

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC**

**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**JEISON CLEITON PANDINI**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA BASEADO  
NA TECNOLOGIA NFC EM TELEFONES INTELIGENTES**

**CRICIÚMA**

**2014**

**JEISON CLEITON PANDINI**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA BASEADO  
NA TECNOLOGIA NFC EM TELEFONES INTELIGENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção de grau de Bacharel no curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Esp. Gilberto Vieira da Silva

**CRICIÚMA**

**2014**

**JEISON CLEITON PANDINI**

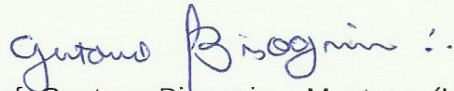
**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA BASEADO  
NA TECNOLOGIA NFC EM TELEFONES INTELIGENTES**


Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Desenvolvimento em Dispositivos Móveis.

Criciúma, 27 de junho de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Gilberto Vieira da Silva – Especialista – (UNESC) – Orientador

  
Prof. Gustavo Bisognin – Mestre – (UNESC)

  
Prof. Fabrício Giordani – Especialista – (UNESC)

**Dedicado a todos que não acreditam em destino e mesmo em desanimo, não desistem.**

## AGRADECIMENTOS

Por um longo tempo eu pensei nas pessoas que me ajudaram na realização deste trabalho e muito tempo venho anotando em pequenos bilhetes tudo aquilo gostaria de dizer a elas, que reúno nesta página. O primeiro a quem agradeço é o professor Gilberto, cuja me orientou de uma forma que sempre estive à vontade para construir o meu trabalho. Guiou-me e advertiu nos momentos certos, sempre mantendo a confiança no projeto mesmo em seus momentos mais difíceis. Agradeço sua disponibilidade e prontidão desde o momento que apresentei a ideia até a sua realização.

Agradeço também a minha família: meu pai Jaci, minha mãe Jucélia, minha irmã Jaqueline e meu irmão Jean. Mesmo que vocês talvez não tenham me acompanhado diariamente em função da nossa distância urbana (com exceção ao Jean), tenho certeza que torceram por mim e se preocuparam por mim. Independente de tudo, a importância de vocês é clara e ao meu irmão agradeço pelos conselhos e suporte mais incisivos na construção deste trabalho.

Não esqueço também dos amigos e colegas profissionais do Curso de Medicina, Elisandra, Giovana e Laênio que me acompanharam nesta pesquisa, sempre receptivos aos meus pedidos de folga para seu desenvolvimento. Também agradeço pelo tempo em que minha mente perdia um pouco o foco no trabalho em função do TCC e vocês souberam compreender isso. Aproveito para fazer jus a vibração dos novos colegas de trabalho e amigos do Departamento de TI, Fabrício, Jovana e Marcelo, quanto a aprovação do meu trabalho de conclusão.

Por fim, porém não menos importantes, quero agradecer a três caras que apareceram na minha vida. Também quero lembrar do Allan, que teve invejável coragem de num final de curso ir complementar sua graduação fora do país. Mas estes três caras me mostraram, como eu jamais possa ter percebido, o que é a definição de amigo, cuja não vai ser encontrada em nenhum dicionário que possa vir a ser escrito. Alisson, Ramon, William: vocês são amizade sincera, a ponto de profundamente me emocionar enquanto escrevo estas linhas.

Da vida não peço nada, nada além de nos manter vivos e próximos o bastante para podermos desfrutar dessa amizade pelo tempo que ela nos permitir.

**“Ninguém é mais escravo do que aquele  
que se julga livre sem o ser.”**

**Johann Goethe**

## RESUMO

Diversos serviços do cotidiano incluem no seu processo de utilização um documento comprovador de que o usuário tem direito a seu consumo, documento este chamado bilhete. No início, os bilhetes eram emitidos apenas em papel, trazendo consigo vários problemas na gestão destes títulos, tanto para o usuário quanto para o emissor do bilhete. Com o passar dos anos, vários métodos digitais foram desenvolvidos para suprir estas deficiências, cada um utilizando tecnologias diferentes. Entre estas múltiplas tecnologias, o *Near Field Communication* destaca-se como uma opção de uso simples e intuitiva ao usuário, bastando aproximar dois dispositivos para obter uma transmissão de dados sem fio de curto alcance. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de bilhetagem eletrônica, baseado no uso de dispositivos móveis como meio de armazenamento e utilização de bilhetes, através da tecnologia de transmissão de dados NFC. Este sistema foi composto de três componentes: uma aplicação para o usuário consumidor do serviço, uma aplicação para o usuário responsável pela validação dos bilhetes e um *web service* que consolida os bilhetes adquiridos e utilizados. A implementação das aplicações foi realizada através do kit de desenvolvimento da plataforma Android, sendo que os testes foram executados em emuladores. Para que a transferência via NFC fosse possível neste ambiente, a camada de software Open NFC também foi utilizada. Em outra via, o *web service* teve seu desenvolvimento em linguagem Java e com os componentes do seu kit de desenvolvimento padrão. O sistema construído permite que o usuário cliente possa comprar novos bilhetes, sincronizar sua base de bilhetes local com o servidor e utilizar os bilhetes propriamente ditos. Ele pode selecionar entre vários tipos de bilhetes de diferentes serviços em uma só aplicação e transferir através de NFC. A aplicação do usuário emissor recebe este bilhete, valida junto ao *web service* e retorna uma resposta ao mesmo, permitindo também que as informações sejam atualizadas após o uso. Por meio deste sistema pode-se constatar que o uso dos dispositivos móveis agrega várias vantagens a bilhetagem eletrônica em relação a outros métodos praticados atualmente. O emprego do NFC potencializa ainda mais o processo, pois cria um cenário de fácil utilização do usuário, permitindo um uso do sistema com maior naturalidade.

**Palavras-chave:** Sistemas de bilhetagem. *Mobile ticketing*. NFC. Dispositivos móveis. Plataforma Android.

## ABSTRACT

Various services include in your everyday process of using one corroborative document the user is entitled to its use, the document called ticket. At the beginning, the tickets were issued only on paper, bringing several problems in managing these tickets, both for the user and for the issuer of the ticket. Through the years, several digital methods have been developed to remedy these deficiencies, each using different technologies. Among these multiple technologies, Near Field Communication stands out as an option to use simply and intuitive to the user, just by bringing two devices for wireless data transmission in short range. In this way, the objective of this study was to develop an electronic ticketing system based on the use of mobile devices as a means of storage and use of tickets, through the transmission of data NFC technology. This system was composed of three components: an application for the consumer service user, an application for the user responsible for the validation of tickets and a web service that consolidates tickets purchased and used. The implementation of the applications was done using the Android platform development kit, and the tests were run on emulators. In order for transfer via NFC be possible in this environment, the NFC Open layer software was also used. In addition, to the web service had its development in Java language and the components of your standard development kit. The built system allows the client user can buy new tickets, synchronize your local base tickets with the server and use the tickets themselves. The user can choose between several types of tickets of different services in a single application and transfer through NFC. The application of the issuer receives this ticket, valid by the web service and returns a response to it, also allowing the information to be updated after use. Through this system can be seen that the use of mobile devices brings several advantages to electronic ticketing in relation to other methods currently practiced. The use of NFC enhances even more the process, it creates a scenario easy to use by the user, allowing use of the system more naturally.

**Keywords:** E-ticket system. *Mobile ticketing*. NFC. Mobile devices. Android Plataform.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura de um cartão de banda magnética.....	17
Figura 2 – Estrutura dos smart cards com contato e sem contato.....	17
Figura 3 – Validação de SMS/MMS na entrega de bilhetes em códigos de barra.....	19
Figura 4 – Tecnologias de transmissão de dados em telefones celulares.....	20
Figura 5 – Elementos básicos de um sistema RFID.....	21
Figura 6 – Interação transceptor e transpondedores ativos e passivos.....	22
Figura 7 – Derivação do Near Field Communication.....	24
Figura 8 – Elementos básicos em uma comunicação via NFC.....	25
Figura 9 – Estrutura de uma NFC tag.....	26
Figura 10 – Funcionamento dos modos P2P, leitura e emulação de cartões.....	27
Figura 11 – Arquitetura do Android.....	30
Figura 12 – Ciclo de vida de uma Activity.....	36
Figura 13 – AVD Manager e dispositivos virtuais Open NFC.....	45
Figura 14 – NFC Simulator.....	46
Figura 15 – LogCat.....	47
Figura 16 – Modelo conceitual do sistema NFCBilhete.....	48
Figura 17 – Diagrama de casos de uso.....	49
Figura 18 – Estrutura de classes das aplicações.....	50
Figura 20 – Implementação da interface CreateNdefMessageCallback.....	53
Figura 21 – Criação de uma mensagem NDEF.....	53
Figura 22 – Configuração do manifesto de NFCBE.....	54
Figura 23 – Métodos de recebimento de mensagem.....	55
Figura 24 – Estrutura de classes em NFCBWS.....	56
Figura 25 – Tela inicial NFCBC.....	57
Figura 26 – Compra e sincronização de bilhetes.....	58
Figura 27 – Seleção para envio de bilhete.....	58
Figura 28 – Simulação de toque de dispositivos no Open NFC.....	59
Figura 29 – Interface Touch to Beam.....	60
Figura 30 – Tela inicial do NFCBE.....	60
Figura 31 – Resposta da validação de bilhete.....	61
Figura 32 – Esquema de interação entre os componentes do sistema.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quatro possíveis componentes numa aplicação Android.....	38
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3-DES	<i>Triple Data Encryption Standard</i>
ADT	<i>Android Developer Tools</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
API	<i>Application Programming Interfaces</i>
AVD	<i>Android Virtual Device</i>
EMCA	<i>European Computer Manufacturers Association</i>
EMS	<i>Enhanced Messaging Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
ID	<i>Identificação Digital</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IFF	<i>Identify Friend or Foe</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
J2ME	<i>Java Micro Edition</i>
MIME	<i>Multipurpose Internet Mail Extensions</i>
MMS	<i>Multimedia Messaging Service</i>
NDEF	<i>NFC Data Exchange Format</i>
NDK	<i>Native Development Toolkit</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
NFCBC	<i>NFCBilhete Cliente</i>
NFCBE	<i>NFCBilhete Emissor</i>
NFCBWS	<i>NFCBilhete Web Service</i>
OHA	<i>Open Handset Alliance</i>
P2P	<i>Peer-to-peer</i>
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SIM	<i>Subscriber identity module</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>

SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
URI	<i>Uniform resource identifier</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1 OBJETIVO GERAL.....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.3 JUSTIFICATIVA.....	10
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
<b>2 SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA.....</b>	<b>13</b>
2.1 E-TICKETING.....	14
2.2 COMERCIALIZAÇÃO DE BILHETES ELETRÔNICOS.....	15
2.3 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE BILHETES.....	16
2.4 MOBILE TICKETING.....	18
<b>3 TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE DISPOSITIVOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION.....	21
3.2 NEAR FIELD COMMUNICATION.....	23
<b>4 TECNOLOGIA EMBARCADA EM TELEFONES INTELIGENTES.....</b>	<b>29</b>
4.1 ANDROID.....	29
<b>4.1.1 Arquitetura.....</b>	<b>30</b>
4.1.1.1 Kernel Linux.....	31
4.1.1.2 Bibliotecas.....	31
4.1.1.3 Android Runtime.....	32
4.1.1.4 Framework de Aplicação.....	33
4.1.1.5 Camada de Aplicação.....	34
<b>4.1.2 Componentes das aplicações.....</b>	<b>34</b>
4.2 DESENVOLVIMENTO NFC NA PLATAFORMA ANDROID.....	37
<b>5 TRABALHOS CORRELATOS.....</b>	<b>38</b>
5.1 O TELEMÓVEL COMO BILHETE ELECTRÔNICO.....	38
5.2 USE OF NFC AND QR CODE IDENTIFICATION IN AN ELECTRONIC TICKET SYSTEM FOR PUBLIC TRANSPORT.....	39
5.3 PROTOTYPE OF TRAIN TICKETING APPLICATION USING NEAR FIELD COMMUNICATION (NFC) TECHNOLOGY ON ANDROID DEVICE.....	40
5.4 NFC TICKETING: A PROTOTYPE AND USABILITY TEST OF AN NFC-BASED VIRTUAL TICKETING APPLICATION.....	41
<b>6 SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA BASEADO NA TECNOLOGIA NFC.....</b>	<b>43</b>

6.1 METODOLOGIA.....	43
<b>6.1.1 Estudo das Ferramentas Utilizadas.....</b>	<b>44</b>
<b>6.1.2 Modelagem conceitual.....</b>	<b>47</b>
6.2 IMPLEMENTAÇÃO.....	49
<b>6.2.1 Classes comuns.....</b>	<b>50</b>
<b>6.2.2 NFCBilhete Cliente.....</b>	<b>51</b>
<b>6.2.3 NFCBilhete Emissor.....</b>	<b>54</b>
<b>6.2.4 NFCBilhete Web Service.....</b>	<b>56</b>
<b>6.2.5 Funcionamento do sistema.....</b>	<b>56</b>
6.3 RESULTADOS OBTIDOS.....	62
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais convivemos num mundo onde a computação é um meio facilitador de nossas tarefas diárias. Esta tendência é catalisada pela popularização dos dispositivos móveis como os *tablets* e *smartphones*, que além de desempenharem suas funções convencionais, eles também armazenam inúmeros dados pessoais, sejam fotos, músicas, e-mails ou acesso a contas bancárias e outros serviços.

Grande parte dos serviços que utilizamos hoje necessitam de um comprovante, um elemento que certifique que o seu portador está apto a recebê-los, o que também é conhecido por bilhete. A maioria dos sistemas de bilhetagem a nível global são titulados via bens físicos, seja via cartão ou papel impresso, o que acarreta a dependência física entre bilhete e titular. Acompanhando a era digital, os bilhetes começaram a tornarem-se mais eletrônicos, beneficiando emissor e receptor de inúmeras formas (CHAVES, 2009).

Múltiplas formas de armazenamento digital surgiram com o objetivo de trazer os bilhetes para dentro dos dispositivos móveis, inicialmente com o uso de mensagens de texto, códigos de barras, *smart cards*, contudo uma tecnologia vem se destacando: a *Near Field Communication* (NFC). O NFC não é inteiramente novo, pois desenvolve a *Radio Frequency Identification* (RFID) apenas de uma forma mais inteligente. Ao contrário do RFID, este se comunica em pequenas distâncias e inerentemente fornece transações seguras e confiáveis (GRATTON, 2007, tradução nossa).

Este trabalho desenvolve a proposta da utilização telefones inteligentes dotados de NFC como meio de transmissão e armazenamento do bilhete eletrônico, através do desenvolvimento de um sistema baseado em aplicativos móveis. Com uma aplicação rodando no telefone do usuário, e outra no dispositivo do prestador de serviço, a validação dos títulos é realizada com auxílio de um *web service*, sendo que os bilhetes são transmitidos via NFC, permitindo o uso destes dispositivos como se mesmos fossem os próprios bilhetes.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de bilhetagem eletrônica utilizando a tecnologia de transferência de dados em campo próximo embarcada em telefones inteligentes.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dado o objetivo geral, com a elaboração do trabalho procura atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) estudar e analisar os atuais sistemas de bilhetagem;
- b) estudar e compreender o funcionamento da tecnologia NFC;
- c) desenvolver uma aplicação móvel cliente para uso nos procedimentos bilhetagem na plataforma Android;
- d) desenvolver uma aplicação móvel emissora para a validação de bilhetes na plataforma Android;
- e) realizar simulações e testes a fim de obter conclusões sobre o modelo proposto.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Visualizado o problema levantado, os aprimoramentos em sistemas de bilhetagem eletrônica se fazem necessários, sendo que nem todos os modelos atuais têm contingências a erros, fraudes, segurança, agilidade e outros tipos de problemas no processo. Como o bilhete, em sua forma física ou digital, está inserido no cotidiano de bilhões de pessoas, olhar por essa questão é primordial, e buscar soluções diferenciadas se faz necessário.

De encontro ao discutido na definição do problema, os sistemas de bilhetagens vigentes tem em vários pontos algumas deficiências, como a inviabilidade de recuperação de bilhetes perdidos, ou roubados, e bem como dificuldade de prever utilizações não autorizadas. Através de modelos de comunicação remota, um controle mais eficaz pode ser concebido, além de adicionalmente possibilitar a troca de informações úteis para utilizador final, como o mapa da linha de ônibus utilizada ou a programação de um espetáculo quando o bilhete é adquirido pelo titular (CHAVES, 2009).

O mercado atual nos mostra que os cartões sem contato já estão inseridos em vários ambientes no cenário mundial: saúde, financeiro, governo, recursos humanos, transporte, e outrem (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011, tradução nossa). Em todo caso, os cartões sem contato (também chamados de *contactless smart cards*) abriram o caminho para a utilização do NFC, visto que os mesmos são especificados pela ISO/IEC 14443, cuja alguns dispositivos móveis também podem emular. Logo, isto permite a retrocompatibilidade entre os sistemas atuais, utilizando infraestruturas estabelecidas, reduzindo custos de adaptação a nova solução proposta (CHAVES, 2009).

No Brasil, assim como no mundo, a quantidade de aparelhos dotados desta tecnologia aumenta constantemente, embalados pelo uso das fabricantes de telefones no entretenimento e pareamento de acessórios com um toque (substituindo o massivo sistema de autorização do Bluetooth). A estimativa global de telefones NFC vendidos em 2008 é de 134 milhões, podendo atingir 860 milhões até 2018 (DAS, 2008, tradução nossa).

Em Hong Kong no ano 1997 um sistema semelhante foi implementado, utilizando a tecnologia NFC e como meio de armazenamento os cartões sem contato. O sistema de transporte público da cidade atendia mais de 7 milhões de transações diárias, mostrando-se um grande exemplo do vasto campo para o uso de aplicações NFC e a importância de sua utilização (MUELLER, 2005, tradução nossa). A abordagem pretendida nesta pesquisa exerce aprimoramentos nos sistemas de bilhetagem através do uso dos telefones inteligentes como meio de armazenamento e transmissão do bilhete digital. Nestes dispositivos, o processo de uso dos bilhetes torna-se mas simples e rápido: basta aproximar os aparelhos para efetuar a utilização dos mesmos. A compra remota de bilhetes ou serviços agregados a ele é possível, já que os *smartphones* possuem tais capacidades de conexões a rede (DAS, 2008, tradução nossa).

Em relação ao problema de deterioração dos bilhetes físicos, o armazenamento num dispositivo do tipo o elimina, já que os dados podem ser transferidos para outro aparelho, além de que a vida útil destes dispositivos costuma ser longa (DAS, 2008, tradução nossa).

As questões relacionadas a segurança também superam as limitações dos métodos físicos, visto que os próprios aparelhos já possuem métodos de

bloqueio e proteção. O tipo de transmissão de NFC estende esta segurança, uma vez que as transmissões só atingem uma dispersão de área muito pequena.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório, contendo a descrição do problema, objetivos e justificativa, o presente trabalho está organizado em mais 6 capítulos. No capítulo 2 foram estudados os conceitos sobre os sistemas de bilhetagem eletrônica, o surgimento de *e-ticketing*, as formas de armazenamento e comercialização atual dos bilhetes e o *mobile ticketing*.

A discussão sobre as tecnologias de transmissão de dados entre dispositivos inteligentes foram reservadas ao capítulo 3. Neste mesmo capítulo exploraram-se as tecnologias RFID e NFC. Partindo do RFID, definindo as características básicas, seguiu-se para o NFC, traçando relacionamento entre suas semelhanças e diferenças.

No capítulo de número 4, foram fundamentados os aspectos sobre a tecnologia embarcada em telefones inteligentes, onde predominou a pesquisa sobre a plataforma móvel Android. Detalhes sobre sua arquitetura, camada a camada, núcleo, bibliotecas, o desenvolvimento NFC na plataforma e outros dados para fomentar a implementação estão contidos nesta capítulo.

Em pesquisa, alguns trabalhos semelhantes ao proposto neste foram encontrados e discutidos no capítulo 5. Estes trabalhos correlatos são compostos de uma dissertação de mestrado e artigos científicos publicados em eventos internacionais. Pode-se aqui obter uma visão do desenvolvimento de outras pesquisas nesta área.

Entrando no capítulo 6, todo o desenvolvimento é descrito, definindo as etapas metodológicas do processo, como o estudo de ferramentas e a modelagem do sistema implementado. Consecutivamente, os detalhes da codificação realizada foram expostos no subitem implementação, passando pelo fluxo do sistema e resultados.

Realizando o fechamento deste, no capítulo 7 descreveram-se todas as considerações finais e raciocínios sobre todo o conteúdo tratado e compilado durante a realização do Trabalho de Conclusão de Curso.

## 2 SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA

A definição de um bilhete está inserida de uma forma em nosso cotidiano que, por muitas vezes, sua existência e percepção passam desapercibidas. Manipulamos bilhetes diariamente quando tomamos um ônibus, assistimos a um filme no cinema, ingressamos em uma fila de banco, na utilização de vale-alimentação, no consumo de produtos, na entrada de eventos, entre outros exemplos. São inúmeros os momentos e ambientes que o conceito do bilhete está inserido.

Segundo o Dicionário Aurélio, Ferreira (1988), o substantivo Bilhete pode ser definido como uma senha de admissão em espetáculos, reuniões, etc. A definição do dicionário online Dictionary.com (2013, tradução nossa) pode se encaixar ainda melhor neste contexto: uma tira estreita de papel, geralmente de papel ou papelão, servindo como prova de que o titular tenha pago a tarifa ou admissão ou tem direito a algum serviço.

Atualmente, o uso dos bilhetes titulados por papel impresso ou cartão é uma prática prevalente. Esta forma de condiciamento dos títulos, além de gerar um grande volume de papel nas transações, não é então uma solução ecologicamente aceitável, visto que eleva o consumo dos recursos de papel (KAMALESH et al., 2011, tradução nossa).

Somado a este ponto está a dependência física que o método gera a seus portadores e também a mesma dependência na distribuição dos mesmos. Este modelo possui a necessidade da criação e distribuição geográfica de postos de venda de bilhetes (seja em pequena ou grande escala), pois em cenários de afluência de usuários, filas são geradas, podendo até mesmo influir negativamente no consumo do serviço (CHAVES, 2009).

Outra questão que surge automaticamente é o controle do número de títulos envolvidos e também a gestão eficiente dos mesmos, sendo que nos meios basados em títulos físicos, medidas contra o roubo, a perda, uso não-autorizado ou indevido, não se encontram disponíveis neste tipo de sistema de bilhetagem. Em alguns casos apenas existe a identificação do titular, para que lhe seja restituído o valor ou um novo bilhete (CHAVES, 2009).

Com o passar dos anos, graças a evolução do uso de computadores no controle de sistemas tradicionais, houve uma gradual transição entre os bilhetes

emitidos tão somente em papel, em favor aos métodos de armazenamento e uso em formato digital (GHIRON et al., 2009, tradução nossa). Neste ponto, sistemas que façam controle destes títulos de forma digital se fazem importantes, sendo estes classificados como Sistemas de Bilhetagem Eletrônica.

## 2.1 E-TICKETING

O *E-ticketing*, termo utilizado na língua inglesa para o tema, é um sistema ou aplicação cuja tem objetivo principal a geração e venda de bilhetes eletrônicos. Consumidores podem reservar ou comprar bilhetes online, e imprimir os títulos em sua própria impressora, podendo usar os impressos para a validação no serviço a ser utilizado. Este tipo de sistema também pode ser integrado a um sistema de banco ou cartão de crédito existente, através de sistemas de pagamento (ABDUL HAMID; AL A'ZHIM; YAP, 2012, tradução nossa).

Sistemas de Bilhetagem Eletrônica permitem também que se possam comprar novos bilhetes e armazená-los em um só cartão. É possível que os usuários realizem a compra através de seus celulares, permitindo também aos prestadores de serviços os registros das operações de compra, bem como das operações de uso dos bilhetes, o que pode ser grande ajuda para o planejamento futuro de recursos disponibilizados (NEEFS et al., 2010, tradução nossa).

Um *e-ticket* oferece muitas vantagens e, em linhas gerais, inclui mais segurança, flexibilidade e conveniência em relação ao método tradicional, preservando as características do mesmo. Além das informações do bilhete em si, outras também podem ser integradas, como atualizações, alterações ou cancelamento dos serviços prestados (como um bilhete de voo, por exemplo), em tempo real (CROSBY, 2013, tradução nossa).

Em contrapartida, *e-tickets* também podem ter algumas desvantagens. Um problema nos servidores dos sistemas de bilhetagem, afetando o serviço ou a base de dados, podem causar transtornos ao consumidor, devido dependência gerada por tais recursos eletrônicos. Por mais que a maioria das redes tenham sistemas de backup para evitar este tipo de ocorrência e a impressão dos bilhetes eletrônicos possa proteger contra isso, é uma possibilidade ainda existente (CROSBY, 2013, tradução nossa).

Embora existam riscos, como qualquer solução computacional, os bilhetes eletrônicos são confiáveis e largamente difundidos, podendo ser utilizados em múltiplos campos, através de aplicações para venda de títulos para transporte público, estacionamento, eventos esportivos, concertos e shows (ABDUL HAMID; AL A'ZHIM; YAP, 2012, tradução nossa). Entretanto não fica limitada a estes, pois situações que envolvem a reserva e pré-venda de atividades que requerem autorização e validação dos indivíduos envolvidos, podem ser assessoradas através deste tipo de sistema (GOHEEN, 1998, tradução nossa).

## 2.2 COMERCIALIZAÇÃO DE BILHETES ELETRÔNICOS

Um dos primeiros segmentos a focar a utilização de bilhetes digitais foi o setor de aviação. Em 1994, Joel R. Goheen deu entrada no registro de uma patente que descrevia um sistema de bilhetagem eletrônica para o setor, detalhando a sistematização do processo desde a compra do bilhete até o seu efetivo uso. Tal registro somente fora efetivado sob o número 5,724,520 em Março de 1998 (GOHEEN, 1998, tradução nossa).

No texto da patente, Goheen idealiza que o cliente efetuará a compra através de seu cartão de crédito e o número da reserva seria imitado por um computador. Ainda neste modelo, o passageiro receberia um cartão plástico com uma Identificação Digital (ID), podendo este consultar via computador informações sobre o seu voo, tais como o portão, hora, etc. Junto ao portão, a companhia aérea contaria com um laptop conectado uma rede de telefonia celular e um leitor de cartões magnéticos para validar a passagem (GOHEEN, 1998, tradução nossa).

Em Junho de 2004, os sistemas de bilhetagem eletrônica foram definidos como padrão internacional para a aviação, norma expedida pela *International Air Transport Association* (IATA). O prazo para alcançar tal meta fora estipulado em 4 anos e em 2008 todos os bilhetes emitidos no mundo eram digitais. Este fato proporcionou a indústria a economia de até 3 bilhões de dólares por ano, além da conveniência aos passageiros que não tiveram que se preocupar mais sobre perder os seus bilhetes (IATA, 2013, tradução nossa).

Contudo, o uso de bilhetagem eletrônica não fica restrito ao setor de aviação e sua aplicabilidade é extensa. Um bom exemplo no transporte ferroviário é a *National Railroad Passenger Corporation* (Amtrak), empresa dos Estados Unidos

fundada em 1971. Desde 1997 a Amtrak oferece reserva online de passagens, permitindo que o cliente imprima em casa, em quiosques específicos, ou receba digitalmente seu bilhete (via e-mail ou aplicativo) para posterior validação (AMTRAK, 2013, tradução nossa).

Outro caso que podemos citar é nacional, a SPTrans. A empresa de planejamento de transporte público de São Paulo, é um dos maiores projetos de transporte no Brasil e na América Latina. Com uma das redes mais movimentadas no mundo, servindo 6 milhões de passageiros por dia, a SPTrans utiliza o sistema de bilhetagem eletrônica chamado Bilhete Único, baseado em cartões sem contato. Os primeiros cartões foram emitidos em 2002, e atualmente mais de 5 milhões deste já foram ativados. Devido ao sucesso do sistema de ônibus, a partir de 2005 o mesmo serviço foi adotado nos metrô paulistas (GEMALTO, 2009, tradução nossa).

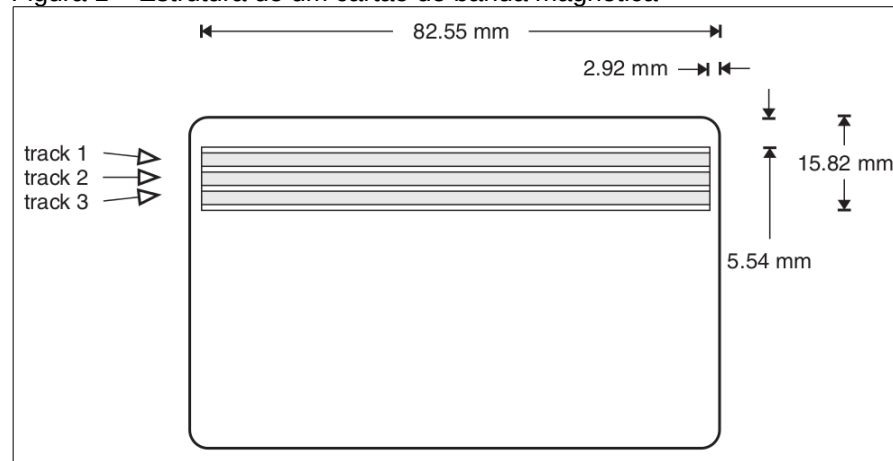
### 2.3 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE BILHETES

Como previamente introduzido nestes históricos, os bilhetes eletrônicos possuem vários modelos de armazenamento. Uma das formas mais habituais de portar e utilizar os bilhetes no dia a dia é através de cartões, sendo subdivididos em cartões de banda magnética, *smart cards* com contato e *smart cards* sem contato.

Os cartões de banda magnética, geralmente fabricados em plástico, possuem uma listra escura em sua parte posterior que caracterizam este tipo, cuja é composta de três faixas magnéticas. Especificados pela norma ISO/IEC 7811, estes cartões permitem a leitura e gravação de dados na faixa 3, sendo as faixas 1 e 2 são direcionadas apenas para leitura (*read-only*), como pode ser observado na figura 1 em sequência (RANKL; EFFING, 2010, tradução nossa).

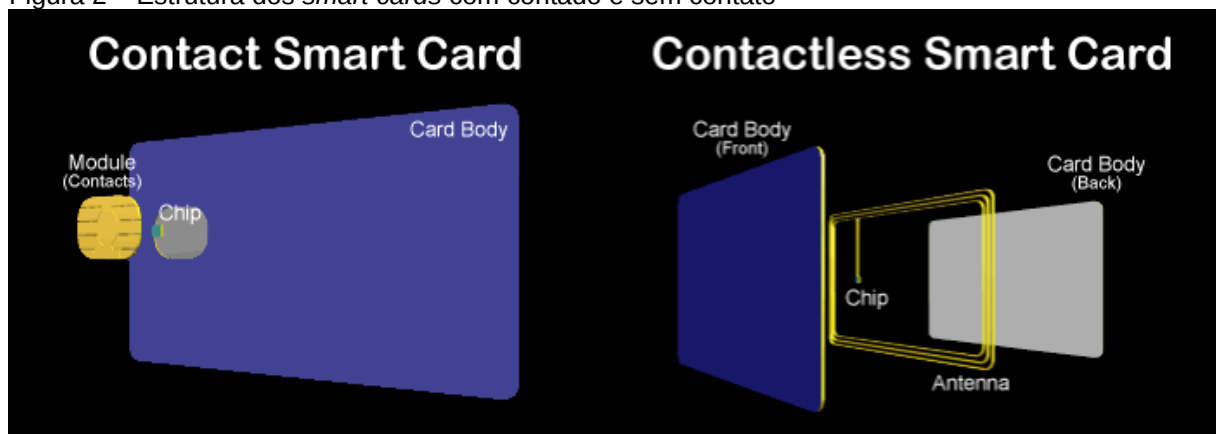
Estes se dividem em dois tipos: Banda Magnética de Alta Coercividade (Hico) e Baixa Coercividade (Loco). O tipo Hico confere uma maior segurança dos dados codificados, pois possui um campo magnético de maior intensidade, acarretando maior durabilidade e confiabilidade, sendo recomendado para usos frequentes. Inversamente, o tipo Loco possui menor intensidade de tal campo, sendo direcionados para aplicações que exigem menor segurança e longevidade, como em cartões de ofertas e de quartos de hotel (ACTIVECARD, 2011).

Figura 1 – Estrutura de um cartão de banda magnética



Fonte: Rankl e Effing, (2010).

Outra categoria de cartões mais recentes são os *smart cards*, cuja podem conter componentes para armazenar, transmitir ou mesmo processar dados. Uma das grandes vantagens neste tipo de cartão é possibilidade de proteger os dados armazenados contra acesso e manipulação não autorizada, através de mecanismos de software e hardware. Tal categoria é especificada pela família ISO/IEC 7816, sendo distintos em cartões de memória e cartões de microprocessadores (pela funcionalidade), e com ou sem contato (pelo meio de transmissão de dados) (RANKL; EFFING, 2010, tradução nossa). A estrutura física destes cartões pode ser analisada na figura 2.

Figura 2 – Estrutura dos *smart cards* com contato e sem contato

Fonte: Smart Card Alliance (2013).

Cartões de transmissão com contato, realizam a troca de dados através de áreas que necessitam entrar em contato físico com o dispositivo de leitura/gravação, enquanto os sem contato realizam essa comunicação com o

equipamento através de campos eletromagnéticos. Neste último, bastando aproximar o dispositivo e o cartão a uma distância de até 10 cm, a comunicação será realizada (RANKL; EFFING, 2010, tradução nossa).

Por mais que estes tenham sido exemplos mais digitais do bilhete, eles ainda padecem de alguns mesmos problemas dos bilhetes de papel, destacando a problemática da dependência estabelecida entre o titular e seu cartão. Neste ponto é que surge como alternativa o armazenamento dos bilhetes em dispositivos móveis, o *Mobile Ticketing*.

## 2.4 MOBILE TICKETING

A Bilhetagem Móvel (ou *Mobile Ticketing*) tipicamente é caracterizada pelo processo de requisição, geração, transformação e validação executadas usando um dispositivo móvel. Os parâmetros que definem um bilhete podem ser definidos por três pontos: a informação do próprio; a forma digital que esta informação é modelada (uma *string* ou elemento gráfico); e a tecnologia de entrega. Dentre estas tecnologias se destacam o *Short Message Service* (SMS), *Enhanced Messaging Service* (EMS), *Multimedia Messaging Service* (MMS), *Wireless Application Protocol* (WAP), RFID, código de barras e mais recentemente o NFC (SKARICA; BELANI; ILLES, 2009, tradução nossa).

Quando conectado a Internet, o usuário pode até mesmo comprar bilhetes pelo próprio telefone e instantaneamente receber pelo mesmo aparelho. A segurança pode ser melhor trabalhada, podendo o bilhete possuir alguma informação do seu proprietário, proteção, cuja pode proporcionar a reemissão do mesmo em caso de problema técnico ou logístico (ROOS, 2013, tradução nossa).

Dentre as primeiras formas de introdução do bilhete neste tipo de dispositivo está o SMS/MMS. A solução consiste no envio de um código de barras comum ou 2D (como um QR-Code) através de um SMS binário ou MMS para o dispositivo do usuário, para que posteriormente possa ser validado no local (ilustrado pela figura 3). Nesta imagem constam os dados do bilhete emitido, podendo ser uma sequência numérica ou alfanumérica (CHAVES, 2009).

Figura 3 – Validação de SMS/MMS na entrega de bilhetes em códigos de barra



Fonte: Kumar (2008).

Uma vez que a entrega e armazenamento encontram-se agora de forma eletronicamente pura, o SMS acarreta problemas nomeadamente de segurança e tempo. Primeiro, pois os dados do título entregue ficam na caixa de mensagens do cliente, sem distinção de outras mensagens comuns e tão pouco tem proteção. Segundo, o tempo de leitura dos códigos de barras é maior em relação aos *smart cards* (CHAVES, 2009).

Recentemente, um método de utilização do bilhete eletrônico que se destacando é através da tecnologia NFC, designado na literatura como *NFC ticketing*. Através da tecnologia vários benefícios podem ser alcançados nos sistemas de bilhetagem eletrônica, tais como, sustentabilidade para várias indústrias, ser um padrão internacional, segurança na troca de dados e a capacidade de suportar aplicações seguras em telefones celulares (FINZGAR; TREBAR, 2011, tradução nossa).

Como visualizamos nos parágrafos anteriores, controle, segurança, tempo, independência de meio físico, estes são alguns dos problemas recorrentes dos modelos tradicionais discutidos. Entre as múltiplas formas que discutimos neste capítulo de armazenar e transmitir os bilhetes, a tecnologia NFC traz várias possibilidades e trata vários dos problemas levantados, tecnologia esta que será abordada no próximo capítulo.

### 3 TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE DISPOSITIVOS

Durante toda a história da computação, profissionais, empresas e pesquisadores sempre buscaram novas formas de transmissão de dados, levando em conta a usabilidade, velocidade, segurança e funcionalidade nas diversas atividades que desempenhamos com estas tecnologias de transmissão em nosso cotidiano. Os dispositivos móveis, em especial os telefones, são um exemplo de várias destas tecnologias integradas em um mesmo aparelho.

Quando introduzidos, os telefones móveis tinham como único objetivo permitir a comunicação por voz. A partir do estabelecimento das redes *Global System for Mobile* (GSM) outros serviços puderam ser inclusos, como SMS, MMS e acesso à Internet. Ao passar dos anos, outras inclusões mudaram a forma como usamos o telefone, sendo exemplos a introdução do infravermelho, Bluetooth, *Global Positioning System* (GPS) e *Wireless Fidelity* (WiFi), tal como ilustrado pela figura 4. Também deve-se lembrar do *Universal Serial Bus* (USB), como representante das tecnologias com fio (COSKUN; OK; OZDENIZCI, 2013, tradução nossa).

Figura 4 – Tecnologias de transmissão de dados em telefones celulares



Fonte: Coskun, Ok e Ozdenizci (2012).

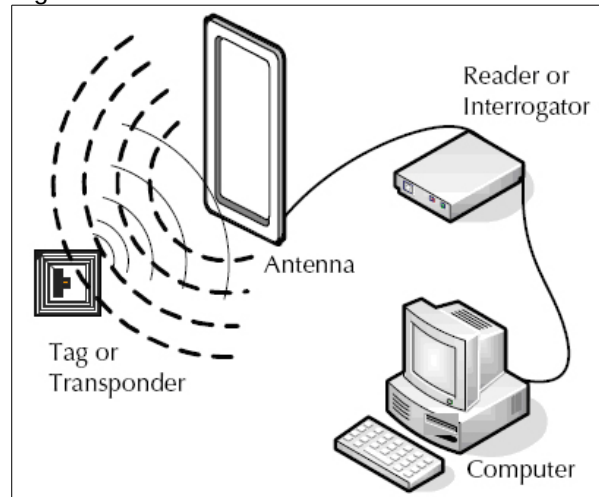
Entre estas formas de transmissão de dados, nos últimos anos podemos verificar o surgimento da tecnologia *Near Field Communication* atrelada aos telefones celulares. O NFC não é essencialmente novo, podendo ser considerado como uma evolução inteligente de outra tecnologia predecessora, a *Radio Frequency Identification*, sendo que casualmente NFC e RFID são tratados como

sinônimos. Entretanto, há algumas sutis diferenças em termos de casos de uso, meio sem fio e frequências que os definem de forma diferente (GRATTON, 2007, tradução nossa).

### 3.1 RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

A primeira utilização do RFID surge durante a Segunda Guerra Mundial, empregado no sistema *Identify Friend or Foe* (IFF), utilizado para distinguir aeronaves aliadas e inimigas. O padrão entra como ferramenta comercial por volta de 1960 e 1970, em sistemas de chaves eletrônicas para portas, avançando desde então para uma infinidade de campos, computadores, rádio, radar, gestão de cadeia de suprimentos, tornando o RFID mais útil com aplicações em gestão de ativos, rastreamento de gado e transporte (COSKUN; OK; OZDENIZCI, 2012, tradução nossa). Na figura 5 e no parágrafo seguinte podemos entender um pouco melhor um sistema RFID.

Figura 5 – Elementos básicos de um sistema RFID



Fonte: Alexan Tech. Inc (2013)

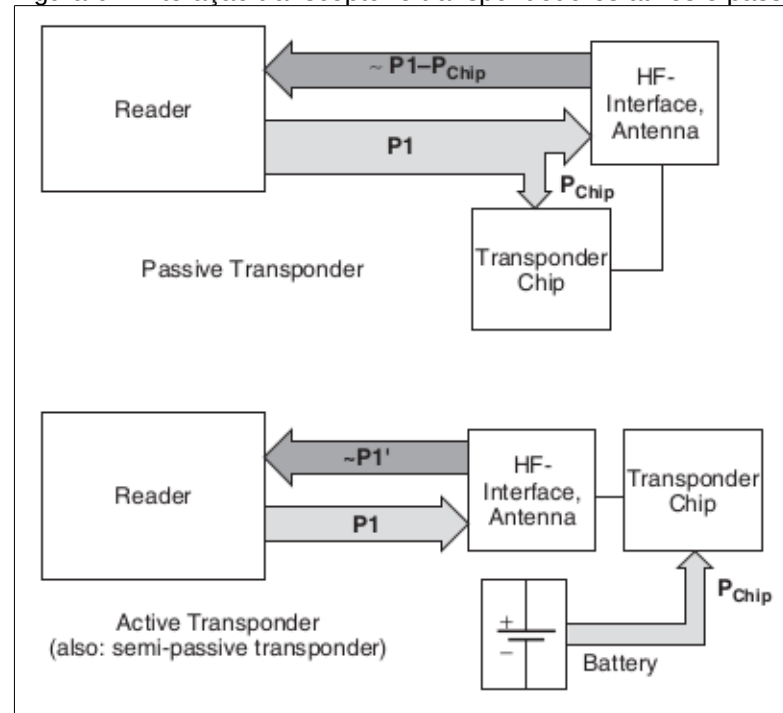
Basicamente, o sistema RFID consiste no conjunto de um leitor e um transpônder. O leitor (ou transceptor) atua como uma unidade mestre, fornecendo ao transpônder energia que aciona os sinais de comunicação para forçar o mesmo a executar a ação solicitada. O controle do leitor RFID pode ser efetuado através de um terminal de computador ou por *scripts* de execução automatizada. Em instalações fixas, os leitores são fixados junto as linhas de força e comunicação,

mas também podem ser usados em leitores de mão móveis (HAGL; ASLANIDIS, 2008, tradução nossa).

O transpônder (ou etiqueta) é um dispositivo de identificação fixado junto ao objeto que deseja ser identificado, que se subdividem em etiqueta passiva e etiqueta ativa. O primeiro tipo contém um circuito integrado com um transmissor-receptor de rádio e uma memória de pequena capacidade não volátil, cuja é alimentado pela corrente que o sinal do leitor induz. Esta energia é suficiente apenas para alimentar a etiqueta para transmitir seus dados uma vez e a um sinal relativamente fraco. Por este fator, a maioria dos leitores só conseguem as ler a poucos centímetros ou metros de distância (IGOE, 2012, tradução nossa).

Etiquetas ativas, por sua vez, tem sua própria fonte de alimentação e receptor de rádio, e transmitem um sinal em resposta a uma mensagem recebida de um leitor. Sistemas ativos podem transmitir por um maior alcance do que os sistemas passivos e acionando a vantagem de estarem menos propensos a erros. Conseqüentemente, estes modelos são mais caros, ponto em que incluem também a distância em que podem ser lidos (IGOE, 2012, tradução nossa). Na figura 6, visualizamos esta explanação acerca dos componentes básicos dos sistemas RFID.

Figura 6 – Interação transceptor e transpondedores ativos e passivos



Fonte: Finkenzeller (2010).

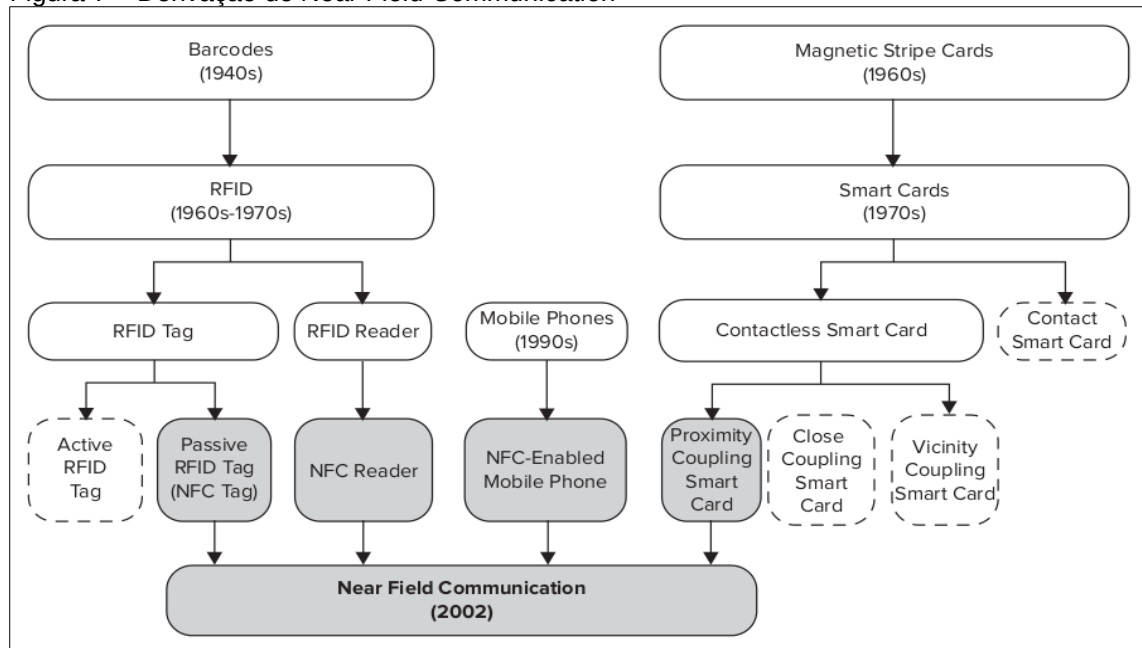
Substancialmente, RFID é uma tecnologia de substituição ao código de barras, com foco na identificação, rastreamento e monitoramento dos elementos, permitindo a leitura de etiquetas de forma automatizada. Assim como o NFC, ele também pode ser utilizado para sistemas de pagamentos e bilhetagem, porém em relação ao NFC, não está presente em produtos eletrônicos acessíveis ao usuário e também não possui certa facilidade de uso (GRATTON, 2007, tradução nossa).

O paradigma que nos direciona ao NFC é a integração de informações pessoais e privadas em telefones móveis. Portanto, a segurança é a preocupação mais importante, onde até mesmo o alcance mais curto fornecido pelo RFID é considerado muito longo. A blindagem é necessária para evitar que pessoas não autorizadas tenham acesso a estes dados privados, porque mesmo as etiquetas passivas RFID ainda podem ser lidos mais de 10 metros. Este é o ponto chave onde entra o NFC (COSKUN; OK; OZDENIZCI, 2013, tradução nossa).

### 3.2 NEAR FIELD COMMUNICATION

O NFC é uma tecnologia de transmissão de dados sem fio para curtas distâncias, sem contato, sendo baseado na tecnologia RFID e nos cartões inteligentes (*smart cards*), conforme mostra a figura 7 da página seguinte. Foi desenvolvida pela NXP *Semiconductors* (antiga Philips *Semiconductors*) e Sony em 2002, com base nos produtos que já desenvolviam, respectivamente, MIFARE e FeliCa. Por esta origem, o NFC é compatível entre estas duas variantes, contudo não incluindo seus métodos de criptografia proprietária, neste caso optando por padrões abertos como o *Triple Data Encryption Standard* (3-DES), *Advanced Encryption Standard* (AES) e Curvas Elípticas (LANGER; ROLAND, 2010, tradução nossa).

Logo, no final de 2003, o padrão NFC foi aprovado pela *European Computer Manufacturers Association* (EMCA), *International Organization for Standardization* (ISO) e *International Electrotechnical Commission* (IEC). Esta padronização concedeu uma verdadeira compatibilidade e interoperabilidade entre aparelhos com NFC embarcados, sendo que em Março de 2004, Nokia, Sony e Philips iniciaram o NFC Forum, grupo idealizado para direcionar o futuro da adoção e do desenvolvimento da tecnologia (GRATTON, 2007, tradução nossa).

Figura 7 – Derivação do *Near Field Communication*

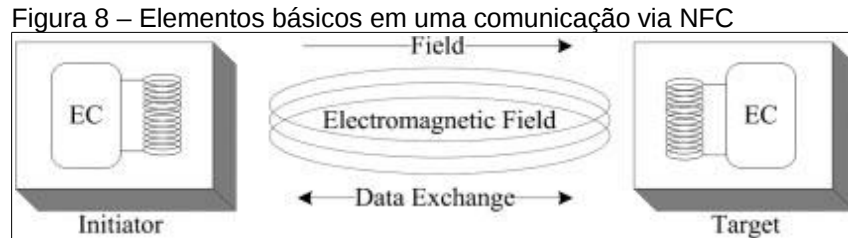
Fonte: Coskun, Ok e Ozdenizci (2013).

Toda via, mesmo que sua origem provenha da tecnologia *Radio Frequency ID*, o NFC não é um sistema RFID. Sua definição e padronização nos leva o conceito de uma interface de dados sem fio entre dispositivos, similar ao infravermelho ou a popular Bluetooth. Mesmo assim, ambas tecnologias têm várias características que são de interesse e de semelhança aos dois padrões (FINKENZELLER, 2010, tradução nossa).

O NFC é definido pela norma ISO/IEC 18092, que define os modos de comunicação para a interface e protocolo, usando dispositivos funcionando na frequência central de 13,56 MHz. Esta também define os modos de comunicação ativo e passivo, seja em equipamentos de rede ou aparelhos de consumo final, incluindo esquemas de modulação, codificações, velocidades de transferências, formato de quadros da interface de rede, protocolo de transporte, entre outras especificações (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2013, tradução nossa).

Nesta frequência, área de transmissão pode alcançar até aproximadamente 10 centímetros do dispositivo emissor do sinal, e torna o NFC também compatível com as normas RFID de mesma faixa. Atualmente, a taxa de transmissão de dados pode alcançar 106 kbit/s (baseado no hardware MIFARE), 212 kbit/s a 424 kbit/s (baseados no hardware FeliCa). Um dispositivo NFC pode ainda assumir tanto o papel de leitor, quanto o papel de etiqueta, mesmo quando há uma

transmissão de energia e dados, como visto na figura 8 (LANGER; ROLAND, 2010, tradução nossa).



Fonte: Coskun; Ok; Ozdenizci (2012).

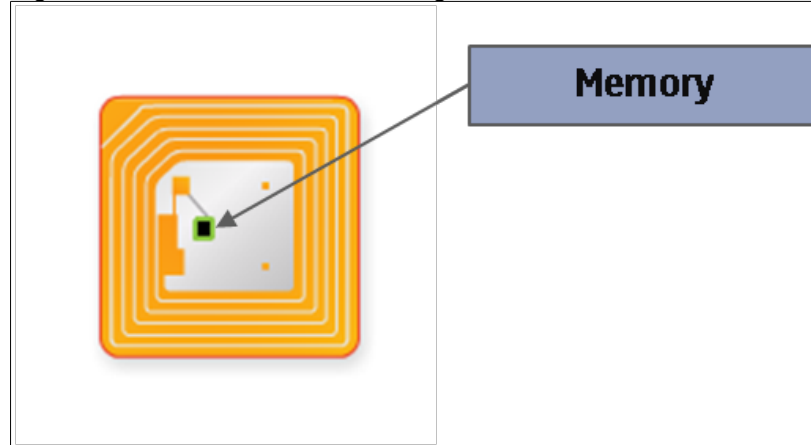
Os dispositivos NFC podem operar em dois modos de comunicação: ativo e passivo. No modo ativo, dois aparelhos diferentes geram os seus próprios campos de rádio para transmitir dados e em modo passivo apenas um dos aparelhos emite o campo, enquanto o outro utiliza a modulação gerada para transferir dados. O protocolo NFC define que o dispositivo de iniciação é o responsável por gerar o campo de rádio no presente caso. A possibilidade dessa utilização do modo passivo por dispositivos no NFC é muito importante para a economia de energia, principalmente para os dispositivos alimentados por bateria (INNOVISION RESEARCH & TECHNOLOGY, 2013, tradução nossa).

Os leitores NFC, por exemplo, são dispositivos ativos que possibilitam transferência de informação bidirecional com outro elemento NFC, sendo que este pode estar integrado a um telefone celular ou um a terminal de pagamentos sem contato. Os leitores podem ler ou escrever dados, seja entre dispositivos ativos ou ativo e passivo. Atualmente, a integração da tecnologia NFC em celulares cria uma grande oportunidade para exibir a facilidade de uso e a aceitação do ecossistema (COSKUN; OK; OZDENIZCI, 2012, tradução nossa).

Assim como no modelo RFID, o NFC também conta com a possibilidade de trabalho com etiquetas, chamadas NFC *tags*. Conforme ilustrado na figura 9, a arquitetura de uma etiqueta NFC é muito semelhante a uma etiqueta RFID, contando com uma pequena área de memória e um chip de rádio ligado a uma antena. Sem fonte de alimentação, as NFC *tags* são essencialmente passivas, classificadas em 4 tipos diferentes de características e armazenamentos distintos. O tipo 1, mais simples, geralmente armazena 96 bytes operando a 106 kbps, permitindo leitura e gravação de dados. As maiores e mais rápidas de tipo 4, armazenam até 32 kB e

operam em 424 kbps, suportando apenas o modo de leitura (CHANDLER, 2013, tradução nossa).

Figura 9 – Estrutura de uma NFC tag



Fonte: Nokia (2011).

O NFC possui uma grande aplicabilidade e cenários para uso, o que expande a sua utilização em relação ao RFID. Além de possuir os modos de comunicação ativo e passivo, os dispositivos NFC também são capazes de trabalhar em três diferentes modos de operação: leitura/escrita, *peer-to-peer* (P2P) e emulação de cartões. O primeiro modo é mais trivial, permitindo a leitura e gravação de etiquetas, incluindo aqui as etiquetas FeliCa e ISO/IEC 14443 (NFC DEVELOPMENT & CONSULTING, 2008, tradução nossa).

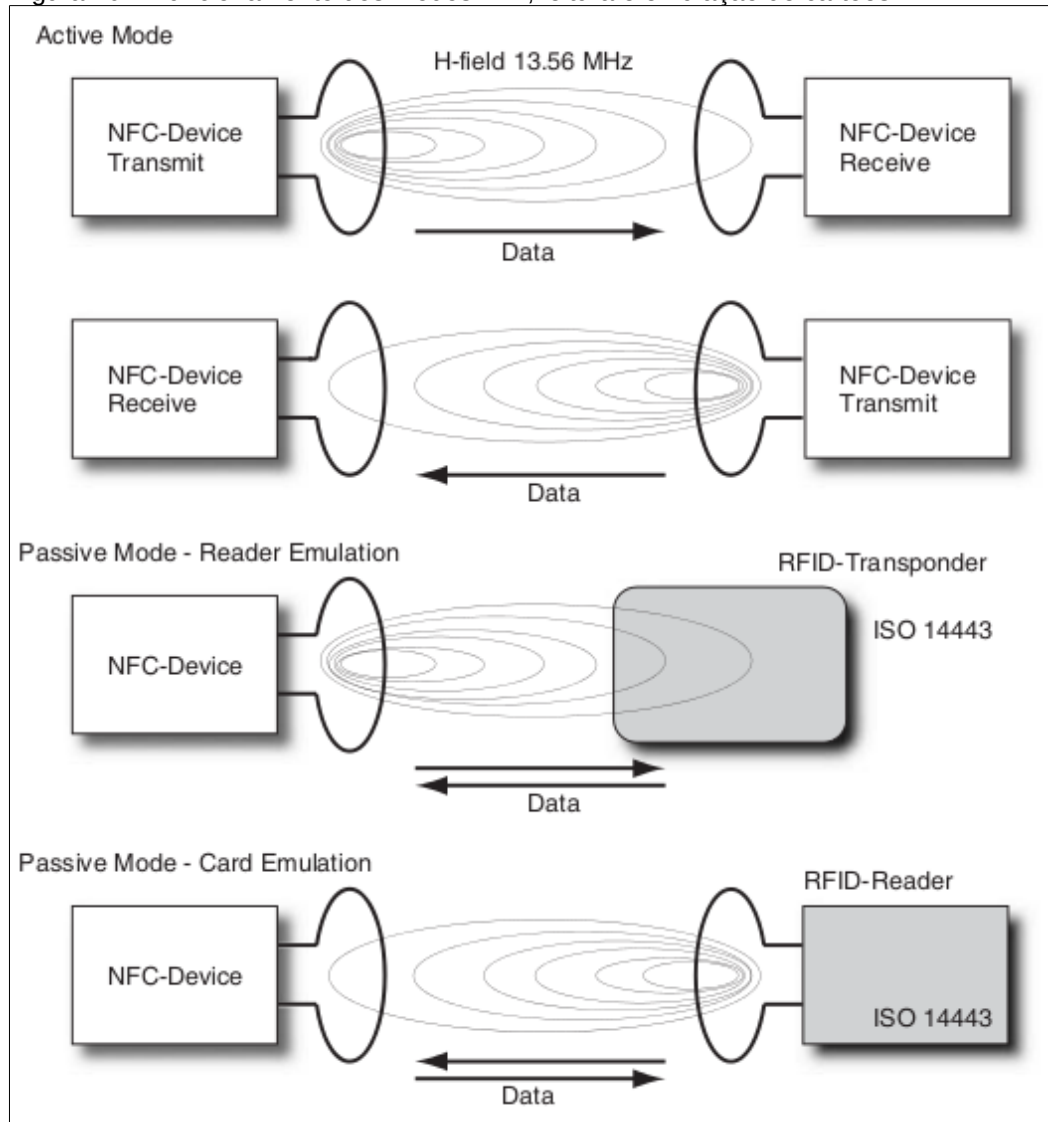
Quando dois dispositivos ativos estabelecem uma comunicação entre si, podem então trocar dados, sendo este o princípio fundamental do modo P2P. Se o volume de dados for relativamente pequeno (poucos *kilobytes*), a conexão NFC pode ser usada para a transferência. Entretanto, com grandes volumes de dados, o NFC pode ser utilizado para estabelecer conexões com outros tipos de conexão sem fios, como o Bluetooth ou WiFi. Neste caso, a tecnologia realiza apenas o pareamento dos dispositivos, adicionando a simplicidade de tocar dois aparelhos e conectar-se via Bluetooth, por exemplo, sem autorizações via códigos de pareamento (RANKL; EFFING, 2010, tradução nossa).

Por fim, a emulação de cartão permite ao dispositivo móvel com NFC a funcionar como um cartão sem contato. Tal dispositivo pode ser usado para armazenar múltiplos cartões e mesmo que seja um dispositivo ativo, pode se comportar como uma etiqueta passiva. Isto é importante, pois permite que tal dispositivo seja usado em aplicações de pagamento ou bilhetagem, sendo

compatível com a atual infraestrutura de *smart cards* existente (COSKUN; OK; OZDENIZCI, 2013, tradução nossa).

Podemos verificar estes conceitos graficamente através da figura 10.

Figura 10 – Funcionamento dos modos P2P, leitura e emulação de cartões



Fonte: Finkenzeller (2010).

A estrutura de qual falamos é altamente difundida no mundo, sendo que até 2017 os aparelhos habilitados com NFC atingirão uma taxa anual de crescimento de 65%, atingindo 2,1 bilhões de unidades. A taxa de penetração do NFC em todos os segmentos de celulares também irá aumentar para em torno de 32% até o final do período (CLARK, 2013, tradução nossa).

No Brasil, a base de aparelhos NFC habilitados crescerá 40 vezes até 2017, uma vez que em 2012 o número atingiu 350.000 dispositivos. Hoje 800.000

terminais que já operam com transmissões sem contato e mais 1.500.000 são esperados até 2014. Vários bancos e operadoras de telefonia, incluindo Bradesco, Itaú e Banco do Brasil, Claro Oi, TIM e Vivo, já iniciaram seus movimentos para o uso de NFC em seus serviços (GEMALTO, 2013, tradução nossa).

Neste capítulo podemos ver uma visão do funcionamento da tecnologia *Near Field Communication*, observando os seus modelos, especificações, modos de operação, pontos sobre a tecnologia NFC. No desenvolvimento de aplicações utilizando o NFC, possuímos várias plataformas e kits de desenvolvimento que provém a interação entre estes hardwares. Em sequência, explanaremos um pouco mais sobre as tecnologias de desenvolvimento que serão empregadas neste trabalho.

## 4 TECNOLOGIA EMBARCADA EM TELEFONES INTELIGENTES

Inúmeros sistemas de bilhetagem eletrônica são implantados pelo mundo, diferindo-se na forma de armazenamento do bilhete, na tecnologia de transmissão e no tipo de dispositivos envolvidos. Atualmente, o NFC em *smartphones* surge como um grande aliado dos sistemas de bilhetagem. Neste capítulo abordaremos os aspectos tecnológicos do trabalho desenvolvido, detalhando a plataforma Android e seu direcionamento para a tecnologia NFC.

### 4.1 ANDROID

O Android é uma plataforma de tecnologia voltada aos dispositivos móveis, incluindo um sistema operacional, *middleware*<sup>1</sup>, aplicativos e interface de usuário, concebido para os desenvolvedores possam obter o máximo proveito dos recursos que um aparelho possa oferecer. A plataforma também conta com o *Android Software Development Kit (SDK)*, um conjunto de desenvolvimento que disponibiliza ferramentas e *Application Programming Interfaces (API)* necessárias para a criação de aplicativos Android, utilizando Java como linguagem de programação (PEREIRA; SILVA, 2009).

O Android surgiu num meio de sistemas operacionais móveis com tecnologias de desenvolvimento restritivas e um tanto longe de serem de fato padrões, em comparação ao desenvolvimento *desktop*. Os aparelhos celulares utilizavam uma grande variedade de sistemas operacionais em meados de 2005, como Symbian, Windows Mobile, Linux Mobile, iPhone OS, quando o Google compra a *startup* Android Inc. que desenvolvia o sistema de mesmo nome até então (HASHIMI; KOMATINENI; MACLEAN, 2010, tradução nossa).

No final de 2007, surge o *Open Handset Alliance (OHA)*, como próximo passo para o Android. O OHA é um grupo de líderes na área de tecnologia móvel, contando com operadoras, fabricantes de celulares, semicondutores, empresas de software e do comércio, com o objetivo de acelerar a inovação neste mercado através do desenvolvimento da plataforma aberta Android. Em seu primeiro ano de

---

<sup>1</sup> Software que integra duas outras aplicações individuais. Por exemplo, um *middleware* que faz a conexão de um sistema de banco de dados a um servidor web (WEBOPEDIA, 2014, tradução nossa).

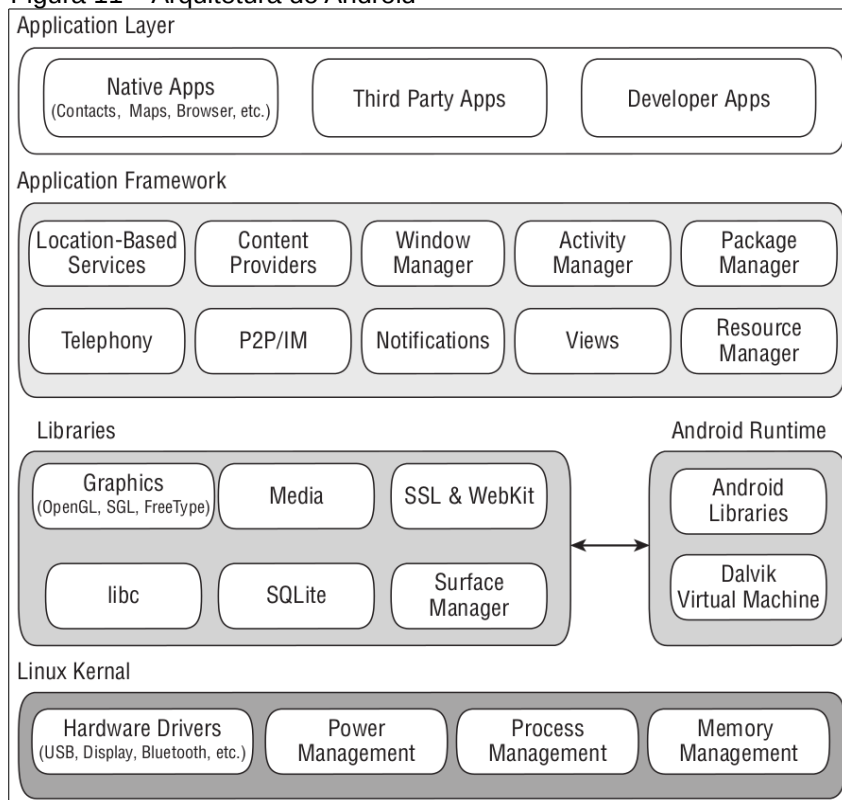
existência o grupo continha 84 membros (OPEN HANDSET ALLIANCE, 2012, tradução nossa).

Para atingir o seu objetivo de ser uma plataforma aberta, o software Android majoritariamente é licenciado sob Apache Software License 2.0<sup>2</sup>, cuja permite a modificação e redistribuição de versões não oficiais, com propósitos comerciais ou não comerciais, que não sejam autorizadas pela OHA. Contudo podem existir exceções caso a caso, como o *kernel* Linux, cuja é licenciado sobre GNU General Public License 2.0<sup>3</sup> (ANDROID DEVELOPERS, 2013, tradução nossa).

#### 4.1.1 Arquitetura

O sistema operacional Android é estruturado num conjunto de quatro camadas e módulos intercomunicáveis, cuja pode ser observada na figura 11.

Figura 11 – Arquitetura do Android



Fonte: Meier (2009).

<sup>2</sup> Licença completa em: <http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

<sup>3</sup> Licença completa em: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.html>

Em visão simples, o Android é formado por um *kernel* Linux e uma coleção de bibliotecas C/C++, fornecidos através de um *framework* de aplicação que provê serviços para, e gerenciamento de, tempo de execução e aplicações (MEIER, 2009, tradução nossa). Cada uma destas camadas contém suas próprias características e objetivos, salientando que em certos casos elas não são claramente separadas, podendo infiltrar-se em cada outra (GARGENTA, 2011, tradução nossa).

Nos subitens a seguir detalharemos cada uma destas camadas, iniciando pelo *kernel* Linux.

#### 4.1.1.1 Kernel Linux

O sistema operacional Android utiliza um *kernel* Linux para fornecer uma camada de abstração hardware, *drivers* específicos e também serviços essenciais, como o gerenciamento de processos, memória e sistema de arquivos. Esta abstração de hardware possibilita que mudanças possam ser realizadas neste nível, de forma que as camadas superiores permaneçam inalteradas (ABLESON; SEN, 2011, tradução nossa).

Apesar de utilizar um este tipo de núcleo, o Android não é considerado um sistema embarcado Linux, pois certos componentes como sistema de janelas X-Window e bibliotecas como a GNU C não são suportadas. Outras bibliotecas padrões Linux não são utilizadas e foram substituídas por bibliotecas do próprio Android, que são otimizadas para uso em ambientes embarcados de recursos limitados (STEELE; TO, 2010, tradução nossa).

#### 4.1.1.2 Bibliotecas

Rodando logo acima do *kernel*, a camada inclui várias bibliotecas escritas em C ou C++, proporcionado acesso ao sistema de exibição, processamento gráfico 2D e 3D, suporte para banco de dados nativo, bibliotecas para reprodução de mídia, segurança e motor de renderização de páginas da web. Esta seleção de bibliotecas são disponibilizadas ao desenvolvedor através do *framework* de aplicação (MEIER, 2009, tradução nossa).

Detalhamos nas alíneas abaixo uma breve explanação a respeito da função desempenhada por algumas principais bibliotecas neste módulo (BURNETTE, 2010, tradução nossa; MEIER, 2009, tradução nossa):

- a) bibliotecas gráficas: utilizando renderização por hardware ou software, podem gerar elementos bidimensionais ou tridimensionais;
- b) bibliotecas de mídia: suportam reprodução e gravação de áudio e vídeo, incluindo inclusive *streaming*, em múltiplos formatos;
- c) *libc*: biblioteca padrão da Linguagem C otimizada para uso em dispositivos embarcados baseados sistemas de *kernel* Linux;
- d) OpenSSL: suporte ao protocolo de criptografia segura *Secure Sockets Layer* (SSL) para comunicações seguras em Internet;
- e) SQLite: banco de dados relacional com motor leve para armazenamento de dados de aplicações;
- f) *surface manager*: um gerenciador de composição de janelas simples, permitindo criar efeitos de transições, transparências e outros efeitos;
- g) Webkit: utilizada pelo Android para a interpretação de conteúdo HTML, permitindo integrar navegadores nas *activities* e controla *cookies*.

A partir da versão 1.5 do Android, bibliotecas nativas próprias também podem ser escritas e implementadas pelo desenvolvedor, utilizando a *Native Development Toolkit* (NDK) (BURNETTE, 2010, tradução nossa). A NDK é uma seleção de ferramentas que permitem desenvolver partes da aplicação usando linguagem nativa no Android, como C e C++, sendo indicado em casos que se possa reutilizar código de bibliotecas escritas nestas linguagens (ANDROID DEVELOPERS, 2014a, tradução nossa).

#### 4.1.1.3 Android Runtime

Lado a lado no mesmo nível do módulo das bibliotecas, o Android Runtime inclui as bibliotecas de núcleo Android e máquina virtual Dalvik. As bibliotecas de núcleo fornecem a maior parte das funcionalidades disponíveis nas bibliotecas de núcleo do Java, uma vez que se fazem necessárias, pois a Dalvik não é uma máquina virtual Java (MEIER, 2009, tradução nossa).

A máquina virtual Dalvik foi projetada para obter um melhor desempenho em sistemas de baixa frequência de CPU, pouca memória RAM, ausência de

memória *swap* e mínimo consumo de bateria. Ela possui melhor integração hardware de nova geração e para executar múltiplas instâncias suas paralelamente (PEREIRA; SILVA, 2009).

Por conta disto, o processo é compilação do código Java para a Dalvik segue uma sequência própria. Em Java, o código fonte é compilado em um *byte code* e executado na máquina virtual Java. No Android, o *byte code* gerado pelo compilador Java é recompilado pelo compilador Dalvik, tornando-o um *byte code* específico para esta máquina virtual (GARGENTA, 2011, tradução nossa).

#### 4.1.1.4 Framework de Aplicação

Na camada do *framework* de aplicação são encontradas todas as APIs e recursos que podem ser utilizados pelos aplicativos, como classes visuais que fornecem listas, caixas de texto, botões, serviços provedores de conteúdo, gerenciador de localização, notificação, entre outros componentes. Estes conjuntos de componentes possuem acesso as APIs utilizadas pelo núcleo do sistema, simplificando a reutilização dos mesmos (PEREIRA; SILVA, 2009).

Estão listados abaixo alguns dos principais serviços e elementos desta camada (BURNETTE, 2010, tradução nossa; PEREIRA; SILVA, 2009; STEELE; TO, 2010, tradução nossa):

- a) *activity manager*: realiza o gerenciamento do ciclo de vida das *activities*, definindo quando iniciar e encerrá-las;
- b) *content providers*: fornece uma interface que atua como uma ponte entre os aplicativos, permitindo que eles troquem dados entre si;
- c) *notification manager*: controla eventos como mensagens, anotações, alertas enviados para o usuário;
- d) *package manager*: lê as informações dos pacotes *.apk*, informando ao sistema quais pacotes estão sendo utilizados;
- e) *resource manager*: gerencia recursos como textos *string*, *bitmap*, sons e outros itens de informação não-código que a aplicação utilize;
- f) *view system*: permite todo o tratamento gráfico para a aplicação, como os *frames*, *layouts* ou botões;
- g) *window manager*: um gerenciador de janelas, que como tal, gerencia apresentações de janelas, quais estão ativas, etc.

#### 4.1.1.5 Camada de Aplicação

Sendo a camada mais alta da arquitetura, na camada de aplicação os usuários finais do sistema tem acesso as aplicações e *widgets*. Aplicações podem tomar a tela toda, enquanto os *widgets* apenas operam como pequenos retângulos dentro da tela inicial. Dentre as aplicações, encontram-se um conjunto que são padrões do sistema, como o discador do telefone e agenda de contatos. Neste nível também se encontram aplicações baixadas pelo usuário, bem como desenvolvidas por terceiros (BURNETTE, 2010, tradução nossa).

Cada aplicação desenvolvida para Android é distribuída como um pacote *.apk*, que contém o código da aplicação, recursos de mídia utilizados e o manifesto do aplicativo (que identifica as ações, componentes e permissões requeridas para seu funcionamento). Este formato pode ser intimamente relacionado ao formato padrão de empacotamento da linguagem Java (*.jar*), definido especificamente para poder ser executado sem a necessidade de desempacotamento (JACKSON, 2011, tradução nossa).

A execução de cada aplicação é tratada de forma isolada no sistema operacional Android, ou seja, cada aplicação é processada em sua própria máquina virtual Dalvik. Por sua vez, cada máquina virtual é executada sobre um processo Linux, sendo que cada processo conta uma ID de usuário diferente. Isso garante a segurança que cada aplicação só tem acesso apenas aos seus próprios recursos, não interferindo diretamente na execução das outras (STEELE; TO, 2010, tradução nossa).

#### 4.1.2 Componentes das aplicações

Uma aplicação Android pode conter várias funcionalidades, seja edição de notas, reproduzir arquivos de música, tocar um alarme ou abrir um contato de telefone. Estas funcionalidades podem classificadas em quatro componentes Android diferentes: *Content provider*, *Broadcast receiver*, *Service* e *Activity* (STEELE; TO, 2010, tradução nossa). Na tabela 1 podemos ter uma rápida diferenciação delas.

Tabela 1 – Quatro possíveis componentes numa aplicação Android

Funcionalidade	Classe de Base Java	Exemplos
Armazena e recupera dados	<code>ContentProvider</code>	Abrir um contato telefônico
Recebe mensagens	<code>BroadcastReceiver</code>	Disparar alarme sobre um evento
Processo em segundo plano	<code>Service</code>	Tocar música, atualizar ícone do tempo
Foco nas coisas que usuário pode fazer	<code>Activity</code>	Editar uma nota, jogar um jogo

Fonte: Adaptado de Steele e To (2010, tradução nossa)

O componente *Content provider* é o núcleo do modelo de acesso a conteúdo no Android. Através dele é possível disponibilizar ou acessar dados de outras aplicações, uma vez visto que as aplicações não tem acesso direto uma as outras. O acesso a dados através de *Content providers* é realizado via *Uniform resource identifier* (URI), como esta `content://contacts/people` para acessar a base de contatos da agenda do telefone (MEDNIEKS et al., 2011, tradução nossa).

Por sua vez, os *Broadcast receiver* são componentes que recebem mensagens sobre eventos que são enviadas entre o sistema operacional e outras aplicações ou mesmo apenas entre aplicações. A informação sobre a bateria que está com pouca carga é exemplo de mensagem que o Android pode enviar às aplicações. Já um alerta de download concluído pode ser exemplo de mensagem trocada entre aplicações (JACKSON, 2011, tradução nossa).

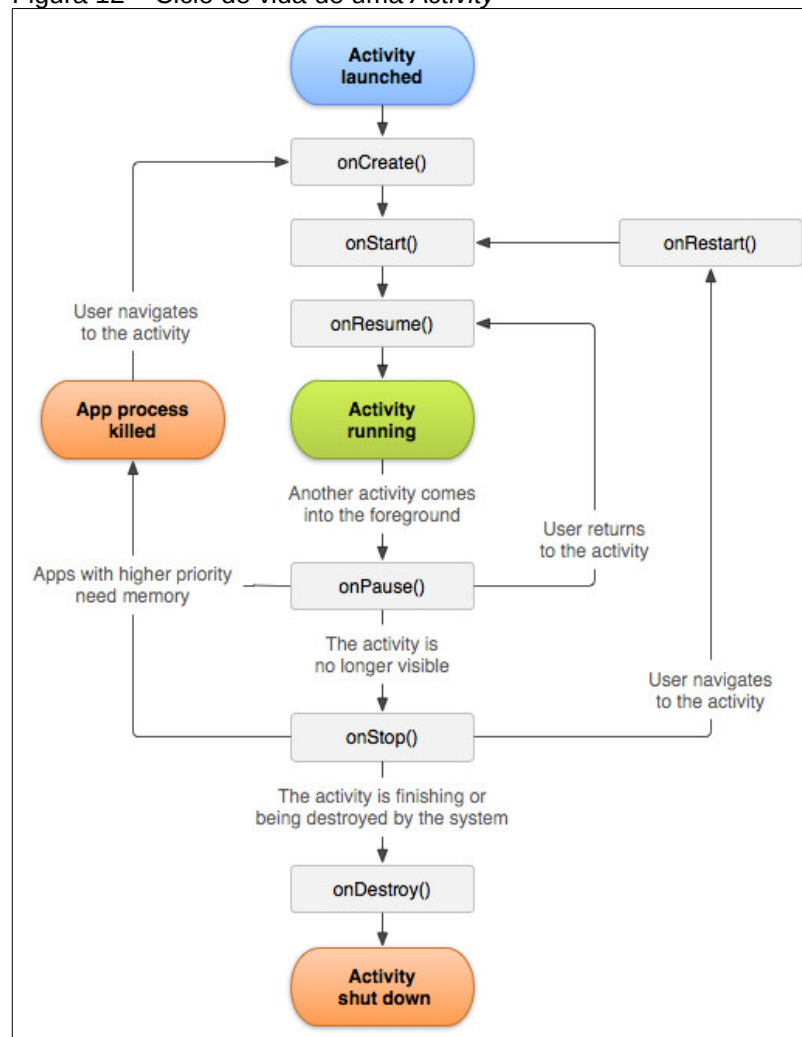
No caso de funções em uma aplicação que necessitam estar ativas por um longo tempo, o componente *Services* é grande opção. A classe *Service* tem a capacidade de permanecer em execução mesmo no sendo visível ao usuário, também permitindo compartilhar funções através de conexões de outras aplicações. Um aplicativo de reprodução de música provavelmente seria implementado com um serviço. Por padrão, o sistema Android evita de reivindicar memória de serviços, para que os mesmos possam estar disponíveis pelo maior tempo possível (MEDNIEKS et al., 2011, tradução nossa).

Diferentemente dos anteriores que não tem interface com o usuário, o componente *Activity* basicamente representa uma tela na aplicação, similar a classe *Jframe* do *Java Swing*. Para a composição em tela dos elementos visuais, a define uma classe *View* no seu escopo, controla seu estado e passagem de parâmetros de uma tela para outra, assim como define os métodos a serem que serão executados quando, por exemplo, o usuário tocar um botão na tela (LECHETA, 2013).

Analogamente, de mesmo modo que um website possui múltiplas páginas, uma aplicação Android possui múltiplas *activities*. Uma destas será a “*home page*”, no caso, uma *activity main* que é mostrada primeiro ao iniciar a aplicação, havendo a possibilidade de navegar entre as *activities* ou mesmo saltar diretamente para outra de um aplicativo completamente independente (GARGENTA, 2011, tradução nossa).

Para gerenciar as *activities* de cada aplicação, o sistema Android segue um ciclo de vida, como ilustra a figura 12. O ponto chave deste ciclo é que uma *activity* quando está sendo utilizada em primeiro plano, tem seu processo colocado no topo de uma pilha de processos. Quando uma nova *activity* surge em primeiro plano, a anterior é movida um ponto abaixo na pilha (ABLESON; SEN, 2011, tradução nossa).

Figura 12 – Ciclo de vida de uma *Activity*



Fonte: Android Developers (2014b).

## 4.2 DESENVOLVIMENTO NFC NA PLATAFORMA ANDROID

Os dispositivos na plataforma Android suportam três grandes modos de operação do NFC: leitura ou escrita, P2P e emulação de cartões, seguindo as especificações padrões definidas pelo NFC Forum. A maior parte das APIs do *framework* são baseadas no formato de dados NFC *Data Exchange Format* (NDEF), contudo ele permite o uso de outros formatos como MIFARE ou a definição de um protocolo próprio (ANDROID DEVELOPERS, 2014c, tradução nossa).

A introdução do NFC acontece a partir da versão 2.3 do sistema, codinome Gingerbread. Nesta versão são implementadas apenas algumas funções mais básicas do NFC, com foco no suporte do primeiro modo de operação, como o controle do adaptador do aparelho, a definição de mensagens e registros NDEF. Com estes elementos, é possível a partir desta versão ler e escrever mensagens NDEF em tags ou aparelhos (ANDROID DEVELOPERS, 2014d, tradução nossa).

Com a versão 4.0, Ice Cream Sandwich, ao modo P2P foi incluído através da funcionalidade nomeada de Android Beam™. Ela permite a troca de dados entre dois aparelhos Android de forma simples, levando em conta que a aplicação que deseja enviar dados precisa estar em primeiro plano no aparelho iniciador e que o receptor esteja com a tela desbloqueada. Vale salientar que uma função semelhante ao Beam, o NDEF *push*, existe desde a versão 2.3.3, contudo é considerada obsoleta e é recomendada apenas para suportar aparelhos antigos (ANDROID DEVELOPERS, 2014e, tradução nossa).

O modo de operação de emulação de cartões é a mais recente introdução no suporte NFC pela plataforma. Ele está presente na versão 4.4, Kitkat, implementando um método adicional de emulação que não necessita de um chip separado no aparelho ou de cartão SIM que contém este chip, chamado também de elemento seguro. Com o elemento seguro a comunicação com o terminal NFC se dá através dele, sem envolver qualquer aplicação Android. Na emulação sem elemento seguro da versão 4.4, os dados são encaminhados diretamente para a CPU, onde as aplicações Android podem controlar os dados diretamente (ANDROID DEVELOPERS, 2014f, tradução nossa).

## 5 TRABALHOS CORRELATOS

Durante as pesquisas para a realização do fundamental teórico, pode-se observar vários trabalhos com o tema da bilhetagem eletrônica em dispositivos móveis, mostrando a recorrência e atualidade do assunto. Estes são de natureza essencialmente internacional, sendo que não foram encontradas nesta pesquisa trabalhos regionais ou nacionais sobre o mesmo. Dentre estes, separamos os mais relevantes para o contexto do trabalho a seguir.

### 5.1 O TELEMÓVEL COMO BILHETE ELECTRÓNICO

Realizado como a dissertação de Mestrado de Francisco Maria van Uden Chaves em 2009 na Universidade Técnica de Lisboa, o trabalho foca na utilização do telefone celular como meio de armazenamento e na tecnologia NFC como forma de transmissão e uso dos bilhetes eletrônicos. A solução desenvolvida por Chaves divide-se em três partes: aplicação gestora de sistema, aplicação de entidade emissora e entidade cliente (CHAVES, 2009).

Na gestão de sistema estão todas as funcionalidades de gerenciamento das entidades emissoras, bem como toda a gestão de aplicações cliente. Para a entidade emissora, relacionam-se todos os eventos a si associados e também bem a gestão de clientes e os seus respectivos bilhetes. Por fim, em relação à entidade cliente, cabe o controle dos seus próprios bilhetes e a sua utilização (CHAVES, 2009).

A tecnologia SMS é utilizada no sistema para estabelecer comunicação das requisições ao módulo do servidor. Por exemplo, ao comprar um bilhete, um SMS com o pedido de compra é enviado ao servidor que também responde a cada requisição com mensagem de texto. Na utilização do bilhete a tecnologia NFC é empregada realizando o envio e confirmação dos dados (CHAVES, 2009).

Para a implementação foram definidos dois componentes principais: componente cliente e componente servidor. No primeiro estão presentes os módulos Java Micro Edition (J2ME) e JavaCard. Ao segundo estão atribuídos os módulos de persistência, apresentação e integração. Todos estes passaram por processo de prototipação, desenvolvimento e teses unitários (CHAVES, 2009).

Após os testes aplicados, constatou-se que aplicação possui um modelo transversal e conseguiu utilizar-se de um único dispositivo, que permite a distribuição remota de bilhetes, armazenamento seguro e com tempos de transmissão de 0,829 segundos, superando as expectativas do autor (CHAVES, 2009).

## 5.2 USE OF NFC AND QR CODE IDENTIFICATION IN AN ELECTRONIC TICKET SYSTEM FOR PUBLIC TRANSPORT

Este trabalho esloveno, produzido em 2011 por Luka Finžgar e Mira Trebar da Universidade de Ljubljana, consiste na implementação de um sistema que possibilita o uso do telefone para a aquisição de bilhetes eletrônicos, utilizando a plataforma Android, J2ME e a tecnologia NFC nas aplicações móveis do sistema. O enfoque dado neste trabalho é da bilhetagem no transporte público (FINZGAR; TREBAR, 2011, tradução nossa).

No sistema de bilhete eletrônico proposto, os passageiros devem fazer o *check-in* no início e *check-out* no final do seu trajeto, com o aplicativo em seu telefone móvel. Neste caso, o pagamento não se dá por um valor fixo e sim proporcional a distância percorrida no uso do serviço. Para o processo identificação nas estações de embarque e desembarque, foram utilizadas etiquetas RFID e QR-Code (como alternativa aos aparelhos sem NFC) (FINZGAR; TREBAR, 2011, tradução nossa).

Duas aplicações foram desenvolvidas: uma em J2ME voltada ao aparelho Nokia 6212, cuja possui NFC integrado, e outra em plataforma Android, a qual utiliza-se de QR-Code como forma de receber os bilhetes. Em ambas aplicações, o usuário possui as opções 'Check-in' e 'Check-out', que disparam requisições *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) junto ao servidor de aplicação, informando parâmetros como usuário, senha e o local (lido do QR-Code ou NFC *tag*) (FINZGAR; TREBAR, 2011, tradução nossa).

Feito o *check-in* com sucesso, o servidor gera e envia uma pequena imagem no formato *Portable Network Graphics* (PNG) de menos de um 1 kB, sendo este o bilhete que o usuário portará até que realize o procedimento de *check-out*. Neste momento o servidor calcula o valor da viagem, que permite ao funcionário da

empresa ler o QR-Code (bilhete) na tela do aparelho do cliente e efetuar a verificação (FINZGAR; TREBAR, 2011, tradução nossa).

Como resultado, solução proposta mostra a ideia de eliminação completa de vários dispositivos dedicados utilizados nas infraestruturas atuais de transporte público. Os autores destacam que as técnicas empregadas são populares e fáceis de serem implementadas, principalmente ao QR-Code, sendo que o mesmo deve ocorrer ao NFC nos próximos anos (FINZGAR; TREBAR, 2011, tradução nossa).

### 5.3 PROTOTYPE OF TRAIN TICKETING APPLICATION USING NEAR FIELD COMMUNICATION (NFC) TECHNOLOGY ON ANDROID DEVICE

Surya Michrandi Nasution, Emir Mauludi Husni e Aciek Ida Wuryandari, do Instituto Bandung de Tecnologia (Indonésia), desenvolveram em 2012 um protótipo de um sistema de bilhetagem para transporte ferroviário, baseado na tecnologia NFC e na plataforma Android. Ele foi constituído de duas aplicações com interfaces direcionadas para passageiro e condutor do trem (NASUTION; HUSNI; WURYANDARI, 2012, tradução nossa).

No modelo mostrado no trabalho, o passageiro pode comprar apenas bilhetes gerados a partir da leitura do destino gravado em etiquetas NFC disponíveis no guichê da empresa. Após esta leitura, o usuário será direcionado a fazer o pagamento da transação, através de créditos previamente inseridos em sua conta. Uma vez debitado, o bilhete é gerado e armazenado dentro do aparelho do usuário, cuja só poderá ser utilizado na sala de espera do portão de embarque. Quando passageiro é abordado pelo condutor, o mesmo envia os dados do seu bilhete para o celular do condutor, que valida e em sequência o deleta (NASUTION; HUSNI; WURYANDARI, 2012, tradução nossa).

Para validar as aplicações, foram definidos múltiplos pontos de teste para cada uma das aplicações, sendo realizados em campo (simulando condições reais). Em linhas gerais os resultados mostraram-se positivos, mesmo que o protótipo do sistema não fora implementado na realidade. Este protótipo, segundo os autores, pode ser implementado em companhias ferroviárias, com possibilidade de desenvolvimento de novas funcionalidades (NASUTION; HUSNI; WURYANDARI, 2012, tradução nossa).

Outro ponto interessante a destacar sobre o trabalho é que todos os usuários que realizaram o teste da aplicação se mostraram receptivos, e acreditavam que o método poderia substituir os métodos padrões de bilhetagem (NASUTION; HUSNI; WURYANDARI, 2012, tradução nossa).

#### 5.4 NFC TICKETING: A PROTOTYPE AND USABILITY TEST OF AN NFC-BASED VIRTUAL TICKETING APPLICATION

Desenvolvido em 2009 por Stefano Levialedi Ghiron e outros autores da Universidade de Roma, o trabalho traz um protótipo de aplicação móvel para o uso em bilhetagem eletrônica e também realiza um estudo sobre a usabilidade do software desenvolvido. A aplicação desenvolvida permite ao usuário comprar e utilizar bilhetes de forma menos complexa, numa combinação das tecnologias NFC e SMS (GHIRON et al., 2009, tradução nossa).

A arquitetura foi definida da seguinte forma: um telefone com chip NFC e um elemento seguro (cartão *Subscriber identity module* – SIM com comunicação ao chip NFC); um *smart poster* (com uma equita passiva MIFARE); uma primeira aplicação para o usuário, que permite comprar e usar os bilhetes; uma segunda aplicação para proteger os bilhetes utilizando-se do módulo seguro; uma terceira, para o usuário realizar a validação dos próprios dos bilhetes e uma última para verificação pelo gerenciador do sistema (GHIRON et al., 2009, tradução nossa).

Através destes componentes, o usuário inicia tocando o dispositivo habilitado com NFC ao *smart poster*, que direciona o usuário a compra do bilhete eletrônico. Com estes comprados, os bilhetes podem ser testados pelo usuário nos pontos de validação (permitindo checar a veracidade dos bilhetes ou quantidade deles) ou utilizá-los nos pontos de verificação (GHIRON et al., 2009, tradução nossa).

Para os testes de usabilidade, os autores utilizaram-se quatro quesitos: eficiência, sensação de domínio no uso da aplicação, facilidade de uso e automação. Um fato quando ao domínio da aplicação é que o estudo detectou que maioria dos usuários setia medo de operar a aplicação, com receio de perder o controle ou cometer erros (GHIRON et al., 2009, tradução nossa).

Assim sendo, o trabalho considerou o aplicativo desenvolvido útil, utilizando autorização a compra bilhetes de transporte público por meio de um cartaz

inteligente adequado a ônibus ou paradas de trem. O estudo também conseguiu testar usabilidade de forma a encontrar os pontos fracos de aplicação, sugerindo que estes podem ser eliminados em uma versão futura (GHIRON et al., 2009, tradução nossa).

## 6 SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA BASEADO NA TECNOLOGIA NFC

Por meio do conhecimento adquirido no desenvolvimento dos capítulos de referencial teórico, foi possível construir um Sistema de Bilhetagem Eletrônica baseado na plataforma Android, utilizando o NFC como tecnologia de comunicação entre dispositivos. O sistema permite que o armazenamento e utilização de bilhetes eletrônicos através de *smartphones*, sendo composto de três módulos, dois clientes e um *web service*. As etapas metodológicas desenvolvidas estão descritas em sequência.

### 6.1 METODOLOGIA

O processo metodológico do presente trabalho constituiu-se do levantamento bibliográfico, idealização do sistema, seleção das ferramentas de desenvolvimento, implementação do sistema, testes internos, análise e descrição dos resultados obtidos com o seu desenvolvimento.

Na primeira parte, o levantamento bibliográfico foi realizado em três grandes estudos com o objetivo de direcionar o trabalho e estruturar a implementação. Estes estudos iniciaram com o levantamento sobre os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica, definindo atualmente o cenário da área, com destaque para as tecnologias utilizadas.

Em sequência, a tecnologia NFC também foi estudada para a melhor compreensão dos aspectos gerais de transmissão, outras características, observando as potencialidades para o seu uso em um sistema de bilhetagem. Por fim, o estudo focou o funcionamento do Sistema Operacional Android, plataforma escolhida para desenvolvimento do software proposto, bem da implementação do NFC nesta plataforma.

Com todo este embasamento teórico, o sistema foi idealizado pensando nas figuras do cliente que compra e utiliza os bilhetes de um serviço e de um emissor, indivíduo cuja tem o papel de validar o acesso do cliente ao serviço que emite bilhetes através do sistema. Toda essa interação é controlada por um serviço web, que permite que as informações sejam sincronizadas em tempo real.

Todo o desenvolvimento do sistema foi realizado em emuladores, sendo assim nenhum recurso de hardware específico foi necessário, além de um

computador. Como recursos de software, utilizou-se os sistemas operacionais GNU/Linux e Windows, os ambientes de desenvolvimento Eclipse e Netbeans, o kit de desenvolvimento do Android, as bibliotecas ORMLite, Gson, kSOAP e a camada de software Open NFC. O sistema operacional Windows se fez necessário exclusivamente pela compatibilidade do Open NFC, que roda apenas nesta plataforma.

Estes recursos foram providos pelo acadêmico ou estão disponíveis para *download* nos sites de seus respectivos projetos de forma gratuita, de licença código aberto ou software livre.

### 6.1.1 Estudo das Ferramentas Utilizadas

As ferramentas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram direcionadas a aspectos e propósitos diferentes. Para as aplicações Android, o pacote *Android Developer Tools* (ADT) foi utilizado em sua versão *build id* 20131030. Esta escolha se deve ao fato da melhor integração das ferramentas, uma vez que o *ADT Bundle* disponibiliza todos os softwares necessários, inclusive sem necessidade de instalação ou configuração.

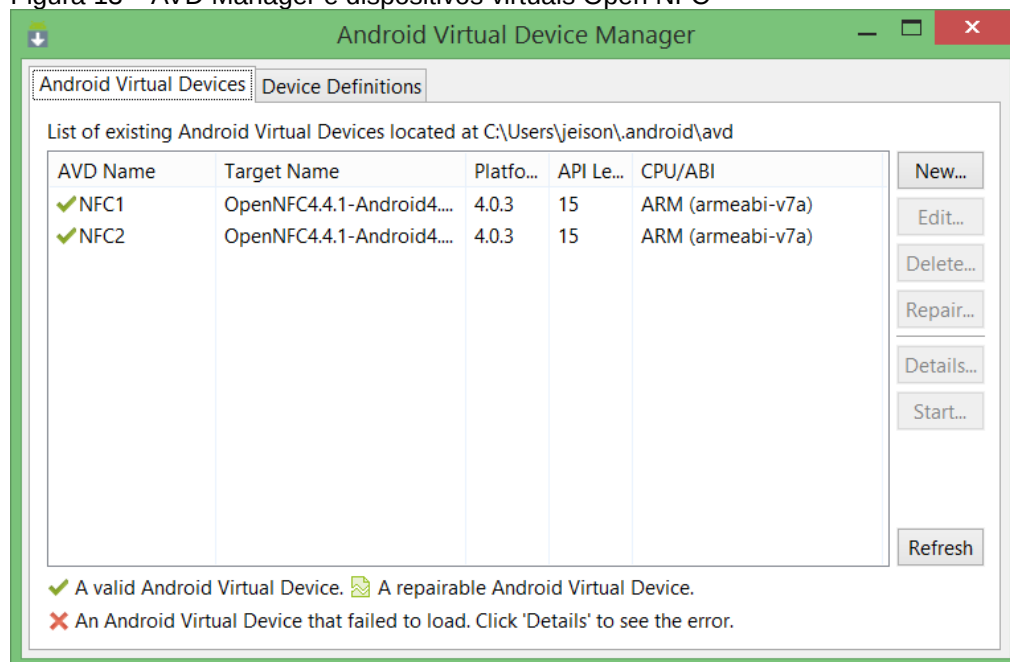
O *ADT Bundle* contém o Android SDK Tools versão 22.6.1, Android SDK Platform-tools versão 19.0.1 e uma versão modificada da *Integrated Development Environment* (IDE) Eclipse Juno 4.2 com o *ADT plugin* integrado. Este *plugin* estende os recursos do Eclipse, possibilitando a criação de projetos para a plataforma, utilizar a ferramenta de design de interface, entre outras funções. O pacote ainda conta com o *SDK Manager* e o *Android Virtual Device (AVD) Manager*, que gerenciam as APIs instaladas e dispositivos virtuais configurados, respectivamente.

Na implementação dos aplicativos, utilizou-se a versão 4.0.3 do Android SDK, API 15, codinome Ice Cream Sandwich, através de duas AVDs uma vez que todos os testes realizados ao longo da implementação executaram-se em emuladores. Atualmente, o emulador provido no SDK Android não suporta os testes em NFC, tornando inviável o desenvolvimento sem dispositivos reais<sup>4</sup>. Para o preenchimento desta ausência, utilizou-se o software terceiro Open NFC, como pode ser observado na figura 13.

---

4 Maiores informações em: <http://developer.android.com/training/beam-files/index.html>

Figura 13 – AVD Manager e dispositivos virtuais Open NFC



Fonte: Do autor.

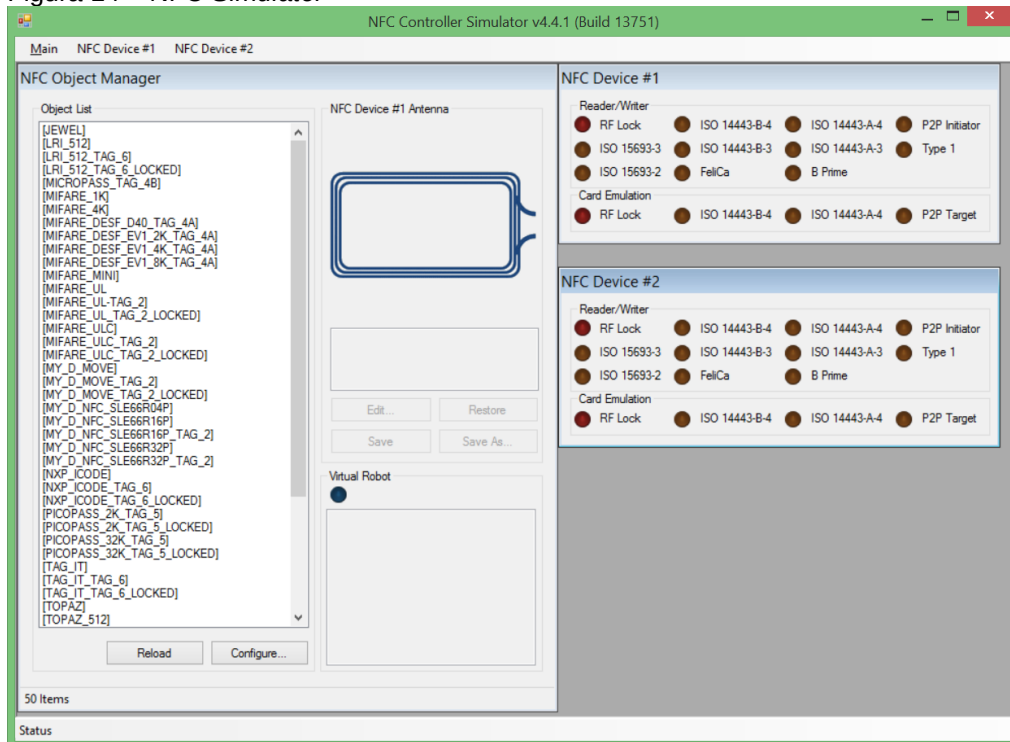
O Open NFC é uma camada de software distribuída sobre licença Apache 2.0 que implementa funcionalidades da tecnologia NFC encontradas em um *chipset* controlador NFC virtualmente ou com dispositivos reais, suportando as plataformas GNU/Linux, Android, Windows, Java e Windows CE. Ele possui suporte aos três tipos de operação do NFC (leitor, emulador de cartão e P2P), uma larga variedade de *tags* e protocolos através de interfaces de alto e baixo nível, entre outras funções (INSIDE SECURE, 2014, tradução nossa).

Para sua utilização no desenvolvimento Android, o Open NFC disponibiliza um complemento que deve ser adicionado a SDK escolhida, sendo que após a sua inclusão o mesmo fica disponível na criação de AVDs como um sistema alvo. Isto acontece porque ele contém uma imagem do *kernel* original com a adição de um módulo extra, que insere um serviço e um *driver*. Estes possibilitam o acesso ao controlador de hardware NFC dos dispositivos virtuais e transmitem as mensagens NFC através de uma conexão TCP/IP (INSIDE SECURE, 2012, tradução nossa).

A versão estável 4.5.2 do Open NFC informa suportar a versão Android 4.2.1 Jelly Bean, mas apenas o complemento da versão 4.4.1 mostrou-se funcional, levando ao uso da versão 4.0.3 do Android. Para as versões mais recentes do complemento, o SDK Manager informava que o mesmo estava quebrado e não poderia ser utilizado.

Além deste complemento, outras duas ferramentas são necessárias para a utilização: *Connection Center* e *NFC Simulator*. O *Connection Center* estabelece um serviço responsável por conectar, via TCP/IP, os dispositivos virtuais configurados para utilizar Open NFC. Já o *NFC Simulator*, ilustrado na figura 14, possibilita as interações de toque entre os dispositivos emulados sejam realizadas, ponto chave executar e depurar aplicativos sem a disponibilidade de hardware. Ambas aplicações estão disponíveis apenas em ambiente Windows.

Figura 14 – NFC Simulator



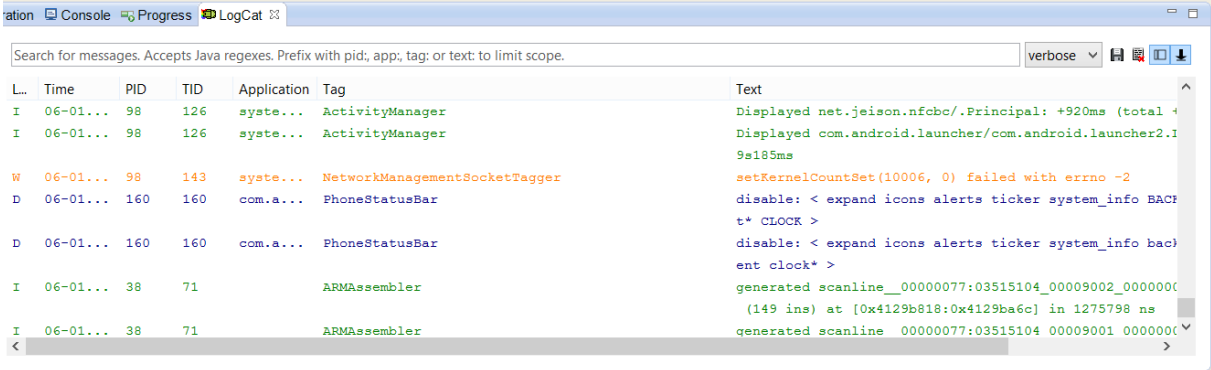
Fonte: Do autor.

Dentro do estudo das ferramentas do Open NFC vale salientar que com o intuito de averiguar o seu real funcionamento, previamente à implementação das aplicações propostas, testes foram realizados com aplicações já implementadas. Como resultado, o LEGIC NFC P2P Example (disponível na loja de aplicativos Google Play) e o Android Beam Demo (disponível nos exemplos da SDK) funcionaram sem problema algum.

Ainda devemos destacar a ferramenta LogCat utilizada no processo de implementação dos aplicativos. No desenvolvimento Android, esta ferramenta é responsável por coletar todos os eventos sendo executados, imprimindo em seu *log* informações, avisos, alertas, erros, tanto da aplicação desenvolvida como outras

menagens provenientes do sistema operacional, tornando-a fonte de consulta ativa do desenvolvedor. A figura 15 exemplifica um pouco melhor essa ferramenta.

Figura 15 – LogCat



The screenshot shows the LogCat window in Android Studio. It features a search bar at the top with the text "Search for messages. Accepts Java regexes. Prefix with pid; app; tag; or text: to limit scope." and a "verbose" dropdown menu. Below the search bar is a table of log entries with columns for Level (L), Time, PID, TID, Application, Tag, and Text. The logs include messages from ActivityManager, NetworkManagementSocketTagger, PhoneStatusBar, and ARMAsembler.

L	Time	PID	TID	Application	Tag	Text
I	06-01...	98	126	system...	ActivityManager	Displayed net.jeison.nfcbc/.Principal: +920ms (total +
I	06-01...	98	126	system...	ActivityManager	Displayed com.android.launcher/com.android.launcher2.I 9s185ms
W	06-01...	98	143	system...	NetworkManagementSocketTagger	setKernelCountSet(10006, 0) failed with errno -2
D	06-01...	160	160	com.a...	PhoneStatusBar	disable: < expand icons alerts ticker system_info BAC t* CLOCK >
D	06-01...	160	160	com.a...	PhoneStatusBar	disable: < expand icons alerts ticker system_info bac ent clock* >
I	06-01...	38	71		ARMAsembler	generated scanline_00000077:03515104_00009002_0000000 (149 ins) at [0x4129b818:0x4129ba6c] in 1275798 ns
I	06-01...	38	71		ARMAsembler	generated scanline_00000077:03515104_00009001_0000000

Fonte: Do autor.

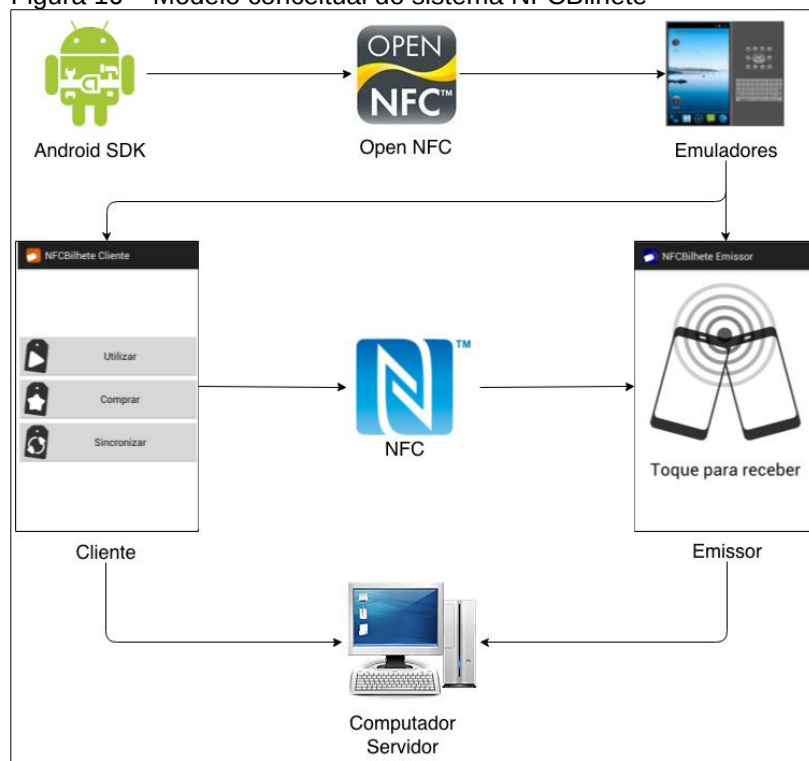
Em outra via, duas últimas ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do *web service* são o NetBeans IDE 8.0 (Build 201403101706), devido à familiaridade no desenvolvimento web, e o Java SDK versão 7, atualização 55. Este componente foi proposto com o objetivo de integrar de dados entre as duas aplicações, principalmente no processo de validação dos bilhetes que veremos a diante.

### 6.1.2 Modelagem conceitual

Para a satisfatória execução deste projeto, diversas tecnologias de desenvolvimento foram utilizadas, sejam recursos disponibilizados pela plataforma Android ou pelos outros softwares utilizados em conjunto, como representa o modelo conceitual exposto na figura 16.

O sistema é composto de duas aplicações desenvolvidas com a Android SDK, NFCBilhete Cliente (NFCBC) e NFCBilhete Emissor (NFCBE). Suas implementações foram realizadas através do emulador padrão da SDK, com a adição da camada de software Open NFC que proporcionou a funcionalidade do NFC nestes emuladores. A conexão entre as aplicações é realizada localmente via NFC e tanto a aplicação do Cliente, quanto a aplicação do Emissor realizam requisições a computador servidor, no qual é executado o módulo NFCBilhete Web Service (NFCBWS).

Figura 16 – Modelo conceitual do sistema NFCBilhete



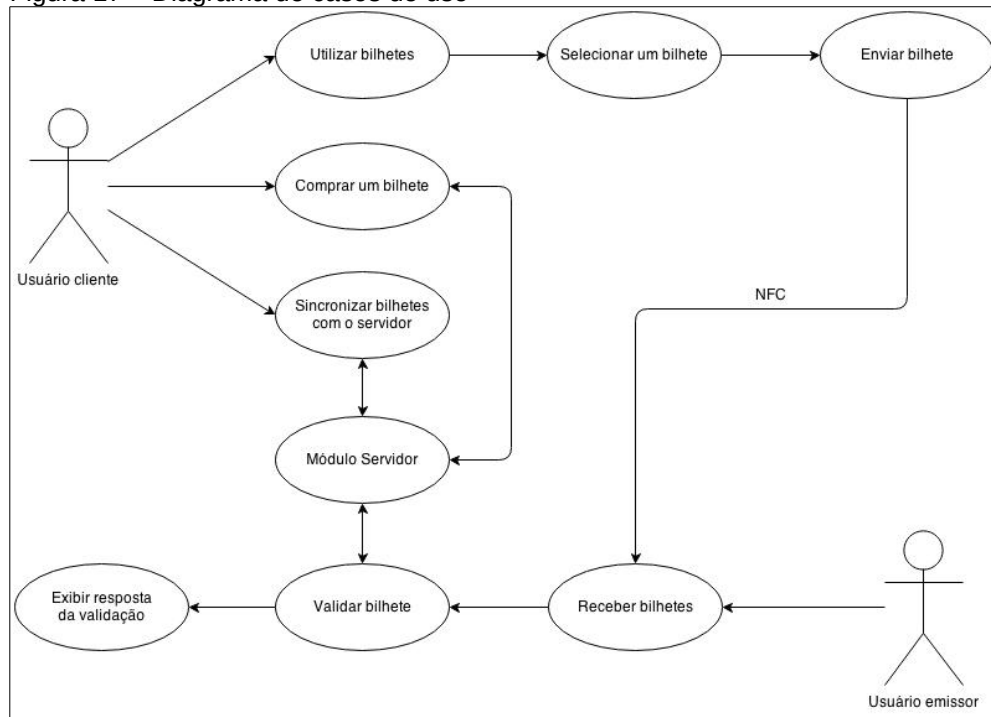
Fonte: Do autor.

Cada aplicação possui características de uso diferenciadas de acordo com cada usuário alvo. Para melhor entendimento, o diagrama de casos de uso elaborado demonstra todas as funções de uso do sistema, cuja pode ser conferido na figura 17.

Em NFCBC estão presentes as funções disponíveis ao usuário cliente, que são Utilizar bilhetes, Comprar bilhetes e Sincronizar bilhetes com o servidor. Sincronizar bilhetes é responsável por baixar os itens atualmente disponíveis no módulo *web service*; Comprar bilhetes faz a inclusão de um novo item no serviço web; e por fim, Utilizar bilhetes disponibiliza ao usuário uma relação de todos os bilhetes que estão baixados localmente em seu dispositivo. A partir deste caso de uso é possível também escolher e enviar o bilhete que se deseja utilizar.

Por outra via, NFCBE contém apenas uma função macro, a Receber bilhete. Após a sua interação via NFC, o usuário emissor é deslocado automaticamente para a função Validar bilhete, que por sua vez acessa o Módulo Servidor para retornar o resultado de todo o processo em Exibir resposta da validação.

Figura 17 – Diagrama de casos de uso



Fonte: Do autor.

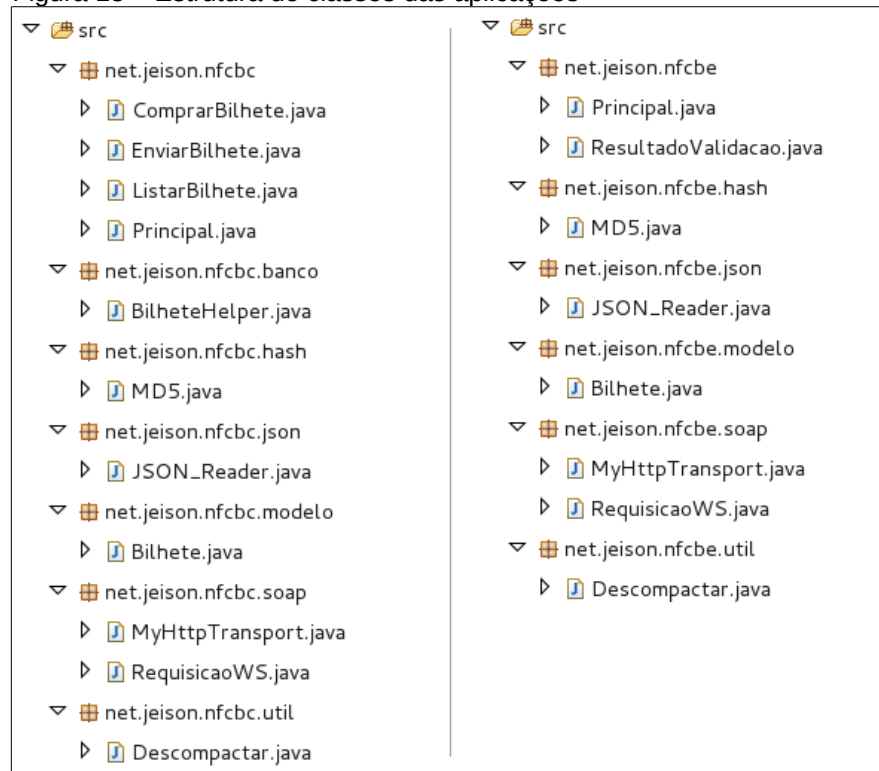
No Módulo Servidor encontra-se o *web service* que recebe os pedidos de cada uma das aplicações, fomentando os dados para a sincronização de bilhetes, inserindo novos bilhetes e validando as utilizações. Este realiza a persistência dos dados em banco de dados gerenciador por ele.

Todos estes componentes e ferramentas, uma vez estudados e modelados, propiciaram que a implantação desta metodologia fosse realizada. O sistema proposto nesta pesquisa seguiu preceitos definidos nesta seção e geraram várias considerações sobre o seu desenvolvimento e neste sentido detalhamos a implementação no item subsequente.

## 6.2 IMPLEMENTAÇÃO

As aplicações NFCBilhete Cliente e NFCBilhete Emissor são implementadas com múltiplas classes, sendo que algumas delas são as mesmas em ambas aplicações. Por este motivo, a apresentação neste texto será realizada de forma conjunta, abrindo para as especificidades de cada aplicação, incluindo também uma explanação do NFCBilhete Web Service. A figura 18 ilustra todas as classes desenvolvidas e como foram organizadas em NFCBC e NFCBE.

Figura 18 – Estrutura de classes das aplicações



Fonte: Do autor.

Através da organização de pacotes realizada, podemos definir quais as classes possuem a mesma implementação nas aplicações Android. As classes comuns estão localizadas nos pacotes `*.hash`, `*.json`, `*.modelo`, `*.soap`, `*.util` e o pacote `*.banco` apenas na aplicação cliente. Os pacotes raízes, por sua vez, abrigam as classes que possuem implementações diferenciadas entre as aplicações, cuja representam as *activities* das aplicações.

### 6.2.1 Classes comuns

O modelo de atributos do bilhete é definido pela classe `Bilhete.java`, que possui os métodos básicos para a manipulação de seu conteúdo. Além deles, a classe contém o método `getBilheteEnvio()` que retorna uma *string* contendo dois parâmetros, código e *hash* do conteúdo do bilhete, distinguidos por um carácter separador. Em NFCBC, também estão inclusas as anotações da biblioteca ORMLite, utilizada para a criação e gerenciamento do banco SQLite.

A classe `MD5.java` implementa nas aplicações o algoritmo de sumarização MD5 através da biblioteca *Security* do Java, executada pelo método

estático desenvolvido `getHashMd5()`. Sua chamada é realizada através da classe `Bilhete.java`, retornando o *hash* de todos os atributos do bilhete.

Para a conexão com o serviço *web*, foram desenvolvidas as classes `MyHttpTransport.java` e `RequisiçãoWS.java`. A primeira inclui os métodos de transporte de dados utilizando a biblioteca `kSOAP`, que por sua vez implementa o protocolo *Simple Object Access Protocol* (SOAP). Esta é utilizada em `RequisiçãoWS.java`, que por sua vez é responsável por criar as requisições ao *web service*, enviado mensagens via SOAP.

Todos os dados trafegados do servidor para as aplicações é feito no formato JSON e, para reduzir um pouco mais o seu tamanho, são entregues compactados. A classe `Descompactar.java` implementam os métodos que o processo de descompactar o arquivo JSON e entregá-los a classe `JSON_Reader.java`, que interpreta os dados e retorna uma lista de objetos do tipo `Bilhete`. A implementação de JSON foi realizada através da biblioteca `Gson`.

### 6.2.2 NFCBilhete Cliente

O primeiro passo para o desenvolvimento de NFCBC foi definir em seu manifesto as permissões para acesso ao hardware NFC, através das entradas `android.permission.NFC` e `android.hardware.nfc` (cuja estão destacadas na figura 19). Além destas, para que a aplicação possa realizar requisições ao servidor, mais uma permissão é definida para o acesso à Internet (`android.permission.INTERNET`).

Figura 19 – Configuração do manifesto de NFCBC

```

android:versionName="1.0" >

<uses-sdk
    android:minSdkVersion="15"
    android:targetSdkVersion="15" />
<uses-permission android:name="android.permission.NFC" />
<uses-feature android:name="android.hardware.nfc" />
<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" />
<uses-permission android:name="android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE" />
<uses-permission android:name="android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE" />

<application
    android:allowBackup="true"
    android:icon="@drawable/ic_launcher"

```

Fonte: Do autor.

A classe `BilheteHelper.java` desenvolvida para que fosse possível utilizar a praticidade proporcionada pela biblioteca ORMLite<sup>5</sup>, que provê na plataforma Android o mapeamento objeto relacional para bancos SQLite. Esta classe contém os métodos `onCreate()` e `onUpdate()`, para criação e atualização em novas versões do aplicativo da base de dados local. Ainda apresenta o método `getDao()`, proporcionado todos os métodos necessários para a inserção, exclusão, atualização de dados através da simples manipulação de objetos.

A primeira *activity* a ser iniciada é a Principal, que provê métodos básicos para o acesso das funções do aplicativo, iniciando as *activities* Comprar bilhete e Listar bilhete. Excede-se o método a função sincronizar, que instancia uma classe interna chamada `AtualizaBilhetes`, responsável por fazer uma requisição ao *web service* e atualizar a base de bilhetes.

Para que não houvesse o congelamento da tela nestas operações, a classe interna estende de `AysncTask`, permitindo realizar a requisição em segundo plano e publicar os resultados na interface, sem manipulação de *threads*. Esta mesma técnica foi utilizada em `ComprarBilhete.java`, para inserção de novos registros no banco remoto.

O modo de operação NFC escolhido para a implementação foi o P2P, onde dois dispositivos ativos realizam a troca de mensagens NDEF. No sistema Android esta função recebe o nome de Android Beam™, utilizada na classe `EnviarBilhete.java`. Esta classe implementa a interface `CreateNdefMessageCallback`, que executa uma chamada de retorno quando outro dispositivo Android com NFC fica em campo próximo.

Neste sentido, no método `onCreate()` que cria uma nova *activity*, o objeto que contém o adaptador do NFC deve executar o método `setNdefPushMessageCallback()`. Ele torna possível que a cada interação dos dispositivos, uma mensagem NDEF seja gerada a partir do conteúdo atualmente visível ao usuário. O método pode ser chamado a qualquer momento, mas apenas se a *activity* estiver em primeiro plano e somente uma mensagem por vez pode ser enviada.

Exemplificando, o código da classe de envio de bilhetes pode ser conferido na figura 20.

---

<sup>5</sup> Descrição completa do funcionamento em <http://ormlite.com/>

Figura 20 – Implementação da interface *CreateNdefMessageCallback*

```

public class EnviarBilhete extends OrmLiteBaseActivity<BilheteHelper> implements
    CreateNdefMessageCallback {

    public NfcAdapter meuAdaptadorNfc;
    private Bilhete bilhete = new Bilhete();

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_enviar_bilhete);

        meuAdaptadorNfc = NfcAdapter.getDefaultAdapter(this);

        if (meuAdaptadorNfc == null) {
            alertaNfcIndisponivel();
        }

        meuAdaptadorNfc.setNdefPushMessageCallback(this, this);

        setBilhete(Integer.parseInt(getIntent().getStringExtra("bilheteSelecionado")));
    }
}

```

Fonte: Do autor.

A interface utilizada obriga a implementação de um método chamado `createNdefMessage()`. Ele é utilizado nas chamadas de retorno definidas pelo método `setNdefPushMessageCallback()`, que necessitam de uma mensagem NDEF para entregar ao dispositivo de destino. Toda mensagem gerada possui um vetor de *bytes* que contém o tipo de dados e o conteúdo do bilhete em seu modo de envio, encapsulados em objeto do tipo `NdefRecord`.

Em NFCBC, o método foi implementado usando o tipo de dados *Multipurpose Internet Mail Extensions* (MIME), utilizando na composição da mensagem a URI da aplicação destino e o bilhete em sua forma de envio. O trecho de código na figura 21 expõe melhor a definição dada ao método.

Figura 21 – Criação de uma mensagem NDEF

```

@Override
public NdefMessage createNdefMessage(NfcEvent evento) {

    NdefMessage bilheteEnvio = new NdefMessage(
        new NdefRecord[] { createMimeRecord(
            "application/net.jeison.nfcbe", bilhete
                .getBilheteEnvio().getBytes() ) });

    return bilheteEnvio;
}

public NdefRecord createMimeRecord(String tipoMime, byte[] payload) {
    byte[] mimeBytes = tipoMime.getBytes(Charset.forName("UTF-8"));
    NdefRecord mimeRecord = new NdefRecord(NdefRecord.TNF_MIME_MEDIA,
        mimeBytes, new byte[0], payload);
    return mimeRecord;
}

```

Fonte: Do autor.

### 6.2.3 NFCBilhete Emissor

Conforme visto com a aplicação cliente, o manifesto de NFCBE inclui além daquelas permissões, algumas definições a mais para que esta seja capaz de receber e processar as mensagens do tipo NDEF, enviadas pela aplicação cliente. Estas definições foram estabelecidas através da declaração de um `intent-filter` na `activity` Principal, com ação a `android.nfc.action.NDEF_DISCOVERED`, cuja informa ao sistema operacional Android que a aplicação está apta a tratar mensagens NDEF recebidas.

Para que a aplicação seja chamada apenas nos casos que forem realmente necessários, no mesmo filtro também foi adicionado uma condição de tipo de dados que aplicação deve receber entre todas as mensagens NDEF possível. O tipo definido aqui é a própria URI da aplicação no sistema, especificamente `application/net.jeison.nfcbe`, como exposto na figura 22.

Figura 22 – Configuração do manifesto de NFCBE

```
<activity
  android:name="net.jeison.nfcbe.Principal"
  android:label="@string/app_name" >
  <intent-filter>
    <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
    <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
  </intent-filter>
  <intent-filter>
    <action android:name="android.nfc.action.NDEF_DISCOVERED" />
    <category android:name="android.intent.category.DEFAULT" />
    <data android:mimeType="application/net.jeison.nfcbe" />
  </intent-filter>
</activity>
```

Fonte: Do autor.

Toda a lógica no recebimento de mensagens NDEF está contida na classe `Principal.java`, sendo que a implementação da interface `CreateNdefMessageCallback` segue o mesmo padrão. A única diferença está no método `createNdefMessage()` que retorna valor nulo, levando em consideração que a aplicação só deve receber mensagens NDEF, não havendo a necessidade da sua definição.

O processo da recepção e tratamento da mensagem inicia-se no método sobrescrito `onResume()`, executado pelo sistema operacional Android quando uma `activity` é restaurada na visão. Isto acontece, por exemplo, quando o usuário troca

para uma outra *activity*, fazendo que a atual saia completamente da tela, e retorna para a mesma. No caso da descoberta de uma mensagem NDEF, o sistema interrompe a *activity* para exibir a interface *Touch to Beam*, e a restaura em seguida. Então no método uma verificação se o motivo da restauração foi a descoberta de uma mensagem NDEF, assim iniciando o método `processaIntent()`.

O sistema de entrega cada mensagem recebida como um objeto do tipo `Intent` que alimenta `processaIntent()`. A implementação foi definida para que do objeto sejam extraídas as informações referentes o bilhete em sua forma de envio. Através de uma classe `AsyncTask`, a aplicação conecta-se ao servidor buscando pelo código do bilhete recebido, converte as informações do arquivo JSON recebidas em um objeto `Bilhete`, e termina conclui comparando o *hash* recebido e o *hash* recém-gerado. Na figura 23 podemos observar melhor a codificação descrita.

Figura 23 – Métodos de recebimento de mensagem

```
@Override
protected void onResume(){
    super.onResume();
    if(NfcAdapter.ACTION_NDEF_DISCOVERED.equals(getIntent().getAction())){
        processaIntent(getIntent());
        setIntent(new Intent());
    }
}

private void processaIntent(Intent intent){
    Parcelable[] mensagensRaw = intent.getParcelableArrayExtra(
        NfcAdapter.EXTRA_NDEF_MESSAGES);
    NdefMessage mensagem = (NdefMessage) mensagensRaw[0];

    String bilheteRecebido = new String (mensagem.getRecords()[0].getPayload());
    new BuscaBilhetes().execute(bilheteRecebido);
}
```

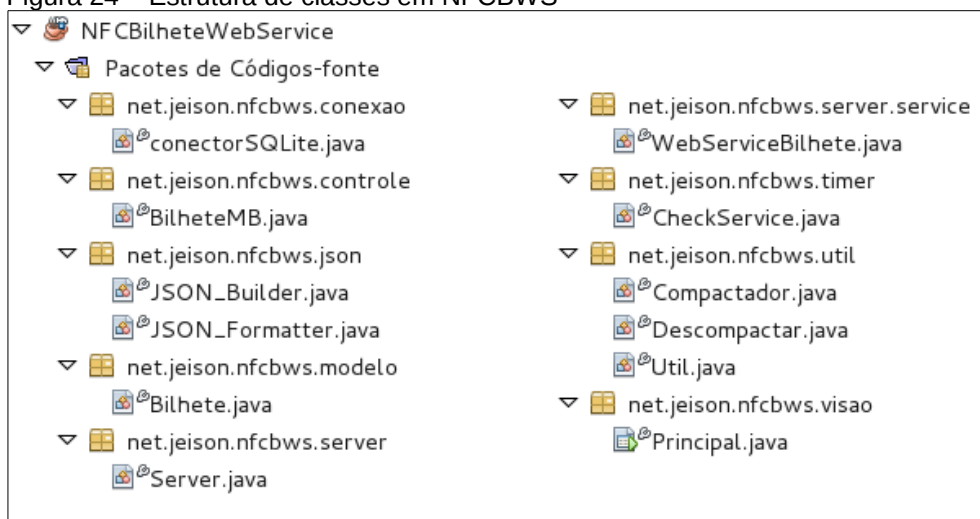
Fonte: Do autor.

Caso o bilhete seja válido, outra requisição é realizada envio ao servidor o código do bilhete utilizado para que o mesmo seja deletado da base de dados remota. Posteriormente, a *activity* Resultado validação recebe os dados gerados no processo anterior, informando em tela ao usuário emissor se o bilhete é válido ou inválido.

### 6.2.4 NFCBilhete Web Service

Componente intermediário do sistema, o *web service* construído em Java através da classe *Endpoint* da biblioteca padrão, através de uma implementação simples e funcional. Os dados trocados entre as aplicações e o serviço foram realizados utilizando o formato de troca de dados JSON, utilizando o protocolo de troca de informações estruturadas SOAP. Na figura 24, pode-se conferir as classes desenvolvidas neste módulo.

Figura 24 – Estrutura de classes em NFCBWS



Fonte: Do autor.

O banco utilizado também seguiu o padrão utilizado nas aplicações, o SQLite para garantir a compatibilidade dos dados de uma forma objetiva. Também encontram-se no projeto classes para a criação do serviço, manipulação JSON, utilitários de compactação dos dados trafegados e uma pequena interface para gerenciamento.

### 6.2.5 Funcionamento do sistema

O fluxo do sistema construído inicia com a aplicação NFCBilhete Cliente, representada pela figura 25. Na tela inicial deste aplicativo o usuário cliente, o utilizador nos serviços emitidos por bilhete, pode selecionar entre três opções diferentes. Nesta visão pode-se dar início a um processo de utilização de um bilhete,

gerar um novo bilhete para posterior uso, ou sincronizar a base de bilhetes local com a base de bilhetes em servidor.

Figura 25 – Tela inicial NFCBC



Fonte: Do autor.

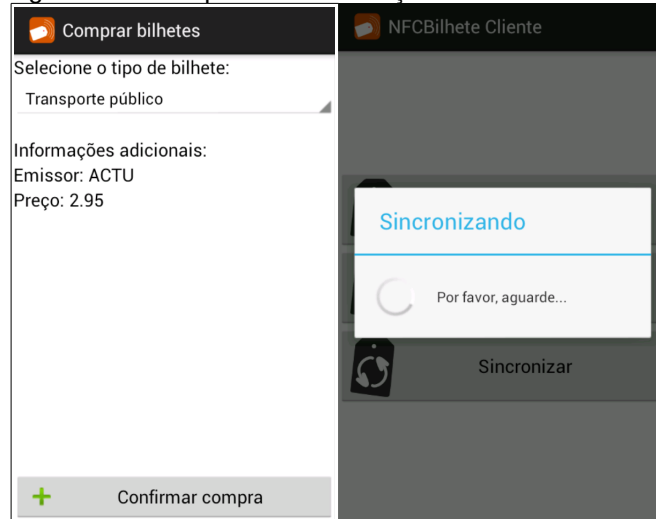
Importante destacar que a NFCBC foi desenvolvida para o menor uso de conexões com o módulo servidor. Nesta linha de pensamento, em apenas dois momentos se faz necessária a conexão com o serviço *web*, um deles é a compra de novos bilhetes (figura 26). Esta opção dispõe ao utilizador a geração de um novo bilhete, visto que não há um sistema de cobrança, apenas uma caracterização do mesmo. No conceito admitido diferentes tipos de serviços estão disponíveis, podendo visualizar algumas informações sobre o bilhete a ser adquirido.

O segundo momento de necessidade de conexão com o servidor é a função de sincronização de bilhetes (figura 26). Ela permite que toda a base de bilhetes disponível ao usuário em *web service* seja baixada para seu dispositivo, eliminando os dados da base local e substituindo seu conteúdo pelos dados recebidos. Deste modo não há necessidade de conexão com a Internet no momento de uso dos bilhetes, já que estes se encontram no banco da aplicação do cliente.

Com uma base de bilhetes em seu dispositivo, o cliente pode escolher a opção Utilizar na interface da aplicação. Em sequência uma relação de bilhetes disponíveis é exibida em tela, definindo o tipo de bilhete, seu código, preço e data de geração. Ao toque de um dos itens da lista, o fluxo do software segue para a tela de

envio de bilhetes, passando o código do bilhete para recuperação das informações pelo processo seguinte.

Figura 26 – Compra e sincronização de bilhetes



Fonte: Do autor.

Na visão Enviar um bilhete (figura 27), o item selecionado tem seus dados recuperados e então é exibido para o usuário, identificando o tipo e código do bilhete que será transferido na interação NFC. Neste ponto, em caso engano ou desistência do processo, pressionando a opção voltar do aparelho retorna-se a seleção de bilhetes. Uma vez definida a escolha, o cliente executa a ação de toque de seu aparelho, instruída na aplicação, junto ao dispositivo do emissor.

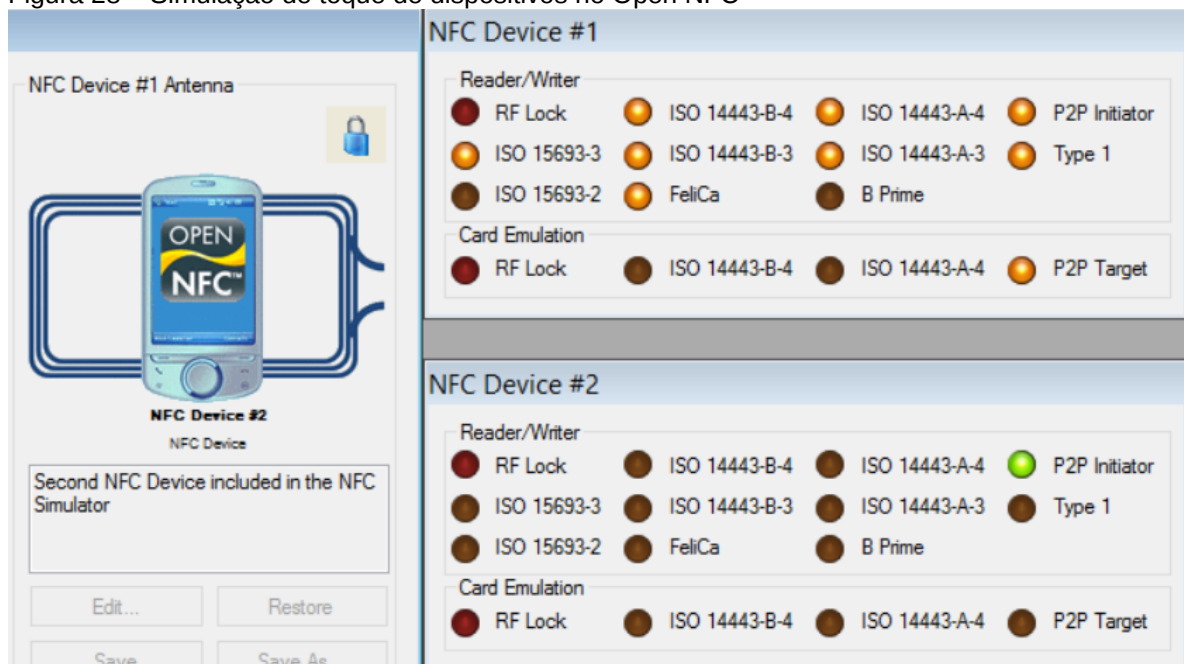
Figura 27 – Seleção para envio de bilhete



Fonte: Do autor.

No ambiente escolhido para o teste e demonstração, a interação física dos aparelhos portadores de NFC é realizada pelo software *NFC Simulator*, mostrado na figura 28. Toda a conexão é realizada pela camada Open NFC de forma transparente aos emuladores. A ferramenta exibe a antena do primeiro do dispositivo virtual iniciado no emulador Android (*NFC Device #1*) e simula a aproximação dos dispositivos quando é selecionado a opção *NFC Device #2* na lista de entradas. Conforme a animação, a figura de um *smartphone* aparece sobre a antena virtual do dispositivo 1, disparando as ações para o tratamento de eventos NFC no sistema operacional Android. Com um duplo clique sobre a figura do dispositivo 2 é possível encerrar a ação, em uma metáfora a ação de desaproximar os aparelhos num caso real.

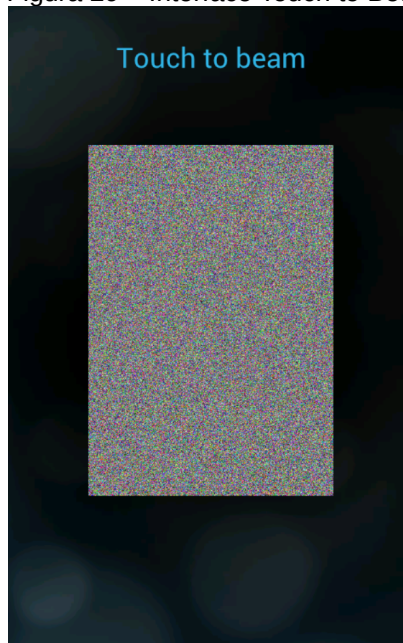
Figura 28 – Simulação de toque de dispositivos no Open NFC



Fonte: Do autor.

Quando a ação de toque é executada, o serviço controlador do hardware NFC no sistema Android informa o surgimento de um evento NFC, surgindo na tela a interface *Touch to beam* (conforme figura 29). Nesta tela o usuário deve confirmar o envio da mensagem NFC, gerada pela aplicação cliente no momento em que é informada pelo sistema da descoberta de um segundo aparelho. Para que a transferência seja realizada com sucesso, ambos dispositivos devem estar desbloqueados e aplicação que enviará dados em primeiro plano.

Figura 29 – Interface Touch to Beam



Fonte: Do autor.

Na segunda dimensão do sistema está a aplicação do usuário emissor, responsável pela validação dos bilhetes de seu serviço. A tela inicial de sua aplicação é simples, sendo que a única interação disponível é o toque com o aparelho do cliente, visualizado na figura 30. Esta aguarda o momento de notificação pelo sistema operacional Android do recebimento de uma mensagem de NFCBC.

Figura 30 – Tela inicial do NFCBE

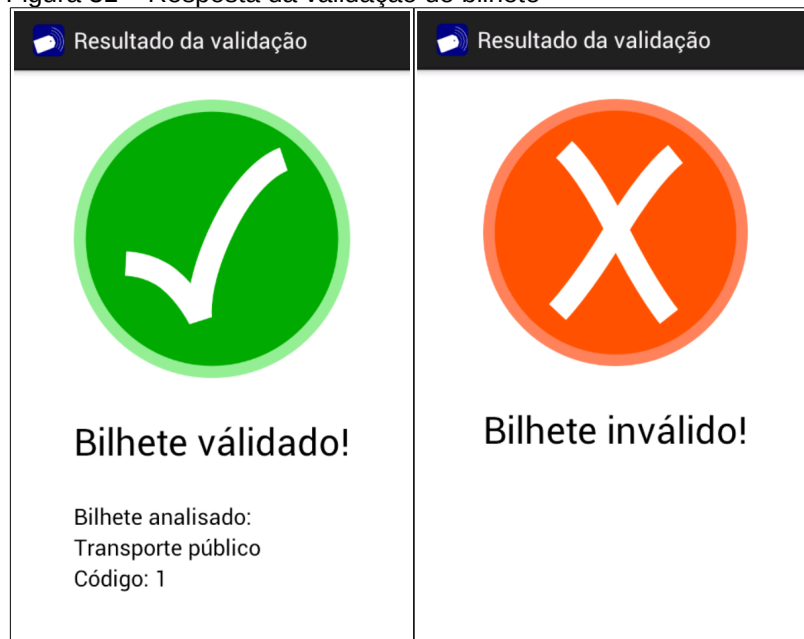


Fonte: Do autor.

A mensagem referente ao bilhete, cuja é enviada pela aplicação cliente, é composta do número do bilhete e um *hash*. Após recebida no aparelho destino, o serviço do controlador NFC dispara uma ação de descoberta de mensagem e busca as aplicações habilitadas para o processamento de mensagens NFC. Ainda assim, o sistema também procura quais entre estas correspondem ao URI informado no conteúdo da mensagem, neste caso o caminho da aplicação no sistema.

Dado que a aplicação foi entregue corretamente a NFCBE, esta inicia o processamento dos dados recebido, identificando o código do bilhete e o *hash* do mesmo. Com o código, a aplicação faz uma requisição ao *web service* buscando o bilhete na base de dados. Caso seja encontrado, os dados do bilhete são entregues a aplicação emissora, que gera um novo *hash* e compara com o recebido. De acordo com a resposta da comparação, o bilhete pode ser válido ou inválido, como expõe a figura 31.

Figura 31 – Resposta da validação de bilhete

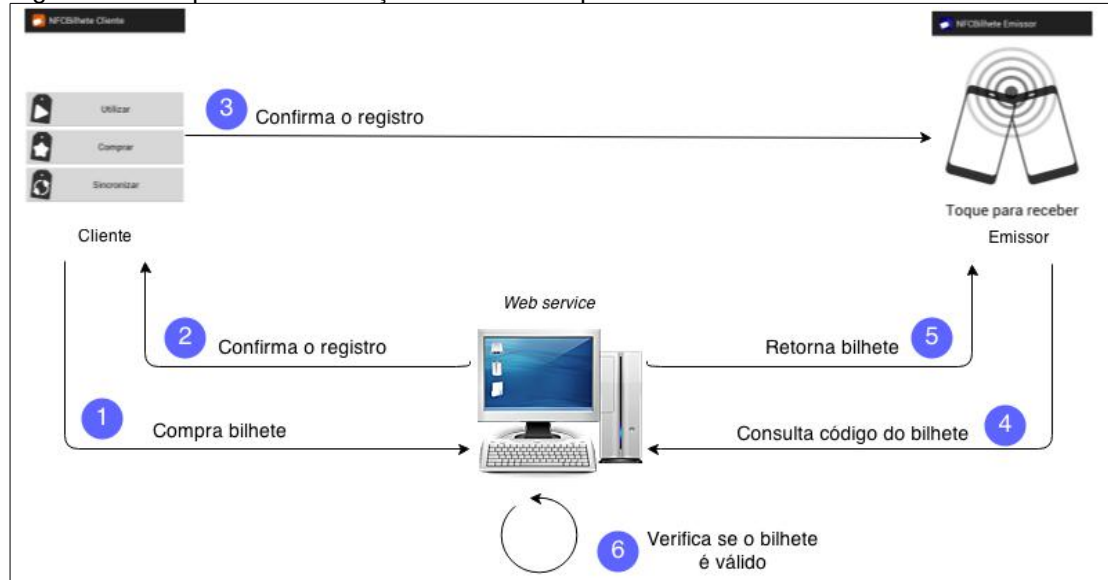


Fonte: Do autor.

Caso seja válido, a aplicação exibe em tela uma confirmação e faz uma nova requisição para invalidar o bilhete na base, através de sua exclusão. Isto previne que o mesmo bilhete possa ser utilizado mais de uma vez, sendo que uma segunda tentativa retorna que o bilhete é inválido. Já caso seja inválido, o NFCBE apenas emite uma resposta em tela informando o usuário emissor.

A figura 32 compila todo o processo descrito acima, provendo uma visualização geral das interações entre os componentes do sistema.

Figura 32 – Esquema de interação entre os componentes do sistema



Fonte: Do autor.

### 6.3 RESULTADOS OBTIDOS

Relembrando os objetivos traçados, logo de início o desenvolvimento do trabalho possibilitou a construção de um material referencial sobre os temas tratados na implementação do sistema proposto, sendo este seu principal objetivo. Os aspectos referentes aos Sistemas de Bilhetagem Eletrônica, destacado os conceitos desde da definição da palavra bilhete até as tecnologias atualmente empregadas neste tipo de sistema. Outro ponto que está incluso neste material é o estudo da tecnologia NFC, descrevendo o seu surgimento, características principais, modos de operação, sua relação com o RFID e demais detalhes.

Passando ao principal objetivo definido para pesquisa, pôde-se obter um sistema composto de duas aplicações Android e um *web service*. O modelo do sistema configurou-se na visão do usuário final do sistema de bilhetagem, que faz a utilização dos bilhetes através da sua aplicação, e do usuário responsável pela validação dos bilhetes emitidos por seu serviço, como um funcionário de uma empresa, aqui definido apenas como emissor.

Um primeiro ponto interessante de se ressaltar, visto a revisão de outros trabalhos e aplicações realizadas ao logo da pesquisa, é a abstração dos bilhetes

atingida com o sistema. Na modelagem projetada, o sistema permite que bilhetes de múltiplos serviços possam ser utilizados, seguindo fielmente a definição dada por Joel R. Goheen (1998, tradução nossa), em que toda situação de reserva e pré-venda de atividades que requerem autorização e validação podem ser tituladas como bilhetes.

A aplicação do cliente final possui três funções básicas a sua utilização, sincronização, compra e utilização de bilhetes. Estas funções têm objetivos bem definidos e de fácil utilização pelo usuário, cuja o fluxo exige poucos toques para conseguir executar uma das ações. Nesta ficam armazenados todos os bilhetes disponíveis ao usuário em banco local, dispensando a conexão com servidor no processo de uso. Isto, pois o usuário pode não dispor de uma conexão, e visualizando a realidade local, o acesso pode ser de baixa qualidade, indisponível ou financeiramente oneroso ao usuário.

A segunda aplicação, volta ao usuário emissor, possui apenas a função de validar os bilhetes transferidos pelo cliente. Após a interação NFC, ela realiza requisições ao serviço *web* automaticamente, retornando ao usuário o resultado do processo de validação: bilhete válido ou inválido. Diferentemente da aplicação cliente, esta tem a necessidade de comunicação constante com o servidor, para que os bilhetes já utilizados sejam excluídos imediatamente após a validação, prevenindo que o mesmo bilhete seja utilizado por mais de uma vez.

O uso da transferência de dados via NFC traz o sistema uma grande simplicidade na troca de informação entre os dispositivos. Para os usuários, esta ação fica muito simples e cognitiva, visto que a interação física do toque é muito mais natural do que alguma implementação com outra tecnologia, como por exemplo o infravermelho ou Bluetooth.

No fluxo do sistema o papel do *web service* também se fez importante, pois integra as informações entre as duas aplicações Android. Sua implementação foi realizada da forma mais simples e objetiva que pudesse atender a sua função no modelo proposto. A aplicação cliente utiliza o módulo servidor para requisitar a geração de novos bilhetes e baixar a base de dados atual e salvá-la para uso local. A aplicação emissora para fazer as consultas e exclusões no processo de validação.

Algumas descobertas e outros detalhes durante a implementação também são foram importantes de nota. O primeiro é a respeito do motivo da troca da plataforma de desenvolvimento em relação a proposta original, de Meego para o

Android. Na plataforma anterior o trabalho não pode ser executado, pois o suporte ao sistema Meego, bem como o próprio projeto foram encerrados o que diminuiu consideravelmente o número de materiais e inclusive o acesso as ferramentas de desenvolvimento da plataforma.

Nesta plataforma os testes da interação NFC também não eram suportados via emulador, nem através de um software de terceiro como Open NFC foi encontrado. Inclusive, um segundo aparelho com a plataforma foi adquirido para a realização dos testes de forma física, mas o funcionamento mostrou-se instável e a junção destes fatores determinaram o abandono da plataforma.

Outra dificuldade no desenvolvimento da aplicação foi o modo de funcionamento da função Android Beam. Devido ao fato de uma *activity* poder enviar uma mensagem por vez, esta pesquisa não encontrou uma forma de implementar uma resposta de forma síncrona para a aplicação cliente, referente ao processo de validação de um bilhete. Uma resposta assíncrona chegou a ser implementada, entretanto foi removida já que não apresentava ser uma forma interessante de solução do problema.

Nas avaliações e testes realizados, entendeu-se que com a presença do módulo servidor este problema não seria muito crítico, pois mesmo se ter a confirmação de que o bilhete foi válido ou não, o cliente não conseguirá reutilizar um bilhete. E a exclusão dos bilhetes já utilizados pode ser feita com um processo de sincronização.

Mesmo com estes pontos, que em verdade vem somar conhecimento ao trabalho, o modelo idealizado e desenvolvido mostra-se uma solução ao problema levantado na introdução e cumpre os objetivos elencados. Dentro de suas dimensões, o sistema é funcional e valida o uso da Sistemas de Bilhetagem Eletrônica em dispositivos móveis com o uso da tecnologia NFC. Todo o texto e o sistema (licenciado em GPL), contando todos os componentes desenvolvidos ficam disponíveis a comunidade e acadêmicos para que possam ainda estudar, modificar e também contribuir para este conhecimento dando procedimento a pesquisas nesta área.

## 7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou a ampliação dos conhecimentos em diversas áreas. Na presente monografia pode-se estudar os conceitos de três grandes áreas, a bilhetagem eletrônica, a tecnologia NFC e a plataforma Android. Além dos conhecimentos teóricos, as aptidões práticas também foram exercitadas e desenvolvidas, principalmente pelo trabalho em uma plataforma e tecnologias diferentes do que foi explorado normalmente na graduação.

Os esforços empregados neste trabalho estiveram sempre em busca de atender o seu objetivo principal: desenvolver um sistema de bilhetagem eletrônica utilizando a tecnologia de transferência de dados em campo próximo embarcada em telefones inteligentes. Estes esforços obtiveram sucesso em sua execução assim como também pode ser dito a respeito dos objetivos específicos.

A abordagem sobre os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica permitiram a definição do conceito deste tipo de sistema e quais são as suas necessidades e tendências atuais. Visualizou-se um breve histórico, tecnologias empregadas, um panorama que definiu o direcionamento ao uso da bilhetagem móvel como proposta de solução ao problema levantado.

Na fundamentação teórica sobre o NFC, obteve-se todo o embasamento necessário para a compreensão do funcionamento do mesmo, até mesmo uma visão das tecnologias de transferência de dados embarcadas em dispositivos móveis. Também conseguiu-se ter um comparativo com o RFID, observando o a evolução do NFC, modos de funcionamento e operação. Como união dos dois mundos, o Android mostrou ser uma poderosa plataforma onde o desenvolvimento com NFC foi simples e eficaz.

O resultado foi um sistema que mostra um modelo de solução para o uso de dispositivos móveis com NFC e pode-se constatar que o uso dos dispositivos móveis agrega várias vantagens a bilhetagem eletrônica em relação a outros métodos. Este é composto de duas aplicações móveis, uma para uso do cliente e outra para uso do emissor do serviço. Adicionalmente, um *web service* também foi construído para melhor integrar o sistema.

A aplicação cliente possui as funções básicas para o cumprir o seu papel, permitindo o armazenamento local dos bilhetes do usuário. Esta característica permitiu um uso sem dependências de conexões com a Internet, fazendo esta

necessária nos momentos de compra de novos bilhetes e sincronização de dados com servidor. A utilização mostrou-se simples, fluída, sendo que com poucos passos o usuário consegue realizar o consumo de seus bilhetes.

Já aplicação do emissor realiza a validação dos bilhetes, informando ao usuário se o bilhete recebido tem validade ou não. Todos os dados são acessados e consolidados no servidor instantaneamente, prevenindo utilização dupla do bilhete por parte do cliente.

Nos testes realizados durante a implementação, o NFC encaixou-se perfeitamente na aplicação emissora, assim como na cliente, uma vez que todo o processo é iniciado com naturalidade de um simples toque. Mesmo que os testes foram realizados em emuladores, pode-se analisar que o método de transferência de dados entre os dispositivos ficou simplificado.

Durante a execução do trabalho, algumas dificuldades foram encontradas na implementação, como da mudança de plataforma e impossibilidade de uma resposta síncrona entre a aplicação emissora e a aplicação cliente. Entretanto, estas dificuldades podem ser entendidas como pontos que colaboram com o conhecimento geral da pesquisa, podem abrir portas em novas direções, potencialidades disponíveis para exploração em trabalhos futuros.

Nesta linha de pensamento, diversos pontos surgiram durante todo o processo de execução do trabalho, cuja podem ser utilizados como sugestão de novos objetivos ao longo de novas pesquisas nesta área. Alguns destes pontos são:

- a) desenvolvimento da resposta síncrona via NFC, podendo assim informar e inviabilizar o bilhete utilizado instantaneamente;
- b) supressão da interface *Touch do Beam*, utilizada por padrão no Android Beam;
- c) implantação de maiores funcionalidades nas aplicações, por exemplo, um histórico de bilhetes utilizados;
- d) criação de um *web service* mais robusto, com um banco de dados e arquitetura de maior confiabilidade;
- e) busca por padrões de bilhetagem eletrônica, permitindo que o sistema possar ter uma interoperabilidade;
- f) suporte a emulação de *smart cards*, sendo possível a comunicação com outros leitores comerciais de cartões;

## REFERÊNCIAS

- ABDUL HAMID, N.; AL A'ZHIM, M. F.; YAP, M. L. **e-Ticketing system for football events in Malaysia**. In: THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE FOR INTERNET TECHNOLOGY AND SECURED TRANSACTIONS. Londres, Inglaterra: 2012 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6470872>>. Acesso em: 29 out. 2013
- ABLESON, F.; SEN, R. **Android in Action**. 2. ed. Greenwich, Conn: Manning Publications, 2011.
- ACTIVECARD. **Cartões de banda magnética**. Disponível em: <<http://www.activecard.pt/cartoes-de-banda-magnetica.html>>. Acesso em: 21 out. 2013.
- ALEXAN TECH. INC. **FAQ**. Disponível em: <<http://www.alexan-tech.com/FAQ.html>>. Acesso em: 26 abr. 2014.
- AMTRAK. **eTicketing Available on All Train Routes: Your Ride Is Just a Barcode Away**. Disponível em: <<http://www.amtrak.com/eticketing-your-ride-is-just-a-barcode-away>>. Acesso em: 14 out. 2013.
- ANDROID DEVELOPERS. **Licenses**. Disponível em: <<http://source.android.com/source/licenses.html>>. Acesso em: 21 abr. 2014.
- ANDROID DEVELOPERS. **Android NDK**. Disponível em: <<http://developer.android.com/tools/sdk/ndk/index.html>>. Acesso em: 23 abr. 2014a.
- ANDROID DEVELOPERS. **Activity**. Disponível em: <<http://developer.android.com/reference/android/app/Activity.html>>. Acesso em: 26 abr. 2014b.
- ANDROID DEVELOPERS. **Near Field Communication**. Disponível em: <<http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/nfc/index.html>>. Acesso em: 27 abr. 2014c.
- ANDROID DEVELOPERS. **android.nfc**. Disponível em: <<http://developer.android.com/reference/android/nfc/package-summary.html>>. Acesso em: 27 abr. 2014d.
- ANDROID DEVELOPERS. **NFC Basics**. Disponível em: <<http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/nfc/nfc.html#p2p>>. Acesso em: 27 abr. 2014e.
- ANDROID DEVELOPERS. **Host-based Card Emulation**. Disponível em: <<http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/nfc/hce.html>>. Acesso em: 27 abr. 2014f.
- BURNETTE, E. **Hello, Android: Introducing Google's Mobile Development Platform**. 3. ed. Raleigh, N.C: Pragmatic Bookshelf, 2010.

- CHANDLER, N. **What's an NFC tag?** Disponível em: <<http://electronics.howstuffworks.com/nfc-tag.htm>>. Acesso em: 3 nov. 2013.
- CHAVES, F. M. V. U. **O Telemóvel como Bilhete Electrónico**. Dissertação (Mestrado)—Lisboa, Portugal: Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- CLARK, S. **One in three mobile phones to come with NFC by 2017**. Disponível em: <<http://www.nfcworld.com/2013/06/05/324448/one-in-three-mobile-phones-to-come-with-nfc-by-2017/>>. Acesso em: 4 nov. 2013.
- COSKUN, V.; OK, K.; OZDENIZCI, B. **Near Field Communication: From theory to practice**. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2012.
- COSKUN, V.; OK, K.; OZDENIZCI, B. **NFC Application Development for Android**. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2013.
- CROSBY, T. **How Airline E-Tickets Work**. Disponível em: <<http://adventure.howstuffworks.com/destinations/travel-guide/tips/how-airline-e-tickets-work.htm>>. Acesso em: 13 out. 2013.
- DAS, R. NFC-enabled phones and contactless smart cards 2008–2018. **Card Technology Today**, v. 20, n. 7–8, p. 11–13, ago. 2008.
- DICTIONARY.COM. **Ticketing**. Disponível em: <<http://dictionary.reference.com/browse/Ticketing>>. Acesso em: 5 out. 2013.
- FERREIRA, A. B. DE H. **Bilhete**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S. A., 1988.
- FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication**. 3. ed. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- FINZGAR, L.; TREBAR, M. **Use of NFC and QR code identification in an electronic ticket system for public transport**. In: 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE, TELECOMMUNICATIONS AND COMPUTER NETWORKS (SOFTCOM). Split, Croácia: 2011Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6064445>>. Acesso em: 29 out. 2013
- GARGENTA, M. **Learning Android**. 1. ed. Sebastopol, Calif: O'Reilly Media, 2011.
- GEMALTO. **Successful deployments of ticketing solutions**. Disponível em: <<http://www.gemalto.com/brochures/download/deployments.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2013.
- GEMALTO. **It's Time for NFC in Brazil**. Disponível em: <<http://www.gemalto.com/nfc/download/Brazil-is-ready-for-NFC-8.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2013.
- GHIRON, S. L. et al. **NFC Ticketing: A Prototype and Usability Test of an NFC-Based Virtual Ticketing Application**. In: FIRST INTERNATIONAL WORKSHOP ON NEAR FIELD COMMUNICATION (NFC '09). Hagenberg, Áustria:

2009Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5190416>>. Acesso em: 29 out. 2013

GOHEEN, J. R. **Electronic Ticketing and Reservation System and Method**, 3 mar. 1998.

GRATTON, D. A. Developing Practical Wireless Applications. In: **Near Field Communications: The Smart Choice for Enabling Connectivity**. Burlington (EUA): Digital Press, 2007. p. 216–224.

HAGL, A.; ASLANIDIS, K. RFID: Fundamentals and Applications. In: KITSOS, P.; ZHANG, Y. (Eds.). **RFID Security: Techniques, Protocols and System-on-Chip Design**. Nova Iorque, EUA: Springer Science+business Media, Llc, 2008. p. 3–26.

HASHIMI, S.; KOMATINENI, S.; MACLEAN, D. **Pro Android 2**. 1. ed. New York, EUA: Apress, 2010.

IATA. **E-Ticketing**. Disponível em: <<http://www.iata.org/whatwedo/stb/Pages/e-ticketing.aspx>>. Acesso em: 12 out. 2013.

IGOE, T. **Getting Started with RFID**. Sebastopol, EUA: O'reilly Media, 2012.

INNOVISION RESEARCH & TECHNOLOGY. **Near Field Communication in the real world: Turning the NFC promise into profitable, everyday applications**. Disponível em: <[http://www.nfc-forum.org/resources/white\\_papers/Innovision\\_whitePaper1.pdf](http://www.nfc-forum.org/resources/white_papers/Innovision_whitePaper1.pdf)>. Acesso em: 2 nov. 2013.

INSIDE SECURE. **Open NFC - Android ICS 4.0.3 - SDK**. Disponível em: <<http://open-nfc.org/wp/2012/04/12/open-nfc-4-4-1-for-android-ics-4-0-3/>>. Acesso em: 2 jun. 2014.

INSIDE SECURE. **Welcome to Open NFC**. Disponível em: <<http://open-nfc.org/wp/>>. Acesso em: 2 jun. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 18092:2013: Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- Near Field Communication -- Interface and Protocol (NFCIP-1)**Geneva (Suíça), 2013.

JACKSON, W. **Android Apps for Absolute Beginners**. 1. ed. Berkeley, Calif. : New York, NY: Apress, 2011.

KAMALESH, V. N. et al. **Virtual ticketing system: A green alternative**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-EDUCATION, ENTERTAINMENT AND E-MANAGEMENT (ICEEE). Bali, Indonésia: 2011. Acesso em: 29 out. 2013

KUMAR, S. **Mobile Barcode(m-Ticketing)**. Disponível em: <<http://suresh-mobileweb.blogspot.com.br/2008/04/mobile-barcodem-ticketing.html>>. Acesso em: 18 abr. 2014.

- LANGER, J.; ROLAND, M. **Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC)**. Berlim, Alemanha: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- LECHETA, R. R. **Google Android - 3ª Edição: Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK**. [s.l.] Novatec Editora, 2013.
- MEDNIEKS, Z. et al. **Programming Android: Java Programming for the New Generation of Mobile Devices**. 1. ed. Beijing: O'Reilly Media, 2011.
- MEIER, R. **Professional Android Application Development**. 1. ed. Indianapolis, IN: Wiley Publishing, Inc, 2009.
- MUELLER, M. New applications for contactless technology. **Card Technology Today**, v. 17, n. 4, p. 10–11, abr. 2005.
- NASUTION, S. M.; HUSNI, E. M.; WURYANDARI, A. I. **Prototype of train ticketing application using Near Field Communication (NFC) technology on Android device**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM ENGINEERING AND TECHNOLOGY (ICSET). Bandung, Indonesia: set. 2012. Acesso em: 11 nov. 2013
- NEEFS, J. et al. **Paper Ticketing vs. Electronic Ticketing Based on Off-Line System “Tapango”**. In: SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP ON NEAR FIELD COMMUNICATION (NFC). Monaco, Principado de Monaco: 2010. Acesso em: 29 out. 2013
- NFC DEVELOPMENT & CONSULTING. **NFC: Touch is the new click**. Disponível em: <<http://www.nfc.cc/2008/10/21/nfc-touch-is-the-new-click/>>. Acesso em: 3 nov. 2013.
- NOKIA. **Introduction to NFC v1.1**. Disponível em: <[http://developer.nokia.com/info/sw.nokia.com/id/bdaa4a0f-fcf3-4a4b-b800-c664387d6894/Introduction\\_to\\_NFC.html](http://developer.nokia.com/info/sw.nokia.com/id/bdaa4a0f-fcf3-4a4b-b800-c664387d6894/Introduction_to_NFC.html)>. Acesso em: 8 nov. 2013.
- OPEN HANDSET ALLIANCE. **Alliance Overview**. Disponível em: <<http://www.openhandsetalliance.com/>>. Acesso em: 21 abr. 2014.
- PELLETIER, M.-P.; TRÉPANIER, M.; MORENCY, C. Smart card data use in public transit: A literature review. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 19, n. 4, p. 557–568, ago. 2011.
- PEREIRA, L. C. O.; SILVA, M. L. DA. **Android para Desenvolvedores**. 1. ed. [s.l.] Brasport, 2009.
- RANKL, W.; EFFING, W. **Smart Card Handbook**. 4. ed. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- ROOS, D. **How Mobile Ticketing Works**. Disponível em: <<http://computer.howstuffworks.com/how-mobile-ticketing-works.htm>>. Acesso em: 14 out. 2013.
- SKARICA, D.; BELANI, H.; ILLES, S. **Implementation and evaluation of mobile ticket validation systems for value-added services**. In: 17TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE, TELECOMMUNICATIONS COMPUTER

NETWORKS (SOFTCOM). Hvar, Croácia: 2009Disponível em:  
<[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=5306831](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5306831)>. Acesso em: 29 out. 2013

SMART CARD ALLIANCE. **About Smart Cards : Introduction : Primer**. Disponível em: <<http://www.smartcardalliance.org/pages/smart-cards-intro-primer>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

STEELE, J.; TO, N. **The Android Developer's Cookbook: Building Applications with the Android SDK: Building Applications with the Android SDK**. 1. ed. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley Professional, 2010.

WEBOPEDIA. **Middleware**. Disponível em:  
<<http://www.webopedia.com/TERM/M/middleware.html>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

**APÊNDICE(S)**

# Desenvolvimento de Sistema de Bilhetagem Eletrônica Baseado na Tecnologia NFC em Telefones Inteligentes

Jeison Cleiton Pandini<sup>1</sup>, Gilberto Vieira da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curso de Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

contato@jeison.net, gilbertovieirasilva@hotmail.com

**Abstract.** *The ticketing systems make use of one corroborative document the user is entitled to its use, the document called ticket. At the beginning the tickets were issued on paper, bringing several problems in managing these, that once through the years, several digital methods have been developed to remedy these deficiencies. Among multiple technologies, Near Field Communication stands out as an option to use simply and intuitive to the user. In this way, the objective of this study was to develop an electronic ticketing system based on the use of mobile devices as a means of storage and use of tickets, through the transmission of data NFC technology.*

**Resumo.** *Os sistemas de bilhetagem utilizam-se de um documento comprovador ao usuário que tem direito a seu consumo, documento este chamado bilhete. No início os bilhetes eram emitidos em papel, trazendo consigo vários problemas na gestão destes, sendo que com o passar dos anos, vários métodos digitais foram desenvolvidos suprir estas deficiências. Entre múltiplas tecnologias, o Near Field Communication destaca-se como uma opção de uso simples e intuitiva ao usuário. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de bilhetagem eletrônica, baseado no uso de dispositivos móveis como meio de armazenamento e utilização de bilhetes, através da tecnologia de transmissão de dados NFC.*

## 1. Introdução

Grande parte dos serviços que utilizamos hoje necessitam de um comprovante, um elemento que certifique que o seu portador está apto a recebê-los, o que também é conhecido por bilhete. A maioria dos sistemas de bilhetagem a nível global são titulados via bens físicos, seja via cartão ou papel impresso, o que acarreta a dependência física entre bilhete e titular. Acompanhando a era digital, os bilhetes começaram a tornarem-se mais eletrônicos, beneficiando emissor e receptor de inúmeras formas (Chaves, 2009).

Múltiplas formas de armazenamento digital surgiram com o objetivo de trazer os bilhetes para dentro dos dispositivos móveis, inicialmente com o uso de mensagens de texto, códigos de barras, *smart cards*, contudo uma tecnologia vem se destacando: a *Near Field Communication* (NFC). O NFC não é inteiramente novo, pois desenvolve a *Radio Frequency Identification* (RFID) apenas de uma forma mais inteligente. Ao contrário do RFID, este se comunica em pequenas distâncias e inerentemente fornece transações seguras e confiáveis [Gratton, 2007, tradução nossa].

Este trabalho desenvolve a proposta da utilização telefones inteligentes dotados de NFC como meio de transmissão e armazenamento do bilhete eletrônico, através do desenvolvimento de um sistema baseado em aplicativos móveis. Com uma aplicação rodando no telefone do usuário, e outra no dispositivo do prestador de serviço, a validação dos títulos é realizada com auxílio de um *web service*, sendo que os bilhetes são transmitidos via NFC, permitindo o uso destes dispositivos como se mesmos fossem os próprios bilhetes.

## 2. Sistemas de Bilhetagem Eletrônica

O *E-ticketing*, termo utilizado na língua inglesa para o tema, é um sistema ou aplicação cuja tem objetivo principal a geração e venda de bilhetes eletrônicos. Consumidores podem reservar ou comprar bilhetes online, e imprimir os títulos em sua própria impressora, podendo usar os impressos para a validação no serviço a ser utilizado. Este tipo de sistema também pode ser integrado a um sistema de banco ou cartão de crédito existente, através de sistemas de pagamento [Abdul Hamid; Al A'zhim; Yap, 2012, tradução nossa].

Sistemas de Bilhetagem Eletrônica permitem também que se possam comprar novos bilhetes e armazená-los em um só cartão. É possível que os usuários realizem a compra através de seus celulares, permitindo também aos prestadores de serviços os registros das operações de compra, bem como das operações de uso dos bilhetes, o que pode ser grande ajuda para o planejamento futuro de recursos disponibilizados [Neefs et al., 2010, tradução nossa].

Os bilhetes eletrônicos são confiáveis e largamente difundidos, podendo ser utilizados em múltiplos campos, através de aplicações para venda de títulos para transporte público, estacionamento, eventos esportivos, concertos e shows [Abdul Hamid; Al A'zhim; Yap, 2012, tradução nossa]. Entretanto não fica limitada a estes, pois situações que envolvem a reserva e pré-venda de atividades que requerem autorização e validação dos indivíduos envolvidos, podem ser assessoradas através deste tipo de sistema [Goheen, 1998, tradução nossa].

A Bilhetagem Móvel (ou *Mobile Ticketing*) tipicamente é caracterizada pelo processo de requisição, geração, transformação e validação executadas usando um dispositivo móvel. Os parâmetros que definem um bilhete podem ser definidos por três pontos: a informação do próprio; a forma digital que esta informação é modelada (uma string ou elemento gráfico); e a tecnologia de entrega. Dentre estas tecnologias se destacam o *Short Message Service* (SMS), *Enhanced Messaging Service* (EMS), *Multimedia Messaging Service* (MMS), *Wireless Application Protocol* (WAP), RFID, código de barras e mais recentemente o NFC [Skarica, Belani, Illes, 2009, tradução nossa].

Recentemente, um método de utilização do bilhete eletrônico que se destacando é através da tecnologia NFC, designado na literatura como *NFC ticketing*. Através da tecnologia vários benefícios podem ser alcançados nos sistemas de bilhetagem eletrônica, tais como, sustentabilidade para várias indústrias, ser um padrão internacional, segurança na troca de dados e a capacidade de suportar aplicações seguras em telefones celulares [Finzgar, Trebar, 2011, tradução nossa].

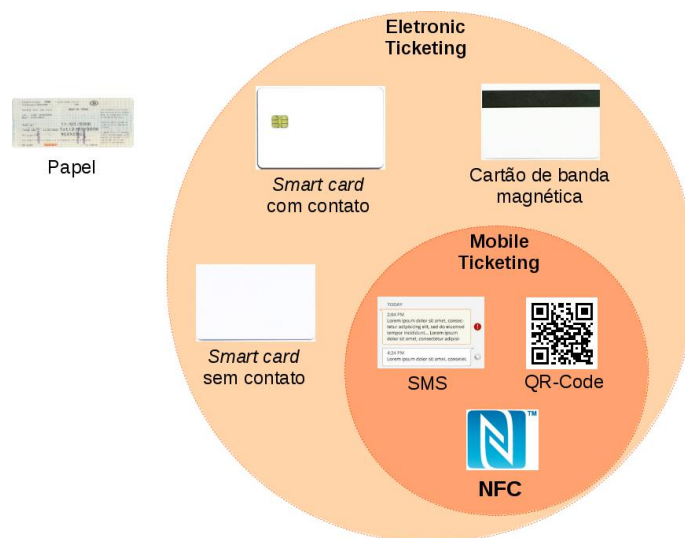


Figura 1. Formas de armazenamento do bilhete em Sistemas de Bilhetagem

### 3. Near Field Communication

O NFC é uma tecnologia de transmissão de dados sem fio para curtas distâncias, sem contato, sendo baseado na tecnologia RFID e nos cartões inteligentes (*smart cards*). Foi desenvolvida pela NXP Semiconductors (antiga Philips Semiconductors) e Sony em 2002, com base nos produtos que já desenvolviam, respectivamente, MIFARE e FeliCa. Por esta origem, o NFC é compatível entre estas duas variantes, contudo não incluindo seus métodos de criptografia proprietária, neste caso optando por padrões abertos como o *Triple Data Encryption Standard* (3-DES), *Advanced Encryption Standard* (AES) e Curvas Elípticas [Langer, Roland, 2010, tradução nossa].

Toda via, mesmo que sua origem provenha da tecnologia *Radio Frequency ID*, o NFC não é um sistema RFID. Sua definição e padronização nos leva o conceito de uma interface de dados sem fio entre dispositivos, similar ao infravermelho ou a popular Bluetooth. Mesmo assim, ambas tecnologias têm várias características que são de interesse e de semelhança aos dois padrões [Finkenzeller, 2010, tradução nossa].

Área de transmissão pode alcançar até aproximadamente 10 centímetros do dispositivo emissor do sinal, e torna o NFC também compatível com as normas RFID de mesma faixa. Atualmente, a taxa de transmissão de dados pode alcançar 106 kbit/s (baseado no hardware MIFARE), 212 kbit/s a 424 kbit/s (baseados no hardware FeliCa). Um dispositivo NFC pode ainda assumir tanto o papel de leitor, quanto o papel de etiqueta, mesmo quando há uma transmissão de energia e dados [Langer, Roland, 2010, tradução nossa].

O NFC possui uma grande aplicabilidade e cenários para uso, o que expande a sua utilização em relação ao RFID. Além de possuir os modos de comunicação ativo e passivo, os dispositivos NFC também são capazes de trabalhar em três diferentes modos operação: leitura/escrita, *peer-to-peer* (P2P) e emulação de cartões. O primeiro modo é mais trivial, permitindo a leitura e gravação de etiquetas, incluindo aqui as etiquetas FeliCa e ISO/IEC 14443 [NFC Development & Consulting, 2008, tradução nossa].

Quando dois dispositivos ativos estabelecem uma comunicação entre si, podem então trocar dados, sendo este o princípio fundamental do modo P2P. Se o volume de dados for relativamente pequeno (poucos *kilobytes*), a conexão NFC pode ser usada para a transferência. Entretanto, com grandes volumes de dados, o NFC pode ser utilizado para estabelecer conexões com outros tipos de conexão sem fios, como o Bluetooth ou WiFi. Neste caso, a tecnologia realiza apenas o pareamento dos dispositivos, adicionando a simplicidade de tocar dois aparelhos e conectar-se via Bluetooth, por exemplo, sem autorizações via códigos de pareamento [Rankl, Effing, 2010, tradução nossa].

Por fim, a emulação de cartão permite ao dispositivo móvel com NFC a funcionar como um cartão sem contato. Tal dispositivo pode se usado para armazenar múltiplos cartões e mesmo que seja um dispositivo ativo, pode se comportar como uma etiqueta passiva. Isto é importante, pois permite que tal dispositivo seja usado em aplicações de pagamento ou bilhetagem, sendo compatível com a atual infraestrutura de *smart cards* existente [Coskun, Ok, Ozdenizci, 2013, tradução nossa].



**Figura 2. Modos de operação dos dispositivos NFC**

## 4. Trabalho Desenvolvido

Por meio do conhecimento adquirido no desenvolvimento dos capítulos de referencial teórico, foi possível construir um Sistema de Bilhetagem Eletrônica baseado na plataforma Android, utilizando o NFC como tecnologia de comunicação entre dispositivos. O sistema permite que o armazenamento e utilização de bilhetes eletrônicos através de *smartphones*, sendo composto de três módulos, dois clientes e um *web service*. As etapas metodológicas desenvolvidas estão descritas em sequência.

### 4.1. Metodologia

O processo metodológico do presente trabalho constituiu-se do levantamento bibliográfico, idealização do sistema, seleção das ferramentas de desenvolvimento, implementação do sistema, testes internos, análise e descrição dos resultados obtidos com o seu desenvolvimento.

Com todo este embasamento teórico, o sistema foi idealizado pensando nas figuras do cliente que compra e utiliza os bilhetes de um serviço e de um emissor, indivíduo cuja tem o papel de validar o acesso do cliente ao serviço que emite bilhetes através do sistema. Toda essa interação é controlada por um serviço web, que permite que as informações sejam sincronizadas em tempo real.

Todo o desenvolvimento do sistema foi realizado em emuladores, sendo assim nenhum recurso de hardware específico foi necessário, além de um computador. Como recursos de software, utilizou-se os sistemas operacionais GNU/Linux e Windows, os ambientes de desenvolvimento Eclipse e Netbeans, o kit de desenvolvimento do Android, as bibliotecas ORMLite, Gson, kSOAP e a camada de software Open NFC. O sistema operacional Windows se fez necessário exclusivamente pela compatibilidade do Open NFC, que roda apenas nesta plataforma.

Estes recursos foram providos pelo acadêmico ou estão disponíveis para download nos sites de seus respectivos projetos de forma gratuita, de licença código aberto ou software livre.

O sistema é composto de duas aplicações desenvolvidas com a Android SDK, NFCBilhete Cliente (NFCBC) e NFCBilhete Emissor (NFCBE). Suas implementações foram realizadas através do emulador padrão da SDK, com a adição da camada de software Open NFC que proporcionou a funcionalidade do NFC nestes emuladores. A conexão entre as aplicações é realizada localmente via NFC e tanto a aplicação do Cliente, quanto a aplicação do Emissor realizam requisições a computador servidor, no qual é executado o módulo NFCBilhete Web Service (NFCBWS).

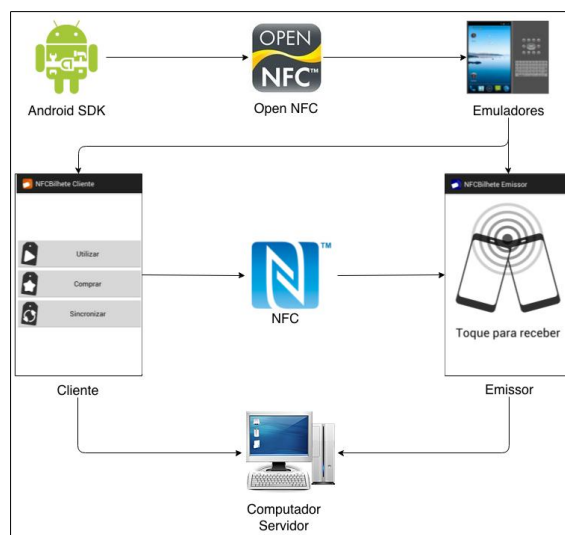


Figura 3. Modelo conceitual do sistema NFCBilhete

#### 4.1. Sistema NFCBilhete

Cada aplicação possui características de uso diferenciadas de acordo com cada usuário alvo. Para melhor entendimento, o diagrama de casos de uso elaborado demonstra todas as funções de uso do sistema.

Em NFCBC estão presentes as funções disponíveis ao usuário cliente, que são Utilizar bilhetes, Comprar bilhetes e Sincronizar bilhetes com o servidor. Sincronizar bilhetes é responsável por baixar os itens atualmente disponíveis no módulo *web service*; Comprar bilhetes faz a inclusão de um novo item no serviço web; e por fim, Utilizar bilhetes disponibiliza ao usuário uma relação de todos os bilhetes que estão baixados localmente em seu dispositivo. A partir deste caso de uso é possível também escolher e enviar o bilhete que se deseja utilizar.



**Figura 4. Tela inicial e envio em NFCBilhete Cliente**

Por outra via, NFCBE contém apenas uma função macro, a Receber bilhete. Após a sua interação via NFC, o usuário emissor é deslocado automaticamente para a função Validar bilhete, que por sua vez acessa o Módulo Servidor para retornar o resultado de todo o processo em Exibir resposta da validação.

No Módulo Servidor encontra-se o *web service* que recebe os pedidos de cada uma das aplicações, fomentando os dados para a sincronização de bilhetes, inserindo novos bilhetes e validando as utilizações. Este realiza a persistência dos dados em banco de dados gerenciador por ele.

O fluxo do sistema construído inicia com a aplicação NFCBilhete Cliente, representada pela figura. Na tela inicial deste aplicativo o usuário cliente, o utilizador nos serviços emitidos por bilhete, pode selecionar entre três opções diferentes. Nesta visão pode-se dar início a um processo de utilização de um bilhete, gerar um novo bilhete para posterior uso, ou sincronizar a base de bilhetes local com a base de bilhetes em servidor.

Com uma base de bilhetes em seu dispositivo, o cliente pode escolher a opção Utilizar na interface da aplicação. Em sequência uma relação de bilhetes disponíveis é exibida em tela, definindo o tipo de bilhete, seu código, preço e data de geração. Ao toque de um dos itens da lista, o fluxo do software segue para a tela de envio de bilhetes, passando o código do bilhete para recuperação das informações pelo processo seguinte.

Na visão Enviar um bilhete, o item selecionado tem seus dados recuperados e então é exibido para o usuário, identificando o tipo e código do bilhete que será transferido na interação NFC. Neste ponto, em caso engano ou desistência do processo, pressionando a opção voltar do aparelho retorna-se a seleção de bilhetes. Uma vez definida a escolha, o cliente executa a ação de toque de seu aparelho, instruída na aplicação, junto ao dispositivo do emissor.

Quando a ação de toque é executada, o serviço controlador do hardware NFC no sistema Android informa o surgimento de um evento NFC, surgindo na tela a interface *Touch to beam*. Nesta tela o usuário deve confirmar o envio da mensagem NFC, gerada pela aplicação cliente no momento em que é informada pelo sistema da descoberta de um segundo aparelho. Para que a transferência seja realizada com sucesso, ambos dispositivos devem estar desbloqueados e aplicação que enviará dados em primeiro plano.

Dado que a aplicação foi entregue corretamente a NFCBE, esta inicia o processamento dos dados recebido, identificando o código do bilhete e o *hash* do mesmo. Com o código, a aplicação faz uma requisição ao *web service* buscando o bilhete na base de dados. Caso seja encontrado, os dados do bilhete são entregues a aplicação emissora, que gera um novo *hash* e compara com o recebido.

Caso seja válido, a aplicação exibe em tela uma confirmação e faz uma nova requisição para invalidar o bilhete na base, através de sua exclusão. Isto previne que o mesmo bilhete possa ser utilizado mais de uma vez, sendo que uma segunda tentativa retorna que o bilhete é inválido. Já caso seja inválido, o NFCBE apenas emite uma resposta em tela informando o usuário emissor.

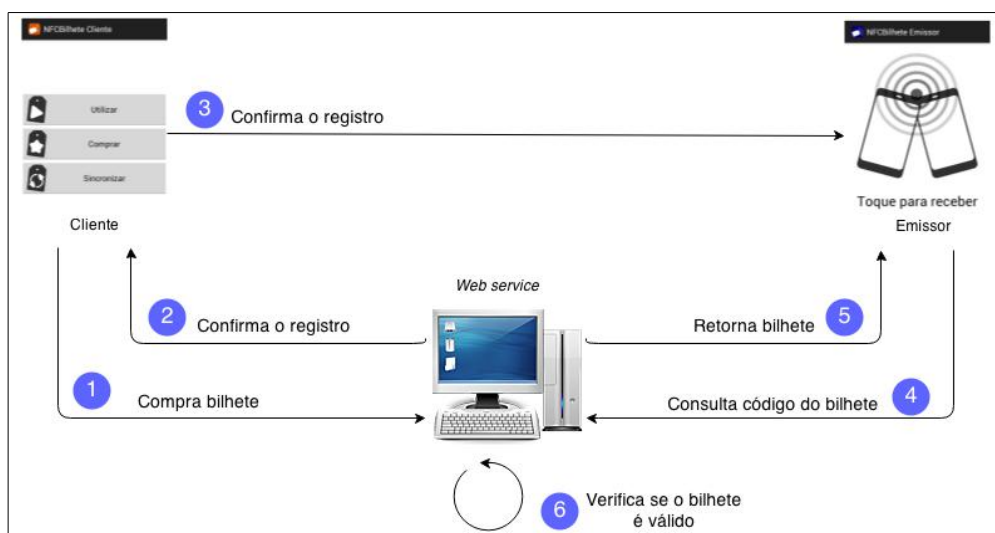


Figura 5 – Esquema de interação entre os componentes do sistema

## 5. Resultados Obtidos

Relembrando os objetivos traçados, logo de início o desenvolvimento do trabalho possibilitou a construção de um material referencial sobre os temas tratados na implementação do sistema proposto, sendo este seu principal objetivo. Neste pôde-se obter um sistema composto de duas aplicações Android e um web service. O modelo do

sistema configurou-se na visão do usuário final do sistema de bilhetagem, que faz a utilização dos bilhetes através da sua aplicação, e do usuário responsável pela validação dos bilhetes emitidos por seu serviço, como um funcionário de uma empresa, aqui definido apenas como emissor.

Um primeiro ponto interessante de se ressaltar, visto a revisão de outros trabalhos e aplicações realizadas ao longo da pesquisa, é a abstração dos bilhetes atingida com o sistema. Na modelagem projetada, o sistema permite que bilhetes de múltiplos serviços possam ser utilizados, seguindo fielmente a definição dada por Joel R. Goheen (1998, tradução nossa), em que toda situação de reserva e pré-venda de atividades que requerem autorização e validação podem ser tituladas como bilhetes.

Na aplicação do cliente ficam armazenados todos os bilhetes disponíveis ao usuário em banco local, dispensando a conexão com servidor no processo de uso. Isto, pois o usuário pode não dispor de uma conexão, e visualizando a realidade local, o acesso pode ser de baixa qualidade, indisponível ou financeiramente oneroso ao usuário. A segunda aplicação, volta ao usuário emissor, possui apenas a função de validar os bilhetes transferidos pelo cliente. Após a interação NFC, ela realiza requisições ao serviço web automaticamente, retornando ao usuário o resultado do processo de validação: bilhete válido ou inválido.

No fluxo do sistema o papel do web service também se fez importante, pois integra as informações entre as duas aplicações Android. Sua implementação foi realizada da forma mais simples e objetiva que pudesse atender a sua função no modelo proposto. A aplicação cliente utiliza o módulo servidor para requisitar a geração de novos bilhetes e baixar a base de dados atual e salvá-la para uso local. A aplicação emissora para fazer as consultas e exclusões no processo de validação.

O uso da transferência de dados via NFC traz o sistema uma grande simplicidade na troca de informação entre os dispositivos. Para os usuários, esta ação fica muito simples e cognitiva, visto que a interação física do toque é muito mais natural do que alguma implementação com outra tecnologia, como por exemplo o infravermelho ou Bluetooth.

Algumas descobertas e outros detalhes durante a implementação também são foram importantes de nota. Na plataforma Android os testes da interação NFC também não eram suportados via emulador, nem através de um software de terceiro como Open NFC foi encontrado. Inclusive, um segundo aparelho com a plataforma foi adquirido para a realização dos testes de forma física, mas o funcionamento mostrou-se instável e a junção destes fatores determinaram o abandono da plataforma.

Outra dificuldade no desenvolvimento da aplicação foi o modo de funcionamento da função Android Beam. Devido ao fato de uma activity poder enviar uma mensagem por vez, esta pesquisa não encontrou uma forma de implementar uma resposta de forma síncrona para a aplicação cliente, referente ao processo de validação de um bilhete. Uma resposta assíncrona chegou a ser implementada, entretanto foi removida já que não apresentava ser uma forma interessante de solução do problema.

Nas avaliações e testes realizados, entendeu-se que com a presença do módulo servidor este problema não seria muito crítico, pois mesmo se ter a confirmação de que

o bilhete foi válido ou não, o cliente não conseguirá reutilizar um bilhete. E a exclusão dos bilhetes já utilizados pode ser feita com um processo de sincronização.

## **6. Conclusão**

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou a ampliação dos conhecimentos em diversas áreas. Na presente monografia pode-se estudar os conceitos de três grandes áreas, a bilhetagem eletrônica, a tecnologia NFC e a plataforma Android. Além dos conhecimentos teóricos, as aptidões práticas também foram exercitadas e desenvolvidas, principalmente pelo trabalho em uma plataforma e tecnologias diferentes do que foi explorado normalmente na graduação.

Os esforços empregados neste trabalho estiveram sempre em busca de atender o seu objetivo principal: desenvolver um sistema de bilhetagem eletrônica utilizando a tecnologia de transferência de dados em campo próximo embarcada em telefones inteligentes. Estes esforços obtiveram sucesso em sua execução assim como também pode ser dito a respeito dos objetivos específicos.

A abordagem sobre os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica permitiram a definição do conceito deste tipo de sistema e quais são as suas necessidades e tendências atuais. Visualizou-se um breve histórico, tecnologias empregadas, um panorama que definiu o direcionamento ao uso da bilhetagem móvel como proposta de solução ao problema levantado.

Na fundamentação teórica sobre o NFC, obteve-se todo o embasamento necessário para a compreensão do funcionamento do mesmo, até mesmo uma visão das tecnologias de transferência de dados embarcadas em dispositivos móveis. Também conseguiu-se ter um comparativo com o RFID, observando o a evolução do NFC, modos de funcionamento e operação. Como união dos dois mundos, o Android mostrou ser uma poderosa plataforma onde o desenvolvimento com NFC foi simples e eficaz.

O resultado foi um sistema que mostra um modelo de solução para o uso de dispositivos móveis com NFC e pode-se constatar que o uso dos dispositivos móveis agrega várias vantagens a bilhetagem eletrônica em relação a outros métodos. Este é composto de duas aplicações móveis, uma para uso do cliente e outra para uso do emissor do serviço. Adicionalmente, um web service também foi construído para melhor integrar o sistema.

A aplicação cliente possui as funções básicas para o cumprir o seu papel, permitindo o armazenamento local dos bilhetes do usuário. Esta característica permitiu um uso sem dependências de conexões com a Internet, fazendo esta necessária nos momentos de compra de novos bilhetes e sincronização de dados com servidor. A utilização mostrou-se simples, fluída, sendo que com poucos passos o usuário consegue realizar o consumo de seus bilhetes.

Já aplicação do emissor realiza a validação dos bilhetes, informando ao usuário se o bilhete recebido tem validade ou não. Todos os dados são acessados e consolidados no servidor instantaneamente, prevenindo utilização dupla do bilhete por parte do cliente.

Nos testes realizados durante a implementação, o NFC encaixou-se perfeitamente na aplicação emissora, assim como na cliente, uma vez que todo o processo é iniciado com naturalidade de um simples toque. Mesmo que os testes foram realizados em emuladores, pode-se analisar que o método de transferência de dados entre os dispositivos ficou simplificado.

Durante a execução do trabalho, algumas dificuldades foram encontradas na implementação, como da mudança de plataforma e impossibilidade de uma resposta síncrona entre a aplicação emissora e a aplicação cliente. Entretanto, estas dificuldades podem ser entendidas como pontos que colaboram com o conhecimento geral da pesquisa, podem abrir portas em novas direções, potencialidades disponíveis para exploração em trabalhos futuros.

## Referências

- Chaves FMVU (2009) O Telemóvel como Bilhete Electrónico. Dissertação (Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa
- Gratton DA (2007) Developing Practical Wireless Applications. Field Commun. Smart Choice Enabling Connect. Digital Press, Burlington (EUA), pp 216–224
- Abdul Hamid N, Al A’zhim MF, Yap ML (2012) e-Ticketing system for football events in Malaysia. Londres, Inglaterra, pp 556–561
- Neefs J, Schrooyen F, Doggen J, Renckens K (2010) Paper Ticketing vs. Electronic Ticketing Based on Off-Line System “Tapango.” Monaco, Principado de Monaco, pp 3–8
- Goheen JR (1998) Electronic Ticketing and Reservation System and Method.
- Skarica D, Belani H, Illes S (2009) Implementation and evaluation of mobile ticket validation systems for value-added services. Hvar, Croácia, pp 260–264
- Finzgar L, Trebar M (2011) Use of NFC and QR code identification in an electronic ticket system for public transport. Split, Croácia, pp 1–6
- Langer J, Roland M (2010) Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC). Springer Berlin Heidelberg, Berlim, Alemanha
- Finkenzeller K (2010) RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, 3rd ed. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, Reino Unido
- NFC Development & Consulting (2008) NFC: Touch is the new click. <http://www.nfc.cc/2008/10/21/nfc-touch-is-the-new-click/>. Accessed 3 Nov 2013
- Rankl W, Effing W (2010) Smart Card Handbook, 4th ed. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, Reino Unido
- Coskun V, Ok K, Ozdenizci B (2013) NFC Application Development for Android. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, Reino Unido