InventoryIoT (I²oT): uma plataforma de gerenciamento automatizado de inventário

Alternative Title: InventoryIoT (I²oT): an inventory automated management platform

Jauberth Weyll Abijaude
Universidade Estadual de Santa Cruz
Rodovia Jorge Amado, Km 16
Ilhéus, Bahia 45662-900
jauberth@uesc.br

Fabíola Greve
Universidade Federal da Bahia
Av. Adhemar de Barros, Ondina
Salvador, Bahia 40170-115
fabiola@ufba.br

Péricles de L. Sobreira
Universidade Estadual de Santa Cruz
Rodovia Jorge Amado, Km 16
Ilhéus, Bahia 45662-900
plsobreira@uesc.br

Aprígio A. Lopes Bezerra
Universidade Estadual de Santa Cruz
Rodovia Jorge Amado, Km 16
Ilhéus, Bahia 45662-900
aalbezerra@uesc.br

RESUMO

O controle patrimonial dos bens ativos de uma empresa é uma tarefa complexa. Apesar do esforço para aumentar o nível de automação, observa-se que ainda é necessária a presença do ser humano para administrar, alimentar e manter tais sistemas. Este trabalho apresenta um sistema Web, de nome InventoryIoT, que automatiza o controle de bens patrimoniáveis. Baseado no conceito de Internet das Coisas, propõe-se anexar aos bens ativos etiquetas RFID, outorgando-lhes o status de objetos inteligentes (OI). Para tanto, contempla um middleware que permite a comunicação dos OIs com o sistema Web, o qual funciona como uma rede social. O resultado é um sistema capaz de realizar a gestão inteligente e o monitoramento da movimentação dos bens dentro de uma instituição de forma automática, reduzindo o tempo de trabalho humano e mantendo as informações atualizadas. O sistema foi implementado e validado.

Palavras-Chave

nternet das Coisas, Middleware, RFID, Inventário, Sistema de Gerenciamento de Patrimônio, Redes Sociais.

ABSTRACT

The company inventory control is a hard and complex job. Despite the effort to increase the level of automation of such tasks, it has been observed that the human presence is still necessary to manage, feed and keep them. This research presents a Web system, named InventoryIoT, that automates the inventory control for efficient management. Based on the concept of the Internet of Things, we propose attaching RFID tags to assets, giving them the status of Smart Objects (OI). For this purpose, this work considers a middleware that allows the communication among OIs and the Web system, which operates as a social network. The result is a platform able to perform the intelligent management and monitoring of the movement of goods within a institution in an automatic way, reducing the human labor time and keeping the information always updated. The system was implemented and validated.

CCS Concepts

•**Information systems** → **Enterprise applications;** *Social networks;* •**Hardware** → **Radio frequency and wireless interconnect;** •**Software and its engineering** → **Embedded middleware;** *Object oriented architectures;*

Keywords

Internet of Things, Middleware, RFID, Inventory, Asset Management System, Social Networks

1. INTRODUÇÃO

As organizações públicas e privadas têm a necessidade de controlar os seus bens patrimoniais, identificando atributos como localização, pessoa responsável e movimentação. Esse patrimônio pode ser classificado em dois tipos: os objetos que compõem os bens utilizados no dia a dia para o trabalho laboral de seus funcionários e os produtos e riqueza que a empresa produz. No primeiro tipo estão itens como mesas, cadeiras, veículos, computadores, impressoras, etc. que são classificados como bens permanentes e que são inventariados e cadastrados. Já bens como copos plásticos, água, papel,

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

SBSI 2017 June 5th – 8th, 2017, Lavras, Minas Gerais, Brazil

Copyright SBC 2017.

caneta, grampeador, etc. são bens de consumo, portanto de natureza transitória. O segundo tipo representa uma classe de bens que são a atividade fim da empresa, composto por matéria-prima, produtos acabados, estoque, resíduos e produtos reaproveitáveis. Esses bens são tratados em um fluxo de entrada/saída constante que implementa o processo produtivo em si.

Obviamente, as empresas implementam um processo básico de controle de bens patrimoniais, mantendo alguma base de dados computadorizada, tipicamente acessível a partir de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional. Além disso, periodicamente é necessária uma conferência manual do que está registrado na base de dados e o que efetivamente está disponível fisicamente. É a *Conferência do Inventário*. Esta conferência pode ser feita de forma manual, onde o responsável pela tarefa procura os bens e confere com algum código de identificação visual, ou pode ser feita com o uso de leitores de código de barras, substituindo a conferência do código visual por uma leitura através de um coletor de dados. Em ambos os casos, porém, exige-se considerável trabalho manual, além de haver riscos associados a inconsistências e erros. Esses fatores elevam o custo operacional do processo de conferência.

Sistemas mais modernos utilizam a tecnologia RFID (do inglês *Radio-Frequency Identification*). Em sistemas assim, os bens possuem etiquetas inteligentes que respondem a um estímulo de ondas eletromagnéticas. Esta resposta é a propagação de um código, também em ondas eletromagnéticas, que podem ser capturadas e identificadas. Isto permite a conferência de forma automática. Esta abordagem representa uma modificação no processo de inventário, trocando a natureza estática dos modelos manuais por uma dinâmica [12]. Porém, mesmo com essa nova técnica, os bens patrimoniáveis são subordinados a dois atributos imprescindíveis: O usuário responsável e o local onde permanece. Isto significa que sempre os OIs precisam possuir esta correlação, uma vez que estes identificadores são os mínimos necessários para um sistema de inventário. No caso do usuário responsável, esse relacionamento não pode ser modificado de forma automática, apenas pelo administrador do sistema, já que que esta mudança implica em responsabilidades legais e financeiras. Em relação ao local onde o bem permanece, a modificação desse atributo é feita de forma dinâmica pelo sistema construído, sem intervenção humana.

Nos últimos anos, as aplicações de Internet das Coisas (IoT) em ambientes industriais, combinadas com RFID [13], abriu a possibilidade de se considerar uma série de novas aplicações. A IoT permite que os objetos tradicionais possuam um mecanismo eletroeletrônico que permitam, dentre outras funções, publicar informações sobre si mesmo ou sobre o ambiente em que se encontra. Esses objetos, ao receber esses componentes eletrônicos, formam uma nova categoria de objetos, os objetos inteligentes (OIs).

Este artigo traz uma contribuição nesse sentido e apresenta um sistema de automação de gerenciamento de inventário usando os conceitos de RFID e IoT. O sistema InventoryIoT permite uma gestão ágil e confiável do inventário, além de inserir um grau de liberdade ao ativo - a livre mobilidade. Ele incorpora um *middleware* que, por um lado, controla as operações na camada de enlace, acionando os leitores RFID e, por outro, interage com a camada de aplicação, publicando informações em uma *Rede Social de Gerenciamento de Objetos Inteligentes (OI)*. A rede social de OI funciona de forma análoga ao *"facebook"*®. O usuário tem como "amigos" os bens inventariados sob sua responsabilidade. O InventoryIoT foi desenvolvido e uma avaliação experimental realizada.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 aborda algumas iniciativas para tratar o inventário usando IoT. A Seção 3 apresenta o sistema InventoryIoT. A Seção 4 promove a sua avaliação e, finalmente, a Seção5 apresenta as conclusões.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Existem iniciativas que propõem utilizar IoT em conjunto com RFID para o gerenciamento de inventário e bens ativos em ambientes de empresas, aplicações agrícolas, militares, governamentais, indústria de saúde, aeroportuários e em gestão de frotas e transporte. Em pesquisas realizadas para a confecção deste trabalho, até onde os autores puderam verificar, não se encontra sistemas ou propostas similares na envergadura que aqui é mostrado. As iniciativas encontradas tratam o inventário com a adoção de sistemas RFID, mas sempre aliado à presença humana, não conferindo ao objeto a responsabilidade de publicar as suas informações.

Em ambientes empresariais há iniciativas que realizam a gestão de ativos usando RFID para gerenciar inventários e propor a informação através de uma base de dados e um sistema web [11]. Isto é feito através de um sistema controlado por usuários, com leitores RFID acionados de forma intermitente para emitir alarmes e disponibilizados via WEB.

Na área agrícola, existem objetivos, por exemplo, de manter o controle de qualidade de produtos agrícolas frescos [3], monitorando o inventário, a qualidade, os distribuidores, gerando informações que possam garantir que tais produtos sejam consumidos dentro de determinados padrões de segurança,reduzindo custos de gerenciamento e aumentando a eficiência dos canais de distribuição. Todo o processo é feito usando o padrão EPCglobal[1].

A administração pública possui diversas ações para gestão patrimonial, controle e localização dos bens móveis através da automação do procedimento de inventário. Um exemplo bem sucedido é coordenado pela Secretaria de Administração do Estado de Pernambuco [4] que consiste, nesta primeira etapa, na identificação e localização dos bens móveis através de RFID.

No ambiente militar também encontram-se iniciativas para monitoramento e gestão de armamentos na marinha brasileira [6] cujo objetivo é analisar a implementação de RFID nas Fragatas Classe Niterói na cadeia de suprimentos sobressalentes.

O uso de redes neurais artificiais e lógica fuzzy, combinados em estrutura modular, gerida por um middleware para IoT, é usada para gerenciar e otimizar o suprimento de recursos em ambientes industriais voltados à saúde [5].

Os aeroportos precisam gerenciar uma grande quantidade de bens móveis com grande rotatividade; partidas e chegadas de aeronave; viajantes e empregados. O uso de RFID com IoT permite personalizar serviços e conteúdo para os viajantes e incrementar a produtividade e gerenciamento [1]. Esta solução é dividida em 4 camadas: a) Arquitetura IoT padrão; b) Camada física de IoT, definindo os meios de transmissão suportados; c) Camada de Rede responsável pela entrega dos pacotes e d) comunicação entre o servidor

[1] http://www.gs1.org/epcglobal

e os sensores, leitores RFID e dispositivos móveis.

Por fim, os sistemas de gestão de frotas e transportes possuem iniciativas que usam RFID e outros sistemas embarcados para gerenciar veículos, rotas e horários [8, 2].

A Tabela 1 faz um comparativo entre os trabalhos relacionados com InventoryIoT. Como pode-se observar, as características do InventoryIoT não são contempladas em outras propostas. A criação de sensores virtuais, que consiste no mapeamento das particularidades de cada sensor e a respectiva programação dessas particularidades em forma de software, permite criar um objeto em java que corresponda com o sensor no mundo real é exclusiva. Da mesma forma, o uso do conceito de redes sociais, da livre movimentação dos objetos sem a necessidade de informar ao setor de patrimônio a movimentação e a permissão dos objetos de gravarem informação no banco de dados e nas interfaces do sistema diferenciam o trabalho apresentado dos demais, colocando-o em um patamar de inovação e ineditismo.

3. I²OT - INVENTORY IOT

O sistema InventoryIoT alia conceitos de IoT, RFID e redes sociais. A proposta é apresentada em quatro subseções. A Seção 3.1 apresenta a arquitetura geral da proposta (visões física e lógica), e as demais, o detalhamento de sua parte lógica. A Seção 3.2 descreve as rotinas administrativas do sistema. A Seção 3.3 aborda a construção de um Middleware, cujo objetivo é auxiliar no controle do hardware e dos OIs, gerenciando os eventos criados por atores não humanos do sistema. Finalmente, a Seção 3.4 mostra como o conceito de redes sociais é aplicado ao sistema a partir da manipulação de OIs. O foco desse artigo, em particular, é a descrição detalhada do projeto e do desenvolvimento da camada do Middleware (Seção 3.3).

3.1 Descrição do Sistema

O sistema agrega os seguintes equipamentos: computadores, um conjunto de etiquetas, leitores e antenas RFID, sensores de presença infravermelho e placas arduíno. Esses equipamentos são integrados a um middleware que interage com um servidor web e um banco de dados, conforme ilustrado na Figura 1.

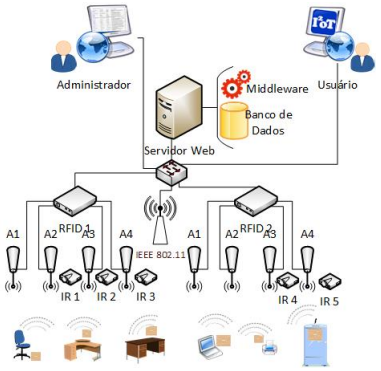

Figura 1: Componentes para o I²oT

A seguir, apresentamos a descrição dos componentes, interações e as versões de software/hardware utilizadas na implementação do sistema.

Na camada mais alta estão os clientes do sistema, formados pelo administrador e o usuário. O administrador é responsável pelo cadastro e manutenção de rotinas inerentes à sua função, descritas na Seção 3.2. O usuário é um funcionário que detém sob sua guarda alguns bens do patrimônio da empresa que fazem parte do inventário.

Logo mais abaixo está o servidor web, o banco de dados e o middleware. O middleware tem um papel fundamental no sistema, pois ele cria e controla uma lista de entidades virtuais que possuem correspondentes no mundo real. Em outras palavras, cada um dos sensores ou leitores físicos é mapeado em uma classe com os respectivos atributos e instanciado. A partir desse ponto, o middleware pode então trabalhar com esse objeto instanciado na memória e replicar as modificações no objeto do mundo real. Ele também pode receber informações do mundo real, vindas dos equipamentos e atualizar o estado no respectivo objeto virtual. Este funcionamento está detalhado na Seção 3.3.

Os sensores de presença, leitores, antenas e etiquetas RFID estão distribuídos em um ambiente geográfico de forma a criar uma bolha de rádio-frequência que garanta a conexão entre esses elementos. Os sensores de presença são formados por placas e sensores de infravermelho. Quando algo corta a linha de visão do sensor, um sinal é enviado à placa que usa a rede wi-fi para informar o evento ao middleware, o qual por sua vez, pode acionar um leitor RFID para que uma antena específica entre em modo de leitura. Na implementação, foram usadas placas ESP8266, leitores RFID do modelo Phidget, com suporte a somente uma antena, operação em 125 kHz LF(*Low Frequency*) e etiquetas passivas com capacidade de armazenamento de 24 bits.

Observa-se que na Figura 1, cada leitor RFID suporta 4 antenas. De fato, os leitores de presença existentes para ambientes profissionais suportam e identificam até 4 antenas diferentes, o que em tese nos permite monitorar 4 ambientes distintos, razão pela qual desenvolve-se o sistema com capacidade escalonável e sem limite máximo para este tipo de similitude. A existência de sensores de presença infravermelho serve para que se possa ligar ou desligar o modo de leitura de uma determinada antena com base na presença de pessoas.

3.2 Administração do Sistema

A administração de um sistema possui rotinas triviais, como as operações de CRUD (*Create, Read, Update e Delete*), relatórios, pesquisas e configurações de atributos globais. Aqui daremos destaque somente aos processos inerentes ao modelo apresentado e às suas peculiaridades. Nos sistemas atuais, o bem ativo, no momento de ser lançado no sistema, tem dois atributos importantes. Um desses atributos outorga a um indivíduo a responsabilidade da integridade do bem, que doravante será o detentor da sua posse. O outro atributo é referente ao local geográfico onde o bem é alocado. Esse local é fixo. Todas as vezes que um bem for transferido de lugar, o setor responsável precisa ser informado para atualizar o sistema.

O presente trabalho trata esse manejo de forma diferente. A rotina administrativa de cadastro se inicia com a geração de um código sequencial de 24 bits, armazenado em uma etiqueta RFID passiva de baixa frequência. Essa etiqueta é fixada no bem ativo, que a partir desse momento se transforma em um OI. Com essa nova característica, o OI possui agora uma identidade única dentro do universo de existência do inventário e está apto a ser cadastrado no sistema. Após esta inserção, o OI passa a ser um item do catálogo e

Tabela 1: Comparação entre sistemas com RFID

Caracteristica	InventoryIoT	[11]	[3]	[6]	[4]	[1]
`Aplica Conceitos de IoT`	X	X				
`Cria sensores virtuais`	X					
`Interface Web`	X	X				
`Usa EPCGLOBAL`		X				
`Registros em Redes Sociais`	X					
`Objetos livre movimentação`	X					
`Objetos postam informações`	X					

um ator do sistema, capaz de gerar e publicar informações a seu respeito. Esse é o único momento em que um usuário humano adiciona informações sobre este OI no sistema. Doravante, o próprio objeto vai informar ao sistema a sua localização geográfica, a data e o tempo em que permaneceu naquele local.

Adota-se dois conceitos de inventário: O Inventário Lógico e o Físico. O Inventário Lógico é criado no momento que que o administrador do sistema cadastra o OI na base de dados. Esse rol de OIs serve como referencial dos bens que existem no inventário até serem descartados. O Inventário Físico retrata a situação dos bens ativos em tempo real, fornecendo em um instante t de tempo o local onde os mesmos se encontram. Os dois tipos de inventário devem sempre ter os mesmos objetos, modificando apenas a localização onde o OI se encontra. Quando ocorrer essa diferença, o inventário lógico precisa ser atualizado automaticamente para retratar a situação atual.

Uma das rotinas administrativas é identificar no sistema de inventário a localização de um ou mais bens. Isto é possível fazer para um OI específico, um conjunto deles ou todos de uma vez. Os sistemas atuais exigem que os setores responsáveis pelo patrimônio sejam informados oficialmente de qualquer movimentação de seus ativos. Com os OIs, entretanto, isso torna-se dispensável, uma vez que os próprios objetos já fazem isso de forma automática quando passam por uma zona de leitura RFID. Ao passar por esta região, em um determinado instante t, as antenas podem ou não capturar esses dados. Portanto, quando há uma movimentação desse tipo, os inventários lógico e físico podem apresentar diferenças momentâneas. Este fato então impele ao administrador do sistema, ou ao usuário, que faça uma busca física dos OIs que deseja localizar como garantia de que os dados do inventário lógico coincidam com o físico, sincronizando os dois inventários. O funcionamento desse mecanismo é explicado a seguir.

3.3 Middleware

Devido à complexidade em sua concepção e desenvolvimento, nesta subseção discutiremos em detalhes o cerne desta pesquisa: o middleware da arquitetura I^2oT. Ele foi desenvolvido a partir das tecnologias Java 8, do ambiente Eclipse Neon e dos *frameworks* RUP, JSF e PrimeFaces. Também, vários padrões de projeto foram utilizados de forma a melhorar a manutenabilidade e a reusabilidade deste módulo, como, por exemplo: o MVC (para a separação lógica das camadas de visão, controle e modelo da aplicação); o Factory (em nosso projeto, para a criação de instâncias de conexões ao banco de dados); o CRUD (para as operações de manipulação de dados no banco de dados); o DAO (para a separação da camada lógica de acesso ao banco de dados; e o Singleton (para a criação de instâncias únicas de algumas classes da aplicação - em nosso projeto este padrão foi utilizado na criação de instâncias únicas dos objetos 'lista de sensores de presença' e 'lista de leitores RFID').

O middleware representa a engrenagem principal que atua intermediando o hardware e o software, e por conseguinte, disparando ações sempre que determinadas condições forem alcançadas. Isto estabelece no sistema o surgimento de atores não humanos, representados pelos OIs, sensores de presença, leitores e antenas RFID que vão se conectar e publicar informações no sistema Web, e vice-versa. Conforme visto na seção 3.2, o nascimento de um OI ocorre no momento em que ele recebe uma etiqueta RFID. Após o nascimento do OI e o respectivo cadastro no sistema por um usuário humano previamente autorizado, um middleware intermedeia a conexão e a publicação de informações entre os OIs e o sistema Web, e vice-versa.

A partir de uma análise requisitos realizada com apoio de gestores de inventário, além dos trabalhos correlatos (Seção 2), foram identificados treze casos de uso para o "middleware"(atuando como gestor da interação). São eles:

1 - Verificar o estado do sensor de presença: Sensores de presença são fundamentais para garantir o disparo de uma leitura quando houver movimentação em um local. Se esses disparos cessarem, como o sistema vai saber se é devido à ausência de movimentação ou a um problema no sensor de presença? Um meio de identificar o problema é executar um *ping* a cada instante de tempo t. Com isto, pode-se identificar que o sensor de presença está em atividade. Estas sondagens são gravadas no banco de dados com a resposta e respectivas data e hora.

2 - Monitorar a solicitação do sensor de presença: O sensor de presença, quando acionado, solicita ao middleware que acione uma determinada antena de um determinado leitor. Para isso envia-se ao middleware atributos como local onde o sensor de presença está instalado, data e hora do evento, tempo de espera para acionar o leitor RFID e por quanto tempo o leitor RFID deve permanecer ligado.

3 - Solicitar a ligação da antena do leitor RFID: Os leitores RFID não precisam emitir as ondas eletromagnéticas o tempo todo. Quando o caso de uso 2 ocorrer o middleware vai receber as informações necessárias para encontrar um determinado leitor RFID cadastrado e solicitar que uma antena específica seja acionada por um período de tempo.

4 - Ligar uma antena RFID: Existem duas maneiras de acionar uma antena RFID no sistema - uma feita por um sensor de presença e outra através do usuário. Quando um leitor de presença solicita a cobertura de uma região, são executados os casos de uso 2 e 3, e em seguida encaminhados os atributos que configuram essa conexão. No caso de um

usuário solicitar a ligação, o middleware aciona a antena específica, ordenando que a mesma inicie a emissão de ondas eletromagnéticas.

5 - Desligar uma antena RFID: Quando uma antena é acionada por um sensor de presença, o middleware tem, em suas configurações do pedido, a quantidade de tempo que esta antena deve permanecer ligada. Ao término desse tempo, uma nova solicitação é gerada, desta vez ordenando que o leitor pare a emissão na referida antena. Quando o pedido de ligação da antena é feito por um usuário, estabelece-se o tempo padrão de 5 segundos de leitura (Este valor pode ser ajustado no sistema. Escolhe-se 5s. devido a uma estimativa em relação ao posicionamento das antenas e a velocidade de caminhar de um ser humano). Ao fim desse tempo, o middleware ordena ao leitor RFID que cesse suas atividades na antena especificada.

6 - Enviar os dados lidos pela antena RFID: Durante o período que a antena emite ondas eletromagnéticas, o leitor recebe informações (lista de etiquetas lidas ou vazio) que são enviadas ao middleware para, em seguida, realizar as seguintes tarefas: a) montar um *ArrayList*[código do local, código do bem] das informações lidas; b) atualizar o inventário lógico com as informações e a data da ocorrência; c) identificar o usuário responsável pelos bens que se movimentaram e d) publicar a informação na rede social, conforme descrito na seção 3.4. Aqui é necessário pontuar que existem três tipos de classificação de antenas: tipo 1 - Antenas localizadas em destinos finais, como uma sala, um escritório, um almoxarifado, uma garagem, etc; tipo 2 - Antenas que estão em corredores ou locais de fluxo de pessoas e que indicam que o bem ativo está em movimento, e; tipo 3 - Antenas localizadas em locais de descarte ou baixa (após um bem ser lido por este tipo de antena, será considerado como descartado, tornando-se um bem inativo). Cada uma dessas antenas vai gerar uma publicação diferente na rede social e disparar um gatilho específico no middleware.

7 - Criar entidades virtuais: Este é o ponto de partida para que um elemento físico do mundo real possa se conectar ao sistema. Essa criação da entidade virtual, que espelha as propriedades do mundo real no ambiente computacional, inclui tarefas como se auto-cadastrar, se auto-configurar e começar a interagir com o middleware da aplicação, e que poderá, a partir de então, publicar informações. A criação de entidades virtuais começa quando o dispositivo do mundo físico, em suas configurações iniciais, encaminha ao servidor Web parâmetros indicando o seu nome, o local onde ele está instalado, o seu fabricante, o seu status (administrativamente operante ou não) e uma sequência de duplas para identificar o local que a antena monitora, bem como seu estado (ligada-desligada).

8 - Gerar inventário físico: Este caso de uso permite que o administrador do sistema verifique se o inventário lógico coincide com o inventário físico. Para ler todas as etiquetas RFID do sistema de inventário, o middleware vai acionar todos os leitores e todas as antenas seguindo a seguinte metodologia: Pega-se o primeiro leitor, aciona-se as antenas, recupera-se os dados na forma de um *ArrayList*[código do local, código do bem] e compara-se esses dados com os que estão gravados na tabela do banco de dados que representa o inventário lógico. Caso haja alguma diferença, o banco de dados é atualizado e é gerado um alerta com as inconsistências. Esse processo é repetido até que todos os leitores e todas as antenas tenham sido acionadas. Ao término desta fase, emite-se um relatório com as inconsistências encontradas e os inventários físico e lógico estarão iguais. Um caso especial merece destaque: pode acontecer casos onde um ou mais bens não sejam localizados nesta atividade. Isso não quer dizer que o bem será removido do inventário, ele terá a condição de desaparecido no inventário lógico, mas continuará sob responsabilidade de quem detém a guarda até que o mesmo apareça ou que medidas administrativas cabíveis sejam tomadas.

9 - Publicar informações do OI: Toda as vezes que o middleware receber uma informação de um OI, esta será publicada no perfil da rede social cujo usuário é o responsável pelo bem. Logo após essa publicação, a informação é persistida no banco de dados. Os OIs podem ter mobilidade dentro da organização sem a necessidade de uma comunicação ao setor de patrimônio. Sempre que houver essa movimentação, o usuário será informado quando, onde e para onde o bem sob sua responsabilidade foi movido, o caminho que percorreu e o tempo que levou para isso.

10 - Executar busca física de OIs: De acordo com o que foi explanado anteriormente, existem duas entidades de inventário no sistema: O inventário lógico e o físico. O lógico é construído a partir do cadastro de bens no sistema, residente no banco de dados e utilizado como referência. Os bens ali cadastrados são os que efetivamente fazem parte do catálogo de ativos patrimoniáveis e possuem um atributo que identifica o local em que eles, pela última vez, foram encontrados pelo sistema. Já o inventário físico não possui registros salvos de forma eletrônica. Esta categoria de inventário está "viva" e possui um grau de liberdade - a mobilidade, inédito em outros sistemas de controle patrimonial. Esta liberdade permite ao OI se movimentar dentro de um espaço definido pelo utilizador do sistema sem informação prévia ao setor de patrimônio e sem gerar alertas ou problemas legais. Posto isto, há necessidades que impõem ao administrador e ao middleware localizar um bem físico no sistema, como por exemplo para sincronizar os inventários, localizar um ativo para ter acesso físico ou simplesmente para saber onde ele está geograficamente. Esta busca pode ser feita usando dois mecanismos diferentes: em *unicasting* ou em *broadcasting*, ambos descritos nos casos de uso 11 e 12.

11 - Executar a busca física de OIs em *unicast*: Este mecanismo de busca física é bastante simplificado. Seu objetivo é localizar um OI específico. Conforme mostra a figura 2, o processo de localização de um OI é iniciado com uma consulta ao banco de dados para que seja localizado alguns parâmetros como o local onde o OI deve ser encontrado, o leitor RFID e a antena que realizou a última leitura. De posse dessas informações, o middleware localiza este leitor e antena e solicita que os mesmos providenciem a irradiação necessária para que coletem os dados. A resposta pode ser um conjunto de códigos ou nenhum retorno. No caso de um conjunto de códigos, o middleware recebe essas informações e confirma se o código do OI esperado está na lista. Em caso positivo, o retorno é verdadeiro e o objeto está localizado. Sendo falso, o sistema repete o ciclo por mais 2 vezes na tentativa de encontrar a etiqueta RFID esperada. Se não obtiver sucesso, o middleware vai informar ao usuário e realizar uma busca em broadcast, descrito no próximo caso de uso.

12 - Executar a busca física de OIs em *broadcast*: Este tipo de busca ocorre em situações particulares no sis-

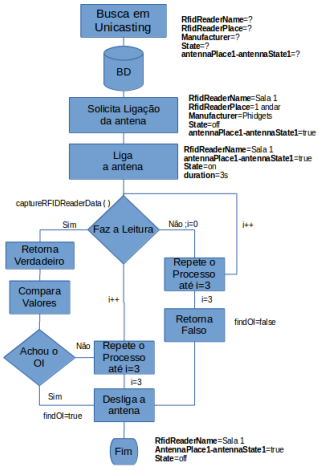

Figura 2: Fluxo da busca de um OI específico em unicasting.

tema: quando o administrador deseja verificar a integridade do inventário lógico em relação ao físico ou quando um OI não puder ser encontrado em uma busca unicast. O procedimento a ser executado é acionar cada um dos leitores, solicitando que as antenas sejam todas energizadas de forma que a coleta seja feita em toda a região irradiada eltromagneticamente. Os leitores catalogam os resultados e encaminham para que o middleware dê o tratamento. No caso da localização de um objeto inteligente em particular, que na busca unicast não tenha sido encontrado, o middleware filtra as respostas em busca de uma coincidente com a procurada.

13 - Acionar alertas: Os alertas são gerados toda vez que uma exceção ocorrer. Entre as exceções possíveis estão a possibilidade de um OI mudar de lugar, não ter sido encontrado ou até mesmo ter a posse transferida pelo administrador para outra pessoa. Entre os alertas possíveis estão o registro na rede social das coisas, descrita logo mais adiante; uma mensagem SMS; um alerta luminoso e sonoro ou um aviso ao administrador do sistema. O registro na rede social dos OIs é um alerta de praxe e ocorre toda vez que houver captura por parte das antenas. Esses dados são sempre registrados com a data e hora em que ocorreram, independente do resultado da leitura anterior. Uma mensagem SMS ou um e-mail podem ser enviados para os endereços cadastrados toda vez que um OI ultrapasse, por exemplo um portão de saída externo, significando que o bem está sendo levado para o mundo exterior. Esse mesmo caso pode ocorrer para que seja gerado um sinal de alerta, luminoso ou um aviso ao administrador do sistema.

A seguir, apresentamos a Figura 3 que ilustra um Diagrama de Sequência em UML(*Unified Modeling Language*) representando o processo desde a detecção de movimento de um OI por um sensor de presença infravermelho, até a publicação das novas informações de movimentação deste OI ao seu responsável. Para isto, os requisitos 2, 3, 4, 5, 6 e 9 foram realizados.

3.4 Rede Social de OIs

As redes sociais são um elo de ligação entre os seres humanos que une fronteiras e culturas e permite desenvolver relacionamentos antes inimagináveis. Aproveitando este mesmo conceito, discutimos nesta subseção a proposta de "Redes Sociais de Objetos Inteligentes" na plataforma InventoryIoT. Como apresentado no início desta seção, o nosso objetivo neste trabalho é descrever em detalhes a concepção e desenvolvimento da camada middleware, por este motivo, a apresentação da rede social é menos detalhada.

Os OIs, conforme já explicado, possuem um grau de liberdade quanto à mobilidade, permitindo que possam se movimentar sem a anuência ou informação ao setor de patrimônio. Isso ocasiona um certo "descontrole" se os ativos em questão não tivessem a habilidade de informar quando, por onde e onde estão indo. Essa nova facilidade conferida aos bens ativos, que após etiquetados ganham uma personalidade virtual, permite promovê-los a atores do sistema, de forma que, com a estrutura de rede adequada, possam publicar informações na Internet.

Dotados com essa possibilidade, toda vez que um bem entrar em um campo coberto por uma antena ele irá fornecer a sua identidade para o middleware, que em seu nome, vai gerar uma série de procedimentos: primeiro vai verificar o local onde o OI foi lido, em seguida se há algum alarme a ser disparado, depois publica na linha do tempo do OI a sua passagem pelo local e finalmente, publica na página do usuário as informações pertinentes.

O usuário terá um perfil na "Rede Social de Objetos Inteligentes" onde receberá as postagens advindas da movimentação dos OIs pelos quais é o responsável. Enquanto em um sistema tradicional de inventário temos uma série de menus, telas e opções, no InventoryIoT temos uma rede social onde são cadastrados os usuários e os bens, e em seguida estabelecida a relação de "amizade" entre eles conforme o usuário tem bens sob sua guarda. As políticas de segurança e privacidade definem quem pode visitar a página de bens inventariados sob a responsabilidade de um usuário humano e que medidas tomar quando os bens forem movimentados de um local para outro. É possível então configurar quem pode ver e qual OI pode ser visto na sua página pessoal.

4. AVALIAÇÃO

A avaliação com base em cenários para trabalhos desse tipo é aceitável pela comunidade internacional[9, 10, 7], sendo assim, foi escolhido como base o cenário da UESC (Universidade Estadual de Santa Cruz) e o sistema de controle patrimonial usado pela instituição. Atualmente, a UESC usa um sistema próprio para gestão dos bens patrimoniáveis e um sistema para alimentar a base de dados do Governo do Estado da Bahia. Também construiu-se um protótipo do sistema com as implementações principais do middleware.

Propõe-se com este método de avaliação verificar no sistema o grau de liberdade fornecido ao OIs, pois eles não precisam mais de autorização previa para se movimentarem e nem de aviso posterior ao movimento para o setor de inventário. Com isso, deseja-se demonstrar que é possível localizar os objetos em tempo real, sem a necessidade de ir fisicamente ate o local onde o OI se encontra. O cenário abaixo serve de contexto exemplo para essas verificações:

"Professor Paulo é o gerente do Laboratório de Eletrônica da UESC e acabou de comprar um osciloscópio novo. O equipamento já foi entregue no setor de patrimônio, que imprimiu uma etiqueta RFID com o código, anexou ao osciloscópio, que a partir de agora passa a ser um OI, e cadastrou Paulo como responsável pelo bem no I^2oT. Paulo então se

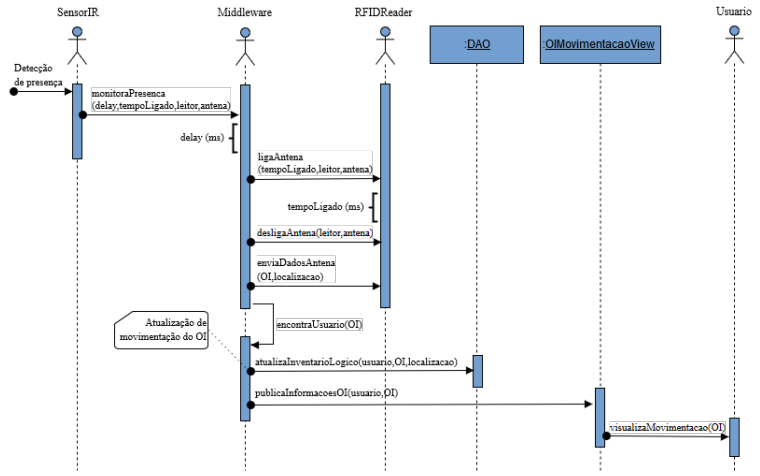

Figura 3: Diagrama de Sequência para a realização dos Casos de Uso 2, 3, 4, 5, 6 e 9

dirige ao setor de patrimônio, assina um termo de responsabilidade do osciloscópio e leva o aparelho para o laboratório de eletrônica. Durante o percurso, Paulo sai do prédio administrativo, caminha até o Pavilhão Jorge Amado, sobe as escadas para o primeiro andar, vira à direita e pega o corredor que dá acesso ao laboratório. Chegando no laboratório, cuja sala é 4A, põe o equipamento em cima da bancada de aulas, fecha o laboratório e vai para casa, pois já está próximo do meio-dia. No início da tarde, Professora Marta chega para ministrar aulas de Circuitos Digitais na sala 7B, no pavilhão de aulas Adonias Filho. Ao chegar na sala, se dá conta que vai precisar do osciloscópio para mostrar o funcionamento de uma placa de circuitos, então solicita a Ramon, estagiário do curso de Ciência da Computação, que lhe traga um osciloscópio. Ramon então vai até o laboratório de eletrônica no pavilhão Jorge Amado, vizinho ao Pavilhão Adonias Filho, e pega o osciloscópio que Professor Paulo tinha deixado lá instantes antes, levando-o para a Professora Marta ministrar suas aulas. A professora Marta faz o seu trabalho, e quando termina, no final da tarde, se dá conta que Ramon já foi embora e que não tem a chave do laboratório de eletrônica, resolvendo então levar o osciloscópio consigo para casa. Ao passar pelo portão de saída da Universidade, uma luz acende e um beep toca, alarmes gerados pelo sistema. A professora Marta então lembra-se que não pode retirar equipamentos da Universidade sem permissão, então ela volta até a sua sala e deixa o equipamento guardado em seu armário. No dia seguinte Professor Paulo chega para o trabalho e ao dirigir-se ao laboratório de eletrônica não acha o osciloscópio que havia deixado no dia anterior. Antes que qualquer providencia, abre o I^{2}oT no seu celular e verifica que o equipamento está na sala da professora Marta e verifica também todo o percurso que o equipamento fez."

No I^{2}oT pode-se observar que o cadastro do bem está referenciado apenas ao funcionário responsável pelo bem patrimoniável. O local para onde o bem será levado é adicionado automaticamente pelo sistema à medida que o bem passa pelas zonas irradiadas com ondas eletromagnéticas do RFID. Então, em todos os pontos do percurso que Paulo até o laboratório de eletrônica, onde existam antenas RFID, o sistema captou o movimento do OI e lançou isso na linha do tempo do OI. Esses lançamentos são também publicados no perfil de Paulo e do Administrador do sistema. Ao final do percurso, o I^{2}oT vai deixar registrado no banco de dados que o osciloscópio está na dala 4A.

Quando Ramon vai à sala 4A e pega o osciloscópio, o middleware do sistema recebe notificações do movimento deste OI e então inicia o lançamento no banco de dados dos novos locais por onde ele está passando. Ao se aproximar da porta de saída do Pavilhão Jorge Amado, um sensor de presença detecta a passagem de Ramon e encaminha ao middleware um pedido para que ligue a antena RFID posicionada na porta de saída do pavilhão, o que então é executado e a saída do bem é registrada. O mesmo ocorre na entrada do Pavilhão Adonias Filho. Nesses pontos de saída e entrada de pavilhões, caso fosse configurado, o middleware poderia tomar medidas protetivas como acionar um alarme, enviar um e-mail ou um SMS para o responsável pelo equipamento e para o administrador do sistema informando que o OI está saindo do pavilhão ou até mesmo acionar a vigilância patrimonial.

Como o equipamento ficou uma boa parte da tarde na sala 7A e esta foi a última movimentação dele, o local onde o OI está referenciado no sistema é a sala 7A. Ele poderia ficar lá por meses. Note que não houve a necessidade de se informar ao setor de patrimônio que determinado objeto mudou de lugar, pois o próprio OI já o fez via sistema. Quando a professora Marta termina a aula e resolve levar o equipamento consigo, por que não tem onde deixá-lo, ao tentar passar pelo portão de saída, o sensor de presença nota a movimentação e pede que a antena RFID correspondente seja ligada, detectando assim a movimentação. Como esta antena está programada para acionar um alarme, pois é a última porta da instituição, o I^{2}oT recebe do middleware um pedido para gerar um alerta, ligando por exemplo, um buzzer e um sistema de luzes, fazendo com que a Professora Marta verifique alguma irregularidade.

Quando a Professora Marta faz essa verificação, lembra-se que não pode sair da instituição com um equipamento patrimoniável sem a devida autorização, então retorna à sua sala privada e guarda o equipamento em um armário. Todo esse percurso é gravado automaticamente no sistema, inclusive a localização final do bem.

No outro dia, o Professor Paulo ao notar a ausência do

equipamento, conecta seu celular, tablet ou qualquer dispositivo com acesso a Internet, autentica-se no I^2oT e verifica em seu perfil da rede social onde está o seu "amigo" osciloscópio. Facilmente ele observa que está na sala 7A. Selecionando este OI na rede social, é exibido então a linha do tempo com todo o percurso feito.

Adicionalmente, acrescenta-se a esse cenário a necessidade de o administrador do sistema realizar a conferencia do inventário. Em sistemas com código de barras é necessário o contato visual com o equipamento para que o leitor portátil possa ler as etiquetas. Em sistemas manuais, além do contato visual é preciso realizar anotações que serão lançadas manualmente no banco de dados através de uma interface do sistema. Para sistemas atuais que usam RFID, as coisas são um pouco mais simples, pois dispensa-se o contato visual, no entanto um ser humano precisa ir fisicamente com um coletor manual em todos os locais para efetivar a leitura.. No I^2oT, o sistema de inventário está sempre atualizado, pois os OIs estão sempre informando por onde passam.

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o sistema I^2oT. Ele permite o monitoramento do inventário patrimonial de uma instituição em tempo real através do uso da tecnologia RFID e do middleware, que instancia classes dos sensores e detectores do mundo real no mundo virtual. Dessa forma, o middleware pode comandar ações que antes eram exclusivas de seres humanos com mais eficiência. Uma conferencia de inventário em sistemas tradicionais e manuais pode levar semanas, como é no caso da UESC. Utilizando o I^2oT isso passa a ser feito em tempo real, no dia a dia. A mobilidade dos bens é acompanhada a todo o momento e alertas podem ser gerados com o intuito de informar possíveis transgressões. A aplicação das redes sociais de coisas traz uma inovação no processo e é possível graças ao conceito de Internet das Coisas, que usando as etiquetas RFID, transforma os bens ativos em objetos inteligentes.

Como trabalhos futuros pretende-se estabelecer critérios de privacidade e segurança para as redes sociais, verificar os casos de mobilidade dos equipamentos para planejar compras e distribuição de bens ativos no futuro e ampliar a capacidade do middleware em relação ao mapeamento de mais tipos de sensores, atuadores e detectores. Também faz parte de estudos futuros a análise de carga do middleware, especialmente quando este está inserido em ambientes com elevado número de OIs e precisa fazer uma busca física por eles ou simplesmente realizar os relatório de inventário em tempo real.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CEPEDI (Centro de Pesquisas em Eletro Eletrônicos e Desenvolvimento Tecnológico de Ilhéus) pelos equipamentos de RFID doados ao LIF (Laboratório de Internet do Futuro) que fica na Universidade Estadual de Santa Cruz.

7. REFERÊNCIAS

[1] A. Alghadeir and H. Al-Sakran. Smart airport architecture using internet of things. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 4(5):148–155, September 2016.

[2] J. Backman, J. Väre, K. Främling, M. Madhikermi, and O. Nykänen. Iot-based interoperability framework for asset and fleet management. In *Proceedings of IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, (Berlin, September 6-9)*, pages 1–4, 2016.

[3] Y. Gu and T. Jing. The iot research in supply chain management of fresh agricultural products. In *Proceedings of IEEE 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce, (Dengleng, August 8-10)*, pages 7382–7385, 2011.

[4] F. R. C. Leão and G. G. Souza. A automação do inventário patrimonial: a experiência de pernambuco no controle e localização dos bens móveis. In *Congresso CONSAD de Gestão Pública, (Brasília, 25-27 março)*, pages 1–24, 2014.

[5] C. K. M. Lee, M. N. Cheng, and C. K. Ng. Iot-based asset management system for healthcare-related industries. *International Journal of Engineering Business Management*, 7(19):1–9, January 2015.

[6] M. M. Mosso. *Aplicação da tecnologia RFID na cadeia de suprimento de sobressalentes: um estudo de caso em navios da Marinha do Brasil*. PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

[7] C. C. L. Rocha, C. A. Costa, and R. R. Righi. Um modelo para monitoramento de sinais vitais do coração baseado em ciência da situação e computação ubíqua. In *VII SBCUP, (Recife, 20-23 julho), SBC*, pages 51–60, 2015.

[8] S. Samadi. Applications and opportunities for radio frequency identification (rfid) technology in intelligent transportation systems: A case study. *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 3(3):341–345, May 2013.

[9] M. Satyanarayanan. Mobile computing: the next decade. In *Proceedings of the 1st ACM Workshop on Mobile Cloud Computing & Services, (San Francisco, June 15)*, pages 1–6, 2010.

[10] A. Souza, F. Mesquitta, J. Lopes, R. Souza, A. Pernas, A. Yamin, and C. Geyer. Uma abordagem ubíqua consciente de situação para avaliação de metas terapêuticas em ambiente hospitalar. In *VI SBCUP, (Brasília, 28-31 julho), SBC*, pages 921–930, 2014.

[11] M. Wang, J. Tan, and Y. Li. Design and implementation of enterprise asset management system based on iot technology. In *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks, (Chengdu, June 6-7)*, pages 384–388, 2015.

[12] R. Weinstein. Rfid: a technical overview and its application to the enterprise. *IEEE IT Professional*, 7(3):27–33, May-June 2005.

[13] L. D. Xu, W. He, and S. Li. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4):2233–2243, November 2014.