exército americano em cálculos balísticos durante a Segunda Guerra (BERGIN, 2000, p. 1), precisava que seus fios fossem religados com o objetivo de realizar o processamento de diferentes tarefas (O'REGAN, 2008, p. 67). Logo em seguida, em 1947, surge o primeiro computador com a arquitetura Von Neumann, ou seja, arquitetura multitarefa, que não precisaria de recabeamento ou reprojetado. Seu nome era Manchester Mark I, e foi projetado e construído pela universidade de Manchester na Inglaterra por Frederick Williams, Tom Kilburn e outros.

Após a guerra, houve alguns esforços para desenvolver aplicações comerciais para essas tecnologias. Como resultado da pesquisa de Alton Dickieson e D. Mitchell dos Laboratórios Bell, em 1946, as primeiras chamadas de telefonia móvel foram feitas como parte de um serviço de auto-estrada. Em 1948, o serviço se espalhou ao longo de quase 100 cidades e corredores rodoviários e tinha 5.000 clientes que faziam 30.000 chamadas semanais. O sistema enfrentou várias limitações: no máximo três assinantes poderiam chamar ao mesmo tempo, na mesma cidade; o sistema telefônico custava US\$ 15 por mês, com chamadas locais variando entre 30 e 40 centavos; e os equipamentos necessários para transportá-lo em um automóvel pesavam 80 libras, aproximadamente 36 quilos (AT&T, 2013).

A utilização inicial dos radiofones foi limitada pelo tamanho das baterias e outros componentes eram grandes e pesados. Os telefones precisariam ser transportados em carros ou navios, e havia a necessidade de melhor utilizar o espectro de frequências

disponível. Para contornar o problema de limitação do espectro de frequências, o que iria encorajar avanços direcionando a telefonia móvel como algo além do que apenas um nicho de tecnologia, os cientistas da Bell, D.H. Ring e W.R. Young, começaram a desenvolver os princípios de “comunicação celular”, que seria uma forma de dividir o espectro de radiofrequência para evitar interferências e permitir um maior número de sinais/usuários. Ring sugeriu que poderia ser possível alocar um pequeno número de frequências para um padrão de hexágonos (células) de uma dada região, chamada de proposta celular de Ring, que apareceu em um Memorando Técnico dos Laboratórios Bell, publicada em 1947. Este padrão de repetição de células ofereceu desafios tecnológicos na forma de desenvolver maneiras de alternar automaticamente as frequências e regiões próximas de células adjacentes (AGAR, 2003, p. 19-22 apud MERCER, 2006, p. 108).

### ***1.2.3 1950-1969: Corrida Espacial***

Em 1956, a Motorola introduziria o *pager*, que permitiria que mensagens de rádio fossem enviadas para um indivíduo em particular (O'REGAN, 2008, p. 221).

Em 1958, a IBM apresenta o primeiro computador comercial com lógica transistor, o IBM 7090. Ele foi utilizado pela Força Aérea Americana para obtenção de um sistema de alerta de mísseis, e também pela NASA para controlar voos espaciais. Seu custo era de aproximadamente 3 milhões de dólares (O'REGAN, 2008, p. 208-209).

Em uma conferência de imprensa em 1964, Thomas Watson anuncia o novo System 360 ao mundo. O responsável pela arquitetura do S/360 foi Gene Amdahl, cujo projeto foi gerido por Fred Brooks, com orçamento de 5 bilhões de dólares. A aposta valeu a pena e ele se tornou uma linha de produtos de bastante sucesso para a IBM. O S/360 foi utilizado extensivamente no projeto Apollo que levaria o homem a lua (O'REGAN, 2008, p. 210-211).

No final da década de 60, início da década de 70, foram sendo feitos desenvolvimentos em termos dos aparelhos e das redes de telefonia celular, quase que em paralelo, em vários países do mundo, tomando uma dimensão internacional nos avanços dessa tecnologia.

### ***1.2.4 1970-1989: Desenvolvimento das Redes Celulares e PC's***

A Motorola, em 1973, apresentou o protótipo do primeiro telefone portátil do mundo, o DynaTAC que já utilizava a tecnologia de transmissão celular (O'REGAN,

2008, p. 221). Portanto, é atribuído a Martin Cooper da Motorola como sendo o responsável pela invenção do primeiro aparelho celular portátil moderno, e também o realizador da primeira chamada feita em um telefone celular, nesse mesmo ano (O'REGAN, 2008, p. 224).

Ao mesmo tempo em que foi apresentado o telefone celular da Motorola, já existiam sensores que interagem a toques (VARCHOLIK; LAVIOLA; HUGHES, 2012, p. 658). Essas telas sensíveis ao toque foram empregadas pela primeira vez nas torres de controle de tráfego aéreo Britânicas em 1967 (FELLETT, 2012, p. 40). Em 1984, ocorre a primeira demonstração da “Tela Multi-Toque” de Boie, sendo aperfeiçoada em 1986 com a pesquisa de Buxton, com a utilização de tais dispositivos com as duas mãos (VARCHOLIK; LAVIOLA; HUGHES, 2012, p. 658).

Em 1975, é apresentado o IBM 5100, que era um computador “portátil” que custava em torno de 20.000 dólares. Esta máquina era utilizada principalmente por engenheiros e cientistas. E em 1981, surge o IBM Personal Computer (ou PC), para ser utilizado em pequenas empresas ou residências. Seu custo era 1.565 dólares, o menor preço já alcançado por um computador até aquela data (O'REGAN, 2008, p. 212). Juntamente com o PC, surge o MS-DOS, sistema operacional utilizado pelos computadores pessoais da IBM, fornecido pela recém-criada Microsoft. A Microsoft, em 1985, forneceria sua primeira versão do Windows, que era uma extensão gráfica do sistema operacional MS-DOS.

A primeira rede de telefonia celular, a abranger uma cidade inteira, foi feita pela empresa japonesa de telecomunicações NTT, em 1979 (CHARLESWORTH, 2009).

Nos Estados Unidos, em 1977 a Illinois Bell (Operador da Bell em Chicago) foi autorizada a instalar o primeiro sistema de telefonia celular com 10 estações de base. O sistema, que começou a ser utilizado em 1978, tinha capacidade para 2.000 usuários que poderiam se comunicar através de telefones transportados em seus carros e estações de base, com o sistema telefônico tradicional. A comissão federal de comunicações americana (FCC) considerou que o experimento foi bem sucedido e iniciou a concessão de licenças para as redes de telefonia celular em 1984 (AGAR, 2003, p. 39-41 apud MERCER, 2006, p. 111).

Os operadores de telefonia adotaram então o sistema de telefonia analógico AMPS (Advanced Mobile Phone System) desenvolvido pela Bell Laboratories para a comunicação entre o telefone celular e a estação base, onde essa comunicação utilizava

uma frequência no intervalo entre 800 e 900 Mhz. Esse sistema é considerado como sendo a primeira geração (1G) da telefonia celular (O'REGAN, 2008, p. 224).

Nesse mesmo período foi trazido ao mercado e entrou em operação o aparelho Motorola DynaTAC, que havia sido desenvolvido 10 anos antes e custava em torno de 3.500 dólares, além de pesar 1 libra, que é aproximadamente 450 gramas (O'REGAN, 2008, p. 224).

De modo geral, mesmo sendo a engenhosidade tecnológica dos EUA que ajudou no nascimento do telefone celular, os Estados Unidos não iriam, inicialmente, construir sobre este sucesso primitivo, e assumir a liderança no desenvolvimento e aperfeiçoamento do celular. Em vez disso, ele teve lugar na Escandinávia, e, posteriormente, na Europa, através das iniciativas da União Europeia (MERCER, 2006, p. 112).

Na Escandinávia, em 1967, Carl-Gosta Asdal que era engenheiro-chefe da Swedish Telecom Radio, sugere que a Suécia poderia desenvolver uma rede de telefonia móvel automatizada integrada com a rede de telefonia fixa. Em 1969 o projeto expandiu-se para conseguir o apoio de engenheiros de outros países nórdicos: Dinamarca, Noruega e Finlândia, tornando-se o Nordic Mobile Telephone Group. A partir desta iniciativa foi desenvolvido o padrão NMT (Nordic Mobile Telephone), que foi lançado em 1981. Em 1986 o sistema NMT já era tão popular que sua capacidade já havia se esgotado, sendo necessário introduzir NMT 900, que era um sistema com frequências mais elevadas (MERCER, 2006, p. 113).

Percebendo o sucesso nórdico emergente, os maiores países europeus, como França, Alemanha, Itália e Grã-Bretanha decidiram que era hora de desenvolver seus próprios sistemas. Em Estocolmo, em 1982, reuniões entre engenheiros e administradores de 11 países europeus, levou ao então chamado GSM. O GSM, que representava "Groupe Speciale Mobile", que mais tarde se transformou em Global System for Mobile Communications, era um sistema digital, que veio a ser conhecido como a segunda geração de telefones celulares (2G), substituindo a primeira geração analógica. Sendo um sistema digital isso significava que ele teria a possibilidade de oferecer não apenas voz, mas outros serviços de informação também. Em 1987, os protótipos GSM foram testados e a maioria das divergências políticas foram resolvidas (MERCER, 2006, p. 114-115).

### **1.2.5 1990-2009: Convergência Tecnológica**

Em 1991, o sistema GSM entrou em operação, e em 1995, grande parte da Europa estava coberta. Em 1996 os sistemas GSM estavam operando em 103 países (AGAR, 2003, p. 62-63 apud MERCER, 2006, p. 115).

O GSM permitiu aos fabricantes que se concentrassem em melhorias tais como tecnologias de transmissão e aparelhos telefônicos, concedendo espaço para a evolução de tecnologias que não forneceram retornos econômicos imediatos, mas que eram inovações tecnicamente interessantes como as mensagens de texto ou SMS (TROSBY, 2004, p. 187), cuja primeira demonstração aconteceu em 1993, na Finlândia (CHARLESWORTH, 2009, p. 33).

Neste mesmo período, surgem inovações relacionadas aos dispositivos portáteis.

A IBM em 1991 lança um modelo de computador laptop, para dar aos consumidores capacidades computacionais nas estradas ou viagens aéreas. Em 1992, é lançado o sistema operacional Windows 3.1, que já em 1993, se torna o sistema operacional com interface gráfica mais largamente utilizado (O'REGAN, 2008, p. 214-218).

Nesse mesmo ano, John Sculley, então diretor executivo e presidente da Apple, descrevia pela primeira vez o termo PDA (Personal Digital Assistant). O primeiro PDA foi o Newton MessagePad, desenvolvido pela Apple, apresentado em 1992 e já disponível em 1993. O Newton foi um produto revolucionário, criando um mercado inteiramente novo, que consumiu 80.000 unidades em 1993 (WIGGINS, 2004, p. 6-7).

Em 1993, ocorre a convergência das tecnologias de telefonia celular, computação pessoal e sensores táteis, com o surgimento do aparelho IBM Simon, considerado por muitos o primeiro smartphone a ser lançado.

Ele possuía diversas funcionalidades como telefone celular, Pager, FAX e computador, embora fosse um bloco que pesasse 18 onças, que é aproximadamente 510 gramas. Como características principais, ele possuía uma tela *touchscreen* monocromática, que era sensível ao toque dos dedos ou a uma caneta *stylus*. Possuía também alguns aplicativos como e-mail, calculadora, calendário, relógio, e um jogo, e além disso, caso fosse inserido um cartão de memória, outros aplicativos poderiam ser utilizados como uma câmera, mapas e música (SAGER, 2012).

Em 1996, surge o Motorola StarTAC. Esse telefone celular se destacava pelo seu tamanho e peso reduzido, e pelo seu formato em forma de concha bipartida. Ele

possuía tecnologia 2G, e como era mais acessível às elites, acabou se tornando símbolo de status. Surgiu, na época, uma tendência entre consumidores, e conseqüentemente entre os fabricantes, de valorizar a redução no tamanho e peso dos aparelhos (MARTON, 2013).

“As vendas de smartphones para consumidores em larga escala se iniciou em 1997 pelo Ericsson GS88” (TUMIN; ENCHEVA, 2011, p. 246, tradução nossa), que nesta época já possuía o termo “smartphone” impresso em sua embalagem.

E em 1999, surge o aparelho Blackberry 850, primeiro modelo da empresa canadense RIM, abreviação para Research in Motion (SARA, 2011), que se tornou um paradigma no conceito de smartphones, ao possuir normalmente um teclado QWERTY, display na horizontal, assemelhando-se a computadores-de-mão.

Com a consciência de que os mercados se tornariam mais saturados sem outras inovações, empresas europeias de telefonia móvel pagaram acima de 80 milhões de libras esterlinas no final da década de 90 em taxas de licenciamento para operar a chamada nova “terceira geração” (3G) da telefonia móvel (BURGESS, 2004, p. 52), cujo primeiro lançamento comercial dessa tecnologia foi feita pela NTT DoCoMo em 2001 (CHARLESWORTH, 2009, p. 33).

O 3G é baseado na ideia de que os telefones celulares devem ser capazes de integrar-se com, e até mesmo substituir, as funções desempenhadas por computadores pessoais. Assistir a vídeos e TV, acessar a Internet, se engajar no comércio eletrônico e e-mail, poderia em teoria se tornar possível através do celular. Usuários de telefone iriam “usufruir” do “contato constante” com uma conexão “sem interrupção” (BURGESS, 2004, p. 52).

E em junho de 2007, a Apple lança o iPhone, aparelho que mudaria o conceito vigente de smartphone, caracterizados pelos aparelhos BlackBerry. O iPhone se apresentava sem o usual teclado QWERTY, e chamava a atenção por sua interface, sensível a movimentos multi-toque e seu acabamento aprimorado (MARTON, 2013, p. 21). Em sua apresentação, Steve Jobs, ao revelar o protótipo do iPhone ao público em janeiro de 2007, na convenção Macworld em São Francisco (POWER, 2013, p. 6), mostrou que o iPhone era um dispositivo diferente dos smartphones tradicionais não apenas pelo design, mas principalmente por se mostrar bastante intuitivo e funcional.

Nesse mesmo ano, a Open Handset Alliance, aliança de diversas empresas como a Google, HTC, Dell, Intel, Motorola, Samsung, e outros, com o objetivo de

desenvolver um sistema operacional (SO) para telefones celulares com o código aberto, lança o Android (CHARLESWORTH, 2009, p. 33), sistema operacional específico para a utilização em dispositivos móveis.

Já em 2007, os smartphones possuíam funcionalidades de reprodutores de vídeo portáteis, câmeras digitais compactas e unidades de navegação GPS (POWER, 2013, p. 6), além de possuírem aplicativos diversos que possibilitavam que o dispositivo fosse utilizado como computador pessoal, central de entretenimento e serem ainda, telefones celulares.

### **1.2.6 2010-2013: Integração de Conceitos?**

Em 2010, a Apple lança mais um produto que se tornaria referência no mercado, o iPad. Ao apresentar o iPad, o então diretor executivo da Apple Steve Jobs, o anuncia como sendo um produto que criaria e definiria uma nova categoria de dispositivos que iriam conectar os usuários aos seus aplicativos e conteúdos de uma maneira muito mais íntima, intuitiva e divertida do que antes (APPLE, 2010). Efetivamente o conceito do iPad definiu uma categoria, e os produtos dessa categoria receberam o nome de “*tablets*” (GRUMAN, 2011). Segundo Nosrati et al (2012, p. 401), o iPad foi o primeiro *tablet* a fazer sucesso e obter êxito comercial globalmente.

Quais serão os desenvolvimentos futuros dos computadores portáteis? Estamos assistindo os smartphones da coreana Samsung, que possuem sistema Android, se difundindo entre os consumidores, e se tornando líderes em venda (ASHDOWN, 2012).

Essa companhia está apostando na tendência de smartphones com tamanho de telas maiores (variando entre 5 e 6 polegadas), e com desempenho computacional cada vez maior, ao lançar o Samsung Galaxy Note I e II. Esse novo conceito em smartphone, que vem sendo chamado pelo público de “foblet”, está indo na contramão da miniaturização da década de 90 (MARTON, 2013, p. 21). Será que está havendo uma demanda pela integração dos conceitos “*smartphone*” e “*tablet*”, que talvez seja motivado pelo excesso de dispositivos computacionais presentes hoje no nosso cotidiano como *desktops*, *notebooks*, *tablets* e *smartphones*? Essa tendência irá se consolidar como conceito dominante, como hoje são os *smartphones*? Ou este é apenas mais um conceito coadjuvante esperando para ser superado por outra tecnologia ainda mais inovadora? Bem, só com o tempo obteremos as respostas.

### **1.3 Definições**

Com a evolução dos telefones celulares, para *smartphones*, o surgimento dos tablets e outros conceitos mais novos, como os foblets, aumenta a gama de características e funcionalidade que estão presentes nesses dispositivos, fazendo-se necessário defini-los formalmente. Portanto, buscamos na literatura as definições mais aceitas e descrevemos as que melhor se enquadram para a proposta do trabalho apresentado.

#### **1.3.1 Telefones Celulares Convencionais**

Chamados na língua inglesa como “Feature Phones”: São aparelhos de telefonia celular considerados mais “simples” e que possuem como principal funcionalidade o processamento chamadas telefônicas, envio de mensagens de texto ou mesmo reproduzidor musical. São tipicamente dispositivos pequenos e portáteis, e a maioria deles executa aplicativos já pré-instalados. Com relação aos componentes, eles normalmente possuem: teclado numérico simples, sistema operacional básico; tela entre 1,5 a 2,5 polegadas, monocromática ou colorida e de baixa-resolução; câmera de baixa resolução; e antena telefônica externa ou embutida. Pode ou não possuir teclado QWERTY e entrada para cartão de memória, dependendo da função a que se propõe.

#### **1.3.2 Smartphones**

Também conhecidos com telefones “inteligentes”, são definidos de acordo com suas características, componentes e funcionalidades, embora possam ocorrer variações com relação a presença ou especificação de ambos, dependendo fundamentalmente dos fabricantes, conceito de smartphone (iPhone vs Blackberry) ou do público ao qual o smartphone deseja atender.

Smartphones são dispositivos computacionais portáteis, que podem ser guardados sem muita dificuldade em bolsos convencionais de roupas em geral.

Com relação aos componentes, eles normalmente possuem: hardware computacional (CPU, GPU, Disco, RAM, etc.); sistema operacional avançado; tela sensível ao toque entre 2 e 5 polegadas, colorida e de alta-resolução; câmera primária de alta-resolução e secundária para web-conferencia; acelerômetro; giroscópio; bússola; sistema GPS; comunicação wireless; bluetooth; entrada para cartão de memória; e antena telefônica embutida (NOSRATI; KARIMI; HASANVAND, 2012, p. 400-401). Pode ou não possuir teclado QWERTY, dependendo do conceito de *smartphone* (iPhone vs Blackberry).

Com relação às funcionalidades, eles normalmente eles possuem interface multi-toque, com mudança de orientação da tela e teclado QWERTY sob demanda (se for o caso); processam chamadas telefônicas; transmitem mensagem de texto; realizam navegação pela internet em websites padrão e páginas otimizadas para dispositivos móveis; capturam e compartilham fotos; fornecem mapas, localizações e direções; permitem leitura de arquivos pdf; reproduzem vídeos e músicas; acessam redes sociais; transferem arquivos via bluetooth ou wireless; e instalam e executam diversos softwares, disponíveis em portais próprios de aplicativos, solicitados sob demanda (GREEN; CLAWSON, 2012, p. 337).

### **1.3.3 Tablets**

Possuem as mesmas características descritas para os smartphones, mas apresentam algumas peculiaridades. Suas telas touchscreen possuem entre 7 e 10 polegadas, e caneta Stylus pode ser fornecida junto com o dispositivo. Tipicamente, não possuem a função telefone ou teclado fixo, embora alguns modelos possuam entrada para chip telefônico e teclados acopláveis próprios (NOSRATI; KARIMI; HASANVAND, 2012). Os *tablets* são mais adequados à leitura e navegação na web, do que os smartphones devido ao seu maior tamanho de tela, o que também facilita a digitação no teclado virtual da tela *touchscreen*. Os tablets costumam ser transportados em mochilas ou bolsas.

### **1.3.4 Foblets**

Foblet é a adequação da palavra inglesa Phablet, cuja composição foi feita ao se utilizar as palavras phone e tablet. Tendo se originado dos *smartphones* e *tablets*, ele apresenta basicamente as mesmas características descritas para os smartphones, mas com o diferencial de possuírem telas *touchscreen* maiores, entre 5 e 7 polegadas (GREEN; CLAWSON, 2012, p. 338). Possui originalmente uma caneta Stylus, e a função telefone, embora sua utilização como telefone não seja muito adequada para receber chamadas (MARTON, 2013). Não possuem teclados fixos ou mesmo acopláveis, pois seu teclado touchscreen tem tamanho adequado para digitação. Pelo fato da tela ser tela maior são mais adequados à leitura e navegação na web do que os smartphones, embora os *tablets* sejam superiores neste quesito. O tamanho dos foblets pode ser considerado problemático, pois não é pequeno o suficiente para ser transportado em bolsos convencionais de roupas e nem grande o suficiente para o usuário se prontificar a carregar uma mochila ou bolsa só para transportá-lo, embora já

existam algumas confecções interessadas na demanda que possa surgir por roupas com bolsos maiores (EPSTEIN, 2013).

#### **1.4 Descrição do problema**

Como vimos nas seções anteriores, com o surgimento do telefone celular em meados da década de 70, e a sua disseminação a partir da década de 90, esses dispositivos tornaram-se parte integrante em muitos aspectos da vida cotidiana das pessoas, e passaram a servir a múltiplos propósitos, além da comunicação.

Com a previsão do alto número de vendas desses aparelhos no Brasil, somado ao crescimento das vendas por comércio eletrônico, que nos oferece uma grande variedade de opções de aparelhos e preços disponíveis, torna-se uma tarefa complexa selecionar o smartphone mais adequado à necessidade das pessoas, pois normalmente o capital a ser investido nesses aparelhos é restrito, e desejamos obter um aparelho que atenda as nossas aspirações, que podem ser pessoais, profissionais e educacionais. Normalmente não desejamos que o produto que estamos adquirindo, seja produzido por uma empresa que agride ao meio ambiente, tanto no processo de extração da matéria-prima utilizada, quanto no processo de descarte do produto obsoleto. Assim como esperamos que as condições de trabalho oferecidas para as pessoas que colaboram com a manufatura desses produtos sejam adequadas, e que o dinheiro aplicado no produto se reverta de forma positiva na economia do país de modo geral.

Todavia, para podermos fazer uma avaliação um pouco mais criteriosa e consciente do smartphone a ser adquirido, precisamos primeiramente tomar consciência dos aspectos envolvidos que são representativos para a nossa avaliação do produto, novamente os aspectos pessoal, profissional e educacional.

Ou seja, no âmbito pessoal, quais as variáveis que o usuário mais valoriza, “funcionalidade”, “desempenho computacional”, “design”? E no âmbito profissional? Será que a variável “marca” não seria importante, pois ela poderia representar um certo “status” que o usuário gostaria de possuir perante sua equipe de trabalho? Será que o usuário não estaria enganando a si mesmo caso ele não considerasse essa variável no modelo? E caso o usuário, adquira um celular com custo acima do seu padrão financeiro habitual, ele não vai gerar certo desconforto aos seus familiares próximos? Portanto é interessante para o trabalho em questão analisar os aspectos psicológicos, que possam ser inerentes à escolha das variáveis com o objetivo de estruturar o problema de forma que ele seja o mais representativo o possível da “realidade” experimentada pela

coletividade. Após definidas as variáveis, assim como perfis de usuários considerando variáveis específicas para cada caso, é necessário verificar se as informações necessárias existem em algum sistema de informação. Para realizar esta avaliação o analista dispõe de alguns sistemas de informação e recomendação online, que possuem bases de dados ricas em termos de informações objetivas e subjetivas sobre smartphones.

Indo ao encontro deste conceito, a utilização de sistemas de recomendações de telefones celulares baseados na web, cujas informações podem ser facilmente acessadas, em conjunto com a técnica da Análise Envoltória de Dados (DEA), ferramenta consagrada na avaliação e comparação de dados quantitativos, constituem um ferramental importante para apoiar o processo de avaliação de smartphones. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise comparativa do desempenho dos smartphones vendidos no Brasil utilizando a técnica DEA, obtendo através sistemas de recomendações via web às informações necessárias para a construção do modelo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Sendo os smartphones dispositivos computacionais portáteis, se torna bastante coerente analisar os estudos anteriores feitos sobre computadores com relação a seus desempenhos. Esses estudos podem abranger aspectos relacionados ao desempenho determinado subjetivamente por avaliação de usuários, por exemplo, ou mesmo ao desempenho determinado objetivamente, por meio de componentes que devem atender a requisitos de projeto, por meio de testes laboratoriais ou através de análises computacionais utilizando softwares específicos.

### 2.1 Modelos Considerando Medidas Subjetivas

“Para melhor prever, explicar e aumentar a aceitação do usuário, nós precisamos compreender melhor porque pessoas aceitam ou rejeitam computadores” (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989), e nesse sentido se destacam o uso das medidas subjetivas, que se disseminaram, e estão sendo utilizadas na prática em diversas aplicações, como por exemplo, inputs para metodologias de seleção de software, em publicações da indústria frequentemente reportando pesquisas de usuários, na orientação do desenvolvimento de novas tecnologias de informação e produtos, apenas para citar algumas. Entretanto, dependendo do contexto, pouca atenção é dada para a qualidade das medidas utilizadas ou o quão bem se correlacionam com o uso (DAVIS, 1989).

Para que se pudessem conceber métodos práticos para avaliar sistemas computacionais, visando a predição das respostas dos usuários, foi preciso que se definissem alguns construtos que pudessem ser utilizados como base para as avaliações desses sistemas (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989). Esses construtos são a *utilidade percebida* e a *facilidade de uso percebida*.

A *utilidade percebida* foi definida como “o grau no qual uma pessoa acredita que usando um sistema particular pode melhorar sua performance no trabalho” (DAVIS, 1989), acreditando que pessoas tendem a usar uma aplicação na medida que elas acreditam que isso irá ajudá-las a realizar melhor o seu trabalho.

A *facilidade de uso percebida* foi definida como “o grau que uma pessoa acredita que a utilização de um sistema particular estaria livre de esforço” (DAVIS, 1989), sendo o esforço um recurso finito que uma pessoa pode alocar a várias atividades no qual é responsável.

A importância da facilidade de uso é suportada pela teoria da auto-eficácia que foi uma pesquisa extensiva feita por Bandura (1982), que define a auto-eficácia como “julgamentos de quão bem alguém pode executar cursos de ação exigidos para lidar com situações potenciais” (DAVIS, 1989).

As definições conceituais de utilidade percebida e facilidade de uso percebida, declaradas acima, são os fundamentos para a formulação do Modelo de Aceitação de Tecnologia (em inglês Technology Acceptance Model, TAM), especialmente desenvolvido para modelar a aceitação do usuário a um sistema de informação (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989).

### 2.1.1 Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM)

O modelo TAM postula que o uso do computador é determinado pela intenção de uso de uma pessoa, e esta intenção é determinada por sua atitude que a leva a utilizar o sistema e pela utilidade percebida pela tecnologia. Seguem na Figura 3 os conceitos propostos pelo modelo TAM:

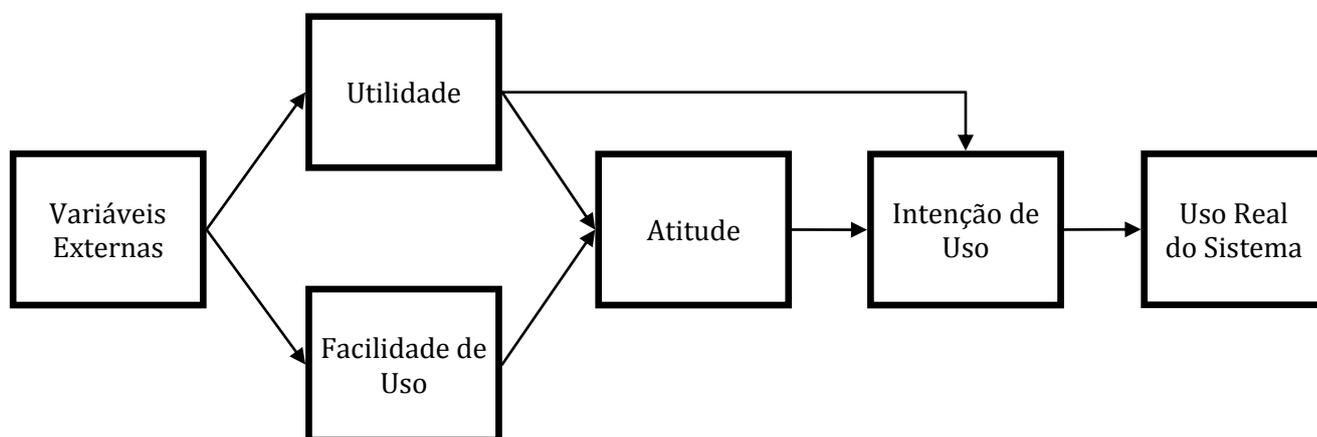


Figura 3 - Modelo TAM (adaptado de Davis, Bagozzi e Warshaw (1989))

O modelo TAM tem por objetivo final a identificação de um pequeno número de variáveis fundamentais sugeridas por pesquisas anteriores e busca lidar com determinantes cognitivos e emocionais de aceitação do computador, baseada na Teoria da Ação Racional (em inglês, Theory of Reasoned Action, TRA) de Fishbein e Ajzen (1975) para o relacionamento entre essas variáveis (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989).

TRA é um modelo geral, estudado pela psicologia social, que está preocupado com os determinantes da intenção consciente que levam a um comportamento particular, que é determinado pela atitude das pessoas e pela norma subjetiva com relação àquele comportamento (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989).

Uma atitude pessoal que leva a um comportamento é determinada pelas crenças e avaliações pessoais, onde crenças são definidas como a probabilidade individual subjetiva de que ao se realizar um comportamento um resultado será obtido. Avaliações pessoais são definidas como a avaliação implícita que é feita do resultado a ser obtido.

Já a norma subjetiva considera as crenças normativas e a motivação para consentimento. As crenças normativas são as expectativas dos indivíduos ou coletividade que são percebidas pelo elemento cujo comportamento está sendo analisado, e a motivação para o consentimento, como o próprio nome já diz, é o quanto a pessoa se sente motivada para concordar com as visões ou expectativas percebidas (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989).

É apresentado na Figura 4 o modelo conceitual dos conceitos propostos pelo TRA:

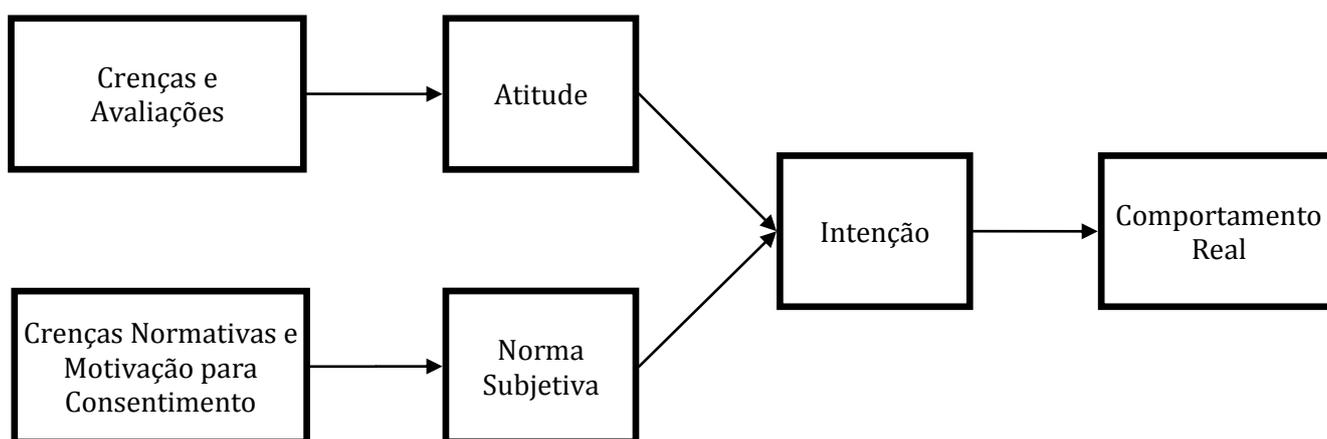


Figura 4 - Modelo TRA (adaptado de Davis, Bagozzi e Warshaw (1989))

Retornando ao modelo TAM, descrevemos resumidamente a construção proposta por Davis, Bagozzi e Warshaw (1989), que se inicia com a elaboração de itens (perguntas) para avaliação dos construtos utilidade e facilidade de uso que podem ser aplicados a tecnologias de informação. Esses itens são pré-testados, normalmente através de entrevistas, com o objetivo de avaliar seu conteúdo semântico, e selecionar aqueles itens que melhor se ajustam ao domínio de conteúdo que se deseja estudar.

Após terem sido definidas as questões a serem utilizadas no questionário, ele é então aplicado a uma amostra pré-definida de usuários que utilizam determinada aplicação/objeto, para que através de métodos estatísticos e psicológicos, possam ser feita a avaliação do modelo. Para analisar a confiabilidade da pesquisa, o modelo TAM utiliza o alfa de Cronbach, e quanto a validade, utiliza validades convergente e discriminante, aplicando a ferramenta de matriz de multitraço-multimétodo (multitrait-multimethod matrix - MTMM). É utilizada também a análise fatorial, para que se possa verificar o grau em que construtos que teoricamente devem estar relacionados estão de fato relacionados (DAVIS, 1989, p. 326-329).

### **2.1.2 Modelo Correlato Aplicado a Smartphones**

Seguindo os avanços iniciais feitos pelo modelo TAM, surgiram outros modelos adaptando e ampliando os conceitos, para que pudessem ser utilizados em outras tecnologias similares aos computadores pessoais. Portanto, não tardou para que surgissem modelos baseados em TAM que definissem construtos que pudessem ser aplicados na aceitação da tecnologia dos smartphones.

Neste sentido, Park e Chen (2007) modificaram os conceitos fundamentais do modelo TAM para se adequarem a tecnologia dos smartphones, onde a *utilidade percebida* passou a ser definida segundo como “*o quão bem consumidores acreditam que serviços móveis podem ser integrados nas suas atividades diárias*” e a *facilidade de uso* foi definida como o “*resultado da facilidade de navegação de um dispositivo e a disponibilidade de elementos personalizados*”.

Segundo o modelo conceitual proposto por Park e Chen (2007), baseado em TAM e teoria de difusão da inovação (IDT) de Rogers (1995), a intenção de uso sofre impacto positivo de vários fatores como a utilidade e facilidade de uso percebidas pelo usuário e a auto-eficácia no uso do dispositivo (baseados no modelo TAM), que influenciam a atitude do usuário.

Cabe observar que no modelo de Park e Chen, a auto-eficácia é considerada como um construto a parte, ou seja, ela não está embutida no conceito de facilidade de uso. A auto-eficácia é definida como sendo “a percepção que um indivíduo tem da sua habilidade ao usar o um dispositivo computacional para executar uma tarefa”, sendo feita, portanto, uma distinção entre ela e a facilidade de uso que se relaciona basicamente ao aspecto de navegação feita no dispositivo, conforme foi definido anteriormente.

Como mencionado acima, adicionalmente ao modelo TAM foi combinado à teoria IDT. Na teoria IDT, a atitude do usuário é influenciada por outros aspectos, além da utilidade e facilidade de uso, como: a compatibilidade do dispositivo com os valores pessoais, experiências e necessidades do usuário (compatibilidade); a percepção de que o produto é inovador (inovação); o sentimento obtido pelo usuário ao experimentar o dispositivo (experimentação); o modo com que o usuário pode utilizar o dispositivo em tarefas do dia-a-dia (fatores de operação); fatores intrínsecos ao usuário como educação, idade, experiência e traços pessoais (fatores pessoais); influências ou incentivos que o usuário recebe em seu ambiente de trabalho como, por exemplo, apoio gerencial e envolvimento em determinada tarefa (fatores organizacionais) e; fatores ambientais diversos que impactam na escolha do usuário como pressão de competidores e abordagens de marketing entre outros (KWON and ZMUD, 1987 apud PARK; CHEN, 2007). O modelo conceitual da Figura 5 representa o modelo proposto por Park e Chen (2007):

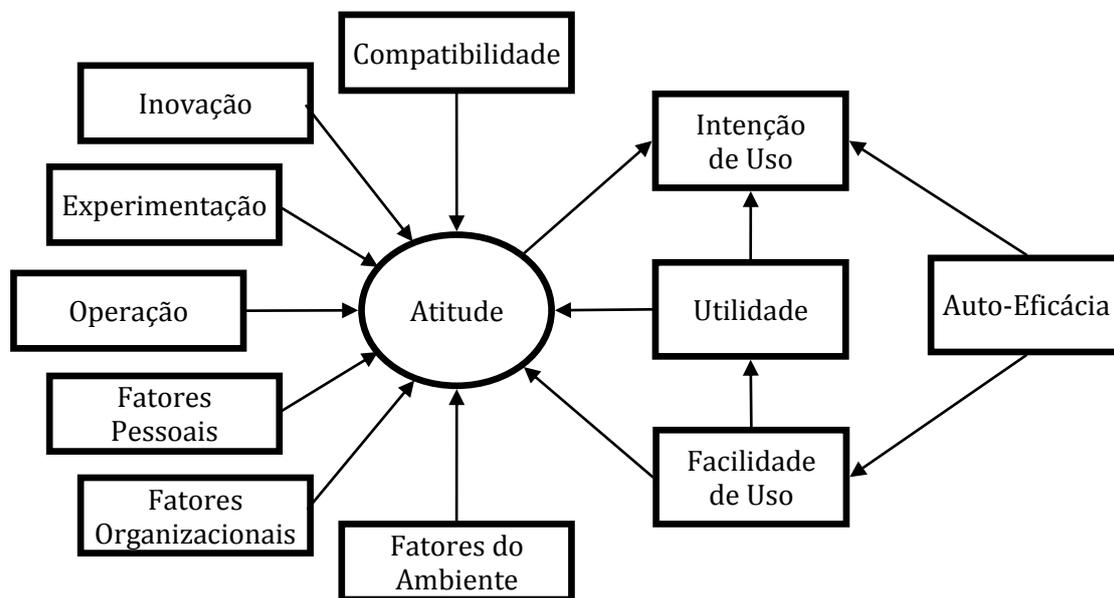


Figura 5 - Modelo de Park e Chen (adaptado de Park e Chen (2007))

O modelo de Park e Chen (2007) também utiliza a técnica de questionários e a análise fatorial para medir a validade dos construtos.

Os resultados desta pesquisa sugerem que a auto-eficácia teve um efeito significativo na facilidade de uso, e podemos interpretar essa relação como se usuários confiantes sobre suas habilidades computacionais demonstrassem conseqüentemente, uma

percepção de maior facilidade ao utilizar o dispositivo para navegação. A experimentação feita no dispositivo pelo usuário demonstrou fraca correlação com a adoção da tecnologia, e fatores individuais como educação, *status* no emprego e experiência estão correlacionados com a atitude do usuário.

### **2.1.3 Modelo Correlato Aplicado a Dispositivos “Inteligentes”**

Também utilizando como base o modelo TAM, o modelo da teoria decomposta do comportamento planejado (em inglês, Decomposed Theory of Planned Behavior, DTPB) de Taylor e Todd (1995), foi utilizado por Zhang et al.(2013) para avaliar os fatores que afetam no uso multi-tarefas de dispositivos “inteligentes” como smartphones, tablets, computadores e *smart TV*'s.

O modelo DTPB, é dividido em três construtos que são atitude, norma subjetiva e controle do comportamento, onde cada um dos construtos é decomposto em mais de uma variável.

O construto atitude foi decomposto em utilidade, facilidade de uso e compatibilidade. A norma subjetiva, que seriam os fatores externos que influenciam o usuário, foi decomposto em influência dos pares e influência dos supervisores. Já o construto controle do comportamento foi decomposto em auto-eficácia, condição de facilitação dos recursos (fatores como tempo e dinheiro) e condição de facilitação da tecnologia (questões de compatibilidade de tecnologias). Seu modelo conceitual é apresentado na Figura 6.

Além dos fatores utilizados no modelo DTPB, Zhang et al.(2013) complementaram o modelo proposto, utilizando vários outros conceitos baseados em estudos anteriores, que foram agrupados em quatro construtos: motivação, carga cognitiva, input/output e distribuição espacial.

A motivação abrange os construtos do DTPB acrescidos do fator atratividade, sendo caracterizado pelas primeiras impressões devido a respostas emocionais sobre o apelo visual do *design* ( LINDGAARD et al., 2006 apud ZHANG et al., 2013).

Para carga cognitiva considera aspectos relacionados à multitarefas, onde a carga exigida para a realização de múltiplas tarefas é igual à soma das cargas das tarefas simples acrescido de uma carga extra de gerenciamento das tarefas, que são controladas, agendadas e coordenadas (XIE E SALVENDY, 2000 apud ZHANG et al., 2013).

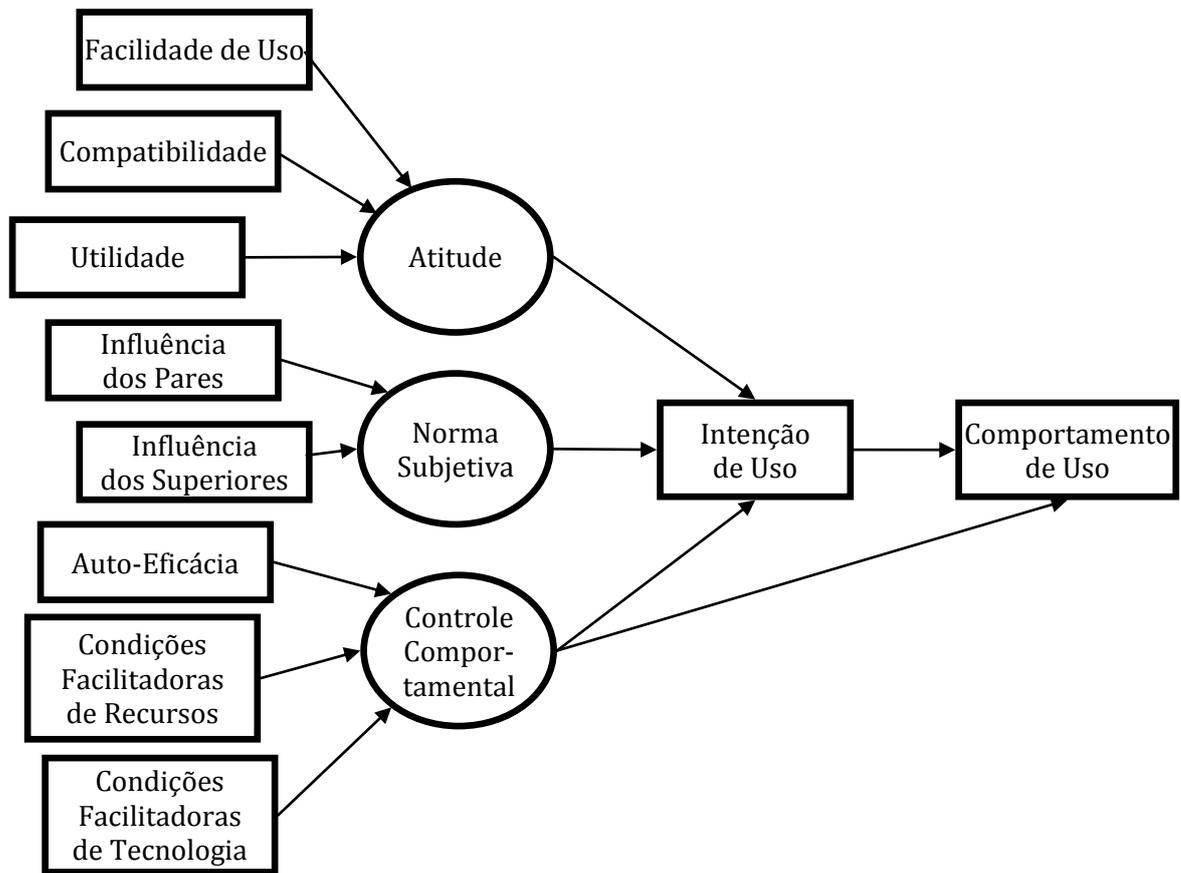


Figura 6 - Modelo de Taylor e Todd (adaptado de Taylor e Todd (1995))

O aumento da carga de tarefas pode aumentar a carga cognitiva. A existência de carga extra de gerenciamento, caso as tarefas sejam compatíveis ou não, influenciam o desempenho dos usuários ao realizarem múltiplas tarefas (BURK et al., 2006 apud ZHANG et al., 2013).

Dado um desejo geral de parecer socialmente competente dentro de uma configuração de grupo, um indivíduo é mais propenso em ser multitarefa com tarefas mais relevantes, do que com tarefas de pouca relevância (IWATA, YAMABE E NAKAJIMA, 2010 apud ZHANG et al., 2013).

Iwata et al. (2010) apud Zhang et al. (2013) apontam a importância de considerar a atenção do usuário ao projetar a interface do dispositivo. Boa usabilidade pode reduzir a quantidade de atenção necessária para realizar uma tarefa.

O input/output consiste na: navegação e resposta do sistema, que considera também o tamanho apropriado das teclas mostradas no display, que permitem maior precisão ao inserir dados; complexidade na inserção de informações que depende da interface utilizada pelo usuário (touchscreen, teclado/mouse, etc.); tamanho da tela, que

influencia na resolução da tela, e conseqüentemente, na quantidade de conteúdo que pode ser exibido, como também na organização desse conteúdo e nível de atenção exigido ao usuário (ZHANG et al., 2013).

Na distribuição espacial considera-se a proximidade, que é a distância entre o usuário e o dispositivo, e a portabilidade, onde na necessidade de um ambiente computacional ubíquo este fator se torna importante (ZHANG et al., 2013).

Foram elaboradas questões sobre cada tópico (59 questões no total), sendo agrupadas em questionários que foram aplicados a 240 respondentes. Após coletados os dados foi utilizada a técnica de análise fatorial, sendo determinados inicialmente 11 fatores que depois foram agrupados em 7 fatores, sob o acrônimo de MINDCOS, representando: Motivação (intrínseca e extrínseca), Input, Navegação e controle, Tela, Carga cognitiva, Output e Distribuição espacial. O modelo proposto por Zhang et al. pode ser representado conforme a Figura 7:

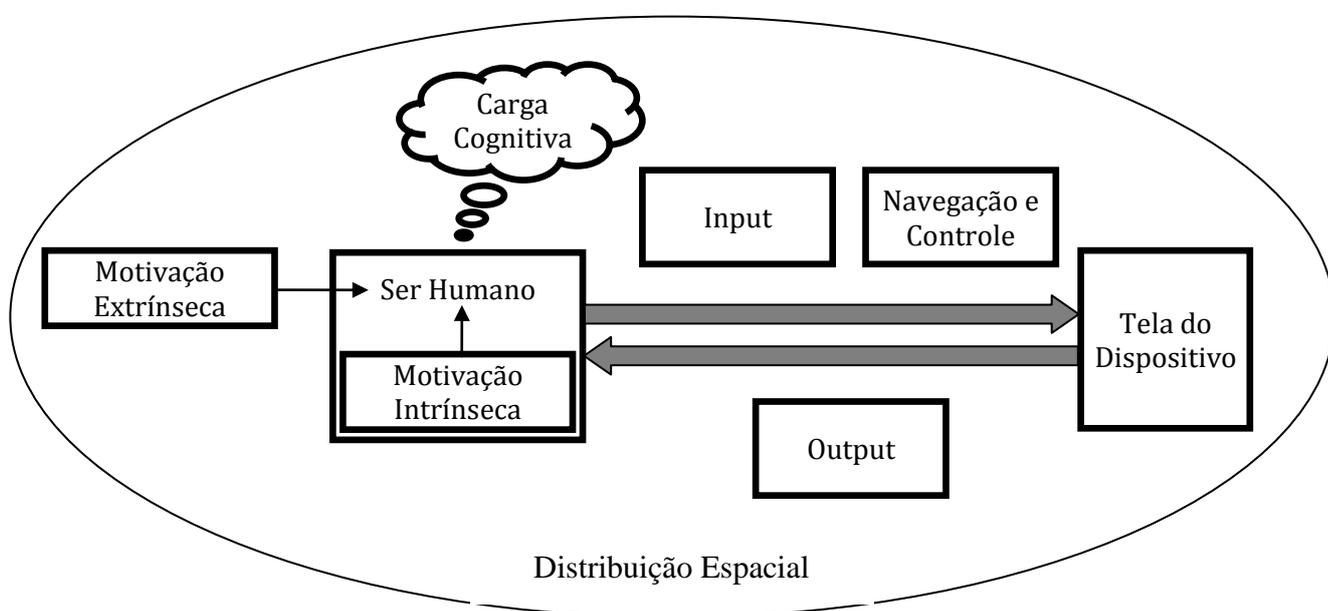


Figura 7 - Modelo de Zhang et al.(adaptado de Zhang et al. (2013))

#### 2.1.4 Análise das Medidas Subjetivas

Os estudos publicados que utilizam o modelo TAM como embasamento teórico já ultrapassam algumas centenas, e isso demonstra a robustez do modelo (PARK et al., 2013).

Tratamos progressivamente neste tópico alguns modelos que se propuseram a identificar e analisar variáveis subjetivas em diversas aplicações, onde iniciamos pelas pesquisas preliminares utilizando o modelo TAM aplicado a aceitação de computadores pessoais e análise de aplicações de software.

Em seguida mostramos que esse modelo foi se aperfeiçoado e incluído novas variáveis, assim como as aplicações foram se ampliando até surgirem os primeiros modelos considerando smartphones. Finalmente, esses desenvolvimentos metodológicos e disseminação de aplicações não cessaram, e atualmente progressos já estão sendo feitos com o intuito de considerar variáveis que possam incorporar aspectos de diversas tecnologias de informações, como smartphones, tablets, PC's e até mesmo smart TV's.

Esses estudos, entretanto, estão interessados fundamentalmente com a determinação de aspectos subjetivos relacionados ao uso e adoção de dispositivos computacionais, e as variáveis utilizadas por eles foram agrupadas com relação a conceitos que são similares, com o objetivo de que possam ser avaliadas quanto a sua utilização também neste trabalho. Portanto, na Tabela 1 além de agrupar os conceitos, fazemos uma breve descrição dos mesmos:

Variável	Descrição resumida	Conceitos Similares
1.1.Utilidade	“o quão bem consumidores acreditam que serviços móveis podem ser integrados nas suas atividades diárias”.	Motivação Intrínseca, Operação.
1.2.Facilidade de Uso	“resultado da facilidade de navegação de um dispositivo e a disponibilidade de elementos personalizados”.	Motivação Intrínseca, Operação.
1.3.Compatibilidade	“a compatibilidade do dispositivo com os valores pessoais, experiências e necessidades do usuário”.	-
1.4.Inovação	“a percepção de que o produto é inovador”.	-
1.5.Experimentação	“o sentimento obtido pelo usuário ao experimentar o dispositivo”.	-
1.6.Aspectos Pessoais	“fatores intrínsecos ao usuário como educação, idade, experiência e traços pessoais”.	-
2.1. Fatores do	“fatores ambientais diversos que impactam na	Motivação

Ambiente	escolha do usuário como pressão de competidores, abordagens de marketing entre outros”.	Extrínseca.
2.2. Influência dos Pares	“Influência exercida por pares para adoção da tecnologia, que pode influenciar a forma com que os mesmos realizam suas atividades no trabalho”.	Aspectos Org., Mot. Extrínseca.
2.3. Influência dos Superiores	“Incentivos que os usuários recebem de seus superiores no ambiente de trabalho para uso da nova tecnologia”.	Aspectos Org., Mot. Extrínseca
3.1. Auto-Eficácia	“percepção do indivíduo da sua habilidade ao usar o um dispositivo para executar uma tarefa”	-
3.2. Condições Facilit. de Recursos	“fatores como tempo e dinheiro”	-
3.3. Cond. Facilit. de Tecnologia	“questões de compatibilidade de tecnologias”	-

*Tabela 1- Agrupamento e Descrição dos Conceitos*

Observamos a partir da tabela acima, que a definição dos conceitos de utilização e facilidade de uso propostos por Park e Chen (2007) são considerados no modelo de Zhang et al. (2013) como pertencentes ao conceito de motivação intrínseca do usuário. No entanto, Zhang et al. (2013) avaliam os fatores carga cognitiva, input/output, tela e navegação/controle, que conceitualmente são correlatos às variáveis utilização e facilidade de uso separadamente do fator motivação intrínseca. Devido à nova definição para utilidade e facilidade de uso apresentadas por Park e Chen (2007), então consideraremos que o fator motivação intrínseca já esta sendo representado pelos outros fatores (carga cognitiva, input/output, tela e navegação/controle).

Os conceitos utilidade e facilidade de uso também são equivalentes ao conceito operação, proposto por Park e Chen (2007). Neste caso, é mais interessante considerar apenas os fatores utilidade e facilidade de uso, eliminando o fator operação, pois ao considerar ambos, estaríamos sendo redundantes.

Com relação aos conceitos motivação extrínseca de Zhang et al. (2013) e aspectos organizacionais de Park e Chen (2007), eles são equivalentes aos conceitos: influência dos pares, influência dos superiores de Taylor e Todd (1995) e fatores do ambiente de Park e Chen (2007). Portanto estaremos considerando apenas os últimos.

Após esses ajustes podemos categorizar as variáveis como apresentado na Tabela 2:

Categorização de Variáveis Subjetivas		
0. <i>Intençãode Uso</i>	1. <i>Atitude &amp; Inovação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. Utilidade</li> <li>1.2. Facilidade de Uso</li> <li>1.3. Compatibilidade</li> <li>1.4. Inovação</li> <li>1.5. Experimentação</li> <li>1.6. Aspectos Pessoais</li> </ul>
	2. <i>Normas Subjetivas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Fatores do Ambiente</li> <li>2.2. Influência dos Pares</li> <li>2.3. Influência dos Superiores</li> </ul>
	3. <i>Controle Comport.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1. Auto-Eficácia</li> <li>3.2. Cond. Facilit. de Recursos</li> <li>3.3. Cond. Facilit. de Tecnologia</li> </ul>

Tabela 2 - Categorização das variáveis após revisão

## 2.2 Modelos Considerando Medidas Objetivas

Desenvolvimentos paralelos foram realizados com o intuito de avaliar o uso de variáveis objetivas, abordando não apenas aspectos psicológicos sobre esse uso e adoção, mas também a aspectos relativos ao produto em si, que podem influenciar na satisfação obtida pelo usuário ao utilizar os aparelhos.

Satisfação do usuário é um conceito que pode ser definido como sendo os sentimentos subjetivos dos usuários que concebem em sua mente a imagem ou impressão relativa ao produto (HAN, KIM, *et al.*, 2004).

### 2.2.1 Modelo Aplicado a Tecnologia de Primeira Geração (1G)

Os primeiros estudos utilizados para determinar aspectos objetivos críticos a satisfação dos usuários, foram realizados nos anos finais da década de 90 e iniciais da década de 2000, onde o conceito de smartphone estava ainda sendo desenvolvido, e existiam no mercado basicamente telefones celulares tradicionais, da primeira e segunda geração (1G e 2G).

O trabalho de Han et al. (2004), por exemplo, dividia essas variáveis em “dimensões de satisfação do usuário”. Analisando essas expressões dos usuários em forma de adjetivos e frases verbais, que representavam esses sentimentos subjetivos, ele conseguiu resumir em 10 dimensões de satisfação os aspectos existentes nos telefones

celulares, para em um momento posterior poder relacionar essas dimensões de satisfação como função das características objetivas de projeto dos componentes.

Esses componentes foram agrupados como pertencentes ao hardware ou ao software, em seguida foram listados em categorias e suas respectivas características de projeto, conforme apresentado na Tabela 3. Muitos dos aspectos abordados acima ainda são válidos e podem ser utilizados em nosso estudo, embora parte deles tenham uma conotação ou grau de importância diferentes, devidos a maior gama de funcionalidades presentes nos smartphones atuais.

Estudo:	Variáveis e Categorias:
Han et al. (2004)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Produto</p> <p>Hardware</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Botões</li> <li>Tela</li> <li>Indicador de Estado</li> <li>Alto-falante</li> <li>Antena</li> <li>Forma Exterior</li> </ul> <p>Software</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Texto</li> <li>Ícones</li> <li>Animação</li> <li>Som</li> <li>Menu</li> </ul> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Usuário</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Acabamento</li> <li>Atratividade</li> <li>Cor</li> <li>Destaque</li> <li>Harmonia</li> <li>Luxuosidade</li> <li>Rigidez</li> <li>Simplicidade</li> <li>Satisfação</li> <li>Textura</li> </ul> </div> </div>

Tabela 3 - Modelo de Han et al. (2004)

### 2.2.2 Modelo Aplicado a Tecnologia de Segunda Geração (2G)

Outros critérios foram propostos por Işıklar e Büyüközkan (2007), adaptados para se adequarem aos aparelhos da geração 2G, utilizados naquele estudo, que já possuíam tela colorida, acesso WAP e câmera.

As variáveis também foram enquadradas em subdivisões e categorias. As subdivisões eram duas, onde a primeira continha as variáveis relacionadas ao produto e a segunda, variáveis relacionadas ao usuário. Quanto às categorias, eram três para a subdivisão produto, sendo elas, Requisitos Básicos, Características Físicas e Técnicas. Para a subdivisão usuário também eram 3 categorias, sendo Funcionalidade, Marca e Entusiasmo. Detalhamos na Tabela 4 essas categorias e variáveis:

Estudo:	Variáveis e Categorias:				
Işıklar e Büyüközkan (2007)	<table style="border: none; width: 100%;"> <tr> <td style="border: none; vertical-align: middle; padding-right: 10px;">Produto</td> <td style="border: none;"> <ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">Requisitos Básicos { <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo/Preço</li> <li>Adequação das peças</li> <li>Adequação das tarefas</li> </ul> </li> <li style="margin-bottom: 10px;">Características Físicas { <ul style="list-style-type: none"> <li>Peso</li> <li>Dimensão</li> <li>Forma</li> <li>Resistência a Água</li> <li>Solidez</li> <li>Atratividade</li> <li>Matéria-Prima</li> </ul> </li> <li>Características Técnicas { <ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo de Conversão</li> <li>Tempo em Espera</li> <li>Cobertura Internacional</li> <li>Segurança</li> </ul> </li> </ul> </td> </tr> <tr> <td style="border: none; vertical-align: middle; padding-right: 10px;">Usuário</td> <td style="border: none;"> <ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">Funcionalidade { <ul style="list-style-type: none"> <li>Facilidade de Uso</li> </ul> </li> <li style="margin-bottom: 10px;">Marca (Fabricante) { <ul style="list-style-type: none"> <li>Visão de Mercado</li> <li>Suporte Técnico</li> </ul> </li> <li>Entusiasmo { <ul style="list-style-type: none"> <li>Jogos</li> <li>Toques</li> <li>Idioma</li> <li>PDA</li> </ul> </li> </ul> </td> </tr> </table>	Produto	<ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">Requisitos Básicos { <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo/Preço</li> <li>Adequação das peças</li> <li>Adequação das tarefas</li> </ul> </li> <li style="margin-bottom: 10px;">Características Físicas { <ul style="list-style-type: none"> <li>Peso</li> <li>Dimensão</li> <li>Forma</li> <li>Resistência a Água</li> <li>Solidez</li> <li>Atratividade</li> <li>Matéria-Prima</li> </ul> </li> <li>Características Técnicas { <ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo de Conversão</li> <li>Tempo em Espera</li> <li>Cobertura Internacional</li> <li>Segurança</li> </ul> </li> </ul>	Usuário	<ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">Funcionalidade { <ul style="list-style-type: none"> <li>Facilidade de Uso</li> </ul> </li> <li style="margin-bottom: 10px;">Marca (Fabricante) { <ul style="list-style-type: none"> <li>Visão de Mercado</li> <li>Suporte Técnico</li> </ul> </li> <li>Entusiasmo { <ul style="list-style-type: none"> <li>Jogos</li> <li>Toques</li> <li>Idioma</li> <li>PDA</li> </ul> </li> </ul>
Produto	<ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">Requisitos Básicos { <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo/Preço</li> <li>Adequação das peças</li> <li>Adequação das tarefas</li> </ul> </li> <li style="margin-bottom: 10px;">Características Físicas { <ul style="list-style-type: none"> <li>Peso</li> <li>Dimensão</li> <li>Forma</li> <li>Resistência a Água</li> <li>Solidez</li> <li>Atratividade</li> <li>Matéria-Prima</li> </ul> </li> <li>Características Técnicas { <ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo de Conversão</li> <li>Tempo em Espera</li> <li>Cobertura Internacional</li> <li>Segurança</li> </ul> </li> </ul>				
Usuário	<ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">Funcionalidade { <ul style="list-style-type: none"> <li>Facilidade de Uso</li> </ul> </li> <li style="margin-bottom: 10px;">Marca (Fabricante) { <ul style="list-style-type: none"> <li>Visão de Mercado</li> <li>Suporte Técnico</li> </ul> </li> <li>Entusiasmo { <ul style="list-style-type: none"> <li>Jogos</li> <li>Toques</li> <li>Idioma</li> <li>PDA</li> </ul> </li> </ul>				

Tabela 4 - Modelo de Işıklar e Büyüközkan (2007)

### 2.2.3 Modelo Aplicado a Tecnologia de Terceira Geração (3G)

Outro trabalho seguindo esta mesma linha foi apresentado por Chen *et al.* (2010), onde as variáveis exclusivamente objetivas eram classificadas em cinco categorias (Marca, Preço, Características de Hardware, Funções Básicas e Funções

Estendidas), sendo que três dessas categorias possuíam ramificações. A Tabela 5 apresenta as variáveis e categorias de Chen *et al.* (2010):

Estudo:	Variáveis e Categorias:
Chen <i>et al.</i> (2010)	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;">Produto</div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 20px;"> <span style="font-size: 4em;">{</span> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;">Hardware</div> <div style="margin-bottom: 10px;">Funções Básicas</div> <div>Funções Estendidas</div> </div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">Marca</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Preço</div> </div> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <span style="font-size: 3em;">{</span> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">Stilo</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Peso</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Cor</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Standby</div> </div> </div> <div> <span style="font-size: 3em;">{</span> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">Conversação</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Toques</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Contatos</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Agenda</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Notas</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Bloqueio</div> </div> </div> <div> <span style="font-size: 3em;">{</span> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">Câmera</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Flash Disk</div> <div style="margin-bottom: 5px;">Temas</div> <div style="margin-bottom: 5px;">MMS</div> </div> </div> </div> </div> </div>

Tabela 5 - Modelo de Chen *et al.* (2010)

#### 2.2.4 Modelo Aplicado a Tecnologia da Geração 3.5G

Em um trabalho mais recente Akyene (2012) avaliou dez diferentes modelos de telefones celulares, mais especificamente smartphones, como pode ser percebido ao avaliar às especificações dos aparelhos informadas no trabalho, e definiu doze variáveis para utilizar em seu estudo, sendo novamente todas variáveis do tipo objetivas. Pelo fato do trabalho de Akyene (2012) ser mais recente em comparação com aos trabalhos apresentados acima, as variáveis definidas por ele descrevem melhor as funcionalidades atuais existentes nos smartphones considerados neste trabalho, pois não podemos ignorar a constante mudança tecnológica, que se tornou uma das principais características desse segmento. Apresentamos na Tabela 6 as medidas utilizadas por Akyene (2012).

Estudo:	Variáveis e Categorias:
Akyene (2012)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">Produto</div> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">{</div> <div style="text-align: left;"> <p>Dimensão</p> <p>Peso</p> <p>Tela</p> <p>Memória Física</p> <p>Memória Virtual (RAM)</p> <p>Velocidade da Conexão</p> <p>Bluetooth</p> <p>Câmera</p> <p>Sistema Operacional</p> <p>Processador</p> <p>Bateria</p> <p>Preço</p> </div> </div>

Tabela 6 - Modelo de Akyene (2012)

### 2.2.5 *Análise das Medidas Objetivas*

Percebemos através dos estudos apresentados acima, a importância de se definirem variáveis tanto de caráter subjetivo quanto objetivo, baseado no usuário ou produto, para uma avaliação abrangente dos aspectos a serem considerados nos smartphones. Essas variáveis devem ser atualizadas na medida em que novos desenvolvimentos tecnológicos se consolidam nos smartphones mais recentes, pois elas influenciam a forma com que os usuários percebem valor e adotam os dispositivos.

Devemos notar inclusive, que a frequência com que essas evoluções tecnológicas são disponibilizadas atualmente no mercado de smartphones é tão frenética, que em um intervalo de poucos meses essa caracterização pode se tornar bastante obsoleta.

Ainda assim, para retratar o atual estágio de desenvolvimento que estamos considerando nesta dissertação, observando os componentes disponíveis nos smartphones atuais, podemos definir e agrupar as seguintes variáveis objetivas, conforme a Tabela 7:

Categorização de Variáveis Objetivas	
0. <i>Variáveis Objetivas</i>	1. <i>Hardware</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. CPU (Desempenho)</li> <li>1.2. GPU (Desempenho)</li> <li>1.3. Disco (Desempenho)</li> <li>1.4. Memória RAM (Desempenho)</li> <li>1.5. Disco (Capacidade)</li> <li>1.6. Bateria (Capacidade)</li> <li>1.7. Tela (Resolução)</li> <li>1.8. Armazenamento Externo (Cap.)</li> <li>1.9. Sensor GPS (Precisão)</li> <li>1.10. Câmeras (Resolução)</li> <li>1.11. Filmadora (quadros/seg)</li> <li>1.12. Tecnologia Móvel (Geração)</li> <li>1.13. Antena (Alcance)</li> <li>1.14. Conexão Wifi (Transferência)</li> <li>1.15. Bluetooth (Alcance)</li> <li>1.16. Bluetooth (Transferência)</li> </ul>
	2. <i>Software</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Sistema Operacional (Versão)</li> <li>2.2. Aplicativos Disponíveis (Quant.)</li> <li>2.3. Standby (Tempo)</li> </ul>
	3. <i>Características Físicas</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1. Tela (Tamanho)</li> <li>3.2. Peso (Gramas)</li> <li>3.3. Dimensão (Volume)</li> </ul>
	4. <i>Requisitos</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1. Custo (Capital)</li> </ul>

Tabela 7 - Variáveis Objetivas e sua Categorização

### **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

Após tomar conhecimento das variáveis existentes em estudos correlatos, precisamos então as informações que estão disponíveis e são de fácil acesso, para que o usuário possa avaliar os smartphones que melhor atendem as suas necessidades. Para tal, optamos por utilizar as informações disponíveis em meios digitais baseados na web, pois atualmente existe uma vasta gama de portais (sites da web) fornecendo informações com nível de confiabilidade aceitáveis, e que permite com que se possam realizar a análise dessas variáveis na profundidade objetivada neste trabalho.

Denominamos, portanto, esses portais com informações tecnológicas de “sistemas de recomendação”, e estamos trabalhando especificamente com aqueles que são especializados dispositivos computacionais e telefonia celular.

Para limitar a abrangência da pesquisa, estaremos considerando algumas premissas e requisitos básicos, baseados nas informações apresentadas no tópico 1.3.2.

#### **3.1 Premissas e Requisitos Básicos**

Os aparelhos incluídos no estudo são aqueles que possuem: hardware computacional com CPU com frequência acima de 200 MHz, memória RAM e disco interno, ambos com capacidade mínima de 64 MB; sistema operacional avançado caracterizado pelos sistemas Android, iOS, Windows Phone, Symbian, Bada e RIM; tela sensível ao toque entre 2 e 5 polegadas; devem possuir câmera primária e secundária, sistema GPS, comunicação wireless, bluetooth, entrada para cartão de memória.

Definimos esta característica para poder distinguir os aparelhos smartphone dos aparelhos convencionais, visto a necessidade de selecionar uma classe de aparelhos a serem estudados que sejam necessariamente de smartphones, dentro da considerável população de telefones celulares existentes.

Consideramos a premissa de que foram avaliados apenas os aparelhos smartphones que possuíam a totalidade das informações necessárias para a execução desse trabalho, ou seja, esses aparelhos possuíam informações disponíveis nos sistemas de recomendação utilizados para as variáveis definidas. Tivemos ocorrências onde aparelhos smartphones não foram suficientemente investigados por todas as fontes a serem consultadas, ou porque eram lançamentos muito recentes, ou porque os fabricantes não forneceram a totalidade de especificações técnicas utilizadas pelos sistemas de informação.

Foram considerados também aparelhos comercializados no Brasil, com o intuito de obter seu custo considerando a moeda local.

### **3.2 Análise dos Sistemas de Recomendação Online**

Definidos os requisitos básicos, avaliamos os sistemas de recomendação existentes na web, de forma a analisar as informações disponíveis para que pudessem ser utilizadas no estudo.

Para tal, foi elaborado uma mapa conceitual, apresentado no Apêndice 1, para abordar as principais variáveis tanto objetivas quanto subjetivas, visando tornar o modelo mais completo e representativo possível com relação aos anseios dos usuários de smartphones. Isso possibilitou que se extraísse das informações disponíveis na web, as informações necessárias, ou que verificássemos a inexistência de informações para algumas variáveis do modelo.

Após a avaliação, apresentamos os sistemas de recomendação utilizados, que são brevemente descritos.

*Buscapé Brasil*: Site de comparação de preços, que possui grande quantidade de produtos e lojistas virtuais, onde inclui-se desde pequenos comerciantes até populares redes varejistas. Ele possui uma série de filtros que auxiliam o consumidor ao consultar um determinado produto, e oferece um sistema que qualifica o lojista em diversos aspectos, visando proteger o consumidor. Este portal está presente atualmente em mais de 20 países na América latina, recebendo cerca de 30 milhões de visitas mensais e possuindo mais de 11 milhões de produtos cadastrados (NASPERS, 1999).

*TestFreaks*: É um sistema de recomendação baseado na web, cujo objetivo é recomendar produtos baseado em opiniões e avaliações de caráter subjetivo fornecidos por consumidores e especialistas, e que são coletados de sites ou mesmo revistas especializadas. Atualmente esse sistema possui uma base de dados com mais de 15 milhões de avaliações para cerca de 450 mil produtos (TESTFREAKS AB, 2007). Embora este site apresente um grande número de opiniões e avaliações para a maior parte dos produtos existentes no mercado, ele restringiu bastante nosso banco de dados original, pois critérios-chave para nossa avaliação não estavam disponíveis para todos os aparelhos que gostaríamos de avaliar. Mesmo com as limitações existentes, pudemos definir uma quantidade bastante abrangente de aspectos subjetivos inerentes às escolhas dos aparelhos, que estaremos descrevendo mais a frente.

*PassMark*: É um sistema de comparação de desempenho de hardware e software de computadores, e mais recentemente, telefones celulares. Seu teste de performance para smartphones, conduz 17 diferentes testes agrupados em cinco conjuntos de testes padronizados (CPU, Memória Física, Memória RAM, Gráficos 2D e Gráficos 3D) (PASSMARK SOFTWARE, 2013). Esse sistema nos fornece um índice que reflete o desempenho global do sistema, que combina o hardware e o software dos aparelhos, nos cinco quesitos mencionados acima. Assim como o sistema anterior, o sistema da PassMark também restringiu a seleção de aparelhos, pois esse sistema avalia apenas dispositivos que possuam sistemas operacionais Android ou iOS. Portanto, foi necessário eliminar do conjunto de aparelhos analisados aqueles que possuam outros sistemas operacionais que não sejam os citados.

*GSMarena*: Sistema, que dentre outras funcionalidades, armazena um banco de dados bastante completo de telefones celulares, contendo especificações detalhadas de aparelhos lançados pelos mais diversos fabricantes. Baseado nesse sistema é possível obter informações objetivas dos principais componentes dos smartphones e suas respectivas propriedades, como a capacidade da bateria, tamanho da tela, resolução da câmera, etc. Informações adicionais podem ser obtidas consultando (GSMARENA.COM, 2000).

Após descrevermos os nossos sistemas de recomendação, fica claro que sistema da TestFreaks se preocupa principalmente com dados subjetivos, baseados na avaliação de usuários. Esse sistema possui uma grande quantidade de avaliações feitas por usuários, para uma gama significativa de smartphones, além de um conjunto de variáveis abrangente que busca representar os vários aspectos analisados em um smartphone.

Para determinar o desempenho computacional dos aparelhos, consideramos a ferramenta específica para este tipo de comparação que é o sistema PassMark. Nesse sistema, os aparelhos são comparados de acordo com o desempenho computacional conjunto dos componentes principais (CPU, GPU, disco interno e RAM) ao executar tarefas. Os scores são calculados através de uma avaliação de como o hardware se comporta, por exemplo, ao ser exigido por tarefas computacionais de carga elevada ou calculando o tempo que o sistema leva para realizar uma determinada tarefa.

Para agregar ao nosso modelo variáveis que são normalmente definidas em projeto, pelos fabricantes, nós utilizamos as informações disponibilizadas pelo banco de dados do sistema GSMarena.

### 3.3 Definição das Variáveis utilizadas no Estudo

Após avaliar as informações disponíveis nos sistemas de recomendação, em comparação com os aspectos levantados pelos estudos e mapa conceitual do Apêndice 1, apresentamos na Tabela 8, as variáveis que estaremos utilizando no nosso estudo:

<b>Variáveis utilizadas no Modelo</b>	
<i>Variáveis Objetivas</i>	$  \left\{ \begin{array}{l}  1. \textit{Hardware} \left\{ \begin{array}{l}  1.1. \text{CPU (Desempenho)} \\  1.2. \text{GPU (Desempenho)} \\  1.3. \text{Disco (Desempenho)} \\  1.4. \text{RAM (Desempenho)}  \end{array} \right\} (y_1) \\  1.5. \text{Disco (Capacidade)} (y_4) \\  1.6. \text{Bateria (Capacidade)} (y_2) \\  1.9. \text{Câmeras (Resolução)} (y_3) \\  2. \textit{Software} \{- \\  3. \textit{Características Físicas} \left\{ \begin{array}{l}  3.1. \text{Tela (Tamanho)} (y_5) \\  3.2. \text{Peso (Gramas)} (x_2)  \end{array} \right\} \\  4. \textit{Requisitos} \left\{ \begin{array}{l}  4.1. \text{Custo (Capital)} (x_1)  \end{array} \right\}  \end{array} \right.  $
<i>Variáveis Subjetivas</i>	$  \left\{ \begin{array}{l}  1. \textit{Perc. Produto} \left\{ \begin{array}{l}  1.1. \text{Funcionalidade} (y_6) \\  1.2. \text{Facilidade de Uso} (y_7) \\  1.3. \text{Confiabilidade} (y_8) \\  1.4. \text{Design} (y_9)  \end{array} \right\} \\  2. \textit{Perc. Fabricante} \{-  \end{array} \right.  $

Tabela 8 - Estrutura de variáveis utilizadas no modelo

Fazemos abaixo uma descrição resumida dessas variáveis por categoria, assim como informamos a fonte utilizada para a obtenção dos dados:

*Desempenho Computacional:* Devido a grande dificuldade em se comparar o desempenho do “CPU”, “GPU”, “Disco” e “memória RAM” para os diferentes sistemas computacionais baseado apenas em suas especificações, utilizamos então o indicador combinado da PassMark, para avaliar o funcionamento desses 4 componentes. Quanto maior o índice, melhor é o desempenho (PASSMARK SOFTWARE, 2013). Cabe ressaltar, que para avaliar o poder de processamento de smartphones, que podem possuir CPU’s multi-core e multi-processamento, cada teste para esse componente é realizado em todos os núcleos/processadores disponíveis trabalhando simultaneamente.

Segundo Cook (2012) os computadores estão caminhando na direção da computação heterogênea, ou seja, estão tentando atingir uma melhor performance com um misto das tecnologias de CPU e GPU. Quase todos os processadores trabalham baseados no processo desenvolvido por Von Neumann, onde o processador busca instruções da memória, as decodifica, e então executa aquelas instruções. A velocidade de transmissão da memória é um importante limitador do rendimento tanto do CPU quanto do GPU. A maior parte das aplicações, com poucas exceções são limitadas pela memória e não pelo processador.

*Dispositivos Básicos, Secundários e Características Físicas:* Estaremos considerando a capacidade da “bateria” em mAh, a capacidade do “disco” em GB, a resolução da “câmera” em Mpx, o “peso” do aparelho em gramas e tamanho da “tela” em polegadas. As informações foram obtidas utilizando o sistema GSMarena.

Para medir o desempenho do componente bateria, poderíamos ter utilizado como medida de capacidade da bateria o tempo de conversação, tempo de espera, tempo de navegação, ou mesmo utilizá-lo como uma medida subjetiva da percepção que o usuário tem do tempo de uso do aparelho.

Devido a cada usuário fazer diferentes usos dos aparelhos em termos de conversação, execução de aplicativos, acesso a internet, GPS, Jogos, etc., onde cada uma dessas tarefas consome diferentes quantidades de energia, isso faz com que ocorram variações do tempo de utilização do aparelho em relação ao conjunto de tarefas que foram executadas pelos usuários. Preferimos deste modo, utilizar esse indicador em termos de capacidade elétrica total, pois ao fazer isto estamos abrangendo o conjunto de tarefas que podem ser executadas, apenas neste único indicador. Portanto, quanto maior a capacidade da bateria, melhor.

Para a capacidade do disco, onde são empregadas memórias não-removíveis do tipo flash ou SDHC, quanto maior a capacidade, melhor. Para o tamanho da tela do smartphone, estamos considerando que quanto maior a tela, melhor, sendo que o tamanho da tela varia de 2 a 5 polegadas.

*Requisitos:* Para determinar os valores da variável “custo” para cada aparelho, os critérios utilizados para a obtenção dos preços de smartphones a partir portal Buscapé foram: produtos com menor preço; lojistas classificados com o selo “diamante” visando garantir a segurança na compra; smartphones disponíveis no mercado nacional.

*Percepção do Produto:* os três itens considerados nessa categoria foram obtidos do site TestFreaks, baseado na avaliação de usuários, cuja pontuação varia em uma escala de 0 a 10, onde a variável Funcionalidade (sendo correlata a Utilidade) se refere ao pontuação Functionality, Facilidade de Uso se refere a Ease of Use, Confiabilidade a Reliability, Design a Design.

Segue abaixo na Tabela 9 resumo das variáveis:

Variáveis	Fonte	UM	Orientação	Escala
Custo	Buscape	Monetária (Reais)	Menor-Melhor	0 – ∞
CPU	PassMark	Score PassMark	Maior-Melhor	0 – ∞
RAM				
Disco				
GPU				
Peso do Aparelho	GSMarena	Gramas	Menor-Melhor	0 – ∞
Capacidade da Bateria	GSMarena	mAh	Maior-Melhor	0 – ∞
Resolução da Câmera	GSMarena	MegaPixel (Mpx)	Maior-Melhor	0 – ∞
Capacidade de Armazenamento	GSMarena	Gigabyte (GB)	Maior-Melhor	0 – ∞
Tamanho da Tela	GSMarena	Polegadas (in)	Maior-Melhor	2 – 5
Funcionalidade	TestFreaks	Score TestFreaks	Maior-Melhor	0 – 10
Facilidade de Uso	TestFreaks	Score TestFreaks	Maior-Melhor	0 – 10
Confiabilidade	TestFreaks	Score TestFreaks	Maior-Melhor	0 – 10
Design	TestFreaks	Score TestFreaks	Maior-Melhor	0 – 10

Tabela 9 - Dados de resumo das variáveis

### **3.4 Coleta de Dados**

Explicar o procedimento de coleta de dados e o software utilizado (Mozenda).

#### **3.4.1 Variáveis de especificação (objetivas)**

Iniciamos com os dados obtidos do sistema GSM Arena, por possuir uma maior quantidade de smartphones disponíveis em seu banco de dados. O banco de dados inicial possuía 2.340 dispositivos, incluindo telefones celulares convencionais, smartphones e tablets de 24 fabricantes diferentes. Foi feito um filtro inicial visando eliminar dispositivos com tecnologia muito superada, ao selecionar apenas aparelhos lançados a partir de 2009. Procurou-se também selecionar apenas smartphones, ao eliminar tablets e celulares convencionais do banco de dados, ao não considerar dispositivos com tela de diagonal inferior a 2 polegadas ou superior a 6,9 polegadas.

Foram eliminados também aparelhos que não possuíam informações completas sobre variáveis importantes ao modelo proposto, como por exemplo, a quantidade de memória primária (RAM) disponível, capacidade da bateria e preço do produto.

Ao final desta seleção, estavam disponíveis 982 aparelhos de 17 fabricantes. Fabricantes importantes, como BlackBerry e Nokia, foram eliminados nesta fase.

#### **3.4.2 Variáveis de benchmark computacional (objetivas)**

Neste momento, cruzamos as informações do banco de dados do portal GSM Arena após a filtragem, com o banco de dados do portal PassMark Software, que possuía originalmente dados de benchmark computacional de 2.551 dispositivos (smartphones, tablets e telefones celulares convencionais) de 45 fabricantes diferentes.

O banco de dados do PassMark possui informações relativas apenas de aparelhos que possui sistema operacional Android ou iOS, assim como outros sistemas de benchmark computacional existentes na atualidade. Existem alguns benchmarks para o Windows Phone, mas esses avaliam exclusivamente esse SO, e estão em estágio embrionário. Não encontramos sistemas de benchmark que avaliassem aparelhos que utilizavam Symbian, BlackBerry OS, Bada, ou outros sistemas operacionais. Como os sistemas de benchmark computacional consideram diferentes testes para obter os resultados dos dispositivos, não podemos considerá-los conjuntamente, sendo necessário que cada sistema de avaliação seja compatível com diversos sistemas operacionais, para que possamos avaliar uma gama maior de aparelhos.

Retiramos, portanto, do banco de dados do GSM Arena de forma a cruzá-lo com o sistema PassMark, os aparelhos que utilizem sistema operacional que não seja Android ou iOS, tais aparelhos utilizavam os sistemas Bada, Firefox, Linux, Windows Mobile, Windows Phone e Symbian.

Com as listas do GSM Arena e do PassMark em mãos, embora ambos os bancos de dados possuam uma quantidade considerável de aparelhos, ao cruzar as informações e ajustar a nomenclatura dos aparelhos, muitos aparelhos são eliminados devido a existirem em apenas uma das listas, mas não em ambas. Portanto ao final deste cruzamento de dados, tivemos nosso quantitativo de smartphones reduzido para 319 aparelhos e foram eliminados mais três fabricantes (Kyocera, Panasonic e Philips) restando 14 fabricantes.

### ***3.4.3 Variáveis de Avaliação Geral e Específica dos Smartphones (subjetivas)***

O sistema Test Freaks fornecia originalmente informação de 2.996 aparelhos. É importante observar que a quantidade de variáveis disponíveis para cada aparelho oscila muito. Foi necessário então, que se verificasse dentre os dados disponibilizados, aqueles que tivessem informação completa das variáveis que desejamos utilizar no estudo. Portanto, após definidas as variáveis e feita a verificação, a quantidade de dados para cada smartphone caiu de 2.996 para 380.

Em seguida, o banco de dados do Test Freaks, foi cruzado com os outros dois bancos de dados, foi corrigida a nomenclatura dos aparelhos e obtivemos o banco de dados final, com 122 smartphones e 10 fabricantes (ficaram de fora após esse último cruzamento de dados as marcas Alcatel, BLU, Lenovo e ZTE).

O banco de dados completo possui então 21 variáveis e 122 smartphones (DMUs) que compreendem os fabricantes Acer (2), Apple (5), ASUS (1), HTC (23), Huawei (7), LG (19), Motorola (8), Pantech (1), Samsung (37) e Sony (19).

### ***3.4.4 Variáveis sócio-ambientais (subjetivas)***

Nosso modelo contemplava inicialmente o uso de variáveis sócio-ambientais. Existem algumas iniciativas interessantes que se propõem a avaliar o impacto sócio-ambiental.

Podemos citar dois programas similares que foram propostos pelas operadoras globais de telefonia celular Vodafone (<http://www.vodafone.com.au/aboutvodafone/corporateresponsibility/ecorating>) e O2 (<http://www.o2.co.uk/thinkbig/planet/sustainableproducts/ecorating>), que criaram selos

ambientais (Eco rating) que pontuam a eficiência ecológica dos telefones celulares e smartphones.

Esses selos se baseiam na aplicação de questionários submetidos aos fabricantes dos aparelhos, e contemplam diferentes áreas, como por exemplo, o projeto do produto e a estrutura de fabricação dos mesmos. Dentre os fatores normalmente avaliados temos a reciclabilidade, ciclo de vida e descarte dos aparelhos; a origem, tipo e quantidade de matéria-prima utilizada e a presença de substâncias perigosas; os resíduos gerados no processo de fabricação e as condições de trabalho dos funcionários.

Esses programas embora bastante promissores, ainda não possuem uma quantidade de dados significativa em termos de número de aparelhos avaliados, para que pudessem ser utilizados no nosso estudo.

Se os dados disponibilizados por eles fossem cruzados com o banco de dados utilizado neste trabalho, abordaríamos não mais do que 20 smartphones neste trabalho. Portanto, isso inviabilizaria a execução do modelo proposto devido ao grande número de variáveis utilizadas, pois colocaria praticamente todas as DMUs na fronteira de eficiência.

Outra entidade de renome na avaliação de produtos “verdes” que está ingressando na avaliação de telefones celulares e smartphones é o Green Electronics Concil através do EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool), sendo um instrumento que divulga índices de avaliação para computadores, notebooks, monitores e impressoras, e possui um banco de dados com mais de 500 milhões de produtos e cerca de 50 fabricantes diferentes. O sistema de avaliação EPEAT se baseia em padrões elaborados e registrados com o auxílio da IEEE, e contempla vários atributos, como materiais ambientalmente sensíveis, projeto e gestão do fim de vida do produto, seleção de materiais, conservação de energia, desempenho corporativo, transporte e embalagem do produto, etc.

O sistema da EPEAT está bastante disseminado nos Estados Unidos e outros países, e é utilizado inclusive para avaliar produtos que serão adquiridos por instituições governamentais. Está previsto para que até meados de 2014 seja apresentada lista, contendo uma gama apreciável de telefones celulares e smartphones avaliados pela EPEAT (<http://www.greenbiz.com/blog/2013/07/16/epeat-adopts-ul-environment-standard-mobile-phones>).

Neste trabalho, portanto, não foram contempladas variáveis de caráter sócio-ambiental, mas as mesmas devem ser utilizadas, à medida que novos dados forem sendo disponibilizados, e permitam que o resultado do modelo proposto seja apreciável.

### 3.5 Modelos Matemáticos

Vamos iniciar essa sessão, apresentando os modelos matemáticos utilizados nas análises, que constituem uma metodologia de avaliação de smartphones.

O ponto de partida para se avaliar smartphones é a utilização de modelos matemáticos que possam avaliar a eficiência de um determinado aparelho em comparação com os demais, ressaltando os pontos positivos (variáveis) deste objeto de avaliação, que faz que ele seja eficiente perante os demais competidores. A metodologia que melhor serve a esse propósito é a Análise Envoltória de Dados (DEA), que a partir de alguns modelos clássicos como o CCR (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978) e o BCC (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984), permite esse tipo de avaliação.

Entretanto, devido a características inerentes a aplicação em questão, é necessário que se observem alguns aspectos importantes.

A primeira questão diz respeito aos diferentes projetos (perfis) de smartphones, que são conduzidos pelos fabricantes, para que um determinado smartphone chegue ao mercado. Percebe-se, na aquisição de um smartphone, que existem aparelhos com diferentes configurações e os mais variados preços e tamanhos. Esses *trade-offs* entre as variáveis faz com que tenhamos o sentimento de que ao ser projetado, aquele smartphone procurava atender a um determinado público, que possui necessidades muito distintas quanto à utilização daquele aparelho.

O conceito (perfil) por traz da estratégia de operação utilizada pelos fabricantes precisa ser capturado, e nesse sentido se faz necessário à utilização de métodos estatísticos de forma a garantir a similaridade entre os elementos que compõem a amostra. Para tal, uma das metodologias que se destacam pela capacidade redução de dimensionalidade e compactação de pontos objetos similares é a análise das componentes principais, método multivariado, que facilita a tarefa de aproximar os pontos que possuem maior similaridade em grupos.

Para quantificar o quão próximos (ou mais similares) são os pontos (smartphones), utilizamos a técnica de Análise de Agrupamento (Cluster Analysis),

mais especificamente o algoritmo de  $k$ -medianas, que se baseia em centroides para calcular a proximidade dos pontos aos agrupamentos.

Após determinar os perfis de smartphones propostos pelos fabricantes visando atender ao mercado (PCA), e agrupar os smartphones de acordo com o perfil no qual ele se enquadra melhor (Cluster Analysis), a segunda questão diz respeito à avaliação das DMU's (smartphones) em si.

Como já separamos em grupos os diferentes tipos de smartphones existentes no mercado, já não corremos o risco de avaliar celulares distintos (pouco similares), ou seja, de avaliar um smartphone que foi concebido para competir pelo preço e portabilidade com outro que foi concebido para competir pelo desempenho computacional e design, por exemplo.

Portanto, podemos avaliar os smartphones que possuem o mesmo perfil (são equivalentes), sem que com isso precisemos arbitrar peso a cada uma das variáveis, pois a metodologia DEA, se encarregará dessa tarefa. Ou seja, obtemos os multiplicadores ótimos ao aplicar a metodologia DEA, considerando todas as DMUs e todas as variáveis, e como já sabemos a priori os smartphones que compõem cada perfil (os agrupamentos), utilizamos seus respectivos pesos (multiplicadores), para avaliar todas as DMUs com relação àquele determinado perfil.

Como resultado, são definidas considerando todas as DMUs, as que são eficientes com relação a aquele perfil (mix de pesos) que se está avaliando.

Ao restringir o mix de pesos de acordo com o perfil que queremos avaliar, contornamos o problema da discriminação das DMUs, que poderia surgir devido à utilização de um grande número de variáveis. Isso decorre, pois muito provavelmente teríamos à projeção de várias DMUs na fronteira de eficiência, resultando em várias DMUs com eficiência máxima, devido a cada DMU se destacar em pelo menos uma variável.

### **3.5.1 Aplicação da Análise das Componentes Principais**

A Análise de Componentes Principais (ACP) está interessada na estrutura central de uma única amostra de observações que possuem  $p$  variáveis.

A primeira componente principal é a combinação linear com variância máxima. Nós estamos buscando essencialmente por uma dimensão ao longo do qual as observações estão ao máximo separadas ou dispersas.

A segunda componente principal é a combinação linear com máxima variância em uma direção ortogonal a primeira componente principal, e assim por diante.

Em algumas aplicações, as componentes principais são um fim em si mesmas, e podem ser passíveis de interpretação. Contudo, mais frequentemente, elas são obtidas para uso como input para outras análises, tal como, o caso que estamos tratando, onde as variáveis podem ser reduzidas para um número menor de componentes principais.

Neste caso, as componentes principais estão sendo utilizadas para reduzir o número de dimensões. Um artifício proveitoso para a redução das dimensões é avaliar as primeiras duas componentes principais para cada vetor de observações e construir um gráfico de dispersão para checar aspectos de interesse.

Conforme mencionado acima, a análise de componentes principais lida com uma única amostra de  $n$  vetores  $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n$  que representam as observações e que formam uma dispersão de pontos em um espaço  $p$ -dimensional. A análise de componentes principais pode ser aplicada para qualquer distribuição de  $\mathbf{y}$ , mas é mais fácil visualizar geometricamente se a dispersão dos pontos é elipsoidal.

Desejamos, portanto, encontrar os eixos naturais da dispersão de pontos (os eixos do elipsoide) com a origem em  $\bar{\mathbf{y}}$ , que é o vetor das médias de  $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n$ . Isto é feito ao se transladar a origem para  $\bar{\mathbf{y}}$  e ao se rotacionar os eixos. Após a rotação, temos que os eixos se tornam eixos naturais do elipsoide, e que as novas variáveis (componentes principais) não estão correlacionadas.

Os eixos podem ser rotacionados por multiplicar cada  $\mathbf{y}_i$  por uma matriz ortogonal  $\mathbf{A} = (\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_p)$ , cujos elementos  $\mathbf{a}_i$  são vetores normalizados ( $\mathbf{a}_i' \mathbf{a}_i = 1$ ) e ortogonais ( $\mathbf{a}_i' \mathbf{a}_j = 0$ ):

$$\mathbf{z}_i = \mathbf{A} \mathbf{y}_i \quad (24)$$

Desde que  $\mathbf{A}$  é ortogonal,  $\mathbf{A}' \mathbf{A} = \mathbf{I}$ , e a distância até a origem é inalterada:

$$\mathbf{z}_i' \mathbf{z}_i = (\mathbf{A} \mathbf{y}_i)' (\mathbf{A} \mathbf{y}_i) = \mathbf{y}_i' \mathbf{A}' \mathbf{A} \mathbf{y}_i = \mathbf{y}_i' \mathbf{y}_i$$

Portanto uma matriz ortogonal transforma  $\mathbf{y}_i$  em um ponto  $\mathbf{z}_i$  que possui a mesma distância até a origem, e os eixos são efetivamente rotacionados.

Nós buscamos também uma combinação linear com variância máxima.

Deixemos  $a_1, a_2, \dots, a_p$  serem constantes e consideremos a combinação linear dos elementos do vetor  $\mathbf{y}$ ,

$$z = a_1y_1 + a_2y_2 + \dots + a_py_p = \mathbf{a}'\mathbf{y} \quad (25)$$

onde  $\mathbf{a}' = (a_1, a_2, \dots, a_p)$ . Se o mesmo vetor de coeficientes  $\mathbf{a}$  é aplicado para cada  $\mathbf{y}_i$  em uma amostra, nós temos

$$\begin{aligned} z_i &= a_1y_{i1} + a_2y_{i2} + \dots + a_py_{ip} \\ &= \mathbf{a}'\mathbf{y}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (26)$$

A variância da amostra  $z_i = \mathbf{a}'\mathbf{y}_i, i = 1, 2, \dots, n$ , pode ser encontrada como a variância da amostra  $z_1, z_2, \dots, z_n$  ou diretamente de  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{S}$ , onde  $\mathbf{S}$  é a matriz de covariância da amostra de  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

A matriz de covariância amostral  $\mathbf{S} = (s_{jk})$  é a matriz de variâncias amostrais e covariâncias de  $p$  variáveis:

$$\mathbf{S} = (s_{jk}) = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \dots & s_{pp} \end{bmatrix}. \quad (27)$$

Em  $\mathbf{S}$  as variâncias amostrais de  $p$  variáveis estão na diagonal, e todas as possíveis combinações de covariâncias amostrais aparecem fora da diagonal. A  $j$ -ésima linha (coluna) contém as covariâncias de  $y_j$  com as outras  $p - 1$  variáveis.

A variância amostral da  $j$ -ésima variável,  $s_{jj} = s_j^2$ , é calculada como

$$s_{jj} = s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 \quad (28)$$

onde  $\bar{y}_j$  é a média da variável  $j$ . A covariância amostral da  $j$ -ésima e  $k$ -ésima variáveis,  $s_{jk}$ , é calculada como

$$s_{jk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j) \cdot (y_{ik} - \bar{y}_k). \quad (29)$$

Note que a variância  $s_{jj}$  é expressa como  $s_j^2$ , o quadrado do desvio-padrão  $s_j$ , e  $S$  é simétrica pois  $s_{jk} = s_{kj}$ .

Nós agora denotamos dois vetores de constantes  $\mathbf{a}_1$  e  $\mathbf{a}_2$ , por considerar mais de dois vetores. Deixemos

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}'_1 \\ \mathbf{a}'_2 \end{bmatrix}$$

e definimos

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}'_1 \mathbf{y} \\ \mathbf{a}'_2 \mathbf{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}.$$

Nós podemos colocar  $\mathbf{y}$  em evidência

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}'_1 \\ \mathbf{a}'_2 \end{bmatrix} \mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{y} \quad (30)$$

Nós podemos usar (28) e (29) para construir a matriz de covariância de  $\mathbf{z}$ :

$$\mathbf{S}_z = \begin{bmatrix} s_{z_1}^2 & s_{z_1 z_2} \\ s_{z_2 z_1} & s_{z_2}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}'_1 \mathbf{S} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}'_1 \mathbf{S} \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{a}'_2 \mathbf{S} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}'_2 \mathbf{S} \mathbf{a}_2 \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Que pode ser apresentada também sob a forma

$$\mathbf{S}_z = \begin{bmatrix} \mathbf{a}'_1 \\ \mathbf{a}'_2 \end{bmatrix} \mathbf{S} [\mathbf{a}_1 \quad \mathbf{a}_2] = \mathbf{A} \mathbf{S} \mathbf{A}'$$

Encontrar os eixos do elipsoide é equivalente a encontrar a matriz ortogonal  $\mathbf{A}$  que rotaciona os eixos e os alinha com as extensões naturais da dispersão de pontos tal que as novas variáveis (componentes principais)  $z_1, z_2, \dots, z_p$  em  $\mathbf{z} = \mathbf{A} \mathbf{y}$  não sejam

correlacionadas. Portanto, nós desejamos que a matriz de covariância de  $z$ ,  $\mathbf{S}_z = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}'$ , seja diagonal,

$$\mathbf{S}_z = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}' = \begin{bmatrix} s_{z_1}^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & s_{z_2}^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & s_{z_p}^2 \end{bmatrix}, \quad (32)$$

onde  $\mathbf{S}_z$  é a matriz de covariância de  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

Os autovetores de uma matriz  $\mathbf{A}$  simétrica  $n \times n$  são mutuamente ortogonais. Segue que se os  $n$  autovetores de  $\mathbf{A}$  são normalizados e inseridos como colunas de uma matriz  $\mathbf{C} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n)$ , então  $\mathbf{C}$  é ortogonal.

Temos portanto que  $\mathbf{I} = \mathbf{C}\mathbf{C}'$ , que pode ser multiplicado por  $\mathbf{S}$  para fornecer

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}\mathbf{C}\mathbf{C}'.$$

Substituímos agora  $\mathbf{C} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n)$ :

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n)\mathbf{C}'. \quad (33)$$

Sabemos que  $\mathbf{S}\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x}$ . Portanto, de (26), temos

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= (\mathbf{S}\mathbf{x}_1, \mathbf{S}\mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{S}\mathbf{x}_n)\mathbf{C}' \\ &= (\lambda_1\mathbf{x}_1, \lambda_2\mathbf{x}_2, \dots, \lambda_n\mathbf{x}_n)\mathbf{C}' \end{aligned}$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{C}\mathbf{D}\mathbf{C}', \quad (34)$$

onde

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_n \end{bmatrix}. \quad (35)$$

A expressão  $\mathbf{S} = \mathbf{C}\mathbf{D}\mathbf{C}'$  para uma matriz simétrica  $\mathbf{S}$  em termos de seus autovalores e autovetores é conhecida como a decomposição espectral de  $\mathbf{S}$ .

Os  $\lambda_i$ s são os autovalores de  $\mathbf{S}$  e  $\mathbf{C}$  é a matriz ortogonal cujas colunas são autovetores normalizados de  $\mathbf{S}$ .

Desde que  $\mathbf{C}$  seja ortogonal e  $\mathbf{C}'\mathbf{C} = \mathbf{C}\mathbf{C}' = \mathbf{I}$ , nós podemos multiplicar (34) a esquerda por  $\mathbf{C}'$  e a direita por  $\mathbf{C}$  para obter

$$\mathbf{C}'\mathbf{S}\mathbf{C} = \mathbf{D}. \quad (36)$$

Portanto a matriz ortogonal  $\mathbf{A}$  que diagonaliza  $\mathbf{S}$  é a transposta da matriz  $\mathbf{C}$ :

$$\mathbf{A} = \mathbf{C}' = \begin{bmatrix} a'_1 \\ a'_2 \\ \vdots \\ a'_p \end{bmatrix}, \quad (37)$$

onde  $a_i$  é o  $i$ -ésimo autovetor ( $\mathbf{a}'_i\mathbf{a}_i = 1$ ) normalizado de  $\mathbf{S}$ . As componentes principais são as variáveis transformadas  $z_1 = \mathbf{a}'_1\mathbf{y}$ ,  $z_2 = \mathbf{a}'_2\mathbf{y}$ , ...,  $z_p = \mathbf{a}'_p\mathbf{y}$  em  $\mathbf{z} = \mathbf{A}\mathbf{y}$ .

Em (33), os elementos da diagonal de  $\mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}'$  do lado direito são autovalores de  $\mathbf{S}$ . Portanto, os autovalores  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  de  $\mathbf{S}$  são as variâncias das componentes principais  $z_i = \mathbf{a}'_i\mathbf{y}$ :

$$s_{z_i}^2 = \lambda_i. \quad (38)$$

Desde que a rotação se alinha com as extensões naturais da dispersão de pontos,  $z_1 = \mathbf{a}'_1\mathbf{y}$  tem a maior variância e  $z_p = \mathbf{a}'_p\mathbf{y}$  tem a menor variância. Também segue de (31) que é devido à variância de  $z_1$  ser  $\lambda_1$ , o maior autovalor, e a variância de  $z_p$  ser  $\lambda_p$ , o menor autovalor. Se alguns autovalores são pequenos, nós podemos negligenciá-los e representar os pontos razoavelmente bem com menos que  $p$  dimensões.

Devido aos autovalores serem a variância das componentes principais, nós falamos em “proporção da variância explicada” pelos primeiros  $k$  componentes:

$$\text{Proporção da variância} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{\sum_{j=1}^p s_{jj}}, \quad (39)$$

sendo que  $\sum_{j=1}^p s_{jj} = \text{tr}(\mathbf{S})$ .

Portanto, nós tentamos representar os pontos  $p$ -dimensionais  $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ip})$  através de poucos componentes principais  $(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ik})$  que tem grande contribuição na variância total. Se algumas poucas variáveis tem variâncias relativamente grandes, elas figurarão desproporcionalmente em  $\sum_{j=1}^p s_{jj}$  e entre os componentes principais. Por exemplo, se  $s_{22}$  é notavelmente maior que as outras variâncias, então em  $z_1 = a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1p}y_p$ , o coeficiente  $a_{12}$  será maior e todos os outros  $a_{1j}$  serão pequenos.

Se as variáveis estão altamente correlacionadas, a dimensionalidade necessária é muito menor do que  $p$ . Neste caso, alguns poucos autovalores serão maiores, e (39) estará próxima de 1 para um pequeno valor de  $k$ .

Por outro lado, se as correlações entre as variáveis são baixas, a dimensionalidade estará próxima de  $p$  e os autovalores serão aproximadamente iguais. Neste caso, nenhuma redução útil de dimensão é obtida pelo fato das componentes principais serem essencialmente duplicatas das variáveis.

Quaisquer dois componentes principais  $z_i = \mathbf{a}'_i \mathbf{y}$  e  $z_j = \mathbf{a}'_j \mathbf{y}$  são ortogonais para  $i \neq j$ , tal que,  $\mathbf{a}'_i \mathbf{a}_j = 0$ , devido a  $\mathbf{a}_i$  e  $\mathbf{a}_j$  serem autovetores da matriz simétrica  $\mathbf{S}$ . Componentes principais também tem uma segunda propriedade de serem não correlacionadas. Isto é, temos de (27) que a covariância de  $z_i$  e  $z_j$  é zero.

Outro aspecto a ser analisado, é quanto a alterações nas dispersões dos pontos. Se nós alteramos escala de um ou mais  $\mathbf{y}$ , a forma da dispersão dos pontos também será alterada, e precisaremos de diferentes componentes para representar os novos pontos. Portanto, as componentes principais não são invariantes em escala. Precisamos, então, estar atentos as unidades de medição das variáveis. Se as variáveis têm variâncias grandemente dispares, nós podemos padronizá-las antes de extrair os autovalores e autovetores. Isto é equivalente a encontrar componentes principais a partir da matriz de correlação  $R$ .

Geralmente, extrair componentes de  $\mathbf{S}$  ao invés de  $\mathbf{R}$  ficam mais próximas do espírito e intenção da análise de componentes principais, especialmente se as componentes serão usadas em novos cálculos. Entretanto, em alguns casos, as componentes principais serão mais interpretáveis se  $R$  é utilizada. Por exemplo, se as variâncias diferem grandemente ou se as unidades de medição não são comensuráveis, as componentes de  $S$  serão dominadas pelas variáveis com maior variâncias. As outras

variáveis irão contribuir muito pouco. Para uma representação mais equilibrada em tais casos, componentes de  $\mathbf{R}$  podem ser usadas.

Como acontece com qualquer mudança de escala, quando as variáveis são padronizadas na transformação de  $\mathbf{S}$  para  $\mathbf{R}$ , a forma da dispersão de pontos irá mudar. Note, entretanto, que depois de transformar para  $\mathbf{R}$ , quaisquer mudanças adicionais de escala nas variáveis não irá afetar as componentes porque mudanças de escala não modificam  $\mathbf{R}$ . Portanto, componentes principais a partir de  $\mathbf{R}$ , são invariantes em escala.

Realizamos a padronização dos dados da seguinte forma, sendo

$$\bar{y}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \text{ com } j = 1, \dots, p,$$

a média aritmética de cada coluna  $y_j$  da matriz  $\mathbf{Y}$ , e

$$\tilde{y}_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}}, \text{ com } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, p \quad (40)$$

o dado padronizado.

A matriz de correlação amostral é análoga a matriz de covariância com correlações no lugar de covariâncias:

$$R = (r_{jk}) = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (41)$$

A segunda linha, por exemplo, contém a correlação de  $y_2$  com cada um dos  $y$ 's, incluindo a correlação do  $y_2$  com ele mesmo, que é 1). Certamente, a matriz  $\mathbf{R}$  é simétrica, desde que  $r_{jk} = r_{kj}$ .

A matriz de correlação pode ser obtida da matriz de covariância e vice-versa. Definimos

$$\mathbf{D}_s = \text{diag}(\sqrt{s_{11}}, \sqrt{s_{22}}, \dots, \sqrt{s_{pp}}) = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & s_p \end{bmatrix} \quad (42)$$

Então

$$\mathbf{R} = \mathbf{D}_s^{-1} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{D}_s^{-1}. \quad (43)$$

Em cada aplicação, uma decisão deve ser tomada sobre quantas componentes principais devem ser retidas com o objetivo de efetivamente sintetizar os dados. Várias diretrizes tem sido propostas, e utilizaremos as duas mais largamente utilizadas:

1. Reter componentes suficientes para contabilizar uma percentagem específica da variância total, digamos entre 70 e 80%.
2. Reter os componentes cujos autovalores são maiores do que a média dos autovalores,  $\sum_{i=1}^p \lambda_i / p$ . Para a matriz de correlação a média é 1.

Nós discutiremos agora, os dois critérios acima para a escolha das componentes. Note, entretanto, que o menor dos componentes pode possuir informações valiosas que não devem ser rotineiramente ignoradas.

No método 1, o desafio repousa em selecionar um limite percentual apropriado. Se selecionamos muitas componentes, nós corremos o risco de incluir componentes que possuem informações que são ou específicas da amostra ou específicas das variáveis. Por informações específicas da amostra, queremos dizer que uma componente pode não generalizar uma população ou outras amostras. Uma componente específica das variáveis é dominada por uma única variável e não representa uma síntese completa das várias variáveis.

O método 2 é largamente utilizado e é padrão na maioria dos pacotes de *softwares*. Temos que  $\sum_i \lambda_i = \text{tr}(\mathbf{S})$ , e o autovalor médio é também a variância média das variáveis individuais. Portanto, o método 2 retém aquelas componentes que representam melhor a variância através da média das variâncias da variáveis. Nos casos onde os dados podem ser sintetizados de forma bem sucedida em um relativamente

pequeno número de dimensões, existe frequentemente uma grande distância entre os dois autovalores que caem em ambos os lados da média.

Após a definição do número de componentes principais  $k$  que iremos reter, caso o número de componentes seja  $k > 3$ , então nós plotamos as duas ou três primeiras componentes como uma forma de reduzir a dimensão. Nós simplesmente avaliamos as primeiras componentes para cada vetor observação e plotamos esses  $n$  pontos. O gráfico é equivalente a uma projeção  $k$ -dimensional da dispersão dos dados em um plano que mostra o maior espalhamento dos pontos.

Portanto, a partir de (30), podemos plotar as observações transformadas utilizando como coordenadas as duas componentes principais, segundo a equação

$$\mathbf{Z} = \mathbf{A}' \cdot \mathbf{Y}, \quad (44)$$

Onde  $\mathbf{A}'$  é a matriz transposta dos autovetores da matriz de correlação  $\mathbf{R}$ , e  $\mathbf{Y}$  é a matriz com os vetores observação  $\mathbf{y}_i$  previamente padronizados, conforme apresentado em (40).

O gráfico das duas primeiras componentes podem revelar algumas características importantes do conjunto de dados. Um dos objetivos do gráfico é checar por desvios da normalidade, tais como outliers ou não-linearidade. Outra característica que o gráfico das primeiras duas componentes pode revelar é a tendência de agrupamento dos pontos, que é o principal aspecto de interesse utilizado neste estudo.

Para permitir a análise de grupamentos, devemos inicialmente descartar os pontos com baixa qualidade de representação, pois sua proximidade no plano fatorial aos pontos de alta qualidade de representação não significa uma proximidade real dos dados no espaço. Essa proximidade é apenas aparente.

Definimos por qualidade de representação de um ponto (QR) em relação as componentes principais como a razão entre o percentual da variação explicada pela direção principal em relação a variação total do pontos. Temos então que

$$QR(y_j) = \frac{\|z_j\|^2}{\|\tilde{y}_j\|^2}, \quad (45)$$

onde  $z_j$  é o vetor de coordenadas em relação apenas as componentes principais retidas.

Entre os pontos de alta qualidade de representação pode ser, eventualmente constatada a formação de aglomerados de pontos agrupados por proximidade, aos quais pode caber uma interpretação.

Pontos de alta qualidade de representação, localizados próximo à origem, apresentam comportamento médio em relação às variáveis consideradas. Pontos isolados, fora de qualquer grupo, apresentam características atípicas, podendo ser discrepantes (outliers).

Podemos representar graficamente também o relacionamento das variáveis com as componentes principais utilizadas. Esse gráfico é denominado mapa fatorial, e é um subespaço projetivo bi-dimensional determinado pelas duas direções principais escolhidas e possui uma projeção circular chamada círculo de correlações. As variáveis são representadas nesse mapa por vetores (setas) que se iniciam na origem e apontam para o ponto que representa a variável associada.

Os pontos representativos das variáveis são obtidos a partir de estimativas para as cargas fatoriais, cuja matriz é representada por  $\hat{\Lambda}$ . Essa estimativa é determinada a partir da matriz de correlação  $R$ , das observações padronizadas. Consideramos então a matriz dos fatores de carga como

$$\hat{\Lambda} = A \cdot \sqrt{D} \quad (46)$$

onde  $A$  é a matriz dos autovetores de  $R$  e  $D$  é uma matriz diagonal que contém os autovalores  $\lambda$  associados. Com o resultado obtido de  $\hat{\Lambda}$ , definimos as coordenadas do mapa, baseados nas componentes principais retidas.

Vetores que representam variáveis de alta contribuição (extremos próximos a circunferência do círculo de correlações) representam as variáveis que justificam a maior dispersão dos pontos. São essas as variáveis que desempenham um papel mais relevante na análise.

Vetores de direção próxima, isto é, que formam pequenos ângulos, quando da alta qualidade de representação, são variáveis de forte correlação positiva. Já vetores de alta qualidade de representação aproximadamente opostos são de variáveis de forte correlação negativa. Direções aproximadamente perpendiculares denotam ausência de correlação, ou seja, independência entre as variáveis. Vetores de baixa qualidade de representação são aproximadamente independentes dos de alta qualidade de

representação, mas quase nada revelam. Neste caso, é possível a utilização de outro mapa fatorial com outra composição de direções principais, a fim de procurar correlações significativas ainda não identificadas.

As correlações reveladas pelo mapa fatorial podem ser confirmadas pela análise da matriz da correlação entre as variáveis.

A sobreposição de mapas fatoriais, que mostra tanto os pontos de observações como os pontos variáveis permite constatar a relação entre um objeto e uma variável, através do exame da projeção ortogonal do ponto de observação sobre o vetor que representa uma variável, isto é, se o dado objeto se encontra abaixo, acima ou sobre a média da variável em questão. Deve-se observar que não é a proximidade do ponto objeto ao vetor que determina a relação entre ambos, mas a projeção ortogonal.

Após a definição do número de componentes principais que serão utilizadas pelo modelo, e o cálculo da qualidade de representação (QR) dos pontos objetos que são representativos com relação às componentes principais utilizadas, nós podemos agrupar esses pontos de forma a definir clusters que agrupem os objetos levando em consideração a similaridade entre o valor das variáveis que os constitui.

O objetivo desses agrupamentos, é que se possa de extrair desses clusters informações a respeito dos smartphones que os compõem, visto que os smartphones contidos nesses grupos possuem características equivalentes. Essas características formam perfis que são idealizados pelos fabricantes ao projetar tais aparelhos.

Para ilustrar esse conceito, temos por exemplo, que um determinado fabricante decide lançar um smartphone visando competir pelo preço baixo e pela portabilidade do aparelho (variáveis preço e volume), enquanto outro fabricante utiliza sua equipe de projeto para lançar aparelhos que possuam alto desempenho computacional e design refinado (variáveis benchmark computacional e design). Portanto, ao agrupar esses aparelhos descritos pelas componentes principais, espera-se que os aparelhos (pontos no espaço) de perfis similares estejam próximos no espaço multidimensional formando agrupamentos com smartphones de mesmo perfil.

Agrupamos, portanto, esses pontos descritos pelo método das componentes principais utilizando o método das k-medianas, descrito no próximo tópico.

### **3.5.2 Aplicação da Análise de Agrupamentos**

A análise de agrupamentos (cluster analysis) divide dados em grupos que são significativos e convenientes. Se grupos significativos são o foco, então os agrupamentos devem capturar a estrutura natural dos dados. Em alguns casos, entretanto, a análise de agrupamentos é apenas um ponto de partida útil para outras propostas, tais como sumarização de dados.

A análise de agrupamentos fornece uma separação de objetos de dados individuais em conjuntos, nos quais esses objetos de dados residem. Adicionalmente, algumas técnicas de agrupamento caracterizam cada grupo em termos de um conjunto protótipo, ou seja, um objeto de dados que é representativo de outros objetos no grupo. Os protótipos podem ser utilizados como base para numerosas técnicas de análise e processamento de dados. Conseqüentemente, no contexto da utilidade, análise de agrupamentos é o estudo de técnicas para encontrar os mais representativos protótipos de conjuntos.

Análise de agrupamentos (cluster analysis) agrupa objetos de dados baseado somente na informação encontrada nos dados que descrevem os objetos e seus relacionamentos. O objetivo é que objetos dentro de um grupo sejam similares (ou relacionados) a um com o outro, e diferentes (ou sem relação) dos objetos de outros grupos. Quanto maior a similaridade (ou homogeneidade) dentro de um grupo, e quanto maior a diferença entre grupos, melhor ou mais distintos serão os agrupamentos.

Análise de agrupamentos está relacionada a outras técnicas que são usadas para dividir objetos em grupos. Por exemplo, a análise de agrupamento pode ser considerada como uma forma de classificação, pois ela cria rótulos nos objetos que são inseridos em classes. Entretanto, ela define esses rótulos apenas a partir dos dados. Em contrapartida, o termo classificação é normalmente empregado quando novos objetos, que não foram rotulados, são atribuídos em uma classe usando um modelo desenvolvido para objetos com classes conhecidas.

Igualmente, enquanto os termos segmentação e particionamento são algumas vezes utilizados como sinônimos para agrupamento, esses termos são frequentemente usados para abordagens fora dos limites tradicionais da análise de agrupamentos. Por exemplo, o termo particionamento é frequentemente relacionado com técnicas que dividem grafos em subgrafos e que não são fortemente relacionadas à clusterização. Segmentação frequentemente se refere a divisão de dados em grupos utilizando técnicas

simples. Por exemplo, uma imagem que pode ser dividida em segmentos baseados na intensidade e cor dos pixels, ou pessoas que podem ser separadas em grupos baseados em sua renda.

Uma inteira coleção de clusters está relacionada à análise de agrupamentos (clusterização), e iremos diferenciar o tipo de clusterização utilizada neste trabalho. Para a aplicação em questão, se faz adequado o uso de agrupamentos particionados que dividem um grupo de objetos de dados em subconjuntos que não se sobrepõem hierarquicamente, tal que cada objeto de dados está exatamente em um subconjunto. Ao mesmo tempo, os objetos são todos exclusivos, isto é, se atribui cada objeto a um único cluster. Neste caso, um objeto não pode pertencer simultaneamente a mais de um grupo.

Adicionalmente, existem várias diferentes noções de agrupamentos (clusters), que se mostram úteis na prática. Um cluster é um conjunto de objetos no qual cada objeto está mais próximo (ou é mais similar) a cada objeto do cluster que qualquer outro objeto que não está no cluster. Algumas vezes um limite é utilizado para especificar que todos os objetos contidos em um cluster devem estar suficientemente próximos uns dos outros. Esta definição idealística de um cluster é satisfeita somente quando os dados que contém agrupamentos naturais estão bastante distantes entre eles. Define-se então que clusters bem-definidos são aqueles cuja distância entre quaisquer dois pontos em grupos diferentes é maior que a distância entre quaisquer dois pontos dentro do mesmo grupo.

Temos também o conceito de clusters baseados em protótipos, onde no conjunto de objetos que constitui o cluster, cada objeto está mais próximo (ou é mais similar) ao protótipo que define o cluster, do que o protótipo de qualquer outro cluster.

Para dados com atributos contínuos, o protótipo de um cluster é frequentemente um centroide, isto é, a média de todos os pontos do cluster. Para muitos tipos de dados, o protótipo pode ser considerado como o ponto mais central, e em tais casos, nós nos referimos normalmente aos clusters baseados em protótipos como clusters baseados no centro.

Uma técnica de clusterização baseada em protótipo mais proeminente é a  $k$ -mediana. A  $k$ -mediana define um protótipo em termos de um centroide, que é usualmente a média de um grupo de pontos, e é tipicamente aplicada a objetos em um espaço contínuo  $n$ -dimensional. A  $k$ -mediana é um algoritmo de clusterização dos mais antigos e mais largamente utilizados.

A técnica de clusterização pode ser descrita a partir de seu algoritmo básico. Nós primeiro escolhemos  $k$  centroides iniciais, onde  $k$  é um parâmetro especificado pelo usuário, definido como o número de clusters desejados. Cada ponto é então atribuído ao centroide mais próximo, e cada coleção de pontos atribuídos ao centroide é um cluster. O centroide de cada cluster é então atualizado baseado nos pontos atribuídos ao cluster. Nós repetimos as atribuições e atualizações, até que os centroides permaneçam os mesmos.

Para algumas combinações de funções de proximidade e tipos de centroides, a  $k$ -mediana sempre converge para uma solução, isto é, a  $k$ -mediana alcança um estado no qual nenhum ponto pula de um cluster para outro, e portanto, os centroides não mudam. Devido ao fato da maioria das convergências ocorrer com poucas iterações, temos que a condição de parada das iterações, que trata da não mudança nas posições do centroide, é frequentemente substituída por uma condição mais fraca, como por exemplo, repetir as iterações até que apenas 1% dos pontos mudem de cluster.

Para designar um ponto ao centroide mais próximo, nós precisamos de uma medida de proximidade que quantifica a noção de “mais próximo” para o dado específico sob observação. A distância Euclidiana é frequentemente utilizada para pontos de dados no espaço Euclidiano.

Com relação ao passo de “recalcular o centroide de cada cluster”, temos que o centroide pode variar, dependendo do objetivo da clusterização. O objetivo da clusterização é tipicamente expresso por uma função objetivo que depende das proximidades dos pontos aos centroides, como por exemplo, a minimização do quadrado das distâncias de cada ponto ao seu centroide mais próximo. Temos, que uma vez que nós especificamos uma medida de proximidade e uma função objetivo, o centroide escolhido pode ser frequentemente determinado matematicamente.

Consideramos então, que a medida de proximidade utilizada é a distância Euclidiana, e para a função objetivo, que mede a qualidade da clusterização, utilizamos a soma dos erros quadráticos (SEQ). Em outras palavras, nós calculamos o erro de cada ponto, isto é, sua distância Euclidiana ao centroide mais próximo, e então computamos a soma total dos erros quadráticos. Dados dois diferentes conjuntos de clusters que são produzidos por duas diferentes rodadas da  $k$ -mediana, nós preferimos aquela com menor erro quadrático, desde que isto significa que os protótipos (centroides) desses

agrupamentos são uma melhor representação dos pontos em seus respectivos clusters. Nós formalmente definimos o SEQ conforme (47):

$$SEQ = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} dist(\mathbf{c}_i, \mathbf{x})^2 \quad (47)$$

onde  $\mathbf{c}_i$  são as coordenadas do centroide  $C_i$ ,  $\mathbf{x}$  são as coordenadas de um dos objetos,  $k$  é a quantidade de clusters definida pelo usuário e  $dist$  é a distância Euclidiana entre os dois objetos no espaço Euclidiano.

Fornecidas essas premissas, o centroide do  $i$ -ésimo cluster é definido por (48).

$$\mathbf{c}_i = \frac{1}{m_i} \sum_{x \in C_i} \mathbf{x}$$

onde  $m_i$  é a quantidade de pontos contidos no  $i$ -ésimo cluster.

Após o algoritmo da  $k$ -mediana quantificar a distância de cada um dos pontos ao centroide mais próximo, definir os agrupamentos e recalculando o centroide de cada um dos clusters, ele imediatamente tenta minimizar o SEQ (ou de forma mais geral, a função objetivo). Entretanto as ações da  $k$ -mediana fornecem garantia de se encontrar apenas mínimos locais com relação ao SEQ desde que eles são baseados na otimização do SEQ para escolhas específicas de centroides e clusters, ao invés de todas as possíveis escolhas.

Para se contornar essa limitação, uma inicialização aleatória de centroides pode ser utilizada, pois diferentes rodadas de  $k$ -mediana tipicamente produzem SEQ totais diferentes. Escolher adequadamente centroides iniciais é um passo-chave do procedimento básico da  $k$ -mediana. A abordagem da escolha aleatória de centroides iniciais é comum, mas os clusters resultantes são frequentemente pobres.

Devido aos problemas ao utilizar a seleção de centroides iniciais aleatoriamente, que mesmo depois de repetidas rodadas podem não ser superados, outras técnicas são frequentemente empregadas para a inicialização. Uma das abordagens é selecionar o primeiro ponto aleatoriamente ou pegar o centroide de todos os pontos. Em seguida, para cada centroide inicial sucessivo, selecionamos o ponto que é mais afastado de qualquer dos centroides iniciais já selecionados. Desta forma, nós obtemos um conjunto

de centroides iniciais que é garantido não serem apenas aleatoriamente selecionado, mas também, bem separados.

Algumas questões adicionais são a presença de pontos discrepantes (outliers), quando o critério do erro quadrático é utilizado. Outliers podem influenciar demasiadamente os clusters que são encontrados. Em particular, quando outliers estão presentes, os centroides (protótipos) podem não ser representativos como eles poderiam ser e portanto, o SEQ irá ser maior também. Devido a isso, é sempre interessante descobrir se existem outliers e eliminá-los antecipadamente. É importante notar, entretanto, que existem certas aplicações de clusterização as quais outliers não podem ser eliminados. Alternativamente, outliers podem ser identificados em um passo de pós-processamento. Por exemplo, nós podemos eliminar pequenos clusters, uma vez que eles frequentemente representam grupos de outliers.

Outra questão é sobre a divisão de grandes agrupamentos. Nós podemos dividir grandes agrupamentos visando reduzir o SEQ total. O cluster com maior SEQ é usualmente escolhido.

Finalmente, podemos unir dois clusters, escolhendo tipicamente os clusters com centroide mais próximos. Outra abordagem é unir os dois clusters que resultam em um menor crescimento no total da SSE.

### 3.5.3 Aplicação da Técnica da Análise Envoltória de Dados

Os métodos DEA, como o CCR e o BCC, têm por objetivo comparar certo número de Unidades Tomadores de Decisão (Decision Making Units, DMU's), que realizam tarefas similares e somente se diferenciam na quantidade de inputs que consomem e na quantidade de outputs que produzem (LINS e MEZA, 2000).

Como o modelo que propomos tem por principal finalidade avaliar os smartphones do ponto de vista do consumidor, então nosso modelo avaliará as DMU's sob o aspecto da possível redução de custo do produto enquanto mantém seus níveis de output fixos, sendo portanto, orientado a input. Apresentamos abaixo a formulação do CCR orientado a input segundo a ótica dos multiplicadores:

$$(CCR \text{ Multiplicadores}) \quad \text{Maximizar} \quad \mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_o \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \mathbf{v} \cdot \mathbf{x}_o = 1 \quad (2)$$

$$-\mathbf{v} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{u} \cdot \mathbf{Y} \leq \mathbf{0} \quad (3)$$

$$\text{Com: } \mathbf{v} \geq \mathbf{0}, \mathbf{u} \geq \mathbf{0} \quad (4)$$

Considerando que  $m$  é o número de inputs,  $s$  o número de outputs e  $n$  o número de DMU's, temos que  $X$  é uma matriz  $m \times n$  de coeficientes dos inputs,  $Y$  é uma matriz  $s \times n$  de coeficientes dos outputs,  $\mathbf{x}_o$  é o vetor coluna  $m \times 1$  dos inputs da DMU sendo observada,  $\mathbf{y}_o$  é o vetor coluna  $s \times 1$  dos outputs da DMU sendo observada,  $\mathbf{v}$  é o vetor linha  $1 \times m$  dos multiplicadores dos inputs das DMU's consideradas e, finalmente,  $\mathbf{u}$  é o vetor linha  $1 \times s$  dos multiplicadores dos outputs das DMU's.

Utilizando esse modelo podemos determinar as ineficiências técnicas das DMU's, ou seja, podemos separar as DMU's eficientes das ineficientes, por um índice no intervalo de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1, mais eficiente é o aparelho. Além disso, ao utilizar os pesos virtuais, podemos determinar quais critérios impactam mais para o resultado de cada *smartphone*, pois o valor de cada peso virtual corresponde a contribuição percentual da respectiva variável, para o índice de eficiência.

Utilizaremos também o modelo CCR do envelope orientado a input, para que possamos determinar o conjunto de referência, que contém as DMU's que formam a fronteira de eficiência utilizada para projetar a DMU que está sendo avaliada. A DMU que mais frequentemente aparece nos conjuntos de referência é considerada como sendo a referência mais influente, isto é, com maior valor de  $\lambda$  (COOPER, SEIFORD e TONE, 2006). Apresentamos então o modelo do envelope:

$$(CCR \text{ Envelope}) \quad \text{Minimizar} \quad \theta \quad (5)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \theta \cdot \mathbf{x}_o - X \cdot \boldsymbol{\lambda} \geq \mathbf{0} \quad (6)$$

$$Y \cdot \boldsymbol{\lambda} \geq \mathbf{y}_o \quad (7)$$

$$\text{Com:} \quad \boldsymbol{\lambda} \geq \mathbf{0} \quad (8)$$

Onde  $\theta$  é uma variável com números reais, e  $\boldsymbol{\lambda}$  é um vetor coluna  $n \times 1$ .

Outro resultado interessante, que pode ser obtido ao levar em consideração DMU's ineficientes, é o incremento necessário aos valores de output ou decremento nos valores de input, para que uma determinada DMU se torne eficiente. Podemos obter essa falta ou excesso de rendimento nos outputs e/ou inputs utilizando os valores de eficiência ótimos  $\theta^*$  das DMU's avaliadas para resolução da formulação a seguir:

$$(CCR \text{ das Folgas}) \quad \text{Maximizar } \omega = e \cdot s^- + e \cdot s^+ \quad (9)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad -\theta^* \cdot x_o + X \cdot \lambda + s^- = \mathbf{0} \quad (10)$$

$$-Y \cdot \lambda + s^+ = y_o \quad (11)$$

$$\text{Com:} \quad \lambda \geq \mathbf{0} \quad (12)$$

Onde  $\theta^*$  é um escalar,  $s^-$  é um vetor coluna  $m \times 1$  de excessos dos inputs,  $s^+$  é um vetor coluna de excesso dos outputs e  $e$  é um vetor linha  $1 \times m$  ou  $1 \times s$ , composto de números 1.

Cabe ressaltar que para resolver o modelo CCR das Folgas, é necessário que tenha sido resolvido primeiramente o modelo CCR Envelope, para obtenção de  $\theta^*$ . Consideramos então duas fases para resolução do último modelo, onde o CCR envelope é a fase I e o CCR das Folgas a fase II. Portanto, executando ambas as fases em uma DMU e obtendo  $\theta^* = 1$ ,  $s^{*-} = 0$  e  $s^{*+} = 0$ , então a DMU é chamada CCR-eficiente, ou seja, ela possui tanto eficiência técnica quanto eficiência mista. Caso contrário a DMU é chamada CCR-ineficiente (COOPER, SEIFORD e TONE, 2006). Os modelos acima estão formulados para operar em retorno constante de escala (Constant Return-to-Scale, CRS). Esse modelo considera, no entanto, que a fronteira que delimita a eficiência se estenda sempre com a mesma inclinação, o que nem sempre é razoável.

Percebe-se que a cada surgimento de novos *smartphones*, suas capacidades aumentam significativamente, devido a avanços de microeletrônica e sistemas. Essas rupturas tecnológicas possuem custo elevado em seu nascimento, mas na medida em que se consolidam em termos de produção e demanda, ocorrem ganhos significativos de economia de escala, o que nem sempre faz com que produtos tecnologicamente mais avançados concorram com igualdade de condições em relação a custos, com outros produtos de tecnologia dominada.

Isso não quer dizer dispositivos tecnologicamente avançados sejam ineficientes, muito pelo contrário, eles apenas se encontram em região da fronteira de eficiência com inclinação diferente. Isso faz com que seja indicado para o nosso caso o uso de fronteira de eficiência linear por partes, ou seja, fronteira com retorno variável de escala (Variable Return-to-Scale, VRS). Ilustramos abaixo na Figura 8, as fronteiras de eficiência CRS (linha contínua) e VRS (linha tracejada), para os dados do nosso estudo,

considerando o caso output-input únicos, onde o input é o “Custo do Smartphone ( $x$ )” e o output é o “Desempenho Computacional ( $y_j$ )”:

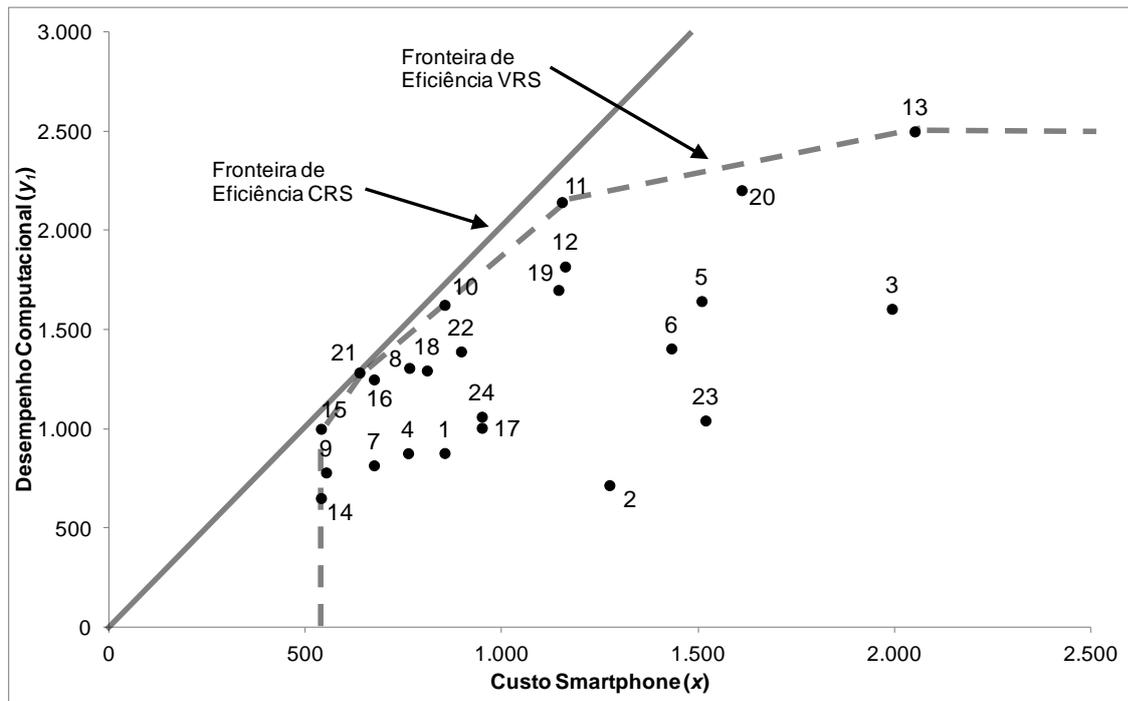


Figura 8 - Fronteiras CRS e VRS para o caso output-input únicos.

Podemos observar na Figura 2, o comportamento relativo ao desempenho das DMU's, onde a DMU eficiente para o caso CRS é a DMU 21, e para o caso VRS, compõe a fronteira as DMU's 15, 21, 11 e 13.

Para delimitar o nosso conjunto de possibilidades de produção (Production Possibility Set), utilizando a fronteira VRS, precisamos incluir no conjunto de restrições do modelo CCR Envelope, à equação proposta por (1984), que está expressa abaixo:

$$e \cdot \lambda = 1 \tag{13}$$

Onde  $e$  é um vetor linha  $1 \times n$ , com todos os elementos iguais a 1.

Ao incluir essa restrição obtemos o modelo BCC (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984), operando agora com retorno variável de escala, cuja formulação para o modelo do envelope é apresentada abaixo:

$$(BCC \text{ Envelope}) \quad \text{Minimizar} \quad \theta \tag{14}$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \theta \cdot x_o - X \cdot \lambda \geq 0 \tag{15}$$

$$-y_o + Y \cdot \lambda \geq \mathbf{0} \quad (16)$$

$$e \cdot \lambda = 1 \quad (17)$$

$$\text{Com:} \quad \lambda \geq \mathbf{0} \quad (19)$$

Para finalizar a modelagem matemática do nosso estudo, pode ser necessário que restrinjamos a importância que damos a cada critério de desempenho utilizado, de forma que não se supervalorize demasiadamente um certo critério em detrimento de outro. Ou seja, um peso próximo de 1 para a variável “Design (y10)”, e próximo de zero para a variável “Capacidade da Bateria (y3)”, por exemplo.

Para considerar essa questão, utilizaremos a abordagem da região de segurança (Assurance Region), proposto por Thompson, Singleton Jr., Thrall e Smith (1986), que impõe restrições nas magnitudes relativas dos pesos para determinadas variáveis.

Para o modelo dos smartphones, arbitramos que uma determinada variável não poderá possuir duas vezes mais importância que as demais variáveis (outputs) do problema. Dessa forma, mesmo o modelo BCC atribuindo pesos maiores para os “pontos fortes” de determinada DMU, esse pesos não poderão exceder certos limites impostos. Ou seja:

$$l_{1,i} \leq \frac{v_i}{v_1} \leq u_{1,i} \quad (i = 2, \dots, m). \quad (20)$$

Onde  $l_{1,i}$  é o valor do limite inferior da razão de pesos, e  $u_{1,i}$  é o valor do limite superior da razão de pesos.

Portanto, ao incluir está limitação, obtemos o nosso PPL final, conforma abaixo:

$$(BCC - AR) \quad \text{Minimizar} \quad \theta \quad (21)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \theta \cdot x_o - X \cdot \lambda + P \cdot \pi \geq \mathbf{0} \quad (22)$$

$$-y_o + Y \cdot \lambda + Q \cdot \tau \geq \mathbf{0} \quad (23)$$

$$e \cdot \lambda = 1 \quad (24)$$

$$\text{Com:} \quad \lambda \geq \mathbf{0}, \pi \geq \mathbf{0}, \tau \geq \mathbf{0} \quad (25)$$

Onde  $\pi$  e  $\tau$  são variáveis que aparecem no modelo do envelope como resultado dos limites impostos, e  $P$  e  $Q$  são matrizes de restrições aos pesos. Elas se estendem conforme as matrizes seguir:

$$P = \begin{bmatrix} l_{12} & -u_{12} & l_{13} & -u_{13} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$Q = \begin{bmatrix} L_{12} & -U_{12} & L_{13} & -U_{13} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (27)$$

Aplicamos a seguir os dados dos smartphones selecionados no modelo e obtemos os resultados expostos na próxima sessão.

## 4 RESULTADOS

Como estamos interessados na estrutura central de uma amostra com 122 observações (smartphones) que possui 18 variáveis, é recomendado o uso da Análise de Componentes Principais (ACP), que neste trabalho está sendo utilizada para determinação de agrupamento de observações, servindo de input para posterior análise utilizando a metodologia DEA. Os dados da amostra estão contidos no Apêndice 2.

### 4.1 Resultados da Análise das Componentes Principais

As componentes principais estão sendo utilizadas para reduzir o número de dimensões e agrupar os objetos. Avaliamos as primeiras as componentes principais, onde cada uma das componentes representa uma determinada quantidade de variáveis correlacionadas, de forma que possamos incluir o máximo da variância contida na amostra e construirmos um gráfico de dispersão para checar aspectos de interesse.

Sabemos que a variância da amostra  $z_i = a'y_i, i = 1, 2, \dots, n$ , pode ser encontrada como a variância da amostra  $z_1, z_2, \dots, z_n$  ou diretamente de  $a$  e  $S$ , onde  $S$  é a matriz de covariância da amostra de  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

Portanto, determinamos inicialmente a matriz de covariância amostral  $S = (s_{jk})$ , conforme (27), do conjunto de dados dos smartphones, e esta matriz é apresentada no Apêndice 3.

$$S = (s_{jk}) = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \cdots & s_{pp} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Transformamos a seguir a matriz de covariância  $S$ , na matriz de correlação  $R$ , visando melhorar a interpretação dos dados, equilibrar a representação das variáveis e contornar problemas de mudança de escala.

A matriz de correlação pode ser obtida da matriz de covariância e vice-versa, mas para tal, precisamos primeiro obter a matriz diagonal dos desvios  $D_s$ , de acordo com (34) e utilizando o conjunto de dados dos smartphones, conforme Apêndice 4.

$$D_s = \text{diag}(\sqrt{s_{11}}, \sqrt{s_{22}}, \dots, \sqrt{s_{pp}}) = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & s_p \end{bmatrix}. \quad (34)$$

Então, realizando as multiplicações matriciais de (35), obtemos a matriz de correlação  $R$  apresentada no Apêndice 5.

$$R = D_s^{-1} \cdot S \cdot D_s^{-1} \quad (35)$$

A partir da matriz de correlação  $R$ , decidimos quantos componentes principais devem ser retidos com o objetivo de sintetizar os dados. Precisamos determinar então os autovalores e autovetores da matriz de correlação  $R$ , apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Componentes principais para os dados dos smartphones

Autovalores		Primeiros Seis Autovetores						
Sequência	Valor	Variável	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
1	8.145	Preco{I}	0.299	-0.138	-0.096	-0.035	-0.208	0.024
2	2.049	Peso{I}	0.224	0.460	0.035	0.037	-0.012	-0.293
3	1.582	Volume{I}	0.135	0.560	0.174	0.072	-0.039	-0.374
4	1.072	PassM {O}	0.300	-0.129	-0.074	-0.010	-0.246	0.118
5	1.020	RAM{O}	0.307	0.041	0.017	0.016	-0.220	0.113
6	0.682	Disco{O}	0.248	-0.036	-0.206	-0.269	-0.005	0.032
7	0.595	TelaAr {O}	0.160	0.313	0.209	-0.187	0.498	0.431
8	0.509	TelaDen {O}	0.282	-0.142	-0.275	0.023	-0.187	-0.158
9	0.485	VelDown{O}	0.046	0.026	-0.101	0.907	0.132	0.107
10	0.381	Cam{O}	0.254	0.051	-0.201	0.190	-0.024	0.323
11	0.309	Video{O}	0.298	0.040	-0.157	-0.105	0.085	0.234
12	0.271	Bat{O}	0.287	0.205	0.190	0.022	-0.185	0.020
13	0.250	Expert{O}	0.198	-0.077	-0.442	-0.034	0.305	-0.381
14	0.209	User{O}	0.230	-0.010	-0.029	-0.033	0.403	0.159
15	0.165	Design{O}	0.143	-0.346	0.431	0.087	0.136	-0.042
16	0.114	FacUso{O}	0.211	-0.316	0.228	0.048	0.289	-0.206
17	0.090	Auton {O}	0.191	-0.082	0.438	0.036	-0.338	0.123
18	0.072	Recur {O}	0.247	-0.195	0.235	0.004	0.182	-0.367

Com os dados da Tabela 10, podemos determinar a proporção de variância explicada para cada componente principal. A Tabela 11 apresenta a proporção de variância para cada autovalor e a proporção de variância acumulada.

Tabela 11 - Autovalores da matriz de correlação

<b>Comp. Principal</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Proporção da Variância</b>	<b>Proporção Cumulativa</b>
1	8.145	0.452	45.25%
2	2.049	0.114	56.63%
3	1.582	0.088	65.42%
4	1.072	0.060	71.38%
5	1.020	0.057	77.04%
6	0.682	0.038	80.83%
7	0.595	0.033	84.14%
8	0.509	0.028	86.97%
9	0.485	0.027	89.66%
10	0.381	0.021	91.78%
11	0.309	0.017	93.49%
12	0.271	0.015	95.00%
13	0.250	0.014	96.39%
14	0.209	0.012	97.55%
15	0.165	0.009	98.47%
16	0.114	0.006	99.10%
17	0.090	0.005	99.60%
18	0.072	0.004	100.00%

Utilizando a regra de retermos componentes suficientes para atingir uma percentagem específica da variância total, definida entre 70% e 80%, observamos a partir da Tabela 11, que precisaríamos reter as quatro primeiras componentes principais. Temos que os quatro primeiros autovalores explicam 71,38% da variância.

As componentes dos autovetores que são suficientemente grandes, isto é, os valores que mostram alta correlação entre as componentes principais e as variáveis originais padronizadas, estão em negrito na Tabela 12. Foi utilizado um valor limite de  $\pm 0,25$  para esta finalidade.

Variáveis	PC1	PC2	PC3	PC4
Preco	<b>0.29913</b>	-0.13784	-0.09613	-0.03531
Peso	0.223655	<b>0.4604</b>	0.035049	0.037068
Volume	0.134907	<b>0.56014</b>	0.173625	0.071796
PassM	<b>0.30021</b>	-0.12864	-0.07377	-0.01046
RAM	<b>0.30694</b>	0.041448	0.016813	0.016329
Disco	0.247599	-0.03638	-0.20611	<b>-0.2689</b>
TelaAr	0.15972	<b>0.3131</b>	0.209096	-0.18699
TelaDen	<b>0.28199</b>	-0.14173	<b>-0.2745</b>	0.022674
VelDown	0.045813	0.026356	-0.10101	<b>0.90733</b>
Cam	<b>0.2536</b>	0.05078	-0.20118	0.189518
Video	<b>0.29794</b>	0.040227	-0.15676	-0.10485
Bat	<b>0.28651</b>	0.205362	0.19038	0.022013
Expert	0.19753	-0.0772	<b>-0.4415</b>	-0.03366
User	0.230499	-0.01	-0.02874	-0.03298
Design	0.142662	<b>-0.3463</b>	<b>0.43098</b>	0.086689
FacUso	0.210623	<b>-0.3157</b>	0.227964	0.048442
Auton	0.19077	-0.0818	<b>0.43797</b>	0.036005
Recur	0.24719	-0.19537	0.235157	0.003619

Tabela 12 – Coeficientes das Comp. Principais

No passo seguinte, antes de plotarmos os  $n$  pontos referentes às duas primeiras componentes como forma reduzir a dimensão das variáveis e analisar a tendência de agrupamento dos pontos, devemos descartar os pontos com baixa qualidade de representação, pois como mencionado anteriormente, a proximidade no plano fatorial dos pontos com baixa qualidade de representação aos pontos de alta qualidade de representação não significa uma proximidade real dos dados no espaço.

O Apêndice 6 apresenta os valores das qualidades de representação dos pontos. Serão descartados no gráfico de dispersão os pontos cujo  $QR < 0,5$ . Dos 122 pontos  $(z_1, z_2)$  representativos aos smartphones, serão utilizados 89.

Após a definição dos pontos a serem plotados, de acordo com a qualidade de representação (QR), então plotamos gráficos de dispersão com duas e três dimensões, contendo respectivamente, as duas primeiras e as três primeiras componentes principais como uma forma de visualizar a distribuição de pontos. Nós plotamos esses  $n$  pontos, utilizando a equação

$$Z = A' \cdot Y. \quad (44)$$

As coordenadas dos pontos considerando até as 4 primeiras componentes principais é apresentado no Apêndice 7. Plotamos, então, o gráfico de dispersão

bidimensional considerando as duas primeiras componentes principais, conforme a Figura 9.

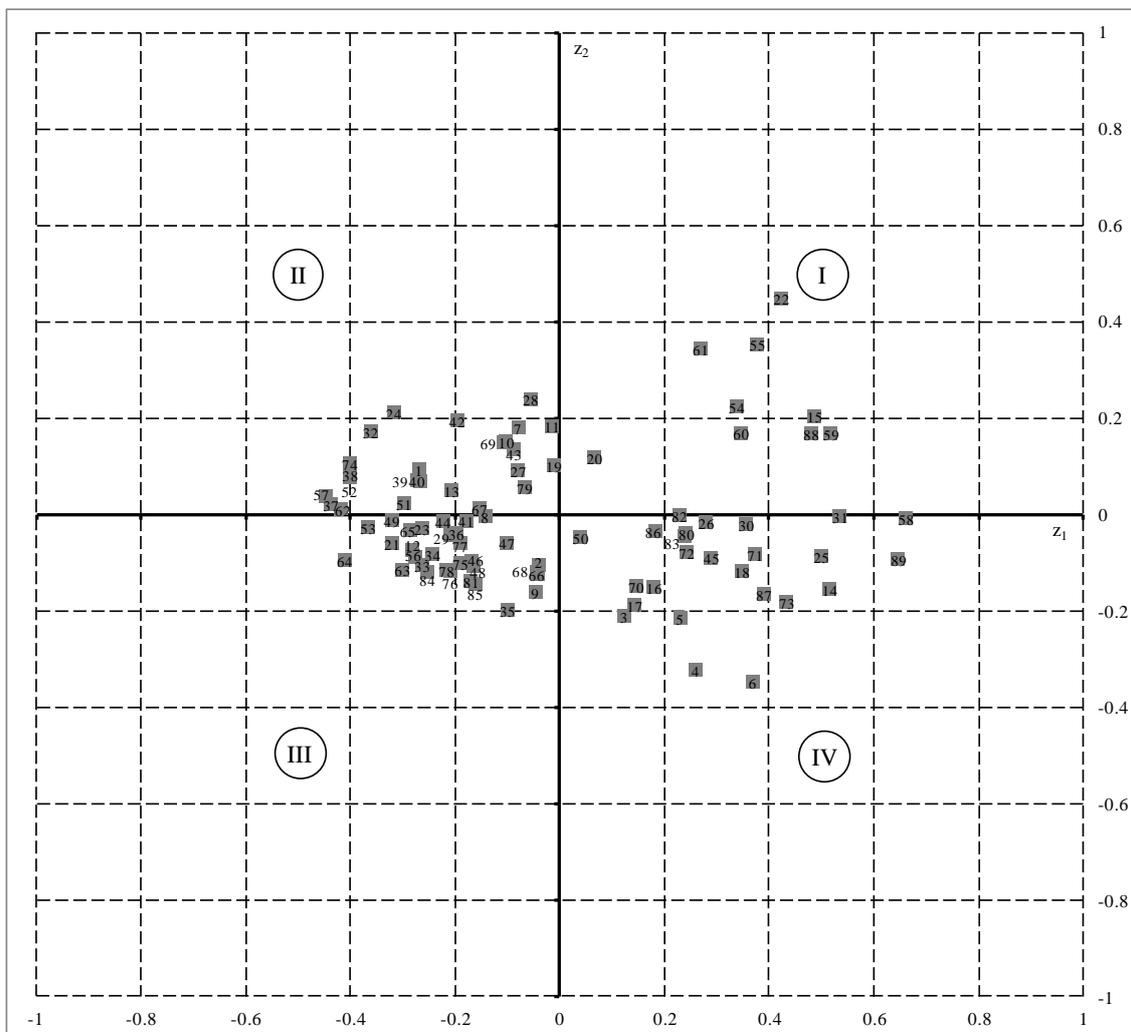


Figura 9 – Gráfico de Dispersão das Duas Componentes Principais

O gráfico das duas primeiras componentes podem revelar algumas características importantes do conjunto de dados. Podemos checar, por exemplo, desvios de normalidade (ouliers), tais como se sugere para os pontos 6, 22 e 58. Outra característica que esse gráfico bidimensional pode revelar é a tendência de agrupamento dos pontos, tal como no quadrante III. Para observar os agrupamentos por inspeção visual de uma forma mais clara, podemos plotar um gráfico tridimensional utilizando o software GeoGebra 5 3D (versão 4.9.249.0-JOGL2), as três primeiras componentes principais conforme a Figura 10, onde os eixos x, y e z representam respectivamente as três primeiras componentes principais. Com isso, aumentamos a proporção da variância,

ou seja, a representatividade com relação à distribuição real dos pontos, de 56,63 para 65,42%.

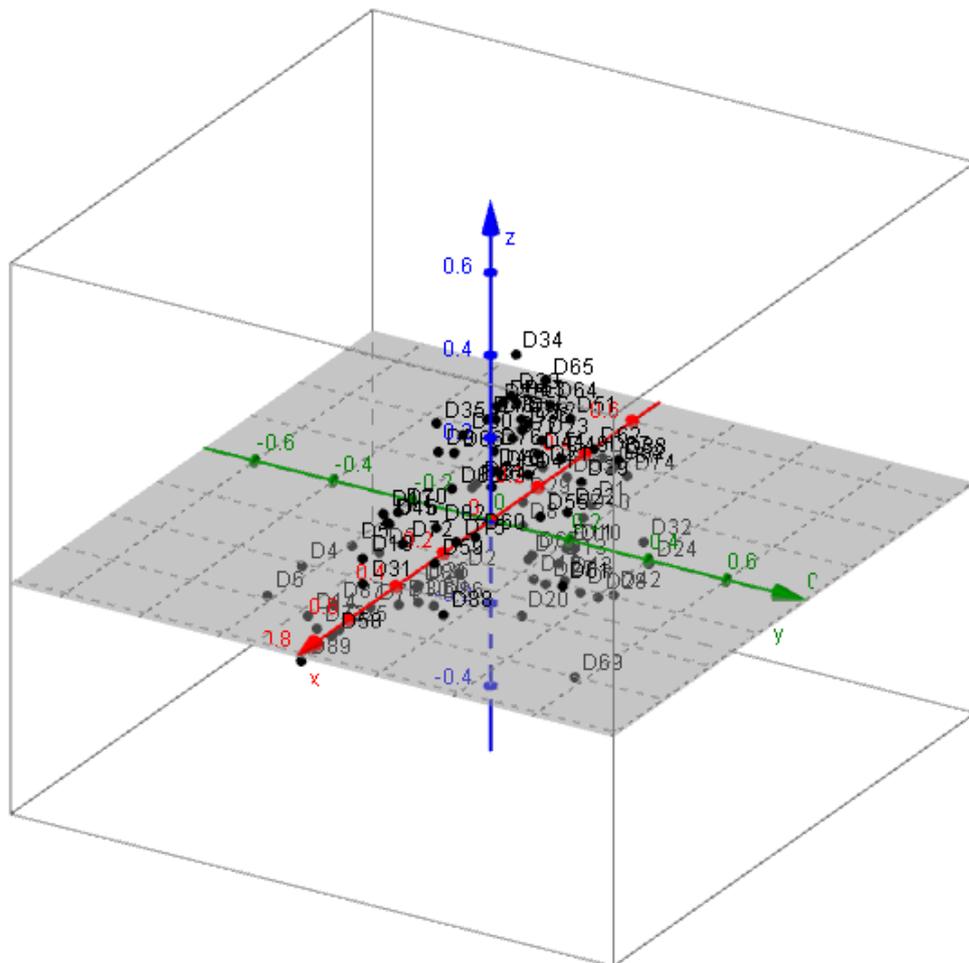


Figura 10 – Gráfico tridimensional das três primeiras componentes principais

Podemos representar graficamente também o relacionamento das variáveis com as componentes principais utilizadas, através do mapa fatorial, determinado pelas direções principais escolhidas e pelo círculo de correlações. As variáveis são representadas nesse mapa por vetores (setas), e podem ser sobrepostas com o gráfico dos pontos objetos, permitindo constatar a relação entre um objeto e uma variável, através do exame da projeção ortogonal do ponto de observação sobre o vetor que representa uma variável, isto é, se o dado objeto se encontra abaixo, acima ou sobre a média da variável em questão.

Vetores que representam variáveis de alta contribuição (extremos próximos a circunferência do círculo de correlações) representam as variáveis que justificam a maior dispersão dos pontos. Apresentamos na Figura 11, o mapa fatorial bidimensional

do problema em estudo, e verificamos com excessão da variável “Velocidade de Downloads”, que todas as variáveis são bem representativas com relação as duas componentes utilizadas. Verificamos também uma bipartição entre os pontos objetos, onde um determinado grupamento (quadrantes I e IV) está positivamente correlacionado com a primeira componente principal, enquanto um segundo grupamento (quadrantes II e III) está negativamente correlacionado com esta componente.

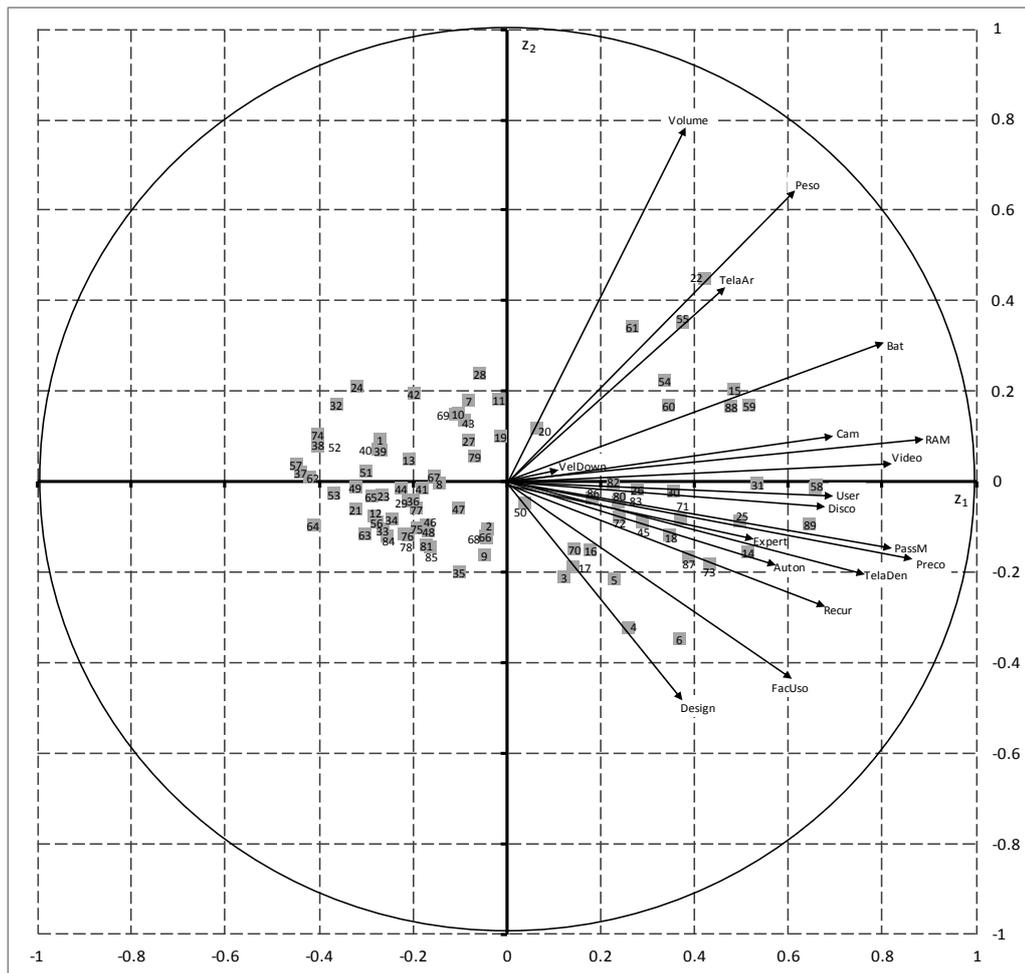


Figura 11 – Mapa Fatorial dos Pontos Objetos e Componentes Principais

Vetores de direção próxima, que formam pequenos ângulos, quando da alta qualidade de representação, como por exemplo, os vetores de resolução da câmera (Cam), quantidade de memória RAM (RAM), resolução de vídeo (Video), avaliação do usuário (User) e capacidade do disco (Disco) estão muito próximos, como também estão próximos os vetores de benchmark computacional (PassM), preço, avaliação do

especialista (Expert), densidade de tela (TelaDen), autonomia do aparelho (Auton) e variedade de recursos disponíveis nos aparelhos (Recur), além dos vetores peso e área da tela (TelaAr). Portanto, esses agrupamentos de vetores seriam indício de variáveis de forte correlação positiva. Já vetores de alta qualidade de representação aproximadamente opostos são de variáveis de forte correlação negativa, como talvez seja o caso dos vetores Design e Volume. Uma representação 3D pode auxiliar no processo de inspeção visual. Apresentamos na Figura 12 o mapa fatorial tridimensional.

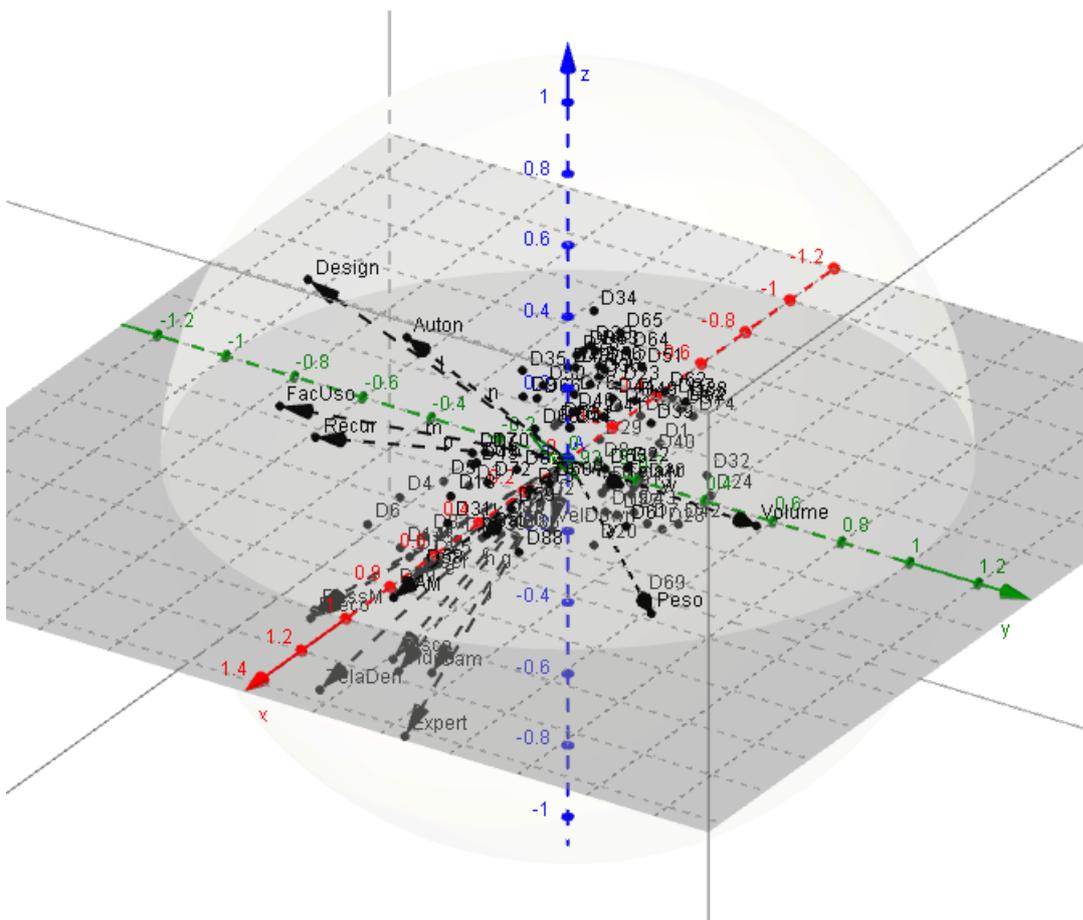


Figura 12 – Mapa fatorial tridimensional das três primeiras componentes principais

Direções aproximadamente perpendiculares denotam ausência de correlação, ou seja, independência entre as variáveis, como parece ser o caso de das variáveis volume (Volume) e peso do aparelho (Peso), que não se relacionam com as variáveis avaliação de design (Design), facilidade de uso (FacUso), autonomia (Auton) e recursos (Recur), como fica melhor evidenciado pela representação 3D, e de certa forma causa surpresa,

pois era esperado que uma boa avaliação sobre o design do aparelho, se refletisse de alguma forma, no volume e peso do mesmo.

Vetores de baixa qualidade de representação são aproximadamente independentes dos de alta qualidade de representação, e quase nada revelam, sendo o caso do vetor velocidade de download (VelDown).

Podemos confirmar essas suposições analisando a matriz de correlações e verificando o valor das correlações entre as variáveis, que são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Matriz de correlação das variáveis

	Preco	Peso	Vol	PassM	RAM	Disco	TelaAr	TDen	VDown	Cam	Video	Bat	Expert	User	Design	FUso	Auton	Recur
Preco	1.00	0.43	0.16	0.87	0.72	0.65	0.21	0.76	0.08	0.58	0.71	0.61	0.50	0.50	0.37	0.49	0.48	0.54
Peso	0.43	1.00	0.83	0.42	0.54	0.39	0.49	0.40	0.11	0.47	0.52	0.66	0.30	0.38	0.01	0.12	0.27	0.34
Vol	0.16	0.83	1.00	0.14	0.35	0.19	0.43	0.12	0.09	0.24	0.27	0.58	0.06	0.17	-0.06	-0.02	0.19	0.17
PassM	0.87	0.42	0.14	1.00	0.76	0.59	0.23	0.76	0.08	0.63	0.70	0.65	0.45	0.48	0.32	0.49	0.51	0.57
RAM	0.72	0.54	0.35	0.76	1.00	0.55	0.32	0.71	0.10	0.62	0.76	0.84	0.40	0.53	0.30	0.44	0.52	0.53
Disco	0.65	0.39	0.19	0.59	0.55	1.00	0.30	0.64	-0.04	0.49	0.65	0.44	0.49	0.42	0.23	0.32	0.26	0.41
TelaAr	0.21	0.49	0.43	0.23	0.32	0.30	1.00	0.07	-0.01	0.30	0.47	0.48	0.15	0.40	0.13	0.26	0.21	0.25
TDen	0.76	0.40	0.12	0.76	0.71	0.64	0.07	1.00	0.12	0.62	0.69	0.58	0.60	0.44	0.26	0.45	0.28	0.50
VDown	0.08	0.11	0.09	0.08	0.10	-0.04	-0.01	0.12	1.00	0.24	0.07	0.07	0.12	0.10	0.05	0.08	0.03	0.04
Cam	0.58	0.47	0.24	0.63	0.62	0.49	0.30	0.62	0.24	1.00	0.67	0.54	0.40	0.43	0.17	0.31	0.23	0.40
Video	0.71	0.52	0.27	0.70	0.76	0.65	0.47	0.69	0.07	0.67	1.00	0.63	0.53	0.55	0.21	0.43	0.31	0.51
Bat	0.61	0.66	0.58	0.65	0.84	0.44	0.48	0.58	0.07	0.54	0.63	1.00	0.27	0.45	0.27	0.41	0.56	0.49
Expert	0.50	0.30	0.06	0.45	0.40	0.49	0.15	0.60	0.12	0.40	0.53	0.27	1.00	0.46	-0.01	0.36	0.01	0.37
User	0.50	0.38	0.17	0.48	0.53	0.42	0.40	0.44	0.10	0.43	0.55	0.45	0.46	1.00	0.26	0.37	0.28	0.49
Design	0.37	0.01	-0.06	0.32	0.30	0.23	0.13	0.26	0.05	0.17	0.21	0.27	-0.01	0.26	1.00	0.57	0.40	0.55
FUso	0.49	0.12	-0.02	0.49	0.44	0.32	0.26	0.45	0.08	0.31	0.43	0.41	0.36	0.37	0.57	1.00	0.40	0.65
Auton	0.48	0.27	0.19	0.51	0.52	0.26	0.21	0.28	0.03	0.23	0.31	0.56	0.01	0.28	0.40	0.40	1.00	0.48
Recur	0.54	0.34	0.17	0.57	0.53	0.41	0.25	0.50	0.04	0.40	0.51	0.49	0.37	0.49	0.55	0.65	0.48	1.00

Quanto mais próximo de mais ou menos um ( $\pm 1$ ) o valor entre as variáveis, maior é a correlação. Quanto mais próximo de zero, o valor das variáveis, menor é a correlação. As células com preenchimento azul na Tabela 13, destacam valores de correlação entre  $\pm 0,3$  e, evidenciam portanto, fraca correlação. As células com preenchimento vermelho destacam forte correlação, com valores de correlação maiores (em valor absoluto) do que 0,7.

Verificamos que uma forte correlação entre cinco variáveis, que são benchmark computacional (PassM), preço (Preco), densidade de tela (TelaDen), quantidade de memória RAM (RAM) e resolução dos vídeos (Video) com valores acima de 0,69. O que era de se esperar pois a memória RAM impacta no desempenho computacional, e uma maior memória RAM exige um hardware tecnologicamente mais avançado, o que encarece em termos de custos. Uma maior resolução de vídeo e densidade de tela exige maior desempenho computacional, para que uma maior quantidade de informações capturadas e exibidas seja processada. Temos também uma correlação óbvia entre

volume e peso (0,83 de correlação), e uma não tão óbvia entre memória RAM e bateria (0,84 de correlação), pois como foi dito quanto maior a memória RAM, mais avançado computacionalmente e custoso é o aparelho, e conseqüentemente, os fabricantes inserem uma bateria de maior capacidade, tanto para suportar o hardware mais avançado, quanto para manter o conceito de aparelhos com destaque em desempenho.

Avaliando agora as variáveis não correlacionadas ou independentes, temos como destaque a variável velocidade de download (VelDown), que possui baixa correlação com relação a todas as variáveis. É interessante notar também que a variável design apresentou pouca correlação com relação às variáveis de avaliação do usuário (User) e do especialista (Expert), ou seja, poderíamos concluir que o design não tem muito peso na avaliação final do smartphone feita pelo especialista e usuário. A variável que mais se correlacionou com a variável design (Design) foi a variável facilidade de uso (FacUso), correlação de 0,57, que pode ser um indício de que o formato do aparelho pode auxiliar na operação do mesmo.

Voltando as variáveis de avaliação dos smartphones feita pelos especialistas (Expert) e usuários (User), verifica-se que elas se relacionam com a variável preço (Preco), com valor de correlação de 0,50 para ambas. Embora esse valor de correlação fique no meio do caminho entre muito e pouco correlacionado, percebe-se que a máxima do quanto mais caro mais bem avaliado, não pode ser seguido à risca quando se tratar de smartphones.

Por sua vez, com relação à facilidade de uso (FacUso), a variável que mais se relacionou a ela foi a variável de avaliação de recursos disponíveis no aparelho (Recurso), correlação de 0,65. Isso pode evidenciar que quanto mais fácil de operar é o dispositivo, mais facilmente são percebidos (e conseqüentemente, bem avaliados), os recursos disponibilizados pelo aparelho.

Finalmente, cabe ressaltar que a maior correlação apresentada pela variável autonomia (Auton) é com relação a variável bateria (Bat), no valor de 0,56, que embora não seja uma correlação muito forte, já era esperada. E que, não temos vetores aproximadamente opostos, com forte correlação negativa.

Após verificar as correlações e procurar entender as relações entre as variáveis, podemos avançar para o “lado B” da análise das componentes principais, que no caso do nosso estudo é de fundamental importância para a definição de perfis que diferenciam os smartphones com relação ao aspecto de operação a que aqueles

aparelhos se propõem. Portanto, com apoio dos gráficos de dispersão bi e tridimensionais apresentados, nós buscamos agrupar os pontos objetos (smartphones) de acordo com sua proximidade, para obter grupamentos que incluam aparelhos similares ou relacionados, uns com os outros.

## 4.2 Resultados da Análise de Agrupamentos

Esse agrupamento é feito utilizando a análise de agrupamentos (cluster analysis) divide dados em grupos ao utilizar um protótipo (centroide), que é um objeto de dados que é representativo de outros objetos no grupo.

Utilizamos então, a  $k$ -mediana, para realizar a clusterização baseada em protótipos. A  $k$ -mediana define um protótipo em termos de um centroide, que é usualmente a média de um grupo de pontos, e é tipicamente aplicada a objetos em um espaço contínuo  $n$ -dimensional.

Nós primeiro escolhemos  $k$  centroides iniciais, onde nesse caso  $k = 8$ , pois desejamos a obtenção de grupamentos com pouco mais de 10 objetos. Atribuímos a cada ponto ao centroide mais próximo, para formar os clusters.

O algoritmo da  $k$ -mediana garante que se encontrem apenas mínimos locais com relação ao SEQ desde que eles são baseados na minimização do SEQ para escolhas específicas de centroides e clusters, ao invés de todas as possíveis escolhas.

Para se contornar essa limitação, podemos realizar uma inicialização aleatória de centroides, pois diferentes rodadas de  $k$ -medianas tipicamente produzem SEQ totais diferentes. Essa abordagem de escolha de centroides iniciais é comum, mas os clusters resultantes são frequentemente pobres.

Portanto, uma primeira abordagem utilizada é a escolha por inspeção visual de centroides que seriam pontos centrais em regiões mais densamente povoadas, e com isso se objetivaria a máxima redução do SEQ.

A segunda abordagem, técnica do afastamento dos pontos, é selecionar o centroide de todos os pontos, e em seguida, para cada centroide inicial sucessivo, selecionamos o ponto que é mais afastado de qualquer dos centroides iniciais já selecionados. Desta forma, nós obtemos um conjunto de centroides iniciais que é garantido não serem apenas aleatoriamente selecionado, mas também, bem separados.



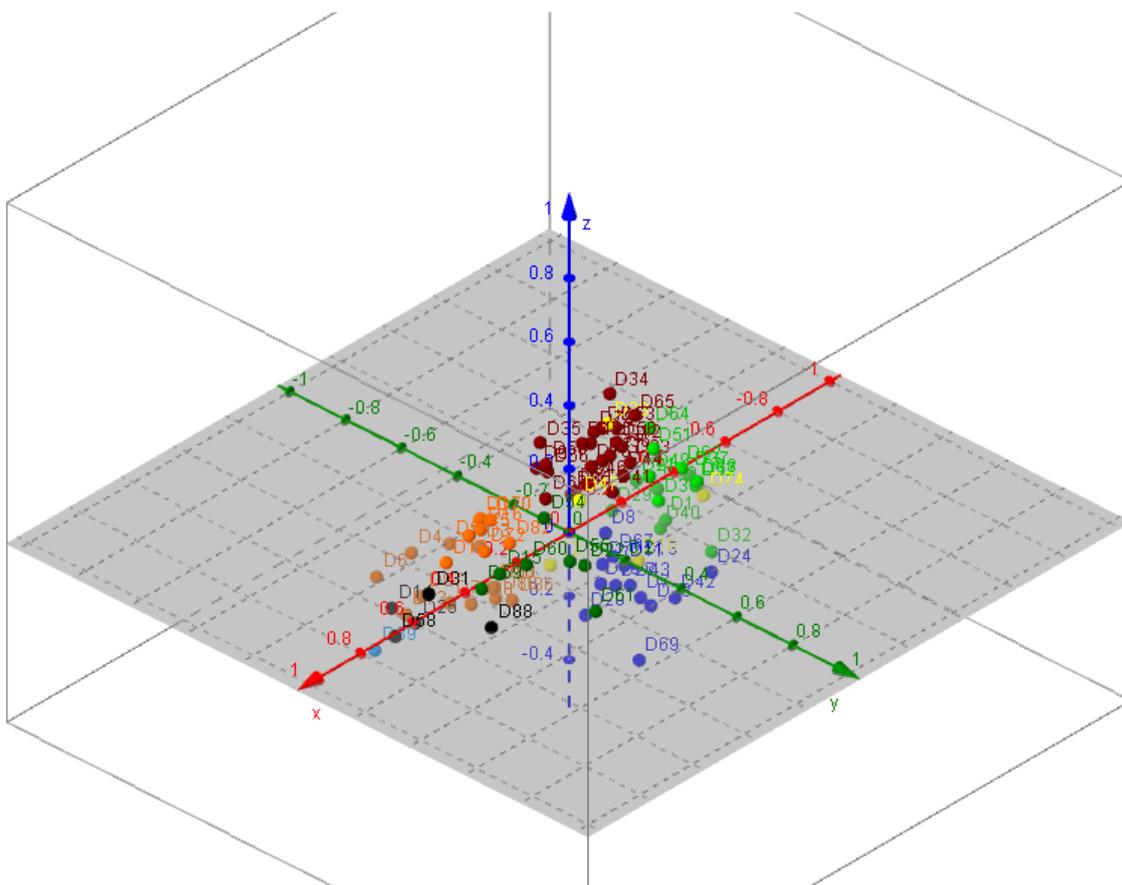


Figura 14 – Gráfico em três dimensões utilizando a abordagem do afastamento dos pontos.

Cada cor utilizada no gráfico se refere a um grupamento distinto. Nas tabelas abaixo sintetizamos o erro quadrático e a quantidade de pontos por agrupamento, obtidos pela clusterização utilizando ambas as abordagens, respectivamente inspeção visual e afastamento dos pontos.

Tabela 14 - Resumo grupamentos e SEQ obtidos por inspeção visual

	Agrupamentos							Total	
	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	c <sub>6</sub>	c <sub>7</sub>		c <sub>8</sub>
SEQ	0.0000	0.3836	0.1519	1.2774	0.2370	0.1382	0.0456	0.3359	2.57
Objetos	1	14	15	24	12	8	7	8	89

Tabela 15 – Resumo grupamentos e SEQ obtidos por afastamento dos pontos

	Agrupamentos								Total
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	
SEQ	0.3821	0.0000	0.2185	0.2838	0.6612	0.2122	0.0968	0.3836	2.24
Objetos	23	1	15	7	19	5	5	14	89

A partir da Tabela 15, verificamos que o segundo cluster  $c_2$ , possui apenas um elemento. Como já foi mencionado, pequenos grupos frequentemente representam outliers. Portanto, podemos mesclar esse agrupamento com algum outro com centroide mais próximo, que nesse caso é o cluster  $c_7$ . Devido a essa alteração, tivemos um aumento na função objetivo de 2,24 para 2,45, e eliminamos um cluster. Esse segundo valor da função objetivo é ainda mais baixo do que o valor obtido pela abordagem que utiliza a inspeção visual, cujo valor é 2,57.

Analisando os smartphones pertencentes a cada um dos grupamentos, constatou-se certa coerência quanto ao perfil do smartphone relativo a cada cluster. Entretanto, o cluster  $c_6$  se apresentou muito similar aos agrupamentos  $c_1$ ,  $c_3$  e  $c_8$ , apenas com a diferença que os smartphones do cluster  $c_6$ , apresentavam uma média mais elevada com relação a variável velocidade de download (VelDown). Como essa variável em si, não diferencia os desempenhos de tal forma que justifique a criação de uma nova categoria ou perfil, portanto, foi conveniente a redistribuição dos pontos do cluster  $c_6$  para os clusters que possuíam centroides mais próximos relativamente à posição espacial de cada ponto a ser reagrupado.

A eliminação do cluster  $c_6$  aumentou a soma dos erros quadráticos para 2,59, ultrapassando o valor da primeira abordagem (inspeção visual) de 2,57. Contudo, é importante observar que também na primeira abordagem é necessária a eliminação de um cluster por conter um *outlier*. Com essa eliminação, o valor da SEQ da primeira abordagem passa para 2,66, o que faz com que a segunda abordagem (técnica de afastamento de pontos) possua menor erro quadrático.

Portanto, obtemos seis grupamentos finais, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Resumo com clusters finais usando técnica afastamento dos pontos

	Agrupamentos								Total
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	
SEQ	0.5034	0.0000	0.2808	0.2838	0.6612	0.0000	0.3103	0.5493	2.59
Objetos	25	0	16	7	19	0	6	16	89



Tabela 17 – Resumo com valores médios por grupo (1ª comp. principal)

Grupos	Preço ( $z_1$ )	PassM ( $z_1$ )	RAM ( $z_1$ )	TDens ( $z_1$ )	Cam ( $z_1$ )	Bat ( $z_1$ )
$c_3$	95.00	571	0.387	174	4.00	1372
$c_1$	120.80	992	0.568	204	4.38	1491
$c_8$	156.25	1120	0.621	251	6.75	1470
$c_5$	342.63	2607	1.316	340	9.62	1985
$c_4$	320.00	2190	1.643	264	8.57	3011
$c_7$	423.33	3370	2.167	411	11.95	2948

Tabela 18 - Resumo com valores médios por grupo (2ª e 3ª comp. principal)

Grupos	Peso ( $z_2$ )	Volume ( $z_2$ )	Tela ( $z_2$ )	FacUso ( $z_2$ )	Expert ( $z_3$ )	Design ( $z_3$ )	Auton ( $z_3$ )
$c_3$	113	80957	3.35	7.69	7.01	8.38	6.47
$c_1$	114	75045	3.63	9.02	6.94	9.37	7.88
$c_8$	147	88664	3.96	8.03	8.06	7.88	5.92
$c_5$	135	75568	4.52	9.73	8.20	9.60	8.32
$c_4$	195	124630	5.60	9.20	7.56	9.34	9.70
$c_7$	170	98606	5.41	9.67	8.43	9.50	9.68

Como resultado dessa análise, definimos para cada agrupamento um determinado perfil, e descrevemos esses perfis nas linhas seguintes. Iniciamos essa descrição pelo grupamento que possui os smartphones com menor preço médio, devido a sua importância:

- **Cluster  $c_3$  – Smartphones de Baixo Custo:** O ponto alto desse grupo é o baixo custo dos smartphones que o compõem. O custo médio desse grupo é de 95 euros, menor custo dentre todos os grupos. Esse grupo apresenta a menor média de peso com relação aos demais grupos, o que também é um ponto positivo. Por outro lado, esses aparelhos apresentam um tradeoff óbvio com relação ao desempenho computacional, que é o menor dentre todos os grupos. Temos também, que as médias em termos de capacidade de Memória RAM, resolução de câmera, tamanho de tela, capacidade de bateria, avaliação da facilidade de uso, são as menores em comparação aos demais grupos.
- **Cluster  $c_1$  – Smartphones Básicos:** Definimos este grupo como "Smartphones Básicos", devido ao baixo custo dos aparelhos, embora as outras variáveis não tenham um desempenho tão reduzido. Temos que o custo médio dos aparelhos desse grupo é bastante atrativo (o segundo mais

baixo – 121 euros), mas o desempenho computacional dos aparelhos é bem melhor se comparado ao grupo dos "Smartphones de Baixo Custo", 992 contra 571 na variável de benchmark computacional e capacidade de Memória RAM (0.568 contra 0.387). Ele se apresenta ligeiramente superior com relação a tamanho de tela (3.63 contra 3.35) e Bateria (1491 contra 1372). Esse grupo também é melhor avaliado se comparado a "Smartphones de Baixo Custo", com relação a avaliação de design (9.37 contra 8.38) e facilidade de uso (9.02 contra 7.69). Outras características interessantes nesta categoria são o baixo peso (praticamente empatado com os smartphones de baixo custo), e o volume reduzido (melhor de todos).

- **Cluster  $c_8$  - Smartphones Intermediários:** Esse grupo possui aparelhos com melhora acentuada com relação ao desempenho computacional, memória RAM e densidade de tela, se comparados aos smartphones de baixo custo. Como destaque neste grupamento, podemos citar também a resolução da câmera que é bastante superior aos smartphones de baixo custo e básicos. Devemos notar, porém, que esses aparelhos são mal avaliados pelos usuários com relação ao design e autonomia (pior avaliação entre os grupos), além de serem os mais volumosos, se desconsiderarmos os phablets.
- **Cluster  $c_5$  – Smartphones Top de Linha:** As médias nesse grupo são as melhores, dentre todos os outros grupos, com exceção dos phablets, com relação a características como Desempenho Computacional (2.607), capacidade de Memória RAM (1,316), Resolução da Câmera (9,62), Densidade de Tela (340), tamanho da tela (4,52), capacidade da bateria (1.985). Portanto, esses dispositivos incorporam o que existe de mais avançado em termos tecnológicos. Esses smartphones são também os mais bem avaliados (incluindo os phablets), com relação à facilidade de uso e design. Em contrapartida, a diferença entre os preços médios dos smartphones top de linha para os intermediários é substancial. O preço médio dos smartphones top de linha é mais que o dobro dos smartphones intermediários (156 contra 342 euros).
- **Cluster  $c_4$  – Phablets Intermediários:** Esse grupo apresenta como ponto forte o tamanho de tela. O tamanho de tela médio desse grupo (5.60") é o maior entre todas as categorias, facilitando portanto as navegações web,

leituras de textos e visualização de vídeos. A capacidade média da bateria, também é a maior entre os grupos, que pode ser explicado pelo fato de telas maiores consumirem mais energia, e também pela proposta do dispositivo de poder oferecer funcionalidades multimídia que podem exigir mais tempo de uso do aparelho. A memória RAM média é a segunda maior entre os grupos, e o desempenho computacional global é o terceiro entre os seis grupos, ficando próximo em termos computacionais, aos smartphones top de linha. Portanto, esses dois últimos aspectos permitem a execução de aplicativos que demandem bastante da memória virtual (RAM) e desempenho computacional, permitindo a execução de aplicativos mais exigentes como jogos. Com relação ao preço, ele se equipara com os smartphones top de linha, e é menor do que dos phablets top de linha, que descreveremos a seguir.

- **Cluster  $c_7$  - Phablets Top de Linha:** Em comparação com os phablets intermediários e demais smartphones, eles apresentam um desempenho inigualável, em quase todos os quesitos. Eles são muito superiores com relação a qualquer outro ao avaliarmos o desempenho computacional, memória RAM, densidade de tela e resolução de câmera. Eles são muito bons também nos aspectos subjetivos, como na avaliação dos especialistas, e com relação a variável facilidade de uso. Eles são o segundo melhor nas variáveis capacidade da bateria, tamanho de tela, design e autonomia. Em compensação, possuem também o preço mais elevado entre todos os *gadgets*.

A partir da definição desses perfis podemos avaliar cada um dos smartphones considerando dispositivos similares a esses, ou seja, pertencentes ao mesmo grupo, sem incorrer no risco de comparar objetos distintos.

#### 4.3 Resultados da Análise Envoltória de Dados

Os métodos DEA, como o CCR e o BCC, têm por objetivo comparar certo número de DMUs, que realizam tarefas similares e somente se diferenciam na quantidade de inputs que consomem e na quantidade de outputs que produzem.

Utilizando esse modelo podemos determinar as ineficiências técnicas das DMUs, ou seja, podemos separar as DMUs eficientes das ineficientes, por um índice no

intervalo de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1, mais eficiente é o aparelho. Além disso, ao utilizar os pesos, podemos determinar quais critérios impactam mais para o resultado de cada *smartphone*, pois o valor de cada peso corresponde à contribuição da respectiva variável, para o índice de eficiência.

Portanto, ao se obter a eficiência DEA com relação a todas as variáveis e todas as DMUs (*smartphones*) consideradas pelo modelo, se obtém pesos maiores para as variáveis que mais se destacam para aquela DMU, relativamente ao preço do aparelho. Nesse caso, ao se obter um valor médio dos pesos de *smartphones* que constituem um determinado grupo (ou perfil), estaremos obtendo um conjunto de pesos que caracterizam aquele determinado perfil, pois por serem aparelhos similares, se espera que os pesos para as variáveis de mais destaque naquele grupo sejam significativamente maiores.

Temos então, que a partir dos pesos obtidos que caracterizam um conjunto de *smartphones*, podemos calcular a eficiência de todos os *smartphones*, restringindo os pesos de forma que os *smartphones* que possuem aquele determinado perfil são melhor avaliados, pois os pesos lhes são favoráveis. Portanto, os *smartphones* que mais se aproximam ao perfil que está sendo avaliado são beneficiados.

Ao analisar

Apresentando na tabela 3, as eficiências e ineficiências técnicas de todos os 24 smartphones, suas posições relativas (ranking) e seus pesos virtuais utilizando o modelo CCR dos multiplicadores. Para gerar os resultados de todas as tabelas de análise do modelo final, utilizamos o suplemento Solver do Microsoft Excel®, aplicando as informações contidas no Anexo 1.

A partir da Tabela 19, verificamos que 9 das 24 DMU's são ineficientes, ou seja, podemos descartá-las da nossa avaliação, pois existem celulares melhores posicionados com relação a todos os critérios considerados. Os valores da coluna  $\theta^*$  em destaque com

preenchimento cinza indicam justamente as DMU's que são tecnicamente eficientes, sendo 15 no total.

Nas demais colunas o destaque é dado às células que possuem critérios que contribuem 10% ou mais, no valor do resultado final do índice de eficiência. Avaliando esses critérios, percebe-se que o peso dado a cada um deles varia bastante de acordo com a DMU avaliada. Este aspecto é bastante interessante, pois podemos definir alguns critérios principais que atendem a diferentes perfis de usuários.

DMU	$\theta^*$	$v_1$ Custo	$v_2$ Peso	$u_1$ Comp.	$u_2$ Bat.	$u_3$ Câm.	$u_4$ Arm.	$u_5$ Tela	$u_6$ Func.	$u_7$ Fac.	$u_8$ Conf.	$u_9$ Des.	Crítérios PV $\geq 0,1$	Crítérios PV = 0
DMU 1:	0,772	0,456	0,544	0,000	0,022	0,000	0,095	0,655	0,000	0,000	0,000	0,000	3	6
DMU 2:	0,716	0,011	0,989	0,000	0,041	0,000	0,000	0,423	0,252	0,000	0,000	0,000	3	6
DMU 3:	0,910	0,000	1,000	0,000	0,000	0,273	0,016	0,000	0,621	0,000	0,000	0,000	3	7
DMU 4:	1,000	0,185	0,815	0,006	0,459	0,000	0,028	0,434	0,000	0,000	0,073	0,000	4	4
DMU 5:	1,000	0,354	0,646	0,010	0,344	0,114	0,156	0,000	0,261	0,000	0,116	0,000	7	3
DMU 6:	0,913	0,000	1,000	0,000	0,000	0,161	0,000	0,545	0,000	0,000	0,207	0,000	4	7
DMU 7:	1,000	0,341	0,659	0,081	0,198	0,055	0,015	0,575	0,000	0,000	0,076	0,000	4	3
DMU 8:	1,000	0,546	0,454	0,195	0,331	0,411	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5	5
DMU 9:	1,000	0,175	0,825	0,000	0,572	0,043	0,056	0,000	0,148	0,000	0,000	0,181	5	4
DMU 10:	1,000	0,168	0,832	0,000	0,836	0,000	0,095	0,000	0,036	0,000	0,000	0,033	3	5
DMU 11:	1,000	0,225	0,775	0,000	0,864	0,000	0,047	0,000	0,040	0,000	0,000	0,049	3	5
DMU 12:	0,997	0,417	0,583	0,000	0,550	0,276	0,170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5	6
DMU 13:	1,000	0,225	0,775	0,105	0,768	0,022	0,105	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5	5
DMU 14:	0,988	1,000	0,000	0,000	0,081	0,637	0,000	0,269	0,000	0,000	0,000	0,000	3	7
DMU 15:	1,000	0,304	0,696	0,110	0,151	0,040	0,024	0,488	0,000	0,000	0,187	0,000	6	3
DMU 16:	1,000	0,142	0,858	0,000	0,000	0,063	0,006	0,389	0,150	0,000	0,392	0,000	5	4
DMU 17:	0,911	0,022	0,978	0,000	0,000	0,000	0,000	0,911	0,000	0,000	0,000	0,000	2	8
DMU 18:	1,000	0,241	0,759	0,005	0,277	0,061	0,101	0,000	0,339	0,000	0,217	0,000	6	3
DMU 19:	1,000	0,452	0,548	0,132	0,170	0,069	0,095	0,483	0,000	0,000	0,051	0,000	5	3
DMU 20:	1,000	0,056	0,944	0,043	0,197	0,000	0,000	0,692	0,000	0,000	0,068	0,000	3	5
DMU 21:	1,000	0,160	0,840	0,055	0,408	0,000	0,083	0,000	0,454	0,000	0,000	0,000	4	5
DMU 22:	1,000	0,255	0,745	0,000	0,378	0,000	0,238	0,000	0,000	0,000	0,053	0,332	5	5
DMU 23:	0,991	0,000	1,000	0,000	0,000	0,991	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2	9
DMU 24:	0,731	0,684	0,316	0,000	0,000	0,000	0,142	0,502	0,000	0,000	0,086	0,000	4	6

Tabela 19 - Eficiências e pesos virtuais das DMU's.

Por exemplo, ao se procurar por celular que considere a maior quantidade de critérios possível de forma equilibrada com baixo custo (Perfil 1) ou alta performance (Perfil 2), temos as opções das DMU's 15 e 5, respectivamente, onde os critérios Custo, Peso, Bateria e Confiabilidade são comuns para as duas DMU's, por possuir pesos não nulos.

A DMU 5 se diferencia pela Câmera e Disco, a DMU 15 pelo desempenho computacional e tela. Se desejamos um celular que visa atender ao usuário que deseja possuir smartphone com câmera bem avaliada e autonomia para uso da mesma (Perfil 3), a DMU 8, é a principal alternativa, pois possui peso virtual elevado nesses critérios.

Por sua vez, se desejamos atender ao requisito de atividades que são mais realizadas por usuários, como acesso a internet, execução de aplicativos e jogos, conforme dados de (GOOGLE, 2012), sendo importante um bom desempenho computacional para executar os programas e tela com tamanho que proporcione visualização confortável das informações (Perfil 4), temos uma opção bem avaliada que é a DMU's 19, com tela de 4,3", custando R\$ 1.144,00<sup>1</sup>. Desejando obter um smartphone confiável e funcional (Perfil 5), temos duas opções as DMU's 16 e 18, sendo que a contribuição dos pesos virtuais da DMU 18 é maior. Segue abaixo a Tabela 20 com o resumo dos perfis e suas características.

<b>Perfil</b>	<b>Características</b>	<b>Variáveis</b>	<b>DMU's</b>
1	Equilibrado com Baixo Custo	Conjunto x Custo	15
2	Equilibrado de Alto Desemp.	Conjunto x Desempenho	5
3	Ideal para Fotos	Câmera x Bateria	8
4	Internet, Aplicativos e Jogos.	Desempenho x Tela	19
5	Confiável e Funcional	Confiab. x Funcionalidade	18

*Tabela 20 - Tabela de resumo com os perfis e suas características*

Avaliando-se agora os smartphones utilizando a abordagem do CCR envelope, os valores de eficiência são confirmados, assim como é determinado quais DMU's pertencem ao conjunto de referência umas das outras. A frequência de repetição das DMU's nos conjuntos de referência é um bom indicativo da sua influência com relação às outras. Verificamos então que as DMU's 9 e 19 se destacam conforme apresentado na Tabela 21, pois aparecem em 4 e 5 vezes nos conjuntos de referências das DMU's ineficientes.

Trabalhando agora com *smartphones* operando com retorno variável de escala, temos que apenas dois deles se tornam eficientes em comparação com o modelo anterior. Com relação a frequência nos conjuntos de referência, a DMU 19 continua sendo a mais utilizada para avaliar smartphones ineficientes, ou seja, continua servindo como referência mais influente, mesmo operando-se em retorno variável de escala. A segunda DMU mais influente passa a ser a DMU 21.

---

<sup>1</sup> Valores com base em pesquisa realizada no período de 26/11 até 30/11/2012.

Finalmente apresentamos o resultado do modelo BCC dos multiplicadores, e resumimos os resultados de todos os modelos, para permitir a seleção de 5 smartphones eficientes nos cinco perfis definidos anteriormente. A Tabela 21 apresenta os resultados:

DMU	Smartphone	$\theta^*$ CCR	Referência	$\theta^*$ BCC	Escala	LE	Seleção Final base em Perfil	Custo
DMU 1:	IPH-3GS	0,772	7, 9, 15, 22	0,815	Cresc.	0,947	-	854
DMU 2:	IPH-4	0,716	5, 7, 18, 19	0,809	Cresc.	0,885	-	1274
DMU 3:	IPH-4S	0,910	5, 19	0,910	Decresc.	1,000	-	1994
DMU 4:	LG-P700	1,000	-	1,000	Cresc.	1,000	-	761
DMU 5:	LG-P880	1,000	-	1,000	Cresc.	1,000	Conj. x Perform.	1509
DMU 6:	LG-P940	0,913	11	0,913	Cresc.	1,000	-	1432
DMU 7:	LG-P970	1,000	-	1,000	Cresc.	1,000	-	674
DMU 8:	LG-P990	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	Câmera x Bateria	764
DMU 9:	MOT-DEFY+	1,000	-	1,000	Cresc.	1,000	-	552
DMU 10:	MOT-ATRIX	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	-	854
DMU 11:	MOT-XT890	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	-	1153
DMU 12:	SAM-N7000	0,997	9, 10, 19, 22	1,000	Decresc.	0,997	-	1161
DMU 13:	SAM-N7100	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	-	2052
DMU 14:	SAM-S5830	0,988	8, 9, 15	1,000	Cresc.	0,988	-	539
DMU 15:	SAM-S7500	1,000	-	1,000	Cresc.	1,000	Conjunto x Custo	539
DMU 16:	SAM-I8150	1,000	-	1,000	Cresc.	1,000	-	674
DMU 17:	SAM-I9000	0,911	7, 19	0,938	Cresc.	0,972	-	949
DMU 18:	SAM-I9070	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	Conf. X Func.	809
DMU 19:	SAM-I9100	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	Desemp. x Tela	1144
DMU 20:	SAM-I9300	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	-	1611
DMU 21:	SON-U	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	-	637
DMU 22:	SON-P	1,000	-	1,000	Decresc.	1,000	-	896
DMU 23:	SON-ARC	0,991	19	0,991	Cresc.	1,000	-	1519
DMU 24:	SON-PLAY	0,731	9, 10, 15, 22	0,760	Decresc.	0,961	-	949

Tabela 21 - Resultado resumido dos modelos.

Observamos pela tabela acima que os modelos selecionados são eficientes tanto localmente quanto globalmente. É interessante observar que as DMU's 8, 18 e 19, possuem escala decrescente, e o incremento nos outputs desses perfis não é economicamente vantajoso.

O modelo apresentado, portanto, se apresenta como uma ferramenta adequada para a análise de desempenho de aparelhos celulares do tipo smartphone. Utilizando esse modelo, obtivemos resultados de eficiência para 24 modelos de smartphones, onde 15 deles possuíam máxima eficiência. Nove desses aparelhos são considerados ineficientes segundo o nosso modelo. A análise se baseou em 11 variáveis, sendo 2 input e 9 outputs. Os 9 outputs foram divididos em 3 diferentes categorias, de forma a expressar aspectos similares de desempenho, com relação a desempenhos

computacionais e específicos, e características de qualidade. Das 15 DMU's eficientes, selecionou-se 5 que atendiam a características de operação e se adequavam as atividades mais frequentemente realizadas pelos usuários, sendo agrupadas nos cinco perfis, descritos acima.

Não foi necessária a definição de pesos para o cálculo de eficiência, muito pelo contrário, foi utilizado uma das características mais importantes dos modelos DEA CCR e BCC, que é a capacidade do modelo de atribuir peso as DMU's de acordo com suas características favoráveis quando comparadas as outras DMU's.

## **5 DISCUSSÃO**

Em fase de preparação.

## **6 CONCLUSÕES**

Em fase de preparação.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Em fase de preparação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPLE. **Apple Launches iPad**. Disponível em: <[www.apple.com/pr/library/2010/01/27Apple-Launches-iPad.html](http://www.apple.com/pr/library/2010/01/27Apple-Launches-iPad.html)>. Acesso em: 1 ago. 2013.
- ASBRIDGE, M.; BRUBACHER, J. R.; CHAN, H. Cell phone use and traffic crash risk: a culpability analysis. **International journal of epidemiology**, v. 42, n. 1, p. 259-67, fev. 2013.
- ASHDOWN, D. **Press Release : Samsung No . 1 Smartphone Brand Again in Q1, But Apple Still Making More Money**. Disponível em: <[www.juniperresearch.com/viewpressrelease.php?pr=305](http://www.juniperresearch.com/viewpressrelease.php?pr=305)>. Acesso em: 14 jul. 2013.
- AT&T. **1946: First Mobile Telephone Call**. Disponível em: <<http://www.corp.att.com/atlabs/reputation/timeline/46mobile.html>>. Acesso em: 29 jul. 2013.
- BANDURA, A. Self-Efficacy Mechanism in Human Agency. **Amer. Psychologist**, v. 37, p. 122-147, 1982.
- BERGIN, T. 50 years of Army Computing from ENIAC to MSRC. n. September, 2000.
- BROOKSHEAR, J. **Computer science: an overview**. 11. ed. Boston: Addison-Wesley, 2012.
- BURGESS, A. **Cellular phones, public fears, and a culture of precaution**. [s.l.] Cambridge University Press, 2004.
- BYINGTON, K. W.; SCHWEBEL, D. C. Effects of mobile Internet use on college student pedestrian injury risk. **Accident; analysis and prevention**, v. 51, p. 78-83, mar. 2013.
- CHARLESWORTH, A. The ascent of smartphone. **Engineering & technology**, n. February 2009, p. 32-33, 2009.
- COLDEWEY, D. **Study: Worldwide mobile subscriptions top 6 billion**. Disponível em: <[www.nbcnews.com/technology/study-worldwide-mobile-subscriptions-top-6-billion-1C6422754](http://www.nbcnews.com/technology/study-worldwide-mobile-subscriptions-top-6-billion-1C6422754)>. Acesso em: 24 jul. 2013.
- COOK, S. A Short History of Supercomputing. In: **CUDA Programming**. [s.l.: s.n.]. p. 1-19.
- CRAIDE, S. **Uso de smartphone ao dirigir é mais perigoso que o de telefone celular**. Disponível em: <[agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-04-16/uso-de-smartphone-ao-dirigir-e-mais-perigoso-que-de-telefone-celular](http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-04-16/uso-de-smartphone-ao-dirigir-e-mais-perigoso-que-de-telefone-celular)>. Acesso em: 20 jul. 2013.

CUMMISKEY, M. There's an App for That Smartphone Use in Health and Physical Education. **Journal of Physical Education, Recreation & Dance**, v. 82, n. 8, p. 24-30, out. 2011.

DAVIS, F. D. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and User Acceptance of Information Technology. **MIS Quarterly**, v. 13, n. 3, p. 319-340, 1989.

DAVIS, F. D.; BAGOZZI, R. P.; WARSHAW, P. R. User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. **Management Science**, v. 35, n. 8, p. 982-1003, 1989.

DAVIS, F. D.; BAGOZZI, R. P.; WARSHAW, P. R. User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. **Management science**, v. 35, n. 8, p. 982-1003, 1989.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **In depth - Mobile Phones**. Disponível em: <[www.ellenmacarthurfoundation.org/education/case-studies/in-depth-mobile-phones](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/education/case-studies/in-depth-mobile-phones)>. Acesso em: 24 jul. 2013.

EMMENEGGER, M. et al. Life Cycle Assessment of the Mobile Communication System UMTS: Towards Eco-efficient Systems. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 4, p. 265-276, 13 dez. 2004.

EPSTEIN, Z. **Is that a phablet in your pocket ?** Disponível em: <[bgr.com/2013/04/26/phablet-size-study-pants-467278/](http://bgr.com/2013/04/26/phablet-size-study-pants-467278/)>. Acesso em: 1 ago. 2013.

EVANS, B. Smartphones: High Prices, Huge Market. **MIT Technology Review**, v. 116, n. 3, p. 72-3, 2013.

EXAME. **Desoneração de smartphones pode trazer fabricantes ao Brasil**. Disponível em: <[exame.abril.com.br/noticia/desoneracao-de-smartphones-pode-trazer-fabricantes-ao-brasi/](http://exame.abril.com.br/noticia/desoneracao-de-smartphones-pode-trazer-fabricantes-ao-brasi/)>. Acesso em: 19 jul. 2013.

FELLET, M. Touch and go. **New Scientist**, v. 214, n. 2868, p. 40-43, 2012.

FERGUSON, S. **Can you hear me now? It may be hard to remember, but before everyone and their dog owned a mobile (the PetsCell hit shelves late last year), phones had to be transported in cars, bags and bricks. Here's a look back.** Disponível em: <<http://alatechsource.metapress.com/index/QNG242U856705632.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2013.

FISHBEIN, M.; AJZEN, I. **Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1975.

FNDE. **Apresentação ProInfo**. Disponível em: <[www.fnde.gov.br/programas/programa-nacional-de-tecnologia-educacional-proinfo?tmpl=component&print=1](http://www.fnde.gov.br/programas/programa-nacional-de-tecnologia-educacional-proinfo?tmpl=component&print=1)>. Acesso em: 19 jul. 2013.

FNDE. **Ministro entrega tablets e tem início a formação de coordenadores**. Disponível em: <[www.fnde.gov.br/fnde/sala-de-imprensa/noticias/item/3917-ministro](http://www.fnde.gov.br/fnde/sala-de-imprensa/noticias/item/3917-ministro)>

entrega-tablets-e-tem-inicio-a-formacao-de-coordenadores?tmpl=component&print=1>. Acesso em: 19 jul. 2013.

FRAMINGHAM, M. More Smartphones Were Shipped in Q1 2013 Than Feature Phones, An Industry First According to IDC. **IDC Worldwide Mobile Phone Tracker**, 2013.

FRIENDS OF THE EARTH. **Mining for smartphones : the true cost of tin**. London: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.foe.co.uk/resource/reports/tin\\_mining.pdf](http://www.foe.co.uk/resource/reports/tin_mining.pdf)>.

GARTNER. **Gartner Predicts by 2017, Half of Employers will Require Employees to Supply Their Own Device for Work Purposes**. Disponível em: <[www.gartner.com/newsroom/id/2466615](http://www.gartner.com/newsroom/id/2466615)>. Acesso em: 17 jul. 2013.

GOOGLE E IPSOS. **Nosso Planeta Mobile: Brasil - Como entender o usuário de celular**. Disponível em: <[http://services.google.com/fh/files/blogs/our\\_mobile\\_planet\\_brazil\\_pt\\_BR.pdf](http://services.google.com/fh/files/blogs/our_mobile_planet_brazil_pt_BR.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2013.

GREEN, T.; CLAWSON, M. Edge Animate Goes Mobile. In: **Foundation Adobe Edge Animate**. New York: Springer Science+Business Media, 2012. p. 335-362.

GRUMAN, G. M. **The iPad' s victory in defining the tablet: What it means**. Disponível em: <[www.infoworld.com/print/165431](http://www.infoworld.com/print/165431)>. Acesso em: 1 ago. 2013.

HAMBLEN, M. **Enterprises buying iPhones “in droves”, IDC says**. Disponível em: <[www.computerworld.com/s/article/print/9234008/Enterprises\\_buying\\_iPhones\\_in\\_droves\\_IDC\\_says?taxonomyName=Mobile/Wireless&taxonomyId=15](http://www.computerworld.com/s/article/print/9234008/Enterprises_buying_iPhones_in_droves_IDC_says?taxonomyName=Mobile/Wireless&taxonomyId=15)>. Acesso em: 17 jul. 2013.

HOLZINGER, A.; NISCHELWITZER, A.; MEISENBERGER, M. **Mobile Phones as a Challenge for m-Learning: Examples for Mobile Interactive Learning Objects (MILOs)**Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. **Anais...IEEE**, 2005Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1392855>>. Acesso em: 19 jul. 2013

IBOPE. **Penetração de smartphones duplica em um ano**. Disponível em: <[www.ibope.com.br/pt-br/noticias/Paginas/Penetracao-de-smartphone-duplica-em-um-ano.aspx](http://www.ibope.com.br/pt-br/noticias/Paginas/Penetracao-de-smartphone-duplica-em-um-ano.aspx)>. Acesso em: 15 jul. 2013.

IBOPE. **Mobile Report, do IBOPE Media, mostra hábitos dos usuários de smartphone**. Disponível em: <[www.ibope.com.br/pt-br/relacionamento/imprensa/releases/Paginas/Mobile-Report,-do-IBOPE-Media,-mostra-habitos-dos-usuarios-de-smartphone.aspx](http://www.ibope.com.br/pt-br/relacionamento/imprensa/releases/Paginas/Mobile-Report,-do-IBOPE-Media,-mostra-habitos-dos-usuarios-de-smartphone.aspx)>. Acesso em: 13 jul. 2013.

KASS, D. H. **Samsung Debuts KNOX Solution for Enterprise BYOD**. Disponível em: <[thevarguy.com/print/mobile-device-management-software-solutions/samsung-debuts-knox-solution-enterprise-byod](http://thevarguy.com/print/mobile-device-management-software-solutions/samsung-debuts-knox-solution-enterprise-byod)>. Acesso em: 17 jul. 2013.

LUGO, M. T.; SCHURMANN, S. **Turning on Mobile Learning in Latin America** Paris, 2012. Disponível em:  
<<http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002160/216080E.pdf>>

MARTON, F. Telefonía móvel: os primeiros celulares foram telefones para carros. Eram caros e pouco eficientes: para ter um era preciso meses de espera e pagar o preço, exorbitante. O cliente ainda podia ter que aguardar horas na “fila” até que a ligação fosse concluída. **Academic OneFile**, p. 20, mar. 2013.

MCCARTNEY, L.; SCHWEBEL, D. **More than one-third of college students drive while using mobile apps**. Disponível em: <<http://www.uab.edu/news/latest/item/1373-more-than-one-third-of-college-students-drive-while-using-mobile-apps?tmpl=component&print=1>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

MEEKER, M. Internet Trends @ Stanford – Bases. **KPCB Relationship Capital**, 2012.

MERCER, D. **The telephone: the life story of a technology**. Connecticut: Greenwood Press, 2006.

Mobile Market - Overview, Statistics and Forecasts. **Research and Markets**, 2013.

NATHAN, E. **BYOD Initiatives Have Value, Despite Risks : Symantec**. Disponível em: <[www.eweek.com/print/mobile/byod-initiatives-have-value-despite-risks-symantec/](http://www.eweek.com/print/mobile/byod-initiatives-have-value-despite-risks-symantec/)>. Acesso em: 16 jul. 2013.

NOSRATI, M.; KARIMI, R.; HASANVAND, H. Mobile Computing: Principles, Devices and Operating Systems. **World Applied Programming**, v. 2, n. 7, p. 399-408, 2012.

NYIRI, K. **Towards a philosophy of m-learning** Proceedings. IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education. **Anais...IEEE Comput. Soc**, 2002 Disponível em:  
<<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1039233>>. Acesso em: 19 jul. 2013

O'REGAN, C. **A Brief History of Computing**. London: Springer London, 2008.

OLIVEIRA, K. **Com desoneração , smartphones podem ficar 30 % mais baratos**. Disponível em: <[exame.abril.com.br/noticia/com-desoneracao-smartphones-podem-ficar-30-mais-baratos](http://exame.abril.com.br/noticia/com-desoneracao-smartphones-podem-ficar-30-mais-baratos)>. Acesso em: 19 jul. 2013.

ONGONDO, F. O.; WILLIAMS, I. D. Greening academia: use and disposal of mobile phones among university students. **Waste management (New York, N.Y.)**, v. 31, n. 7, p. 1617-34, jul. 2011.

PARK, N. et al. Factors influencing smartphone use and dependency in South Korea. **Computers in Human Behavior**, v. 29, n. 4, p. 1763-1770, jul. 2013.

PARK, Y.; CHEN, J. V. Acceptance and adoption of the innovative use of smartphone. **Industrial Management & Data Systems**, v. 107, n. 9, p. 1349-1365, 2007.

PLANT, S. **On the mobile: The effects of mobile telephones on social and individual life** Motorola, 2001

POWER, D. J. Mobile decision support and business intelligence: an overview☆. **Journal of Decision Systems**, v. 22, n. 1, p. 4-9, jan. 2013.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. 4. ed. New York, NY: The Free Press, 1995.

SAGER, I. **Bloomberg Businessweek**. Disponível em: <[www.businessweek.com/printer/articles/70596-before-iphone-and-android-came-simon-the-first-smartphone](http://www.businessweek.com/printer/articles/70596-before-iphone-and-android-came-simon-the-first-smartphone)>. Acesso em: 13 jul. 2013.

SARA, Y. **Infographic: The Evolution of the Cell Phone** PC Magazine Online, **Academic OneFile** PC Magazine Online, , 2011. Disponível em: <<http://go.galegroup.com.ez29.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?id=GALE|A265578213&v=2.1&u=capes58&it=r&p=AONE&sw=w>>. Acesso em: 31 jul. 2013

SAVITZ, E. **4 Predictions For The Brazilian Mobile Phone Market For 2013 Real-Time News on**. Disponível em: <[www.forbes.com/sites/ciocentral/2012/12/16/4-predictions-for-the-brazilian-mobile-phone-market-for-2013/](http://www.forbes.com/sites/ciocentral/2012/12/16/4-predictions-for-the-brazilian-mobile-phone-market-for-2013/)>. Acesso em: 14 jul. 2013.

SIMPSON, C. **The Deadly Tin Inside Your Smartphone**. Disponível em: <[www.businessweek.com/printer/articles/68762-the-deadly-tin-inside-your-smartphone](http://www.businessweek.com/printer/articles/68762-the-deadly-tin-inside-your-smartphone)>. Acesso em: 24 jul. 2013.

STANDAGE, T. **Live and unplugged**. Disponível em: <[www.economist.com/news/21566417-2013-internet-will-become-mostly-mobile-medium-who-will-be-winners-and-losers-live-and/print](http://www.economist.com/news/21566417-2013-internet-will-become-mostly-mobile-medium-who-will-be-winners-and-losers-live-and/print)>. Acesso em: 14 jul. 2013.

TAYLOR, S.; TODD, P. A. Understanding information technology usage: A test of competing models. **Information Systems Research**, v. 6, n. 2, p. 144-176, 1995.

TROSBY, F. SMS , the strange duckling of GSM. **Teletronikk**, v. 3, p. 187-194, 2004.

TUMIN, S.; ENCHEVA, S. **A brief look at Web architecting** Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications. **Anais...World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS)**, 2011 Disponível em: <<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Meloneras/ACELAE/ACELAE-42.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2013

VARCHOLIK, P. D.; LAVIOLA, J. J.; HUGHES, C. E. Establishing a baseline for text entry for a multi-touch virtual keyboard. **Journal of Human Computer Studies**, v. 70, n. 10, p. 657-672, 2012.

WIGGINS, R. H. Personal digital assistants. **Journal of digital imaging**, v. 17, n. 1, p. 5-17, mar. 2004.

WILLIAMS, C. **Galaxy S4 unlikely to overhaul Apple lead in corporate market**. Disponível em: <[www.telegraph.co.uk/technology/apple/9933533/Galaxy-S4-unlikely-to-overhaul-Apple-lead-in-corporate-market.htm](http://www.telegraph.co.uk/technology/apple/9933533/Galaxy-S4-unlikely-to-overhaul-Apple-lead-in-corporate-market.htm)>. Acesso em: 15 jul. 2013.

YELTON, A. Who Are Smartphone Users? **Library Technology Reports**, v. 48, n. 1, p. 5-8, 2012.

ZHANG, Y. et al. Exploring factors influencing multitasking interaction with multiple smart devices. **Computers in Human Behavior**, v. 29, n. 6, p. 2579-2588, nov. 2013.

# APÊNDICES

## Apêndice 1:

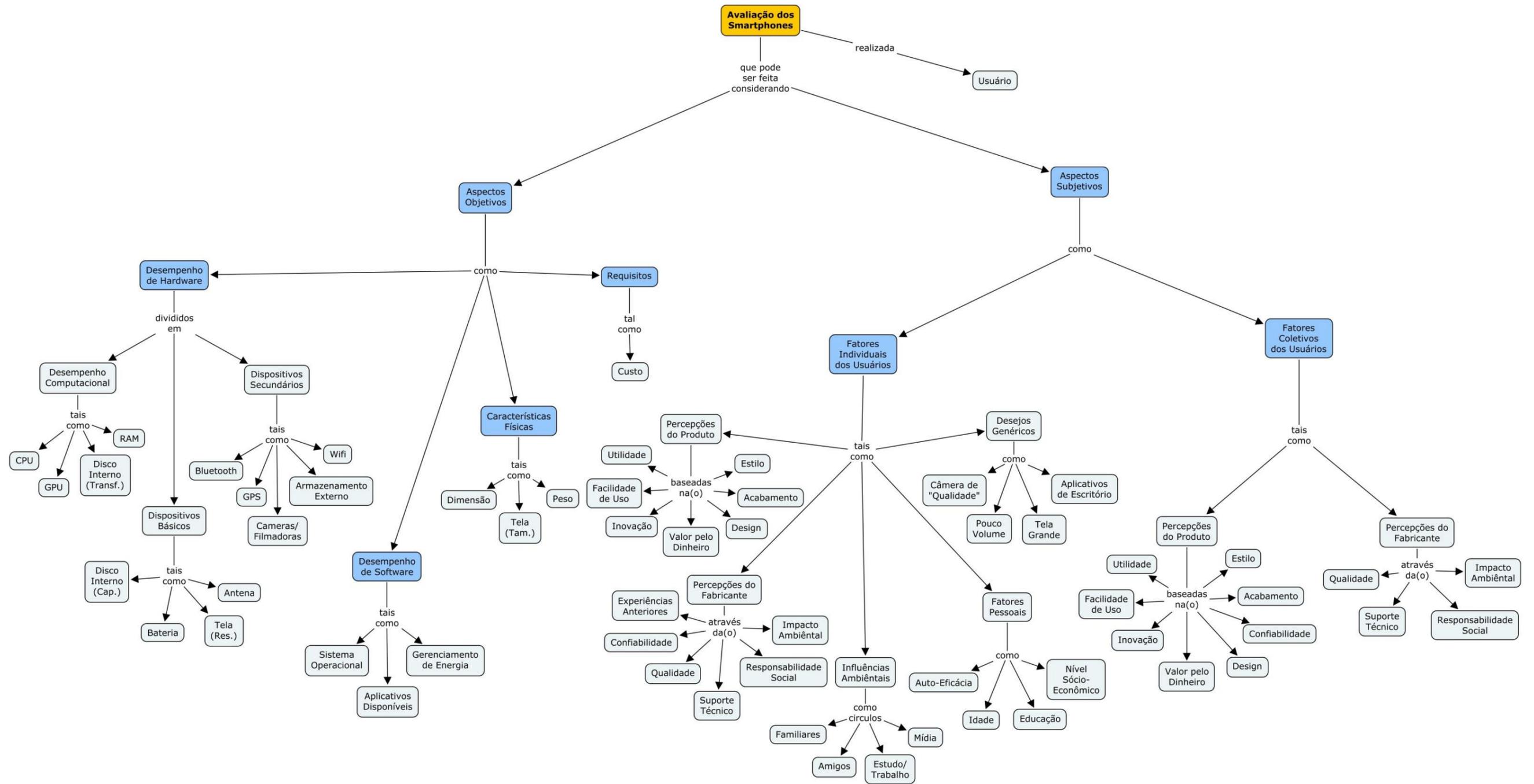


Figura 16 - Mapa conceitual das variáveis objetivas e subjetivas

Apêndice 2:

Tabela 22 - Tabela de Dados dos Smartphones - 1/3 (Continua)

Cód.	Dispositivo	Marca	Código (texto)	Preco {I}	Peso {I}	Volume {I}	PassM {O}	RAM {O}	Disco {O}	TelaAr {O}	TelaDen {O}	VelDown {O}	Cam {O}	Video {O}	Bat {O}	Expert {O}	User {O}	Design {O}	FacUso {O}	Auton {O}	Recur {O}
1	Liquid	Acer	Ace-Liq	90	135	89844	641	0.256	0.512	34.9	267	7.2	5.00	480	1350	7.5	8.4	8.9	6.4	7.2	7.5
2	Liquid E2	Acer	Ace-LiqE2	180	140	88189	2027	1.000	4.000	55.8	245	10.0	8.00	1080	2000	7.6	8.9	8.9	9.5	7.9	9.0
3	iPhone 4	Apple	App-iPH4	290	137	62782	645	0.512	8.000	36.5	330	100.0	5.00	720	1420	8.6	8.6	8.6	8.8	7.1	8.5
4	iPhone 4s	Apple	App-iPH4S	360	140	62782	1526	0.512	8.000	36.5	330	3.1	8.00	1080	1432	8.7	8.7	9.7	9.7	7.8	9.5
5	iPhone 5	Apple	App-iPH5	500	112	55136	3516	1.000	16.000	44.1	326	1.8	8.00	1080	1440	8.6	8.8	10.0	9.9	8.6	9.2
6	iPhone 5c	Apple	App-iPH5C	410	132	66280	3284	1.000	16.000	44.1	326	3.1	8.00	1080	1510	7.8	8.8	9.9	9.7	9.0	8.8
7	iPhone 5s	Apple	App-iPH5S	700	112	55136	5029	1.000	16.000	44.1	326	10.0	8.00	1080	1560	8.6	9.0	9.7	9.7	8.9	9.3
8	PadFone	Asus	Asu-Pad	300	129	77015	2022	1.000	16.000	51.0	256	3.1	8.00	1080	1520	7.9	8.5	6.8	9.3	9.2	8.3
9	Desire	HTC	HTC-Des	140	135	84966	756	0.576	4.512	39.0	252	100.0	5.00	720	1400	9.4	9.0	9.2	9.2	7.4	9.6
10	Desire HD	HTC	HTC-DesHD	150	164	98695	1019	0.768	9.500	52.6	217	1.8	8.00	720	1230	8.4	8.6	7.9	8.0	5.0	8.3
11	Desire S	HTC	HTC-DesS	100	130	79773	951	0.768	1.100	39.0	252	7.2	5.00	720	1450	8.1	8.6	8.4	8.8	6.4	8.2
12	Desire X	HTC	HTC-DesX	190	114	68658	1208	0.768	4.000	45.5	233	75.0	5.00	480	1650	7.5	8.7	9.7	9.7	8.3	9.5
13	Desire Z	HTC	HTC-DesZ	100	180	102064	1048	0.512	1.500	39.0	252	100.0	5.00	720	1300	8.1	8.7	9.4	8.0	5.9	7.7
14	EVO 3D	HTC	HTC-Evo3D	150	170	99099	1619	1.000	1.000	51.0	256	21.0	10.00	720	1730	7.3	8.6	8.2	8.4	6.7	8.1
15	Evo 4G	HTC	HTC-Evo4G	90	170	104676	778	0.512	9.000	52.6	217	21.0	8.00	720	1500	8.3	8.6	8.8	7.3	6.7	9.1
16	Explorer	HTC	HTC-Expl	70	108	75854	711	0.512	0.602	30.5	180	10.0	3.15	480	1230	6.7	8.4	8.6	8.8	8.2	8.6
17	First	HTC	HTC-Firs	200	123.9	72891	2405	1.000	16.000	51.0	342	21.0	5.00	1080	2000	7.1	7.8	8.7	8.6	8.7	8.6
18	Google Nexus One	HTC	HTC-NexO	120	130	81836	764	0.512	4.512	39.0	252	10.0	5.00	480	1400	8.5	8.5	7.7	8.2	5.4	7.8
19	Incredible S	HTC	HTC-IncrS	190	135.5	89856	988	0.768	9.100	45.5	233	10.0	8.00	720	1450	8.2	8.8	9.3	8.0	7.7	8.2
20	One Dual Sim	HTC	HTC-OneDS	510	156	99315	2999	2.000	32.000	24.4	471	21.0	4.00	1080	2300	8.6	9.2	10.0	10.0	9.2	10.0
21	One Max	HTC	HTC-OneMax	490	217	139784	2884	2.000	16.000	38.7	373	10.0	4.00	1080	3300	7.5	8.3	10.0	9.2	10.0	10.0
22	One mini	HTC	HTC-One Min	320	122	77584	2167	1.000	16.000	51.0	342	7.2	4.00	1080	1800	7.7	9.0	9.6	10.0	8.6	8.9
23	One S	HTC	HTC-OneS	220	119.5	66366	2019	1.000	16.000	51.0	256	14.4	8.00	1080	1650	8.2	8.6	10.0	9.8	8.7	9.5
24	One X+	HTC	HTC-OneX+	320	135	83612	2032	1.000	32.000	60.9	312	1.8	8.00	1080	2100	8.5	9.1	9.9	10.0	9.3	10.0
25	Raider 4G	HTC	HTC-Raid	230	177	96051	1671	1.000	16.000	55.8	245	21.0	8.00	1080	1620	7.7	8.1	8.7	9.6	7.2	9.2
26	Rhyme	HTC	HTC-Rhym	140	130	78864	953	0.768	12.000	39.0	252	42.0	5.00	720	1600	7.5	8.6	8.3	8.5	8.4	6.8
27	Sensation	HTC	HTC-Sens	120	148	93190	1611	0.768	9.000	51.0	256	7.2	8.00	1080	1520	8.2	8.3	8.1	8.5	6.0	8.8
28	Sensation 4G	HTC	HTC-Sens4G	210	148	93190	1453	0.768	9.000	51.0	256	100.0	8.00	1080	1520	8.3	9.1	7.2	8.5	6.7	9.3
29	Sensation XE	HTC	HTC-SensXE	140	151	93190	1696	0.768	1.000	51.0	256	1.8	8.00	1080	1730	8.2	8.8	9.2	9.3	8.3	10.0
30	Sensation XL	HTC	HTC-SensXL	170	162.5	92741	1305	0.768	16.000	62.9	199	21.0	8.00	720	1600	7.8	8.6	9.6	9.4	8.2	8.3
31	Wildfire S	HTC	HTC-WildS	100	105	74614	455	0.418	2.512	30.5	180	3.1	5.00	480	1230	7.2	8.1	8.8	8.4	6.0	8.0
32	Ascend G510	Huawei	Hua-AscG510	100	150	88882	1245	0.512	4.000	55.8	218	3.1	5.00	720	1700	7.2	8.7	9.1	8.9	7.4	9.8
33	Ascend Mate	Huawei	Hua-AscMate	230	198	138718	1850	2.000	8.000	102.6	241	1.8	8.00	1080	4050	7.2	9.2	9.0	9.6	9.7	8.4
34	Ascend P2	Huawei	Hua-AscP2	210	122	76310	1809	1.000	16.000	60.9	312	21.0	13.00	1080	2420	7.7	8.1	9.1	9.8	7.7	7.8
35	Ascend P6	Huawei	Hua-AscP6	260	120	53889	1578	2.000	8.000	60.9	312	7.2	8.00	1080	2000	7.5	8.9	9.4	7.2	6.0	8.0
36	U8650 Sonic	Huawei	Hua-Sonic	70	120	83730	434	0.256	0.672	36.5	165	10.0	3.15	480	1400	7.3	8.5	9.2	8.6	6.4	9.1
37	U8800 IDEOS X5	Huawei	Hua-IDX5	100	130	86304	775	0.512	2.000	41.1	246	7.2	5.00	720	1500	7.1	8.2	6.5	6.7	6.5	6.0
38	U8860 Honor	Huawei	Hua-Honor	130	140	81862	1325	0.512	5.000	44.1	245	21.0	8.00	720	1930	7.4	8.4	8.3	8.7	8.0	8.2

Tabela 23 - Tabela de Dados dos Smartphones - 2/3 (Continua)

Cód.	Dispositivo	Marca	Código (texto)	Preco {I}	Peso {I}	Volume {I}	PassM {O}	RAM {O}	Disco {O}	TelaAr {O}	TelaDen {O}	VelDown {O}	Cam {O}	Video {O}	Bat {O}	Expert {O}	User {O}	Design {O}	FacUso {O}	Auton {O}	Recur {O}
39	G2	LG	LG-G2	370	143	87395	3726	2.000	16.000	30.1	424	7.2	13.00	1080	3000	8.8	9.2	9.1	8.9	10.0	10.0
40	Nexus 4 E960	LG	LG-Nex4	250	139	83710	2555	2.000	8.000	62.9	318	7.2	8.00	1080	2100	8.7	9.1	8.5	10.0	7.9	9.2
41	Optimus 2X	LG	LG-Opt2X	150	139	85352	1515	0.512	8.000	45.5	233	7.2	8.00	1080	1500	8.1	8.5	8.0	7.8	6.1	7.9
42	Optimus 3D P920	LG	LG-Opt3D	190	168	104225	1533	0.512	8.000	52.6	217	10.0	10.00	1080	1500	7.5	8.3	7.8	7.6	4.8	8.2
43	Optimus 4X HD P880	LG	LG-Opt4X	220	133	80246	1790	1.000	12.000	60.9	312	100.0	8.00	1080	2150	8.1	8.9	9.8	10.0	6.3	8.0
44	Optimus Black P970	LG	LG-OptBl	110	109	71834	833	0.512	1.000	45.5	233	7.2	5.00	720	1500	7.5	8.6	8.8	8.8	5.5	7.7
45	Optimus G E975	LG	LG-OptG	230	145	77247	2519	2.000	25.000	62.9	318	42.0	13.00	1080	2100	8.1	9.0	8.9	9.4	8.9	9.3
46	Optimus G Pro E985	LG	LG-OptGP	400	172	107444	2872	2.000	16.000	33.6	401	14.4	13.00	1080	3140	8.1	9.1	9.9	10.0	10.0	10.0
47	Optimus Hub E510	LG	LG-OptHub	80	123	82047	408	0.512	2.662	36.5	165	7.2	5.00	480	1500	7.3	8.6	7.0	6.6	5.7	6.5
48	Optimus L3 E400	LG	LG-OptL3	70	110	75210	767	0.384	1.000	31.7	125	100.0	3.15	480	1500	6.5	8.3	9.6	9.8	8.0	8.2
49	Optimus L3 II Dual E435	LG	LG-OptL3II	90	110	75062	995	0.512	1.600	31.7	125	7.2	3.15	480	1540	5.4	9.1	10.0	8.1	9.7	8.4
50	Optimus L5 II E460	LG	LG-OptL5II	140	103.3	67238	1172	0.512	1.400	45.5	233	21.0	5.00	480	1700	7.1	8.7	10.0	10.0	6.9	10.0
51	Optimus L7 P700	LG	LG-OptL7	120	122	73154	848	0.512	2.400	52.6	217	3.6	5.00	480	1700	6.5	8.4	9.5	9.5	7.3	7.3
52	Optimus L9 P760	LG	LG-OptL9	170	125	81860	1326	1.000	4.000	60.9	234	42.0	5.00	1080	2150	7.6	9.0	8.9	10.0	6.3	8.7
53	Optimus Me P350	LG	LG-OptMe	80	110	75762	539	0.140	2.000	24.3	143	14.4	3.15	480	1280	6.5	7.6	7.5	8.0	6.6	7.5
54	Optimus Net	LG	LG-OptNet	80	129.2	81028	576	0.512	2.662	30.5	180	7.2	3.15	480	1500	6.8	6.9	8.0	7.8	7.6	6.5
55	Optimus One P500	LG	LG-OptOne	100	129	89063	458	0.512	2.170	30.5	180	7.2	3.15	480	1500	7.2	8.6	8.0	8.1	6.9	8.0
56	Optimus Vu P895	LG	LG-OptVu	210	168	107269	1923	1.000	32.000	77.4	256	14.4	8.00	1080	2100	6.6	8.5	9.2	7.6	8.1	9.2
57	Prada 3.0	LG	LG-Prada	210	138	74779	1404	1.000	8.512	52.6	217	42.0	8.00	1080	1540	7.2	8.9	8.0	8.8	6.9	9.0
58	ATRIX	Motorola	Mot-ATRIX	170	135	82283	1624	1.000	16.000	44.1	275	14.4	5.00	1080	1930	7.8	8.6	8.3	8.5	7.1	9.2
59	ATRIX 4G	Motorola	Mot-ATR4G	190	135	82283	1458	1.000	16.000	44.1	275	21.0	5.00	1080	1930	8.1	8.4	7.8	8.2	8.1	9.0
60	DEFY	Motorola	Mot-DEFY	110	118	84594	744	0.512	4.000	37.7	265	1.8	5.00	480	1540	7.3	7.9	7.7	7.5	6.5	7.7
61	DEFY+	Motorola	Mot-DEFY+	170	118	84594	774	0.512	5.000	37.7	265	7.2	5.00	480	1700	7.0	8.0	8.5	8.5	7.4	8.8
62	DROID PRO XT610	Motorola	Mot-DRPRO	110	134	83538	873	0.512	5.500	28.6	186	7.2	5.00	480	1420	7.6	9.0	7.2	9.1	6.9	8.4
63	MILESTONE	Motorola	Mot-MIL	130	165	95188	557	0.256	8.133	37.7	265	100.0	5.00	480	1400	8.0	8.5	7.3	7.5	5.1	7.8
64	MILESTONE 2	Motorola	Mot-MIL2	170	169	96395	800	0.512	16.000	37.7	265	3.1	5.00	720	1400	7.9	8.8	8.3	8.3	5.5	7.4
65	MOTO XT615	Motorola	Mot-MOTO	120	123.6	70496	781	0.512	1.000	44.1	245	14.4	8.00	480	1390	6.5	8.2	8.9	8.1	8.8	7.4
66	Discover	Pantech	Pan-Disc	370	135	83776	2185	1.000	13.000	63.5	306	14.4	12.60	1080	2100	7.5	8.7	10.0	9.9	8.9	10.0
67	Exhibit II 4G T679	Samsung	Sam-Exhib	100	116	75900	1115	0.512	1.000	39.0	252	14.4	3.15	480	1500	7.8	8.4	8.9	9.3	6.9	9.1
68	Galaxy Ace 2 I8160	Samsung	Sam-GalAce2	130	122	77262	1193	0.768	4.000	41.1	246	100.0	5.00	720	1500	7.1	8.6	9.2	9.1	7.3	8.5
69	Galaxy Ace Plus S7500	Samsung	Sam-GalAceP	120	115	80150	987	0.512	3.000	39.7	158	21.0	5.00	480	1300	7.4	8.2	9.2	10.0	9.1	8.9
70	Galaxy Ace S5830	Samsung	Sam-GalAce	90	113	77427	557	0.278	2.158	36.5	165	7.2	5.00	480	1350	7.1	8.0	8.7	8.4	6.6	7.7
71	Galaxy Express I437	Samsung	Sam-GalExp	160	136	83622	1392	1.000	5.000	57.6	207	14.4	5.00	720	2000	7.5	8.3	9.4	10.0	9.6	10.0
72	Galaxy Fame S6810	Samsung	Sam-GalFame	120	120.6	80888	977	0.512	4.000	36.5	165	42.0	5.00	480	1300	5.5	8.3	9.8	6.5	7.4	8.2
73	Galaxy Fit S5670	Samsung	Sam-GalFit	120	108	84977	436	0.280	2.160	33.7	121	14.4	5.00	240	1350	6.5	8.5	8.4	7.0	5.7	7.1
74	Galaxy Gio S5660	Samsung	Sam-GalGio	110	102	77516	548	0.278	2.158	30.5	180	10.0	3.15	240	1350	7.8	8.0	8.3	8.2	6.8	7.0
75	Galaxy Grand I9080	Samsung	Sam-GalGr	210	162	105937	1385	1.000	8.000	71.2	187	14.4	8.00	1080	2100	7.5	8.7	9.8	9.7	6.0	9.0
76	Galaxy Mega 5.8 I9150	Samsung	Sam-GalMeg5	280	182	120584	1746	1.500	8.000	92.7	190	14.4	8.00	1080	2600	7.3	9.1	9.7	10.0	10.0	10.0
77	Galaxy Mega 6.3 I9200	Samsung	Sam-GalMeg6	300	199	117990	2365	1.500	8.000	109.4	233	14.4	8.00	1080	3200	7.3	9.0	8.9	9.0	9.8	9.3
78	Galaxy mini 2 S6500	Samsung	Sam-GalMin2	90	105.3	74366	860	0.512	4.000	31.8	176	14.4	3.15	480	1300	6.5	8.4	9.2	8.7	8.1	7.9
79	Galaxy Mini S5570	Samsung	Sam-GalMin	90	105	81219	506	0.384	2.160	30.5	127	7.2	3.15	240	1200	7.0	7.8	7.9	7.9	5.4	7.0
80	Galaxy Nexus I9250	Samsung	Sam-GalNex	180	135	81884	1622	1.000	16.000	59.6	316	7.2	5.00	1080	1750	8.3	8.5	9.2	8.8	7.2	9.1

Tabela 24 - Tabela de Dados dos Smartphones - 3/3 (Final)

Cód.	Dispositivo	Marca	Código (texto)	Preco {I}	Peso {I}	Volume {I}	PassM {O}	RAM {O}	Disco {O}	TelaAr {O}	TelaDen {O}	VelDown {O}	Cam {O}	Video {O}	Bat {O}	Expert {O}	User {O}	Design {O}	FacUso {O}	Auton {O}	Recur {O}
81	Galaxy Note 3	Samsung	Sam-GalNot3	460	168	99393	2002	3.000	16.000	36.1	386	10.0	13.00	2160	3200	8.6	8.9	9.9	10.0	9.8	10.0
82	Galaxy Note II N7100	Samsung	Sam-GalNot2	350	183	114337	2493	2.000	16.000	83.4	267	100.0	8.00	1080	3100	8.6	9.4	10.0	9.6	9.7	10.0
83	Galaxy Note N7000	Samsung	Sam-GalNot	280	178	118269	1806	1.000	18.000	81.4	285	7.2	8.00	1080	2500	8.1	9.0	9.8	9.5	8.7	10.0
84	Galaxy S Duos S7562	Samsung	Sam-GalSD	120	120	80500	928	0.768	1.800	45.5	233	7.2	5.00	480	1500	7.8	7.8	8.8	9.6	7.6	8.5
85	Galaxy S4 zoom	Samsung	Sam-GalS4Z	310	208	122726	2183	1.500	5.000	51.0	256	100.0	16.00	1080	2330	6.9	8.4	8.0	7.5	10.0	9.2
86	Galaxy Y Duos S6102	Samsung	Sam-GalYD	80	109	79056	420	0.290	2.672	30.5	127	21.0	3.15	240	1300	7.2	7.8	8.8	7.5	6.5	7.2
87	Galaxy Y Pro Duos B5512	Samsung	Sam-GalYP	120	112.3	83726	391	0.290	2.672	20.9	154	7.2	3.15	240	1350	7.0	7.9	9.8	8.6	6.5	10.0
88	Galaxy Y S5360	Samsung	Sam-GalY	70	97.5	69368	455	0.290	0.180	27.9	133	7.2	2.00	240	1200	6.7	8.1	9.0	8.1	7.0	8.3
89	Galaxy Young S6310	Samsung	Sam-GalYg	90	112	80136	898	0.768	2.000	31.8	176	7.2	3.15	480	1300	5.3	8.4	9.6	7.3	8.8	8.6
90	Google Nexus S	Samsung	Sam-NexS	170	129	85082	1043	0.512	16.000	45.5	233	21.0	5.00	480	1500	8.2	8.3	8.6	8.9	7.3	8.6
91	I8190 Galaxy S III mini	Samsung	Sam-GalS3Min	160	111.5	75842	1316	1.000	8.000	45.5	233	21.0	5.00	720	1500	6.9	8.8	9.7	9.3	8.1	9.1
92	I8530 Galaxy Beam	Samsung	Sam-GalBeam	240	145.3	99510	1305	0.768	8.000	45.5	233	21.0	5.00	720	2000	7.6	8.6	7.8	7.3	8.8	7.5
93	I9000 Galaxy S	Samsung	Sam-GalS	160	119	77795	993	0.512	10.000	45.5	233	7.2	5.00	720	1500	8.3	8.4	8.1	8.1	6.0	8.0
94	I9070 Galaxy S Advance	Samsung	Sam-GalSA	150	120	75288	1296	0.768	10.000	45.5	233	7.2	5.00	720	1500	7.9	8.7	9.8	9.8	6.8	8.7
95	I9100 Galaxy S II	Samsung	Sam-GalS2	170	116	70400	1706	1.000	16.000	52.6	217	7.2	8.00	1080	1650	8.6	8.9	6.4	6.4	4.9	6.5
96	I9103 Galaxy R	Samsung	Sam-GalR	200	135	78375	1567	1.000	10.000	50.2	222	21.0	5.00	720	1650	8.6	8.3	8.9	9.0	8.3	9.0
97	I9105 Galaxy S II Plus	Samsung	Sam-GalS2P	210	121	70400	1595	1.000	8.000	52.6	217	1.8	8.00	1080	1650	8.0	9.1	8.9	8.8	9.5	9.3
98	I9190 Galaxy S4 mini	Samsung	Sam-GalS4Min	270	107	67978	2042	1.500	5.000	51.0	256	100.0	8.00	1080	1900	7.8	8.8	9.7	9.1	9.3	9.3
99	I9295 Galaxy S4 Active	Samsung	Sam-GalS4Act	390	153	90642	3373	2.000	11.200	27.8	441	21.0	8.00	1080	2600	8.2	8.6	9.1	9.8	7.8	9.5
100	I9300 Galaxy S III	Samsung	Sam-GalS3	260	133	82938	1347	1.000	16.000	63.5	306	1.8	8.00	1080	2100	8.8	9.0	9.9	9.6	8.3	10.0
101	I9500 Galaxy S4	Samsung	Sam-GalS4	370	130	75324	3778	2.000	16.000	27.8	441	42.0	13.00	1080	2600	8.5	8.7	9.3	9.5	8.5	10.0
102	S5690 Galaxy Xcover	Samsung	Sam-GalXc	90	100	96082	577	0.512	0.150	39.7	158	100.0	3.15	480	1500	7.1	7.1	8.4	7.8	6.1	6.4
103	S7710 Galaxy Xcover 2	Samsung	Sam-GalXc2	190	148.5	106018	1358	1.000	4.000	45.5	233	42.0	5.00	720	1700	7.1	8.2	8.4	8.5	10.0	7.0
104	Xperia E	Sony	Son-XperE	90	115.7	77157	933	0.512	2.000	36.5	165	7.2	3.15	480	1530	7.5	8.2	9.1	9.5	8.6	9.3
105	Xperia go	Sony	Son-XperGo	160	110	65594	1396	0.512	4.000	36.5	165	42.0	5.00	720	1305	7.1	8.2	9.9	8.3	8.0	7.5
106	Xperia ion HSPA	Sony	Son-XperIon	250	144	97675	1821	1.000	12.900	57.1	323	21.0	12.00	1080	1900	7.4	8.4	9.1	10.0	6.1	9.2
107	Xperia J	Sony	Son-XperJ	140	124	69986	944	0.512	2.000	44.1	245	7.2	5.00	480	1750	6.7	8.1	9.2	9.1	8.2	7.7
108	Xperia L	Sony	Son-XperL	160	137	81145	1734	1.000	5.800	51.0	228	7.2	8.00	720	1750	7.3	8.8	9.8	9.2	6.7	8.9
109	Xperia M	Sony	Son-XperM	150	115	71498	1651	1.000	4.000	44.1	245	21.0	5.00	720	1750	7.8	8.9	8.0	9.3	8.8	8.7
110	Xperia miro	Sony	Son-XperMir	120	110	66451	850	0.512	2.200	36.5	165	7.2	5.00	480	1500	6.9	8.2	9.4	8.3	9.7	8.9
111	Xperia P	Sony	Son-XperP	210	120	76220	1328	1.000	13.000	44.1	275	21.0	8.00	1080	1305	7.6	8.5	10.0	9.2	4.8	8.0
112	Xperia pro	Sony	Son-XperPro	190	142	92340	935	0.512	8.320	37.7	265	7.2	8.00	720	1500	8.0	8.7	8.2	8.8	6.6	8.0
113	Xperia S	Sony	Son-XperS	230	144	86835	1533	1.000	32.000	51.0	342	7.2	12.00	1080	1750	8.1	8.8	9.7	9.1	7.1	9.2
114	Xperia sola	Sony	Son-XperSol	120	107	67756	1422	0.512	5.000	37.7	265	7.2	5.00	720	1320	7.1	8.0	8.8	8.9	5.7	10.0
115	Xperia SP	Sony	Son-XperSP	220	155	87633	2584	1.000	5.800	58.3	319	7.2	8.00	1080	2370	7.9	8.7	9.2	9.6	8.6	10.0
116	Xperia T LTE	Sony	Son-XperT	350	148	81861	2204	1.000	16.000	57.1	323	42.0	13.00	1080	1850	7.8	8.7	9.7	9.6	6.7	8.8
117	Xperia tipo	Sony	Son-XperTip	80	99.4	76323	878	0.512	2.500	30.5	180	21.0	3.15	480	1500	7.0	7.9	9.5	8.8	9.2	8.5
118	Xperia U	Sony	Son-XperU	150	110	72576	1234	0.512	4.000	33.8	280	7.2	5.00	720	1320	7.3	8.2	9.5	9.3	5.5	8.7
119	Xperia V	Sony	Son-XperV	230	120	89720	2016	1.000	8.000	51.0	342	150.0	13.00	1080	1750	8.2	8.7	8.7	9.8	6.8	9.2
120	Xperia Z	Sony	Son-XperZ	310	146	77965	2580	2.000	16.000	27.8	441	7.2	13.10	1080	2330	8.3	8.8	9.8	10.0	7.8	10.0
121	Xperia Z Ultra	Sony	Son-XperZU	360	212	107514	4333	2.000	16.000	45.5	344	7.2	8.00	1080	3050	8.1	8.7	8.1	9.1	9.5	10.0
122	Xperia Z1	Sony	Son-XperZ1	440	170	90576	4285	2.000	16.000	27.8	441	150.0	20.70	1080	3000	8.4	9.0	10.0	10.0	9.6	10.0

**Apêndice 3:**

$$S = \begin{bmatrix} 12825 & 1237 & 281290 & 87842 & 43.47 & 527.3 & 354.4 & 6376 & 296.3 & 206.1 & 24650 & 12734 & 40.63 & 23.6 & 35.24 & 51.12 & 76.43 & 59.48 \\ 1237 & 649.8 & 321294 & 9585 & 7.275 & 71.41 & 53.78 & 751.8 & 87.92 & 37.88 & 4070 & 1383 & 5.449 & 4.091 & 0.2112 & 2.888 & 9.655 & 8.586 \\ 281290 & 321294 & 228079755 & 1877589 & 2839 & 20428 & 16809 & 131028 & 44345 & 11242 & 1231321 & 316672 & 684 & 1085 & -807.1 & -251.1 & 4003 & 2558 \\ 87842 & 9585 & 1877589 & 800904 & 360.1 & 3810 & 3625 & 50145 & 2442 & 1784 & 191611 & 130674 & 284.7 & 181.5 & 237 & 407.4 & 632.2 & 501.3 \\ 43.47 & 7.275 & 2839 & 360.1 & 0.2816 & 2.083 & 1.767 & 27.9 & 1.674 & 1.039 & 123.6 & 74.72 & 0.1516 & 0.1171 & 0.1319 & 0.2152 & 0.388 & 0.2756 \\ 527.3 & 71.41 & 20428 & 3810 & 2.083 & 51.26 & 11.58 & 340.9 & -9.075 & 11.01 & 1421 & 441.7 & 2.498 & 1.255 & 1.375 & 2.137 & 2.631 & 2.878 \\ 354.4 & 53.78 & 16809 & 3625 & 1.767 & 11.58 & 265.4 & 292.1 & 291.9 & 14.24 & 1127 & 6798 & 1.726 & 0.3006 & -0.9937 & 0.6573 & 2.289 & 0.597 \\ 6376 & 751.8 & 131028 & 50145 & 27.9 & 340.9 & 292.1 & 5462 & 285.2 & 145.6 & 15691 & 10518 & 31.79 & 13.62 & 16.16 & 31.03 & 28.75 & 36.43 \\ 296.3 & 87.92 & 44345 & 2442 & 1.674 & -9.075 & 291.9 & 285.2 & 1055 & 24.43 & 686.7 & 9164 & 2.898 & 1.384 & 1.5 & 2.471 & 1.249 & 1.224 \\ 208.1 & 36.44 & 10639 & 1779 & 1.034 & 11.32 & 16.16 & 145.5 & 24.58 & 9.99 & 658.8 & 516.6 & 0.9254 & 0.5662 & 0.4918 & 0.941 & 1.073 & 1.264 \\ 24650 & 4070 & 1231321 & 191611 & 123.6 & 1421 & 1127 & 15691 & 686.7 & 655.3 & 94418 & 36317 & 116 & 70.8 & 54.96 & 123.5 & 134.2 & 153.5 \\ 12734 & 1383 & 316672 & 130674 & 74.72 & 441.7 & 6798 & 10518 & 9164 & 899.6 & 36317 & 253085 & 47.73 & 15.24 & 13.55 & 42.41 & 94.14 & 49.15 \\ 40.63 & 5.449 & 684 & 284.7 & 0.1516 & 2.498 & 1.726 & 31.79 & 2.898 & 0.9121 & 116 & 47.73 & 0.511 & 0.1369 & -0.003525 & 0.24 & 0.007053 & 0.2561 \\ 23.6 & 4.091 & 1085 & 181.5 & 0.1171 & 1.255 & 0.3006 & 13.62 & 1.384 & 0.569 & 70.8 & 15.24 & 0.1369 & 0.1749 & 0.09222 & 0.1442 & 0.1652 & 0.2013 \\ 35.24 & 0.2112 & -807.1 & 237 & 0.1319 & 1.375 & -0.9937 & 16.16 & 1.5 & 0.4621 & 54.96 & 13.55 & -0.003525 & 0.09222 & 0.7057 & 0.4449 & 0.4701 & 0.4532 \\ 51.12 & 2.888 & -251.1 & 407.4 & 0.2152 & 2.137 & 0.6573 & 31.03 & 2.471 & 0.923 & 123.5 & 42.41 & 0.24 & 0.1442 & 0.4449 & 0.8634 & 0.5238 & 0.5933 \\ 76.43 & 9.655 & 4003 & 632.2 & 0.388 & 2.631 & 2.289 & 28.75 & 1.249 & 1.035 & 134.2 & 94.14 & 0.007053 & 0.1652 & 0.4701 & 0.5238 & 1.952 & 0.6596 \\ 59.48 & 8.586 & 2558 & 501.3 & 0.2756 & 2.878 & 0.597 & 36.43 & 1.224 & 1.241 & 153.5 & 49.15 & 0.2561 & 0.2013 & 0.4532 & 0.5933 & 0.6596 & 0.9619 \end{bmatrix}$$

Figura 17 – Matriz de covariância dos conjunto de dados dos smartphones

**Apêndice 4:**

$$D_s = \begin{bmatrix} 113.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 25.49 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15102 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 894.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5307 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 14.89 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 73.91 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 32.481 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.151 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 307.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 531.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7148 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4182 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8401 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9292 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.397 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9808 \end{bmatrix}$$

Figura 18 – Matriz diagonal dos desvios

Apêndice 5:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.4283 & 0.1645 & 0.8667 & 0.7232 & 0.6503 & 0.2051 & 0.7619 & 0.08056 & 0.5757 & 0.7084 & 0.6072 & 0.5019 & 0.4982 & 0.3704 & 0.4858 & 0.4830 & 0.5355 \\ 0.4283 & 1 & 0.8346 & 0.4202 & 0.5378 & 0.3913 & 0.4857 & 0.3991 & 0.1062 & 0.4700 & 0.5196 & 0.6594 & 0.299 & 0.3837 & 0.009864 & 0.1219 & 0.2711 & 0.3434 \\ 0.1645 & 0.8346 & 1 & 0.1389 & 0.3542 & 0.1889 & 0.4338 & 0.1174 & 0.09039 & 0.2354 & 0.2653 & 0.5841 & 0.06336 & 0.1717 & -0.06361 & -0.01789 & 0.1897 & 0.1727 \\ 0.8667 & 0.4202 & 0.1389 & 1 & 0.7582 & 0.5947 & 0.2282 & 0.7582 & 0.084 & 0.6305 & 0.6968 & 0.6488 & 0.445 & 0.4849 & 0.3152 & 0.4899 & 0.5056 & 0.5712 \\ 0.7232 & 0.5378 & 0.3542 & 0.7582 & 1 & 0.5483 & 0.3242 & 0.7114 & 0.09713 & 0.6192 & 0.7579 & 0.8379 & 0.3997 & 0.5275 & 0.2959 & 0.4363 & 0.5233 & 0.5296 \\ 0.6503 & 0.3913 & 0.1889 & 0.5947 & 0.5483 & 1 & 0.3028 & 0.6442 & -0.03902 & 0.4864 & 0.6457 & 0.4392 & 0.4881 & 0.4192 & 0.2285 & 0.3212 & 0.2630 & 0.4100 \\ 0.2051 & 0.4857 & 0.4338 & 0.2282 & 0.3242 & 0.3028 & 1 & 0.06876 & -0.01107 & 0.3023 & 0.4737 & 0.4813 & 0.1507 & 0.4032 & 0.1304 & 0.2552 & 0.2056 & 0.2458 \\ 0.7619 & 0.3991 & 0.1174 & 0.7582 & 0.7114 & 0.6442 & 0.06876 & 1 & 0.1188 & 0.6232 & 0.6910 & 0.5787 & 0.6018 & 0.4405 & 0.2602 & 0.4518 & 0.2784 & 0.5026 \\ 0.08056 & 0.1062 & 0.09039 & 0.0840 & 0.09713 & -0.03902 & -0.01107 & 0.1188 & 1 & 0.2379 & 0.0688 & 0.07466 & 0.1248 & 0.1018 & 0.05497 & 0.08185 & 0.02751 & 0.03841 \\ 0.5757 & 0.4700 & 0.2354 & 0.6305 & 0.6192 & 0.4864 & 0.3023 & 0.6232 & 0.2379 & 1 & 0.6746 & 0.5359 & 0.4036 & 0.4301 & 0.1740 & 0.3143 & 0.2344 & 0.4003 \\ 0.7084 & 0.5196 & 0.2653 & 0.6968 & 0.7579 & 0.6457 & 0.4737 & 0.6910 & 0.0688 & 0.6746 & 1 & 0.6280 & 0.5282 & 0.5508 & 0.2129 & 0.4327 & 0.3127 & 0.5094 \\ 0.6082 & 0.6594 & 0.5841 & 0.6488 & 0.8379 & 0.4392 & 0.4813 & 0.5787 & 0.07466 & 0.5359 & 0.6280 & 1 & 0.2683 & 0.4530 & 0.2679 & 0.4099 & 0.5650 & 0.4939 \\ 0.5019 & 0.2990 & 0.06336 & 0.445 & 0.3997 & 0.4881 & 0.1507 & 0.6018 & 0.1248 & 0.4036 & 0.5282 & 0.2683 & 1 & 0.4579 & -0.005869 & 0.3613 & 0.007062 & 0.3653 \\ 0.4982 & 0.3837 & 0.1717 & 0.4849 & 0.5275 & 0.4192 & 0.4032 & 0.4405 & 0.1018 & 0.4301 & 0.5508 & 0.4530 & 0.4579 & 1 & 0.2625 & 0.3711 & 0.2827 & 0.4907 \\ 0.3704 & 0.009864 & -0.06361 & 0.3152 & 0.2959 & 0.2285 & 0.1304 & 0.2602 & 0.05497 & 0.1740 & 0.2129 & 0.2679 & -0.005869 & 0.2625 & 1 & 0.5699 & 0.4005 & 0.5500 \\ 0.4858 & 0.1219 & -0.01789 & 0.4899 & 0.4363 & 0.3212 & 0.2552 & 0.4518 & 0.08185 & 0.3143 & 0.4327 & 0.4099 & 0.3613 & 0.3711 & 0.5699 & 1 & 0.4035 & 0.6510 \\ 0.4830 & 0.2711 & 0.1897 & 0.5056 & 0.5233 & 0.2630 & 0.2056 & 0.2784 & 0.02751 & 0.2344 & 0.3127 & 0.5650 & 0.007062 & 0.2827 & 0.4005 & 0.4035 & 1 & 0.4814 \\ 0.5355 & 0.3434 & 0.1727 & 0.5712 & 0.5296 & 0.4099 & 0.2458 & 0.5026 & 0.03841 & 0.4003 & 0.5094 & 0.4939 & 0.3653 & 0.4907 & 0.5500 & 0.6510 & 0.4814 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 19 – Matriz de correlação  $R$

## Apêndice 6:

Tabela 25 - Qualidade de Representação dos Pontos relativos aos Smartphones

Smartphones	QR	Smartphones	QR	Smartphones	QR
Ace-Liq	<b>0.630</b>	LG-Opt3D	<b>0.699</b>	Sam-GalNot	<b>0.845</b>
Ace-LiqE2	0.414	LG-Opt4X	0.497	Sam-GalSD	0.488
App-iPH4	<b>0.623</b>	LG-OptBl	<b>0.685</b>	Sam-GalS4Z	<b>0.760</b>
App-iPH4S	<b>0.634</b>	LG-OptG	<b>0.715</b>	Sam-GalYD	<b>0.907</b>
App-iPH5	<b>0.850</b>	LG-OptGP	<b>0.845</b>	Sam-GalYP	<b>0.681</b>
App-iPH5C	<b>0.778</b>	LG-OptHub	<b>0.883</b>	Sam-GalY	<b>0.968</b>
App-iPH5S	<b>0.680</b>	LG-OptL3	<b>0.897</b>	Sam-GalYg	<b>0.676</b>
Asu-Pad	0.319	LG-OptL3II	<b>0.661</b>	Sam-NexS	0.296
HTC-Des	0.358	LG-OptL5II	<b>0.698</b>	Sam-GalS3Min	<b>0.722</b>
HTC-DesHD	<b>0.716</b>	LG-OptL7	<b>0.653</b>	Sam-GalBeam	0.498
HTC-DesS	<b>0.579</b>	LG-OptL9	0.049	Sam-GalS	<b>0.880</b>
HTC-DesX	<b>0.805</b>	LG-OptMe	<b>0.859</b>	Sam-GalSA	<b>0.519</b>
HTC-DesZ	<b>0.600</b>	LG-OptNet	<b>0.630</b>	Sam-GalS2	<b>0.781</b>
HTC-Evo3D	<b>0.591</b>	LG-OptOne	<b>0.816</b>	Sam-GalR	0.088
HTC-Evo4G	0.479	LG-OptVu	0.490	Sam-GalS2P	0.309
HTC-Expl	<b>0.884</b>	LG-Prada	0.101	Sam-GalS4Min	<b>0.685</b>
HTC-Firs	0.101	Mot-ATRIX	0.424	Sam-GalS4Act	<b>0.698</b>
HTC-NexO	<b>0.802</b>	Mot-ATR4G	0.357	Sam-GalS3	<b>0.675</b>
HTC-IncrS	0.146	Mot-DEFY	<b>0.811</b>	Sam-GalS4	<b>0.847</b>
HTC-OneDS	<b>0.702</b>	Mot-DEFY+	<b>0.609</b>	Sam-GalXc	<b>0.727</b>
HTC-OneMax	<b>0.655</b>	Mot-DRPRO	0.417	Sam-GalXc2	0.428
HTC-One Min	<b>0.723</b>	Mot-MIL	<b>0.839</b>	Son-XperE	<b>0.785</b>
HTC-OneS	<b>0.766</b>	Mot-MIL2	<b>0.579</b>	Son-XperGo	<b>0.700</b>
HTC-OneX+	<b>0.743</b>	Mot-MOTO	<b>0.564</b>	Son-XperIon	0.374
HTC-Raid	0.351	Pan-Disc	<b>0.760</b>	Son-XperJ	<b>0.703</b>
HTC-Rhym	0.341	Sam-Exhib	<b>0.642</b>	Son-XperL	0.215
HTC-Sens	<b>0.576</b>	Sam-GalAce2	<b>0.821</b>	Son-XperM	0.133
HTC-Sens4G	<b>0.597</b>	Sam-GalAceP	<b>0.737</b>	Son-XperMir	<b>0.796</b>
HTC-SensXE	0.235	Sam-GalAce	<b>0.952</b>	Son-XperP	0.263
HTC-SensXL	0.255	Sam-GalExp	<b>0.705</b>	Son-XperPro	<b>0.549</b>
HTC-WildS	<b>0.937</b>	Sam-GalFame	<b>0.586</b>	Son-XperS	<b>0.535</b>
Hua-AscG510	0.474	Sam-GalFit	<b>0.829</b>	Son-XperSol	<b>0.530</b>
Hua-AscMate	<b>0.897</b>	Sam-GalGio	<b>0.867</b>	Son-XperSP	<b>0.718</b>
Hua-AscP2	0.231	Sam-GalGr	0.446	Son-XperT	<b>0.641</b>
Hua-AscP6	0.172	Sam-GalMeg5	<b>0.908</b>	Son-XperTip	<b>0.855</b>
Hua-Sonic	<b>0.781</b>	Sam-GalMeg6	<b>0.887</b>	Son-XperU	<b>0.658</b>
Hua-IDX5	<b>0.829</b>	Sam-GalMin2	<b>0.911</b>	Son-XperV	<b>0.829</b>
Hua-Honor	0.384	Sam-GalMin	<b>0.916</b>	Son-XperZ	<b>0.797</b>
LG-G2	<b>0.779</b>	Sam-GalNex	0.492	Son-XperZU	<b>0.737</b>
LG-Nex4	<b>0.641</b>	Sam-GalNot3	<b>0.760</b>	Son-XperZ1	<b>0.913</b>
LG-Opt2X	<b>0.798</b>	Sam-GalNot2	<b>0.867</b>	-	

## Apêndice 7:

Tabela 26 – Coordenadas da Projeção dos Pontos - 1/2 (Continua)

<b>Cód Smartphone</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>	<b>PC4</b>	
D1	Ace-Liq	-0.26944	0.09382	-0.04698	-0.01155
D2	App-iPH4	-0.04061	-0.10540	-0.16818	0.17739
D3	App-iPH4S	0.12188	-0.20985	-0.07919	-0.05055
D4	App-iPH5	0.25908	-0.32328	-0.08447	-0.09648
D5	App-iPH5C	0.22903	-0.21442	-0.02125	-0.08032
D6	App-iPH5S	0.36746	-0.34678	-0.11862	-0.08694
D7	HTC-DesHD	-0.08040	0.18048	-0.16293	-0.07415
D8	HTC-DesS	-0.14319	-0.00345	-0.07114	-0.02888
D9	HTC-DesX	-0.04732	-0.16130	0.10832	0.14701
D10	HTC-DesZ	-0.10361	0.15084	-0.07220	0.22380
D11	HTC-Evo3D	-0.01627	0.18315	-0.03056	0.03370
D12	HTC-Expl	-0.28238	-0.07478	0.10327	-0.00643
D13	HTC-NexO	-0.20811	0.04956	-0.17516	-0.03924
D14	HTC-OneDS	0.51392	-0.15565	-0.06291	-0.06704
D15	HTC-OneMax	0.48518	0.20413	0.19074	-0.02019
D16	HTC-One Min	0.17873	-0.15041	0.02722	-0.09396
D17	HTC-OneS	0.14157	-0.18750	0.02754	-0.05506
D18	HTC-OneX+	0.34627	-0.11715	0.01761	-0.14640
D19	HTC-Sens	-0.01258	0.10168	-0.12257	-0.06034
D20	HTC-Sens4G	0.06495	0.11886	-0.17631	0.16012
D21	HTC-WildS	-0.32139	-0.06004	-0.01439	-0.02753
D22	Hua-AscMate	0.42140	0.44869	0.29581	-0.07404
D23	Hua-Sonic	-0.26479	-0.02861	0.08121	-0.01136
D24	Hua-IDX5	-0.31836	0.21159	-0.18161	-0.05320
D25	LG-G2	0.49797	-0.08648	-0.08689	-0.01990
D26	LG-Nex4	0.27821	-0.01557	-0.04949	-0.06555
D27	LG-Opt2X	-0.08055	0.09166	-0.16410	-0.06281
D28	LG-Opt3D	-0.05720	0.23919	-0.15124	-0.04427
D29	LG-OptB1	-0.21061	-0.04365	-0.05019	-0.03942
D30	LG-OptG	0.35465	-0.02030	-0.06667	-0.00282
D31	LG-OptGP	0.53426	-0.00400	0.05840	0.02319
D32	LG-OptHub	-0.36283	0.17159	-0.15633	-0.04802
D33	LG-OptL3	-0.26382	-0.10532	0.17088	0.23350
D34	LG-OptL3II	-0.24423	-0.08191	0.28412	-0.00584
D35	LG-OptL5II	-0.10137	-0.19867	0.14674	0.02050
D36	LG-OptL7	-0.19909	-0.03950	0.12962	-0.03200
D37	LG-OptMe	-0.43837	0.02078	-0.01833	-0.00633
D38	LG-OptNet	-0.40169	0.08334	0.00636	-0.01681
D39	LG-OptOne	-0.26859	0.06933	0.00172	-0.02574
D40	Mot-DEFY	-0.27421	0.07110	-0.08593	-0.04743
D41	Mot-DEFY+	-0.18040	-0.01322	0.03574	-0.02297
D42	Mot-MIL	-0.19738	0.19527	-0.21243	0.18270
D43	Mot-MIL2	-0.08903	0.13546	-0.14826	-0.08504
D44	Mot-MOTO	-0.22419	-0.01486	0.06731	0.01776

Tabela 27– Coordenadas da Projeção dos Pontos - 2/2 (Final)

<b>Cód</b>	<b>Smartphone</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>	<b>PC4</b>
D45	Pan-Disc	0.28833	-0.08949	0.08739	-0.02244
D46	Sam-Exhib	-0.17025	-0.09644	0.02922	-0.00586
D47	Sam-GalAce2	-0.10210	-0.05879	0.02600	0.20662
D48	Sam-GalAceP	-0.16609	-0.10791	0.15292	0.02561
D49	Sam-GalAce	-0.32194	-0.01272	0.01767	-0.01914
D50	Sam-GalExp	0.03856	-0.04741	0.21047	-0.01558
D51	Sam-GalFame	-0.29890	0.02344	0.13175	0.07267
D52	Sam-GalFit	-0.40277	0.07783	-0.00940	-0.00239
D53	Sam-GalGio	-0.36730	-0.02607	-0.04873	-0.01685
D54	Sam-GalMeg5	0.33661	0.22366	0.30419	-0.04037
D55	Sam-GalMeg6	0.37586	0.35282	0.24379	-0.06827
D56	Sam-GalMin2	-0.27689	-0.08813	0.11280	-0.00443
D57	Sam-GalMin	-0.44831	0.03869	-0.04754	-0.02675
D58	Sam-GalNot3	0.65985	-0.00728	-0.01692	-0.02769
D59	Sam-GalNot2	0.51681	0.16849	0.14310	0.15292
D60	Sam-GalNot	0.34483	0.16913	0.13766	-0.08782
D61	Sam-GalS4Z	0.26723	0.34397	0.03142	0.26104
D62	Sam-GalYD	-0.41965	0.01101	0.00739	0.01496
D63	Sam-GalYP	-0.30157	-0.11460	0.13679	0.00884
D64	Sam-GalY	-0.41210	-0.09544	0.09187	-0.01422
D65	Sam-GalYg	-0.28754	-0.03233	0.21741	-0.00770
D66	Sam-GalS3Min	-0.04570	-0.11953	0.11619	-0.00828
D67	Sam-GalS	-0.15469	0.01343	-0.14246	-0.07844
D68	Sam-GalSA	-0.04340	-0.12430	0.03012	-0.05304
D69	Sam-GalS2	-0.10880	0.14931	-0.38690	-0.13695
D70	Sam-GalS4Min	0.14434	-0.14790	0.04215	0.19530
D71	Sam-GalS4Act	0.37156	-0.08197	-0.08131	0.01419
D72	Sam-GalS3	0.24087	-0.07872	0.02003	-0.09784
D73	Sam-GalS4	0.43216	-0.18201	-0.13310	0.06911
D74	Sam-GalXc	-0.40218	0.10584	-0.02721	0.21617
D75	Son-XperE	-0.19100	-0.10169	0.14392	-0.01646
D76	Son-XperGo	-0.21076	-0.11775	0.05468	0.06016
D77	Son-XperJ	-0.19183	-0.05910	0.10770	-0.01373
D78	Son-XperMir	-0.21760	-0.11473	0.16166	-0.01118
D79	Son-XperPro	-0.06811	0.05604	-0.10766	-0.03321
D80	Son-XperS	0.24032	-0.03921	-0.11127	-0.10208
D81	Son-XperSol	-0.17079	-0.13875	-0.01273	-0.03915
D82	Son-XperSP	0.22695	-0.00195	0.07278	-0.03711
D83	Son-XperT	0.23808	-0.04447	-0.07805	0.03683
D84	Son-XperTip	-0.25424	-0.12028	0.15595	0.02770
D85	Son-XperU	-0.16300	-0.14455	-0.02068	-0.02369
D86	Son-XperV	0.18116	-0.03544	-0.14278	0.33903
D87	Son-XperZ	0.38847	-0.16516	-0.08914	-0.00794
D88	Son-XperZU	0.47863	0.16773	0.00231	-0.05242
D89	Son-XperZ1	0.64562	-0.09320	-0.10451	0.40597

## Apêndice 8:

Tabela 28 – Smartphones contidos em cada agrupamento

Grupo	Ponto	Smartphone	Grupo	Ponto	Smartphone
1	D9	HTC-DesX	5	D3	App-iPH4S
1	D12	HTC-Expl	5	D4	App-iPH5
1	D23	Hua-Sonic	5	D5	App-iPH5C
1	D33	LG-OptL3	5	D6	App-iPH5S
1	D34	LG-OptL3II	5	D16	HTC-One Min
1	D35	LG-OptL5II	5	D17	HTC-OneS
1	D36	LG-OptL7	5	D18	HTC-OneX+
1	D41	Mot-DEFY+	5	D26	LG-Nex4
1	D44	Mot-MOTO	5	D30	LG-OptG
1	D46	Sam-Exhib	5	D45	Pan-Disc
1	D47	Sam-GalAce2	5	D70	Sam-GalS4Min
1	D48	Sam-GalAceP	5	D71	Sam-GalS4Act
1	D50	Sam-GalExp	5	D72	Sam-GalS3
1	D56	Sam-GalMin2	5	D73	Sam-GalS4
1	D63	Sam-GalYP	5	D80	Son-XperS
1	D65	Sam-GalYg	5	D82	Son-XperSP
1	D66	Sam-GalS3Min	5	D83	Son-XperT
1	D68	Sam-GalSA	5	D86	Son-XperV
1	D75	Son-XperE	5	D87	Son-XperZ
1	D76	Son-XperGo	7	D14	HTC-OneDS
1	D77	Son-XperJ	7	D25	LG-G2
1	D78	Son-XperMir	7	D31	LG-OptGP
1	D81	Son-XperSol	7	D58	Sam-GalNot3
1	D84	Son-XperTip	7	D88	Son-XperZU
1	D85	Son-XperU	7	D89	Son-XperZ1
3	D1	Ace-Liq	8	D2	App-iPH4
3	D21	HTC-WildS	8	D7	HTC-DesHD
3	D29	LG-OptBl	8	D8	HTC-DesS
3	D32	LG-OptHub	8	D10	HTC-DesZ
3	D37	LG-OptMe	8	D11	HTC-Evo3D
3	D38	LG-OptNet	8	D13	HTC-NexO
3	D39	LG-OptOne	8	D19	HTC-Sens
3	D40	Mot-DEFY	8	D20	HTC-Sens4G
3	D49	Sam-GalAce	8	D24	Hua-IDX5
3	D51	Sam-GalFame	8	D27	LG-Opt2X
3	D52	Sam-GalFit	8	D28	LG-Opt3D
3	D53	Sam-GalGio	8	D42	Mot-MIL
3	D57	Sam-GalMin	8	D43	Mot-MIL2
3	D62	Sam-GalYD	8	D67	Sam-GalS
3	D64	Sam-GalY	8	D69	Sam-GalS2
3	D74	Sam-GalXc	8	D79	Son-XperPro
4	D15	HTC-OneMax			
4	D22	Hua-AscMate			
4	D54	Sam-GalMeg5			
4	D55	Sam-GalMeg6			
4	D59	Sam-GalNot2			
4	D60	Sam-GalNot			
4	D61	Sam-GalS4Z			