OSVALDO GOGLIANO SOBRINHO

SERVIÇO DE RESOLUÇÃO E DESCOBERTA
DE INFORMAÇÕES SOBRE OBJETOS
EM SISTEMAS BASEADOS EM RFID

São Paulo
2013

OSVALDO GOGLIANO SOBRINHO

SERVIÇO DE RESOLUÇÃO E DESCOBERTA
DE INFORMAÇÕES SOBRE OBJETOS
EM SISTEMAS BASEADOS EM RFID

Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de
Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Livre-Docente
Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo
2013

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 10 de outubro de 2013.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Gogliano Sobrinho, Osvaldo

Serviço de resolução e descoberta de informações sobre objetos em sistemas baseados em RFID / O. Gogliano Sobrinho. -- versão corr. -- São Paulo, 2013. 123 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. Rastreamento 2. Logística 3. Internet 4. Radiofrequência I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho
à minha esposa e meu eterno amor,
Renata Maria Marè Gogliano,
pelo seu constante apoio e incentivo, por
sua inabalável confiança em meu
trabalho, por todos os momentos
roubados de nosso convívio e pela
cuidadosa revisão do textos
e sugestões precisas que tornaram este
trabalho possível.
Sem você, nada teria acontecido...

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Dirceu e Juju, que não puderam me acompanhar até o final desta jornada, mas que a tudo observaram de um plano superior.

Ao meu orientador, Prof. Livre-Docente Carlos Eduardo Cugnasca, por seu apoio, sua sapiência e paciência....

Aos Professores do Laboratório de Automação Agrícola da Escola Politécnica da USP, Prof. Titular Antonio Mauro Saraiva, Prof. Dr. Pedro Luis Pizzigatti Corrêa e Prof. Dr. Andre Riyuiti Hirakawa pelo apoio, incentivo e sugestões.

Ao Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva pelo apoio e pelas valiosas sugestões.

À minha sogra, Maria Valentina de Oliveira Marè, pelos momentos de bom humor que sempre temperam as dificuldades.

À empresa Abili Tecnologia da Informação Ltda. pelo suporte material a esta pesquisa e por ser uma constante fonte de desafios.

À Cuca, que a cada minuto de falta, respondeu com horas de carinho e amor.

À Nina, Neve e Terra, que, cada uma, acompanharam esta jornada em momentos e circunstâncias diversas, mas igualmente importantes.

Ao Dr. Ede Oliveira Silva, pelo suporte nos aspectos insanos deste processo.

Ao meu colega do LAA Prof. Leonardo Barreto Campos pelas sugestões.

Aos meus colegas e professores do Laboratório de Automação Agrícola da Escola Politécnica da USP pelo incentivo, apoio e sugestões.

À Elisa. Este trabalho é dedicado também a você...

EPÍGRAFE

“Ideas and information are important, but things matter much more.”

(Kevin Ashton)

RESUMO

Apresenta-se o resultado de uma pesquisa destinada a propor um serviço para a resolução e descoberta de informações sobre objetos. Neste contexto, entendem-se como objetos os itens de uma cadeia produtiva e, como prováveis clientes do serviço proposto, sistemas de informação destinados ao gerenciamento de logística junto às cadeias produtivas e/ou à manutenção de dados sobre a rastreabilidade das cadeias. Encontram-se no mercado diversos sistemas de informação com estas características. A conveniência da troca de informações diretas entre os membros das cadeias produtivas, motiva diversos pesquisadores a propor a criação de padrões de dados. Uma das propostas mais relevantes, apresentada pela entidade internacional GS1, envolve a especificação de uma arquitetura para estes sistemas, bem como um vocabulário de dados padronizado, a Rede EPCglobal[®]. A utilização da tecnologia RFID permite a obtenção automática de dados, quando da passagem dos itens por leitores RFID instalados ao longo da cadeia produtiva. A utilização de um código padronizado, denominado *Electronic Product Code*[™] (EPC) na gravação das etiquetas RFID é outra vantagem desta tecnologia. Uma das funcionalidades essenciais deste sistema consiste na possibilidade de obtenção de informações relativas a um determinado produto. Estas informações podem se encontrar não somente no produtor do item, mas em todos os membros da cadeia produtiva que tiveram acesso ao item. Esta funcionalidade é o único aspecto da rede EPCglobal[®] ainda não especificada pelo GS1. Por esta razão, diversos pesquisadores têm-se dedicado à elaboração de propostas. O resultado desta pesquisa é mais uma delas. A solução apresentada baseia-se no uso de redes *peer-to-peer* (P2P), mais especificamente do protocolo Kademlia, escolhido a partir da comparação entre os vários protocolos propostos na literatura, visando a uma melhor eficácia. A partir de uma simulação efetuada em software especialmente desenvolvido para esta finalidade, apresentam-se os detalhes da sugestão e os resultados obtidos com sua utilização.

Palavras-chave: EPC. EPCglobal[®]. RFID. Internet das coisas. Rastreabilidade. Logística. Redes P2P. Kademlia.

ABSTRACT

This is the result of a survey intended to propose a resolution and discovery service of information about objects. In this context, objects are items of a production chain and, likely customers of the proposed service, are information systems intended for logistics management at the productive chains and/or maintenance of data on traceability of supply chains. This scenario fits perfectly to the paradigm of the Internet of Things, where objects of everyday use have active participation on the Internet. The convenience of direct exchange of information between the members and the supply chains motivates many researchers to propose the creation of data standards. One of the most relevant proposals, presented by the international organization GS1, involves the architecture specification for these systems, as well as a standard data vocabulary, the EPCglobal[®] Network. The use of RFID technology allows obtaining data, during the passage of items by RFID readers installed along the supply chain. The use of a standardized code in the recording of RFID tags, called the Electronic Product Code[™] (EPC), is another advantage of this technology. One of the essential features of this system is the possibility of obtaining information relating to an individual product. This information can be found not only in item producer, but also in all members of the supply chain that had access to the item. This functionality is the only aspect of EPCglobal[®] not yet specified by GS1. For this reason, several researchers have been working with new suggestions. The solution presented is another proposal based on the use of an implementation of a peer-to-peer (P2P) network, using the Kademlia Protocol, chosen from the comparison between the several protocols proposed in the literature, aiming at a better effectiveness. From a simulation carried out in software specially developed for this purpose, we present the details of the suggestion and the results obtained with its use.

Keywords: EPC. EPCglobal[®]. RFID. Internet of things. Traceability. Logistics. P2P networks. Kademlia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo de uma Cadeia Produtiva	18
Figura 2 – Sistema RFID.	29
Figura 3 - Etiquetas RFID em diversas apresentações.....	30
Figura 4 – Aplicação da tecnologia RFID em ambiente hospitalar.....	40
Figura 5 – Arquitetura EPCglobal.....	44
Figura 6 – Conversão de código EPC sgtin96 para sua correspondente URI.	48
Figura 7 – Busca a partir de ONS	49
Figura 8 – Busca por EPCDS.....	49
Figura 9 – EPCDS centralizado.....	51
Figura 10 - Rede P2P DHT	53
Figura 11 - Modelo de diretório	54
Figura 12 - Modelo <i>query relay</i>	54
Figura 13 - Modelo de descoberta agregada	55
Figura 14 – Utilização da tecnologia RFID ao longo de uma cadeia produtiva.....	57
Figura 15 – Diagrama de Sequência – Exemplo de busca de eventos envolvendo determinado EPC.....	58
Figura 16 - A rede EPCglobal ao longo da cadeia produtiva.	59
Figura 17 – Formação dos <i>k-buckets</i>	68
Figura 18 – Representação dos nós de uma rede Kademlia em árvore binária.	69
Figura 19 – Busca pelo nó 1010.....	69
Figura 20 - Cliente de uma EPCIS baseado na rede P2P Kademlia original.....	79
Figura 21 – Exemplo de fluxo para a busca proposta.	80
Figura 22 – Diagrama funcional do emulador de nó P2P Kademlia modificado.	82
Figura 23 – Diagrama funcional do software de simulação.....	83
Figura 24 – Tela do computador realizando a simulação.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Chaves GS1 (GS1, 2012)	39
Tabela 2 - Exemplos de eventos em ambiente hospitalar.....	40
Tabela 3 - Código SGTIN-96 e SGTIN-198. Alocação de <i>bits</i> por partição	37
Tabela 4 - Esquemas de Codificação e Chaves GS1	38
Tabela 5 – Parâmetros globais do protocolo Kademlia.....	70
Tabela 6 – Comparação entre redes P2P DHT.....	76
Tabela 7 – Parâmetros da simulação.....	88
Tabela 8 – Resultados obtidos	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores correspondentes aos EPCs gerados durante a simulação e sua distribuição pela rede	100
Quadro 2 – Resultados das buscas efetuadas durante a simulação	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALE	Application Level Events
DDNoS	Distributed Denial of Service
DHT	Distributed Hash Table
DNS	Domain Name System
DoS	Denial of Service
EAN	European Article Number
EPC	Electronic Product Code
EPCDS	EPC Discovery Service
EPCIS	EPC Information System
GDTI	Global Document Type Identifier
GIAI	Global Individual Asset Identifier
GID	General Identifier
GLN	Global Location Number
GRAI	Global Returnable Asset Identifier
GSRN	Global Service Relation Number
GTIN	Global Trade Item Number
IETF	Internet Engineering Task Force
IOT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NAPTR	Naming Authority Pointer Record
ONS	Object Name Services
P2P	Peer-to-Peer
RFID	Radio Frequency Identification
SGTIN	Serialized Global Trade Item Number
SISBOV	Serviço Brasileiro de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos
SOA	Service Oriented Architecture
SSCC	Serial Shipping Container Code
TTL	Time to Live

UCC	Uniform Code Council
UDP	User Datagram Protocol
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
UTC	Coordinated Universal Time
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language
XOR	Exclusive OR

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	4
AGRADECIMENTOS	5
EPÍGRAFE	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE QUADROS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
SUMÁRIO	14
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO	18
1.1 Cadeias produtivas.....	18
1.2 Rastreabilidade.....	19
1.2.1 Segurança Alimentar.....	19
1.2.2 Legislação, normas e regulamentos	20
1.2.3 Diferencial mercadológico	22
1.2.4 Logística	22
1.3 Identificação de produtos	23
1.3.1 Códigos de barra.....	23
1.3.2 RFID	24
1.4 A proposta EPCglobal®	25
1.5 Estrutura do documento	25
1.6 Relevância do tema.....	26
1.7 Definição do problema e hipótese assumida.....	27
1.8 Objetivo do trabalho	27
1.9 Materiais e métodos	27
2 RFID E INTERNET DAS COISAS.....	29
2.1 <i>Radio Frequency Identification</i> (RFID)	29
2.1.1 Possibilidades	30
2.1.2 Restrições	31
2.2 Internet das Coisas.....	32

3	ELECTRONIC PRODUCT CODE – EPC.....	35
3.1	GS1	35
3.2	Electronic Product Code™	35
3.3	Chaves GS1	39
4	EPCglobal® System.....	42
4.1	Aspectos gerais do EPCglobal	42
4.1.1	Leitura dos códigos EPC.....	43
4.1.2	Eventos em Nível de Aplicação (<i>Application Level Events</i> – ALE)	45
4.1.3	EPC Information System (EPCIS).....	45
4.1.4	Servidores de Nome de Objetos	46
4.1.5	Serviço de Descoberta de EPCs (<i>Electronic Product Code Discovery Services</i> - EPCDS).....	48
4.1.5.1	Requisitos.....	50
4.1.5.2	Modelos de Arquitetura para EPCDS.....	51
4.1.5.3	Interfaces de serviço	53
4.1.5.3.1	Modelo de diretório	53
4.1.5.3.2	Modelo query relay.....	54
4.1.5.3.3	Modelo de descoberta agregada	55
4.1.5.4	Considerações gerais.....	56
4.2	Utilização do EPCglobal	57
4.3	Perspectivas sobre a utilização futura do EPCglobal.....	59
4.4	Exemplos de aplicações do EPCglobal.....	60
4.4.1	Gerenciamento de Estoque - Brasil	61
4.4.2	Rastreabilidade da cadeia vinícola - da Itália para Hong Kong.....	61
4.4.3	Rastreabilidade da Carne – Nova Zelândia	62
5	REDES PEER-TO-PEER (P2P) – KADEMLIA.....	63
5.1	Características.....	63
5.2	Redes P2P DHT	64
5.3	Kademlia.....	65
5.3.1	Métrica de distância e propriedades	65
5.3.2	Roteamento.....	67
5.3.3	Protocolo Kademlia	70
5.3.3.1	Mensagem <i>PING</i>	71
5.3.3.2	Mensagem <i>STORE</i>	71

5.3.3.3	Mensagem <i>FIND_NODE</i>	71
5.3.3.4	Mensagem <i>FIND_VALUE</i>	71
5.3.3.5	Rotina <i>Node_Lookup</i>	71
5.3.3.6	Rotina <i>Value_Lookup</i>	72
5.3.3.7	Rotina <i>Iterative_Store</i>	72
5.3.4	Conexão à rede.....	72
5.3.5	Procedimentos	73
5.4	Melhorias no protocolo Kademlia	73
5.5	Segurança	74
5.6	Outras arquiteturas P2P DHT.....	74
5.6.1	Tapestry	74
5.6.2	Chord.....	75
5.6.3	Pastry	75
5.7	Comparação entre arquiteturas.....	76
6	SOLUÇÃO PROPOSTA.....	78
6.1	Problema não resolvido no algoritmo Kademlia.....	78
6.2	Proposta do autor	79
6.3	Simulação.....	80
6.3.1	<i>Gateway</i> coordenador.....	81
6.3.2	Emulador de nó.....	81
6.3.3	Inicializador da rede	81
6.3.4	Alimentador de dados	82
6.3.5	Módulo de consulta	82
6.3.6	Equipamento utilizado.....	84
6.3.7	Ferramentas e linguagem utilizadas	84
6.4	Código fonte do software empregado.	85
6.5	Pontos não abordados na solução proposta.....	85
7	RESULTADOS E CONCLUSÕES	86
7.1	Resultados obtidos	86
7.1.1	Requisitos não funcionais	86
7.1.2	Requisitos funcionais	87
7.2	Conclusões.....	88
7.3	Sugestões para pesquisas futuras	89
	REFERÊNCIAS.....	90

ANEXO A. Valores correspondentes aos EPCs gerados durante a simulação e sua distribuição pela rede	100
ANEXO B. Resultados das buscas efetuadas durante a simulação.....	113

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Apresentam-se neste capítulo, os elementos que compõem o cenário de aplicação do serviço proposto bem como, a estrutura deste documento. A seguir, apresentam-se a relevância do tema abordado, a definição do problema identificado a partir da revisão bibliográfica e a hipótese gerada. Finalmente, apresenta-se o objetivo principal da pesquisa.

1.1 Cadeias produtivas

Considerando-se a cadeia produtiva como instrumento de visão sistêmica, supõe-se que a produção de bens pode ser representada por meio de um sistema que interconecta os diversos atores, alimentados por fluxos de insumos, capital e informação. Seu objetivo é suprir o mercado consumidor com seus produtos (GOMES DE CASTRO; LIMA; CRISTO, 2002).

Segundo os mesmos autores, este conceito surgiu no setor agrícola, dada a necessidade de considerações sobre o negócio antes e depois da propriedade agrícola. Desta forma, cadeias produtivas agropecuária englobam fornecedores de insumos básicos, as fazendas, agroindústrias e unidades de comercialização atacadista e varejista, chegando ao consumidor final. Acompanham e alimentam esta cadeia fluxos de capital, insumos e informação. Exibe-se na Figura 1, um modelo de cadeia produtiva agrícola.

Figura 1 – Modelo de uma Cadeia Produtiva. Fonte: Gomes de Castro et. al. (2002).

1.2 Rastreabilidade

A seguir, apresentam-se considerações sobre aspectos ligados à rastreabilidade nas cadeias produtivas.

Considera-se um cenário onde todos os atores participantes de determinada produtiva utilizem a tecnologia apresentada neste trabalho, o que hoje não ocorre, de um modo geral. Com os potenciais benefícios da adoção desta tecnologia, expostos ao longo deste trabalho, é razoável supor-se que isto possa ocorrer em um intervalo de tempo razoavelmente curto.

1.2.1 Segurança Alimentar

A crescente preocupação com a rastreabilidade de produtos alimentícios acentuou-se durante as décadas de 1980 e 1990. Eventos na Europa, como a contaminação do leite e derivados, na Bélgica, por dioxinas (BERNARD et al., 2002) e, em particular, a disseminação da *Encefalopatia Espongiforme Bovina* (LATOUCHE; RAINELLI; VERMERSCH, 1998), o *mal da vaca louca*, afetaram duramente o mercado da carne e leite.

Outras questões têm contribuído para o aumento deste interesse (MACHADO, 2000). Os consumidores têm demonstrado interesse crescente na obtenção de informações sobre os alimentos consumidos. São cada vez mais frequentes perguntas como:

- Um produto (ou insumo de alimento industrializado) foi geneticamente modificado?
- Em seu cultivo ou processamento, foram utilizados pesticidas, defensivos agrícolas, fertilizantes, fungicidas, aditivos ou outros produtos químicos?
- Em que condições foram colhidos, transportados, armazenados e processados?
- Existe a presença, no caso de produtos industrializados, de insumos de origem animal, o que os torna vedados a consumidores vegetarianos ou com restrições de ordem religiosa?
- No caso de produtos de origem animal, como estes foram criados?

1.2.2 Legislação, normas e regulamentos

Em 28 de janeiro de 2002 foi promulgado o Regulamento (CE) Nº 178/2002 do Parlamento Europeu e Conselho (2002). Em seu artigo 18º, definiram-se responsabilidades para todos os envolvidos na cadeia produtiva de alimentos ou produtos alimentícios comercializados dentro da ou para a comunidade europeia. A adoção destas medidas tornou-se obrigatória a partir de 1º de janeiro de 2005.

A norma ABNT ISO 22000 (2006) também trata da rastreabilidade aplicada a organizações produtoras de alimentos, em seu item 7.9:

A organização deve estabelecer e aplicar um sistema de rastreabilidade que permita a identificação de lotes de produtos e sua relação com lotes de matérias-primas, processamento e registros de liberação.

O sistema de rastreabilidade deve ser capaz de identificar o material recebido de fornecedores diretos e a rota inicial de distribuição do produto final.

Os registros de rastreabilidade devem ser mantidos por um período definido para a avaliação do sistema, de modo a permitir o tratamento adequado de produtos potencialmente inseguros e no eventual recolhimento do produto. Os registros devem estar de acordo com os requisitos estatutários e regulamentares e requisitos de clientes e podem, por exemplo, ser baseados na identificação do lote do produto final.

O mesmo Regulamento define rastreabilidade como:

a capacidade de detectar a origem e de seguir o rasto de um género alimentício, de um alimento para animais, de um animal produtor de géneros alimentícios ou de uma substância, destinados a ser incorporados em géneros alimentícios ou em alimentos para animais, ou com probabilidades de o ser, ao longo de todas as fases da produção, transformação e distribuição.

Além da questão comercial, é importante ressaltar que esta exigência legal decorre de uma justa preocupação com a questão da segurança alimentar.

A rastreabilidade das cadeias atende a requisitos de outras áreas, como logística e metrologia.

Segundo a norma ISO ABNT 9000:2005 (2005), rastreabilidade é a "capacidade de recuperar o histórico, a aplicação ou a localização daquilo que está sendo considerado". Em sua Nota 1, apresenta-se claramente a preocupação com questões ligadas à logística:

Ao considerar um produto, a rastreabilidade pode estar relacionada com: a origem dos materiais e as peças; o histórico do processamento; e a distribuição e localização do produto depois da entrega.

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas (2008) trata a questão de maneira adequada a seu domínio, trazendo a definição de *rastreabilidade metrológica* como sendo:

a propriedade de um resultado de medição em que o resultado pode ser relacionado com uma referência por meio de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada qual contribuindo para a incerteza da medida.

No âmbito da América do Sul, não se menciona o termo rastreabilidade na Portaria Mercosul GMC, nº 80/96 (1996), em seu anexo “Regulamento Técnico sobre as condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Elaboradores / Industrializadores de Alimentos”, referendada no Brasil pela Portaria 368 de 1997 (1997) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

A iniciativa brasileira mais conhecida na área, o antigo Serviço Brasileiro de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos (SISBOV), atualmente denominado Sistema de Identificação Individual de Bovinos e Búfalos, tem como objetivo

registrar e identificar o rebanho bovino e bubalino do território nacional possibilitando o rastreamento do animal desde o nascimento até o abate, disponibilizando relatórios de apoio à tomada de decisão quanto à qualidade do rebanho nacional e importado.

Em Janeiro de 2013 sua revisão foi submetida à consulta pública, com o objetivo de adequá-lo à nova legislação instaurada pela Lei 12.097/2009 (2009). Esta lei refere-se especificamente à rastreabilidade das cadeias produtivas das carnes de bovinos e de búfalos. São dignos de destaque os seguintes aspectos:

- Os produtores têm um prazo de dois anos para a adoção das medidas apresentadas (Art. 3º, parágrafo único);
- Os dados de rastreabilidade deverão ser mantidos por um período de 5 anos (Artº. 3º);
- Para identificação do produtor, o Art. 4º determina o uso de “marca a fogo, tatuagem ou outra forma permanente e auditável de marcação dos animais”;
- O Art. 5º, parágrafo 3, determina que “será dispensado o uso de marca a fogo, tatuagem ou outra forma de marcação permanente quando for utilizado sistema de identificação dos animais por dispositivo

eletrônico”; esta abertura permite a utilização de outras tecnologias como a RFID;

- Finalmente, a Lei especifica que a manutenção dos dados de rastreabilidade deverão ser feitas por meio eletrônico (Art. 4º, Item V, parágrafo 2).

1.2.3 Diferencial mercadológico

Especialmente importantes para a indústria alimentícia são as questões do valor agregado a seus produtos aos olhos do público consumidor e dos subsídios fornecidos para a fundamentação de solicitações de *indicações geográficas* (indicação de procedência e denominação de origem), concedidas pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) (2000).

A solicitação destas concessões ao INPI, pode ser significativamente fortalecida quando uma política de rastreabilidade é adotada, seguida da coleta e fornecimento de dados adequados. No Brasil, considera-se estratégico o valor agregado aos produtos por estas indicações, principalmente com a proximidade dos grandes eventos previstos a partir de 2014..

Em Abril de 2012, foi lançada a terceira edição do Catálogo de Indicações Geográficas Brasileiras (GIESBRECHT, 2011) que apresenta 14 indicações geográficas no país até 2011.

No mercado internacional, o efeito destas indicações foi objeto de estudo de Dimara e Skuras (2003).

1.2.4 Logística

Uma das grandes preocupações da logística é a análise de tempos ao longo das cadeias produtivas. Conceitos como operação *just-in-time*, compressão do ciclo de tempo, redução de custos associados ao tempo são preocupações sempre presentes em análises de logística (DAUGHERTY; PITTMAN, 1995).

As dificuldades na gestão da cadeia produtiva decorrem das inúmeras instalações e organizações que a compõem, com objetivos distintos e, muitas vezes, opostos, da exigência do emparelhamento de suprimento e demanda, e da

imposição de novos problemas criados ao longo do tempo, que não apresentam histórico conhecido para tomada de decisões e desenvolvimento de soluções (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

Um dos fatores que impactam a produtividade da cadeia produtiva é o tempo de permanência de um item nos vários estágios. As unidades de negócio envolvidas na cadeia produtiva devem trabalhar de forma sincronizada, mantendo contínuos a velocidade e o fluxo de movimentação do item, minimizando os tempos de permanência (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

A avaliação do tempo de permanência pode ser problemática por depender de registros de movimentação, usualmente, de um grande número de itens. A coleta automática destes tempos, por meio de sistemas de informação pode contribuir significativamente para esta análise e, conseqüentemente para a gestão da logística.

No Capítulo 4 deste trabalho, apresenta-se a arquitetura de sistemas de informação que podem levar à obtenção automática destes dados.

1.3 Identificação de produtos

As exigências do gerenciamento das cadeias produtivas impõem a capacidade de identificar produtos e lotes de maneira unívoca.

Sob o ponto de vista da rastreabilidade, o Regulamento (CE) Nº178/2002 (2002) especifica em seu Artigo 18º: “Todos os alimentos colocados no mercado devem ser adequadamente etiquetados e identificados, com o objetivo de facilitar a sua rastreabilidade”.

A Norma NBR ISO 22000 traz em seu item 7.9: “O sistema de rastreabilidade deve ser capaz de identificar o material recebido de fornecedores diretos e a rota inicial de distribuição do produto final”.

1.3.1 Códigos de barra

Código de barras é uma representação gráfica, linear ou bidimensional, que corresponde a um valor ou conjunto de dados numéricos ou alfanuméricos.

A história dos códigos de barra, tais como conhecidos hoje, iniciou-se em 1948 por meio de Bernard Silver e Normal Joseph Woodland. A partir da idéia de

utilizar o código Morse, estendendo pontos e traços em uma dimensão, a primeira proposta utilizava uma tinta especial que brilhava sob luz ultravioleta. A tecnologia tornou-se madura na década de 1960 e sua utilização comercial começou na década seguinte. Mais exatamente, em 26 de Junho de 1974 o primeiro produto comercializado com um código de barras foi uma caixa de chicletes (que hoje faz parte do acervo do Instituto Smithsonian em Washington D.C.) em um supermercado na cidade de Troy, Ohio (SEIDEMAN, 2011).

Os dados destinam-se à identificação de produtos, pessoas, unidades logísticas, dentre outros, e são capturados a partir de *scanners* ou coletores de códigos de barras.

Ao longo das últimas décadas, o surgimento de inúmeros padrões para impressão e leitura destes códigos (GS1 BRASIL, 2012) . A popularização desta tecnologia permite a automação significativa no manuseio de itens manufaturados. Por outro lado, a existência de padrões distintos leva à necessidade de múltiplos tipos de leitores e adaptação de softwares.

1.3.2 RFID

Radio Frequency Identification (RFID) é um processo de identificação de objetos ou pessoas, baseado em aproximação eletromagnética. Envolve a aplicação de etiquetas (*tags*) nos objetos a serem identificados, e leitores para a obtenção das informações ali registradas.

Em relação aos códigos de barras, as etiquetas RFID apresentam inúmeras vantagens como capacidade para armazenamento de maior densidade de informação, habilidade para comunicação bidirecional (*tags* ativas e passivas), e comunicação sem a necessidade de aproximação ótica (WHITE et al., 2007).

A partir da década de 1990, esta tecnologia vem sendo amplamente aplicada em diversos domínios, levantando questões sobre normas, segurança, privacidade e ética. Possui importante papel como suporte à logística em cadeias produtivas, justamente pela capacidade de identificar e rastrear a informação em todas as suas etapas (Zhu et al., 2012).

1.4 A proposta EPCglobal®

A existência de uma multiplicidade de padrões para sistemas de codificação, conforme exposto no item 1.3.1 dificulta a integração de informações entre parceiros de uma cadeia produtiva.

O GS1, entidade internacional sem fins lucrativos com membros afiliados em mais de 100 países dedica-se ao desenvolvimento e implementação de padrões e soluções que em sua visão, incrementem a eficiência e visibilidade das cadeias de suprimentos e demanda ao redor do mundo, e entre setores” (GS1, 2010b). Uma de suas iniciativas foi a criação do EPCglobal® System (daqui por diante denominado EPCglobal), cujo propósito é “dar suporte à adoção universal do *Electronic Product Code* (EPC) e de padrões correlatos que permitem a visibilidade de informações ao longo das cadeias produtivas, de maneira pronta e efetiva em termos de custo” (GS1, 2008b).

Estes padrões permitem não apenas a globalização de uso dos códigos EPC, mas também a troca de informações entre parceiros de negócios, além de viabilizar a criação de um mercado de soluções em sistemas de informação, já que os padrões definem apenas interfaces e vocabulários de dados, deixando suas possíveis implementações a cargo dos usuários.

1.5 Estrutura do documento

Este documento segue, em sua apresentação, a ordem em que a pesquisa foi realizada.

No Capítulo 2 apresentam-se com maior profundidade a tecnologia RFID e o conceito de Internet das Coisas.

No Capítulo 3 segue-se a mesma linha do anterior, mas referindo-se ao EPC.

No Capítulo 4 apresentam-se os aspectos do EPCglobal, detalhando-se em sua arquitetura os serviços *Object name services* (ONS) e *EPC Discovery Service* (EPCDS). A seguir, descreve-se e exemplifica-se a sua utilização.

No Capítulo 5 descreve-se a rede *Peer-to-peer* (P2P), base da arquitetura proposta, e o software Kademlia utilizado na pesquisa.

No Capítulo 6 apresentam-se as etapas do método de pesquisa adotado, que

possibilitaram o desenvolvimento do serviço proposto.

No Capítulo 7 apresentam-se os resultados alcançados e as conclusões. Ao final, sugestões de pesquisas futuras correlatas.

No Anexo A apresentam-se os valores correspondentes aos EPCs gerados durante a simulação e sua distribuição pela rede

No Anexo B apresentam-se os resultados das buscas efetuadas durante a simulação.

1.6 Relevância do tema

A importância do tema apresentado reside não apenas no fato da proposta ser uma contribuição ao único elemento da rede EPCglobal, ainda não especificado pelo GS1. A relevância intrínseca da rede EPCglobal agrega valor à pesquisa em questão.

A possibilidade de obtenção, de maneira automatizada e em grandes volumes, de informações relevantes para a rastreabilidade e logística das cadeias produtivas, aliada às interfaces previstas na rede para interação com Sistemas de Informação diversos, conferem à rede EPCglobal potencial significativo para a resolução das dificuldades hoje encontradas para gerenciamento e controle das cadeias produtivas.

Em particular, o uso de serviços EPCDS é vital para o sucesso da rede EPCglobal, pois somente ele torna possível a localização de informações em nível de produto (considerando-se produtor, modelo e número de série). Como sua definição encontra-se aberta pelo GS1, qualquer discussão e contribuição de qualidade à sua futura implementação é bem vinda.

A rede EPCglobal tem sido internacionalmente pesquisada em diversas cadeias produtivas, com vários exemplos de implementações (THAKUR et al., 2011) (THIESSE et al., 2009) , inclusive no Brasil, a exemplo do projeto piloto em 2005, envolvendo as empresas Companhia Brasileira de Distribuição do Grupo Pão de Açúcar, Accenture, Procter & Gamble e Gillette (ACCENTURE, 2005) e a implantação em supermercado no Brasil relatada por Dalfovo e Hostins (2010).

Resta salientar que o EPCglobal constitui-se em um dos primeiros casos de arquitetura de sistemas que contempla um número considerável de características

propostas no que hoje se denomina a “Internet das Coisas” (*Internet of Things – IoT*).

1.7 Definição do problema e hipótese assumida

A partir da revisão bibliográfica realizada, identificou-se o seguinte problema: a especificação da arquitetura EPCglobal, não apresenta uma solução para um de seus mais importantes módulos, aquele que permite a busca de informações sobre objetos ao longo das cadeias produtivas a partir de seu código EPC, denominado *EPC Discovery Service* (EPCDS). A definição de uma proposta adequada para este serviço é um problema a ser enfrentado pela comunidade científica.

A hipótese assumida pelo autor foi a viabilidade da especificação para este serviço por meio da utilização de redes do tipo *peer-to-peer* (P2P). Nesta hipótese, têm-se como variáveis independentes o algoritmo básico da rede P2P bem como as contribuições propostas. Como variáveis dependentes têm-se o desempenho (velocidade de retorno das informações) e eficácia (capacidade de localizar todas as informações disponíveis) da solução, passíveis de medição por simulação da solução proposta.

1.8 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de serviço de resolução e descoberta de informações sobre objetos em redes EPCglobal (EPCDS), a partir da análise de alternativas para a arquitetura de redes P2P, com a escolha de uma arquitetura básica a ser utilizada, e com a devida contribuição do autor para que se chegue às características de desempenho e eficácia aceitáveis, conforme tratamento mais adiante neste documento.

1.9 Materiais e métodos

A condução da pesquisa passou pelas seguintes fases:

- Revisão bibliográfica

- Estudo aprofundado da proposta EPCglobal®
- Estudo sobre redes *peer to peer*
- Estudo sobre protocolos para redes *peer to peer*
- Elaboração da proposta
- Desenvolvimento do software de simulação
- Realização da simulação
- Avaliação dos resultados.

2 RFID E INTERNET DAS COISAS

2.1 *Radio Frequency Identification (RFID)*

O uso de sistemas baseados na tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID), embora proposto há várias décadas (LANDT, 2005), intensificou-se somente nos últimos anos, devido aos avanços da tecnologia que permitiram uma diminuição significativa de custos e a produção de dispositivos de menor tamanho.

Simplificadamente, um sistema envolvendo o uso da tecnologia RFID é constituído por etiquetas (*tags*) RFID, leitores e sistemas de captura de dados (Figura 2).

Figura 2 – Sistema RFID.

Dividem-se as etiquetas RFID em dois grandes grupos: ativas ou passivas. Nas etiquetas passivas (sem alimentação própria), um campo magnético proveniente do leitor induz na antena um diferencial de potencial que alimenta o circuito de transmissão que irradia um código pré-gravado (acoplamento indutivo). As etiquetas ativas dispõem de alimentação própria e transmitem seu código ao detectar o campo eletromagnético do leitor (acoplamento por propagação) (LANDT, 2005; ROBERTS, 2006; ZHU; MUKHOPADHYAY; KURATA, 2012).

Outras classificações envolvem o tamanho do pacote de dados pré-gravado, a possibilidade de receber novos dados após sua fabricação, a faixa de radiofrequência utilizada na transmissão ou o seu protocolo (GS1, 2008a). Uma discussão detalhada sobre as diferenças em cada categoria foge ao escopo deste trabalho, já que um maior entendimento sobre esta classificação não é necessário para a análise deste texto.

Fisicamente, as etiquetas podem se apresentar sob diversas formas como cartões, selos adesivos, dentre outras (Figura 3).

Figura 3 - Etiquetas RFID em diversas apresentações.

2.1.1 Possibilidades

Segundo Roberts (2006), o uso de sistemas RFID apresenta diversas características desejáveis:

- Leitura sem contato físico ou visual;
- Possibilidade de leitura em ambientes adversos;
- Possibilidade de leitura simultânea de um grande número de etiquetas, dado o curto tempo de resposta;
- Possibilidade de acoplamento de sensores que forneçam informações sobre o estado do produto ao qual a etiqueta está aplicada.

Para quantificar o crescimento deste mercado, apresentam-se os dados a seguir: a previsão de vendas de etiquetas RFID era de 3,98 bilhões de unidades em 2012, contra uma venda de 2,93 bilhões em 2011 (IDTECHEX, 2012). Segundo a mesma fonte, no início de 2012, a venda cumulativa de etiquetas ao longo dos últimos 65 anos foi de 15,1 bilhões de unidades, sendo que 20% deste número correspondem a vendas efetuadas somente em 2011.

Sob o ponto de vista desta pesquisa, a capacidade de alta velocidade de leitura bem como a possibilidade de inserção de códigos individuais nas etiquetas, tornam esta tecnologia adequada para utilização em cadeias produtivas, seja do

ponto de vista da logística como da rastreabilidade.

Em logística, os eventos de passagem de itens por leitores RFID distribuídos ao longo da cadeia produtiva, permitem seu acompanhamento em todo o ciclo, inclusive com o cálculo de tempo de permanência entre os vários estágios.

O código inserido na etiqueta RFID permite a identificação do produtor, da categoria do item e até de um número de série único. Esta capacidade é essencial para a rastreabilidade, na qual a possibilidade de identificação unívoca de cada item faz-se necessária.

2.1.2 Restrições

Além das restrições físicas, tais como, impossibilidade de leitura em determinadas situações (por exemplo, etiquetas RFID inseridas em invólucros metálicos que atenuam o sinal de radiofrequência), a introdução de novas tecnologias, a despeito de quaisquer vantagens obtidas, usualmente encontra resistências de toda ordem.

Uma das utilizações que pode trazer grande benefício ao consumidor, e que é citada como exemplo de vantagem em inúmeros trabalhos (DALFOVO; HOSTINS, 2010) (WU et al., 2011), é no comércio varejista, o que permite grande agilidade no processo de fechamento da conta: em um supermercado é possível capturar todos os códigos de produtos colocados em um carrinho, sem a necessidade de retirá-los, tornando o cálculo do valor a ser pago quase que instantâneo. Um recente estudo de Trocchia e Ainscough (2012) sobre o comportamento de consumidores norte-americanos quanto ao uso de sistemas RFID em ambientes comerciais de varejo mostra alguns resultados curiosos:

- Consumidores não querem ser “rastreados” além dos limites da loja, independentemente de qualquer incentivo oferecido para tal;
- Compensação financeira não motiva os consumidores a participarem em programas RFID, a não ser que já estejam pré-dispostos a fazê-lo;
- Um caixa “ultra-rápido” não é capaz de induzir os consumidores a utilizá-lo, a não ser que já estejam pré-dispostos a fazê-lo;
- Homens tem maior probabilidade de achar programas RFID interessantes do que as mulheres;

- A resistência a participar em soluções RFID cresce com a idade.

2.2 Internet das Coisas

O termo Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) designa um novo paradigma que trata da possibilidade de integração ativa e direta à Internet de objetos do uso cotidiano. Para muitos este conceito é altamente abstrato e de difícil compreensão. Dúvidas sobre o por que desta integração, como ela seria possível e qual sua utilidade são colocações frequentes. Na questão do por que, convém citar o trabalho de Ashton (2009) , um dos pesquisadores pioneiros nesta área e, possivelmente, o criador do termo Internet das Coisas:

Hoje, computadores e, portanto, a Internet, são quase que inteiramente dependentes de seres humanos para informação. Praticamente todos os quase 50 petabytes (um petabyte = 1024 terabytes) de dados disponíveis na Internet foram capturados em primeiro lugar por seres humanos, por digitação, pelo apertar em uma tecla de gravação, pela tomada de uma fotografia digital ou o escaneamento de código de barras. Os diagramas convencionais da Internet incluem servidores, roteadores e outros equipamentos, mas deixam de lado os mais importantes e numerosos roteadores: as pessoas. O problema é que pessoas apresentam limites para tempo, atenção e exatidão, portanto não são bons executores do papel de capturar dados sobre objetos do mundo real¹.

Na visão de Ashton, o fato da tecnologia da informação ser tão baseada em dados coletados por pessoas, traz como consequência o fato de que os computadores e a Internet trazem mais informações sobre ideias do que sobre coisas. Para quem julga isto desejável, o autor contesta:

Somos físicos e nosso meio ambiente também o é. Nossa economia, sociedade e sobrevivência não são baseados em ideias ou informação, mas sim em coisas. Não se comem *bits*, nem se pode usá-los como combustível para aquecimento ou em tanques de combustível. Ideias e informação são importantes, mas coisas são muito mais.

Finalmente, apresenta sua visão do que seria uma situação ideal:

Se tivéssemos computadores que conhecessem tudo sobre as coisas, usando dados por eles coletados, sem qualquer ajuda nossa, seríamos capazes de rastrear e contar todas as coisas, e reduzir grandemente o

¹ Tradução nossa

desperdício, perdas e custos. Saberíamos quando as coisas precisassem ser substituídas, reparadas e se estão ou não dentro da validade.

Nem todos concordam com este pensamento. Uma rápida busca na Internet revela a ação de membros de diversas comunidades, que expressam abertamente suas objeções (CASPIAN, 2012a; CASPIAN, 2012b; SPYCHIPS, 2012). Em sua grande maioria, estas restrições estão ligadas aos conceitos de individualidade, privacidade e segurança e são reflexos das resistências já mencionadas à tecnologia RFID.

O potencial de transformação associado ao conceito de IoT é tão grande que, em 2008, o Conselho Nacional de Inteligência dos Estados Unidos da América classificou a Internet das Coisas com uma das seis “tecnologias civis disruptivas” com capacidade de causar “impactos potenciais nos interesses dos Estados Unidos até 2025” (NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL, 2008).

Sem tomar partido na discussão filosófica que envolve esta questão, vale ressaltar que, para o usuário, a presença ubíqua de objetos “inteligentes” capazes de consultar, monitorar, informar e/ou atuar, pode trazer benefícios tanto no âmbito doméstico como no trabalho. Na área empresarial, além do potencial de criação de novas funcionalidades para produtos existentes, as vantagens decorrentes da automação de atividades ligadas à rastreabilidade e à logística das cadeias produtivas são marcantes.

Por outro lado, questões envolvendo segurança e privacidade demandam solução. Na visão de Atzori et al. (2010) , a Internet das Coisas apresenta alto grau de vulnerabilidade a ataques, pois:

- os objetos permanecem na maior parte do tempo sem a atenção dos usuários, facilitando ataques pela demora em sua constatação;
- as comunicações, na maioria sem fio, facilitam tentativas de interceptação e/ou injeção de dados;
- a necessidade de baixo consumo de energia, que leva a uma baixa capacidade computacional, torna difícil a implantação de esquemas voltados à segurança nos objetos.

A implantação de estruturas computacionais que tragam suporte aos conceitos da Internet das Coisas constitui-se em uma das áreas de pesquisa mais ativas no momento (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; WEBER, 2010).

Finalmente, é importante ressaltar que a funcionalidade da Internet das

Coisas, nos moldes em que é proposta, que inclui a atribuição de um endereço *Internet Protocol* (IP) a cada objeto, permitiria, em tese, a obtenção das informações sobre sua passagem ao longo da cadeia produtiva, o que é de grande interesse para as áreas de rastreabilidade e logística.

Uma das propostas em uso que contempla diversos aspectos da IoT e que, em diversos aspectos, encontra-se em um estágio de maturação considerável, é o Sistema EPCglobal® (GS1, 2010a).

3 ELECTRONIC PRODUCT CODE – EPC

3.1 GS1

GS1 é uma entidade internacional, sem fins lucrativos, com membros afiliados em mais de 100 países, criadora do chamado GS1 System.

O GS1 System teve origem nos Estados Unidos da América em 1973 pela ação do Uniform Product Code Council, conhecido até 2005 como Uniform Code Council (UCC) e, desde então, como GS1 US. Originalmente, o UCC adotou um código de identificação numérico de doze dígitos, que transformado em códigos de barra, incorporaram-se aos produtos a partir de 1974 (GS1, 2013). Posteriormente, em 1977, criou-se na Europa a European Article Numbering Association, conhecida como EAN International. Esta entidade desenvolveu uma extensão do código UCC para aplicação fora da América do Norte, utilizando treze dígitos. A partir de 2005, a EAN International transformou-se no atual GS1. Deste então, tem-se trabalhado para a unificação dos padrões de códigos numéricos, por meio da criação de padrões GS1.

3.2 Electronic Product Code™

A possibilidade de se atribuir a cada produto um código único, gravado em uma etiqueta de baixo custo, rápida e facilmente registrável por hardware relativamente barato, tem grande potencial de auxílio em um dos desafios clássicos da logística que é o do registro e análise do fluxo de partes e produtos ao longo das cadeias produtivas (MCFARLANE; SHEFFI, 2003). A automação deste processo evita problemas ocasionados por operações manuais que podem levar ao registro incorreto, à perda ou adulteração de informações. Estes registros são também essenciais para a manutenção de informações sobre a rastreabilidade nas cadeias produtivas, hoje tão valorizadas e exigidas por diversos países.

Na década de 1970, a adoção dos códigos de barra impressos lidos por *scanners* resolveu este problema apenas parcialmente, porque em termos de velocidade de leitura, esta solução deixa muito a desejar quando comparada às possibilidades oferecidas pela tecnologia RFID (WHITE et al., 2007).

Em 1999, o Auto-ID Lab do MIT iniciou uma série de pesquisas visando à criação de padrões que viabilizassem a utilização em larga escala da tecnologia RFID. Esta pesquisa já considerava o conceito de integração ativa à Internet de objetos de uso cotidiano, identificados por etiquetas RFID, a ideia básica do que hoje se denomina Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT).

A adoção em larga escala de sistemas RFID permitiria a automação do fluxo de informações ao longo das cadeias produtivas, condição desejável para incremento da eficiência, produtividade e administração, além de simplificar outras atividades como a manutenção de registros de rastreabilidade ao longo das cadeias (THIESSE; MICHAELLES, 2006).

Um dos resultados mais importantes foi a proposição de um esquema de codificação numérica que, além de englobar os padrões mais utilizados nos códigos de barra da época - o americano UCC e o europeu EAN - fosse também extensível a futuros esquemas de numeração que viessem a ser criados. Esta proposta gerou o que hoje é conhecido como *Electronic Product Code*™ (EPC) (BROCK, 2001).

Com o término das pesquisas em 2003, a administração desta tecnologia foi transferida à EPCGlobal® Inc, hoje integrada ao GS1. A partir de então, projetos nela baseados, propostos tanto por grandes empresas como IBM (GLOBAL COMMERCE INITIATIVE, 2005), Oracle (SMIERS; GRIFFIOEN, 2006), dentre outras, bem como iniciativas de software livre (RODUNER; FLOERKEMEIER, 2012), têm surgido sistematicamente.

A utilização de códigos mais longos oferecida pelo EPC, possibilita a inclusão de números de série únicos em produtos industrializados. Desta forma, produtos idênticos de um mesmo fabricante podem ter códigos EPC distintos. Esta unicidade de identificação atende a um dos requisitos de rastreabilidade impostos pela Comunidade Europeia aos participantes das cadeias produtivas de produtos alimentícios, por meio do Regulamento 178/2002 (2002).

A proposta de código do Auto-ID Lab, em 2001 (BROCK, 2001) empregava códigos de 64 e 96 *bits* para a codificação EPC, com espaço para cabeçalho de 8 *bits*.

Na definição de um dos pesquisadores e diretores do Auto-ID Center (BROCK; CUMMINS, 2003):

"O Electronic Product Code™ é um esquema de numeração idealizado para identificar de maneira unívoca qualquer objeto. Foi criado para enumerar todos os objetos, bem como acomodar todos os esquemas de numeração correntes e futuros. Tão importante quanto isso, o EPC foi criado para permitir a conexão entre objetos físicos e as redes de computadores, de maneira a servir como uma eficiente referência de informações."

O EPC apresenta um cabeçalho que identifica a categoria do código. A cada Chave GS1 corresponde uma formatação de EPC. Quando aplicada a produtos, a chave GTIN (*Global Trade Item Number*) não possui espaço para a inclusão de números de série. Criou-se então uma extensão do código que o transforma no chamado SGTIN (*Serial Global Trade Item Number*). Atualmente duas variantes de códigos SGTIN coexistem: o sgtin-96 e o sgtin-198 com 96 e 198 *bits*, respectivamente.

Apresentam-se na Tabela 1, a alocação de *bits* para cada categoria.

Tabela 1 - Código SGTIN-96 e SGTIN-198. Alocação de *bits* por partição

Padrão	Cabeçalho	Filtro	Partição	Prefixo Companhia	Número de referência do item	Número de série
sgtin-96	8	3	3	20 - 40	24 - 4	38
sgtin-198	8	3	3	20 - 40	24 - 4	140

Observa-se que no padrão sgtin-96, o espaço reservado de 38 *bits* permite a existência de até 274.877.906.943 números de série distintos, para produtos de uma mesma categoria e produtor. No caso do sgtin-198, seus 140 *bits* permitem a existência de até 2^{140} números de série distintos.

Outros esquemas de codificação surgiram. Sua identificação continua sendo feita pelo conteúdo do cabeçalho do EPC. Na versão 1.6 de 2011 (GS1, 2011), outros esquemas de codificação encontram-se definidos (Tabela 2).

Tabela 2 - Esquemas de Codificação e Chaves GS1

Chave GS1	Codificação	Uso típico
SGTIN	sgtin-96 sgtin-198	Produtos
SSCC	sscc-96	Contêineres e unidades em paletes
GLN	sgln-96 sgln-195	Localização geográfica
GIAI	giai-96 giai-202	Ativo fixo
GDTI	gdti-96 gdti-113	Documentos
GSRN	gsrn-96	Relações de serviço
GRAI	grai-96 grai-170	Elemento retornável ou reutilizável
GID	gid-96	Genérica

Criaram-se também outras codificações reservadas para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos bem como para a Indústria Aeroespacial e de Defesa Aérea americanas.

Tal como nas definições iniciais de 2001, cada novo esquema aloca partições variadas com números de *bits* pré-definidos, para que se possam mapear neste código as informações necessárias.

Cada esquema associado a uma chave GS1 permite a utilização de códigos EPC para cada elemento associado a estas chaves.

Esta possibilidade de associação é essencial, pois permite o uso de códigos EPC no esquema existente de codificação proposto pelo GS1.

A gravação de um número que obedeça a estas codificações em uma etiqueta RFID gera um EPC, passível de leitura em grande volume e alta velocidade por equipamentos de hardware específicos, os leitores RFID. Dá-se a este processo o nome de comissionamento.

3.3 Chaves GS1

Um dos objetivos da criação de padrões pelo GS1 foi a proposição de esquemas de numeração e codificação com validade universal para fabricantes, produtos, partes, ativos, documentos, relações de serviço e demais elementos das cadeias produtivas. Tais esquemas são conhecidos como Chaves GS1 (*GS1 Keys*) (GS1, 2012).

Seguindo os princípios do GS1, um dos requisitos da arquitetura EPCglobal é a identificação única de objetos, lotes, locais, documentos, ativos e quaisquer outras entidades que devam ser rastreáveis (GS1, 2008b), por códigos numéricos que possam ser associados às Chaves GS1. Apresentam-se na Tabela 3 algumas das principais Chaves GS1. A cada uma delas corresponde um determinado formato de código e as regras para sua devida aplicação.

Tabela 3 - Chaves GS1 (GS1, 2012)

Chave GS1	Padrão	Aplicação
GTIN	Global Trade Item Number	Produtos, itens comercializáveis
SSCC	Serial Shipping Container Code	Contêineres, tambores, caixas e outros meios para transporte agregado
GLN	Global Location Number	Localizações geográficas
GIAI	Global Individual Asset Identifier	Ativos fixos
GID	General Identifier	Genérica
GDTI	Global Document Type Identifier	Documentos em geral
GRAI	Global Returnable Asset Identifier	Materiais reutilizáveis para transporte de itens
GSRN	Global Service Relation Number	Relações de serviço

Pode-se compreender mais facilmente a utilização prática destes padrões com o auxílio da Figura 4 e da Tabela 4, adaptadas de (GS1, 2010a).

Figura 4 – Aplicação da tecnologia RFID em ambiente hospitalar. Adaptado de (GS1, 2010a).

Observam-se na Tabela 4 os dados de sete eventos capturados pelo leitor RFID na porta da área de enfermagem. Durante a passagem de produtos (seringas), funcionários (enfermeiras), itens de ativo fixo (bomba de infusão), itens de transporte retornáveis (carrinho) e até documentos (ficha de paciente), todos contendo etiquetas EPC. O horário do evento e o sentido (entrada ou saída) são automaticamente registrados.

**Tabela 4 – Exemplos de eventos em ambiente hospitalar
Adaptado de (GS1, 2010a)**

Horário	Entrada /Saída	EPC	Comentário
08:23	E	urn:epc:id:sgtin:0614141.012345.62852	Seringa 10cm ³ #62852 (produto)
08:52	E	urn:epc:id:sgtin:0614141.012345.2528	Carrinho de transporte #2528 (transporte retornável)
08:59	E	urn:epc:id:sgtin:0614141.012345.1542	Seringa 10cm ³ #1542 (produto)
09:02	S	urn:epc:id:giai:0614141.17320508	Bomba de infusão #52 (ativo)
09:32	E	urn:epc:id:gsmr:0614141.0000010253	Enfermeira Maria (relação de serviço)
09:42	S	urn:epc:id:gsmr:0614141.0000010253	Enfermeira Maria (relação de serviço)
09:52	E	urn:epc:id:gdti:0614141.00001.1618034	Ficha médica do paciente João (documento)

Observam-se ainda os códigos EPC apresentados em sua forma *Uniform Resource Identifier* (URI). Os códigos EPC podem ser representados em diversos formatos, sendo a forma URI (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2001) a mais utilizada em textos por seu fácil entendimento pelo leitor. Maiores detalhes sobre

outras formas de representação encontram-se em (GS1, 2011). A apresentação detalhada destas formas foge ao escopo deste trabalho e não é necessária para a compreensão deste documento.

4 EPCglobal® System

Apresentam-se a seguir, as características do EPCglobal.

4.1 Aspectos gerais do EPCglobal

Inicialmente, é importante ressaltar que o EPCglobal **não é** um produto de software ou hardware. Trata-se de uma arquitetura de referência para sistemas de informação. Define um vocabulário comum *eXtensible Markup Language* (XML) (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2007a) para troca de informações. Para os diversos componentes de sua arquitetura, estão bem definidas as funcionalidades e interfaces a serem oferecidas para os demais módulos internos, ou aplicativos externos. Tratando-se de um padrão, está a cargo dos usuários a implementação de sistemas de informação (softwares) aderentes à especificação.

Também é importante ressaltar que o uso do EPCglobal **não implica** no armazenamento de dados das empresas em um único “repositório global de dados”. Na realidade, cada membro da cadeia mantém seu próprio repositório de dados em seu EPCIS local e define sua política de compartilhamento de informações.

O repositório de dados atende a uma das principais funcionalidades proporcionadas pelo EPCglobal, sendo alimentado por eventos relativos a informações normalmente obtidas durante a passagem de itens codificados por leitores RFID ao longo da cadeia produtiva.

A arquitetura do EPCglobal permite a utilização de leitores ópticos de códigos de barra. Embora os atuais códigos de barra bidimensionais permitam a utilização de códigos numéricos extensos (GAO; PRAKASH; JAGATESAN, 2007), boa parte da funcionalidade do EPCglobal decorre de sua capacidade de processamento de um grande número de informações, com elevada velocidade de aquisição de dados. Por esta razão, as aplicações práticas do EPCglobal desenvolvem-se naturalmente com o uso de etiquetas EPC RFID. Desta forma, deste ponto em diante, considera-se neste texto apenas a tecnologia RFID para utilização no EPCglobal.

Outro ponto de destaque é a utilização de vocabulário XML padronizado, que permite a troca de informações entre módulos do sistema e parceiros externos. Destaca-se ainda a possibilidade de se obterem informações sobre o fabricante dos

produtos e todos os eventos automaticamente registrados ao longo da cadeia, por leitores RFID. A possibilidade deste intercâmbio de informações é a base do grande benefício a ser obtido com a utilização do EPCglobal, pelas entidades participantes das cadeias produtivas. Por outro lado, este benefício somente ocorre, em seu potencial máximo, quando todos os integrantes de uma cadeia produtiva utilizam sistemas deste padrão.

Apresenta-se na Figura 5 a arquitetura básica da arquitetura EPCglobal e, a seguir, considerações sobre seus diversos componentes.

4.1.1 Leitura dos códigos EPC

A aquisição de dados ocorre durante a passagem física de itens contendo etiquetas EPC ao longo de leitores RFID localizados em pontos significativos da cadeia produtiva. A existência de um número considerável de alternativas para leitores RFID oferecidos por diversos fabricantes, torna necessária a utilização de um *middleware* adequado para a uniformização de operações.

Os códigos obtidos pelos leitores RFID chegam à camada imediatamente superior, conhecida como *Application Level Events* (ALE).

Figura 5 – Arquitetura EPCglobal. Adaptada de (GS1, 2013).

4.1.2 Eventos em Nível de Aplicação (*Application Level Events* – ALE)

Esta camada situa-se entre os leitores RFID e os sistemas EPCIS. Trata-se de um *middleware* encarregado de fornecer suporte à utilização de leitores RFID de diversos fabricantes e gerenciar sua utilização. A camada realiza uma filtragem dos dados obtidos que resolve dois problemas: a eventual repetição da leitura de códigos e o encaminhamento de apenas uma ou determinadas categorias de EPC. Por exemplo, pode-se desejar apenas a leitura de EPCs do tipo SSCC (aplicáveis a caixas, contêineres, etc), descartando-se a leitura dos códigos do SGTIN (aplicáveis a produtos individuais) possivelmente recebidos.

Esta camada também gerencia a variedade de equipamentos de leitura RFID, possivelmente produzidos por diferentes fabricantes, e registra sua distribuição física ao longo da cadeia.

Desta forma, implementa-se um conceito de leitores virtuais, independentes do hardware utilizado, apresentando um formato padronizado para os dados obtidos e filtrados, para serem processados pelas camadas superiores do sistema (BARCHETTI et al., 2009).

As leituras obtidas correspondem a eventos, ligados ao registro da passagem de itens, em determinado local, em data e horário específicos e atendendo a uma finalidade.

Estes eventos procuram informar sobre quatro questões básicas: o que, onde, quando e por que. Por exemplo, em 27/07/2012, às 13:42 UTC+3, os itens EPC1, EPC2, ... EPCn, foram registrados na doca nº 1 do armazém nº 2 no momento de sua expedição ao distribuidor.

A camada ALE encaminha os dados resultantes (por meio de um documento denominado ECRReport) à aplicação no nível acima, o sistema EPCIS (JAKKHUPAN; ARCHINT; Y., 2011).

4.1.3 EPC Information System (EPCIS)

A manutenção do repositório de eventos e o atendimento a consultas e

requisições para armazenamento de dados são as principais funcionalidades do EPCIS. A existência deste repositório permite o compartilhamento de informações entre os membros da cadeia produtiva e seus parceiros de negócio, envolvendo os diversos processos que ocorrem ao longo da cadeia.

Nesta camada, o módulo de captura recebe e registra as informações provenientes do nível ALE, codificadas em vocabulário XML padronizado (EPCGLOBAL INC., 2007).

Cada usuário é responsável pela guarda de suas informações em seu próprio EPCIS. A disponibilidade e política de compartilhamento destas informações com parceiros de negócios e/ou com o público consumidor são decisões das empresas, que podem disponibilizá-las em maior ou menor grau, cabendo a cada uma a identificação e autorização de seus parceiros de negócio da cadeia produtiva no sistema.

Para servir a sistemas de informação internos ou de parceiros de negócios, existe a Interface de Consulta (*Query Interface*) que atende a requisições por meio de conexões, de acordo com os preceitos de uma Arquitetura Orientada a Serviços (*Service-Oriented Architecture* - SOA) (ERL, T., 2004).

O EPCglobal especifica, como possibilidades para troca de mensagens, por meio de *web services*, os protocolos:

- HTTP (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 1999)
- HTTPS (INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, 2000)
- HTTP/SOAP (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2007b)
- AS2 (INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, 2005)

A partir do vocabulário XML padronizado, as diversas interfaces dos sistemas EPCIS podem trocar mensagens, o que permite a implementação de toda a funcionalidade prevista para este serviço.

4.1.4 Servidores de Nome de Objetos

De maneira similar aos servidores de nomes da Internet (*Domain Name System* - DNS), que fornecem ponteiros relacionando domínios e endereços do *Internet Protocol* (IP), os servidores de nomes de objetos (*Object Name Services* – ONS) fornecem ponteiros relacionando produtos identificados por códigos EPC aos

responsáveis pelo comissionamento de seus códigos, usualmente seus produtores, e a seu sistema EPCDS.

A implementação deste serviço ocorre a partir da própria estrutura existente nos atuais servidores DNS, na qual ponteiros do tipo *Naming Authority Pointer Record* (NAPTR) são utilizados para correlacionar códigos EPC e o endereço do EPCIS do responsável pelo comissionamento, por meio do campo *Regexp* dos ponteiros NAPTR. Existem diversos documentos da *Internet Engineering Task Force* (IETF) relativos à especificação dos serviços DNS. Podem-se acessar todos eles por meio do web site do IETF (INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, 2013).

Cada fabricante produz uma versão local do ONS contendo informações detalhadas sobre seus próprios códigos. Tal como ocorre com os servidores DNS, forma-se uma estrutura de servidores ONS em árvore, a partir de um servidor raiz (atualmente mantido pela empresa Verisign) para a resolução de códigos EPC.

Como exemplo do processo de consulta, apresenta-se na Figura 6 o conteúdo de um código EPC do tipo *sgtin96* distribuído ao longo de seus 96 *bits*.

O primeiro passo consiste em converter o código numérico para uma URI, conforme especificação em GS1 (2011) .

Em seguida, transforma-se a URI em uma URL a ser consultada no serviço DNS. Inicialmente retiram-se da URI os termos *urn:epc:id* , invertem-se os campos e adiciona-se ao final da cadeia o domínio do servidor ONS raiz, *onspec.com*.

URI: *urn:epc:id:sgtin:4012345.734.2*

URL: *2.734.4012345.sgtin.onspec.com*

A URL resultante é consultada no serviço DNS com a requisição de registro do tipo NAPTR. Obtém-se como resultado, a URL do serviço EPCIS da entidade responsável pelo comissionamento da EPC. Por se tratar de um serviço DNS puro, outros servidores ONS podem ser anexados por delegação.

O modelo proposto para o serviço ONS tem sido frequentemente criticado por pesquisadores, devido aos potenciais riscos decorrentes à sua vinculação à arquitetura do serviço DNS. Os riscos herdados por esta vinculação incluem a negação de serviço (*Distributed Denial of Service* - DDNoS), contaminação de *cache* (*cache poisoning*), a dependência de funcionamento de alguns servidores chave que

podem estar desabilitados além de outras considerações (FABIAN; GÜNTHER; SPIEKERMANN, 2010; ABU-AMARA et al., 2011; CHOPRA et al., 2009; SHRESTHA et al., 2010).

urn:epc:id:sgtin:PrefixoEmpresa.NReferencialItem.NSerie

urn:epc:id:sgtin:4012345.734.2

Figura 6 – Conversão de código EPC sgtin96 para sua correspondente URI.
Adaptado de (FABIAN; GÜNTHER, 2009).

4.1.5 Serviço de Descoberta de EPCs (*Electronic Product Code Discovery Services - EPCDS*)

A obtenção de informações sobre o fabricante de determinado produto pode ser complementada por informações relativas à movimentação deste produto ao longo de toda a cadeia produtiva. No entanto, durante seu ciclo de vida, os itens identificados por códigos EPC normalmente passam por diversos membros da cadeia produtiva. Por exemplo, após seu comissionamento, um produto manufaturado é enviado a um distribuidor local que pode exportá-lo para uma empresa em outro país que, por sua vez, pode revendê-lo a um comerciante varejista. Não basta, portanto, conhecer o endereço do sistema EPCIS do responsável pelo comissionamento. É importante o conhecimento dos endereços de todos os EPCIS que mantenham informações sobre o código.

A princípio, a utilização do serviço ONS seria suficiente para a localização dos

demais EPCIS envolvidos. Basta que se procure no EPCIS original o registro do evento de saída do código, e o endereço do EPCIS de destino. Este processo pode ser repetido até a obtenção do EPCIS final, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Busca a partir de ONS. Adaptado de (CANTERO et al., 2008).

Na prática, esta solução mostra-se inconveniente, pois o não funcionamento de um dos servidores EPCIS impediria a obtenção dos dados nos servidores seguintes (CANTERO et al., 2008). Além do mais, não se pode garantir que o endereço de um EPCIS na cadeia esteja registrado no EPCIS imediatamente anterior.

Faz-se necessária uma solução mais robusta, escalonável e eficiente para a obtenção destas informações. A proposta para atender a estes requisitos leva aos serviços EPCDS.

Figura 8 – Busca por EPCDS. Adaptado de (CANTERO et al., 2008)

Serviços EPCDS funcionam como intermediários no EPCglobal, de maneira análoga aos serviços de busca na *World Wide Web* (WWW) (MULLER et al., 2010). Seu uso simplifica a troca de informações entre parceiros em cadeias produtivas e permitem a descoberta de parceiros desconhecidos que, em algum momento, tiveram acesso a determinado produto.

Ao contrário dos serviços de busca da WWW, abertos ao público em geral, o acesso aos sistemas EPCDS pode especificar políticas de autenticação e

autorização rígida, pois as informações que podem ser obtidas são, em muitas circunstâncias, absolutamente confidenciais.

4.1.5.1 Requisitos

Evdokimov et al. (2010) apresentam oito requisitos que consideram fundamentais para sistemas EPCDS, a saber:

1) *Suporte a esquemas de identificação de códigos flexíveis*: previsto para a criação futura de esquemas de codificação diversos.

2) *Permissão de publicação*: um provedor de informações deve poder fornecer ao EPCDS informações sobre os EPCs para os quais esteja autorizado a fazê-lo, incluindo endereços de EPCIS.

3) *Publicação múltipla*: diversos participantes independentes da cadeia (porém autorizados), devem ser capazes de fornecer dados.

4) *Consulta a EPC*: após consulta sobre determinado EPC, o serviço deve fornecer, a clientes autorizados, uma lista com os EPCIS contendo dados relativos ao código consultado.

5) *Atualização*: participantes da cadeia autorizados devem poder atualizar informações previamente gravadas no serviço.

6) *Cancelamento*: participantes da cadeia autorizados devem poder cancelar informações previamente gravadas no serviço. Documentos gravados devem possuir indicação de tempo de validade (*time-to-live* - TTL), com o objetivo de automatizar o trabalho de deleção e reduzir o espaço de armazenamento.

7) *Endereços em nível de referência*: se o EPC estiver estruturado como número de referência do item e número de série, o serviço deve ser capaz de aceitar consultas contendo apenas a informação de referência do item.

8) *Endereços contendo número de série*: se o EPC estiver estruturado como número de referência do item e número de série, o serviço deve ser capaz de aceitar consultas contendo a informação total, incluindo o número de referência do item e seu número de série.

4.1.5.2 Modelos de Arquitetura para EPCDS

Para apresentar o caminho que leva à proposta desta pesquisa, faz-se necessária uma breve discussão sobre as arquiteturas que vêm sendo utilizadas em propostas oriundas da comunidade acadêmica.

Cada EPCDS oferece possibilidade de conexão a sistemas externos (EPCIS ou não). Esta interface atende a dois tipos de solicitação:

- publicação de novos dados sobre códigos EPC, gerados por EPCIS;
- consultas sobre informações envolvendo um determinado EPC.

Quanto à sua arquitetura, observa-se que este tópico é objeto de pesquisa recente de diversos autores (ABU-AMARA et al., 2011; GROVER; BERGHEL, 2011; WU; LIN; ZHANG, 2009; URDANETA; PIERRE; STEEN, 2011; LORENZ et al., 2011). Basicamente, destacam-se duas propostas:

- implementação centralizada;
- implementação distribuída.

O modelo centralizado é bem representado pela Figura 9. O ponto de acesso ao EPCDS é único e o repositório pode ser único ou baseado em uma estrutura hierárquica utilizando tecnologias como o *Lightweight Directory Access Protocol* (LDAP). Seu inconveniente é a existência de um ponto único de falha, o que torna o sistema susceptível a ataques e traz também problemas de escalabilidade, já que um único ponto de acesso deve coordenar todas as atividades.

Figura 9 – EPCDS centralizado.

Apresenta-se como alternativa, o modelo com implementação distribuída, em particular, com a utilização de redes P2P.

Neste modelo, além da inexistência de um ponto único de falha, as informações relacionando códigos EPC e respectivos EPCIS encontram-se distribuídas entre os diversos nós da rede, dividindo o trabalho de processamento e o tamanho das implementações locais.

Para redes P2P, empregam-se usualmente arquiteturas do tipo *Distributed Hash Table* (DHT) (URDANETA; PIERRE; STEEN, 2011) nas quais se atribui a cada nó participante da rede uma chave de identificação, usualmente de 160 *bits*, gerada por uma função criptográfica como a *SHA1* (INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, 2001). O algoritmo de roteamento da rede é capaz de realizar um mapeamento do tipo:

$$chave \Rightarrow dado$$

No EPCDS, a *chave* normalmente é o resultado da função de *hash* aplicada ao código EPC a ser descoberto. Como dado, tem-se o endereço do servidor que contém informações sobre o EPC procurado (IP do nó e sua porta).

Apresenta-se na Figura 10, a arquitetura básica de uma rede P2P do tipo DHT. Quando o EPCIS em um dos participantes da cadeia detecta a existência de informações sobre um novo EPC, dados correspondentes são publicados em alguns nós locais da rede P2P (fluxos 0a – 0c). Insere-se nestes nós um par de dados:

$$(chave = h(EPC), valor = EPCIS.endereco)$$

onde *h* denota uma função criptográfica adequada, como a *SHA1*. Aplicativos clientes, internos à cadeia (fluxo 2) ou externos (fluxo 3) que busquem informações sobre determinado EPC, podem utilizar o mecanismo de resolução da interface DHT da rede por meio de seu nó *peer* local e obter o endereço dos EPCIS relevantes.

Diversos modelos para a geração da infraestrutura DHT, distribuição de informações entre nós e busca de informações têm sido pesquisados e propostos. Destacam-se o Pastry (ROWSTRON; DRUSCHEL, 2001), Chord (STOICA et al., 2003) e Kademlia (MAYMOUNKOV; MAZIÈRES, 2002a).

Figura 10 - Rede P2P DHT. Adaptado de (EVDOKIMOV et al., 2010).

4.1.5.3 Interfaces de serviço

Em relação à interface do serviço, têm-se apresentado vários modelos de implementação, conforme relatos de (EVDOKIMOV et al., 2010; KYWE et al., 2012; MULLER et al., 2010).

Destacam-se nas propostas três modelos:

- modelo de diretório;
- modelo *query relay*;
- modelo de descoberta agregada.

4.1.5.3.1 Modelo de diretório

O EPCDS mantém um diretório contendo códigos EPC e respectivos endereços de EPCIS. O fluxo de informações é direto entre os módulos (Figura 11):

1. EPCIS publica informações sobre EPCs;
2. Aplicativo cliente busca informações sobre um determinado EPC;
3. EPCDS retorna a lista de EPCISs relevantes;
4. Aplicativo cliente solicita a cada EPCIS as informações sobre o EPC;
5. EPCIS retorna as informações.

Figura 11 - Modelo de diretório. Fonte: (KYWE et al., 2012).

No modelo diretório, a implantação de mecanismos de segurança não é intrínseca ao modelo e deve ser criada pelo implementador.

O usuário recebe a lista de EPCIS relevantes que é, em princípio, uma informação sigilosa. Se o EPCDS for encarregado de verificar a credencial do cliente, a sobrecarga de trabalho será considerável, pois seria necessária a manutenção local de informações de acesso para cada EPCIS. Portanto, esta solução não atende o requisito não funcional de escalabilidade e segurança.

4.1.5.3.2 *Modelo query relay*

O EPCDS passa diretamente a consulta recebida do cliente ao EPCIS, juntamente com as informações de autenticação. Desta forma o EPCIS responde diretamente ao cliente, se suas credenciais de autenticação forem aceitas, simplificando o fluxo de informações (Figura 12):

Figura 12 - Modelo *query relay*. Fonte: (KYWE et al., 2012).

1. EPCIS publica informações sobre EPCs;
2. Aplicativo cliente busca informações sobre um determinado EPC;

3. EPCDS envia a consulta aos EPCISs relevantes;
4. EPCIS retornam as informações ao cliente, se a autenticação permitir.

No modelo de *query relay* o problema apontado no modelo de diretório não ocorre, pois a credencial de identificação do cliente é passada diretamente à EPCIS, que atende ou não à consulta em função de seu conteúdo. Como a passagem das informações é direta, o modelo leva a implementações com boa escalabilidade. No entanto, outro problema ocorre: como nem todos os EPCIS podem estar ativos no momento da consulta e outros podem não respondê-la, o cliente nunca sabe se o número de respostas recebidas é definitivo.

4.1.5.3.3 **Modelo de descoberta agregada**

Neste modelo (Figura 13), o EPCDS consulta diretamente os EPCIS relevantes e retorna as informações obtidas diretamente ao cliente, simplificando sua programação:

Figura 13 - Modelo de descoberta agregada. Fonte: (KYWE et al., 2012).

1. EPCIS publica informações sobre EPCs;
2. Aplicativo cliente busca informações sobre um determinado EPC;
3. EPCDS consulta os EPCIS relevantes;
4. Cada EPCIS retorna suas informações, que são agregadas no EPCDS;
5. EPCDS retorna as informações finais obtidas.

O modelo de descoberta agregada é o que exige menos esforço de programação para o aplicativo cliente. Feita a consulta, uma única resposta do EPCDS contém todas as informações obtidas. No entanto, é a que leva à maior complexidade do EPCDS que fica responsável por repassar a consulta para cada EPCIS relevante, agregar as respostas recebidas e retorná-las em uma única mensagem ao cliente. Por este motivo, a escalabilidade de soluções baseadas neste modelo é problemática.

4.1.5.4 Considerações gerais

O objetivo dos sistemas EPCDS é fornecer um conjunto de ponteiros para todos os envolvidos em eventos ao longo da cadeia produtiva, dado um código EPC buscado. Para isso, durante o recebimento de um produto identificado por um EPC, o evento de sua entrada no ambiente local deve ser registrado em um EPCIS. Pode-se registrar este evento no EPCDS do responsável pelo comissionamento do item (que pode ser obtido por meio de uma requisição ao ONS). Este registro pode ser permitido apenas quando gerado por um parceiro de negócios autenticado e autorizado. Este procedimento tem sido contestado por um grande número de pesquisadores por deixar o acesso às informações dependentes da operação de um único EPCDS (EVDOKIMOV et al., 2010; FABIAN; GUNTHER, 2007; KÜRSCHNER et al., 2008).

Percebe-se que o acesso à informação sobre a movimentação, presença e quantidade de determinados insumos em instalações físicas de participantes da cadeia pode representar riscos a estas empresas. Estes riscos transcendem a rede EPCglobal e incluem diversas outras possibilidades de ataque envolvendo a leitura não autorizada e/ou alteração de etiquetas RFID (GROVER; BERGHEL, 2011).

Para evitar-se o problema da dependência de alguns poucos servidores para a continuidade do serviço, o uso de redes *peer-to-peer* tem sido objeto de estudos de diversos pesquisadores (ABU-AMARA et al., 2011; CHOPRA et al., 2009; FABIAN, 2009; LIU; WANG; HU, 2011; SHRESTHA et al., 2010). O uso de redes *peer-to-peer* distribui as informações sobre códigos EPC e sistemas EPCIS por diversos sistemas integrantes da rede. Esta distribuição permite a obtenção destes dados, mesmo quando um ou mais sistemas estejam fora de operação.

Ao contrário dos demais elementos da arquitetura do EPCglobal, até o momento da finalização deste texto (abril de 2013), o GS1 ainda não forneceu uma especificação para a implementação do serviço de EPCDS.

Atualmente, o desenvolvimento e proposição de soluções para EPCDSs é a área de pesquisa mais ativa no universo do EPCglobal, em particular, os aspectos de segurança envolvidos em seu uso (FABIAN, 2009; FABIAN; GÜNTHER; SPIEKERMANN, 2010).

4.2 Utilização do EPCglobal

Apresenta-se na Figura 14 uma visão geral da utilização da tecnologia RFID ao longo de uma cadeia produtiva. No exemplo exposto, tem-se um fabricante, um distribuidor e um revendedor final.

Representam-se, na coluna da esquerda, processos típicos da cadeia produtiva e na coluna da direita as informações obtidas por meio da coleta automática de informações, a partir da leitura de etiquetas RFID durante a passagem dos itens ao longo de diversos pontos da cadeia.

Figura 14 – Utilização da tecnologia RFID ao longo de uma cadeia produtiva.
Adaptado de (JAKKHUPAN; ARCHINT; Y., 2011).

Todos os eventos de leitura das etiquetas são capturados pelo *middleware* da camada ALE, sendo devidamente filtrados e tratados para encaminhamento ao EPCIS local.

Os eventos, registrados nos EPCIS dos membros da cadeia, poderão ser consultados por usuários autorizados, por meio dos serviços ONS e EPCDS. A obtenção deste histórico de eventos é informação essencial para a manutenção de registros de rastreabilidade e logística envolvidos.

Realiza-se a pesquisa por esta informação por meio de um processo dividido em etapas. Apresenta-se na Figura 15 o Diagrama de Sequência que modela um dos possíveis modos desta operação.

Figura 15 – Diagrama de Sequência – Exemplo de busca de eventos envolvendo determinado EPC.

Na primeira fase, o aplicativo cliente consulta o serviço ONS sobre determinado EPC. Por meio de uma conexão *http*, obtém informações sobre a URL do serviço EPCIS do responsável pelo comissionamento da EPC e seu serviço EPCDS.

Na segunda fase, por meio de uma conexão SOAP, o cliente consulta o serviço EPCDS na busca de todos os eventos envolvendo o EPC em questão, recebendo uma relação com as URLs dos diversos EPCISs envolvidos.

Finalmente, na terceira fase, cada EPCIS é consultado, fornecendo as informações registradas em seu repositório de dados.

Neste processo, a exigência de autenticação e a autorização do cliente são verificadas pelos serviços envolvidos.

Apresenta-se na Figura 16 um exemplo da distribuição dos diversos sistemas de informação componentes do EPCglobal ao longo de uma cadeia produtiva. A mesma figura permite apreciar o auxílio prestado pela rede em questões de rastreabilidade e logística, e representa-se uma cadeia simples, formada por um fabricante, um distribuidor e um revendedor final. Todos utilizam a tecnologia RFID e possuem sistemas EPCIS e ONS locais. Os serviços de ONS, conseguem identificar todos os eventos relacionados a cada item, identificado por seu EPC.

Figura 16 - A rede EPCglobal ao longo da cadeia produtiva.

4.3 Perspectivas sobre a utilização futura do EPCglobal

O uso amplo do EPCglobal oferece solução para problemas de rastreabilidade, logísticos e administrativos ao longo das cadeias produtivas.

Seus aspectos mais maduros envolvem o *middleware* para leitura, a Camada de Eventos de Aplicação (ALE) e os sistemas EPCIS.

Como toda nova tecnologia, existem barreiras a serem superadas, dos pontos de vista técnico, econômico e cultural.

Sob o aspecto técnico, as principais dificuldades encontram-se na geração de soluções que atendam os requisitos de segurança de dados dos usuários e qualidade e disponibilidade do serviço EPCDS.

Do ponto de vista econômico, durante muitos anos o custo individual das etiquetas RFID foi um limitador. Com o passar do tempo estes custos vêm caindo significativamente, como consequência do aumento da produção. Os custos dos leitores RFID e antenas ainda são significativos, porém a necessidade de um número relativamente baixo de unidades em cada instalação física, de certa forma, ameniza este aspecto. O mesmo não se aplica, no entanto, à questão do software envolvido, incluindo o *middleware* da camada ALE. O custo de desenvolvimento e implantação de sistemas de informação aderentes ao EPCglobal pode ser expressivo.

Finalmente, sob o ponto de vista cultural, existem ainda diversas barreiras a serem vencidas. Além das dificuldades que estão sempre ligadas à utilização de novas tecnologias, a natureza aberta e cooperativa do EPCglobal que, em termos técnicos, é uma vantagem, torna-se de início um obstáculo, à medida que o potencial completo de utilização da rede somente será alcançado quando todos os envolvidos na cadeia produtiva o utilizarem plenamente.

No contexto da Internet das Coisas, a arquitetura EPCglobal permite a implantação de alguns de seus conceitos, como a participação ativa de objetos na rede, com o registro de informações colhidas ao longo de sua vida útil e a existência de serviços de resolução de objetos. Trata-se, provavelmente, da mais completa implementação prática envolvendo conceitos propostos neste paradigma.

Embora somente o futuro possa trazer a resposta sobre o sucesso e utilização ampla do EPCglobal, o potencial de funcionalidade embutido em seu conceito é significativo, o que tem motivado um grande número de pesquisadores a buscarem soluções aos problemas que ainda persistem.

4.4 Exemplos de aplicações do EPCglobal

Apresentam-se a seguir, alguns exemplos de aplicação do EPCglobal.

4.4.1 Gerenciamento de Estoque - Brasil

Segundo o GS1, a loja de roupas Memove é a primeira cadeia de varejo no Brasil a adotar a tecnologia EPC/RFID, do fabricante ao consumidor final (GS1, 2012).

Cada item de vestimenta recebe, na fábrica, uma etiqueta GS1 EPC UHF Gen 2 costurada à peça. Comissionam-se as etiquetas com um SGTIN, número único que identifica cada item. Estas etiquetas são lidas em vários pontos ao longo da cadeia: no recebimento dos produtos nos centros de distribuição; no seu armazenamento; no envio dos itens aos pontos de venda; nos caixas de auto atendimento (*check-out*). Como resultado, a empresa sabe exatamente que itens estão em que lugar, a qualquer momento, e os estoques são atualizados automaticamente. Segundo relato do GS1, o processo de recebimento dos itens após a implantação do EPC/RFID está 300% mais rápido, e o *check-out*, 60%.

4.4.2 Rastreabilidade da cadeia vinícola - da Itália para Hong Kong

Em 2010, Hong Kong tornou-se o maior importador de vinho do mundo, com a significativa cifra de US\$850 milhões. Por sua vez, a Itália, como um dos maiores produtores de vinho, vem intensificando atividades comerciais ao redor do mundo, o que demanda uma operação eficiente ao longo de toda a cadeia (GS1, 2011).

Neste cenário, as representações do GS1 nos dois países se uniram para desenvolver uma solução de rastreamento das remessas de vinho, da vinícola na Itália, ao armazém em Hong Kong. No produtor e distribuidor Azienda Agricola Le Macchiole, cada garrafa recebe uma etiqueta EPC/RFID associada a um SGTIN. As garrafas identificadas são embaladas em caixas e estas, em paletes, que recebem etiquetas EPC/RFID associadas a um SSCC. Por meio de leitores EPC/RFID, podem-se obter informações relevantes aos estoques e movimentação da carga a partir da vinícola. Estas informações alimentam a rede EPCIS no GS1 Itália, indicando que os paletes estão prontos para envio ao porto. No recebimento em Hong Kong, os responsáveis verificam a conformidade da carga por meio de leitores RFID. Uma vez aprovada, a carga é destinada aos distribuidores e, após, às lojas. Todos estes eventos são registrados no GS1 Hong Kong por software compatível

com o EPCglobal.

4.4.3 Rastreabilidade da Carne – Nova Zelândia

Por meio de trabalho conjunto do GS1 Nova Zelândia e do GS1 Hong Kong, confirmou-se que a rede EPCglobal pode ser utilizada eficazmente como sistema de rastreabilidade da carne, do ambiente rural até o varejo (GS1, 2010). Avaliaram-se as seguintes etapas da cadeia: identificação de cada animal na fazenda por meio de SGTIN (comissionamento); embarque do animal no caminhão (carga); chegada do animal na área de processamento (recepção); animal na área de abate (transformação); identificação de cada carcaça na câmara frigorífica por meio de um SSCC (comissionamento); carcaça na área de desossa (transformação); pedaços de carne embalados em caixas, sendo cada uma identificada por um SGTIN (comissionamento); carga das caixas em contêineres de transporte (transporte); chegada das caixas no varejo (recepção).

Todos os dados das etiquetas foram capturados e gravados com sucesso e transmitidos em formato XML para o servidor do GS1 Hong Kong, utilizando-se *middleware* EPC. Transmitiram-se os dados em lotes e não em tempo real, o que não comprometeu a rastreabilidade, visto que cada identificação EPC utilizada na cadeia pode ser consultada e reportada por meio do EPCIS.

5 REDES PEER-TO-PEER (P2P) – KADEMLIA

Dado o número considerável de propostas para EPCDS baseadas na utilização de redes P2P, apresentam-se neste capítulo considerações básicas sobre as arquiteturas usuais nestas redes. Em particular, enfatiza-se o protocolo Kademia, proposto por Maymounkov e Mazières (2002) também empregado em diversos trabalhos, e que é a base da proposta do autor.

5.1 Características

Segundo Androutsellis-Theotokis (2002), as redes P2P caracterizam-se pelo acesso e troca de informações diretamente nos computadores da rede, daqui por diante denominados *nós*, com um mínimo de coordenação central, o que contrasta com o modelo cliente-servidor tradicional. Em particular, redes P2P destinadas ao compartilhamento de arquivos entre usuários popularizaram-se consideravelmente ao longo dos últimos anos.

As redes P2P diferenciam-se do conceito de *grid computing*, no qual o contato direto entre computadores e ausência de coordenação central também estão presentes, porém com o objetivo de compartilhar recursos para a resolução de problemas computacionalmente complexos (BAKER; BUYYA; LAFORENZA, 2002).

A presença ou não de coordenação, bem como seu grau de importância constitui outro critério de classificação. Androutsellis-Theotokis define:

- **Redes puramente descentralizadas:** nas quais todos os nós participantes realizam as mesmas tarefas, atuando como clientes e servidores; como exemplo, tem-se a proposta original da rede Gnutella (CREEDON et al., 2003);
- **Redes parcialmente descentralizadas:** neste modelo alguns nós exercem um papel diferenciado, apresentando, por exemplo, índices de arquivos para nós locais; a criação destes nós varia conforme o protocolo empregado e, devido à sua configuração dinâmica, não constituem pontos únicos de falha capazes de tornar a rede inoperante; como exemplos de redes deste modelo, têm-se as redes Kazaa e a versão 2 da Gnutella;

- **Redes híbridas descentralizadas:** neste modelo existe um servidor encarregado de registrar o conteúdo dos nós participantes, na forma de metadados; embora a transferência de informações ocorra diretamente nó a nó, o contato inicial com um servidor que identifica os computadores que disponibilizam o recurso buscado é obrigatório; desta forma este servidor constitui um ponto único de falha, capaz de tornar toda a rede inoperante. A extinta rede Napster é um exemplo deste modelo (CROSSE et al., 2003).
- **Redes híbridas centralizadas:** neste modelo, o servidor central também encarrega-se das transferências entre nós; por apresentar uma arquitetura do modelo cliente-servidor, não se deve classificá-la como P2P.

Boa parte das críticas de pesquisadores (BARCHETTI et al., 2009; FABIAN; GÜNTHER, 2009; JAKKHUPAN; ARCHINT; Y., 2011) ao modelo de ONS proposto pelo GS1 reside em sua dependência do serviço DNS e a consequente existência de pontos únicos de falha. Assim, as propostas mais recentes para sistemas ONS e EPCDS baseiam-se na utilização de redes P2P puramente descentralizadas, em particular da arquitetura conhecida como Tabelas *Hash* Distribuídas (*Distributed Hash Table – DHT*).

5.2 Redes P2P DHT

Considere-se um conjunto de dados a compartilhar, por exemplo, endereços de sistemas EPCIS (endereço IP e porta) contendo eventos relativos à passagem de códigos EPC ao longo de uma cadeia produtiva. A cada conjunto pode-se associar uma chave de busca gerada por uma função *hash* aplicada ao seu conteúdo. Desta maneira, pode-se construir uma tabela formada pelas chaves e endereços de sistemas EPCIS que possuem dados sobre o código.

Nas redes P2P DHT ocorre a distribuição de uma tabela acima entre os nós participantes, o que leva arquiteturas do tipo puramente ou parcialmente descentralizadas.

Para esta função, emprega-se usualmente o algoritmo SHA-1 (INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, 2001) que leva a uma distribuição uniforme de

chaves, com tamanho fixo (160 *bits*), seja qual for a distribuição dos códigos do domínio (CAI et al., 2003).

Armazenando-se esta tabela em um servidor, é viável a implantação de um serviço EPCDS, formado por uma rede P2P híbrida descentralizada. A existência de um ponto único de falha além de questões ligadas a desempenho e escalabilidade do serviço levam à busca de outras alternativas. Buscam-se frequentemente soluções que se enquadrem nos modelos puramente ou parcialmente descentralizados.

5.3 Kademlia

A rede Kademlia é formada por nós caracterizados como um par constituído por um conjunto de dados (valor) e uma chave de identificação, obtida pela aplicação de uma função *hash* (usualmente a SHA-1) ao valor. Cada nó armazena um conjunto formado pela chave de identificação, o endereço IP do nó e sua porta.

A distribuição uniforme das chaves, característica da aplicação da SHA-1 é um requisito importante das redes Kademlia, para que não se chegue a uma tabela de roteamento desbalanceada. O roteamento de mensagens baseia-se na distância lógica entre nós.

5.3.1 Métrica de distância e propriedades

Nas redes Kademlia, entradas da tabela DHT formados por pares <chave, valor> são distribuídos e armazenados em nós, cujas chaves de identificação apresentam maior grau de “proximidade” entre a chave do par e do nó. Como métrica desta distância, utiliza-se a operação ou-exclusivo (*eXclusive-OR* – XOR) aplicada entre as chaves. Assim, dados dois nós A e B, com distância d entre eles, tem-se:

$$A = \{chave1, valor1\} \quad (1)$$

$$B = \{chave2, valor2\} \quad (2)$$

$$d = chave1 \oplus chave2 \quad (3)$$

O uso da operação XOR para cálculo da distância entre nós, além de ser computacionalmente simples, é uma opção válida para cálculo de distância como demonstra o trabalho de Maymounkov e Mazières (2002):

- a distância entre um nó e ele próprio é sempre zero:

$$d(x,x) = x \oplus x = 0 \quad (4)$$

- a distância entre dois nós distintos é sempre maior que zero:

$$\forall x \neq y: d(x,y) = x \oplus y > 0 \quad (5)$$

- verifica-se a simetria:

$$\forall x,y: d(x,y) = d(y,x) \quad (6)$$

- verifica-se a propriedade triangular:

$$d(x,y) + d(y,z) \geq d(x,z) \quad (7)$$

já que:

$$d(x,y) \oplus d(y,z) = d(x,z) \quad (8)$$

e:

$$\forall a \geq 0, b \geq 0, a + b \geq a \oplus b \quad (9)$$

Outra característica da métrica XOR é seu aspecto unidirecional; dados um nó x e uma distância Δ , existe um e somente um nó y distante Δ de x :

$$\forall x, \Delta \exists! y \mid d(x,y) = \Delta \quad (10)$$

Esta propriedade é importante pois qualquer busca por uma chave de identificação converge para uma mesma sequência, qualquer que seja o nó inicial.

O tempo de recuperação de um nó a partir de sua chave de identificação é da ordem de:

$$T_n \in O(\log(n)) \quad (11)$$

Foge ao escopo deste trabalho tecer considerações sobre a demonstração formal desta propriedade, o que encontra-se no item 3 do trabalho de Maymounkov e Mazières (2002).

5.3.2 Roteamento

Daqui por diante, considera-se o caso usual de chaves de identificação contendo 160 *bits* de informação, salvo citação expressa em contrário. Considera-se também uma representação *bigendian* das chaves de identificação (*bits* menos significativos à direita e com menor índice).

Para cada *bit* entre $0 \leq i < 160$, pode-se manter uma lista contendo os endereços dos nós situados a uma distância compreendida entre 2^i e 2^{i+1} do nó corrente. Maymounkov e Mazières atribuem a estas listas a denominação de *k-buckets*. Têm-se, portanto, até 160 *k-buckets* por nó. Esta denominação tem origem na capacidade de armazenar até 20 valores, sugerida pelos autores para estas listas: $k = 20$. A determinação deste valor, denominado *fator de replicação*, tem como fundamento a ideia de que em menos de uma hora a probabilidade de um conjunto de k nós se desconectarem da rede é muito baixa. O trabalho original não detalha o processo de escolha deste valor.

O preenchimento da tabela de roteamento de cada nó ocorre durante a recepção de mensagens de outros nós da rede. Na recepção de qualquer mensagem, cada nó x insere o endereço do nó remetente $E_y = \{IP, porta\}$ em seu *k-bucket* devido (de índice i), calculado em função da distância entre os nós $d(x, y)$:

$$\forall i, 0 \leq i < 160 : k\text{-bucket}_i = \{E_y \mid 2^i \leq d(x, y) < 2^{i+1}\} \quad (12)$$

Decorre que o índice do *k-bucket* é dado por:

$$i = \lfloor \log(d) \rfloor \quad (13)$$

À medida que cresce o valor de i , cresce o número de candidatos a serem armazenados no respectivo *k-bucket*. Para $i=1$, apenas um nó pode ser armazenado: aquele cuja identificação difere do nó corrente apenas no *bit* menos significativo. Para o *k-bucket* com maior índice, pode-se armazenar a metade dos valores disponíveis – aqueles cuja identificação diferem do nó corrente no *bit* mais significativo.

Embora seja possível a reserva inicial de espaço para os 160 *k-buckets* de um nó, parte-se usualmente de um único *k-bucket* que se divide à medida que a tabela de roteamento cresce.

Inicialmente, poucas informações fazem parte da tabela de roteamento e

emprega-se apenas um único *k-bucket*. À medida que novas informações chegam, atinge-se seu limite de *k* informações.

Neste momento, se a faixa de valores do *k-bucket* totalmente preenchido contiver a chave do próprio nó, divide-se o *k-bucket* em dois. Caso contrário, descarta-se o novo valor. Feita a divisão, distribui-se o conteúdo, ficando no primeiro os códigos com *bit* mais significativo igual a um e os demais no segundo. Repete-se a tentativa de inserção.

Com a chegada de mais informações, cada *k-bucket* divide-se em dois (*b*, *c* e *d*) ao atingir seu limite, conforme a figura Figura 17.

Figura 17 – Formação dos *k-buckets*.

A procura de um nó a partir de sua chave de identificação leva a uma busca iterativa por nós cada vez mais próximos ao objetivo. Podem-se representar as chaves de identificação dos nós em uma árvore binária, onde os nós são as folhas. O caminho até eles representa o código binário da chave. Observa-se, na Figura 18, o nó 0111, representado por um círculo branco, em uma rede formada com chaves de identificação de 4 *bits*.

5.3.3 Protocolo Kademlia

A implementação do protocolo Kademlia envolve a utilização de quatro tipos de mensagem: *PING*, *FIND_VALUE*, *FIND_NODE* e *STORE*. Efetuam-se todas as trocas de mensagens por meio do protocolo *User Datagram Protocol* (UDP).

Além das mensagens básicas, definem-se três rotinas iterativas: *Node_lookup*, *Value_lookup*, e *iterativeStore* (THE XLATTICE PROJECT, 2010).

A implementação do protocolo envolve a definição de alguns parâmetros globais, apresentados na Tabela 5. Os valores na coluna da direita são sugeridos por Maymounkov e Mazières.

Tabela 5 – Parâmetros globais do protocolo Kademlia

Parâmetro	Significado	Valor sugerido
α	Número de solicitações assíncronas simultâneas por nó	3
B	Tamanho da chave de identificação em <i>bits</i>	160
k	Capacidade de armazenamento de um <i>k-bucket</i>	20
tExpire	Tempo de expiração de um par (chave,valor)	86400 s
tRefresh	Intervalo de tempo ao final do qual um <i>k-bucket</i> não acessado deve reprocessar seus contatos	3600 s
tReplicate	intervalo de tempo ao fim do qual cada nó deve republicar o conteúdo de seu banco de dados	3600 s
tRepublish	Intervalo de tempo ao fim do qual cada servidor original deve republicar a informação inicial	86400 s

Insere-se em cada mensagem enviada um código *hash* que deve ser retornado ao remetente para constatação do recebimento pelo destinatário. Sempre que esta constatação ocorre, o nó remetente atualiza o conteúdo de seu *k-bucket* adequado com o endereço do nó destinatário, que se acaba de descobrir estar ativo. Desta maneira, a troca de mensagens entre nós é o mecanismo básico para a construção das tabelas de roteamento em cada nó.

As descrições das mensagens e rotinas apresentadas a seguir, têm como referência os trabalhos de (MAYMOUNKOV; MAZIÈRES, 2002b; THE XLATTICE PROJECT, 2010; SPORI, 2006).

5.3.3.1 Mensagem *PING*

O objetivo desta mensagem é verificar se outro nó encontra-se ativo. Ao receber uma resposta positiva, o nó remetente atualiza seu *k-bucket* adequado com os dados do destinatário.

5.3.3.2 Mensagem *STORE*

Esta mensagem, não iterativa, envia um par (chave, valor) a outro nó para que este o armazene para posterior recuperação.

5.3.3.3 Mensagem *FIND_NODE*

Nesta mensagem, envia-se ao nó destinatário a chave de um nó procurado. O recipiente, retorna uma lista com os k nós mais próximos ao procurado (dentre seus nós conhecidos).

5.3.3.4 Mensagem *FIND_VALUE*

Envia-se uma chave ao nó destinatário. Caso este o possua em sua lista de dados armazenados, retorna o valor associado. Em caso contrário, retorna uma lista com os k nós mais próximos, tal como ocorre com a mensagem *FIND_NODE*.

5.3.3.5 Rotina *Node_Lookup*

Esta rotina implementa o algoritmo utilizado para localizar os nós mais próximos a uma determinada chave. Executam-se os seguintes passos:

- Procuram-se no *k-bucket* local apropriado, α contatos mais próximos ao objetivo; se não houver esta quantidade disponível, a busca estende-se a outros *k_buckets*; retorna-se a lista obtida (ainda que com menos do que α contatos);
- Marca-se o nó mais próximo ao alvo;

- Para cada nó da lista, enviam-se simultaneamente e de maneira assíncrona, mensagens *FIND_NODE*;
- Cada mensagem deve retornar uma relação de k contatos que acrescentam-se à lista; se não houver resposta de uma ou mais *FIND_NODES*, o nó respectivo é removido da lista;
- Verifica-se se algum dos nós está mais próximo ao alvo, marcando-o como tal;
- Novamente, selecionam-se na lista α contatos mais próximos ao objetivo;
- Envia-se mensagens *FIND_NODE* a cada contato, caso ainda não tenham sido visitados;
- A sequência continua até que não se obtenha um nó mais próximo que o obtido na iteração anterior ou que a lista já acumule k contatos ativos.

5.3.3.6 Rotina *Value_Lookup*

Implementa-se esta rotina de maneira análoga à *Node_Lookup* utilizando-se, porém, a mensagem *FIND_VALUE* no lugar da *FIND_NODE*. Desta maneira, chega-se ao valor buscado ou a uma lista contendo os k nós mais próximos ao objetivo. Quando a rotina obtém o valor desejado, envia-se uma mensagem *STORE_VALUE* ao nó mais próximo do objetivo que não tenha retornado o valor.

5.3.3.7 Rotina *Iterative_Store*

Realiza-se a rotina *Node_Lookup*, enviando-se a cada um dos k nós retornados uma mensagem *STORE_RPC* com o valor a ser armazenado.

5.3.4 Conexão à rede

A conexão de um nó à rede obedece à seguinte sequência:

- Atribui-se uma chave de identificação ao nó; pode-se utilizar um valor

pseudoaleatório obtido no espaço de 160 *bits*;

- Qualquer lista de contatos válidos que tenha sido previamente armazenada pode ser utilizada;
- Insere-se no(s) *k-buckets* adequado(s) uma ou mais chaves de outros nós já conhecidos;
- Realiza-se um *Node_Lookup* da própria chave, procedimento que preenche os primeiros valores na tabela de roteamento.

5.3.5 Procedimentos

Maymounkov e Mazières especificam a realização dos procedimentos abaixo em intervalos regulares de tempo. Encontram-se na Tabela 5 a definição dos intervalos de tempo citados a seguir:

- Todos os pares (chave, valor) devem expirar findo o prazo *tExpire*;
- Passado um intervalo de tempo igual a *tRefresh*, um *k-bucket* não consultado deve atualizar seu conteúdo através de um *Node_Lookup* a um nó com valor pseudoaleatório em sua faixa de chaves válidos;
- Cada nó gerador de um par (chave, valor) deve republicá-lo a cada intervalo *tRepublish*;
- Cada nó deve republicar o conteúdo de seu banco de dados a cada intervalo *tReplicate*.

5.4 Melhorias no protocolo Kademlia

Maymounkov e Mazières (2002) propõem a adoção de *k-buckets* relacionados a um número maior de *bits* do espaço amostral. Desta maneira, aumenta-se sua capacidade de armazenamento por meio de uma maior cobertura do espaço amostral.

Neste caso, considerados B *bits* cobertos em cada *k-bucket*, o tempo de recuperação de uma informação é da ordem de:

$$T_n \in O(\log_B(n)) \quad (14)$$

5.5 Segurança

Douceur (2002) apresenta uma vulnerabilidade da rede Kademlia a ataques na qual um ou mais nós atacantes apresentam chaves de identificação falsas, porém de valores adequados para o isolamento de determinados nós da rede. Desta maneira, pedidos de inserção de pares (chave,valor) podem ser aceitos e não efetuados, ou adulterados.

A solução proposta por Douceur para este ataque, por ele denominado como Sybil, é a autenticação rigorosa dos nós participantes da rede, como sugerido em (AIELLO et al., 2008; KOHNEN; GERBECKS; RATHGEB, 2011; MACCARI et al., 2009).

De uma maneira geral, as redes P2P apresentam vulnerabilidade a ataques deste tipo (LUA et al., 2005).

5.6 Outras arquiteturas P2P DHT

Apresentam-se, a seguir, outros modelos frequentemente empregados para a implantação de redes P2P DHT.

5.6.1 Tapestry

Proposta por Zhao et. al (2004) , a rede Tapestry utiliza pares (chave,valor) com chaves de identificação de 160 *bits* (*nodeID*). A arquitetura permite a utilização de mais de um nó por servidor, o que leva a um segundo identificador (GUID) anexado como sufixo a *nodeID*. Sua arquitetura básica baseia-se na proposta de Plaxton et al. (1999), (chave,valor) que apresenta em seu trabalho uma estrutura para distribuição de dados conhecida como *Plaxton mesh*. Nela, os objetos contendo dados são conectados a um nó raiz (*root*). A busca ao nó raiz leva a sequência de dados buscados.

Na rede Tapestry a existência de múltiplos nós raiz garante a não existência de pontos únicos de falha. As tabelas de roteamento local dos nós são estruturadas em níveis, cada um responsável pelo sufixo da chave de identificação até uma determinada posição. Desta forma, o nó de ordem n compartilha um sufixo de pelo

menos n dígitos com a chave do alvo. Na sequência do roteamento, procura-se no mapa do nível $(n+1)$ o nó que compartilha o próximo dígito de sua chave com a chave do alvo.

O método garante a convergência em um máximo de $\log_B(n)$ saltos, onde B representa a base das chaves de identificação, sendo que usualmente $B = 2^4 = 16$ para caracteres hexadecimais.

5.6.2 Chord

Proposta por Stoica et al. (2001) os nós de uma rede Chord possuem chaves de identificação de n bits distribuídos em um círculo. Desta maneira, cada nó possui um único sucessor e antecessor. Para se evitar a queda da rede com a eventual saída de algum nó, mantém-se uma relação com um determinado número de nós sucessores e antecessores, de maneira a garantir uma elevada probabilidade de manutenção do serviço.

A busca de uma chave a partir de um nó por visitação ao sucessor leva a um tempo da ordem de $O(n)$. Para uma melhor performance, cada nó mantém uma tabela de roteamento, denominada *finger table*, contendo uma relação de endereços de até n nós, onde a entrada de ordem i na tabela leva ao endereço do nó sucessor de ordem 2^i , o que leva a um tempo de busca da ordem de $O(\log(n))$.

Observe-se que na rede Chord o roteamento ocorre sempre em um único sentido, a partir de um nó para seus sucessores.

5.6.3 Pastry

Proposta por Rowstron e Druschel (2001), a rede Pastry mantém chaves de identificação de 128 bits em uma distribuição circular dos nós, como a rede Chord. Assim como a Tapestry, a arquitetura básica da rede baseia-se na *Plaxton mesh* utilizando, no entanto, o prefixo das chaves, como elemento.

O roteamento ocorre em até $\log_B(n)$ saltos, onde B é a base das chaves de identificação, sendo que usualmente $B = 2^4 = 16$ para caracteres hexadecimais.

Em cada salto, a rede leva ao nó cuja chave seja numericamente mais

próxima à chave do alvo. Para isto, procura em sua tabela de roteamento um nó que possua pelo menos um dígito a mais do que o prefixo já compartilhado pelo nó corrente e a chave do alvo.

5.7 Comparação entre arquiteturas

A título de comparação entre as diversas arquiteturas apresentadas, apresentam-se na Tabela 6 características compiladas por (LUA et al., 2005).

Tabela 6 – Comparação entre redes P2P DHT

	Tapestry	Pastry	Chord	Kademlia
Número de nós	n	n	n	n
Performance	$O(\log_B(n))$	$O(\log(n))$	$O(\log(n))$	$O(\log_B(n))$
Arquitetura básica	<i>Plaxton mesh</i>	<i>Plaxton mesh</i>	<i>NodeID</i> unidirecional e circular	Métrica XOR para distância entre nós
Protocolo de busca	Busca de sufixo no <i>NodeID</i>	Igualdade de chave e prefixo de <i>NodeID</i>	Igualdade de chave e <i>NodeID</i>	Igualdade de chave e <i>NodeID</i>
Pode armazenar diversas rotas para cada nó	sim	sim	não	não
Nova tentativa de leitura após falha	não	não	sim	não
Múltiplos nós armazenam a mesma informação	sim	sim	sim	sim
Falha de nós individuais afetam a rede	não	não	não	não
Susceptibilidade a ataques	sim	sim	sim	sim

Pela análise da tabela, observa-se a similaridade de características entre as várias arquiteturas, que compartilham tanto boas qualidades (bom desempenho e ausência de pontos únicos de falha) como características indesejáveis (susceptibilidade a ataques).

Comentando as características da rede Kademlia em relação às demais, pode se destacar:

- Mensagens em número reduzido, rotinas e algoritmos simples aliados à baixa demanda de recursos computacionais proporcionam uma implantação (programação) mais simples, quando comparada às demais, informação que é tratada superficialmente na literatura, até por sua difícil medição, porém constatada pelo autor durante a pesquisa;
- O reenvio de mensagens no caso de falhas, presente na Chord, pode ser implantado facilmente e sem prejuízo do desempenho, dada a característica assíncrona das mensagens; a melhoria na eficácia proporcionada pela Kademlia com a implementação deste reenvio pode ser objeto para nova pesquisa;
- A característica de poder armazenar diversas rotas para um mesmo nó, presente na Tapestry, em uma primeira análise não se faz necessária na Kademlia, onde a busca é orientada a nós próximos a um objetivo e não uma chave específica; novamente, outra pesquisa pode trazer informações sobre esta questão;
- A métrica para busca de nós, baseada na operação XOR, computacionalmente é extremamente simples;
- A saída de nós na rede ocorre de forma localizada, qualquer nó remove outro *peer* de sua tabela de roteamento ao perceber que este não se encontra mais disponível; não é necessário o envio de nenhuma mensagem a outros nós, seja o que se retira, ou o que percebe a reconfiguração;
- A entrada de nós na rede também ocorre de maneira simples; durante a conexão à rede, o nó faz uma auto busca à própria chave, o que começa a preencher sua tabela de roteamento, ao mesmo tempo que vai informando sua presença a outros nós, processo que se acentua à medida em que novas mensagens forem sendo trocadas.

6 SOLUÇÃO PROPOSTA

Ao longo da revisão bibliográfica, com o entendimento dos fundamentos da arquitetura EPCglobal, observou-se o número significativo de artigos científicos envolvendo propostas para a criação de Sistemas de Resolução de Objetos EPC, motivados pela falta de especificação deste componente pelo GS1, o que levou o autor a apresentar a presente proposta.

A partir da análise dos trabalhos de outros pesquisadores, e das observações registradas no item 5.7, optou-se pela utilização de uma rede P2P baseada na arquitetura Kademlia, com uma variante do algoritmo interno de busca de nós, além da modificação de alguns comportamentos previstos para os nós da rede, com o objetivo de **maximizar a eficácia** no caso da presença de um grande número de informações sobre cada EPC, condição que ocorre na prática.

É importante ressaltar o significado do grifo acima: maximizar a eficácia significa, neste caso, a obtenção da maior lista de nós contendo informações sobre a chave pesquisada. No entanto, tanto Kademlia quanto os demais modelos de rede P2P apresentados, não podem garantir uma eficácia de 100%, pois a informação registrada em um nó indisponível não poderá ser obtida enquanto esta situação perdurar. Outras situações transientes de adaptação dinâmica da rede poderão causar uma breve indisponibilidade de certos nós.

6.1 Problema não resolvido no algoritmo Kademlia

Nas redes Kademlia, segundo a proposta de Maymounkov e Mazières (2002), o algoritmo de busca por uma chave cessa a busca tão logo um nó consultado possua sua localização.

Este comportamento não é desejável para a implantação de um EPCDS, pois informações de um determinado EPC estão, usualmente, em diversos sistemas EPCIS por onde a passagem do item houver sido registrada.

Ilustra-se na Figura 20, um exemplo deste problema. Em uma rede P2P Kademlia com 16 nós, a chave *epc* apresenta dados registrados em 4 servidores: 1, 7, 12 e 14. Ao requisitar informações sobre a chave *epc*, um EPCIS ou aplicativo cliente externo envia a mensagem *iterativeFindValue(epc)* à rede. O algoritmo

Kademlia leva a apenas um nó contendo este valor. No exemplo, o nó encontrado é o número 12. Ao ser encontrado, encerra-se a busca. Nenhuma informação sobre a existência de outros nós é obtida.

Figura 20 - Cliente de uma EPCIS baseado na rede P2P Kademlia original.

Vale ressaltar que a determinação do nó encontrado é função da tabela de roteamento do nó que inicia a requisição; portanto diferentes resultados poderão ser retornados em diferentes momentos e/ou quando solicitados por diferentes nós.

Outro possível tentativa, a obtenção de um desempenho mais elevado da rede não é promissora, pois dada a característica de tempos de resposta da ordem $c + O(\log(n))$ do algoritmo original, a procura por melhor desempenho poderia levar a alguma melhoria no valor da constante c , pouco expressiva.

6.2 Proposta do autor

A partir destas peculiaridades, buscaram-se alterações do algoritmo original e de certos comportamentos especificados para os nós da rede que levassem à maximização de eficácia na busca por informações diversas espalhadas na rede. Mais objetivamente, que se aumentasse a probabilidade de obtenção de todos os nós da rede que contenham informações sobre a chave buscada.

A primeira alteração efetuada foi na alteração do algoritmo do processamento *iterativeFindValue()*. Na proposta inicial, tem-se a seguinte sequência apresentada

nos itens 5.3.3.5 e 5.3.3.6.

Ao receber a (única) resposta positiva obtida com a aplicação do algoritmo original, que leva a um dos nós que contém um ponteiro para o servidor onde a informação buscada reside, envia-se a este nó nova mensagem *iterativeFindValue()*. Repete-se este processo até que não se obtenham novos nós. Ilustra-se este processo na Figura 21, que apresenta uma rede composta pelos nós A, B, C, D, E e F. Os nós E, F e G contêm informações sobre a chave *epc*. A informação que leva a estes nós está armazenada nos nós B, C e D. A busca, conforme a proposta do autor ocorre em uma sequência de quatro fases:

- Nó A envia *iterativeFindValue(key)* a rede (não ilustrado) e recebe B;
- Nó A envia *iterativeFindValue(key)* a B e recebe C (a);
- Nó A envia *iterativeFindValue(key)* a C e recebe D (b);
- Nó A envia *iterativeFindValue(key)* e D e recebe resposta negativa (c);

Obtém-se, desta maneira, a lista dos servidores que contém as informações sobre *epc* composta pelos nós B, C e D (que levam aos servidores F, G e H).

Figura 21 – Exemplo de fluxo para a busca proposta.

Descartam-se soluções que envolvam nós visitados.

6.3 Simulação

Uma vez definida a solução a ser proposta, desenvolveu-se um software composto por quatro módulos, destinado a emular o funcionamento de um nó em uma rede Kademlia, alterada conforme descrição no item anterior.

6.3.1 Gateway coordenador

O primeiro módulo atua como *gateway* “coordenador” da rede, atribuindo os contatos iniciais a cada nó, durante sua conexão à rede, o que foi útil na simulação. Em uma implementação prática, este módulo não seria necessário. Bastariam a existência de alguns endereços iniciais de referência. Efetua-se a conexão a este módulo por meio de datagramas UDP em endereços IP e porta fixos.

6.3.2 Emulador de nó

O segundo modo emula um nó da rede P2P, com o protocolo Kademlia modificado implementado; cada nó possui chave de identificação distinta, bem como IP e porta para comunicação entre os demais módulos.

Este é o módulo mais complexo. Apresenta-se na Figura 22 o diagrama funcional deste módulo.

6.3.3 Inicializador da rede

O terceiro módulo, inicializa o *gateway* e a rede formada por um número de nós determinado pelo usuário, atribuindo a cada nó seu número de porta e chave de identificação.

Ao final, gera um número de códigos EPC (pseudoaleatórios), também definido pelo usuário, bem como o número de nós da rede que deverão receber a informação.

Figura 22 – Diagrama funcional do emulador de nó P2P Kademlia modificado.

6.3.4 Alimentador de dados

O quarto módulo “popula” a rede com os códigos EPC gerados pelo módulo anterior. A requisição de armazenamento é enviada a nós diferentes a cada iteração.

6.3.5 Módulo de consulta

O quinto e último módulo realiza, em intervalos periódicos, a consulta a nós aleatórios sobre a existência de códigos EPC; podem-se definir o intervalo de tempo e a utilização ou não de códigos não existentes na rede. Este módulo permite a verificação da eficácia da solução, identificando os resultados e tempos de resposta de cada consulta e armazenando esta informação no banco de dados. O módulo direciona a consulta a diferentes nós em cada iteração. Apresenta-se na Figura 23, o diagrama funcional dos módulos encarregados da simulação.

Figura 23 – Diagrama funcional do software de simulação.

A Figura 24 – Tela do computador realizando a simulação apresenta a tela do computador, capturada em um momento da execução de uma das simulações iniciais de testes com uma rede de 8 nós.

```

[OSMacBook:~/pages/epc/kademlia] goglix ./run.php 8

Criando BD
Gateway running...
Nó 9001 running...
Nó 9002 running...
Nó 9003 running...
Nó 9004 running...
Nó 9005 running...
Nó 9006 running...
Nó 9007 running...
Nó 9008 running...

Gerando EPCs
EPCs gerados
[]

[OSMacBook:~/pages/epc/kademlia] goglix

Aguardando resposta...
OK
SELECT * FROM servers WHERE porta = 9004
[21] Enviados 127 bytes a 65349:10.0.1.4:9004
Tentando guardar: 59981(58114:10.0.1.4:9002)
Aguardando resposta...
OK
SELECT * FROM servers WHERE porta = 9004
[22] Enviados 127 bytes a 65349:10.0.1.4:9004
Tentando guardar: 59415(56428:10.0.1.4:9008)
Aguardando resposta...
OK
SELECT * FROM servers WHERE porta = 9005
[23] Enviados 127 bytes a 23891:10.0.1.4:9005
Tentando guardar: 59415(40001:10.0.1.4:9001)
Aguardando resposta...
OK
SELECT * FROM servers WHERE porta = 9004
[24] Enviados 127 bytes a 65349:10.0.1.4:9004
Tentando guardar: 59415(60997:10.0.1.4:9006)
Aguardando resposta...
OK
[OSMacBook:~/pages/epc/kademlia] goglix

VALOR ENCONTRADO em 9001
De 9250 para 9004 procurando 15285
VALOR ENCONTRADO em 9006
VALOR ENCONTRADO em 9001
VALOR ENCONTRADO em 9002
De 9250 para 9002 procurando 45055
VALOR ENCONTRADO em 9002
VALOR ENCONTRADO em 9004
VALOR ENCONTRADO em 9003
De 9250 para 9007 procurando 15285
VALOR ENCONTRADO em 9006
VALOR ENCONTRADO em 9001
De 9250 para 9008 procurando 42229
VALOR ENCONTRADO em 9006
VALOR ENCONTRADO em 9001
VALOR ENCONTRADO em 9001
De 9250 para 9006 procurando 40055
VALOR ENCONTRADO em 9007
VALOR ENCONTRADO em 9001
VALOR ENCONTRADO em 9001
De 9250 para 9001 procurando 20773
VALOR ENCONTRADO em 9006
VALOR ENCONTRADO em 9008
VALOR ENCONTRADO em 9003
^C
[OSMacBook:~/pages/epc/kademlia] goglix

59415 | 40001 | 10.0.1.4 | 9001 | 0.1013 | ok |
59415 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1013 | ok |
42229 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1012 | ok |
42229 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1012 | ok |
42229 | 40001 | 10.0.1.4 | 9001 | 0.1012 | ok |
15285 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1013 | ok |
15285 | 40001 | 10.0.1.4 | 9001 | 0.1013 | ok |
15285 | 58114 | 10.0.1.4 | 9002 | 0.1013 | ok |
45055 | 58114 | 10.0.1.4 | 9002 | 0.1013 | ok |
45055 | 65349 | 10.0.1.4 | 9004 | 0.1013 | ok |
45055 | 39528 | 10.0.1.4 | 9003 | 0.1013 | ok |
15285 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1008 | ok |
15285 | 40001 | 10.0.1.4 | 9001 | 0.1008 | ok |
42229 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1013 | ok |
42229 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1013 | ok |
42229 | 40001 | 10.0.1.4 | 9001 | 0.1013 | ok |
40055 | 4058 | 10.0.1.4 | 9007 | 0.1010 | ok |
40055 | 40001 | 10.0.1.4 | 9001 | 0.1010 | ok |
40055 | 40001 | 10.0.1.4 | 9001 | 0.1010 | ok |
20773 | 60997 | 10.0.1.4 | 9006 | 0.1012 | ok |
20773 | 56428 | 10.0.1.4 | 9008 | 0.1012 | ok |
20773 | 39528 | 10.0.1.4 | 9003 | 0.1012 | ok |
59 rows in set (0.00 sec)

mysql>

```

Figura 24 – Tela do computador realizando a simulação.

6.3.6 Equipamento utilizado

A simplicidade do protocolo Kademlia, já comentada no item 5.7, levou a uma solução com diminuto tamanho e baixa exigência de recursos computacionais do software, permitindo a simulação, em apenas um computador, de uma rede composta por até 64 servidores com execução simultânea em um único microcomputador MacBook, com sistema operacional MacOS V. 10.7.5, com 4 *gigabytes* de memória RAM. Observe-se que o sistema operacional MacOS é baseado no FreeBSD Unix.

6.3.7 Ferramentas e linguagem utilizadas

Descartou-se, a priori, a utilização de uma ferramenta de simulação computacional para redes. Fundamenta-se esta decisão, no tempo necessário à implementação do modelo da rede Kademlia na ferramenta, comparado ao tempo de desenvolvimento de um software dedicado à simulação. Favorecem esta opção a larga experiência do autor com desenvolvimento de software, a consideração exclusiva de fatores pertinentes à simulação em estudo (o que não é normalmente possível quando se emprega uma ferramenta tradicional) e a simplicidade do protocolo Kademlia.

Desenvolveu-se o software com a linguagem PHP V 5.3.15 (THE PHP GROUP, 2007). A escolha da linguagem de programação fundamentou-se unicamente na experiência prévia do autor com sua utilização. Diversas outras linguagens poderiam ser utilizadas. No entanto as seguintes características do PHP foram fundamentais para a agilidade do desenvolvimento:

- Linguagem interpretada de alto desempenho, evitando o ciclo programação, compilação, teste, edição;
- Possibilidade de execução em computadores com praticamente quaisquer sistemas operacionais em uso;
- Possibilidade de programação com a utilização de *threads*, por meio de uma biblioteca externa (BARBU, 2009), que contribuíram para o desempenho adequado.

Para registro dos dados da simulação empregou-se a ferramenta MySQL

versão 5.5.15 (ORACLE, 2007).

6.4 Código fonte do software empregado.

Para maior transparência do trabalho realizado, possibilidade de repetição das simulações realizadas e para que sirva como guia para interessados em futuras implementações, os códigos fontes dos cinco módulos utilizados encontram-se disponíveis para *download* no endereço Internet :

<http://www.abili.com.br/kademlia/kademlia.zip>.

6.5 Pontos não abordados na solução proposta

Não se consideraram na pesquisa as questões indicadas a seguir. Embora todas elas sejam relevantes para uma implementação bem sucedida de um serviço EPCDS, delimitou-se o escopo da pesquisa ao problema apresentado. É importante ressaltar, contudo, que nenhum destes pontos afeta a eficácia da solução proposta.

- **Identificação e autorização:** não se consideraram requisitos de identificação e autorização de usuários;
- **Adequação do vocabulário de dados:** a compatibilidade com o padrão EPCglobal deverá ser respeitada; na simulação realizada empregaram-se estruturas de dados simplificadas;
- **Adequação da interface com outros nós e sistemas:** a compatibilidade com o padrão EPCglobal deverá ser respeitada; na simulação realizada empregaram-se interfaces IP simples, por meio de datagramas UDP;
- **Adequação dos protocolos de comunicação:** os protocolos de comunicação também necessitam conformidade com o EPCglobal; particularmente, o uso de *web services* necessita ser implementado.

7 RESULTADOS E CONCLUSÕES

7.1 Resultados obtidos

Segue uma análise dos resultados obtidos, tanto do ponto de vista do atendimento a requisitos não funcionais quanto a funcionais.

7.1.1 Requisitos não funcionais

Verifica-se a obtenção dos seguintes resultados, com relação aos requisitos fundamentais apresentados por Evdomimov (2010):

1) Suporte a esquemas de identificação de códigos flexíveis: previsto para a criação futura de esquemas de codificação diversos.

A utilização da função SHA-1 para a geração de chaves de identificação permite o emprego de chaves de quaisquer tamanhos.

2) Permissão de publicação: um provedor de informações deve poder fornecer ao EPCDS informações sobre os EPCs para os quais esteja autorizado a fazê-lo, incluindo endereços de EPCIS.

Este requisito não foi considerado nesta pesquisa. Sua implementação é possível e não invalida os resultados obtidos.

3) Publicação múltipla: diversos participantes independentes da cadeia (porém autorizados), devem ser capazes de fornecer dados.

Quanto à autorização, este requisito não foi considerado nesta pesquisa. Sua possível implementação não invalida os resultados obtidos. Na solução proposta qualquer nó pode fornecer dados.

4) Consulta a EPC: após consulta sobre determinado EPC, o serviço deve fornecer, a clientes autorizados, uma lista com os EPCIS contendo dados relativos ao código consultado.

Quanto à autorização, este requisito não foi considerado nesta pesquisa. A solução proposta entrega a lista dos EPCIS solicitados.

5) Atualização: participantes da cadeia autorizados devem poder atualizar informações previamente gravadas no serviço.

Este requisito leva à republicação de mensagens, possível (e desejável) nas

redes Kademlia.

6) Cancelamento: participantes da cadeia autorizados devem poder cancelar informações previamente gravadas no serviço. Documentos gravados devem possuir indicação de tempo de validade (*time-to-live* - TTL), com o objetivo de automatizar o trabalho de deleção e reduzir o espaço de armazenamento.

Não se consideraram as questões de tempo de validade nesta pesquisa. Sua implantação, embora simples, deve ser cuidadosa devido aos requisitos legais para a manutenção destas informações.

7) Endereços em nível de referência: se o EPC estiver estruturado como número de referência do item e número de série, o serviço deve ser capaz de aceitar consultas contendo apenas a informação de referência do item.

Este requisito não é atendido na solução proposta. Sua implementação é possível, mas levaria a uma dupla rede, contendo adicionalmente somente os códigos de referência do item. O custo benefício deste requisito é discutível.

8) Endereços contendo número de série: se o EPC estiver estruturado como número de referência do item e número de série, o serviço deve ser capaz de aceitar consultas contendo a informação total, incluindo o número de referência do item e seu número de série.

A solução proposta atende a este requisito.

Desta maneira, verifica-se que com exceção de um (sétimo requisito), atendem-se a todos os requisitos em maior ou menor grau. Nos demais requisitos, onde verificam-se atendimentos parciais, a adoção de critérios de segurança possibilita o atendimento total. Novamente, é importante observar que a eficácia da solução não é afetada por estas questões.

Com relação ao sexto requisito que impõe um limite de tempo para validade das informações armazenadas, vale ressaltar que embora de fácil implementação, o atendimento a este requisito tem implicações que podem afetar as exigências legais sobre a manutenção de informações sobre a rastreabilidade das cadeias produtivas.

7.1.2 Requisitos funcionais

Por meio do software descrito no Capítulo 6, efetuou-se uma simulação de

rede P2P, com a proposta do autor. Utilizaram-se os seguintes parâmetros:

Tabela 7 – Parâmetros da simulação

Característica	Valor
Número de nós	64
Número de <i>bits</i> das chaves	16
k	4
α	1
Números de EPCs alimentados	483
Média de EPCs registrados por nó	3
Resultados obtidos	403

Observe-se que o número de 16 *bits* por chave, embora inferior ao usual (160 *bits*) em nada interfere na eficácia da solução permitindo, porém, um emulador de nó de menor tamanho. Valem as mesmas observações para o parâmetro k . O valor reduzido de α afeta somente o desempenho da simulação e não a eficácia da proposta.

Obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 8 – Resultados obtidos

Métrica	Valor
Eficácia (retorno de todos os nós existentes)	100%
Tempo máximo de resposta	10,0910 s
Tempo mínimo de resposta	0,1002 s
Tempo médio de resposta	1,1730 s
Números de EPCs alimentados	483
Média de EPCs registrados por nó	3
Buscas positivas obtidas	403

Apresentam-se os resultados das medições individuais nos Anexo A e B deste trabalho.

7.2 Conclusões

Verifica-se que a proposta apresentada corresponde ao objetivo de

proporcionar uma arquitetura básica de rede P2P, capaz de dar suporte a um serviço EPCDS.

A futura definição do modelo a ser adotado pelo GS1 para os serviços de busca de códigos EPC dentro da arquitetura EPCglobal será de grande importância para a adoção desta arquitetura de referência, pois as funcionalidades a serem agregadas por este serviço serão significativas.

Espera-se que este estudo possa contribuir para a análise do modelo a ser definido como padrão para a arquitetura.

7.3 Sugestões para pesquisas futuras

Os aspectos apresentados a seguir podem contribuir para um maior aprofundamento da proposta apresentada.

- O estudo do impacto na eficácia da solução com o possível reenvio de mensagens em caso de falhas.
- O efeito do armazenamento de diversas rotas para um mesmo nó.
- Os efeitos de uma eventual substituição do protocolo UDP pelo TCP/IP; trata-se de uma questão envolvendo maior robustez da solução contra menor desempenho.
- Os efeitos causados pela retirada de nós da rede durante a simulação.
- O estudo de limites de tempo para armazenamento de informações (TTL), considerando-se tanto aspectos legais como questões ligadas ao volume de dados armazenados.
- O estudo do efeito da implementação dos aspectos não abordados na pesquisa, descritos no item 6.5.
- O efeito da realização desta simulação por meio de uma ferramenta de simulação computacional tradicional.

REFERÊNCIAS

- ABU-AMARA, M. et al. Dynamic peer-to-peer (P2P) solution to counter malicious higher Domain Name System (DNS) nameservers. In: Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011 24th Canadian, 2011, **Anais...** IEEE, 2011. p. 001014–001018.
- ACCENTURE. **Pilot RFID/EPC Brasil: A Cadeia de Suprimento do Futuro**. 2005. Disponível em: <http://www.pg.com/pt_BR/downloads/pdf/revista_RFID_23-08-05.pdf>. Acesso em: 20 Set 2012.
- AIELLO, L. M. et al. Tempering Kademlia with a Robust Identity Based System. In: P2P '08. Eighth International Conference on Peer-to-Peer Computing, 2008., 2008, **Anais...** 2008. p. 30-39.
- ANDROUTSELLIS-THEOTOKIS, S. **A survey of peer-to-peer file sharing technologies**. Athens: 2002. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.12.8524>>. Acesso em: 03 Nov 2012.
- ASHTON, K. That 'Internet of Things' Thing. **RFiD Journal**, v. 22, p. 97-114, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 22000: Sistemas de gestão da segurança de alimentos - Requisitos para qualquer organização na cadeia produtiva de alimentos**. Rio de Janeiro, 2006, 35 p.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- BAKER, M.; BUYYA, R.; LAFORENZA, D. Grids and Grid technologies for wide-area distributed computing. **Software: Practice and Experience Softw: Pract. Exper.**, v. 32, n. 15, p. 1437-1466, 2002.
- BARBU, T. **Multithreading in PHP**. 2009. Disponível em: <<http://blog.motane.lu/2009/01/02/multithreading-in-php/>>. Acesso em: 10 Jan. 2013.
- BARCHETTI, U. et al. Implementation and testing of an EPCglobal-aware Discovery Service for item-level traceability. In: Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT '09. International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009, **Anais...** 2009. p. 1-8.
- BERNARD, A. et al. The Belgian PCB/Dioxin Incident: Analysis of the Food Chain Contamination and Health Risk Evaluation. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 1-18, 2002.

- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos** Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos. Porto Alegre: Bookman, 2006, 528 p.
- BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Define as condições para a concessão de indicações geográficas no Brasil. **Resolução INPI nº 075/2000**. 28 de Novembro de 2000.
- BRASIL. **Portaria Nº 368 de 04 de Setembro de 1997**, 1997. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- . **Lei 12.097 de 24 de Novembro de 2009**, 2009. Diário Oficial da União. 25 de Novembro de 2009.
- BROCK, D. **The Compact Electronic Product Code A 64-bit Representation of the Electronic Product Code**. Boston: 2001. Disponível em: <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/MIT-AUTOID-WH-008.pdf>>. Acesso em: 12 Jul. 2012.
- BROCK, D.; CUMMINS, C. **EPC™ Tag Specification**. Boston: 2003. Disponível em: <<http://forum.autoidlabs.org/uploads/media/MIT-AUTOID-WH025.pdf>>. Acesso em: 29 Mai. 2012.
- BUREAU INTERNATIONAL DE POIDS ET MESURES. **International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM)**. 2008. Disponível em: <http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf>. Acesso em: 13 Jun. 2012.
- CAI, M. et al. MAAN: a multi-attribute addressable network for grid information services. In: Grid Computing, 2003. Anais. Fourth International Workshop on Grid Computing, 2003. Anais. Fourth International Workshop on, 2003, **Anais...** 2003. p. 184-191.
- CANTERO, J. J. et al. Traceability applications based on discovery services. In: Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008. IEEE International Conference on, 2008, **Anais...** IEEE, 2008. p. 1332-1337.
- CASPIAN. **Boycott Benetton - No RFID tracking chips in clothing**. 2012a. Disponível em: <<http://www.boycottbenetton.com>>. Acesso em: 12 Set 2012.
- . **Consumers Against Supermarket Privacy Invasion and Numbering**. 2012b. Disponível em: <<http://www.nocards.org>>. Acesso em: 12 Set 2012.
- CHOPRA, D. et al. Peer-to-peer overlays for real-time communication: security issues and solutions. **Communications Surveys & Tutorials, IEEE**, v. 11, n.

- 1, p. 4–12, 2009.
- CREEDON, E. et al. **Gnutella**. 2003. Disponível em: <<http://ntrg.cs.tcd.ie/undergrad/4ba2.02-03/p5.html>>. Acesso em: 03 Nov. 2012.
- CROSSE, S. et al. **Napster**. 2003. Disponível em: <<http://ntrg.cs.tcd.ie/undergrad/4ba2.02-03/p4.html>>. Acesso em: 03 Nov. 2013.
- DALFOVO, O.; HOSTINS, C. A. Delineamento para aplicação do RFID na logística de supermercado como inteligência competitiva: supermercado Hostins. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v. 4, n. 1, p. 23-48, 2010.
- DAUGHERTY, P. J.; PITTMAN, P. H. Utilization of time-based strategies: creating distribution flexibility/responsiveness. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 2, p. 54–60, 1995.
- DIMARA, E.; SKURAS, D. Consumer Evaluations of Product Certification, Geographic Association and Traceability in Greece. **European Journal of Marketing**, Bingley, v. 37, n. 5/6, p. 690-705, 2003.
- DOUCEUR, J. The Sybil Attack/n: Druschel, P.; Kaashoek, F.; Rowstron, A. (eds.), **2429**. Springer Berlin Heidelberg, 2002.
- EPCGLOBAL INC. **EPC Information Services (EPCIS) Version 1.0.1 Specification**. 2007. Disponível em: <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/epcis/epcis_1_0_1-standard-20070921.pdf>. Acesso em: 01 Mai. 2012.
- ERL, T. **Service-Oriented Architecture**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2004.
- EVDOKIMOV, S. et al. Comparison of discovery service architectures for the internet of things. In: Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC), 2010 IEEE International Conference on, 2010, **Anais... IEEE**, 2010. p. 237-244.
- FABIAN, B. Implementing Secure P2P-ONS. In: ICEEE International Conference on Communications, 2009, **Anais... IEEE Computer Society**, 2009. p. 1-5.
- FABIAN, B.; GUNTHER, O. Distributed ONS and its Impact on Privacy. In: Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on, 2007, **Anais... IEEE**, 2007. p. 1223-1228.
- FABIAN, B.; GÜNTHER, O. Security challenges of the EPCglobal Network. **Communications of the ACM**, v. 52, n. 7, p. 121–125, 2009.
- FABIAN, B.; GÜNTHER, O.; SPIEKERMANN, S. **Security Analysis of the Object Name Service**. 2010. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/>>

summary?doi=10.1.1.152.7711>. Acesso em: 01 Mai. 2012.

GAO, J. Z.; PRAKASH, L.; JAGATESAN, R. Understanding 2D-BarCode Technology and Applications in M-Commerce - Design and Implementation of A 2D Barcode Processing Solution. In: Computer Software and Applications Conference, 2007. COMPSAC 2007. 31st Annual International Computer Software and Applications Conference, 2007. COMPSAC 2007. 31st Annual International, 2007, **Anais...** 2007. p. 49-56.

GLOBAL COMMERCE INITIATIVE. **EPC: A Shared Vision for Transforming Business Processes**. 2005. Disponível em: <<http://www-935.ibm.com/services/uk/igs/pdf/epc-a-shared-vision.pdf>>. Acesso em: 13 Jul. 2012.

GOLAN, E. et al. **Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies**. Washington: United States Department of Agriculture, 2004. 48 p.

GOMES DE CASTRO, A. M.; LIMA, S. M. V.; CRISTO, C. M. P. N. Cadeia Produtiva: Marco Conceitual para Apoiar a Prospeccão Tecnológica. In: XXII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: 2002. p. 14.

GROVER, A.; BERGHEL, H. A Survey of RFID Deployment and Security Issues. **Journal of Information Processing Systems**, v. 7, n. 4, p. 561-580, 2011.

GS1. **The EPCglobal Architecture Framework Version 1.4**. Brussels: 2010a. Disponível em: <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/architecture/architecture_1_4-framework-20101215.pdf>. Acesso em: 29 Mai. 2012.

———. **The Value and Benefits of the GS1 System of Standards**. Bruxelas: 2012. Disponível em: <http://www.gs1.org/docs/GS1_System_of_Standards.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2012.

———. **GS1 EPC Tag Data Standard 1.6**. Brussels: 2011. Disponível em: <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/tds/tds_1_6-RatifiedStd-20110922.pdf>. Acesso em: 29 Mai. 2012.

———. **GS1 General Specifications V13**. 2013. Disponível em: <http://www.gs1us.org/DesktopModules/DNNCorp/DocumentLibrary/Components/FileDownloader/FileDownloaderPage.aspx?tabid=111&did=1180&pid=0&lrf=/DesktopModules/DNNCorp/DocumentLibrary/App_LocalResources/DocumentLi

brary&cl=en-

US&mcs=%2fDesktopModules%2fDNNCorp%2fDocumentLibrary%2f&uarn=Administrators&cd=false&tmid=115&ift=1>. Acesso em: 13 Fev. 2013.

GS1 BRASIL. **Código de Barras**. São Paulo: 2012. Disponível em: <<http://www.gs1br.org/main.jsp?lumChannelId=402881762BA79A24012BAAB369F20C5D>>. Acesso em: 01 Dez. 2012.

GS1. **EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz Version 1.2.0**. 2008a. Disponível em: <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/uhfc1g2/uhfc1g2_1_2_0-standard-20080511.pdf>. Acesso em: 23 Out. 2008.

———. **EPCglobal Object Name Service (ONS) 1.0.1**. Brussels: 2008b. Disponível em: <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/ons/ons_1_0_1-standard-20080529.pdf>. Acesso em: 29 Mai. 2012.

———. **GS1 Standards Document GS1 Global Traceability Standard**. 2010b. Disponível em: <http://www.gs1.org/sites/default/files/docs/gsmp/traceability/Global_Traceability_Standard.pdf>. Acesso em: 13 Jun. 2012.

URDANETA, G.; PIERRE, G.; STEEN, M. V. A survey of DHT security techniques. **ACM Comput. Surv.**, v. 43, n. 2, p. 1-49, 2011.

GIESBRECHT, H. O. **Indicações Geográficas Brasileiras** Indicações Geográficas Brasileiras. Brasília: INPI, SEBRAE., 2011, 164 p.

IDTECHEX. **RFID Market Reaches \$7.67 Billion in 2012 - up 17% from 2011**. 2012. Disponível em: <<http://www.idtechex.com/research/articles/rfid-market-reaches-7-67-billion-in-2012-up-17-from-2011-00004585.asp>>. Acesso em: 12 Set 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9000:2005. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary**. 2005, 30 p.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. **HTTP Over TLS**. 2000. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc2818>>. Acesso em: 15 Jan. 2007.

———. **RFC 3174 - US Secure Hash Algorithm 1 (SHA1)**. 2001. Disponível em: <<http://www.apps.ietf.org/rfc/rfc3174.html>>. Acesso em: 15 Jul. 2009.

———. **MIME-Based Secure Peer-to-Peer Business Data Interchange Using HTTP, Applicability Statement 2 (AS2)**. 2005. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc4130>>. Acesso em: 10 Jan. 2013.

———. **The Internet Engineering Task Force**. 2013. Disponível em:

<<http://www.ietf.org>>. Acesso em: 16 Mar. 2013.

- STOICA, I. et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, v. 31, n. 4, p. 149-160, 2001.
- JAKKHUPAN, W.; ARCHINT, S.; Y., L. I. Business process analysis and simulation for the RFID and EPCglobal Network enabled supply chain: A proof-of-concept approach. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 34, n. 3, p. 949-957, 2011.
- KOHNEN, M.; GERBECKS, J.; RATHGEB, E. P. Applying Certificate-Based Routing to a Kademlia-Based Distributed Hash Table. In: AP2PS 2011, The Third International Conference on Advances in P2P Systems, 2011, **Anais...** 2011. p. 85–89.
- KÜRSCHNER, C. et al. Discovery Service Design in the EPCglobal Network The Internet of Things. In: Floerkemeier, C.; Langheinrich, M.; Fleisch, E.; Mattern, F.; Sarma, S. (eds.), **4952**. Springer Berlin / Heidelberg, 2008.
- KYWE, S. M. et al. Evaluation of Different Electronic Product Code Discovery Service Models. **Advances in Internet of Things**, v. 2, n. 2, p. 37 - 46, 2012.
- LANDT, J. The history of RFID. **Potentials, IEEE Potentials, IEEE**, v. Potentials, IEEE, n. 4, p. 8-11, 2005.
- LATOUCHE, K.; RAINELLI, P.; VERMERSCH, D. Food Safety Issues and the BSE Scare: Some Lessons from the French Case. **Food Policy**, Amsterdam, v. 23, n. 5, p. 347-356, 1998.
- LIU, Y.; WANG, D.; HU, Y. A scheme of integrating DNS into P2P service network. In: 2011 4th IEEE International Conference on roadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT), 2011, **Anais...** IEEE, 2011. p. 8–11.
- LORENZ, M. et al. A Distributed EPC Discovery Service based on Peer-to-peer Technology. **RFID SysTech 2011: 7th European Workshop on Smart Objects: Systems, Technologies and Applications**, p. 1-7, 2011.
- LUA, E. K. et al. A survey and comparison of peer-to-peer overlay network schemes. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 7, n. 2, p. 72–93, 2005.
- MACCARI, L. et al. Avoiding eclipse attacks on Kad/Kademlia: an identity based approach. In: ICC 2009 Communication and Information Systems Security Symposium, 2009, Dresden. **Anais...** Dresden: 2009.
- MACHADO, R. T. M. **Rastreabilidade, Teoria da Informação e Coordenação de**

- Sistemas Agroindustriais**. 2000. 224 p. Tese (doutorado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. São Paulo, 2000.
- MAYMOUNKOV, P.; MAZIÈRES, D. Kademlia: A Peer-to-Peer Information System Based on the XOR Metric
- Peer-to-Peer Systems/*In*: Druschel, P.; Kaashoek, F.; Rowstron, A. (eds.), **Lecture Notes in Computer Science 2429**. Springer Berlin / Heidelberg, 2002b.
- MCFARLANE, D.; SHEFFI, Y. The Impact of Automatic Identification on Supply Chain Operations. **International Journal of Logistics Management**, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2003.
- MERCOSUL. **Resolução MERCOSUL GMC, Nº 80/96**, 1996.
- MULLER, J. et al. An Aggregating Discovery Service for the EPCglobal Network. In: 43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2010, **Anais...** 2010. p. 1-9.
- NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL. **Disruptive Civil Technologies**. 2008. Disponível em: <http://www.dni.gov/files/documents/2008%20Conference%20Report_Disruptive%20Civil%20Technologies.pdf>. Acesso em: 12 Set 2012.
- ORACLE. **MySQL AB :: The world's most popular open source database**. Uppsala: 2007. Site Internet oficial do MySQL, popular sistema gerenciador de banco de dados. Disponível em: <<http://www.mysql.com>>. Acesso em: 01 Ago. 2007.
- PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA. **Regulamento (CE) Nº 178/2002**, 2002. Determina os princípios e normas gerais da legislação alimentar, cria a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos e estabelece procedimentos em matéria de segurança dos gêneros alimentícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. 1 de Fevereiro de 2002.
- ROBERTS, C. M. Radio frequency identification (RFID). **Computers & Security**, v. 25, n. 1, p. 18-26, 2006.
- RODUNER, C.; FLOERKEMEIER, C. **Fosstrak - Open Source RFID Platform**. 2012. Disponível em: <<http://code.google.com/p/fosstrak/>>. Acesso em: 13 Jul. 2012.
- ROWSTRON, A.; DRUSCHEL, P. Pastry: Scalable, Decentralized Object Location, and Routing for Large-Scale Peer-to-Peer Systems Middleware.*In*: Guerraoui, R. (ed.), **Peer-to-Peer Systems Middleware**, 2218. Springer Berlin / Heidelberg, 2001.

- SEIDEMAN, T. **Barcodes Sweep the World**. 2011. Disponível em: <http://www.barcoding.com/information/barcode_history.shtml>. Acesso em: 13 Fev. 2013.
- SHRESTHA, S. et al. A peer-to-peer RFID resolution framework for supply chain network. In: Second International Conference on Future Networks, 2010. ICFN'10., 2010, **Anais...** IEEE, 2010. p. 318–322.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de Suprimentos: Projeto e Gestão** Cadeia de Suprimentos: Projeto e Gestão. Porto Alegre: Bookman, 2003, 584 p.
- SMIERS, L.; GRIFFIOEN, W. **Oracle EPCIS and Discovery Service - First Implementation Experiences**. 2006. Disponível em: <http://www.capgemini.com/m/en/tl/tl_Oracle_EPCIS_and_Discovery_Service_-_First_Implementation_Experiences.pdf>. Acesso em: 13 Jul. 2012.
- SPORI, B. **Implementation of the Kademlia Distributed Hash Table**. 2006. Semester thesis - Zurich,
- SPYCHIPS. **How RFID will compromise privacy, security, freedom**. 2012. Disponível em: <<http://www.spychips.com>>. Acesso em: 12 Set 2012.
- STOICA, I. et al. Chord: a scalable peer-to-peer lookup protocol for Internet applications. **Networking, IEEE/ACM Transactions on Networking, IEEE/ACM Transactions on**, v. Networking, IEEE/ACM Transactions on, n. 1, p. 17-32, 2003.
- THAKUR, M. et al. Managing food traceability information using EPCIS framework. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 4, p. 417-433, 2011.
- THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Regulation (EC) N° 178/2002 of The European Parliament and of The Council**, 2002. Laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. Official Journal of the European Communities. 2002.
- THE PHP GROUP. **PHP: Hypertext Preprocessor**. 2007. Site oficial da linguagem PHP e sua especificação, mantido pelo The PHP Group. Disponível em: <<http://www.php.net>>. Acesso em: 01 Ago. 2007.
- THE XLATTICE PROJECT. **Kademlia - A Design Implementation**. 2010. Disponível em: <<http://xlattice.sourceforge.net/components/protocol/kademlia/>>

- specs.html>. Acesso em: 02 Jan 2013.
- THIESSE, F. et al. Technology, Standards, and Real-World Deployments of the EPC Network. **Internet Computing, IEEE Internet Computing, IEEE**, v. Internet Computing, IEEE, n. 2, p. 36-43, 2009.
- THIESSE, F.; MICHAHELLES, F. An overview of EPC technology. **Sensor Review**, v. 26, n. 2, p. 101-105, 2006.
- TROCCHIA, P. J.; AINSCOUGH, T. L. Consumer Attitudes Toward RFID Tracking In The Retail Environment. **Review of Business Information Systems (RBIS)**, v. 16, n. 2, p. 67–72, 2012.
- WEBER, R. H. Internet of Things – New security and privacy challenges. **Computer Law & Security Review**, v. 26, n. 1, p. 23-30, 2010.
- WHITE, G. et al. A comparison of barcoding and RFID technologies in practice. **Journal of Information, Information Technology and Organizations**, v. 2, p. 119-132, 2007.
- WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1**. 1999. Disponível em: <<http://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616.html>>. Acesso em: 01 Mar 2009.
- . **URIs, URLs, and URNs: Clarifications and Recommendations 1.0**. 2001. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/uri-clarification/>>. Acesso em: 01 Mar 2009.
- . **Extensible Markup Language (XML)**. Cambridge: 2007a. Site Internet da especificação da Extensible Markup Language (XML), mantido pelo W3C. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/>>. Acesso em: 01 Ago. 2007.
- . **SOAP Specifications**. Cambridge: 2007b. Site Internet da especificação do protocolo SOAP, mantido pelo W3C. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/soap/>>. Acesso em: 01 Ago. 2007.
- WU, H.; LIN, F.; ZHANG, H. A novel Data-Oriented Name Service for next generation internet. In: ICCTA'09. IEEE International Conference on Communications Technology and Applications, 2009., 2009, **Anais...** IEEE, 2009. p. 790–795.
- WU, Y. B. et al. RFID enabled traceability networks: a survey. **Distrib Parallel Dat**, Univ Adelaide, Adelaide, SA 5005, Australia yanbo.wu@adelaide.edu.au, v. 29, n. 5-6, p. 397-443, 2011.
- ZHAO, B. Y. et al. Tapestry: a resilient global-scale overlay for service deployment. **Selected Areas in Communications, IEEE Journal on Selected Areas in**

Communications, IEEE Journal on, v. 22, n. 1, p. 41-53, 2004.

ZHU, X.; MUKHOPADHYAY, S. K.; KURATA, H. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 29, n. 1, p. 152-167, 2012.

ANEXO A. Valores correspondentes aos EPCs gerados durante a simulação e sua distribuição pela rede

Apresentam-se no Quadro 1 a distribuição dos EPCs pela rede. As três primeiras colunas contém os dados de cada EPC. A chave de busca, o ID do EPCIS que mantém a informação e qual sua porta. As duas últimas colunas fornecem o ID do nó onde a informação foi gravada e sua porta.

Na simulação, cada EPC gerado teve informações armazenadas em três EPCIS distintos e esta informação, por sua vez, foi armazenada em três nós distintos da rede. Por exemplo, o EPC com chave 25805 aparece nas 9 primeiras linhas da tabela. Existem informações armazenadas nos EPCIS 52560 (porta 9036), 41503 (porta 9021) e 16983 (porta 9057). A existência destas informações aparecem nos nós 29845 (porta 9006), 24685 (porta 9051) e 32335 (porta 9027).

Na simulação, todos os nós possuem o mesmo IP, portanto informou-se apenas o número da porta UDP.

Quadro 1 – Valores correspondentes aos EPCs gerados durante a simulação e sua distribuição pela rede

EPC a Ser Buscado			Nó que armazena a informação	
Chave	EPCIS	Porta	ID	Porta
25805	52560	9036	29845	9006
25805	52560	9036	24685	9051
25805	52560	9036	32335	9027
25805	41503	9021	29845	9006
25805	41503	9021	24685	9051
25805	41503	9021	32335	9027
25805	16983	9057	29845	9006
25805	16983	9057	24685	9051
25805	16983	9057	32335	9027
14505	51725	9026	4483	9011
14505	51725	9026	15788	9039
14505	51725	9026	11159	9049
14505	39936	9009	7054	9005
14505	39936	9009	15788	9039
14505	39936	9009	11159	9049

14505	38345	9001	12347	9014
14505	38345	9001	14592	9045
14505	38345	9001	11860	9041
55068	38600	9047	54448	9024
55068	38600	9047	54687	9053
55068	38600	9047	55816	9032
55068	7054	9005	38718	9003
55068	7054	9005	54448	9024
55068	7054	9005	55816	9032
55068	43642	9062	54687	9053
55068	43642	9062	54749	9048
55068	43642	9062	55816	9032
60571	28854	9013	60724	9008
60571	28854	9013	59713	9030
60571	28854	9013	51725	9026
60571	4405	9061	50496	9018
60571	4405	9061	60724	9008
60571	4405	9061	51725	9026
60571	50288	9040	60724	9008
60571	50288	9040	64119	9004
60571	50288	9040	51725	9026
50635	24685	9051	64119	9004
50635	24685	9051	50496	9018
50635	24685	9051	52560	9036
50635	946	9019	64119	9004
50635	946	9019	50496	9018
50635	946	9019	52560	9036
50635	45778	9016	64119	9004
50635	45778	9016	50496	9018
50635	45778	9016	52560	9036
15524	19411	9038	12347	9014
15524	19411	9038	15788	9039
15524	19411	9038	11860	9041
15524	21114	9054	11940	9015
15524	21114	9054	15788	9039
15524	21114	9054	11860	9041
15524	7856	9025	9248	9034
15524	7856	9025	15788	9039
15524	7856	9025	11860	9041

41898	38345	9001	60724	9008
41898	38345	9001	47516	9002
41898	38345	9001	45778	9016
41898	44329	9022	47516	9002
41898	44329	9022	41614	9052
41898	44329	9022	43642	9062
41898	29845	9006	49013	9058
41898	29845	9006	41167	9028
41898	29845	9006	44329	9022
56102	17099	9043	54448	9024
56102	17099	9043	56304	9056
56102	17099	9043	54749	9048
56102	38345	9001	56304	9056
56102	38345	9001	54687	9053
56102	38345	9001	54448	9024
56102	59713	9030	60724	9008
56102	59713	9030	55816	9032
56102	59713	9030	54749	9048
23944	279	9023	32216	9010
23944	279	9023	23391	9029
23944	279	9023	17099	9043
23944	55816	9032	17987	9020
23944	55816	9032	16538	9017
23944	55816	9032	16983	9057
23944	48217	9037	4483	9011
23944	48217	9037	22315	9035
23944	48217	9037	23391	9029
53710	50496	9018	54448	9024
53710	50496	9018	54749	9048
53710	50496	9018	55816	9032
53710	54687	9053	54749	9048
53710	54687	9053	54687	9053
53710	54687	9053	55816	9032
53710	21114	9054	54749	9048
53710	21114	9054	54687	9053
53710	21114	9054	55816	9032
51511	34167	9063	50496	9018
51511	34167	9063	51725	9026
51511	34167	9063	50288	9040

51511	61592	9042	52560	9036
51511	61592	9042	49180	9060
51511	61592	9042	50288	9040
51511	14592	9045	60724	9008
51511	14592	9045	51725	9026
51511	14592	9045	50288	9040
57545	49180	9060	64119	9004
57545	49180	9060	59713	9030
57545	49180	9060	50496	9018
57545	21114	9054	64119	9004
57545	21114	9054	59713	9030
57545	21114	9054	50496	9018
57545	59713	9030	60724	9008
57545	59713	9030	59713	9030
57545	59713	9030	50288	9040
31440	4483	9011	32216	9010
31440	4483	9011	32335	9027
31440	4483	9011	24685	9051
31440	46389	9046	32216	9010
31440	46389	9046	32335	9027
31440	46389	9046	24685	9051
31440	34305	9033	28854	9013
31440	34305	9033	32335	9027
31440	34305	9033	24685	9051
37699	4405	9061	48217	9037
37699	45778	9016	38729	9012
37699	4405	9061	38600	9047
37699	45778	9016	38718	9003
37699	45778	9016	34305	9033
37699	4405	9061	39936	9009
37699	7856	9025	38718	9003
37699	7856	9025	38729	9012
37699	7856	9025	45778	9016
40617	54749	9048	39936	9009
40617	54749	9048	38718	9003
40617	54749	9048	34305	9033
40617	21114	9054	39936	9009
40617	21114	9054	38718	9003
40617	21114	9054	34305	9033

50550	17987	9020	50496	9018
50550	17987	9020	50288	9040
50550	17987	9020	51725	9026
50550	11860	9041	60724	9008
40617	49013	9058	38718	9003
40617	49013	9058	39936	9009
40617	49013	9058	34305	9033
50550	24685	9051	64119	9004
50550	24685	9051	50496	9018
50550	24685	9051	52560	9036
30468	41614	9052	29845	9006
30468	41614	9052	28854	9013
30468	41614	9052	24685	9051
30468	15788	9039	17987	9020
30468	15788	9039	29845	9006
30468	15788	9039	24685	9051
30468	54448	9024	29845	9006
30468	54448	9024	28854	9013
30468	54448	9024	24685	9051
39477	946	9019	39936	9009
39477	946	9019	38718	9003
39477	946	9019	34305	9033
39477	64119	9004	38345	9001
39477	64119	9004	39936	9009
39477	64119	9004	48217	9037
39477	60724	9008	38729	9012
39477	60724	9008	39936	9009
39477	60724	9008	38600	9047
17277	14592	9045	16538	9017
17277	14592	9045	16983	9057
17277	14592	9045	19411	9038
17277	49180	9060	16538	9017
17277	49180	9060	16983	9057
17277	49180	9060	19411	9038
17277	24685	9051	28854	9013
17277	24685	9051	16538	9017
17277	24685	9051	19411	9038
61935	34167	9063	64119	9004
61935	34167	9063	61592	9042

61935	34167	9063	54448	9024
61935	6736	9044	61592	9042
61935	6736	9044	64119	9004
61935	6736	9044	54448	9024
61935	34305	9033	54448	9024
61935	34305	9033	61592	9042
61935	34305	9033	60724	9008
8233	11940	9015	9248	9034
8233	11940	9015	11860	9041
8233	11940	9015	14592	9045
8233	22315	9035	11860	9041
8233	22315	9035	9178	9064
8233	22315	9035	14592	9045
63318	47516	9002	64119	9004
63318	47516	9002	61592	9042
63318	47516	9002	54448	9024
63318	14592	9045	60724	9008
63318	14592	9045	61592	9042
63318	14592	9045	54448	9024
59375	21114	9054	50496	9018
59375	21114	9054	60724	9008
59375	21114	9054	64119	9004
63318	34305	9033	59713	9030
63318	34305	9033	54448	9024
59375	46351	9031	41167	9028
59375	46351	9031	60724	9008
59375	46351	9031	61592	9042
59375	16538	9017	60724	9008
59375	16538	9017	59713	9030
59375	16538	9017	50496	9018
60480	41614	9052	44329	9022
60480	41614	9052	54448	9024
60480	41614	9052	61592	9042
60480	38718	9003	60724	9008
60480	38718	9003	59713	9030
60480	38718	9003	51725	9026
60480	45778	9016	50496	9018
60480	45778	9016	60724	9008
49299	946	9019	38600	9047

49299	946	9019	54687	9053
49299	946	9019	54749	9048
49299	21114	9054	38345	9001
49299	21114	9054	50496	9018
49299	21114	9054	52560	9036
49299	14592	9045	46351	9031
49299	14592	9045	50288	9040
49299	14592	9045	52560	9036
18704	29845	9006	22315	9035
18704	29845	9006	17987	9020
18704	7856	9025	16538	9017
18704	7856	9025	17987	9020
18704	946	9019	32216	9010
18704	946	9019	16538	9017
18704	946	9019	17099	9043
57840	49013	9058	60724	9008
57840	49013	9058	59713	9030
57840	49013	9058	64119	9004
57840	64119	9004	64119	9004
57840	64119	9004	59713	9030
57840	64119	9004	50496	9018
57840	43642	9062	50496	9018
57840	43642	9062	59713	9030
57840	43642	9062	64119	9004
56968	1335	9007	55816	9032
56968	1335	9007	56304	9056
56968	1335	9007	54749	9048
56968	46389	9046	54448	9024
56968	46389	9046	55816	9032
56968	46389	9046	54749	9048
56968	43642	9062	64119	9004
56968	43642	9062	54749	9048
5807	38729	9012	21114	9054
5807	38729	9012	4483	9011
5807	38729	9012	6736	9044
3477	46389	9046	11159	9049
3477	46389	9046	1413	9059
3477	46389	9046	946	9019
3477	51725	9026	1413	9059

3477	51725	9026	2590	9050
3477	51725	9026	946	9019
48513	55816	9032	45778	9016
48513	55816	9032	46351	9031
48513	41614	9052	47516	9002
48513	41614	9052	48217	9037
48513	41614	9052	45778	9016
48513	34305	9033	45778	9016
48513	34305	9033	48217	9037
48188	29845	9006	48217	9037
48188	29845	9006	49013	9058
48513	34305	9033	46351	9031
48188	29845	9006	46351	9031
48188	41167	9028	48217	9037
48188	41167	9028	49013	9058
48188	41167	9028	46351	9031
48188	51725	9026	47516	9002
48188	51725	9026	48217	9037
48188	51725	9026	45778	9016
34315	46389	9046	38600	9047
34315	46389	9046	33862	9055
34315	46389	9046	34167	9063
34315	46389	9046	38718	9003
34315	46389	9046	34305	9033
34315	46389	9046	38729	9012
34315	56304	9056	38718	9003
34315	56304	9056	34305	9033
34315	56304	9056	38729	9012
61654	17099	9043	50288	9040
61654	17099	9043	61592	9042
61654	17099	9043	60724	9008
61654	6736	9044	64119	9004
61654	6736	9044	61592	9042
61654	6736	9044	54448	9024
61654	41503	9021	54448	9024
61654	41503	9021	61592	9042
61654	41503	9021	60724	9008
24032	54687	9053	1413	9059
24032	54687	9053	22315	9035

24032	54687	9053	17099	9043
24032	7054	9005	17987	9020
24032	7054	9005	21114	9054
23959	55816	9032	17987	9020
23959	55816	9032	21114	9054
23959	21114	9054	29845	9006
23959	21114	9054	22315	9035
23959	21114	9054	17099	9043
43291	946	9019	48217	9037
43291	946	9019	44329	9022
43291	946	9019	41614	9052
43291	17987	9020	43642	9062
43291	17987	9020	44329	9022
43291	17987	9020	41614	9052
43291	64119	9004	43642	9062
43291	64119	9004	44329	9022
43291	64119	9004	41614	9052
13704	1335	9007	11940	9015
13704	1335	9007	9248	9034
54574	41614	9052	54448	9024
54574	41614	9052	54687	9053
54574	41614	9052	55816	9032
23959	19411	9038	23391	9029
23959	19411	9038	17987	9020
23959	19411	9038	16983	9057
54574	4483	9011	50288	9040
13704	1335	9007	32216	9010
54574	4483	9011	54687	9053
13704	1335	9007	7054	9005
54574	4483	9011	55816	9032
54574	17987	9020	54687	9053
24032	28854	9013	23391	9029
24032	28854	9013	16983	9057
54574	17987	9020	55816	9032
28451	64119	9004	29845	9006
28451	64119	9004	24685	9051
45702	56304	9056	47516	9002
45702	56304	9056	45778	9016
28451	12347	9014	22315	9035

45702	56304	9056	49013	9058
28451	64119	9004	28854	9013
28451	12347	9014	24685	9051
28451	12347	9014	32216	9010
45702	60724	9008	38729	9012
45702	60724	9008	45778	9016
45702	60724	9008	49013	9058
6332	12347	9014	7054	9005
6332	12347	9014	2590	9050
6332	19411	9038	4483	9011
6332	19411	9038	4405	9061
6332	54448	9024	946	9019
6332	54448	9024	4405	9061
55511	16538	9017	55816	9032
55511	16538	9017	56304	9056
55511	16538	9017	54687	9053
55511	41503	9021	60724	9008
55511	41503	9021	55816	9032
55511	41503	9021	54687	9053
55511	1335	9007	55816	9032
55511	1335	9007	56304	9056
55511	1335	9007	54687	9053
46118	4483	9011	45778	9016
46118	4483	9011	46389	9046
46118	4483	9011	47516	9002
46118	22315	9035	46389	9046
46118	22315	9035	46351	9031
46118	22315	9035	47516	9002
23174	16983	9057	23391	9029
23174	16983	9057	17099	9043
23174	16983	9057	17987	9020
38081	54448	9024	38718	9003
38081	54448	9024	38345	9001
38081	54448	9024	46351	9031
38081	22315	9035	38729	9012
38081	22315	9035	38345	9001
38081	22315	9035	38600	9047
38081	54749	9048	38345	9001
38081	54749	9048	38600	9047

38081	54749	9048	39936	9009
55363	946	9019	50288	9040
55363	946	9019	55816	9032
55363	946	9019	56304	9056
55363	41167	9028	54448	9024
55363	41167	9028	55816	9032
55363	41167	9028	54687	9053
55363	50496	9018	48217	9037
55363	50496	9018	54687	9053
55363	50496	9018	54749	9048
24318	52560	9036	17099	9043
24318	52560	9036	23391	9029
54163	29845	9006	54687	9053
54163	29845	9006	54749	9048
54163	29845	9006	55816	9032
24318	946	9019	29845	9006
24318	946	9019	22315	9035
24318	946	9019	16983	9057
54163	39936	9009	54448	9024
54163	39936	9009	54687	9053
54163	39936	9009	55816	9032
54163	17987	9020	50496	9018
54163	17987	9020	54687	9053
54163	17987	9020	56304	9056
36771	21114	9054	38729	9012
36771	21114	9054	34305	9033
36771	21114	9054	38718	9003
36771	38345	9001	44329	9022
36771	38345	9001	39936	9009
36771	38345	9001	33862	9055
36771	54687	9053	38718	9003
36771	54687	9053	34305	9033
36771	54687	9053	39936	9009
2097	12347	9014	11159	9049
2097	12347	9014	946	9019
2097	64119	9004	2590	9050
2097	64119	9004	279	9023
2097	64119	9004	1413	9059
2097	1413	9059	11159	9049

2097	1413	9059	946	9019
24842	14592	9045	28854	9013
24842	14592	9045	24685	9051
24842	14592	9045	32335	9027
24842	38718	9003	28854	9013
24842	38718	9003	24685	9051
24842	38718	9003	32335	9027
4512	41614	9052	4483	9011
4512	52560	9036	4483	9011
4512	52560	9036	4405	9061
4512	52560	9036	7856	9025
4512	41614	9052	7856	9025
32929	51725	9026	48217	9037
32929	51725	9026	38345	9001
32929	51725	9026	34305	9033
32929	38729	9012	49013	9058
32929	38729	9012	38345	9001
32929	38729	9012	38600	9047
18904	17099	9043	32216	9010
18904	17099	9043	16538	9017
18904	17099	9043	17099	9043
18904	23391	9029	17099	9043
18904	23391	9029	17987	9020
18904	1413	9059	17987	9020
18904	1413	9059	16538	9017
38123	4405	9061	48217	9037
38123	4405	9061	38345	9001
38123	4405	9061	33862	9055
18904	1413	9059	23391	9029
38123	11159	9049	38345	9001
38123	11159	9049	38600	9047
38123	11159	9049	39936	9009
38123	9248	9034	47516	9002
38123	9248	9034	38345	9001
38123	9248	9034	39936	9009
26857	59713	9030	17099	9043
26857	59713	9030	24685	9051
26857	59713	9030	32216	9010
26857	28854	9013	32216	9010

26857	28854	9013	24685	9051
26857	28854	9013	29845	9006
50487	59713	9030	54448	9024
50487	59713	9030	50496	9018
50487	59713	9030	49180	9060
37304	34305	9033	38718	9003
37304	34305	9033	38345	9001
37304	34305	9033	34167	9063
50487	60724	9008	60724	9008
50487	60724	9008	52560	9036
37304	61592	9042	38718	9003
37304	61592	9042	34167	9063
47039	59713	9030	46389	9046
47039	59713	9030	46351	9031
47039	59713	9030	47516	9002
47039	46351	9031	38718	9003
47039	46351	9031	45778	9016
47039	46351	9031	48217	9037
47039	45778	9016	46351	9031
47039	45778	9016	46389	9046
47039	45778	9016	48217	9037
46233	9178	9064	47516	9002
46233	9178	9064	46351	9031
46233	9178	9064	49013	9058
46233	48217	9037	54448	9024
46233	48217	9037	47516	9002
46233	48217	9037	48217	9037
30204	7054	9005	28854	9013
30204	7054	9005	29845	9006
30204	7054	9005	24685	9051
30204	41503	9021	29845	9006
30204	41503	9021	28854	9013
30204	41503	9021	24685	9051
41673	1335	9007	41614	9052
41673	1335	9007	44329	9022
1618	11159	9049	11860	9041
1618	11159	9049	2590	9050
1618	28854	9013	1413	9059
1618	28854	9013	2590	9050

ANEXO B. Resultados das buscas efetuadas durante a simulação.

Apresentam-se no Quadro 2 os tempos de busca obtidos durante a simulação para cada EPC (primeira coluna). Os dados sobre os EPCIS resultantes e o tempo de busca encontram-se nas colunas 2 a 4.

Quadro 2 – Resultados das buscas efetuadas durante a simulação

EPC	Endereço do EPCIS		
	ID	Porta	Resposta (s)
13704	1335	9007	3.5331
13704	1335	9007	3.7340
14505	39936	9009	0.1014
14505	39936	9009	1.9196
14505	39936	9009	0.1012
14505	39936	9009	0.7064
14505	51725	9026	0.1014
14505	51725	9026	1.9196
14505	51725	9026	0.1012
15524	19411	9038	0.1005
15524	19411	9038	2.5223
15524	19411	9038	0.1014
15524	19411	9038	0.1013
15524	21114	9054	0.1005
15524	21114	9054	2.5223
15524	21114	9054	0.1014
15524	21114	9054	0.1013
15524	7856	9025	0.1014
15524	7856	9025	0.1013
15524	7856	9025	0.1005
15524	7856	9025	2.5223
1618	11159	9049	0.2015
1618	28854	9013	1.7161
1618	28854	9013	1.8166
1618	28854	9013	0.1013
1618	28854	9013	0.2015
17277	14592	9045	1.9164

17277	14592	9045	1.8155
17277	24685	9051	1.8155
17277	24685	9051	1.9164
17277	24685	9051	0.1005
17277	49180	9060	1.9164
17277	49180	9060	1.8155
18704	29845	9006	0.1007
18704	7856	9025	0.1010
18704	946	9019	0.1006
18704	946	9019	0.1010
18904	1413	9059	0.1013
18904	1413	9059	0.1013
18904	17099	9043	0.2016
18904	23391	9029	0.1013
18904	23391	9029	0.1013
18904	23391	9029	0.2016
2097	64119	9004	0.1011
23174	16983	9057	0.1012
23174	16983	9057	0.3027
23174	16983	9057	0.1012
23174	16983	9057	0.1008
23944	279	9023	0.1004
23944	48217	9037	0.1013
23944	48217	9037	0.1007
23944	48217	9037	0.1004
23944	48217	9037	0.1006
23944	55816	9032	0.1005
23959	19411	9038	1.8211
23959	19411	9038	0.1009
23959	21114	9054	0.1011
23959	55816	9032	1.8211
24032	28854	9013	0.1013
24032	28854	9013	0.5029
24032	28854	9013	0.5042
24032	54687	9053	0.1013
24318	52560	9036	0.4035
24318	946	9019	0.4032
24318	946	9019	0.1013

24842	14592	9045	0.3030
24842	14592	9045	0.1013
24842	14592	9045	0.1015
24842	14592	9045	0.1005
24842	14592	9045	0.1011
24842	38718	9003	0.1015
24842	38718	9003	0.1013
24842	38718	9003	0.3030
24842	38718	9003	0.1011
24842	38718	9003	0.1005
25805	16983	9057	0.2008
25805	16983	9057	0.1008
25805	41503	9021	0.2008
25805	41503	9021	0.1008
25805	52560	9036	0.1008
25805	52560	9036	0.2008
26857	28854	9013	0.2019
26857	28854	9013	0.1013
26857	28854	9013	0.1002
26857	28854	9013	0.3025
26857	59713	9030	0.1002
26857	59713	9030	0.1013
26857	59713	9030	0.3025
26857	59713	9030	0.2019
28451	12347	9014	0.1012
28451	64119	9004	0.1009
28451	64119	9004	0.1010
28451	64119	9004	0.1012
30204	41503	9021	0.3031
30204	41503	9021	0.2023
30204	41503	9021	2.0172
30204	41503	9021	0.1006
30204	41503	9021	0.1012
30204	7054	9005	0.1006
30204	7054	9005	0.1012
30204	7054	9005	0.2023
30204	7054	9005	0.3031
30204	7054	9005	2.0172

30468	15788	9039	0.1011
30468	15788	9039	0.4023
30468	41614	9052	0.1011
30468	41614	9052	0.4023
30468	54448	9024	0.4023
30468	54448	9024	0.1011
31440	34305	9033	0.1009
31440	34305	9033	0.1012
31440	34305	9033	0.1005
31440	34305	9033	0.1006
31440	4483	9011	0.1005
31440	46389	9046	0.1005
32929	38729	9012	0.1013
32929	38729	9012	1.8182
32929	51725	9026	1.8182
34315	46389	9046	0.1012
34315	46389	9046	0.1012
34315	46389	9046	0.3029
34315	56304	9056	0.1012
34315	56304	9056	0.3029
34315	56304	9056	0.1012
3477	46389	9046	0.1008
3477	51725	9026	0.1008
3477	51725	9026	0.3030
36771	21114	9054	0.3031
36771	21114	9054	0.1010
36771	38345	9001	0.1008
36771	38345	9001	0.1008
36771	54687	9053	0.1010
36771	54687	9053	0.3031
37304	34305	9033	0.3027
37304	34305	9033	0.2025
37304	34305	9033	0.2018
37304	34305	9033	0.4040
37304	61592	9042	0.4040
37699	45778	9016	0.3036
37699	45778	9016	0.2023
37699	45778	9016	0.2022

37699	45778	9016	0.1011
37699	7856	9025	0.2022
37699	7856	9025	0.3036
37699	7856	9025	0.2023
37699	7856	9025	0.1011
38081	22315	9035	0.1010
38081	22315	9035	0.2024
38081	22315	9035	0.1013
38081	54448	9024	0.1010
38081	54448	9024	0.1013
38081	54448	9024	0.2024
38081	54749	9048	0.1010
38081	54749	9048	0.2024
38081	54749	9048	0.1013
38123	11159	9049	0.2014
38123	11159	9049	0.2024
38123	11159	9049	0.1007
38123	11159	9049	0.1008
38123	4405	9061	0.2024
38123	4405	9061	0.2014
38123	4405	9061	0.1008
38123	4405	9061	0.1007
38123	9248	9034	0.1008
38123	9248	9034	0.1007
38123	9248	9034	0.2014
38123	9248	9034	0.2024
39477	60724	9008	0.1010
39477	60724	9008	0.1013
39477	64119	9004	0.1013
39477	64119	9004	0.1010
39477	64119	9004	0.2022
39477	946	9019	0.1013
39477	946	9019	0.1010
40617	21114	9054	0.2024
40617	21114	9054	0.1011
40617	21114	9054	0.2014
40617	21114	9054	0.2020
40617	21114	9054	0.1015

40617	49013	9058	0.1015
40617	49013	9058	0.1011
40617	49013	9058	0.2024
40617	49013	9058	0.2020
40617	49013	9058	0.2014
40617	54749	9048	0.2020
40617	54749	9048	0.1011
40617	54749	9048	0.2014
40617	54749	9048	0.2024
40617	54749	9048	0.1015
41673	1335	9007	0.5030
41673	1335	9007	0.4040
41673	1335	9007	0.5036
41673	1335	9007	0.2020
41673	1335	9007	0.3019
41898	29845	9006	3.3308
41898	29845	9006	1.7126
41898	44329	9022	0.1012
41898	44329	9022	0.4021
43291	17987	9020	0.3031
43291	17987	9020	0.1013
43291	17987	9020	0.4034
43291	64119	9004	0.3031
43291	64119	9004	0.1013
43291	64119	9004	0.4034
43291	946	9019	0.1013
43291	946	9019	0.3031
43291	946	9019	0.4034
4512	41614	9052	1.9197
4512	52560	9036	1.8180
4512	52560	9036	1.9197
45702	56304	9056	0.1012
45702	56304	9056	0.2018
45702	56304	9056	0.1013
45702	56304	9056	0.2019
45702	56304	9056	0.1012
45702	60724	9008	0.1012
45702	60724	9008	0.1013

45702	60724	9008	0.2019
46118	22315	9035	0.1012
46118	22315	9035	0.1011
46118	4483	9011	0.1012
46118	4483	9011	0.1011
46233	48217	9037	0.2013
46233	9178	9064	0.1013
46233	9178	9064	0.1012
47039	45778	9016	0.1013
47039	45778	9016	0.1009
47039	46351	9031	0.2020
47039	46351	9031	0.1008
47039	59713	9030	0.1013
47039	59713	9030	0.1009
48188	29845	9006	0.2022
48188	29845	9006	0.1012
48188	29845	9006	0.1006
48188	41167	9028	0.2022
48188	41167	9028	0.1012
48188	41167	9028	0.1006
48188	51725	9026	0.3028
48188	51725	9026	0.2022
48188	51725	9026	0.1012
48513	34305	9033	0.6061
48513	34305	9033	0.1012
48513	41614	9052	0.6061
48513	41614	9052	0.3030
48513	41614	9052	0.3030
48513	41614	9052	0.1012
49299	14592	9045	0.4035
49299	14592	9045	0.1008
49299	21114	9054	0.3036
50487	59713	9030	0.2022
50487	59713	9030	1.9168
50487	60724	9008	0.1013
50550	17987	9020	0.1012
50550	17987	9020	0.2023
50550	17987	9020	0.2016

50550	17987	9020	0.1013
50550	17987	9020	0.3033
50550	24685	9051	0.1012
50550	24685	9051	0.3033
50550	24685	9051	0.1013
50550	24685	9051	0.2023
50550	24685	9051	0.2016
50635	24685	9051	0.1007
50635	24685	9051	0.1013
50635	24685	9051	0.1011
50635	24685	9051	0.4031
50635	24685	9051	0.4027
50635	45778	9016	0.1011
50635	45778	9016	0.1007
50635	45778	9016	0.1013
50635	45778	9016	0.4027
50635	45778	9016	0.4031
50635	946	9019	0.4027
50635	946	9019	0.4031
50635	946	9019	0.1013
50635	946	9019	0.1011
50635	946	9019	0.1007
51511	14592	9045	0.2021
51511	14592	9045	0.2018
51511	34167	9063	0.2021
51511	34167	9063	0.2018
51511	34167	9063	0.2014
51511	61592	9042	0.2021
51511	61592	9042	0.1010
51511	61592	9042	0.2014
53710	21114	9054	0.2109
53710	21114	9054	0.1010
53710	21114	9054	0.3028
53710	50496	9018	0.1005
53710	50496	9018	0.3028
53710	50496	9018	0.1006
53710	50496	9018	0.2109
53710	54687	9053	0.3028

53710	54687	9053	0.1010
53710	54687	9053	0.2109
54163	17987	9020	2.0205
54163	39936	9009	0.1008
54574	41614	9052	0.3021
54574	41614	9052	2.0161
54574	41614	9052	0.7064
54574	4483	9011	0.1007
55068	38600	9047	0.1007
55068	38600	9047	0.2019
55068	38600	9047	0.1011
55068	38600	9047	0.1009
55068	43642	9062	0.1007
55068	43642	9062	0.2019
55068	43642	9062	0.1009
55068	7054	9005	0.1011
55363	41167	9028	0.1013
55363	41167	9028	0.1008
55363	41167	9028	0.1005
55363	41167	9028	0.2015
55363	946	9019	0.2015
55363	946	9019	0.1013
55511	1335	9007	1.8150
55511	1335	9007	0.1009
55511	1335	9007	0.3029
55511	1335	9007	0.1009
55511	16538	9017	1.8150
55511	16538	9017	0.1009
55511	16538	9017	0.1009
55511	16538	9017	0.3029
55511	41503	9021	0.1009
55511	41503	9021	0.1009
55511	41503	9021	0.3029
55511	41503	9021	1.8150
56102	17099	9043	0.1005
56102	17099	9043	0.1013
56102	38345	9001	0.1005
56102	38345	9001	0.1013

56102	59713	9030	0.7055
56968	1335	9007	0.1010
56968	1335	9007	0.1013
56968	46389	9046	0.1006
56968	46389	9046	0.1010
56968	46389	9046	0.1013
56968	46389	9046	0.2015
56968	46389	9046	0.1013
57545	59713	9030	0.9081
57545	59713	9030	0.1006
57840	43642	9062	0.2030
57840	43642	9062	0.2021
57840	43642	9062	0.1006
57840	49013	9058	0.2030
57840	49013	9058	0.2021
57840	64119	9004	0.1006
57840	64119	9004	0.2030
57840	64119	9004	0.2021
59375	16538	9017	0.1009
59375	16538	9017	0.1008
59375	21114	9054	0.1009
59375	21114	9054	0.1008
59375	21114	9054	0.1012
59375	46351	9031	0.1008
59375	46351	9031	0.1009
60480	38718	9003	1.8182
60480	38718	9003	0.2014
60480	41614	9052	0.4032
60480	41614	9052	0.1013
60480	41614	9052	0.4026
60480	45778	9016	0.2014
60571	28854	9013	0.7069
60571	28854	9013	0.1013
60571	28854	9013	0.1011
60571	4405	9061	0.1011
60571	4405	9061	0.7069
60571	50288	9040	0.7069
60571	50288	9040	0.1011

61654	17099	9043	0.1007
61654	17099	9043	0.1013
61654	17099	9043	0.3026
61654	17099	9043	0.1010
61654	41503	9021	0.1013
61654	41503	9021	0.3026
61654	41503	9021	0.1010
61654	41503	9021	0.1007
61654	6736	9044	0.1007
61654	6736	9044	0.3026
61654	6736	9044	0.1013
61935	34167	9063	0.1013
61935	34167	9063	0.1008
61935	34167	9063	0.1011
61935	34305	9033	0.1011
61935	34305	9033	0.1013
61935	6736	9044	0.1011
61935	6736	9044	0.1008
61935	6736	9044	0.1013
63318	14592	9045	0.1011
63318	14592	9045	0.1012
63318	14592	9045	0.1004
63318	14592	9045	0.1006
63318	14592	9045	0.3030
63318	47516	9002	0.3030
63318	47516	9002	0.1004
6332	12347	9014	0.3024
6332	12347	9014	0.2018
6332	12347	9014	0.1010
6332	12347	9014	0.3030
8233	11940	9015	0.3025
8233	11940	9015	4.9455
8233	11940	9015	0.2021
8233	11940	9015	0.2018